

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

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



T117502



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **117502**  
วัน,เดือน,ปี..... **5 ต.ค. 2554**

b. **12339106**  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟส  
โดยใช้โปรแกรมแลปวิว

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

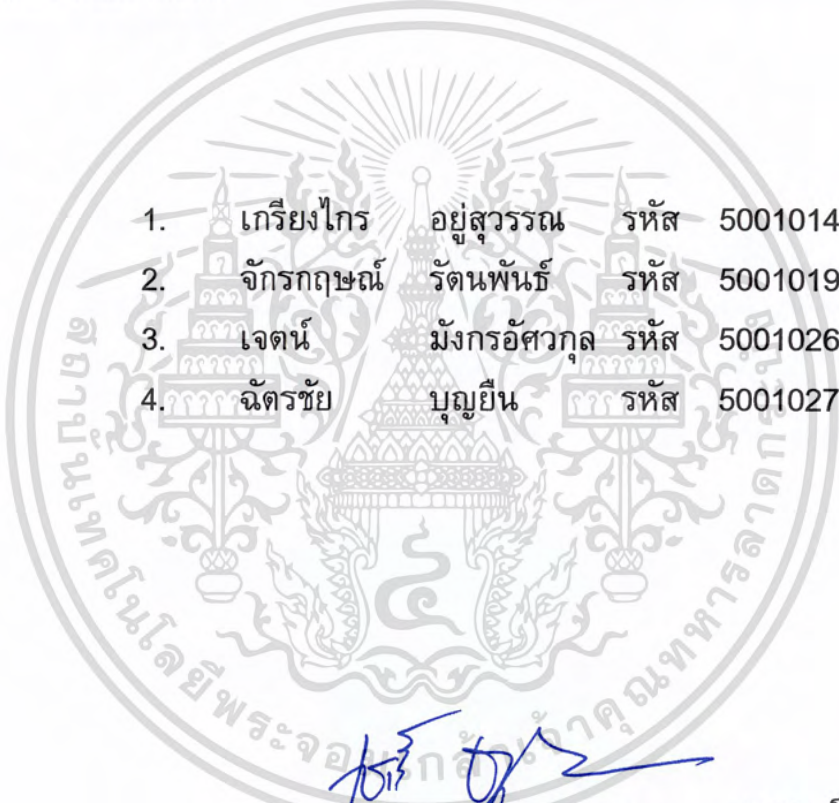
ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

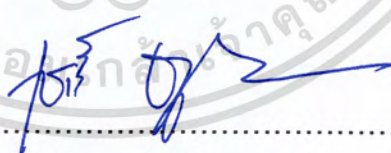
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

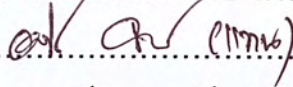
เรื่อง ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว LabVIEW

ผู้จัดทำ

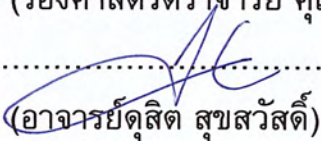
- 
1. เกரியงไกร อยู่สุวรรณ รหัส 50010142
  2. จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์ รหัส 50010199
  3. เจตน์ มังกรอัสวกุล รหัส 50010263
  4. ฉัตรชัย บุญยีน รหัส 50010273



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชาว์ ชมภูอินทร์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ศุติ บรรจงจิตร)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ดุสิต สุขสวัสดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว

เกรียงไกร	อยู่สุวรรณ
จักรกฤษณ์	รัตนพันธ์
เจตน์	มังกรอศวกุล
ฉัตรชัย	บุญยีน

ผศ.ดร.เชาว์	ชมภูอินไหว	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.ดุสิต	สุขสวัสดิ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ศุลี	บรรจงจิตร	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการใช้โปรแกรมแลปวิวและอุปกรณ์ตรวจจับและบันทึกสัญญาณดิจิทัลมาใช้ในการสร้างเป็นชุดอุปกรณ์วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสามเฟสซึ่งสามารถให้ทั้งในแบบการแสดงผลขณะทำการวัดค่าและในแบบการบันทึกรายละเอียดข้อมูลต่อเนื่องในช่วงเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกเหตุการณ์และช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าสามเฟสได้อัตโนมัติ อุปกรณ์ที่จัดสร้างมีความสามารถในการพกพาได้ และยังมีศักยภาพในการควบคุมระยะไกล จากการทดสอบการทำงานในโหมดต่างๆทั้งในห้องปฏิบัติการและในงานจริงที่โรงไฟฟ้าชีวมวลกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 160 KW พบว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Mr. Kriengkai	Yusuwan
Mr. Jakkrit	Ratanaphand
Mr. Jet	Mungkorn-asawakul
Mr. Chatchai	Boonyuen

Assoc.Prof.Sulee	Bunjongjit	Adviser
Asst.Prof.Dr.Chow	Chompoo-Inwai	Adviser
Mr.Dusit	Suksawat	Adviser

### 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะทางวิชาการ และสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ตลอดถึงความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว, อ.ดุสิต สุขสวัสดิ์ และรศ.ศุภี บรรจงจิตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โครงการ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านความรู้, อุปกรณ์สำหรับทำการวิจัย และกำลังใจในการทำงานวิจัยจนสำเร็จ บรรลุผลได้ด้วยดี รวมทั้งบริษัท เบทาโกร จำกัด จังหวัดปราจีนบุรี ผู้เอื้อเฟื้อสถานที่ โรงงานผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลให้ทางกลุ่มวิจัยทดสอบเก็บข้อมูลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดผู้ให้กำเนิดพวกเราและกำลังใจเรามา โดยตลอด ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูพวกเราเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่สม่ำเสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ความตึงเครียดอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้เขียนขอมอบแต่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน พวกเราขอระลึกในพระคุณและขอกราบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	x
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b> .....	<b>3</b>
2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส.....	4
2.1.1 กำลังไฟฟ้าสามเฟส (3-phase Power).....	4
2.1.2 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor).....	4
2.1.3 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส (Symmetrical Component).....	5
2.2 พารามิเตอร์ความผิดปกติของสัญญาณทางไฟฟ้า.....	7
2.2.1 ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics).....	7
2.2.2 ความผิดปกติในภาวะชั่วคราว (Transients).....	13
2.2.2.1 อิมพัลส์ชั่วคราว (Impulsive Transients).....	13
2.2.2.2 ออสซิลเลทชั่วคราว (Oscillatory Transient).....	14
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงแรงดัน (Voltage Variation).....	15
2.2.3.1 แรงดันเกิน (Over Voltage).....	15
2.2.3.2 แรงดันตก (Voltage Sag).....	16
2.2.3.3 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance).....	17
2.2.3.4 ไฟดับ (Blackout).....	19
2.2.4 การเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Variation).....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>บทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์</b>	<b>21</b>
3.1 การออกแบบโปรแกรม	21
3.1.1 การสร้างส่วนควบคุม	23
3.1.1.1 ส่วนเลือกสัญญาณอินพุต	23
3.1.1.2 ส่วนควบคุมสัญญาณจำลอง	23
3.1.2 การสร้างหน้าจอแสดงผลควบคุม	25
3.1.2.1 หน้าจอหลัก Main monitor	25
3.1.2.2 หน้าจอแสดงสถานะ (Status)	27
3.1.2.3 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส	29
3.1.2.4 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส	33
3.1.2.5 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก	34
3.1.2.6 หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส	35
3.1.2.7 หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์ (Real time Measurement)	36
3.1.3 การบันทึกข้อมูล	37
3.1.3.1 การบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด	37
3.1.3.2 การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า	38
3.1.4 การอ่านข้อมูล	39
3.1.5 การควบคุมโปรแกรมระยะทางไกลผ่านระบบออนไลน์	41
3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์	44
3.2.1 ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer)	45
3.2.2 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)	46
3.2.3 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Zener Diode)	46
<b>บทที่ 4 ตรวจสอบความถูกต้องและผลการทดลอง</b>	<b>48</b>
4.1 ทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์	49
4.1.1 การหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์	49
4.1.2 การหาค่าแก้มุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส	52
4.1.3 ตรวจสอบหาย่านการทำงานของ Zener Diode	54
4.1.4 การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก DAQ	55
4.2 ผลการทดลองของชุดอุปกรณ์	57
4.2.1 การทดสอบขณะทำการวัด Basic Linear Load	57
4.2.2 การทดสอบเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องกับ Non-Linear Load	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก.....	60
4.2.4 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดัน .....	61
4.2.5 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่.....	63
4.2.6 การทดสอบเมื่อ Open Circuit 1 เฟสและ 3เฟส .....	64
4.2.7 การหาความต่างเฟสเมื่อโหลดเป็น RC และ RL.....	65
4.2.8 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์กับโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล.....	66
4.3 ผลการเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์กับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น.....	70
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....</b>	<b>71</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก LabVIEW.....	72
ภาคผนวก ข DAQ.....	92
ภาคผนวก ค สเปคอุปกรณ์เครื่องวัดต่างๆ.....	98
ภาคผนวก ง บทความทางวิชาการ.....	111
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>117</b>
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>118</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการของความผิดปกติทาง สัญญาณไฟฟ้า .....	3
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสของ Voltage .....	6
รูปที่ 2.3 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล .....	7
รูปที่ 2.4 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล .....	7
รูปที่ 2.5 สัญญาณ Sine ที่เพี้ยนจากผลของ ฮาร์มอนิก .....	7
รูปที่ 2.6 สัญญาณ Sine ที่ 1st, 3rd, 5th, 7th order .....	8
รูปที่ 2.7 Impulsive Transient .....	13
รูปที่ 2.8 Impulsive Transient .....	13
รูปที่ 2.9 Oscillatory Transient .....	14
รูปที่ 2.10 Over Voltage .....	15
รูปที่ 2.11 Under Voltage .....	17
รูปที่ 2.12 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) .....	18
รูปที่ 2.13 ไฟดับ (Blackout) .....	19
รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Variation) .....	20
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมและอุปกรณ์ .....	21
รูปที่ 3.2 Front Panel ของโปรแกรมที่ออกแบบ .....	22
รูปที่ 3.3 การออกแบบโปรแกรม .....	22
รูปที่ 3.4 สวิตช์เปลี่ยนชนิดของสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณจริงจากชุดอุปกรณ์ .....	23
รูปที่ 3.5 Front Panel ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจำลอง .....	24
รูปที่ 3.6 Block Diagram ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจำลอง .....	24
รูปที่ 3.7 หน้าจอ Main Monitor .....	25
รูปที่ 3.8 Block Diagram ที่ใช้เขียนหน้าจอ Main Monitor .....	26
รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงสถานะ .....	27
รูปที่ 3.10 Block Diagram หน้าจอแสดงสถานะและการหา Per Unit .....	28
รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส .....	29
รูปที่ 3.12 Block Diagram ของสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส .....	29
รูปที่ 3.13 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสัญญาณทางไฟฟ้า .....	30
รูปที่ 3.14 กำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส .....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 Block Diagram ของการหาค่ากำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส และ SubVI Phase Shift	31
รูปที่ 3.16 หน้าจอแสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน	31
รูปที่ 3.17 Block Diagram ของการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน	31
รูปที่ 3.18 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส	32
รูปที่ 3.19 Block Diagram หน้าจอแสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส	32
รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส	33
รูปที่ 3.21 Block Diagram ของรูปสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส	33
รูปที่ 3.22 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก	34
รูปที่ 3.23 Block Diagram ของการวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก	34
รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส	35
รูปที่ 3.25 Block Diagram ของการหาสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส	35
รูปที่ 3.26 หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์	36
รูปที่ 3.27 Block Diagram ของการแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์	36
รูปที่ 3.28 หน้าจอของการบันทึกข้อมูล	37
รูปที่ 3.29 หน้าจอของการบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด	38
รูปที่ 3.30 Block Diagram ของการบันทึกข้อมูล	38
รูปที่ 3.31 การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า	38
รูปที่ 3.32 Block Diagram ของการบันทึกข้อมูลเมื่อมีความผิดปกติของสัญญาณ	39
รูปที่ 3.33 หน้าจอส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล	39
รูปที่ 3.34 Block Diagram ส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล	40
รูปที่ 3.35 เมนู Tools	41
รูปที่ 3.36 หน้าจอ Web Publishing Tools	41
รูปที่ 3.37 หน้าจอ Document URL	42
รูปที่ 3.38 หน้าจอเมื่อทำการเชื่อมต่อ	42
รูปที่ 3.39 โปรแกรม TeamViewer	43
รูปที่ 3.40 หน้าจอเมื่อทำการควบคุมโปรแกรมผ่านโปรแกรม TeamViewer	43
รูปที่ 3.41 แผนผังขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์	44
รูปที่ 3.42 แผนภาพการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์	45
รูปที่ 3.43 หม้อแปลงแรงดัน	45
รูปที่ 3.44 หม้อแปลงกระแส	46
รูปที่ 3.45 แสดงการออกแบบวงจรป้องกันแรงดันเกิน	47
รูปที่ 3.46 วงจรป้องกันแรงดันเกินที่เสร็จสมบูรณ์	47

รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน	48
---	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงวิธีการหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์.....	49
รูปที่ 4.3 แทนค่าแก้อัตราส่วนลงในโปรแกรม .....	44
รูปที่ 4.4 แทนค่าแก้มุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแสลงในโปรแกรม .....	53
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรการทดสอบ .....	54
รูปที่ 4.6 วงจรการต่อ DAQ แสดงกราฟสัญญาณก่อนและหลังแก้ไข.....	56
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรการทดสอบกับโหลดหลอดไฟ (โหลดเชิงเส้น).....	57
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการทดสอบกับ Non-Linear Load .....	59
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่บันทึกได้.....	60
รูปที่ 4.10 แสดงค่า THDV จากโปรแกรมและเครื่อง PZ-4000 .....	60
รูปที่ 4.11 แสดงค่า THDI จากโปรแกรมและแสดงค่า THDI จากเครื่อง PZ-4000 .....	61
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟแรงดันที่ 0.7 และ 1.0 เปอรี่ยูนิต ค่าแรงดันที่ 0.7 และ 1 เปอรี่ยูนิต.....	62
รูปที่ 4.13 ความถี่ที่บันทึก 50 Hz, 150 Hz, 1500 Hz, 5000 Hz และ 10000 Hz.....	63
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟสัญญาณขณะที่ Open Circuit 1 เฟส .....	64
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟสัญญาณขณะที่ Open Circuit 3 เฟส .....	64
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากชุดอุปกรณ์.....	65
รูปที่ 4.17 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าชีวมวลและการต่อชุดอุปกรณ์หน้างานจริง .....	67
รูปที่ 4.18 แสดงเครื่องวัด ranetz-BMI PX5-Xfast, Fluke 43B, DAQ และ LabVIEW.....	70

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าระยะเวลาที่แรงดันเริ่มสูงขึ้นกับช่วงระยะเวลาการเกิดของอิมพัลส์.....	14
ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดแรงดันและช่วงเวลาตามความถี่ของสัญญาณ.....	14
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงกระแส.....	50
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟส.....	50
ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน.....	51
ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงแรงดันทั้งสามเฟส.....	51
ตารางที่ 4.5 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันที่ใช้.....	51
ตารางที่ 4.6 ความต่างเฟสที่บันทึกได้ก่อนทำการแก้ไข.....	53
ตารางที่ 4.7 ความต่างเฟสที่บันทึกได้หลังทำการแก้ไข.....	53
ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก Zener Diode เมื่อเปลี่ยนแรงดันอินพุต.....	55
ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกเทียบกับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 17.00 น.....	57
ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกเทียบกับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 17.01 น.....	58
ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกเทียบกับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 17.02 น.....	58
ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกเทียบกับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 17.03 น.....	58
ตารางที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกเทียบกับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 17.04 น.....	59
ตารางที่ 4.14 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่บันทึกได้เปรียบเทียบแรงดันอินพุต.....	62
ตารางที่ 4.15 แสดงความถี่อินพุตเปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้.....	63
ตารางที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RC.....	66
ตารางที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RL.....	66
ตารางที่ 4.18 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ MDB กับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 16.48 น.....	67
ตารางที่ 4.19 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ MDB กับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 16.53 น.....	67
ตารางที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ MDB กับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 16.58 น.....	68
ตารางที่ 4.21 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ MDB กับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 17.03 น.....	68
ตารางที่ 4.22 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ MDB กับค่าจาก LabVIEW ที่เวลา 17.08 น.....	69
ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียระหว่าง DAQ and LabVIEW กับ เครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น.....	70

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในการวัดและตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ทางไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบชนิดดิจิทัลและอนาล็อก เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ ซึ่งในการใช้งานดังกล่าวนั้นต้องดำเนินการวัด ณ ที่ใช้งาน (On-site measuring) เพราะไม่มีความสามารถในการควบคุมระยะไกล และอีกทั้งราคาอุปกรณ์ที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน นอกจากนี้แล้วการแสดงผลของอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะแสดงผลเฉพาะข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น ไม่สามารถแสดงผลข้อมูลเชิงคุณภาพได้ทำให้การวิเคราะห์ผลการวัดและแสดงผลไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เพราะในเครื่องมือวัดจริงพื้นฐานไม่สามารถเก็บข้อมูลเป็นแบบ Data Logger ได้ โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย แรงดัน, ความถี่, กำลังจริง, กำลังเสมือน, กำลังปรากฏ, ฮาร์มอนิก, ตัวประกอบกำลังและความผิดพ้องทางไฟฟ้าต่าง ๆ

ทางกลุ่มเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าวโดยได้ศึกษาและพัฒนาต่อจากโครงการเดิมของรุ่นพี่ แต่โครงการนี้ได้ออกแบบโปรแกรมแลปวิวและอุปกรณ์ให้สามารถใช้กับไฟฟ้าสามเฟส และยังมีฟังก์ชันการทำงานเพิ่มมากขึ้นทำให้โปรแกรมและชุดอุปกรณ์มีความสามารถ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วยแรงดัน, ความถี่, กำลังจริง, กำลังเสมือน, กำลังปรากฏ, ฮาร์มอนิก, ตัวประกอบกำลังและความผิดพ้องทางไฟฟ้าต่าง ๆ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการใช้งานโปรแกรมแลปวิวเพื่อนำมาสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟส
2. ออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรม (DAQ)
3. วิเคราะห์เอาท์พุทที่ได้จากการบันทึกผล
4. เพื่อพัฒนาชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

สำหรับในภาคเรียนที่ 1 จะทำการศึกษาการใช้งานโปรแกรมแลปวิวและค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการวัดทั้งหมดแล้วทำการทดลองเขียนโปรแกรมในส่วนของพารามิเตอร์ที่จะวัดตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดยทดลองรันโปรแกรมแล้ววิเคราะห์ค่าที่ได้โดยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎี

สำหรับในภาคเรียนที่ 2 จะทำการวัดสัญญาณจริงในระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยตรวจจับสัญญาณผ่านอุปกรณ์ DAQ ทำการสร้างชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยหม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดันและวงจรป้องกันแรงดันเกิน แล้วทำการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟสเช่นกำลังไฟฟ้าสามเฟส ตัวประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลัง ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส เป็นต้นและสัญญาณความผิดปกติของระบบไฟฟ้าเช่นฮาร์มอนิก ความผิดปกติในภาวะชั่วคราว การเปลี่ยนแปลงแรงดัน (Voltage Variation) การเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Variation) เป็นต้น วิเคราะห์ผลที่ได้ว่ามีความถูกต้องหรือไม่โดยเปรียบเทียบผลกับออสซิลโลสโคปและเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องตลาด

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือน							
	มี.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค.	ม.ค
1. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม LabVIEW และลักษณะความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้าแบบต่างๆ								
2. จำลองลักษณะความผิดปกติโดยใช้โปรแกรม LabVIEW, ออกแบบการวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า 3 เฟส								
3. ทำการเชื่อมต่อรวมชุดอุปกรณ์ (DAQ) กับ LabVIEW เพื่อใช้งานกับสัญญาณจริง								
4. ทดสอบ วิเคราะห์ และ แก้ไขปรับปรุงระบบ								
5. ปรินต์งานพิมพ์ฉบับสมบูรณ์								

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบ

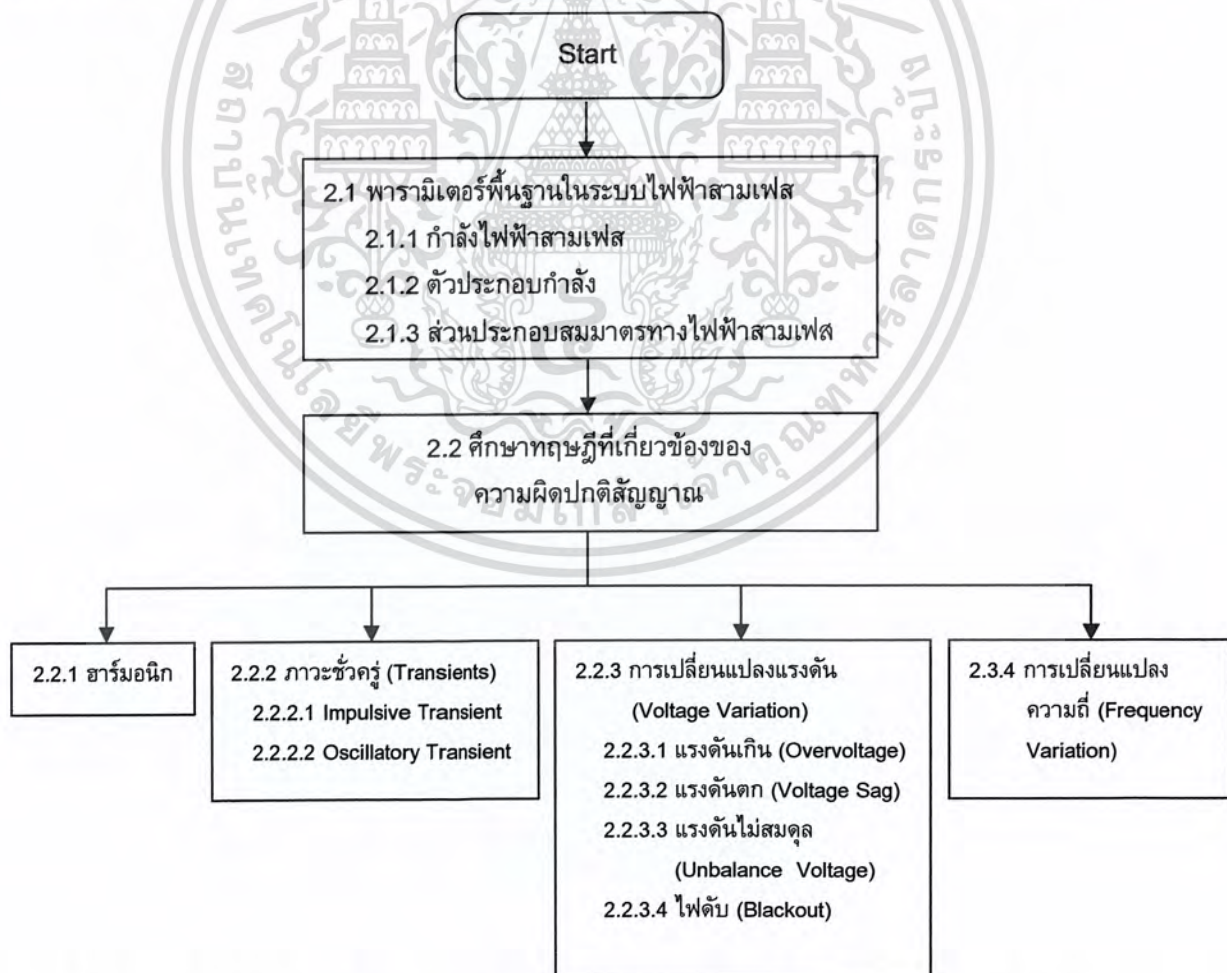
1. นำมาใช้แทนอุปกรณ์การวัดแบบเดิมทำให้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้หลากหลายกว่าเดิม
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้ออกจากการบันทึกมาวิเคราะห์ได้อย่างสะดวกและง่าย
3. สามารถวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง
4. อุปกรณ์มีราคาถูกกว่าเครื่องมือวัดแบบเดิมๆ ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในการศึกษาทฤษฎีและหลักการของความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า หมายถึง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แล้วส่งผลกระทบต่อรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส ทำให้มีรูปร่างและขนาดเปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการศึกษาพบว่า การเกิดสิ่งผิดปกติที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟบ่อยครั้งที่สุด คือ การเกิดการลดลงของระดับแรงดันชั่วคราว หรือที่เรียกว่า Voltage Sag โดยมีหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การสตาร์ทของมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ การปลดสับสวิทช์ของอุปกรณ์ตัดตอน แต่สาเหตุจากการเกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลัก ส่วนสิ่งผิดปกติที่ทำให้เกิดการเพิ่มของระดับแรงดัน ก็ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเช่นเดียวกันแต่ความถี่ในการเกิดจะน้อยกว่า ความผิดปกติของสัญญาณทางไฟฟ้า (Disturbances) ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปสามารถแยกหลายชนิด ดังเช่น ฮาร์โมนิก (Harmonics), ความผิดปกติในภาวะชั่วคราว (Transients), การเปลี่ยนแปลงแรงดัน (Voltage Variation) และการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Variation)



รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการของความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส

### 2.1.1 กำลังไฟฟ้าสามเฟส แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

2.1.1.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power : S) คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือโหลดมีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA)

2.1.1.2 กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power : P) คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เช่น การขับเคลื่อนลิฟท์ขนของ การขับเคลื่อนสายพาน เป็นต้น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือ กิโลวัตต์ (kW) ซึ่งสามารถวัดได้จากวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)

2.1.1.3 กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power : Q) คือ พลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือผ่าน Air Gap ของอินดักชันมอเตอร์ (Induction motor) เป็นต้น มีหน่วยเป็น วาร์ (Var) หรือกิโลวาร์ (k Var) สามารถวัดได้จากวาร์มิเตอร์ (Var meter) โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณหา กำลังไฟฟ้าสามเฟสเป็นดังสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

$$S_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \angle(\delta - \beta) \quad (2.1)$$

$$P_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \cos(\delta - \beta) \quad (2.2)$$

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

ซึ่งในสมการที่ 2 ในส่วนของ  $\cos(\delta - \beta)$  เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) โดยทั้ง S, P และ Q มันจะมีความสัมพันธ์กัน กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าเป็นผลที่มาจากค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า เมื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจร จะทำให้เกิดกระแสโดยขนาดของกระแสจะขึ้นอยู่กับลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ในวงจร ซึ่งสามารถที่จะพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า S, P และ Q ได้ในรูปของสามเหลี่ยมมุมฉาก หรือที่เรียกว่า สามเหลี่ยมกำลัง (power triangle) [1]

### 2.1.2 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังจริงทั้งหมดในหน่วยวัตต์ กับค่ากำลังปรากฏทั้งหมดในหน่วยโวลต์-แอมป์ (อาร์เอ็มเอส) ตัวประกอบกำลัง ( $\cos \phi$ ) 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Passive elements มีอยู่ 3 ตัว คือ R L C เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในทางวงจรไฟฟ้า เมื่อเราป้อนแหล่งจ่ายไฟที่เป็นรูปคลื่น sine (ไฟฟ้ากระแสสลับ) จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่ออุปกรณ์ทั้ง 3 ตัว ที่ไม่เหมือนกัน สามารถสรุปได้คร่าวๆ ดังนี้

R คือตัวต้านทาน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ไม่ว่าจะเป็ไฟฟ้า AC หรือ DC จะทำให้เกิดงานในรูปความร้อนสูญเสียออกไป และค่าความต้านทานนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่าย ถ้ากล่าวในกรณีทั่วๆ ไป ยกเว้น กรณีที่มีกระแสไฟฟ้าความถี่สูงๆ ไหลผ่าน จะเกิดผลที่เรียกว่า Skin Effect คือ กระแสจะไปไหลที่บริเวณผิวของตัวนำแทนที่แกนกลางทำให้ความต้านทานมีค่าสูงขึ้น ได้ที่ค่าความถี่สูงๆ กำลังงานที่ตัวต้านทานนี้ คือ กำลังงานที่เราสามารถเอามาใช้ได้จริง เช่น ขดลวดความร้อนของกาต้มน้ำไฟฟ้าเป็นต้น ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน กำลังงานนี้ จะเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริง Real power, Active power ที่มีหน่วยเป็น W

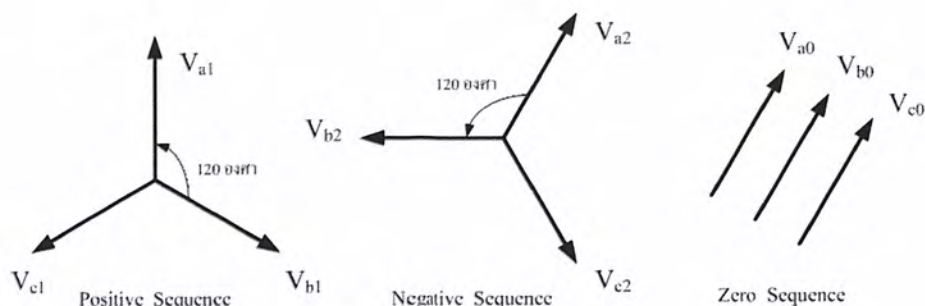
L คือขดลวดเหนี่ยวนำ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่แปรค่าตามเวลา (ตัวอย่างเช่นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีคลื่นรูปไซน์) ไหลผ่าน จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวด พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กพองตัวอยู่รอบๆ ขดลวด ไม่ได้เกิดการสูญเสียพลังงานแต่อย่างใด เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับจะมีสองลูกคลื่น ที่เป็นบวกและลบ ทำให้เกิดการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อมีการอัดกระแสให้กับตัวเหนี่ยวนำ ในครึ่งคาบที่เหลือ เมื่อเกิดการกลับทิศทางของแหล่งจ่าย พลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กจะถูกปลดปล่อยออกมา กำลังงานไฟฟ้าแบบนี้ ไม่สามารถเอาไปใช้งานได้ เป็นกำลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ที่ต้องจ่ายให้กับตัวขดลวดเหนี่ยวนำ กำลังงานนี้ก็คือ กำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟ Reactive power มีหน่วยเป็น Var (Volt-ampere reactive)

C คือตัวเก็บประจุ ประกอบไปด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางขนานกัน โดยมีสารไดอิเล็กตริกเป็นตัวคั่น ปกติจะมีคุณสมบัติในการบล็อกกระแสไฟฟ้าตรง ไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แต่เมื่อมีการป้อนแรงดันที่แปรค่าตามเวลา เช่นไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ จะทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในเนื้อสารไดอิเล็กตริก พลังงานในส่วนนี้ก็คล้ายๆ กับตัวขดลวดเหนี่ยวนำ คือ เป็นพลังงานที่จ่ายเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสะสมในตัวเก็บประจุ พลังงานนี้ จะถูกถ่ายเทกลับมาในระบบในช่วงครึ่งคาบที่เหมาะสม เรียกว่า Reactive power เช่นกัน มีหน่วยเป็น Var เช่นกัน

### 2.1.3 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

ส่วนประกอบสมมาตรนำมาใช้ในการวิเคราะห์แรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสในขณะที่เกิดระบบไม่สมดุล โดยกรณีที่ระบบสามเฟสสมดุล (Balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (Unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ โดยใช้การอ้างอิงของส่วนประกอบ 3 ส่วน ซึ่งระบบไฟฟ้าสามเฟสสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสของ Voltage

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

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.4)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.5)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.6)$$

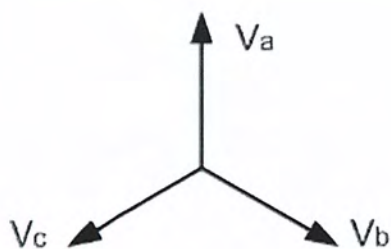
และสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ด้านกระแสได้เช่นเดียวกัน

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (2.7)$$

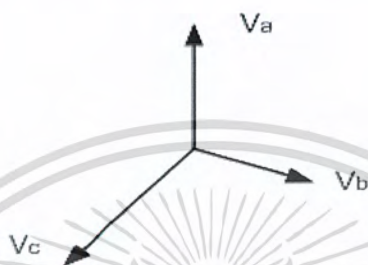
$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \quad (2.8)$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \quad (2.9)$$

ในกรณีที่ระบบสมดุล (balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมทางเฟสเซอร์ แสดงดังภาพประกอบ 2.4 ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมทางเฟสเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล



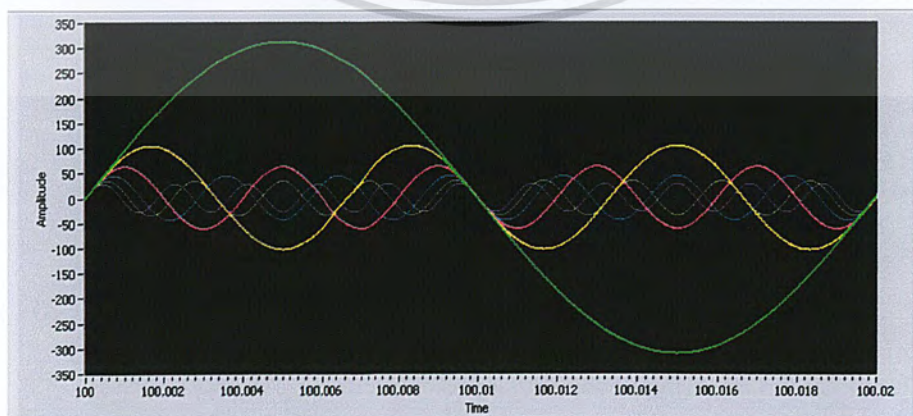
รูปที่ 2.4 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล

เราสามารถนำทฤษฎีของส่วนประกอบสมมาตร มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า เช่น การวิเคราะห์การลัดวงจร การวิเคราะห์แรงดันไม่สมดุล เป็นต้น [1]

## 2.2 สัญญาณความผิดปกติของระบบไฟฟ้า

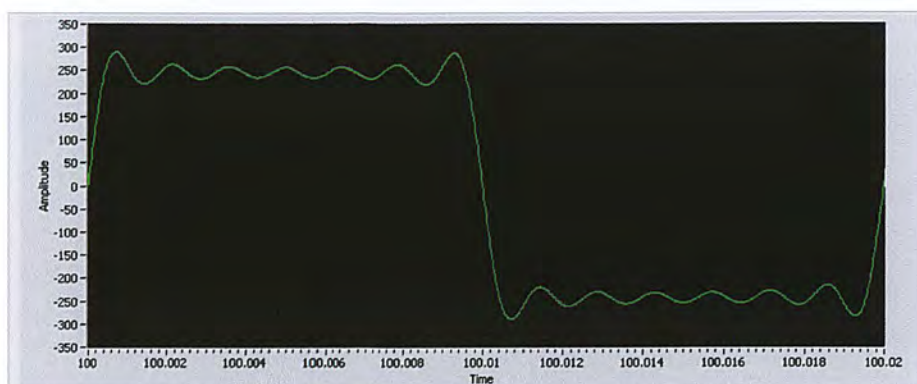
### 2.2.1 ฮาร์โมนิก

ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) คือองค์ประกอบทางไฟฟ้าของรูปสัญญาณคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานของระบบไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นระบบไฟฟ้า 50 เฮิรท์ ดังนั้นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 คือสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่เป็นจำนวน 3 เท่าของ 50 เฮิรท์ก็คือ 150 เฮิรท์ นั่นเอง โดยฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าที่พบมากจะเป็นฮาร์โมนิกส์เลขคี่ คือ 3, 5, 7, 9 ...



รูปที่ 2.5 ฮาร์โมนิกส์สัญญาณ Sine ที่ 1st, 3rd, 5th, 7th และ order อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สัญญาณ Sine ที่เพี้ยนจากผลของ

การวัดค่า harmonic ในที่นี้ มีจุดประสงค์เพื่อการสำรวจระดับความรุนแรงของ harmonic ณ จุดวัดว่าอยู่ในระดับใด จะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ หรือไม่ จะพิจารณาความรุนแรงได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้กับค่าจำกัดที่ระบุไว้ในข้อกำหนดหรือมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ harmonic ประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรมที่จัดทำโดยคณะทำงานจากสามการไฟฟ้า (กฟผ. กฟน. และ กฟภ.) หรือมาตรฐาน IEEE-519 หรือ Engineering Recommendation G 5/3 เป็นต้น อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือ ต้องทราบว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นถูกต้อง เพียงพอ สำหรับการนำไปประเมินระดับของความรุนแรง

### หลักการวัดกระแสฮาร์โมนิกส์

วงจรสำหรับวัดกระแส harmonic ทั่วไปแล้วจะใช้ต่อกับ current transformer (CT) ในกรณีที่จุดวัดเป็นวงจรที่มีกำลังไฟฟ้าไม่สูงนักจะใช้ CT ที่เป็นชนิด current clamps คล้องกับสายไฟได้เลย ส่วนกรณีที่เป็นระดับแรงดันสูง จะต้องทำการวัดผ่าน CT อาจต้องใช้ transducer ทำการปรับระดับกระแสให้เหมาะสมกับเครื่องวัด เนื่องจาก CT เป็นหม้อแปลงประเภท magnetic เช่นเดียวกันจึงต้องพิจารณาเรื่องความแม่นยำของลำดับต่างๆ ด้วย ซึ่งจากโครงสร้างของ CT จะสามารถครอบคลุมได้ถึง 2 kHz ดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลต่อการตอบสนองทางความถี่มากนัก อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของ CT จะมีผลกระทบต่อมุมเฟส (phase angle) มากกว่าขนาดของกระแส harmonic ซึ่งบางครั้งก็เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลและการออกแบบอุปกรณ์ รวมถึงการออกแบบเขียนโปรแกรมบน LabVIEW ตลอดจนรวมทั้งการตรวจสอบทิศทางกระแส harmonic เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หลักการวัดแรงดันฮาร์โมนิกส์

โดยทั่วไปแล้วเครื่องวัดจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานในระดับแรงดันต่ำเท่านั้น ดังนั้นถ้าเป็นการวัดแรงดัน harmonic ที่ระดับแรงดันดังกล่าว ก็สามารถที่จะต่อวงจรวัดแรงดัน ระหว่างจุดวัด(bus bar) กับเครื่องวัดได้โดยตรง ในกรณีวัดที่ระดับแรงดันสูงขึ้นไป จะต้องต่อวงจรผ่านหม้อแปลงแรงดัน (potential transformer ; PT) เพื่อปรับระดับ แรงดัน ให้เหมาะสมกับเครื่องวัด ในโครงการนี้ก็จะต้องวัดผ่าน PT ที่ออกแบบได้เลย และสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือ การตอบสนองทางความถี่ของ PT ต้องดีและครอบคลุมเพียงพอสำหรับย่านความถี่ของแรงดัน harmonic อันดับต่างๆ ที่ต้องการจะวัด ถ้าหากการตอบสนองทางความถี่ดังกล่าว มีความแม่นยำต่ำเกินไป ก็จะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง โดยทั่วไปแล้ว PT ที่เป็น ชนิดที่ใช้การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic) จะมีอิทธิพลจากโครงสร้างภายในของ PT ต่อการตอบสนอง จึงไม่สามารถสรุปในภาพรวมได้ จึงควรกำหนดลำดับ ที่ไม่สูงมากนัก เช่นที่ลำดับ 1-13 เป็นต้น และทดสอบให้แน่ใจก่อน ในกรณีที่ระดับแรงดันสูงมากตั้งแต่ 69 kVขึ้นไป หม้อแปลงแรงดันส่วนใหญ่จะเป็นประเภท CVT (capacitor voltage transformer) แต่เนื่องจากคุณลักษณะของ CVT นั้นถูกออกแบบมาให้มีการตอบสนองกับความถี่ได้ดีเฉพาะที่ความถี่หลักของระบบ ไฟฟ้า (fundamental frequency) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำ CVT มาใช้สำหรับวัดแรงดัน harmonic นอกจากนี้จะทราบวิธีชดเชยค่าผิดเพี้ยนทางความถี่ดังกล่าว (compensation method)

สาเหตุ ซึ่งมีสาเหตุอยู่หลายประการที่ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้นในระบบตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) เช่น อินเวอร์เตอร์, คอนเวอร์เตอร์ หรือ อุปกรณ์สวิตชิงต่างๆ, เตาหลอมไฟฟ้า (Electric Furnance), เครื่องเชื่อมอาร์ค (Arc Welder)

ผลกระทบ ปัญหาฮาร์โมนิกที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 กรณีคือ

- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์โมนิกที่มีขนาดและ รูปคลื่นสัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป
- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่า rms ของแรงดันหรือกระแส สูงขึ้นที่เกิดจากค่าฮาร์โมนิก หรือมีการขยายของแรงดันและกระแสฮาร์โมนิก ที่เกิดจากฮาร์โมนิก รีโซแนนซ์

### ปัญหาฮาร์โมนิกที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้างนี้คือ

1. ผลของฮาร์โมนิกเรโซแนนซ์เกิดขึ้นในกรณีที่ความถี่เรโซแนนซ์ของระบบไปตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกทำให้เกิดการขยายขนาดของแรงดันและกระแสฮาร์โมนิก เป็นผลทำให้ อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากได้รับกระแส และแรงดันเกินปกติ

2. ผลของกระแสฮาร์โมนิกที่ไหลอยู่ในระบบจำหน่ายและสายส่งทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในสายมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพ การส่งจ่ายลดลง เนื่องจากกระแสฮาร์โมนิกทำให้ค่า rms ของกระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้น

3. ผลของกระแสฮาร์โมนิก Triplen ( ลำดับที่3,6,9..) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ ( Zero Sequence) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิกกลุ่มนี้จะรวมกันกันไหลอยู่ในสายนิวตรอล อาจทำให้สายนิวตรอนหรือหม้อแปลงเสียหายได้หากไม่มี การออกแบบรองรับ

4. ผลของกระแสฮาร์โมนิกทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลดและกำลังสูญเสีย สเตรย์ฟลักซ์ (Stray Flux Loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการในรับ โหลดของหม้อแปลงลดลงไป (derating) ผลของแรงดันฮาร์โมนิกทำให้เกิดกำลังสูญเสียกระแส ไหลวน (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis -Loss) เพิ่มขึ้น

5. ผลของกระแสฮาร์โมนิกทำให้เกิดความร้อนและความเครียดไดอิเล็กตริก (Dielectric Stress) กับตัวคาปาซิเตอร์ และอาจทำให้ฟิวส์ของตัวคาปาซิเตอร์ขาดง่ายกว่าการ ใช้งานปกติ ผลของแรงดันฮาร์โมนิกทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์ และผลจาก ภาวะเรโซแนนซ์ที่ตัวคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดขยายกระแสและแรงดันฮาร์โมนิกขนาดใหญ่ ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานของคาปาซิเตอร์สามารถทนต่อค่ากระแสและแรงดันฮาร์โมนิก คาปาซิเตอร์ที่ออกแบบสร้างจากผู้ผลิตได้กำหนดตามมาตรฐาน มาตรฐาน IEEE Std. 18-1992

6. ผลของกระแสฮาร์โมนิกทำให้เกิดความร้อนในตัวฟิวส์เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะเวลา- กระแส (Time-Current Characteristic) ของฟิวส์เปลี่ยนไป กรณีที่มีฟอลต์ระดับต่ำเกิดขึ้นฟิวส์ จะขาดก่อนในเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่ฟิวส์ขาดโดยไม่ทราบสาเหตุจะเป็นเหตุมาจากฮาร์ มอนิกในกรณีที่เกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้เช่นกัน

7. ผลของฮาร์โมนิกทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงาน ของชนิดรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ชนิด Electromagnetic ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน rms ส่วนการทำงานของรีเลย์ชนิด Digital ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดคลื่น (Crest Voltage) จาก การ Sampling และตรวจค่า Zero Crossing ค่ากระแสหรือแรงดันที่ศูนย์ โดยลักษณะที่ทำให้ รีเลย์ทำงานผิดพลาดดังนี้

- ทำให้รีเลย์มีการทำงานช้าลง หรือทำงานด้วยค่า (Pickup Values) ที่สูง โดยปกติ รีเลย์จะทำงานอย่างรวดเร็วและทำงาน ด้วยค่าเริ่มต่ำๆ

- กรณีที่มีกระแสฮาร์โมนิก Triplen มากพออาจทำให้กราวด์รีเลย์ทำงานผิดพลาด (False Trip)

- ทำให้รีเลย์ระยะทาง(Distance Relay)ทำงานผิดพลาด ด้วยผลของกระแสฮาร์โมนิก ที่ทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นต่างจากค่าอิมพีแดนซ์ ที่ทำการเซตตั้งที่ความถี่หลักมูล

- ทำให้รีเลย์สถิตแบบความถี่ต่ำ (Static Underfrequency Relay) มีความไวกว่าปกติ อาจทำให้เกิดการทริปผิดพลาด

- ทำให้รีเลย์กระแสและแรงดันเกิน (Overcurrent and Overvoltage Relay) ทำงานผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้

- ทำให้ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่าง (Differential Relay) ทำงานช้าลง

8. ผลของกระแสฮาร์มอนิกมีผลกระทบต่อความสามารถในการตัดกระแส (Current Interruption Capacity) ของอุปกรณ์สวิตช์เกียร์ คือทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลา  $di/dt$  มีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสได้เมื่อมีฮาร์มอนิก ซึ่งปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ตัดกระแสได้เช่นกัน

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

10. ผลของฮาร์มอนิกต่อเครื่องจักรไฟฟ้า ทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้เครื่องจักรร้อนกว่าปกติ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสเกิดปรากฏการณ์ค็อกกิ้ง (Cogging) คือไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ จากการที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส และทำให้เกิดการออสซิลเลตทางกลของเครื่องจักรไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและแรงบิดของเครื่องจักร

11. ผลของฮาร์มอนิกทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบสื่อสารเช่นในระบบโทรศัพท์ จากสาเหตุดังกล่าวส่งผลทำให้การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ผิดพลาดเช่น อุปกรณ์สื่อสาร, อุปกรณ์ระบบควบคุมและป้องกัน อีกทั้งยังทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งอยู่ในรูปของความร้อนเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้า, สายไฟฟ้า และเซอร์กิตเบรกเกอร์ และยังเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าลดลงด้วย เป็นต้น

มาตรฐาน IEC และ IEEE ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ : %THD (Total Harmonic Distortion ) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์มอนิก โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่าง ค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิกกับค่าของส่วนประกอบ ความถี่หลักมูล เทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกออกเป็น ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม

### ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม

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

$V_h$  (rms) : ค่า rms ของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$

$I_h$  (rms) : ค่า rms ของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$

$V_1$  (rms) : ค่า rms ของแรงดันที่ความถี่หลักมูล

$I_1$  (rms) : ค่า rms ของกระแสที่ความถี่หลักมูล

### แนวทางในการแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิก

- ปัญหาฮาร์มอนิกในระดับต่ำ

สำหรับปัญหาฮาร์มอนิกที่เกิดในระดับต่ำ จะไม่เกิดผลกระทบต่อระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าใด ๆ ระบบไฟฟ้าที่มีปัญหาในระดับนี้จึงไม่จำเป็นต้องทำการแก้ไข

- ปัญหาฮาร์มอนิกในระดับกลาง

จะมีปัญหาในด้านคุณภาพไฟฟ้าในระบบมากขึ้น แต่ก็ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาที่รุนแรงต่อระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า แต่สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุ เพื่อทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง อาจเกิดปัญหาเรโซแนนซ์ตามมา ซึ่งอาจกลายเป็นปัญหาที่รุนแรงได้ การแก้ไขจึงทำได้โดยการเปลี่ยนขนาด หรือตำแหน่งของตัวเก็บประจุ หรือทำการติดตั้งวงจรกรองเพื่อกรองสัญญาณฮาร์มอนิกบางส่วนออกไป ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดเรโซแนนซ์ในระบบไฟฟ้าได้

- ปัญหาฮาร์มอนิกในระดับรุนแรง

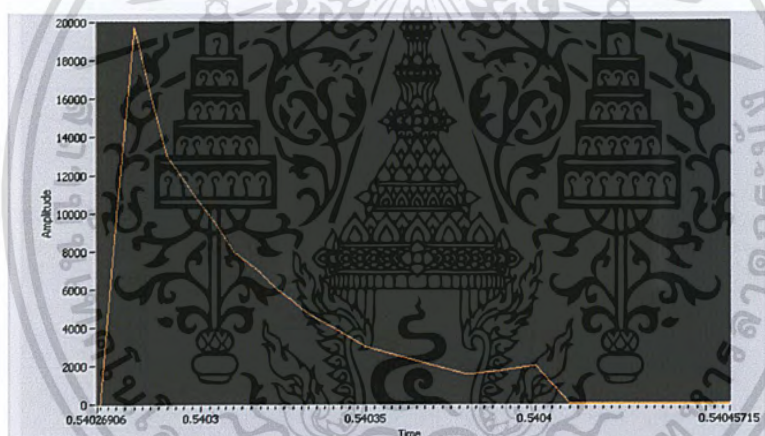
สำหรับปัญหาฮาร์มอนิกที่เกิดในระดับรุนแรงนั้น จะทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดปัญหาระดับรุนแรงขึ้น จะต้องทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าอย่างละเอียด เพื่อหาสาเหตุและแหล่งกำเนิดของฮาร์มอนิก เพื่อที่จะสามารถกำจัดแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกที่เข้ามารบกวนระบบไฟฟ้าได้ โดยวิธีการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้านั้น มีหลายวิธีด้วยกัน เช่นการใช้ตัวกรองแบบพาสซีฟ (Passive Filter), วิธีการชดเชยกระแสซึ่งจะใช้ตัวกรองแบบแอคทีฟ (Active Filter) นอกจากนี้ ยังมีวิธีการลดฮาร์มอนิก โดยการหลีกเลี่ยงผลกระทบที่อาจทำให้เกิดความเสียหายจากฮาร์มอนิกได้ เช่น การลดขนาดพิกัดหม้อแปลงและเพิ่มขนาดของสายนิวตรอลให้เกินพิกัด แต่วิธีการนี้จะใช้ได้เพียงบางกรณีเท่านั้น ถ้าระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจทำให้ปริมาณของฮาร์มอนิกเปลี่ยนไปด้วย วิธีการดังกล่าวก็จะไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไป ส่วนวิธีการใช้ตัวกรองแบบพาสซีฟนั้น มีข้อดีคือสามารถขจัดฮาร์มอนิกที่มาจากแหล่งกำเนิดในระบบได้ แต่อย่างไรก็ตามตัวกรองชนิดนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในช่วงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ออกแบบไว้เท่านั้น ยังไม่สามารถแก้ไขฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นภายหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระบบได้ ส่วนการใช้งานตัวกรองแบบแอกทีฟและวงจรที่ชดเชยกระแสฮาร์โมนิกในการจัดการฮาร์โมนิกก่อนที่จะเข้าสู่ระบบนั้น โดยทั่วไปแล้วจะมีต้นทุนที่สูงและยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดีนัก ดังนั้นกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าก่อนการเลือกใช้วิธีการต่างๆในการแก้ไขปัญหาจึงมีความสำคัญ เพื่อให้รู้ระดับความรุนแรงและช่วงความถี่ฮาร์โมนิกที่ต้องการแก้ไข ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกใช้วิธีการในการแก้ไขได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อไป [2]

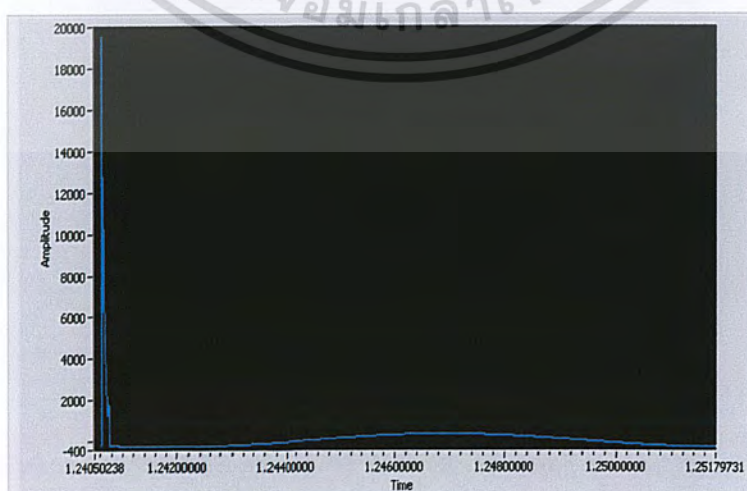
## 2.2.2 ความผิดปกติในภาวะชั่วคราว (Transient)

ภาวะชั่วคราว (Transient) คือปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพไฟฟ้า (แรงดัน กระแส) ในเวลาทันทีทันใดจากสภาพปกติแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ Impulsive Transients และ Oscillatory Transients [3]

2.2.2.1 อิมพัลส์ชั่วคราว (Impulsive Transients) คือขนาดกระแสและแรงดันที่มีค่าความชันสูงมากเกิดขึ้นในทันทีทันใดไม่มีความถี่เปลี่ยนแปลงกำหนดให้มีขั้วทิศทางเดียวหรือเรียกว่า เลิร์จ (Surge)



รูปที่ 2.7 Impulsive Transient



รูปที่ 2.8 Impulsive Transient

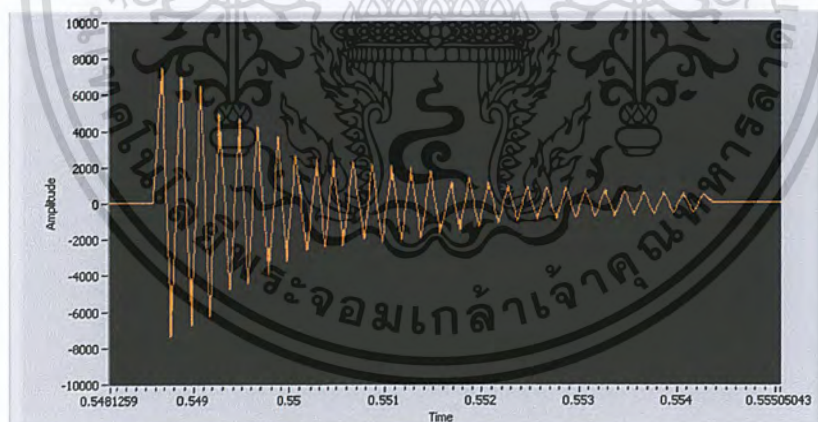
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุ เกิดจากฟ้าผ่าซึ่งอาจเกิดได้โดยตรงหรือในบริเวณใกล้เคียงมีผลทำให้อุปกรณ์ในระบบ ได้รับความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าเกินมาตรฐาน IEEE std 1159 - 1995 มีการกำหนดค่าอิมพัลส์ตามช่วงระยะเวลาที่เกิดกับค่าระยะเวลา

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าระยะเวลาที่แรงดันเริ่มสูงขึ้นกับช่วงระยะเวลาการเกิดของอิมพัลส์

อิมพัลส์ภาวะชั่วคราว	ระยะเวลาที่แรงดันเริ่มสูงขึ้น (rise time)	ช่วงระยะเวลาการเกิด (Duration)
Nanosecond	5 ns	< 50 ns
Microsecond	1 $\mu$ s	50 ns - 1 ms
Millisecond	0.1 ms	> 1 ms

2.2.2.2 ออสซิลเลชันชั่วคราว (Oscillatory Transient) คือลักษณะของแรงดันหรือ กระแสแรงดันมีค่าสูงเกิดขึ้นในทันทีทันใด ไม่มีความถี่เปลี่ยนแปลงมีการเปลี่ยนแปลงชั่ว (บวกลบ) ของรูปคลื่นอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2, 3 และ 4 มีสาเหตุเกิดจากการสวิตชิงของอุปกรณ์ในระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับความเสียหายและฉนวนของอุปกรณ์มีการเสื่อมสภาพหรือมีการสูญเสียความเป็ฉนวนเร็วขึ้นมาตรฐาน IEEE std 1159 - 1995 มีการแบ่งการเกิดออสซิลเลชันในภาวะชั่วคราวตามขนาดแรงดันและช่วงระยะเวลาการเกิดตามความถี่



รูปที่ 2.9 Oscillatory Transient

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดแรงดันและช่วงเวลาตามความถี่ออสซิลเลชันชั่วคราว

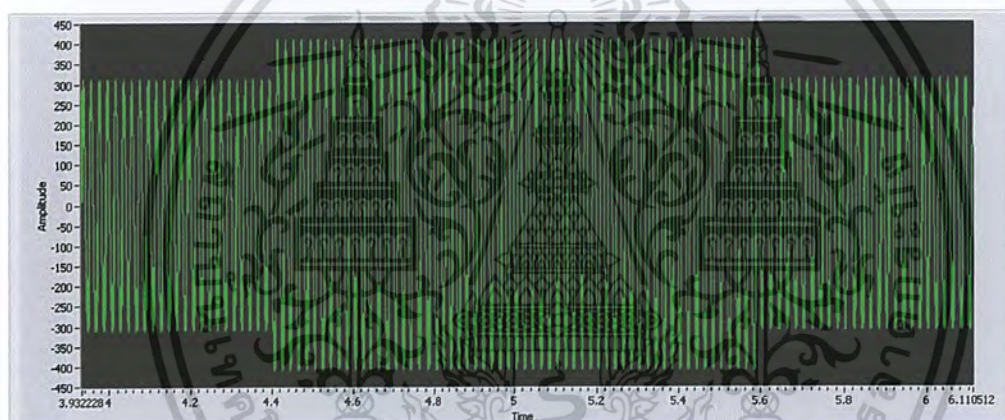
ออสซิลเลชัน ในภาวะชั่วคราว	ความถี่	ช่วงระยะเวลาการเกิด	ขนาดแรงดัน
Lower Frequency	< 5 kHz	0.3-50 ms	0.4 pu.
Medium Frequency	5-500 kHz	5-20 ms	0-8 pu.
High Frequency	0.5-5MHz	0-5 ms	0.4 pu.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 การเปลี่ยนแปลงแรงดัน (Voltage Variation)

การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน ที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงค่าในเวลาต่างๆ มีสาเหตุเกิดจากสภาวะความผิดปกติของทางไฟฟ้า(Faults) สามารถแยกได้ประเภทได้เป็น การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะยาว (Long Duration Voltage Variation) คือการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน ที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลง ค่าเกิน 1 นาที มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของโหลดขนาดใหญ่ ทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันเกิน(Overvoltage) แรงดันตก (Under Voltage) ไม่สมดุล และไฟดับ (Sustained Interruptions) แรงดัน [3]

2.2.3.1 แรงดันเกิน (Over Voltage) คือค่าแรงดันมีขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-1.2 pu. ในช่วงเวลานานกว่า 1 นาที มีสาเหตุเกิดขึ้นจากผลการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบหรือมีการสวิตชิงคาปาซิเตอร์เข้าระบบตามมาตรฐานของ NEMA (The National Electric Manufacturer's Association: ) ที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม โดยกำหนดไว้ไม่เกิน 110% ของค่าพิกัด โดยสูตรที่ใช้คำนวณแรงดันตกเป็นดังสมการ



รูปที่ 2.10 Over Voltage

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

(2.12)

นอกจากนี้แล้วนิยามของแรงดันไฟฟ้าเกิน หรือ Overvoltage หากอ้างอิง IEEE Std. 1100-1992 จะได้ว่า การเพิ่มสูงขึ้นของแรงดันไฟฟ้ากระแส-สลับ (AC) ที่ความถี่กำลังไฟฟ้า (50Hz) โดยมีช่วงเวลาก่อเกิดขึ้นนาน มากกว่า 2-3 วินาทีหากไม่สนใจนิยามแรงดันไฟฟ้าเกิน (Overvoltage) ที่ให้ไว้ โดย IEEE Std. 1100-1992 ซึ่งเราจะให้ความสนใจแต่เพียงค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสเพียงเท่านั้นผลที่ตามนั้นก็คือ จะเกิดความหลากหลายเป็นอย่างมากสำหรับลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกิน ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของรูปคลื่น ซึ่งมีทั้งลักษณะทรานเซียนต์หรือเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ (ไมโครวินาที-มิลลิวินาที) และ

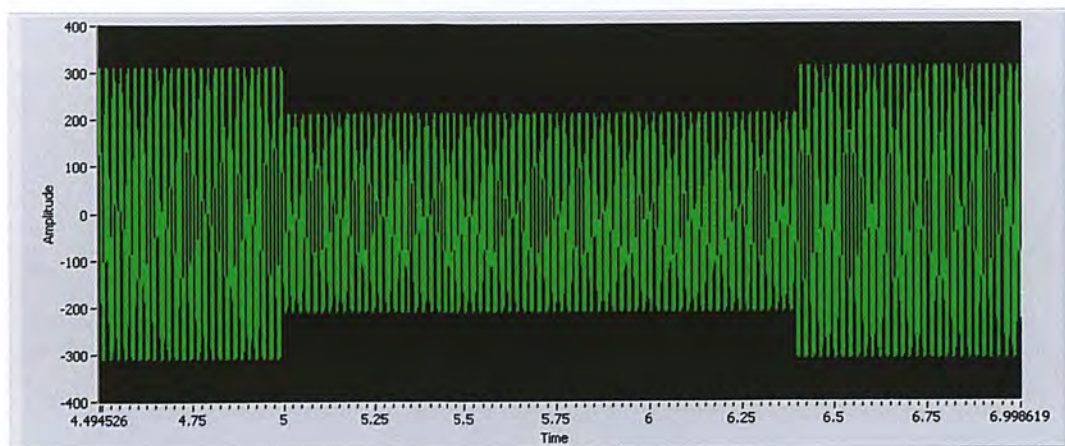
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลานานๆ (มากกว่าครึ่งไซเคิล-3วินาที) นอกจากลักษณะของรูปคลื่นที่แตกต่างกันไปแล้วแหล่งก่อกำเนิดหรือสาเหตุก็ยังคงมีความแตกต่างกันไปอีกด้วย ด้วยความหลากหลายของลักษณะแรงดันไฟฟ้าเกิน จึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดนิยามลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกินที่มีความแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น แรงดันทรานเซียนต์ที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่า (หรืออื่น ๆ) ปรากฏตามสายตัวนำ จะเรียกว่า ไฟกระชอก (Surge) แรงดันทรานเซียนต์ที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าของวัสดุเก็บพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการฟอลต์ จะเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะฟื้นตัวกลับ (Transient Recovery Voltage) เป็นต้น สาเหตุที่ต้องจำแนกแรงดันไฟฟ้าเกินออกมาเป็นชนิดต่าง ๆ เพราะว่าด้วยเหตุผลที่ว่าเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินแต่ละชนิด มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันนั่นเอง ตัวอย่างเช่น การนำ MOV กับรีเลย์ป้องกัน (Relay Protection) มาใช้ในการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน โดยตัว MOV จะทำหน้าที่เบี่ยงเบน (Diverter) ทิศทางการไหลของกระแสหรือมีความสามารถ Clamping แรงดันไฟฟ้าเกินได้ในเวลาสั้นๆ (ไฟ-กระชอก, Spike หรือทรานเซียนต์นั่นเอง) ได้อย่างมีคุณภาพ แต่ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าเกินที่ปรากฏขึ้นมีคาบเวลาในการเกิดนานๆ (วินาที) ตัว MOV ก็จะได้รับคามเสียหาย (ระเบิด) ในที่สุด แต่ถ้าเป็นตัวรีเลย์ป้องกันจะสามารถทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินที่มีคาบเวลาการเกิดนานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันไฟฟ้าเกินมีลักษณะการเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ (ไฟกระชอก) ตัวรีเลย์ป้องกันจะมีผลการตอบสนองต่อการปรากฏขึ้นได้ไม่ไวพอ และตัวรีเลย์ป้องกันเองสามารถได้รับความเสียหายได้ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าจากเหตุผลและตัวอย่างที่ยกขึ้นมาสนับสนุน จึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจำแนกลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกินออกเป็นชนิดต่างๆ เพื่อนำไปสู่การวางแผนทางการป้องกันอย่างเกิดประสิทธิผล โดยไม่ก่อให้เกิดการทับซ้อนของปัญหาอันนำไปสู่การสูญเสียงบประมาณโดยไม่เกิดประสิทธิภาพสำหรับสาเหตุของการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (ยึดแรงต่ำ) สามารถจำแนกได้ 2 สาเหตุใหญ่ๆ ด้วยกัน ได้แก่ การเกิดกราวด์ฟอลต์และการหยุดทำงานของโหลดหรือระบบงานขนาดใหญ่ การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินจาก 2 สาเหตุดังกล่าวนี้ ส่งผลกระทบต่อวัสดุประเภท Surge Arrester ทั้งหลาย (ภาคอินพุทของเครื่อง UPS, Stabilizer เป็นต้น)

2.3.1.2 แรงดันตก (Voltage Sag) ตามมาตรฐานของ NEMA กำหนดไว้ว่าไม่ควรต่ำกว่า 90% ของพิคัก โดยเป็นมาตรฐานที่โปรแกรมตั้งไว้ โดยสูตรที่ใช้คำนวณแรงดันตกเป็นดังสมการ

$$\%Over - Under Voltage = \frac{|V - V_{ref}|}{V_{ref}} \times 100\% \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



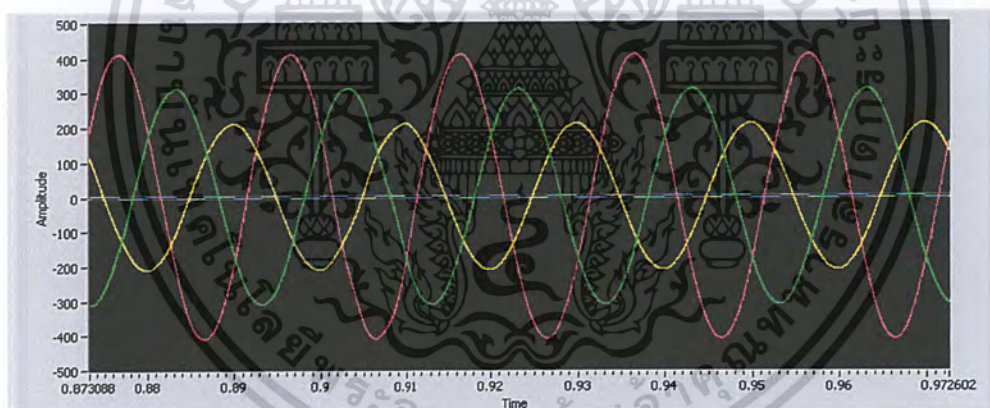
รูปที่ 2.11 Under Voltage

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

2.3.1.3 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่สมดุล เป็นสาเหตุให้มอเตอร์ไฟฟ้าร้อน และลดประสิทธิภาพการทำงานลง ทั้งนี้ NEMA กำหนดไว้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้าไม่ควรต่ออยู่กับระบบที่เกิดแรงดันไม่สมดุลเกิน แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล (Unbalance Voltage) คือปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีค่าไม่เท่ากันโดยมีค่า Negative Sequence เกิดขึ้นในระบบ ทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าหรือมุมทางไฟฟ้าไม่เท่ากันทั้ง 3 เฟส ซึ่งจะถูกวัดออกมาในรูปแบบร้อยละของอัตราส่วนระหว่าง Negative Sequence ต่อ Positive Sequence หรือร้อยละของอัตราส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนสูงสุดจากค่าเฉลี่ยของแรงดัน ไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ต่อค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ซึ่งสาเหตุของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเกิดจากการใช้ไฟฟ้าไม่สมดุลกัน ทั้ง 3 เฟสหรือการจัดวางสายไฟฟ้าไม่สมดุลเป็นระยะทางยาวดังนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลนี้จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ดังนี้เกิดกระแสไหลในสาย Neutral พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) ทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าสั้นลง ทำให้ความสามารถในการใช้พลังงานจากหม้อแปลงไฟฟ้าลดลงทำให้ Circuit Breaker ปลดวงจร ทำให้ Drive ชำรุดเสียหาย ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ายังหมายถึงค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกันออกไป ดังนั้นต้องพิจารณาลักษณะของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าร่วมด้วย ส่วนสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า เกิดจากความไม่สมดุลของโหลดในแต่ละเฟส ผลเสียที่เกิดขึ้นกับระบบงานจากปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า จะทำให้เกิดความร้อนที่สูงเกินขีดปกติที่โหลดชนิด สามเฟส ตัวอย่างเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า รีเลย์ เร็ชติไฟเออร์ สามเฟส เป็นต้น ความร้อนที่เกิดขึ้นกับโหลดเหล่านี้ ซึ่งมีการทำงานที่ต่อเนื่องได้รับความเสียหายได้ และจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเร็คติไฟเออร์สามเฟส โดยเอาท์พุทจะมีค่าริเบิล (Ripple) ที่สูงขึ้น กรณีการเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) มักเกิดจาก โหลดชนิด 1 เฟสในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือมีโหลดชนิดสามเฟสไม่สมดุลเชื่อมต่อในระบบ หรือเกิดจากเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าหายไป เช่นการทำงานของฟิวส์แรงสูง เพื่อเคลียร์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้าหรือเกิดจากการเกิดแรงดันตก เมื่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุล อุปกรณ์ที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุด คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (induction motor) ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์ลดลง เนื่องจากเมื่อเกิดแรงดันไม่สมดุล จะทำให้เกิดกระแสไม่สมดุลในโรเตอร์ (rotor) และ สเตเตอร์ (stator) ของมอเตอร์ ส่งผลทำให้มอเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดความสูญเสีย (loss) อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงัก



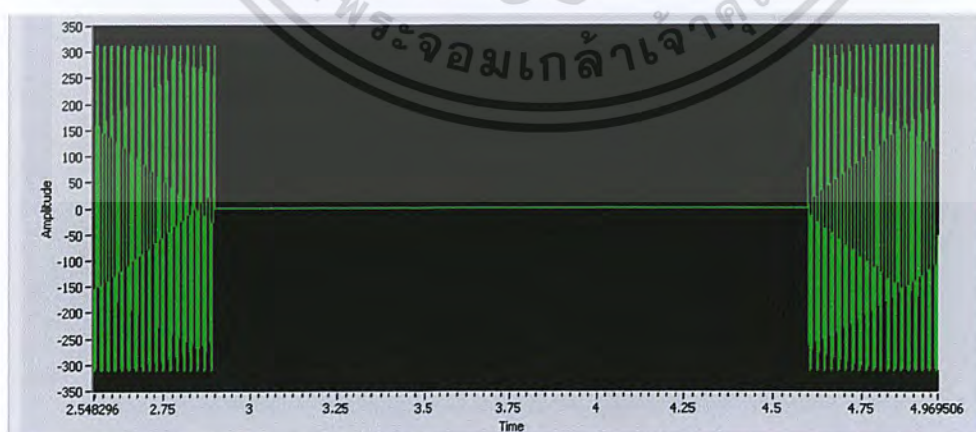
รูปที่ 2.12 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

วิธีการแก้ไข ย้ายภาระไฟฟ้าที่เป็นแบบ Single Phase ให้สมดุลจัดวาง สายไฟฟ้ากำลัง ให้ สมดุล Unbalance Voltage Relay แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลในระบบ 3 เฟสมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างไรแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลคือค่าแรงดันไฟฟ้า แต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือมุมของแต่ละเฟสต่างกันไม่เท่ากับ 120 องศา เกิดจากการต่อโหลด 1 เฟสในระบบจำหน่าย 3 เฟส ทำให้ขนาดแรงดันไม่เท่ากันผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟสที่เกิดจากแรงดันไม่สมดุลสรุปได้ ดังนี้ unbalance-voltage 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระแสไฟฟ้าไม่สมดุลในกรณีใช้โหลดเต็ม ที่กระแสไฟฟ้าไม่สมดุลจะมีค่า 6 -10 เท่าของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความร้อนสูงเกินทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง
2. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเพียง 4% จะทำให้อุณหภูมิ ของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพิ่มขึ้นถึง 25%

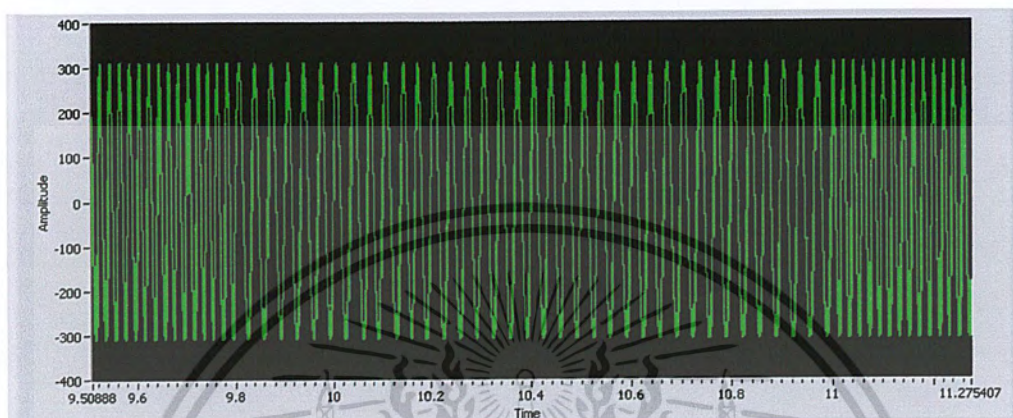
2.2.3.4 ไฟดับ (Blackout) เป็นสภาวะที่แหล่งจ่ายกำลังงานทางไฟฟ้าหยุดจ่ายกำลังงาน ทำให้ไม่มีแรงดันปรากฏในสายกำลัง โดยอาจจะมีสาเหตุเกิดมาจาก แหล่งจ่ายกำลังงานได้รับความเสียหาย หรือ มีการลัดวงจรในสายกำลัง ทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟ ออกรถาวร โดย “ ลักษณะแรงดันไฟดับจะวัดได้จากการที่ค่าอาร์เอ็มเอส ( RMS ) ของแรงดันในสายกำลังมีค่าลดลงเป็น 0 VRMS ในชวงเวลานานกว่า 1 นาที ” ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหยุดทำงานทันที หรือสามารถสรุปได้ว่าค่าแรงดัน rms มีค่าลดลง 0.0 pu. ในชวงเวลาเกินกว่า 1 min มีสาเหตุเกิดจากสภาวะความผิดปกติของทางไฟฟ้าในระบบ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟออกรถาวร เป็นผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าหยุดการทำงาน ปัญหาเรื่องไฟดับถือเป็นปัญหาหนึ่งในงานคุณภาพกำลังไฟฟ้า เพราะปัญหานี้ส่งผลให้ระบบงานไม่สามารถดำเนินงานได้โดยนิยามของไฟดับสามารถให้ความหมายได้ว่า การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายตัวนำตลอดคาบเวลาอย่างสมบูรณ์ หรือพิจารณาอย่างง่าย ๆ นั่นก็คือ ไม่มีกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ จ่ายสู่ระบบงานของเรา ส่วนสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาไฟดับ สามารถจำแนกออกได้ อย่างหลากหลาย เช่น เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า(การไฟฟ้าฯ) เสียหายหม้อแปลงไฟฟ้าเสียหายอุบัติเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับการแก้ไข ปัญหาในเรื่องไฟดับ สามารถดำเนินการได้โดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าในระบบงาน ได้แก่ Generator , UPS เป็นต้น



รูปที่ 2.13 ไฟดับ (Blackout)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.4 การเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Variation)** หมายถึง การที่ความถี่ไฟฟ้าในระบบไม่เท่ากับ 50Hz. อันอาจเกิดจากการลัดวงจร อย่างรุนแรงในระบบส่งกำลังไฟฟ้า หรือ การตัดโหลดปริมาณมากจากระบบไฟฟ้าจนทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตอบสนองไม่ทันจนความถี่เปลี่ยนแปลง ไฟฟ้า ทำให้มีผลกระทบอย่างมากสำหรับระบบที่มีการทำงานสัมพันธ์ระบบความถี่ เช่น โหลดประเภทเชิงกล [3]



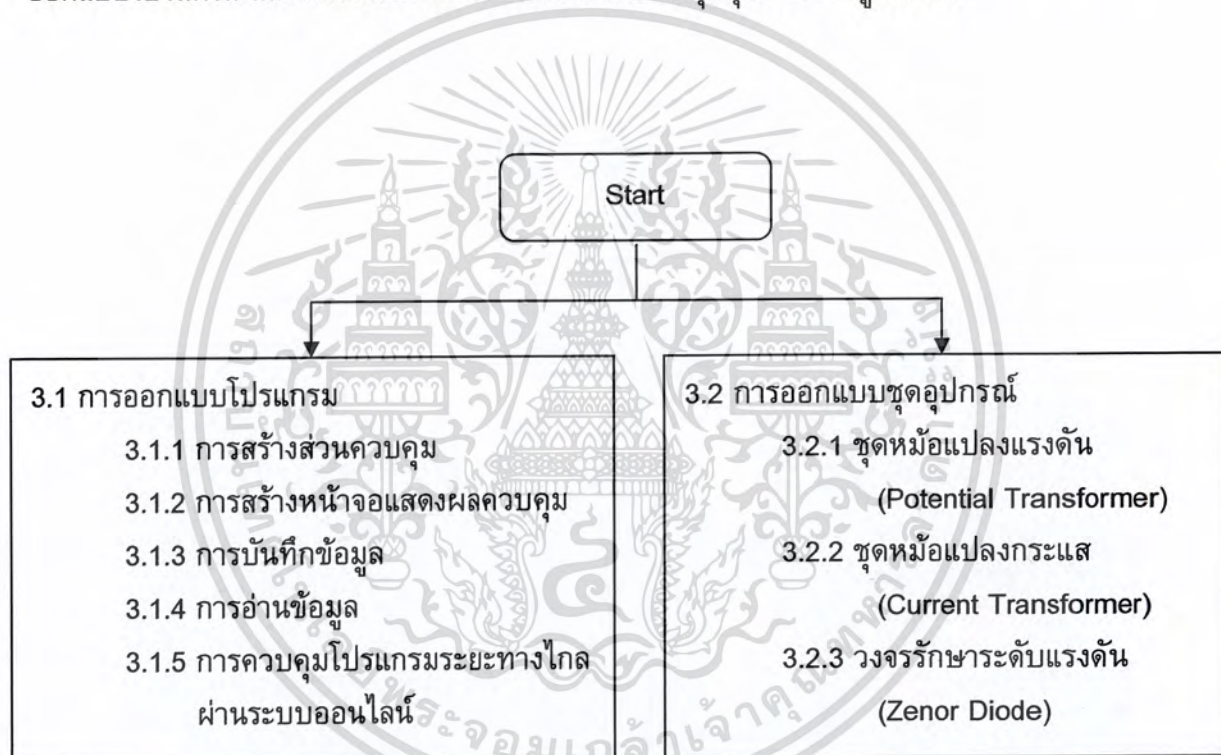
รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Variation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

โครงการนี้ได้ออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์เพื่อใช้ในการจำลองสัญญาณ, วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณ, แสดงผลจากการวิเคราะห์, บันทึกผลข้อมูล, นำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ทั้งค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า โดยทำการออกแบบเพื่อให้มีความถูกต้องในการวัด รวมถึงสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนและสามารถพกพาชุดอุปกรณ์ไปวัดค่าตามสถานที่ต่างๆได้อย่างสะดวก ซึ่งมี Flow Chart ขั้นตอนการปฏิบัติ โดยภายในภาคเรียนที่ 1 เป็นการออกแบบโปรแกรม และในภาคเรียนที่ 2 เป็นการออกแบบชุดอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมและอุปกรณ์

#### 3.1 การออกแบบโปรแกรม

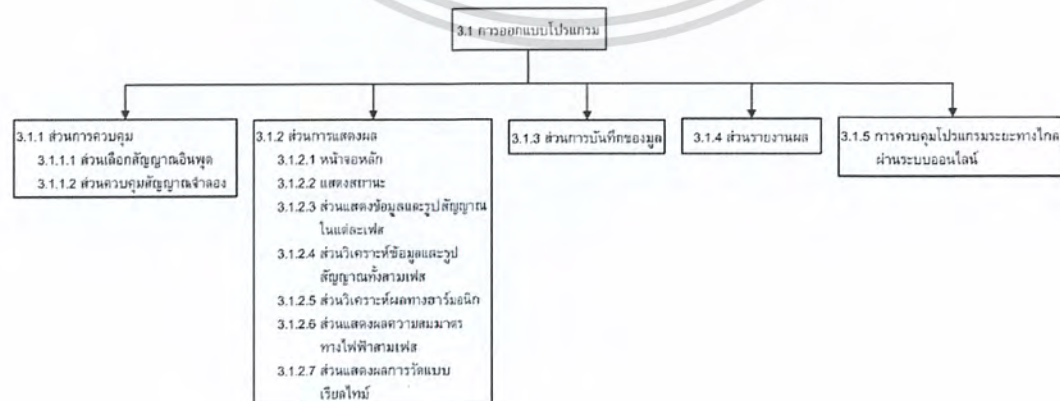
ในการออกแบบโปรแกรมทางผู้จัดทำได้ออกแบบให้ Front Panel ของโปรแกรมมีความเป็นระเบียบเรียบร้อยโดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก โดยส่วนแรกคือ ส่วนควบคุมเป็นส่วนที่ใช้เลือกสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณจำลองและสัญญาณจริงที่ได้จากชุดอุปกรณ์ รวมถึงส่วนที่ใช้ปรับค่าของสัญญาณจำลองด้วย ในส่วนที่ 2 จะเป็นการแสดงผลบนหน้าจอในรูปแบบสัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟเดือน, การวิเคราะห์และคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงฟังก์ชันอื่นๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยจะอยู่ภายในของ Tab Control ที่ประกอบไปด้วย Main Monitor, Status, Phase A, Phase B, Phase C, VI 3-ph, THD\_V, THD\_I และ Symmetrical Component ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ส่วนที่ 4 เป็นส่วนรายงานผล และส่วนที่ 5 คือ ส่วนในการควบคุมโปรแกรม ระยะทางไกลผ่านระบบออนไลน์ ซึ่งมี Flow Chart และตัวอย่างโปรแกรมที่ออกแบบ ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ [4-6]



รูปที่ 3.2 Front Panel ของโปรแกรมที่ออกแบบ

โดยที่ (1) ส่วนของสัญญาณอินพุต, (2) ส่วนของการแสดงผล



รูปที่ 3.3 การออกแบบโปรแกรม

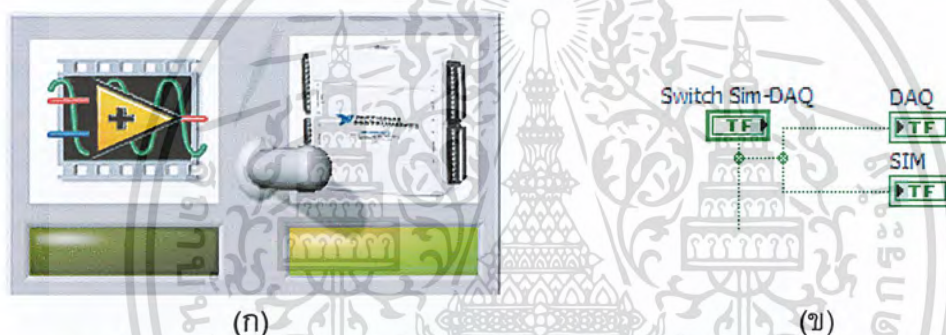
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 การสร้างส่วนควบคุม

ใช้ในการเลือกสัญญาณอินพุตระหว่างสัญญาณจริงที่ทำการวัดหรือสัญญาณที่จำลองขึ้นมาด้วยโปรแกรม LabVIEW และส่วนที่ใช้รับค่าสัญญาณจำลองประกอบด้วยขนาด มุมเฟส ความถี่ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟส

#### 3.1.1.1 ส่วนเลือกสัญญาณอินพุต

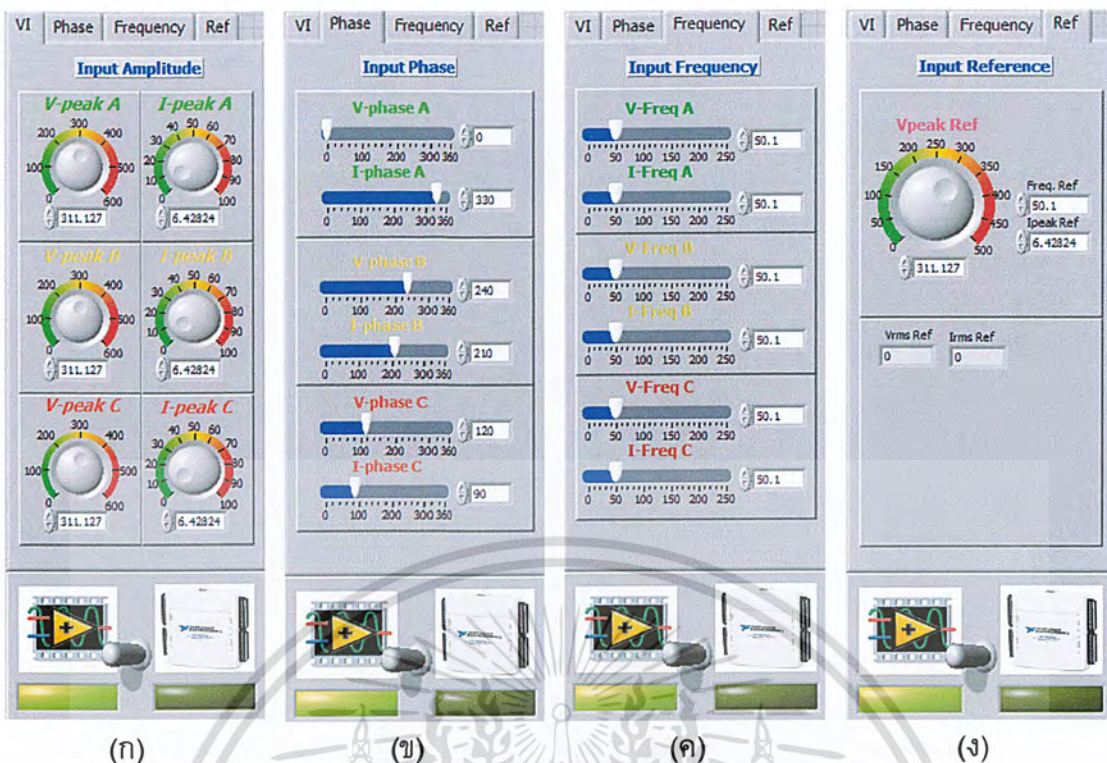
โดยในส่วนของสัญญาณอินพุตสามารถเปลี่ยนแหล่งของสัญญาณอินพุตจากสัญญาณจำลองมาเป็นสัญญาณจริงที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ได้โดยการกดสวิตช์ซึ่งจะอยู่ทางด้านล่างซ้ายหรือดูได้จากรูปที่ 3.4(ก) ในการเขียน Block Diagram ของสวิตช์นี้ดูได้จากรูป 3.4(ข) โดยจะทำการต่อสวิตช์ขั้วโยกที่ชื่อ Switch Sim-DAQ เข้ากับหลอดไฟที่ชื่อ DAQ กับ SIM เมื่อสวิตช์โยกอยู่ด้านซ้ายหลอดไฟของสัญญาณจำลองก็จะติด(เขียวอ่อน) และเมื่อสวิตช์โยกอยู่ด้านขวาหลอดไฟของ DAQ จะติดแทนส่วนหลอดไฟของสัญญาณจำลองก็จะดับ(เขียวแก่)



รูปที่ 3.4 สวิตช์เปลี่ยนชนิดของสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณจริงจากชุดอุปกรณ์

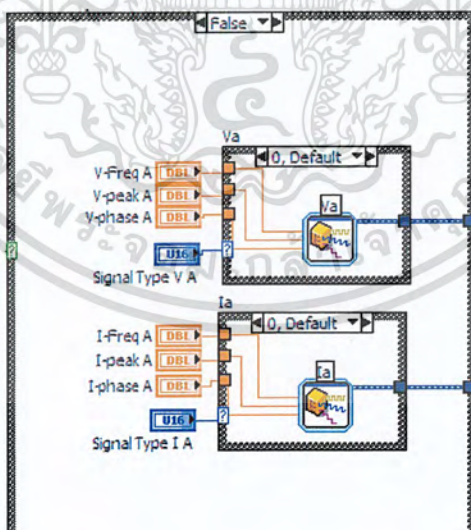
#### 3.1.1.2 ส่วนควบคุมสัญญาณจำลอง

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



รูปที่ 3.6 Block Diagram ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจำลอง

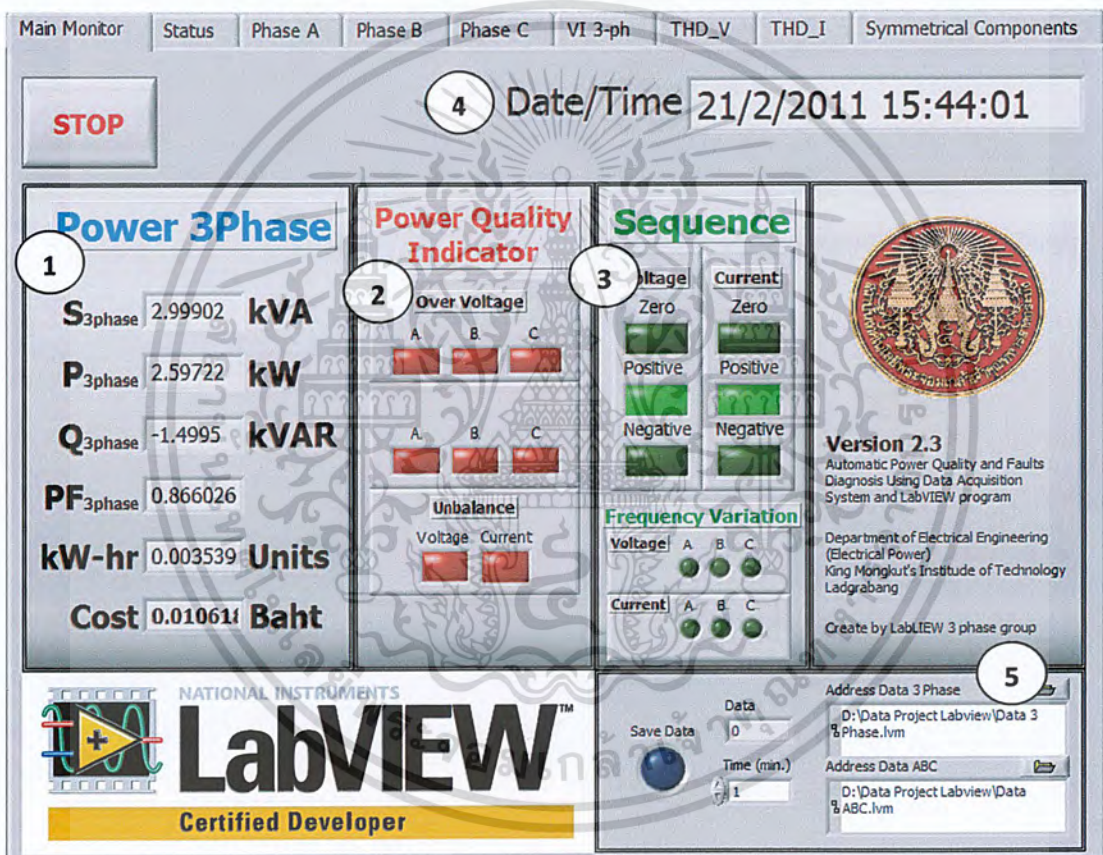
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การสร้างหน้าจอแสดงผลควบคุม

ในส่วนของการสร้างหน้าจอแสดงผลควบคุม เป็นส่วนที่ใช้แสดงผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงรูปคลื่นสัญญาณโดยจะแบ่งเป็น 7 ส่วนย่อยดังนี้

#### 3.1.2.1 หน้าจอหลัก Main Monitor

เป็นส่วนที่ใช้แสดงผลการคำนวณหาค่ากำลังทางไฟฟ้าสามเฟส, แจ้งเตือนความผิดปกติ และส่วนของการบันทึกข้อมูลของสัญญาณไฟฟ้าสามเฟส รวมถึงหน้าจอที่แสดงวันเวลา ในขณะที่โปรแกรมกำลังทำงานอยู่ ตามรูปที่ 3.7 ในส่วนของการคำนวณหาค่ากำลังทางไฟฟ้าสามเฟสนั้น เป็นการนำค่าของกำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ของสัญญาณไฟฟ้าทั้งสามเฟส มารวมกัน



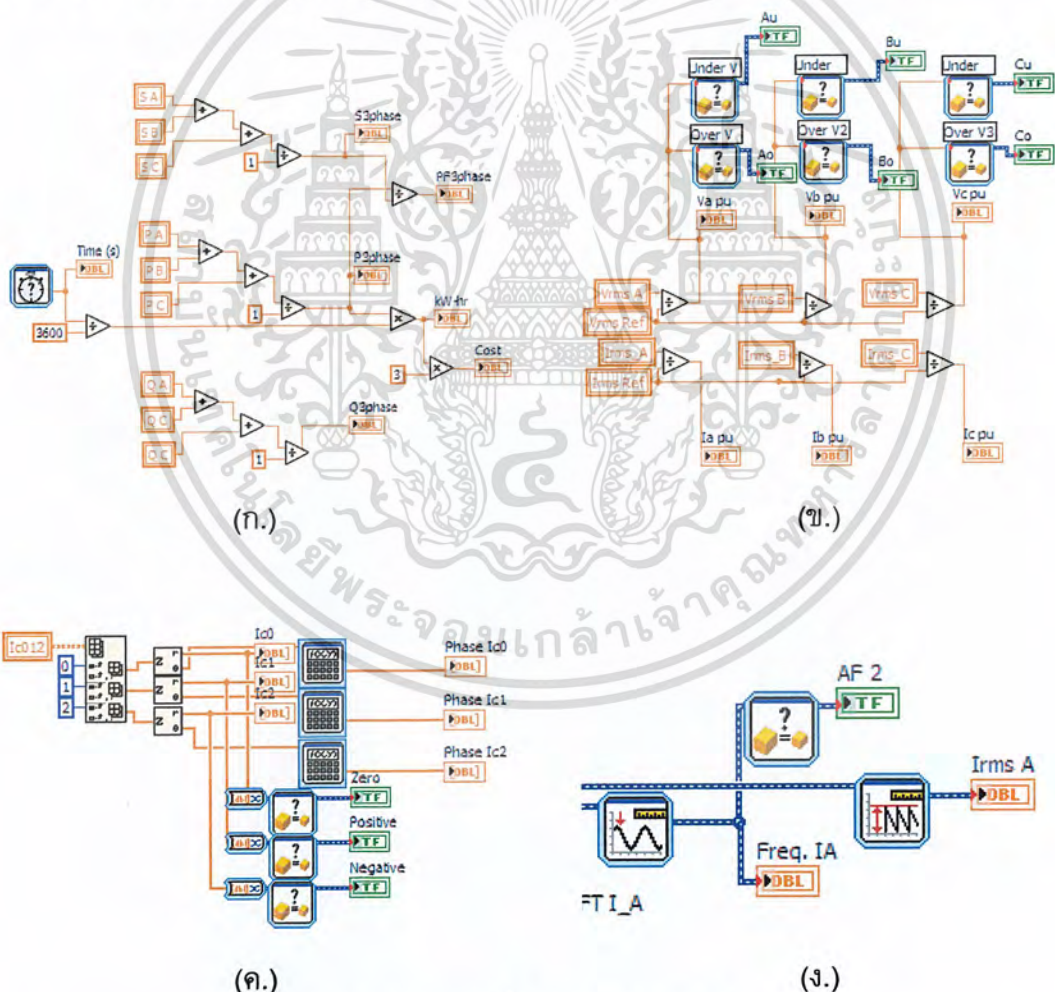
รูปที่ 3.7 หน้าจอ Main Monitor

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนการเขียน Block Diagram ของหน้าจอ Main Monitor จะประกอบไปด้วย

1. การคำนวณหาค่ากำลังทางไฟฟ้าสามเฟส เริ่มจากการนำกำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ของสัญญาณไฟฟ้าทั้งสามเฟส มารวมกัน แล้วให้แสดงค่าที่ Numerical Indicator และมีการคิดหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไปในหน่วย kW/hr โดยนำค่ากำลังไฟฟ้าจริงหารด้วยเวลาในหน่วยชั่วโมง ดังรูปที่ 3.8 ก.
2. สัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า ใช้ Comparison ในการเปรียบเทียบเพื่อส่งผลไปยังหลอดไฟในหน้า Main Monitor เมื่อค่า Per Unit ของแรงดันและกระแสมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.8 ข.
3. สมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส ใช้ Comparison เปรียบเทียบขนาดของส่วนประกอบเฟสลำดับศูนย์และลบ(มีค่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล)ก่อนส่งผลไปยังหลอดไฟ ดังรูปที่ 3.8 ค.
4. การเปลี่ยนแปลงของความถี่ ใช้ Comparison เปรียบเทียบความถี่ที่ตั้งค่าไว้คือ 50Hz ก่อนส่งผลไปยังหลอดไฟ ดังรูปที่ 3.8 ง.



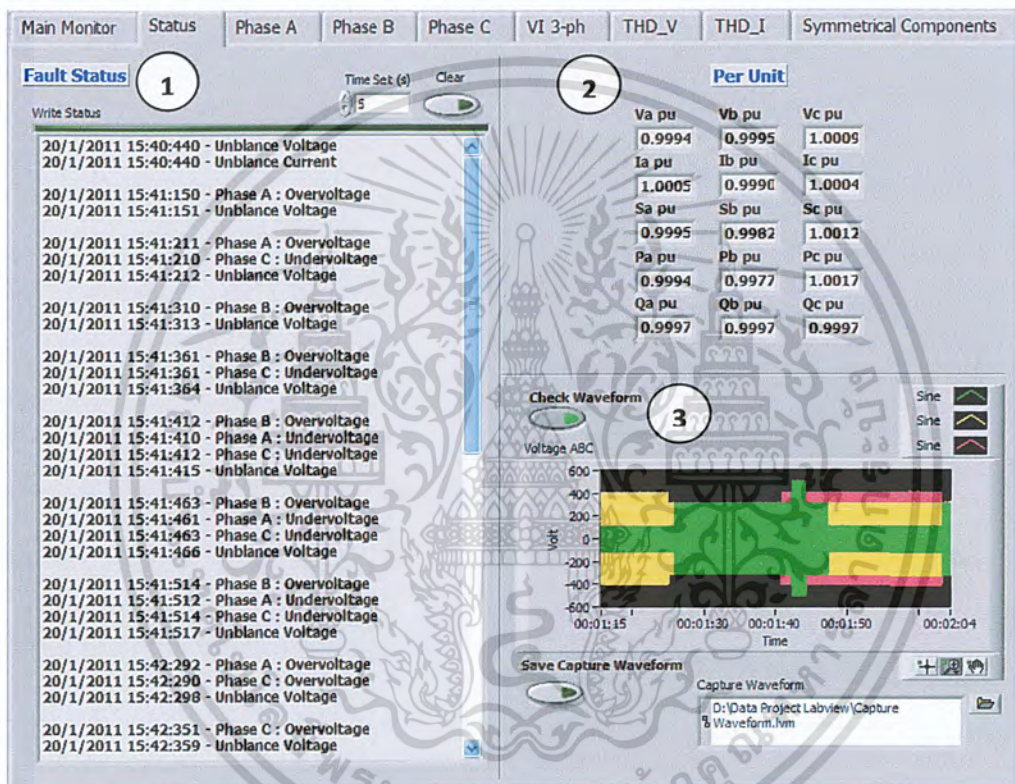
รูปที่ 3.8 Block Diagram ที่ใช้เขียนหน้าจอ Main Monitor

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.2 หน้าจอแสดงสถานะ (Status)

ด้านซ้ายเป็นส่วนที่แสดงสถานะความผิดปกติของสัญญาณต่างๆ โดยจะบอกวันและเวลาของการเกิดความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งสามารถตั้งเวลาในการแจ้งเตือนและลบข้อความที่เตือนขึ้นมาได้ ส่วนด้านขวาบนแสดงผลการคำนวณในหน่วย Per Unit ของแรงดัน, กระแส และกำลังทางไฟฟ้าทั้งสามเฟส ส่วนด้านล่างขวาเป็นพื้นที่ใช้ในการตรวจสอบรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในขณะนั้น โดยกดปุ่ม Check Waveform และสามารถบันทึกรูปคลื่นสัญญาณนั้นได้โดยกดปุ่ม Save Capture Waveform ในขณะที่ทำกรรันโปรแกรม ตามรูปที่ 3.9

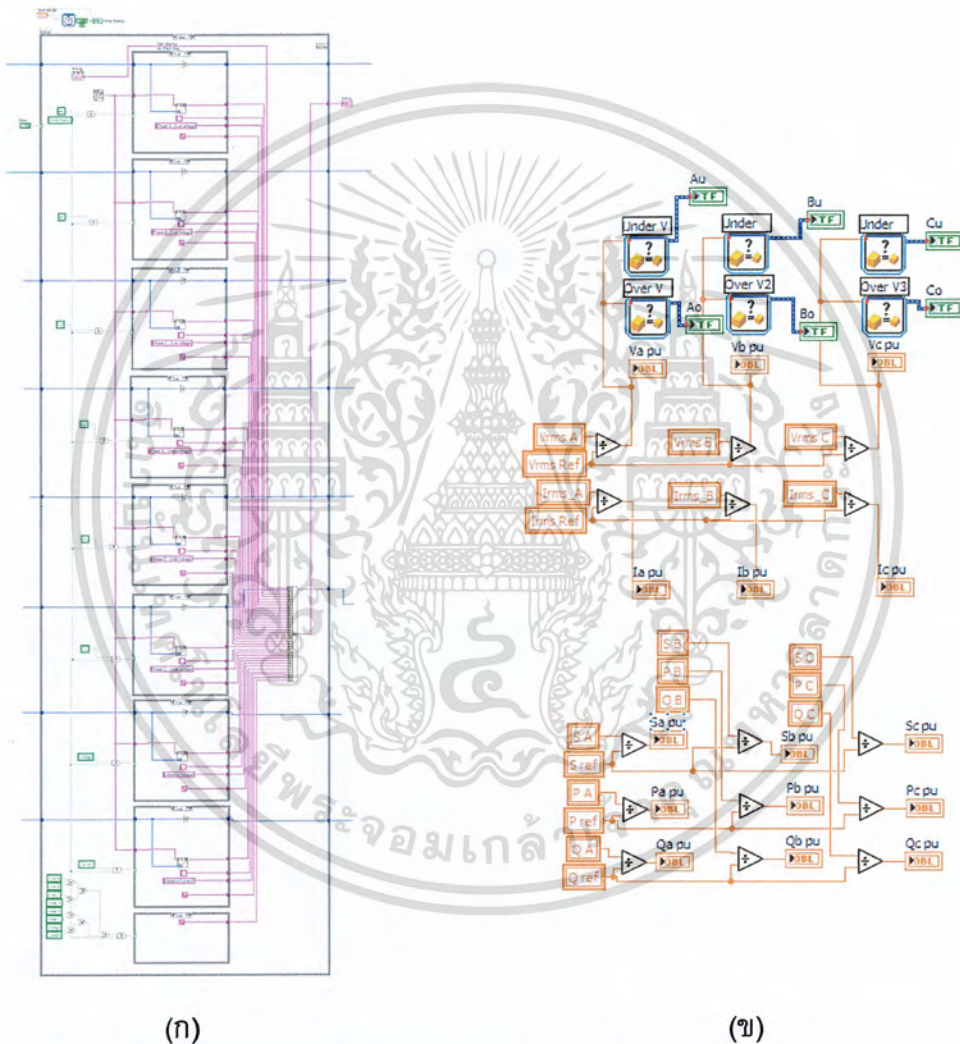


รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงสถานะ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียน Block Diagram ของหน้าจอแสดงสถานะจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ หน้าจอแสดงสถานะเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณ (รูปที่ 3.10 ก.) และในส่วนของ Per Unit (รูปที่ 3.10 ข.) ซึ่งในส่วนแรกจะเป็นการใช้ Case Structure ในการสร้างเงื่อนไขของความผิดปกติต่างๆร่วมกับเวลาที่จะใช้ในการพิมพ์ข้อความ โดยข้อความที่พิมพ์นั้นจะแสดงวัน, เวลา และชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟส ในส่วนที่สองจะนำค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันและกระแสทั้งสามเฟสมาหารกับค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันและกระแสอ้างอิง เพื่อหาค่าแรงดันและกระแสในหน่วยของ Per Unit

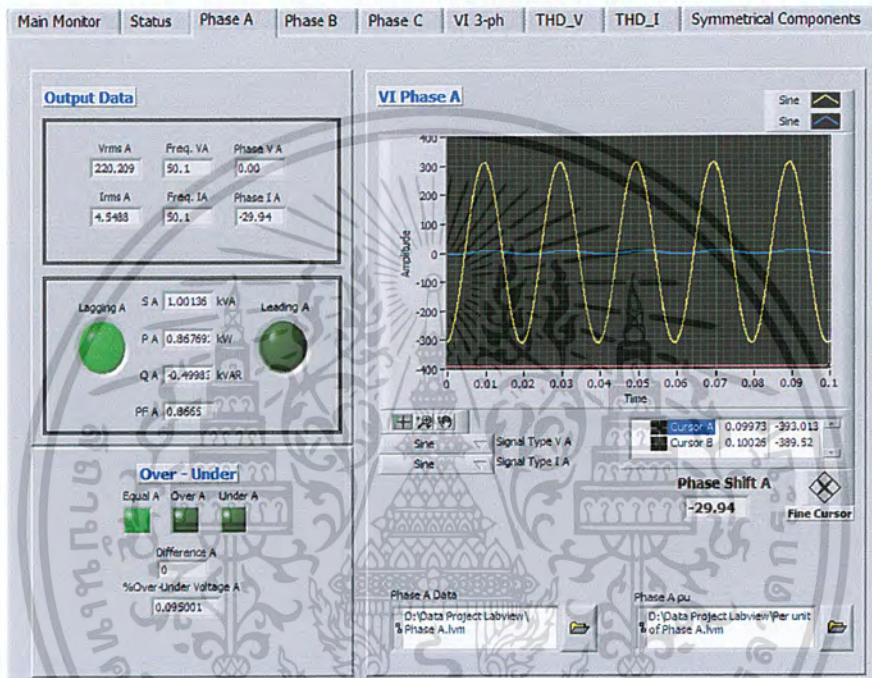


รูปที่ 3.10 (ก) Block Diagram หน้าจอแสดงสถานะ (ข) Block Diagram ของการหา Per Unit

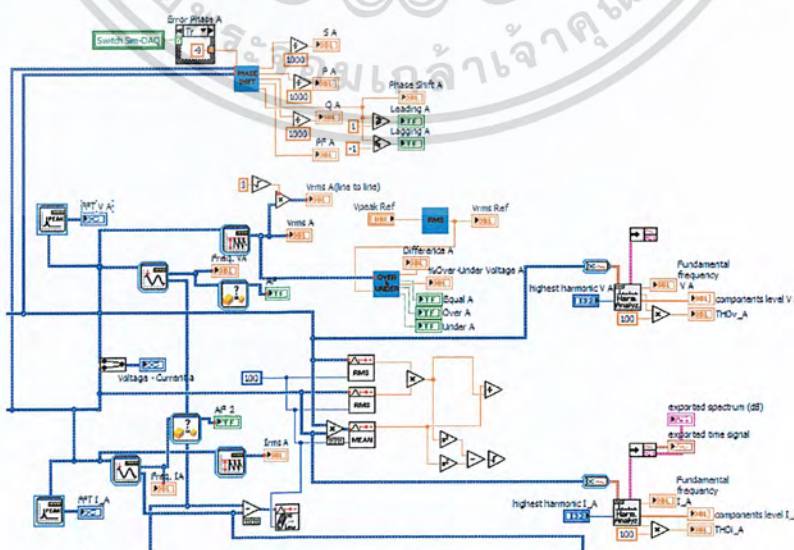
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.3 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส

เป็นส่วนแสดงข้อมูลในแต่ละเฟส โดยประกอบไปด้วย ค่าแรงดัน (อาร์เอ็มเอส), ค่ากระแส (อาร์เอ็มเอส), มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส, กำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้าเสมือน, ตัวประกอบกำลัง, รูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแส รวมถึงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกินดังรูปที่ 3.11 โดยเมื่อมีค่ามากกว่า 1.1 pu. หรือน้อยกว่า 0.9 pu. ก็จะทำให้หลอดไฟในหน้าจอหลัก Main Monitor ทำงาน และมี Block Diagram ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส



รูปที่ 3.12 Block Diagram ของสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

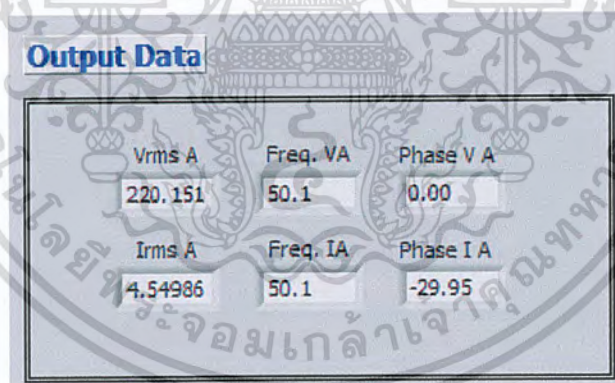
ในส่วนการออกแบบ Front Panel และเขียน Block Diagram ของหน้าจอ Phase A,B,C ประกอบไปด้วย

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

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

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

4. หน้าจอที่ใช้แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส ด้านล่างของรูปคลื่นสัญญาณมี Ring Constant เพื่อใช้เปลี่ยนลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณและเครื่องมือเพื่อที่จะช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณของแรงดันและกระแส ดังรูปที่ 3.18 และมีการเขียน Block Diagram ดังรูปที่ 3.19



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

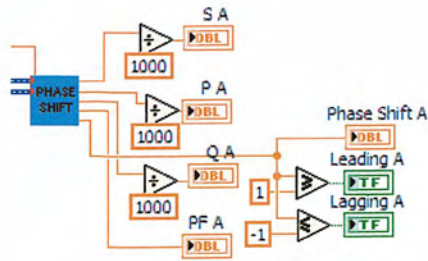
รูปที่ 3.13 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสัญญาณทางไฟฟ้า



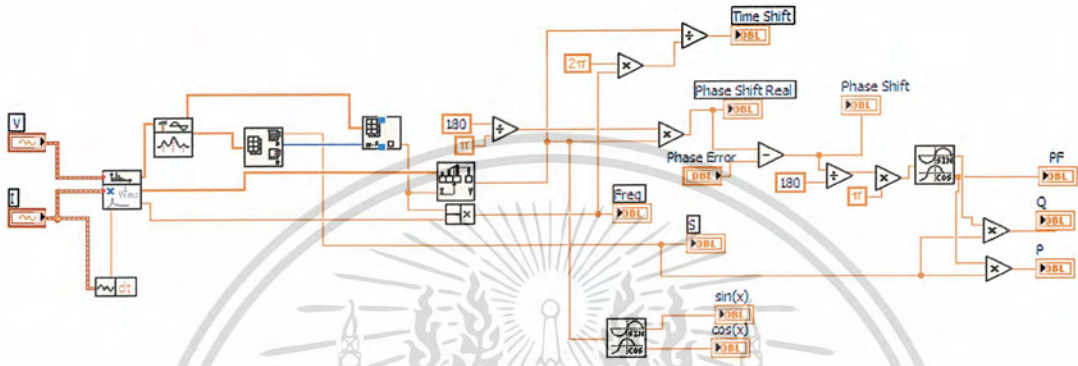
Lagging A	S A	1.00126	kVA	Leading A
	P A	0.86757	kW	
	Q A	-0.49983	kVAR	
	PF A	0.8665		

รูปที่ 3.14 กำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

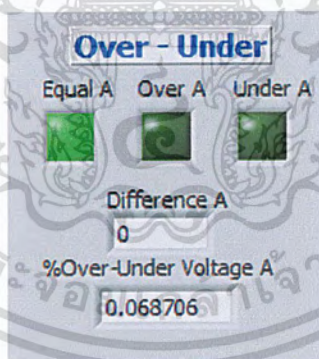


(ก.)

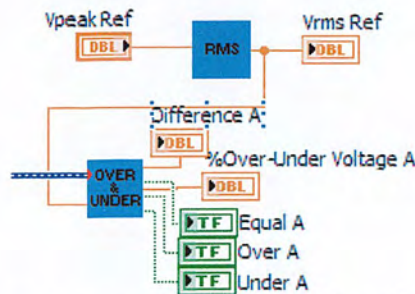


(ข.)

รูปที่ 3.15 (ก.) Block Diagram ของการหาค่ากำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส, (ข.) Block Diagram ภายใน SubVI Phase Shift

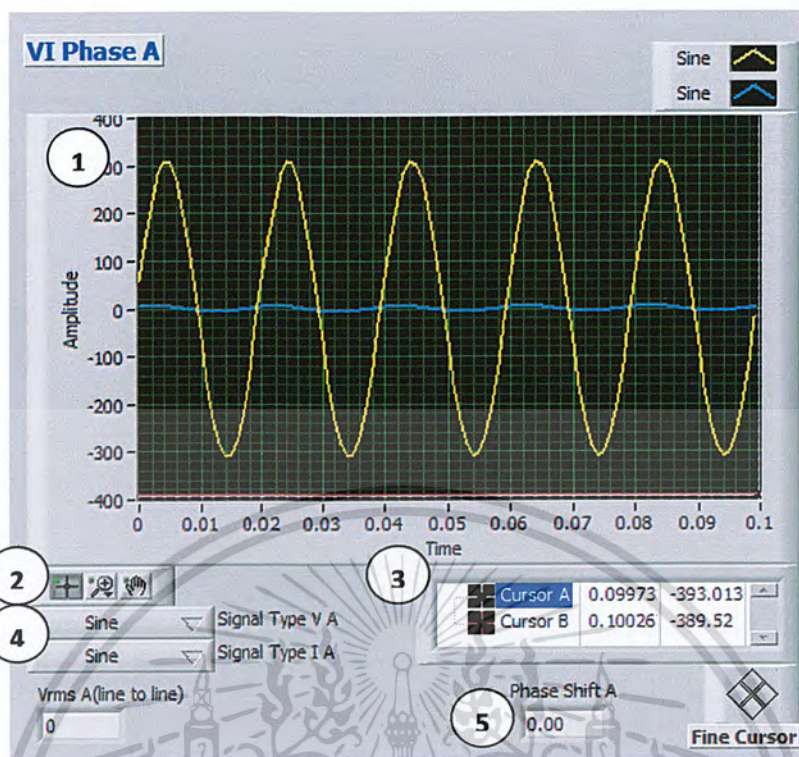


รูปที่ 3.16 หน้าจอแสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน



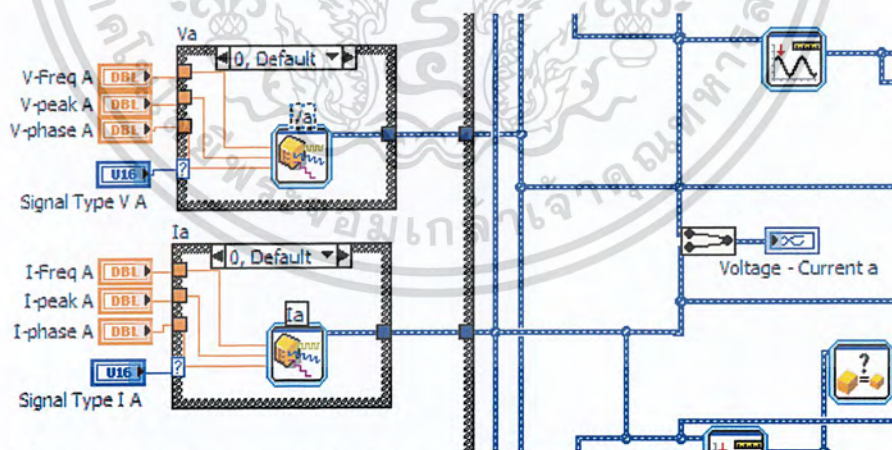
รูปที่ 3.17 Block Diagram ของการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส

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

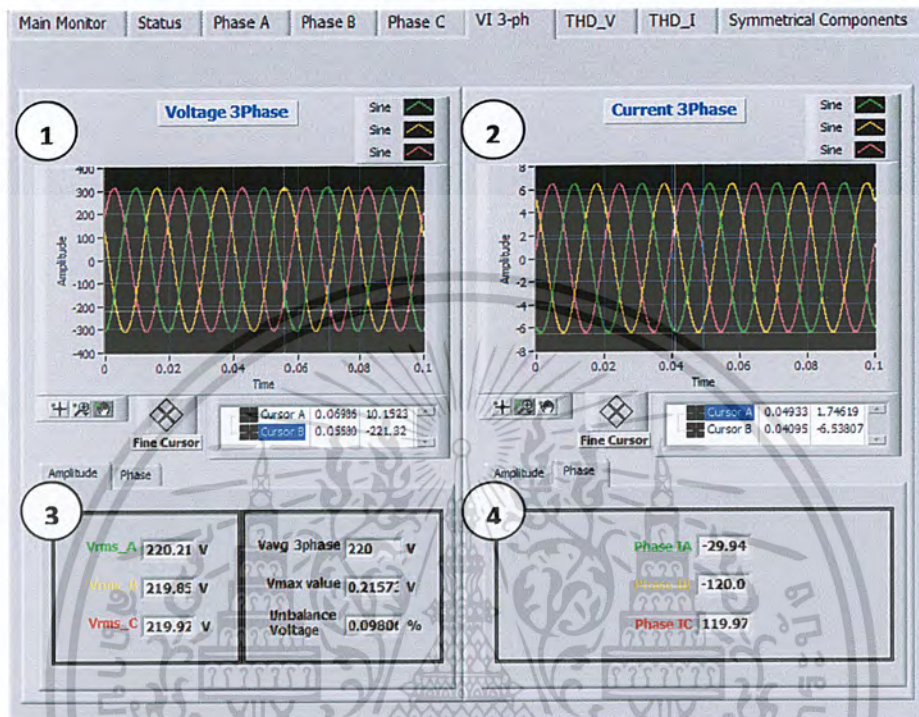


รูปที่ 3.19 Block Diagram หน้าจอแสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

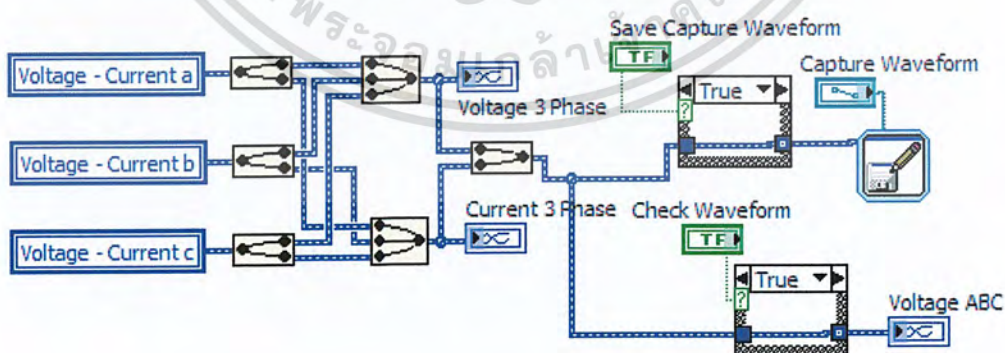
### 3.1.2.4 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส

แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟส รวมถึงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันและกระแสไม่สมดุล เมื่อมีค่ามากกว่า 5% จะทำให้หลอดไฟในหน้าจอหลัก Main Monitor ทำงาน ซึ่งมี Front Panel และ Block Panel ดังรูปที่ 3.20 และ 3.21 ตามลำดับ



รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส

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

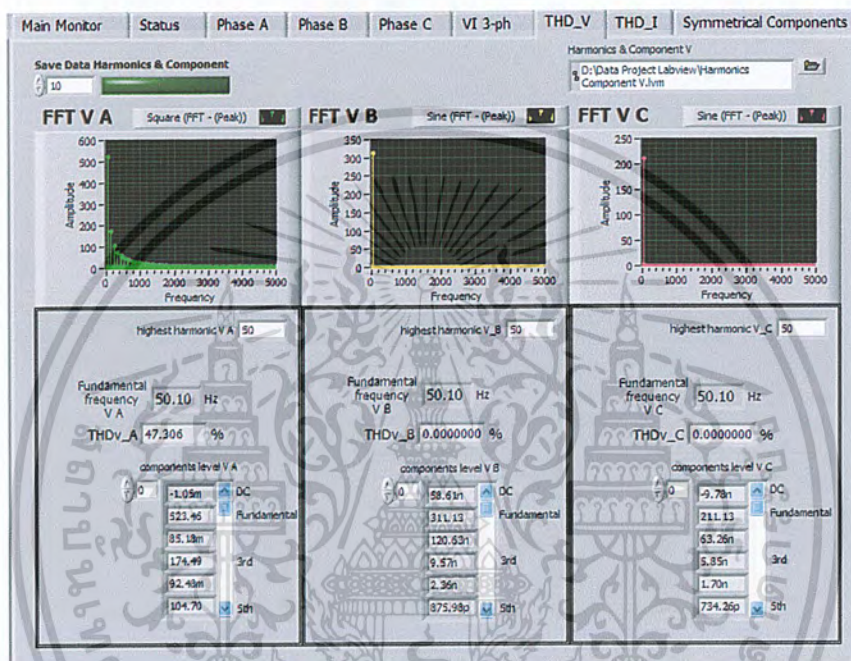


รูปที่ 3.21 Block Diagram ของรูปสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส

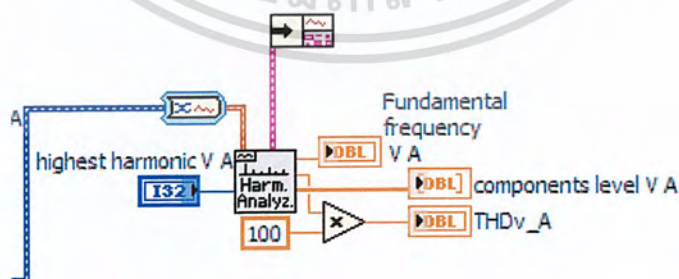
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.5 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนค่าฮาร์มอนิก ของแรงดันและกระแส โดยจะแสดงค่าเป็นแบบกราฟ FFT ดังรูปที่ 3.22 และโดยทั่วไปแล้วส่วนประกอบฮาร์มอนิกอันดับที่สูง ๆ (สูงกว่าอันดับที่ 25th ถึง 50th ขึ้นอยู่กับแต่ละระบบ) ส่วนใหญ่เราจะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากไม่ค่อยสร้างความเสียหายให้แก่ระบบไฟฟ้ากำลังมากเท่าใดนัก ในส่วนของการคำนวณจะใช้ฟังก์ชัน Harmonic Distortion Analyzer ดังรูปที่ 3.23 ในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาค่า %THD และขนาดของความถี่มูลฐานที่เกิดขึ้นภายในสัญญาณ



รูปที่ 3.22 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก

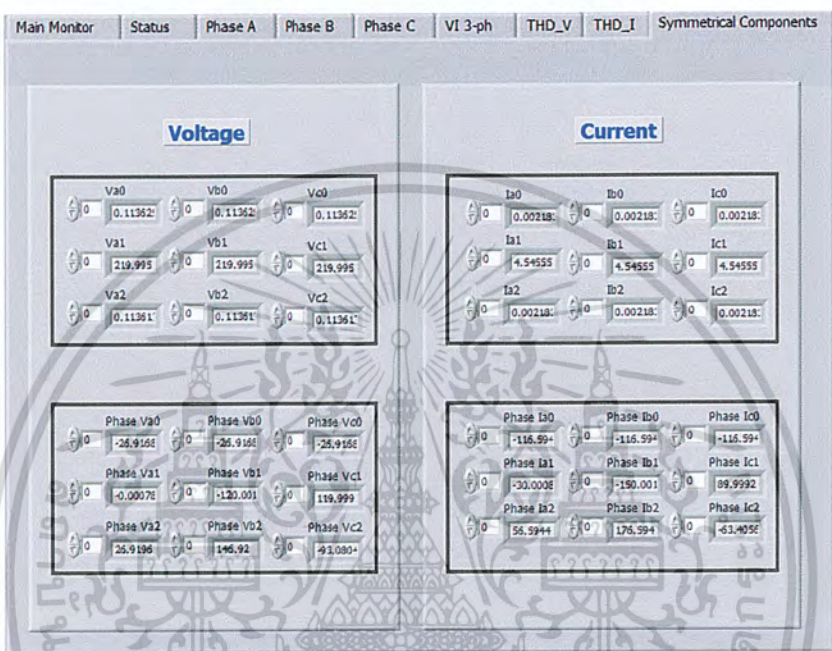


รูปที่ 3.23 Block Diagram ของการวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก

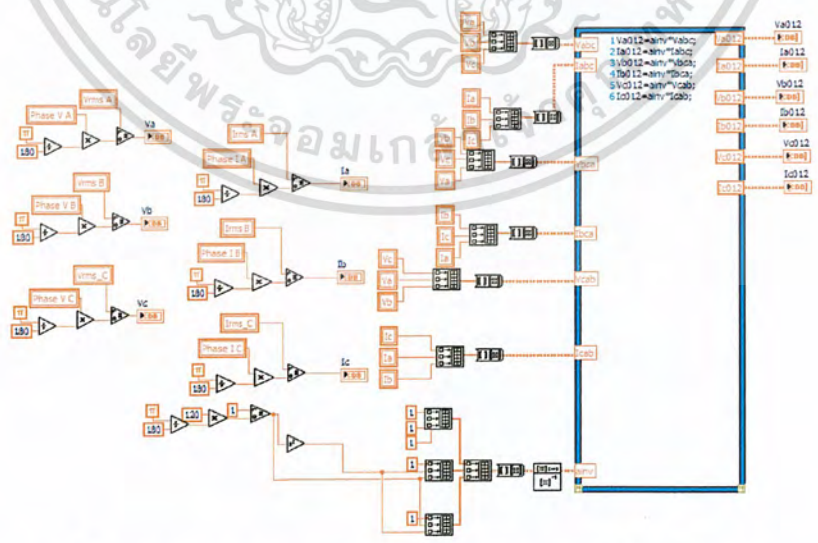
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.6 หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสในรูปของเมทริกซ์(Matrix) โดยจะแยกเป็นสองส่วนคือ แรงดันและกระแส ดังรูปที่ 3.24 โดยเมทริกซ์ด้านบนแสดงขนาดของส่วนประกอบเฟสลำดับศูนย์, บวกและลบ ในแต่ละเฟส เมทริกซ์ด้านล่างแสดงมุมเฟสของส่วนประกอบเฟสในแต่ละเฟสเช่นกัน มี Block Diagram ที่ใช้ในการคำนวณดังรูปที่ 3.25 ซึ่งจะใช้ MathScript ในการเขียนสูตรเพื่อแปลงให้แรงดันและกระแสมาอยู่ในรูปของส่วนประกอบสมมาตร



รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

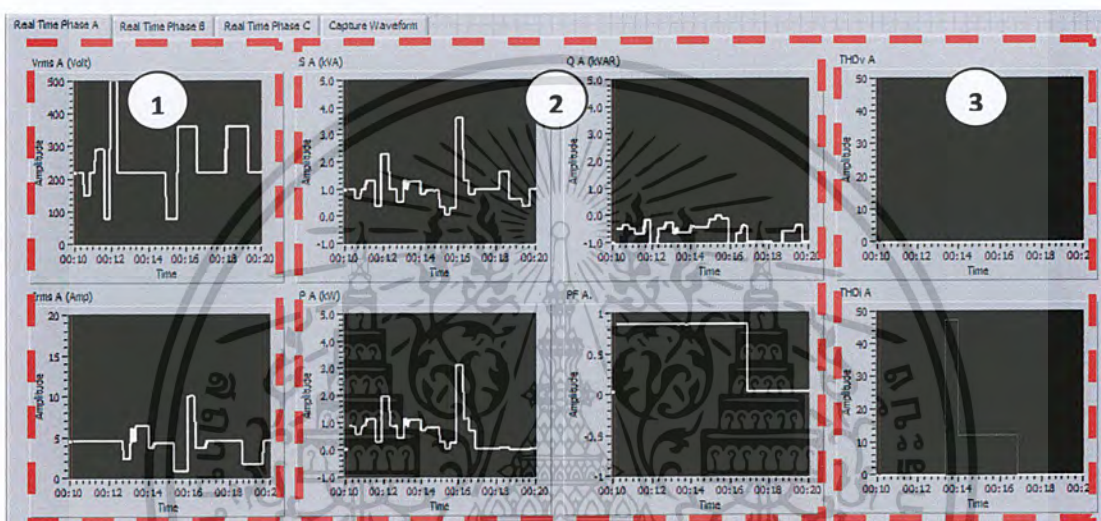


รูปที่ 3.25 Block Diagram ของการหาสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

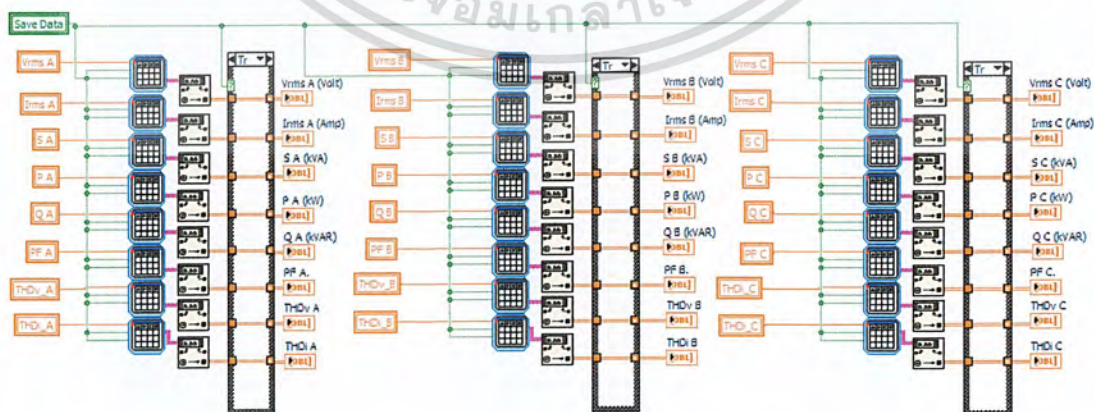
### 3.1.2.7 หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์ (Real time Measurement)

ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์ได้ออกแบบให้หน้าค่าต่างๆ ที่วัดได้มาพล็อตลงบนกราฟเพื่อแสดงผลในเชิงสถิติ ดังรูปที่ 3.26 โดยความถี่ในการเก็บข้อมูลสามารถปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมได้จากเวลาที่ตั้งเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลในหน้า Main Monitor ส่วน Block Diagram ที่ใช้จะประกอบไปด้วยส่วนของ Build Table ดังรูปที่ 3.27 เพื่อรับค่าและสัญญาณในการบันทึกข้อมูล ซึ่งเอาท์พุทที่ออกจาก Build Table จะเป็นข้อมูลชนิด String ดังนั้นต้องใช้ Fract/Exp String To Number เพื่อที่จะเปลี่ยนชนิดข้อมูลจาก String กลับมาเป็น Number จากนั้นก็ส่งค่าให้แสดงผลบน Chart



รูปที่ 3.26 หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์

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

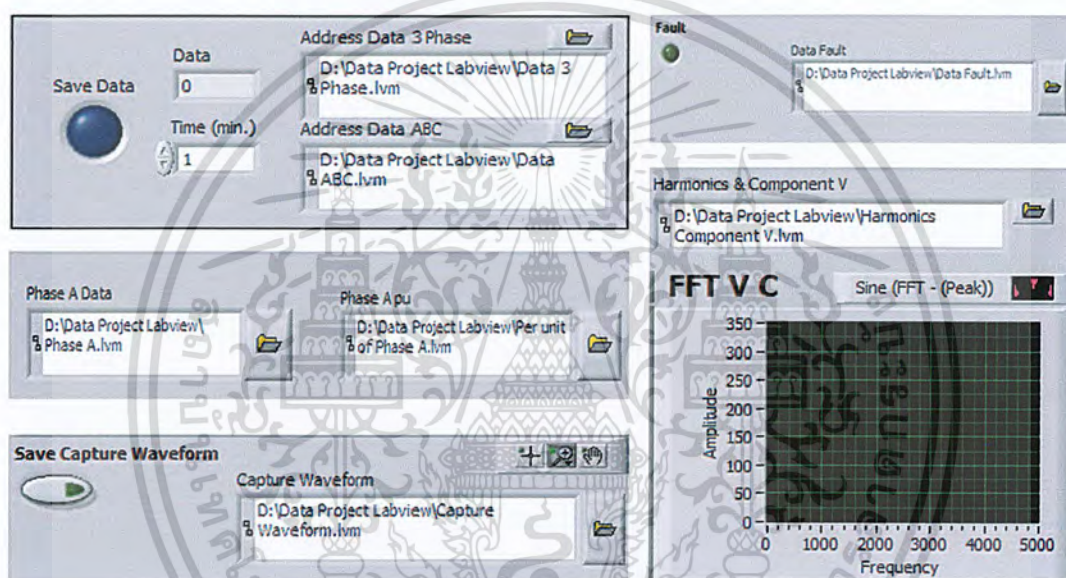


รูปที่ 3.27 Block Diagram ของการแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 การบันทึกข้อมูล

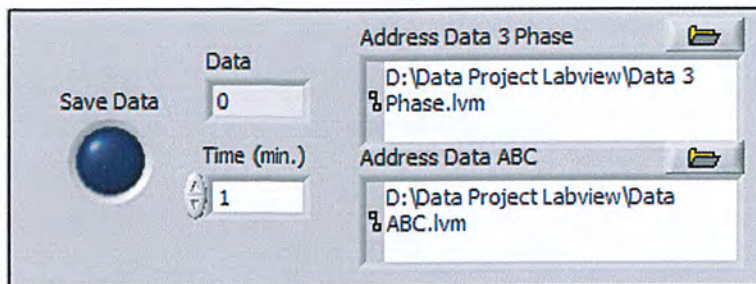
ในการบันทึกข้อมูลของโปรแกรมจะแบ่งไฟล์ที่ใช้บันทึกข้อมูลในแต่ละส่วนตามหน้าจอที่แสดงผลการควบคุม ซึ่งสามารถเขียนที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการบันทึกลงบน File Path Indicator ตามหน้าจอที่แสดงผลนั้นๆ ดังรูปที่ 3.28 ซึ่งภายในหน้า Main Monitor จะเป็นการเก็บข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆแบบสามเฟสและแบบแยกแต่ละเฟส ในหน้า Status จะเก็บข้อมูลเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณและรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสทั้งสามเฟส เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นในภายหลังได้ ในหน้า Phase A, B, C เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลในแต่ละเฟสโดยแยกเป็น ค่าที่วัดได้ตามหน่วยของพารามิเตอร์และค่าที่วัดได้ในหน่วย Per Unit ในหน้า THD\_V และ THD\_I ใช้เก็บข้อมูลความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกในแต่ละเฟส



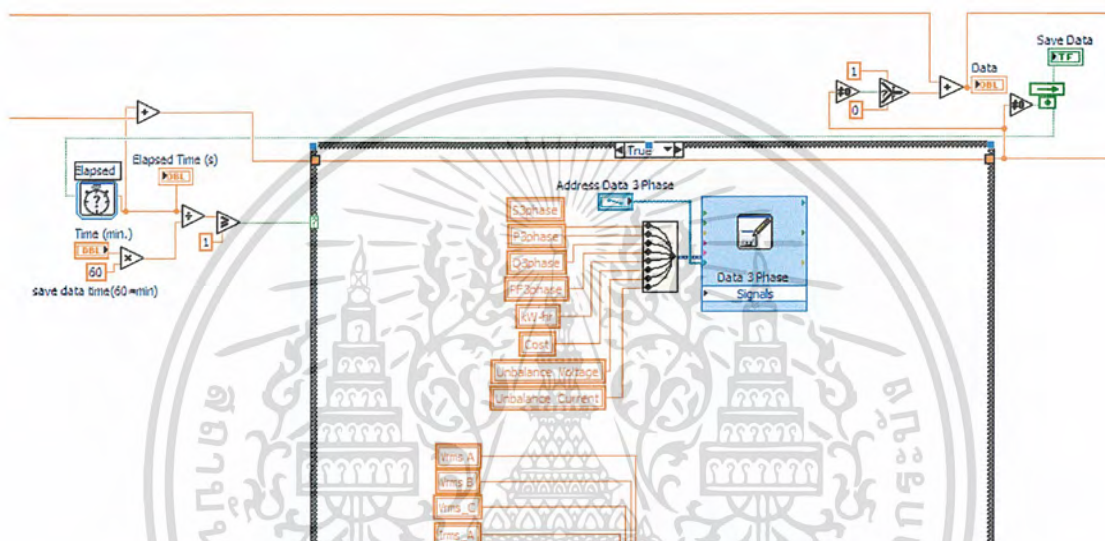
รูปที่ 3.28 หน้าจอของการบันทึกข้อมูล

#### 3.1.3.1 การบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด

เมื่อชุดโปรแกรมมีการบันทึกข้อมูลหลุดไฟ Save Data จะสว่างเป็นสีฟ้าอ่อนและดับลงจำนวนข้อมูลที่ทำการบันทึกจะแสดงอยู่ในช่อง Data สามารถปรับเปลี่ยนจำนวนความถี่ที่ใช้ในการบันทึกได้ภายในช่อง Time(min.) และมีช่องใส่ตำแหน่งของไฟล์ข้อมูลที่ทำกรบันทึกอยู่ทางด้านขวา ดังรูปที่ 3.29 ในส่วนของ Block Diagram จะใช้ Elapsed Time ในการเซตเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล และใช้ Write to Measurement File ในการเก็บข้อมูลให้อยู่ในไฟล์ \*.lvm ดังรูปที่ 3.30



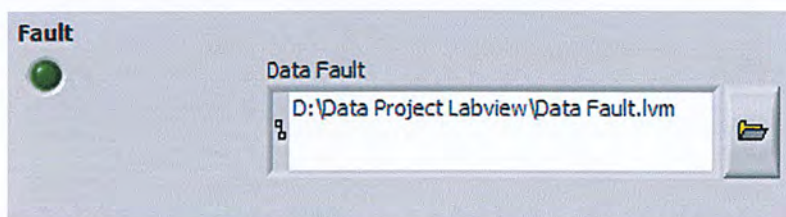
รูปที่ 3.29 หน้าจอของการบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด



รูปที่ 3.30 Block Diagram ของการบันทึกข้อมูล

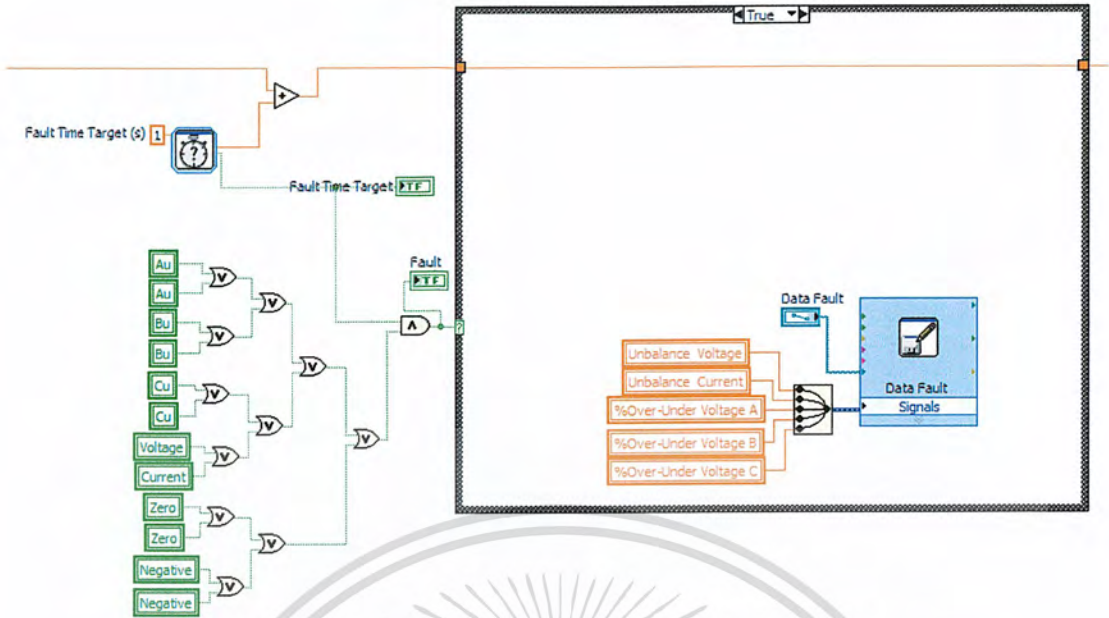
### 3.1.3.2 การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า

เป็นส่วนที่จะทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณ อยู่ในหน้า Status ของโปรแกรม ดังรูปที่ 3.31 เมื่อมีการบันทึกข้อมูลหลุดไฟ Fault จะติดไฟเป็นสีเขียวอ่อน จนสัญญาณกลับมาเป็นปกติหลุดไฟจะดับแล้วหยุดการบันทึกข้อมูล เมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณอีกครั้ง โปรแกรมก็จะทำการบันทึกข้อมูลเพิ่มต่อไป ภายใน Block Diagram จะใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ของสัญญาณที่ผิดปกติมา OR เข้าด้วยกันเพื่อให้โปรแกรมในส่วนนี้ทำงานเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.31 การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า

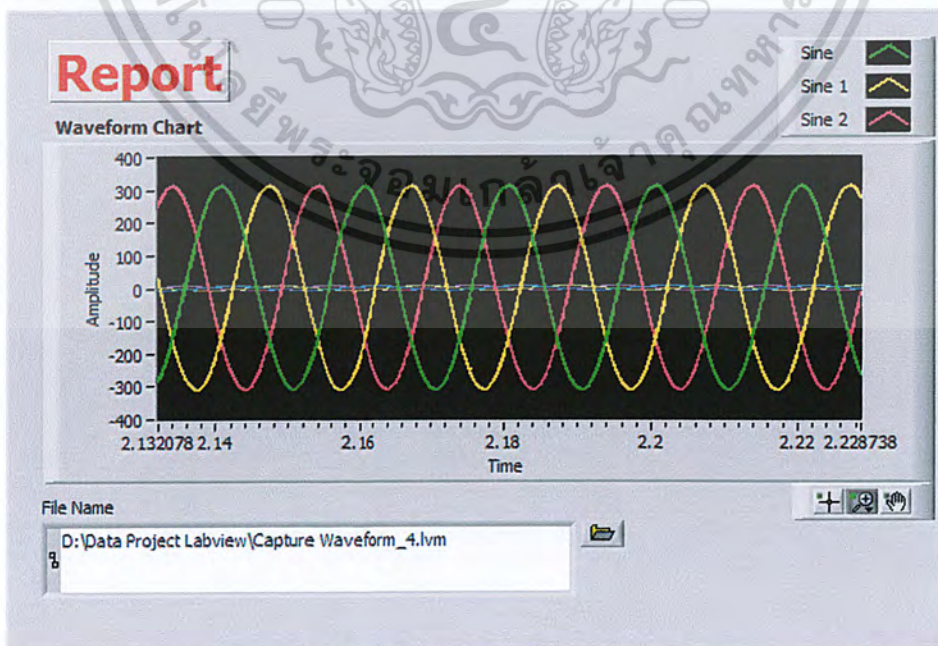
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 Block Diagram ของการบันทึกข้อมูลเมื่อมีความผิดปกติของสัญญาณ

### 3.1.4 การอ่านข้อมูล

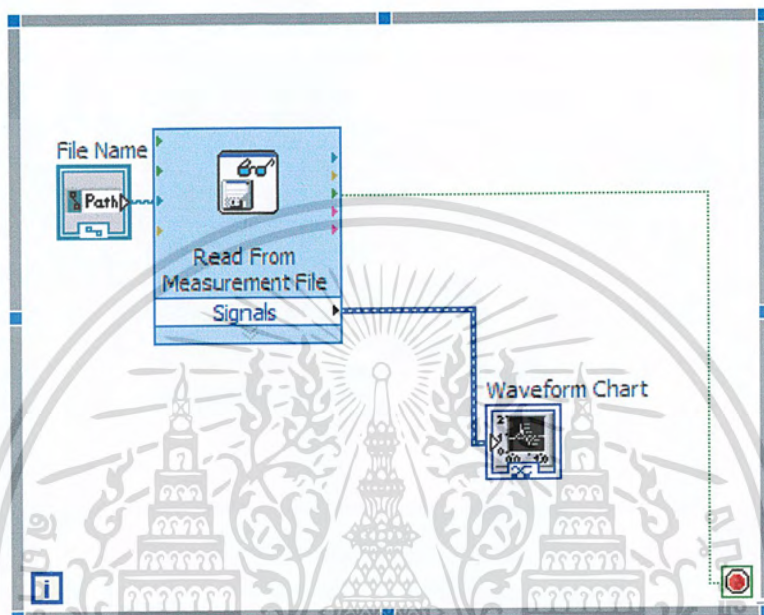
ในส่วนของการอ่านข้อมูลที่บันทึกในโปรแกรม LabVIEW สามารถอ่านไฟล์ \*.lvm ได้โดยใช้ชื่อไฟล์ลงบน File Name แล้วกด RUN ก็จะได้เห็นข้อมูลที่บันทึกแสดงผลอยู่บนกราฟ ดังรูปที่ 3.33 จากนั้นสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยคลิกขวาที่รูปภาพแล้วไปที่ Visible Items เพื่อเรียกชุดอุปกรณ์ Graph Palette และ Cursor Legend ขึ้นมา



รูปที่ 3.33 หน้าจอส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียน Block Diagram นั้นเป็นไปตามรูปที่ 3.34 ซึ่งประกอบไปด้วย File Path Indicator, Read From Measurement File และ Waveform Chart เมื่อกดปุ่ม RUN โปรแกรมจะอ่านไฟล์พร้อมทั้งส่งข้อมูลแสดงบน Waveform Chart โปรแกรมจะหยุดทำงานก็ต่อเมื่ออ่านไฟล์ข้อมูลเสร็จหรือหยุดโปรแกรม จากนั้นก็สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้นบน Waveform Chart ที่หน้าจอ Front Panel

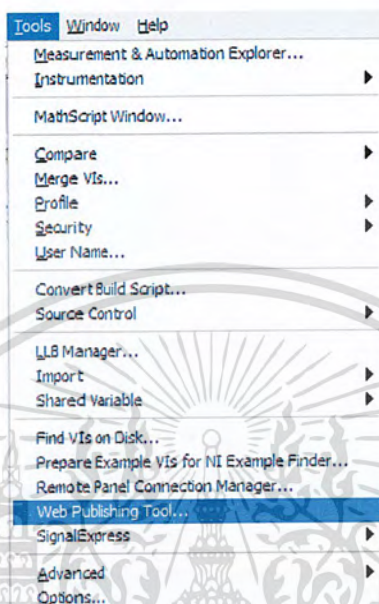


รูปที่ 3.34 Block Diagram ส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

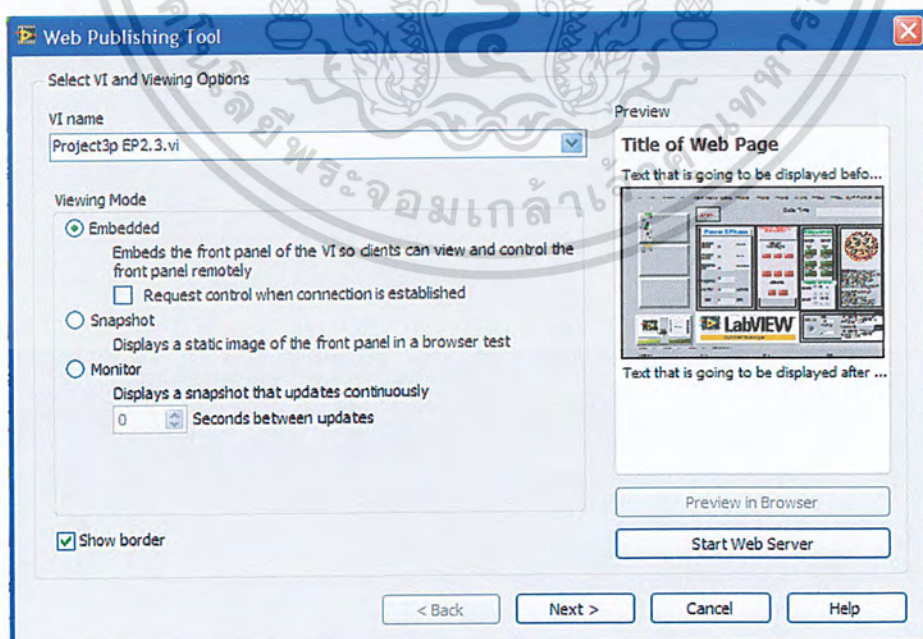
### 3.1.5 การควบคุมโปรแกรมระยะทางไกลผ่านระบบออนไลน์

โปรแกรม LabVIEW สามารถทำการควบคุม Front Panel ของเราผ่านเว็บได้ ซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นสามารถในเน็ตเวิร์กสามารถเข้ามาดูและควบคุมมอนิเตอร์ของโปรแกรมได้ โดยทำการเลือกเมนู Tools >> Web Publishing Tools ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 เมนู Tools

เราจะได้หน้าจอ Web Publishing Tools ดังรูปที่ 3.36

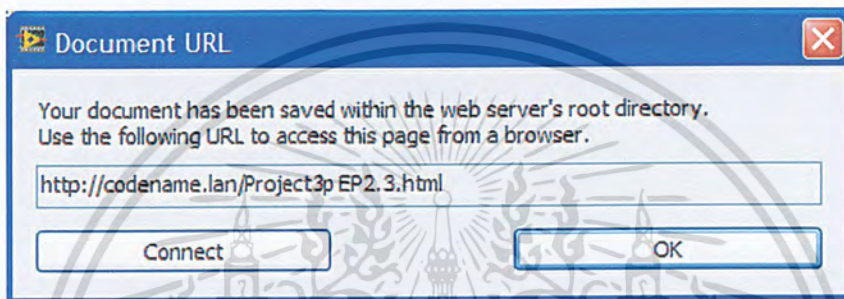


รูปที่ 3.36 หน้าจอ Web Publishing Tools

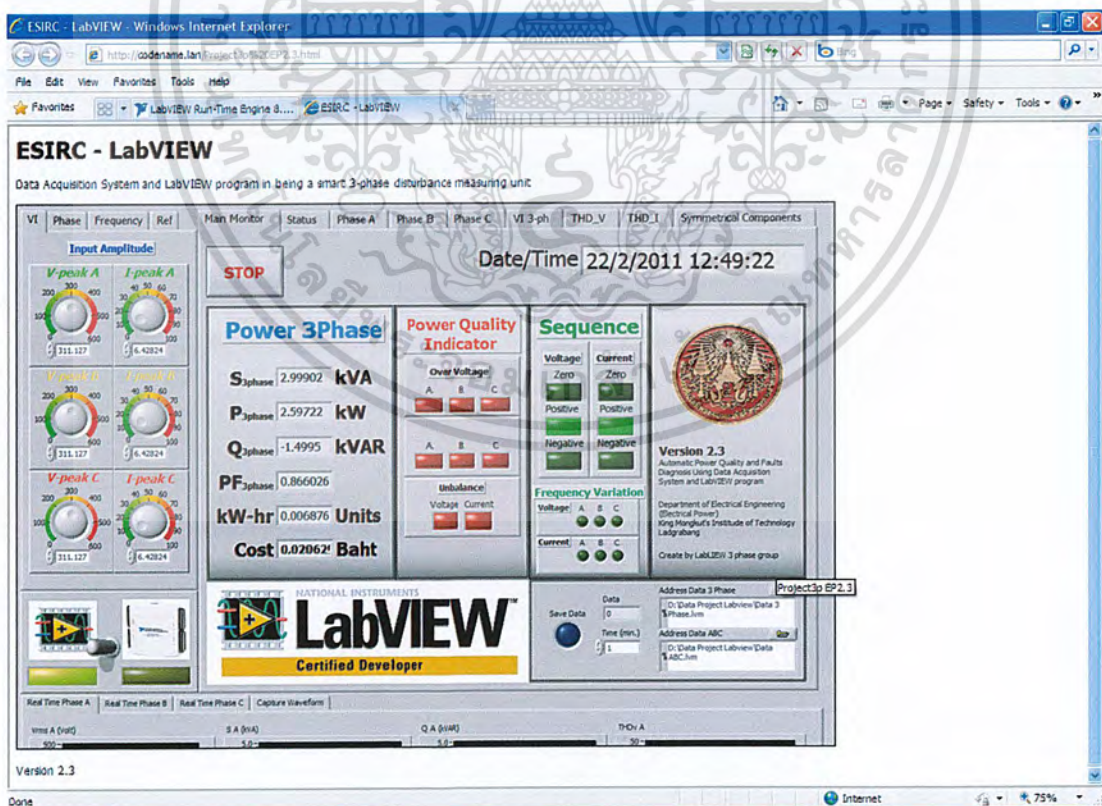
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเลือกชื่อ VI ที่ต้องการและเลือก Viewing Mode ซึ่งมีให้เลือกสามโหมด ได้แก่

- Embedded : เป็นการฝัง LabVIEW Front Panel เข้าไปในเว็บเบราว์เซอร์ซึ่งสามารถมองเห็นและควบคุมการใช้งาน VI นี้ได้เหมือนกับเครื่องที่รันจริงๆ
  - Snapshot : ทำการส่งภาพนิ่งออกไปเพียงภาพเดียว
  - Monitor : ทำการส่งภาพนิ่งเช่นกัน แต่สามารถอัปเดตได้ตามเวลาที่กำหนดไว้
- เลือกโหมดที่ต้องการแล้วกดปุ่ม Next จะเจอหน้าจอ Select HTML Output เพื่อพิมพ์หัวข้อเรื่องและรายละเอียดตามที่ต้องการจากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อทำการบันทึกเอกสาร HTML ให้เลือกชื่อไฟล์ตามที่ต้องการแล้วกด Save to Disk แล้วกด Connect ดังรูปที่ 3.37 แล้วจะหน้าเว็บดังรูปที่ 3.38



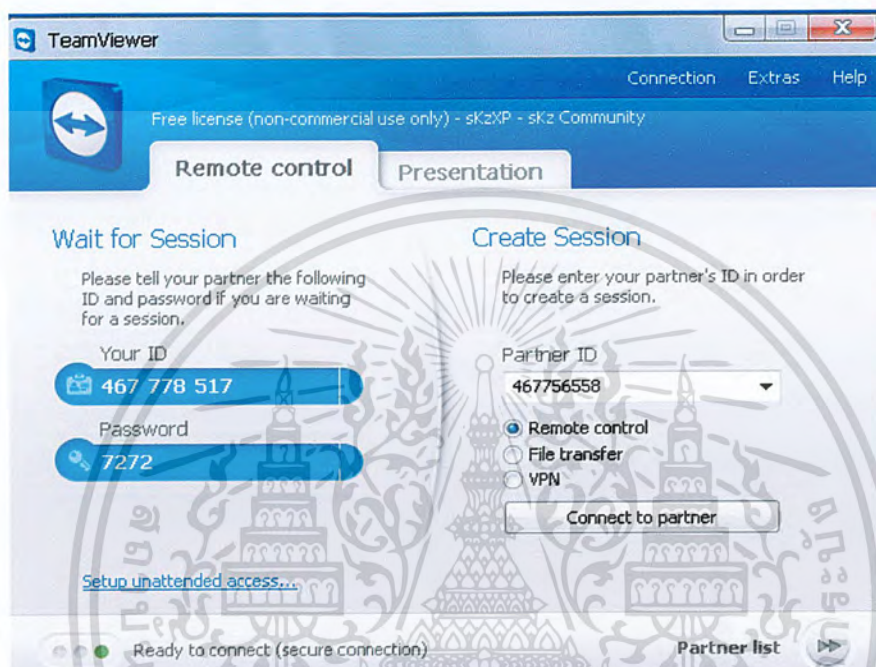
รูปที่ 3.37 หน้าจอ Document URL



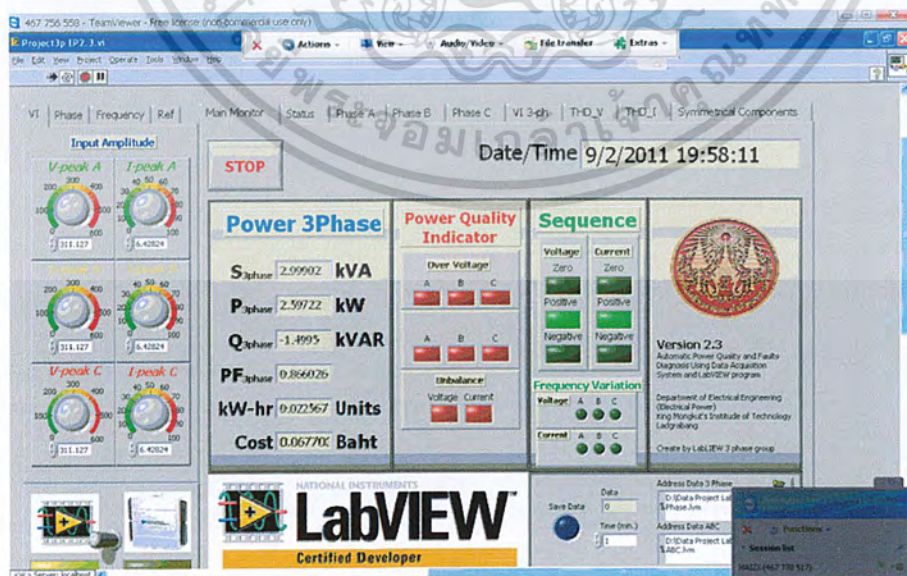
รูปที่ 3.38 หน้าจอเมื่อทำการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากโปรแกรมที่ผู้จัดทำสามารถทำการแล่นได้แค่ภายในเครื่องเนื่องจากไม่มี LabVIEW License ที่ใช้กับพีเจอาร์นี้ ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้นำโปรแกรม TeamViewer มาประยุกต์ เพื่อให้โปรแกรม LabVIEW สามารถทำการควบคุมระยะไกลได้เช่นกัน โดยที่คอมพิวเตอร์อีกเครื่องสามารถควบคุมและดูผลโดยไม่จำเป็นต้องมีโปรแกรม LabVIEW เพียงแค่ทำการติดตั้งโปรแกรม TeamViewer ทั้งสองเครื่องแล้วทำการเชื่อมต่อกันโดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ดังรูปที่ 3.39 และ 3.40



รูปที่ 3.39 โปรแกรม TeamViewer



รูปที่ 3.40 หน้าจอเมื่อทำการควบคุมโปรแกรมผ่านโปรแกรม TeamViewer

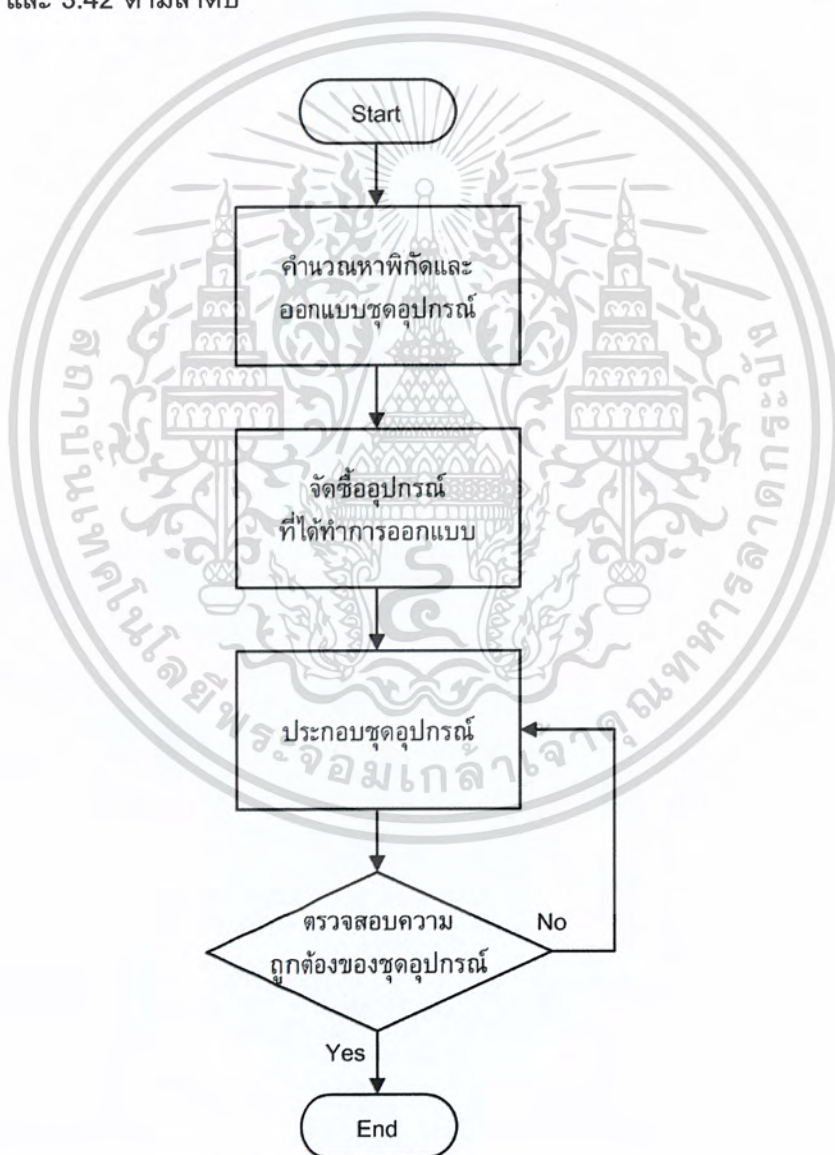
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์

เมื่อต้องการทำการวัดสัญญาณจากระบบไฟฟ้าสามเฟส ดังนั้นต้องมีชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับสัญญาณแรงดันและกระแส โดยชุดอุปกรณ์ที่ต้องทำการออกแบบมีดังนี้

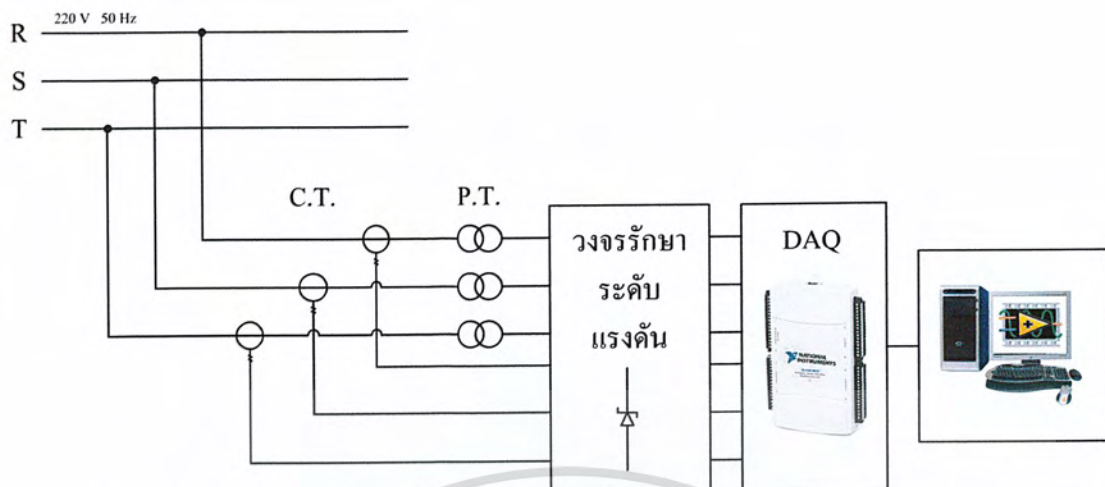
1. ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer)
2. ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)
3. วงจรป้องกันแรงดันเกิน (Zener Diode)

โดยนำชุดอุปกรณ์นี้มาเชื่อมต่อกันก่อนที่จะนำสัญญาณเข้า DAQ จากนั้นต่อสาย USB จาก DAQ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำสัญญาณมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่ทางผู้จัดทำได้เขียนไว้ มีขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์และแผนภาพการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์ ดังภาพที่ 3.41 และ 3.42 ตามลำดับ



รูปที่ 3.41 แผนผังขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์

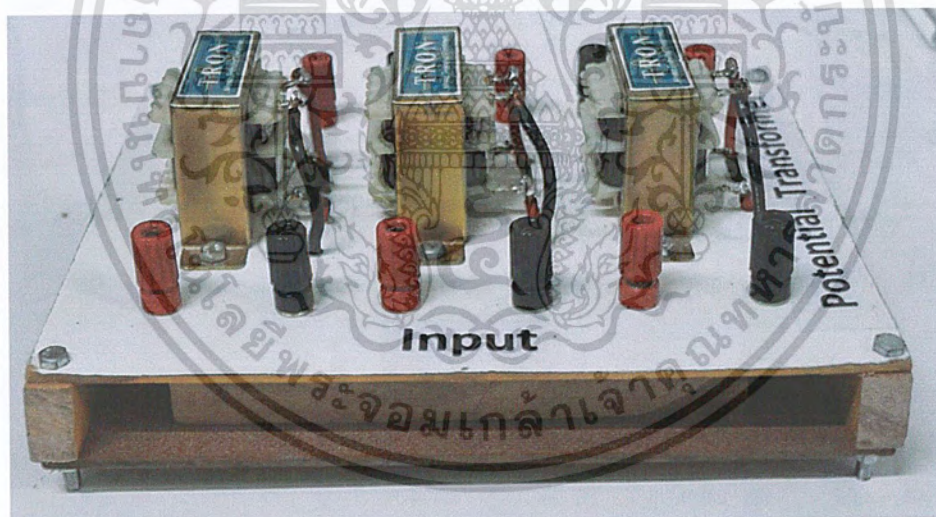
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 แผนภาพการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์

### 3.2.1 ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer)

หม้อแปลงแรงดันที่ใช้เป็นหม้อแปลงชนิด Isolated ที่ผลิตโดย THAI TRANSFORMER COMPANY LIMITED มี Ratio เท่ากับ 800:16 V

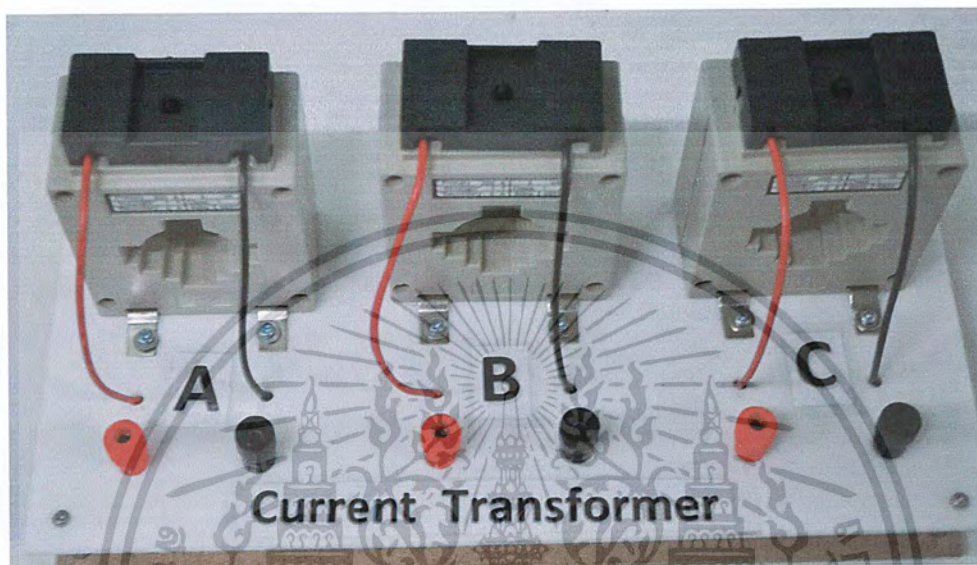


รูปที่ 3.43 หม้อแปลงแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

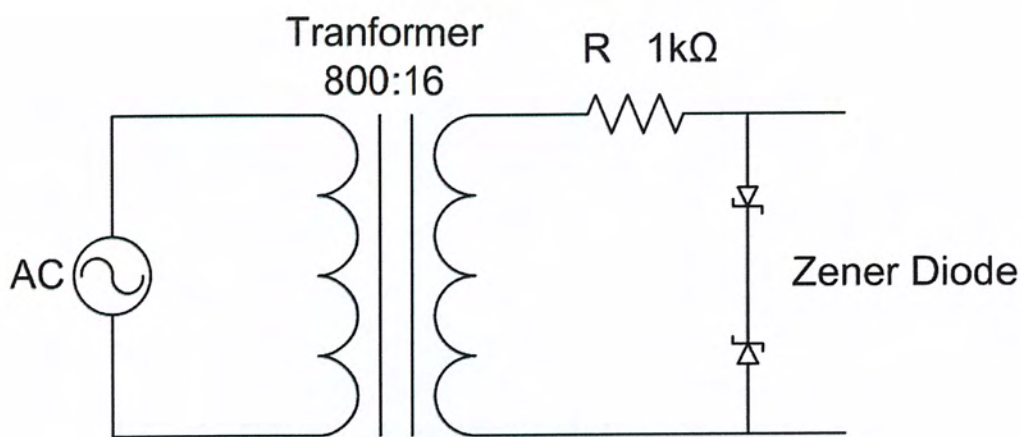
หม้อแปลงกระแสที่ใช้เป็นหม้อแปลงของ Salser รุ่น MSQ-40 มี Current Ratio เท่ากับ 200:5 A นำหม้อแปลงกระแสทั้ง 3 ตัว มายึดติดบนบอร์ดแล้วทำการต่อตัวต้านทาน  $1\ \Omega$  ขนานกับขั้ว Secondary ของหม้อแปลงกระแส ทำให้สามารถวัดแรงดันที่มีค่าเท่ากับกระแสที่ ถูกแปลงออกมาได้ ดังรูปที่ 3.44



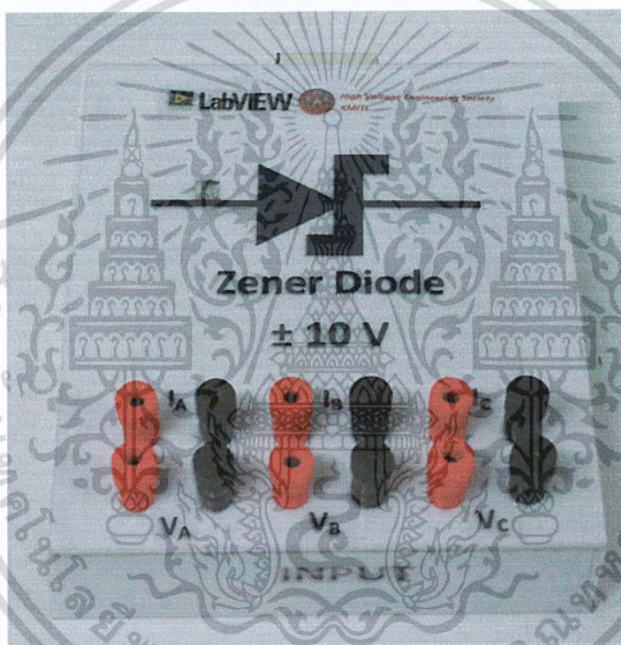
รูปที่ 3.44 หม้อแปลงกระแส

### 3.2.3 วงจรป้องกันแรงดันเกิน (Zener Diode)

เนื่องจาก DAQ มีช่วงแรงดันที่สามารถรับได้ไม่เกิน  $\pm 10$  โวลต์ กระแสไม่เกิน 4 mA [7] ทำให้ต้องมีวงจรที่คอยป้องกันไม่ให้ DAQ ได้รับแรงดันเกิน ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้สร้างชุดวง วงจรป้องกันแรงดันเกินที่ประกอบไปด้วย Zener Diode ขนาดพิกัด 10 โวลต์ และ ตัวต้านทาน ขนาด  $1\ \text{k}\Omega$  โดยนำประกอบเป็นวงจรตามรูปที่ 3.45 จากนั้นก็ออกแบบวงจรป้องกันแรงดัน เกินที่จะนำมาใช้กับชุดหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส โดยให้มี Input 6 คู่ เพื่อรับ แรงดันจากชุดหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสแล้วมี Output ออกเป็นสายแพเพื่อนำไป เชื่อมต่อกับ DAQ ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.45 แสดงการออกแบบวงจรป้องกันแรงดันเกิน



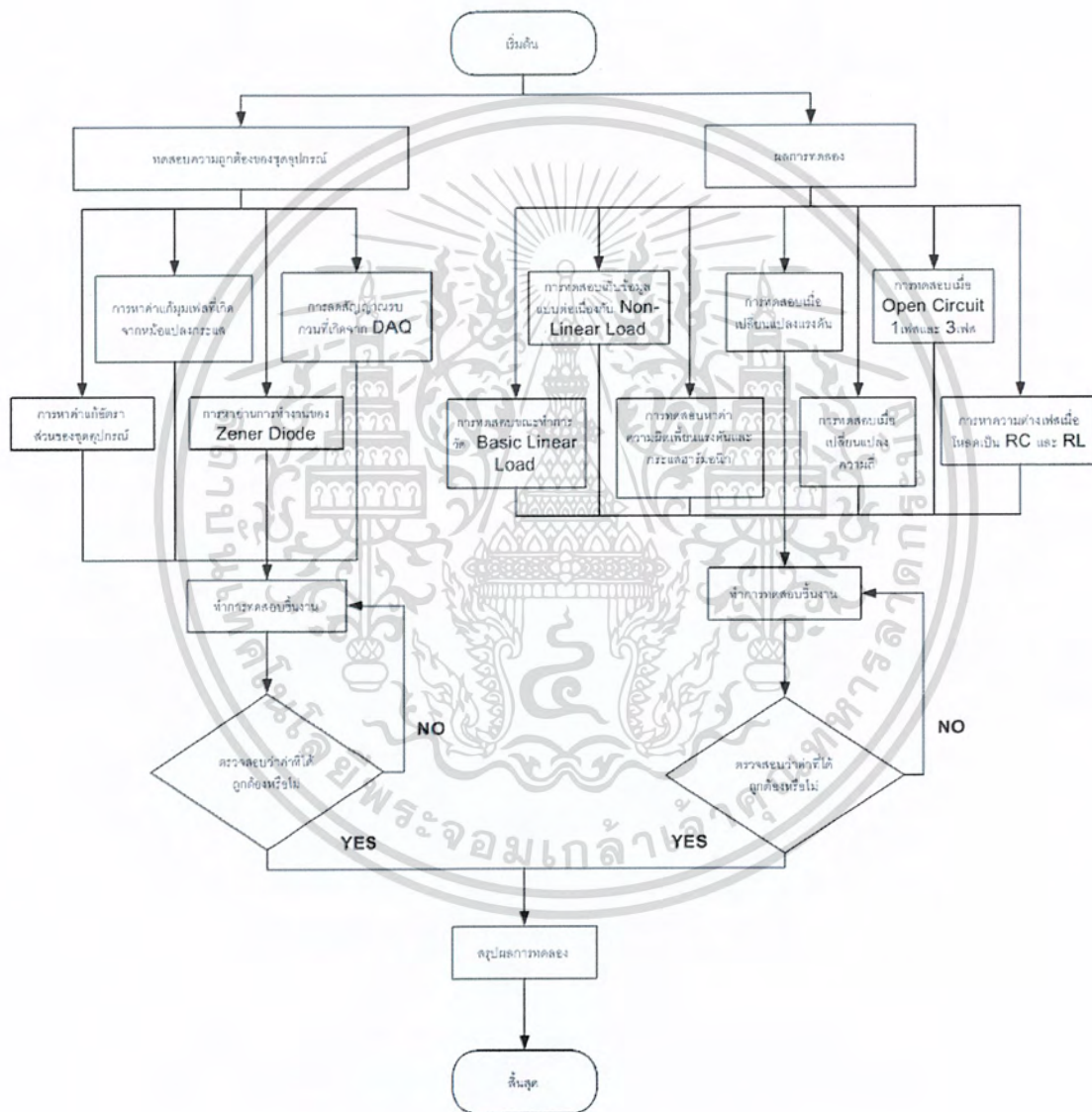
รูปที่ 3.46 วงจรป้องกันแรงดันเกินที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง (Experimental Results)

เพื่อให้ชุดอุปกรณ์มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานได้จริง จึงทำการทดลองและทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงานตาม Flow Chart ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

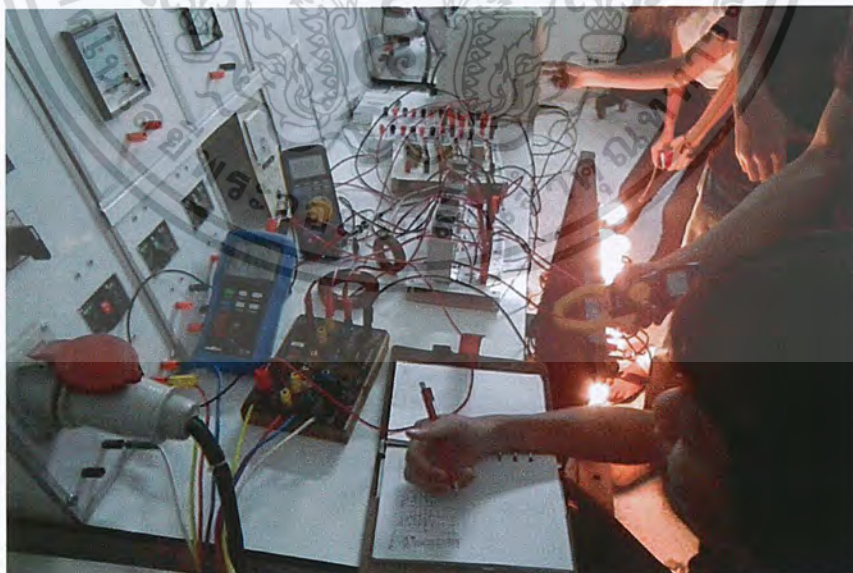
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 ทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์

เนื่องจากชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าประกอบด้วย อุปกรณ์หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และวงจรป้องกันแรงดันเกินโดยหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันจะประกอบไปด้วยแกนเหล็กและขดลวดจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดอันเนื่องมาจากกระแสไหลวน ถ้านำชุดอุปกรณ์ไปใช้โดยไม่ได้แก้ค่าก่อนจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ตรวจจับได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง ส่วนวงจรป้องกันแรงดันเกินก็จะประกอบด้วยตัวต้านทานและซีเนอร์ไดโอด ดังนั้นก่อนที่จะนำชุดอุปกรณ์มาใช้งานจะต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าแก้ของชุดอุปกรณ์นั้นก่อน

##### 4.1.1 การหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

ทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันเพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มีความถูกต้องโดยในการทดลองหาค่าแก้นี้จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสต่อผ่านหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส ใช้โหลดเป็นหลอดเผาไส้สามเฟสต่อแบบสตาร์ ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดหลอดไฟที่ระดับแรงดัน 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 โวลต์ บันทึกค่ากระแสจริงที่ได้จากแคลมป์กับกระแสเอาต์พุตที่ได้จากหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟสแสดงดังตารางที่ 4.1 จะได้อัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟสดังตารางที่ 4.2 ส่วนการหาค่าแก้อัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันก็ทำเหมือนหม้อแปลงกระแสโดยค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันและค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงแรงดันทั้งสามเฟสแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ จะพบว่าค่าแก้ที่ได้ใหม่จะเป็นดังตารางที่ 4.5 และรูปวงจรถดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงวิธีการหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงกระแส

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน

Input Voltage	Primary Voltage			Secondary Voltage		
	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

ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงแรงดันทั้งสามเฟส

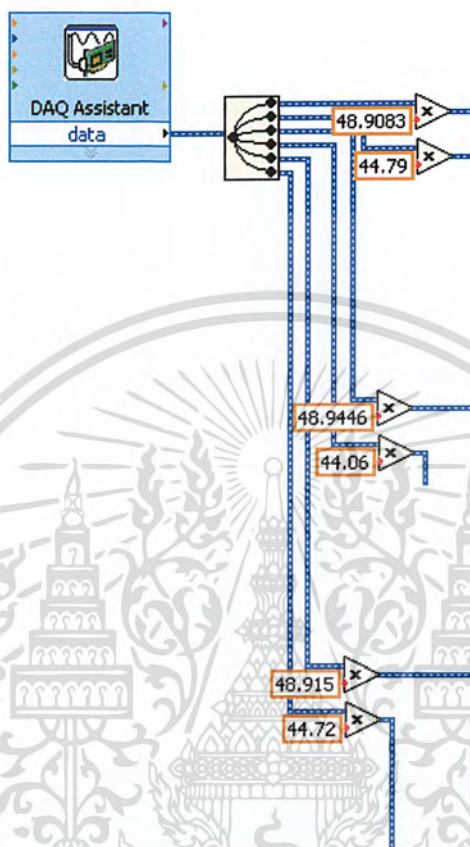
input Voltage	Phase		
	A	B	C
50	48.60	49.04	49.20
100	48.92	49.02	48.90
150	49.02	49.11	49.08
200	49.04	48.75	48.73
250	48.94	48.90	48.88
283	48.93	48.85	48.70
เฉลี่ย	48.91	48.94	48.92

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบในการหาค่าแก้มุมของชุดอุปกรณ์ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนใหม่ตามตารางที่ 4.5 ซึ่งจะนำค่าอัตราส่วนในตารางนี้ไปใช้แก้ค่าในโปรแกรม ดังรูปที่ 4.3 เพื่อให้ค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 4.3 แทนค่าแก้อัตราส่วนลงในโปรแกรม

#### 4.1.2 การหาค่าแก้มุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส

เนื่องจากค่าความต่างเฟสที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์ในกรณีที่ใช้โหลดเป็นตัวต้านทาน (R) ต้านทานอนุกรมกับตัวเก็บประจุ (RC) และต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ (RL) มีความคลาดเคลื่อนไปเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคปแสดงดังตารางที่ 4.6 จึงต้องทำการหาค่าแก้เพื่อให้มุมเฟสที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยเปรียบเทียบค่ากับออสซิลโลสโคปซึ่งจะพบว่าค่าแก้ใหม่ที่ต้องนำมาลบออกจากเดิมคือ 9 องศา เมื่อแก้ค่าแล้วจะพบว่าความต่างเฟสที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคปมากขึ้นแสดงดังตารางที่ 4.7

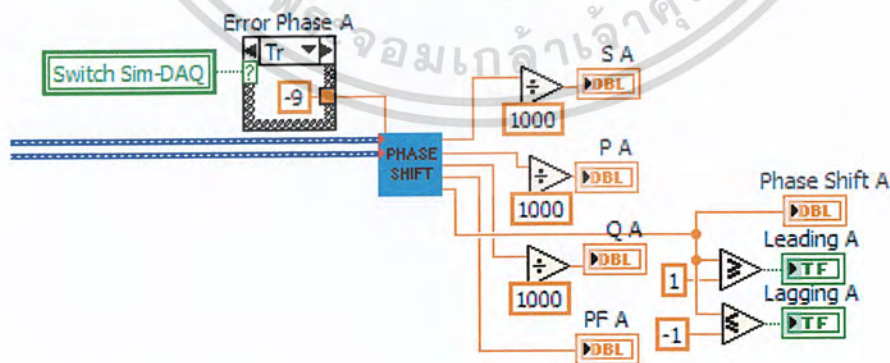
ตารางที่ 4.6 ความต่างเฟสที่บันทึกได้ก่อนทำการแก้ไข

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

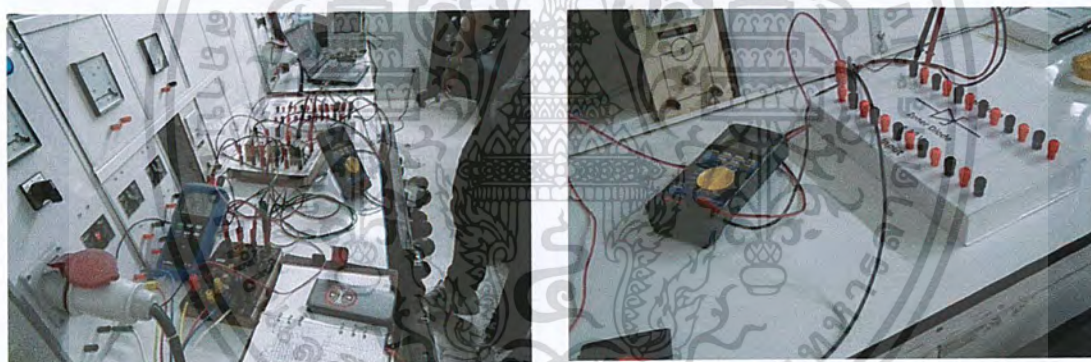
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ตรวจสอบหาย่านการทำงานของ Zener Diode

วงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ซีเนอร์ไดโอดจะต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับโหลด ซึ่งจะทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงตัวขณะที่

1. โหลดเปลี่ยน นั่นคือกระแสขาออกเปลี่ยน
2. แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงรวมถึงระลอกคลื่นด้วย
3. อุณหภูมิของวงจรเปลี่ยน

จากการป้อนแรงดันด้านอินพุตให้มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะพบว่าแรงดันด้านเอาต์พุตจะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอินพุตที่ป้อนให้โหลด จนเมื่อมีค่าเข้าใกล้ 10 โวลต์ จะพบว่าแรงดันด้านเอาต์พุตจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันด้านอินพุตเล็กน้อย และเมื่อแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นสูงกว่า 10 โวลต์ วงจรก็จะรักษาระดับแรงดันด้านเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ (ไม่เกิน 10 volt) เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ DAQ พังเสียหาย แต่ในช่วงแรงดันอินพุตที่มีค่ามากกว่า 8 โวลต์ จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุตมาก ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นย่านการทำงานที่ดีที่สุดของซีเนอร์ไดโอดคืออินพุตไม่เกิน 8 โวลต์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้แสดงว่าวงจรรักษาระดับแรงดันนี้สามารถทำงานได้ถูกต้อง แสดงภาพวงจรการทดสอบดังรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) แสดงวงจรการทดสอบ

โดยตารางผลการทดลองการหาย่านการทำงานของซีเนอร์ไดโอดแสดงตามตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

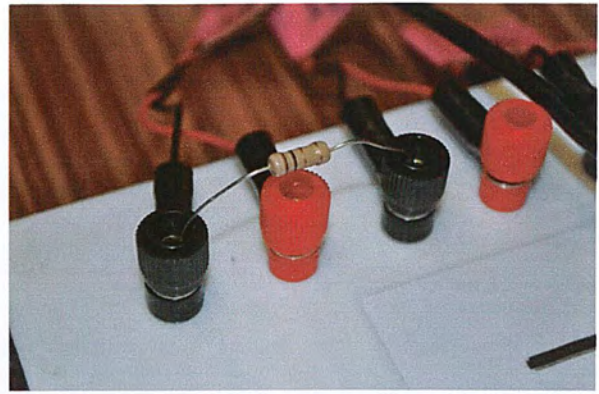
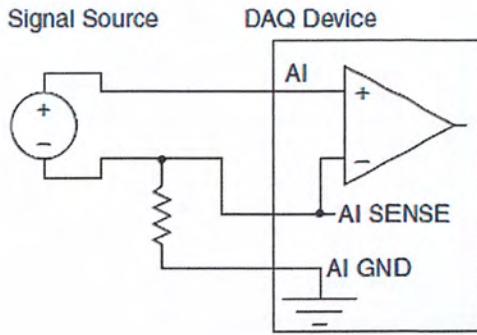
ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก Zener Diode เมื่อเปลี่ยนแรงดันอินพุต

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

จากการทดสอบพบว่างานการทำงานของซีเนอร์ไดโอดที่ยังรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้เท่ากับแรงดันอินพุตคือช่วงที่มีแรงดันอินพุตไม่เกิน 7.2 Vrms หรือเท่ากับ 10.18 Vpeak ซึ่งเป็นไปตามพิกัดของซีเนอร์ไดโอดที่ใช้นั่นเอง

#### 4.1.4 การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก DAQ

ในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอะนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นจะต้องต่อผ่านตัวแปลงสัญญาณ DAQ ซึ่งจากรูปที่ 4.6 (ก) เป็นวิธีการต่อวงจร DAQ โดยการต่อตัวต้านทานขนาด 1 วัตต์ 1 โอห์ม ระหว่างขั้วลบของช่องกระแสและกราวด์ร่วมของ DAQ และรูปที่ 4.6 (ข) และ(ค) เป็นวิธีการต่อตัวต้านทานจะพบว่าก่อนต่อตัวต้านทานฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสจะมีค่าสูงซึ่งรูปคลื่นที่บันทึกได้จะเป็นดังรูปที่ 4.6 (ง) แต่พอทำการต่อตัวต้านทานแล้วจะพบว่าสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ค่าความผิดพลาดเพี้ยนกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกมีค่าลดลง และรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ก็มีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรูปคลื่นจากเครื่อง Power Analyzer PZ-4000 แสดงดังรูปที่ 4.6 (จ)และ(ฉ) ตามลำดับ



(ก)

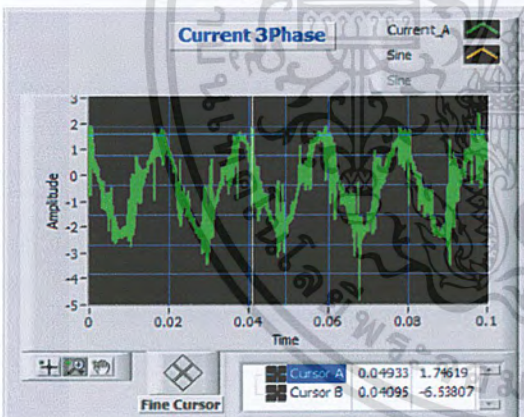
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.6 (ก) วงจรการต่อ DAQ (ข)และ(ค) วิธีการต่อตัวต้านทาน

(ง) แสดงกราฟสัญญาณก่อนแก้ไข (จ) แสดงกราฟสัญญาณหลังแก้ไข

(ฉ) รูปคลื่นสัญญาณจากเครื่อง PZ-4000

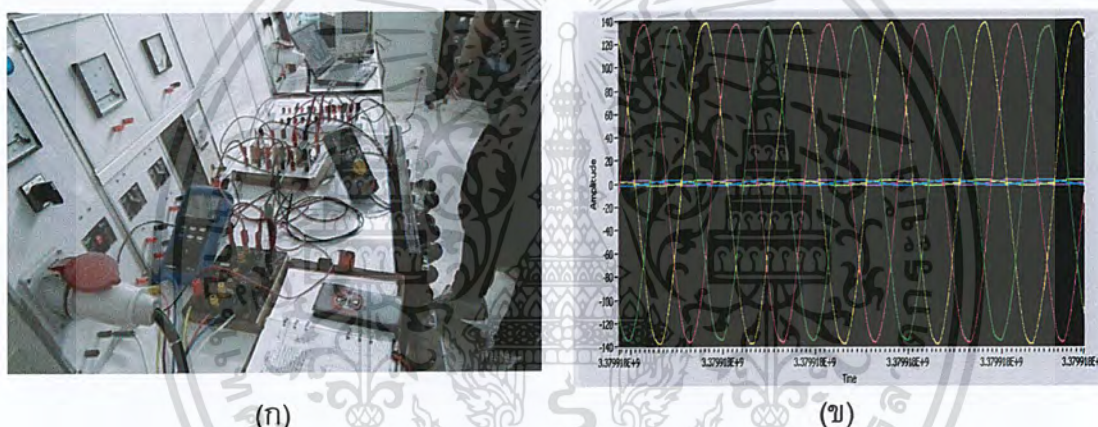
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลองของชุดอุปกรณ์

จากชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สร้างขึ้น ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องดังต่อไปนี้

### 4.2.1 การทดสอบขณะทำการวัด Basic Linear Load

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



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรการทดสอบกับโหลดหลอดไฟ(โหลดเชิงเส้น)

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEWที่เวลา 17.00 น.

Parameter	Reference*			LabVIEW Data		
	A	B	C	A	B	C
V	101.50	101.80	101.50	96.37	98.16	97.56
I	1.71	1.75	1.74	1.75	1.72	1.74
S	173.70	177.30	171.70	168.65	169.28	170.23
P	174.00	177.10	171.50	159.6	162.5	162.2
Q	0	0	0	0	0	0
PF	1	1	1	0.94	0.96	0.95

\*Power Meter PX120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Parameter	Reference*			LabVIEW Data		
	A	B	C	A	B	C
V	100.50	101.90	101.60	96.28	98.27	97.66
I	1.71	1.74	1.69	1.74	1.72	1.74
S	174.50	177.30	171.70	168.2	169.5	170.4
P	174.80	177.39	171.48	159.2	162.8	162.5
Q	0	0	0	0.05	0.04	0.05
PF	1	1	1	0.94	0.96	0.95

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

Parameter	Reference*			LabVIEW Data		
	A	B	C	A	B	C
V	101.00	102.20	101.60	96.45	98.39	97.85
I	1.71	1.70	1.73	1.74	1.72	1.74
S	175.00	173.74	175.77	168.7	169.9	171.0
P	175.00	173.67	175.57	159.6	163.2	163.0
Q	0	0	0	0.05	0.04	0.05
PF	1	1	1	0.94	0.96	0.95

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

Parameter	Reference*			LabVIEW Data		
	A	B	C	A	B	C
V	101.30	102.20	101.50	96.53	98.49	97.93
I	1.71	1.71	1.69	1.75	1.72	1.74
S	174.1	174.76	171.54	168.9	170.2	171.1
P	175.5	174.65	171.40	159.9	163.4	163.1
Q	0	0	0	0.05	0.047	0.51
PF	1	1	1	0.94	0.96	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

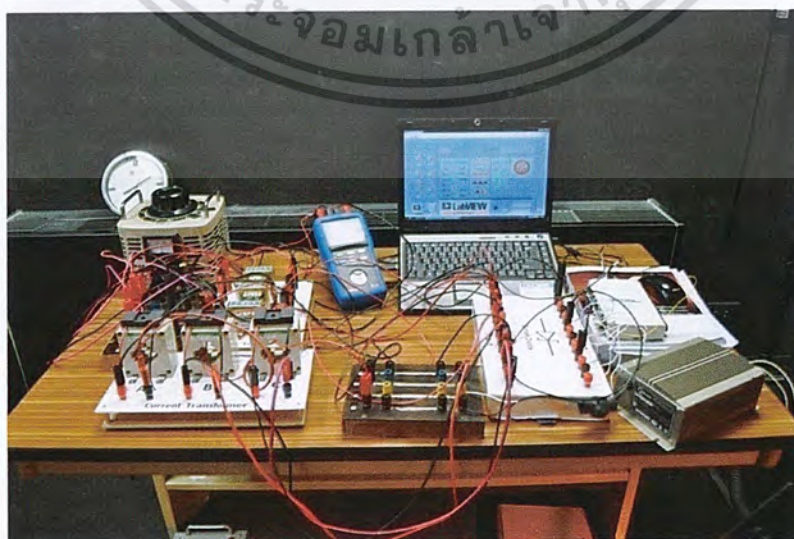
ตารางที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.04น.

Parameter	Reference*			LabVIEW Data		
	A	B	C	A	B	C
V	100.20	101.20	100.60	95.86	97.76	97.12
I	1.68	1.69	1.69	1.74	1.72	1.74
S	172.70	171.03	170.01	167.2	168.2	168.9
P	173.00	171.24	170.28	158.3	161.6	161.1
Q	0	0	0	54.1	46.8	51.1
PF	1	1	1	0.94	0.96	0.95

ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นจะพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก

#### 4.2.2 การทดสอบเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องกับ Non-Linear Load

เพื่อทำการยืนยันว่าการทำงานของ High performance Electronics Ballast เป็นไปตามสเปก จึงทำการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในกรณีที่ใช้โหลดเป็นคอมไฟถนนและใช้บัลลาสต์เป็น High performance Electronics Ballast ของ Kraft โดยรันโปรแกรมเพื่อจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเป็น 3 ระดับ ซึ่งก็เป็นไปตามมาตรฐานของบัลลาสต์ชนิดนี้ ที่กำลังไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเวลาใช้งานนานขึ้น โดยวงจรที่ทำการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8 ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้ก็นำมาพล็อตระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการวิเคราะห์ห้ก็สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการทดสอบกับ Non-Linear Load

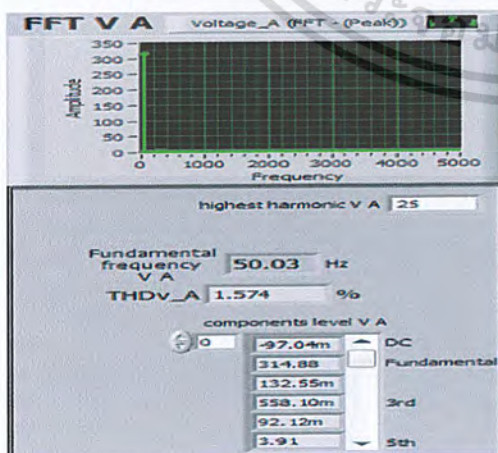
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



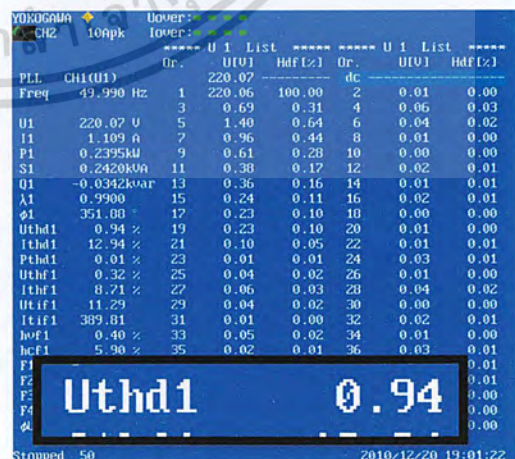
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่บันทึกได้

#### 4.2.3 การทดสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

เพื่อทดสอบว่าชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสามารถตรวจวัดฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้อง จึงทำการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสโดยใช้โพลโคมไฟถนนที่ใช้บัลลาสต์ชนิด High performance Electronics Ballast ของ Kraft จาก การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมแลปวิว เปรียบเทียบกับเครื่อง Power Analyzer (PZ4000) จะพบว่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกรวมที่วัดได้จากทั้งสองเครื่องมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกรวมจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 (ก) และ(ข) ส่วนความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวมจะแสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) และ(ข) โดยความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกรวมจะมีค่าต่ำกว่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม



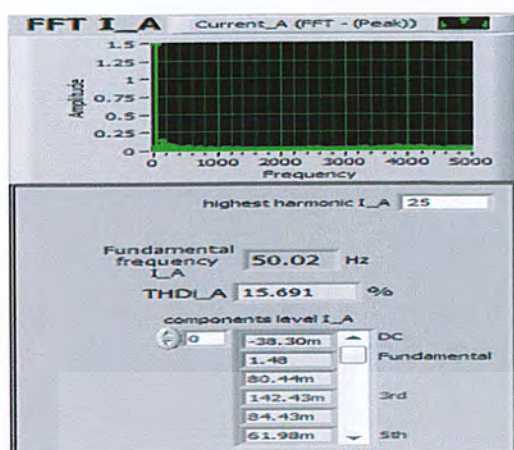
(ก)



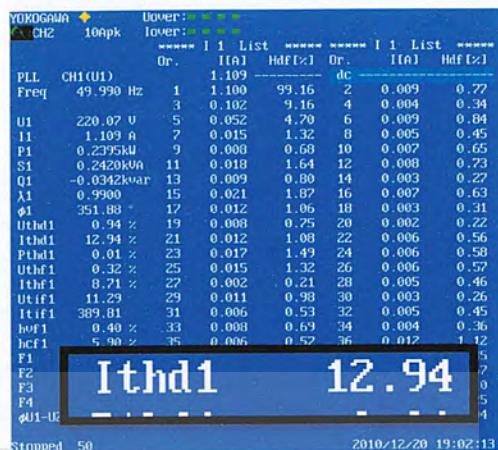
(ข)

รูปที่ 4.10 (ก) แสดงค่า THD<sub>v</sub> จากโปรแกรม (ข) แสดงค่า THD<sub>v</sub> จากเครื่อง PZ-4000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

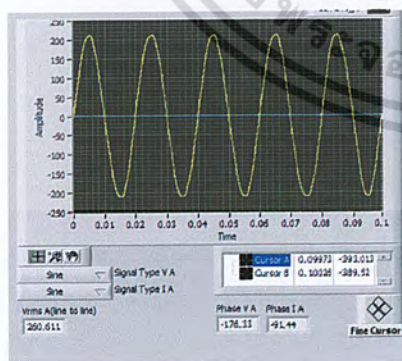


(ข)

รูปที่ 4.11 (ก) แสดงค่า THD จากโปรแกรม (ข) แสดงค่า THD จากเครื่อง PZ-4000

#### 4.2.4 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดัน

เพื่อทำการตรวจสอบว่าชุดอุปกรณ์สามารถตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็วโดยทำการทดลองป้อนแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตด้วยวารีแอกให้กับโหลดตั้งแต่ระดับแรงดัน 22 โวลต์จนถึง 286 โวลต์ ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นชุดอุปกรณ์สามารถตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านอินพุตได้โดยสังเกตได้จากรูปคลื่นสัญญาณที่บันทึกได้และค่าแรงดันไฟฟ้าเปอร์ยูนิตแสดงดังรูปที่ 4.10 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ส่วนค่าแรงดันเอาต์พุตที่บันทึกได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเพาเวอร์มิเตอร์ที่มีอยู่จะพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันแสดงดังตารางที่ 4.14

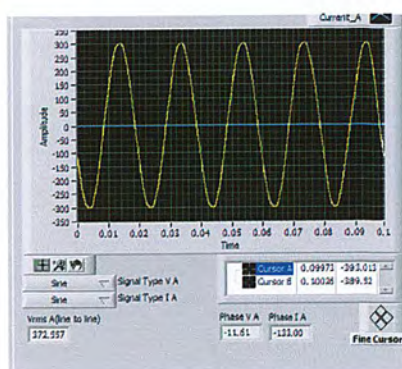


(ก)

Per Unit		
Va pu	Vb pu	Vc pu
0.6781	0.6950	0.6981
Ia pu	Ib pu	Ic pu
0.0061	0.0051	0.0051
Sa pu	Sb pu	Sc pu
0.0010	0.0002	0.0004
Pa pu	Pb pu	Pc pu
0.0010	-0.000	-0.000
Qa pu	Qb pu	Qc pu
0.0010	0.0004	0.0004

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

Per Unit		
Va pu	Vb pu	Vc pu
0.9764	0.9991	1.0034
Ia pu	Ib pu	Ic pu
0.0063	0.0050	0.0050
Sa pu	Sb pu	Sc pu
0.0026	0.0005	0.0006
Pa pu	Pb pu	Pc pu
0.0026	-0.000	-0.000
Qa pu	Qb pu	Qc pu
0.0025	0.0014	0.0011

(ง)

รูปที่ 4.12 (ก) แสดงกราฟแรงดันที่ 0.7 เปรอ์ยูนิต (ข) ค่าแรงดันที่ 0.7 เปรอ์ยูนิต  
(ค) แสดงกราฟแรงดันที่ 1.0 เปรอ์ยูนิต (ง) ค่าแรงดันที่ 1.0 เปรอ์ยูนิต

ตารางที่ 4.14 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่บันทึกได้เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต

Voltage <sub>input</sub>	Per-Unit	V <sub>A</sub>	V <sub>B</sub>	V <sub>C</sub>
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 เปรอ์ยูนิต ทำให้หลอดไฟ Under Voltage ที่หน้าจอ Main Monitor ติดไฟ ส่วนที่แรงดันมากกว่า 242 โวลต์ หรือ 1.1 เปรอ์ยูนิต ทำให้หลอดไฟ Over Voltage ที่หน้าจอ Main Monitor ติดไฟ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE std 1159-1995 [3]

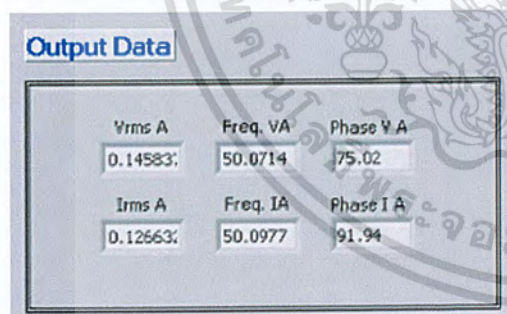
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

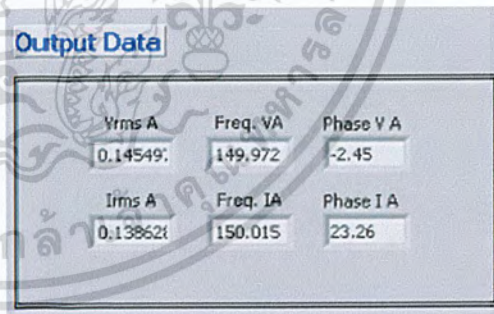
เพื่อทำการตรวจสอบว่าชุดวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความถี่ได้จริงและมีความถูกต้อง สิ่งที่ทำคือการทดลองคือใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ในการสร้างสัญญาณไซน์ให้มีความถี่ต่าง ๆ ในการเปลี่ยนความถี่ไฟฟ้าโดยเริ่มจากความถี่ 50 Hz, 150 Hz, 1500 Hz, 5000 Hz จนถึง 10000 Hz แล้วทำการบันทึกค่าความถี่ที่ตรวจจับได้จากชุดอุปกรณ์ซึ่งจะพบว่าค่าความถี่ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์จะมีค่าตรงกันกับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามการปรับความถี่ของอุปกรณ์ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.15 และภาพความถี่ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.15 แสดงความถี่อินพุตเปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้

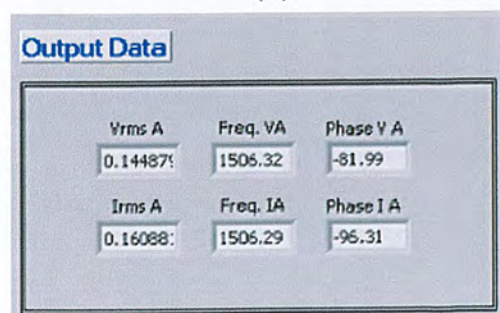
Inverter Frequency(Hz)	Data Frequency(Hz)
50	50.09
150	150.01
1500	1506.29
5000	5042.40
10000	10179.80



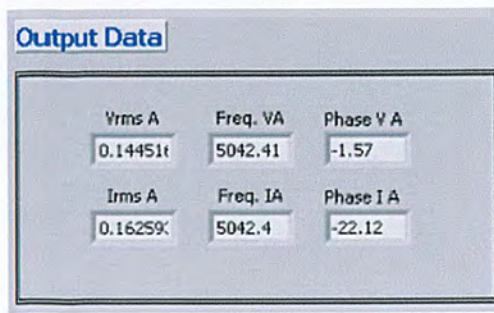
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

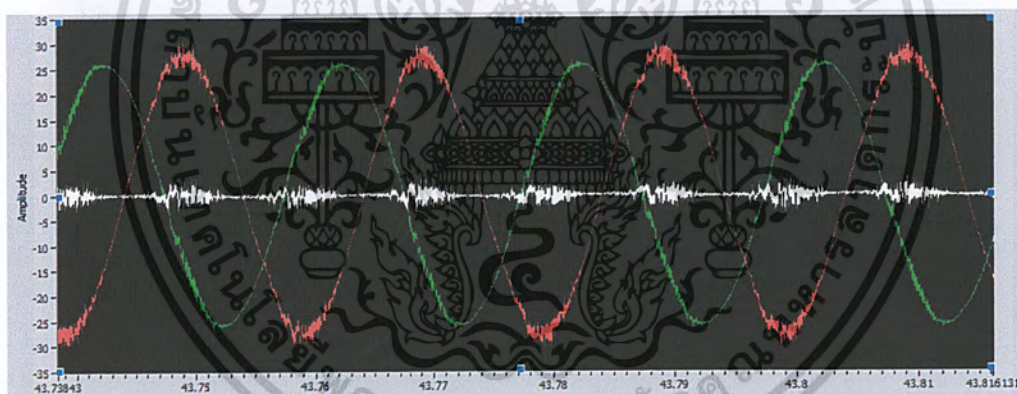
Output Data		
Vrms A	Freq. VA	Phase V A
0.14384	10179.8	172.35
Irms A	Freq. IA	Phase I A
0.16226	10179.8	175.31

(จ)

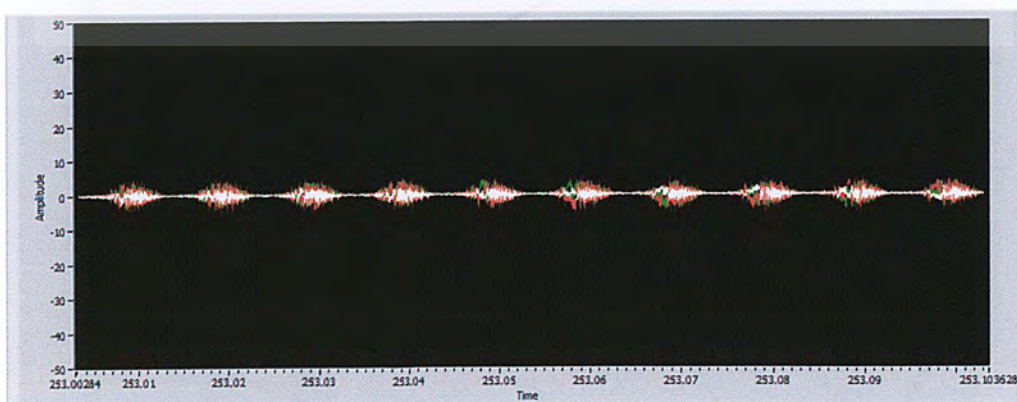
รูปที่ 4.13 ความถี่ที่บันทึก(ก) 50 Hz (ข) 150 Hz (ค) 1500 Hz (ง) 5000 Hz (จ) 10000 Hz

#### 4.2.6 การทดสอบเมื่อ Open Circuit 1 เฟสและ 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

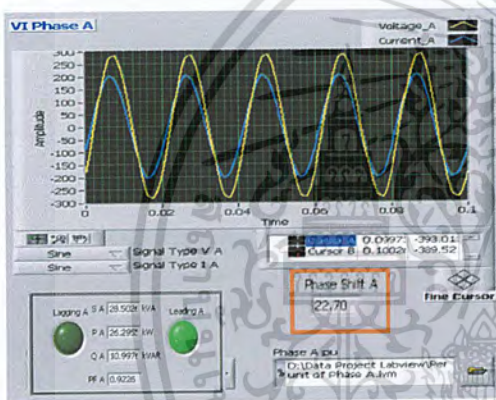


รูปที่ 4.15 แสดงกราฟสัญญาณขณะที่ Open Circuit 3 เฟส

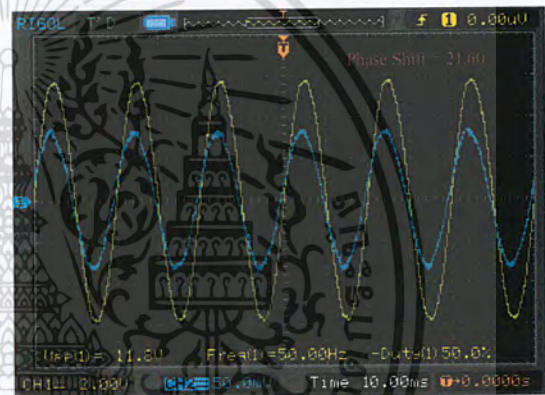
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.7 การหาความต่างเฟสเมื่อโหลดเป็น RC และ RL

ในการหาความต่างเฟสระหว่างมุมของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบว่า มุมของแรงดันไฟฟ้าอินเฟสกับมุมของกระแสไฟฟ้าหรือมุมของแรงดันไฟฟ้านำหน้ามุมของกระแสไฟฟ้าหรือมุมของแรงดันไฟฟ้าล่าหลังกุมของกระแสไฟฟ้า ซึ่งมุมที่เกิดขึ้นก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดว่าเป็นตัวต้านทาน(R) ตัวเหนี่ยวนำ(L) หรือตัวเก็บประจุ(C) เมื่อโหลดเป็น R มุมของกระแสจะอินเฟสกับมุมของแรงดัน เมื่อโหลดเป็น RC มุมกระแสจะนำหน้ามุมแรงดัน และเมื่อโหลดเป็น RL มุมกระแสจะล่าหลังกุมแรงดัน จากการทดลองก็จะพบว่ารูปคลื่นที่บันทึกได้เป็นไปตามทฤษฎี โดยทำการดูความต่างเฟสจากโปรแกรมเปรียบเทียบความถูกต้องกับออสซิลโคปเป็น แสดงดังรูปที่ 4.16 (ก)และ (ข) เมื่อโหลดเป็น RC และรูปที่ 4.16 (ค)และ (ง) เมื่อโหลดเป็น RL ตามลำดับจะเห็นว่ามามีค่าใกล้เคียงกัน และค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RC และ RL แสดงตามตารางที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



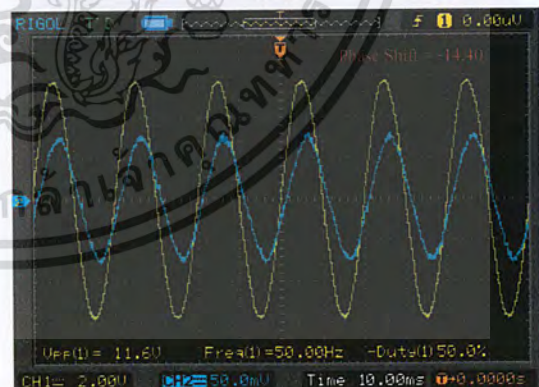
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.16 (ก) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากชุดอุปกรณ์เมื่อโหลดเป็น RC

(ข) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากสโคปเมื่อโหลดเป็น RC

(ค) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากชุดอุปกรณ์เมื่อโหลดเป็น RL

(ง) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากสโคปเมื่อโหลดเป็น RL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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

#### 4.2.8 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์กับโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

เมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2554 ได้นำชุดอุปกรณ์ไปตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าไปตรวจวัดที่โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งอยู่ภายในฟาร์มเลี้ยงหมู โดยนำมูลของสุกรมาหมักให้เกิดก๊าซแล้วนำก๊าซที่ผลิตได้ไปปั่นเจนเนอเรเตอร์ดังรูปที่ 4.17(ก) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกจ่ายให้กับโหลดที่อยู่ภายในฟาร์มเลี้ยงหมู โดยเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้มี Name Plate ดังนี้

Measurement Model : DEEP SEA ELETRONIC DSE 7520

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

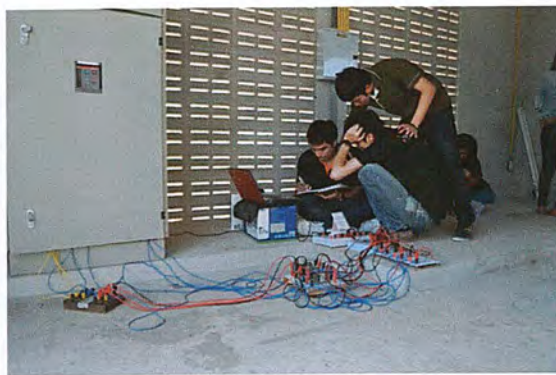
Generator      AVR : Mx341      KVA : 140.0      Hz : 50

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

จากการทดสอบการทำงานจริง โดยนำชุดอุปกรณ์ไปทำการวัดที่ตู้ Main Distribution Board ดังรูปที่ 4.17(ข) โดยมีผลเปรียบเทียบบังตารางที่ 4.18 ถึง 4.22



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 (ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าชีวมวล

(ข) การต่อชุดอุปกรณ์หน้างานจริง

ตารางที่ 4.18 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
RealPower	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
Frequency				50.07				

\*ตู้ Main Distribution Board

ตารางที่ 4.19 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
RealPower	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
Frequency				50.06				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 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
RealPower	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
Frequency				50.02				

ตารางที่ 4.21 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.03 น.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.08 น.

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

\*ค่าของเฟส A เกิดสัญญาณรบกวน สาเหตุมาจากตัวต้านทานของอุปกรณ์ Zener Diode หลุดจากวงจร

จากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ในเฟส A มีความคลาดเคลื่อนไปเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากตู้ Main Distribution Board เนื่องจากกระหว่างการเดินทางตัวต้านทานที่ต่อระหว่างกราวด์ของกระแสหลอด ส่วนค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ในเฟส B และ C จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จากตู้ Main Distribution Board

#### 4.3 ผลการเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์กับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

จากผลการทดลองทั้งหมดจะพบว่าชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีและค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้ก็ยังมีค่าใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดที่ใช้อยู่ทั่วไปซึ่งมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นชุดอุปกรณ์นี้จึงเหมาะที่จะนำมาใช้แทนอุปกรณ์วัดแบบเดิมเนื่องจากมีข้อดีที่เหนือกว่า โดยสามารถแสดงตารางการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิวกับอุปกรณ์วัดที่มีอยู่ซึ่งในที่นี้จะใช้เครื่อง Dranetz-BMI PX5-Xfast และ Fluke 43B มาเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่าง DAQ and LabVIEW กับ เครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

หัวข้อ	Dranetz-BMI PX5-Xfast	Fluke 43B	DAQ and LabVIEW
1. ราคาของชุดอุปกรณ์	222,800 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. การบันทึกข้อมูลกรณีเกิดความผิดปกติของไฟฟ้า	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำได้
5. การควบคุมระยะไกล	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้	ทำได้
6. ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	จำกัด	จำกัด	ไม่จำกัด
7. ค่าความแม่นยำในการวัด	แม่นยำสูง	แม่นยำสูง	แม่นยำ

โดยมีรูปของเครื่องมือวัดแต่ละชนิดที่นำมาเทียบแสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงเครื่องมือวัด (ก) Dranetz-BMI PX5-Xfast (ข) Fluke 43B  
(ค) DAQ and LabVIEW

จากการเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์ พบว่า DAQ and LabVIEW มีจุดเด่นที่มีราคาถูก, สามารถควบคุมระยะไกลได้ และสามารถปรับปรุงและพัฒนาฟังก์ชันในการทำงานเพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานที่ทำการวัดได้ตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลชุดอุปกรณ์

ในบทความฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการวัดปริมาณทางไฟฟ้าและการบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบ ถือเป็น การนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเครื่องมือวัดที่ออกแบบนี้จะช่วยให้สามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้มากขึ้นภายในเครื่องเดียว โดยชุดอุปกรณ์สามารถจำลองสัญญาณแล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณตามที่ต้องการได้ หรืออาจวิเคราะห์สัญญาณจากภายนอกโดยผ่านตัวแปลงสัญญาณ DAQ ส่วนการบันทึกข้อมูลก็สามารถทำได้ สองรูปแบบคือ การบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะแสดงจำนวนครั้งที่บันทึก วันที่และเวลาที่บันทึก หรือการบันทึกค่าเฉพาะเวลาที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า พร้อมทั้งแสดงสัญญาณไฟแจ้งเตือน โดยในภาคเรียนที่ 1 จะทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและศึกษาทำความเข้าใจในทฤษฎีตลอดจนงานวิจัยสิ่งที่เกี่ยวข้องต่างๆ พร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการจำลองโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในเรื่องของการหา กำลังทางไฟฟ้าสามเฟส, ความผิดปกติของสัญญาณทางไฟฟ้า, ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสและการเก็บข้อมูล ส่วนในภาคเรียนที่ 2 จะทำการสร้างชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยหม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแสและวงจรป้องกันแรงดันเกินเพื่อทำการวัดสัญญาณจริงจากระบบไฟฟ้า 3 เฟส

จากผลการจำลองการวัดปริมาณทางไฟฟ้าทั้งหมดพบว่าชุดอุปกรณ์สามารถทำงานได้จริงและมีความหลากหลายของค่าที่ต้องการวัดมากกว่าอุปกรณ์ตรวจจับแบบเดิมๆ อีกทั้งยังมีจุดเด่นของชุดอุปกรณ์ที่เหนือกว่า สามารถควบคุมด้วยระยะไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง เมื่อเทียบราคากับคุณสมบัติของชุดอุปกรณ์แล้ว จะเห็นว่ามีความคุ้มค่ากว่าอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และยังสามารถประยุกต์ใช้ในงานทางด้านไฟฟ้าได้อีกหลากหลายชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## 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 แต่เมื่อเรารู้จักกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม LabVIEW โดยได้มีการบรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไม่ว่าอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition), GPIB (General Purpose Interface Bus หรือก่อนหน้านี้รู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus, HP-IB), พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument) รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อีกด้วยวิธีการต่างๆ นอกจากนี้ใน Libraries เหล่านี้ยังได้บรรจุฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญอีกหลายประการเช่น signal generation, signal processing, filters, สถิติ, พีชคณิต และ คณิตศาสตร์อื่นๆ ดังนั้น LabVIEW จึงทำให้การวัดและการใช้เครื่องมือวัดกลายเป็นเรื่องง่ายลงไปมาก โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการควบคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ผู้ใช้ ต้องการหลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจากการ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. หลังจากที่รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่าน ฟังก์ชัน Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะแสดงผลในรูปที่ผู้ใช้งานสามารถนำเสนอแทนสิ่งที่วัดได้และใช้งานได้

3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multi-meter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่

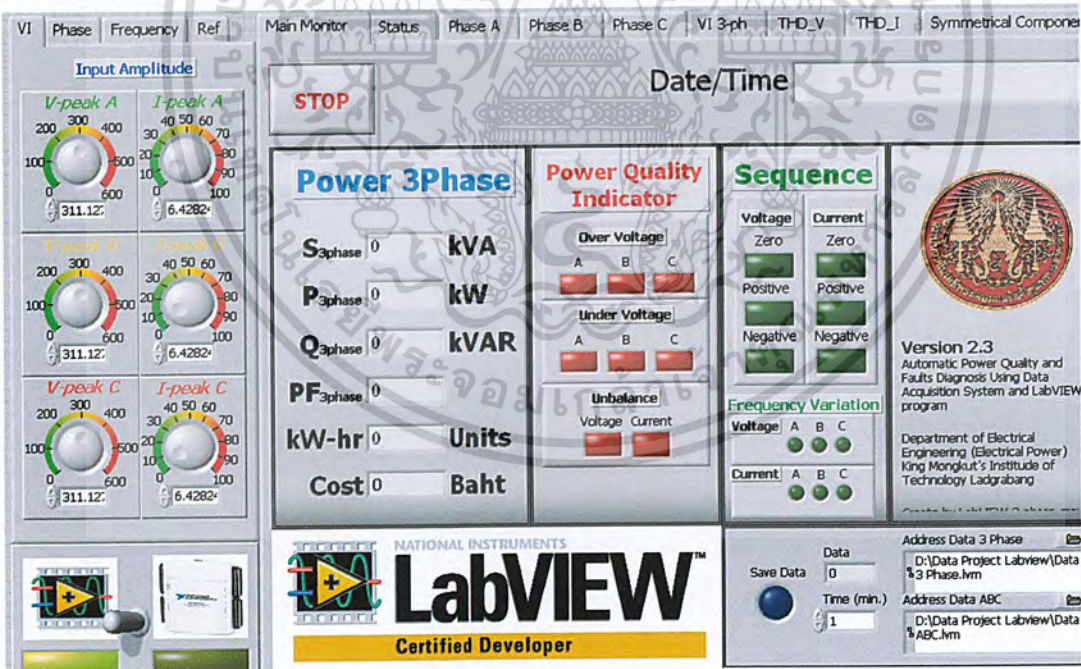
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์กับเวลาหรือ spectrum Analyzer จะแสดงในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

### Virtual Instrument (VI)

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน, Subroutines โปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆจะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ

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 แสดงในรูปต่อไปนี่



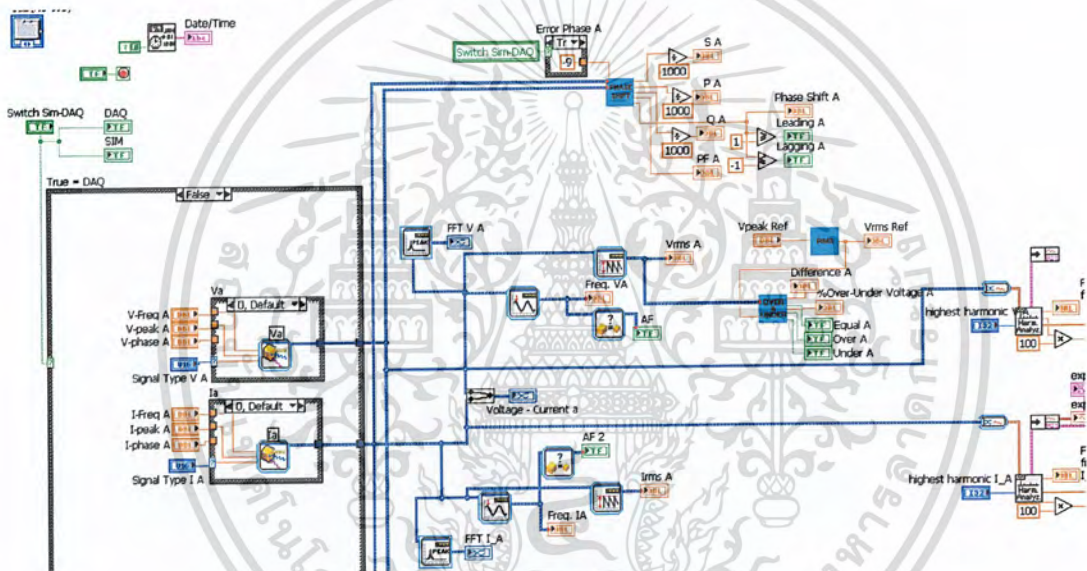
รูปที่ ก.1 Front Panel

2. Block Diagram เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้น เราอาจมอง Block Diagram นี้ เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้นโดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นมาก

ส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับบริการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



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 ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ที่ละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า เขียนเป็น module

สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูปต่อไปนี้ เราจะเห็นว่าเมื่อเราแสดงในรูปของ Connector เราจะพบว่า มีช่องต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า Terminal ปรากฏให้เห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

โปรแกรมแต่ละโปรแกรมนั้นผู้สร้างมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำขึ้นอย่างแน่นอนและมีขอบข่ายของงานที่แน่ชัด ดังนั้นหากเรานำโปรแกรมดังกล่าวไม่ตรงกับวัตถุประสงค์หรืออยู่นอกขอบข่ายการทำงาน เราก็คงจะไม่สามารถใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดจากโปรแกรมนั้นได้

LabVIEW ก็เช่นเดียวกัน โดยจุดประสงค์หลักแล้ว บริษัท National Instrument ได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมที่จะนำมาใช้กับระบบเครื่องมือวัดที่มีความง่ายในการเขียนโปรแกรม และมีฟังก์ชันเพื่อจะช่วยให้การวัดทางวิศวกรรมให้มากที่สุด เพราะด้วยความเป็นมาบริษัท National Instrument เริ่มจากการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับการวัดทางวิศวกรรม ไม่ใช่บริษัทที่เริ่มต้นมาจากการผลิต Software เป็นหลัก ดังนั้นคงไม่ผิดนักสำหรับผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์สูงสุดจากโปรแกรม LabVIEW คือผู้ที่ต้องการจะนำข้อมูลจากภายนอกเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ เข้ามาในเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ประมวลผลค่า แสดงผลและในหลายกรณีใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์

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

ข้อดีอีกประการหนึ่งในการหนึ่งของการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวัดก็คือสามารถใช้ทำเป็น Data Logger และ PLC (Programmable Logical Controlled) ได้พร้อมกัน ซึ่งโดยปกติแล้วระบบควบคุมมักจะไม่อยู่ในเครื่องมือวัดจริงขั้นพื้นฐาน 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 ไม่ว่าจะเป็นกระแส ความต่างศักย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความต้านทานไฟฟ้า

2. **Signal Conditioner** ทำหน้าที่ปรับแต่งปริมาณสัญญาณที่ได้จากขั้นที่ 1 ให้มีขนาดปริมาณหรือลักษณะที่เหมาะสม เพราะสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อาจมีขนาดไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปที่จะนำไปวิเคราะห์ในทันทีได้

3. **Data Acquisition** ทำหน้าที่ประมวลผลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะ Analog ให้มาอยู่ในรูปของ digital signal เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุมหน้าที่ของ DAQ boards อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณ analog (A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conversion) การสร้างสัญญาณอันนาลอก (D/A conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ Transducer

เอกสารบางเล่มอาจเรียกขั้นตอนที่ 2 และ 3 อาจเรียกรวมกันว่า **Signal Processing** และในบางกรณีที่สัญญาณที่ได้มาจากการวัดนั้น หากมีขนาดที่เหมาะสมเรา อาจจะไม่ต้องการขั้นตอนการปรับสภาพสัญญาณหรือ Signal Conditioner ก็เป็นได้

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ transducer จึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับ คอมพิวเตอร์โดยปกติแล้ว สามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้โดยการผ่าน Input/Output Board (I/O Board) ซึ่ง I/O board นี้จะมีหลายแบบแต่แบบที่สำคัญและ สามารถเชื่อมต่อโดยผ่านคำสั่งของ LabVIEW ได้ทันทีจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

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

### DAQ Board

โดยปกติแล้ว DAQ Board เป็นอุปกรณ์พิเศษ คือไม่ได้เป็นมาตรฐานที่ติดตั้งมากับ คอมพิวเตอร์ สำหรับบอร์ดประเภทนี้จะมีผู้ผลิตหลายบริษัท ซึ่งลักษณะการทำงานก็อาจจะ แตกต่างกันไปบ้างตามแต่ผู้ผลิตแต่ละแห่งออกแบบมา ข้อสำคัญที่เราต้องเข้าใจในเบื้องต้นนี้ก็คือไม่ใช่ว่า DAQ Board ทุกแบบ จะเหมาะสมกับการทำงานร่วมกับ LabVIEW ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ใช้ DAQ Board ที่ผลิตโดยบริษัท National Instrument ดังนั้น DAQ Board ทุกแบบที่เรามีอยู่จะสามารถ ทำงานร่วมกับ LabVIEW ได้อย่างแน่นอน

สำหรับ DAQ Board ที่ผลิตโดยผู้ผลิตไม่ใช่ว่าจะไม่สามารถทำงานร่วมกับ LabVIEW ได้ แต่ว่าการที่ DAQ Board ที่ผลิตโดยผู้ผลิตรายอื่นนั้นจะสามารถทำงาน ร่วมกับ LabVIEW ได้ก็ต่อเมื่อมี Driver ของอุปกรณ์นั้น เพื่อให้ใช้งานร่วมกับ LabVIEW ได้ เท่านั้นเท่านั้น ดังนั้นหากว่าทางบริษัทผู้ผลิต DAQ Board นั้นไม่มี Driver ที่ใช้งานร่วมกับ LabVIEW มาให้ เราอาจจำเป็นต้องเขียน Driver ขึ้นมาเอง ซึ่งวิธีการนี้ค่อนข้างจะ ยุ่งยากและเสียเวลามาก

การเลือกใช้ DAQ Board ที่เหมาะสมกับตนที่จะใช้ถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ประการหนึ่ง เพราะราคาของเครื่องมือนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากหากเรากำหนด ข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป เช่น อัตราการเรียกสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) จำนวนช่อง รับ-ส่งสัญญาณ (I/O channel) หรืออื่นๆ โดยปกติราคาของ DAQ Board ที่ผลิตโดยบริษัท National Instrument จะมีราคาอยู่ระหว่าง \$700-2000 ขึ้นอยู่กับความต้องการ ซึ่งเป็นราคาที่ นับว่าสูงมาก เราอาจจะได้ board ที่ราคาถูกกว่านี้จากผู้ผลิตรายอื่น แต่อาจจะมีปัญหา เรื่องการใช้งานร่วมกับ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

## GPIB

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

จุดประสงค์แรกของ 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, Multimeter ซึ่งเป็น Actual Instrument อยู่แล้ว ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลจึงเป็นข้อมูลที่อ่านค่าได้เรียบร้อยแล้ว เพราะบนเครื่องมือเหล่านั้นจะมีระบบ Signal Processing อยู่ในตัวเองเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการที่ LabVIEW ติดต่อกับอุปกรณ์อื่นโดยผ่านทาง GPIB Port ได้สามารถทำให้เราสามารถเพิ่มศักยภาพของเครื่องมือจริง 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 แม้ว่าในการเขียนโปรแกรมขั้นพื้นฐานเราจะไม่ได้กล่าวถึงการร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ก็ตาม การเขียน VI ในเบื้องต้น ผู้ใช้อาจมีความรู้สึกว่ายุ่งยาก ต้องจดจำ icon และระบบควบคุมต่างๆ มากมายแต่ก็จะเหมือนกับโปรแกรมหลายๆ แบบ หลังจากที่เราได้ทำความคุ้นเคยกับตัวโปรแกรมและการเขียนโปรแกรมพื้นฐานแล้วเราจะพบว่าการนำ LabVIEW ไปใช้งานไม่ได้มีความยุ่งยากอย่างที่เราคิดเลย

### วิวัฒนาการของ LabVIEW

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

ที่เข้ากับ LabVIEW สำหรับระบบปฏิบัติการอื่นที่ไม่ใช่ GUI นั้นไม่มีความเหมาะสมที่จะใช้กับ LabVIEW ดังนั้นสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทาง NI จึงต้องรอให้เทคโนโลยีระบบปฏิบัติการ GUI ของเครื่อง PC พร้อมเสียก่อน ซึ่ง NI ก็ต้องรอนจนกระทั่งระบบปฏิบัติการ Windows ประสบผลสำเร็จทั้งในด้านเทคโนโลยีและการตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 1990 ทาง NI ได้ประสบผลสำเร็จในการนำ LabVIEW version 2 ออกสู่ตลาด โดยได้ปรับแก้และเขียนระบบควบคุมใหม่ทั้งหมด ตามคำแนะนำของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะการเขียน Compiler ที่ทำให้เวลาการทำงานของโปรแกรมรวดเร็วขึ้น ทัดเทียมกับการเขียนด้วยภาษาขั้นพื้นฐาน 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 กันอย่างกว้างขวางทั้งในวงการศึกษา วิจัยและในวงการอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในระบบการควบคุมอัตโนมัติ ถ้าหากว่าคุณกำลังมองหาโปรแกรมทางด้านการวัดและเครื่องมือวัด LabVIEW อาจจะเป็นคำตอบหนึ่งของคุณก็ได้

## Software


- Protocol ต่างๆ ในทางอุตสาหกรรม LabVIEW ก็สามารถติดต่อสื่อสารได้รวมทั้ง PLC ยี่ห้อต่างๆ และงาน SCADA LabVIEW ก็สามารถทำได้เหมือนโปรแกรม SCADA ทั่วไป และบริษัท NI ยังมี PLC ของตนเองขายอีก
- ความสามารถในการทำ Image Processing ก็ทำได้ไม่แพ้ Image Processing ในท้องตลาด
- สามารถติดต่อกับ Database มาตรฐานรวมทั้งการควบคุมการทำงานกับโปรแกรม MS-OFFICE และอื่นๆ ใน windows
- อื่นๆ อีกหลากหลายซึ่งความสามารถทั้งหมดมีตัวกลางที่ทำให้ประสานกันได้ด้วย LabVIEW ซึ่งทำให้การจัดทำ Application ง่าย และเบ็ดเสร็จในตัวเอง ในขณะที่โปรแกรมอื่นๆ ไม่มีครบได้ถึงขนาดนี้

## การประยุกต์ใช้งาน

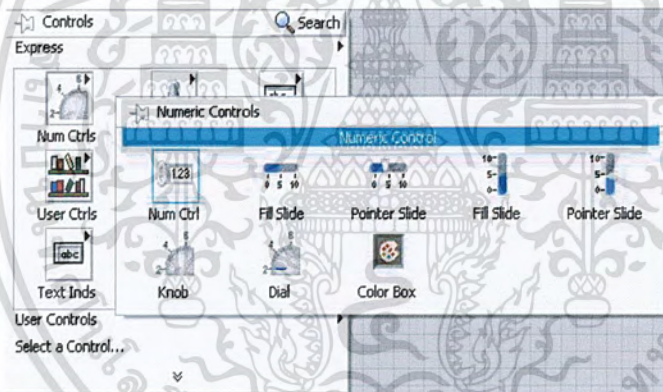
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

## การสร้าง VI เบื้องต้น

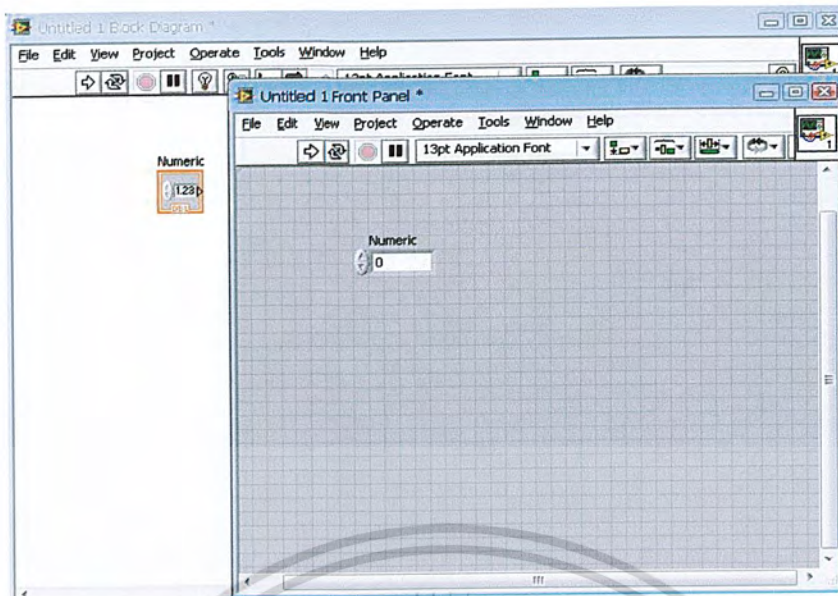
จากการใช้งาน LabVIEW ก็คือต้องการ VI ที่ทำหน้าที่บวกเลขสองจำนวน คือ A, B พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ C ออกทางหน้าจอด้วย ดังนั้นสิ่งที่เราต้องการก็คือ VI ที่ทำสมการ  $A+B = C$  การรับค่าตัวเลขจากหน้าจอจะต้องใช้ Control ที่เป็น Numeric ส่วนการแสดงผลจะต้องใช้ indicator ที่เป็น numeric เช่นกัน โดยเราเลือกตัวคอนโทรลแบบ numeric คือ  จาก Numeric >> Numeric Control แสดงดังภาพที่ 1 และเมื่อวาง

ลงใน Front panel แล้วจะปรากฏฟังก์ชันบล็อก  ในหน้าจอบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 2




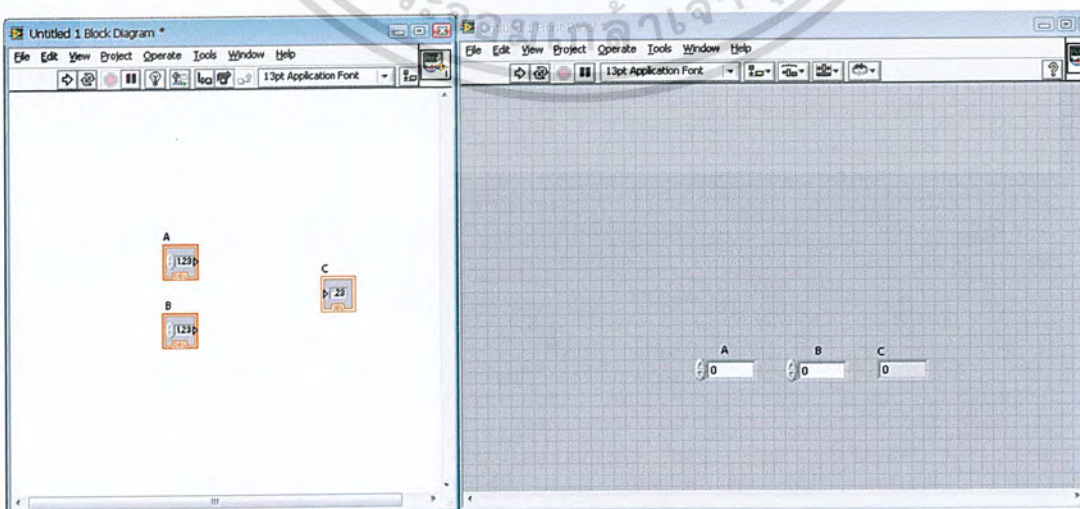
ภาพที่ 1 Numeric Control จาก Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



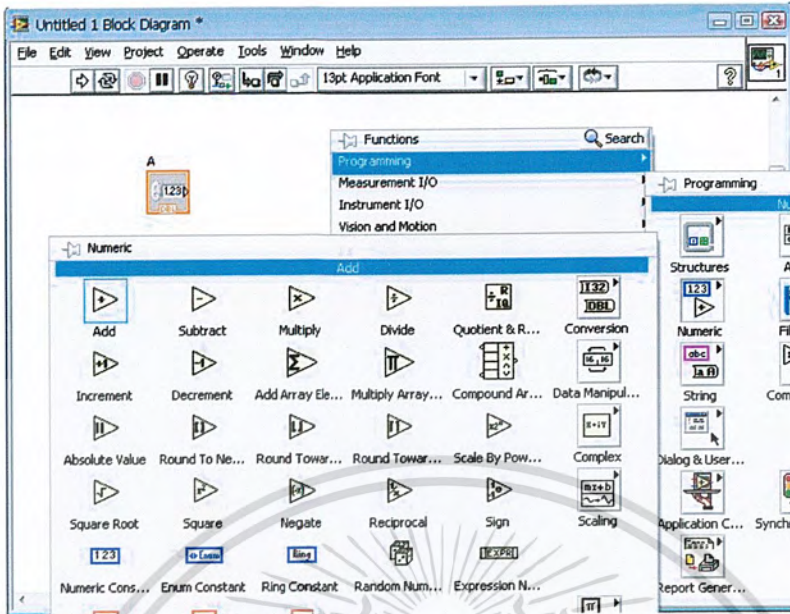
ภาพที่ 2 Front panel เมื่อวาง Numeric Control และฟังก์ชันบล็อกในห้องจอบlock Diagram

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



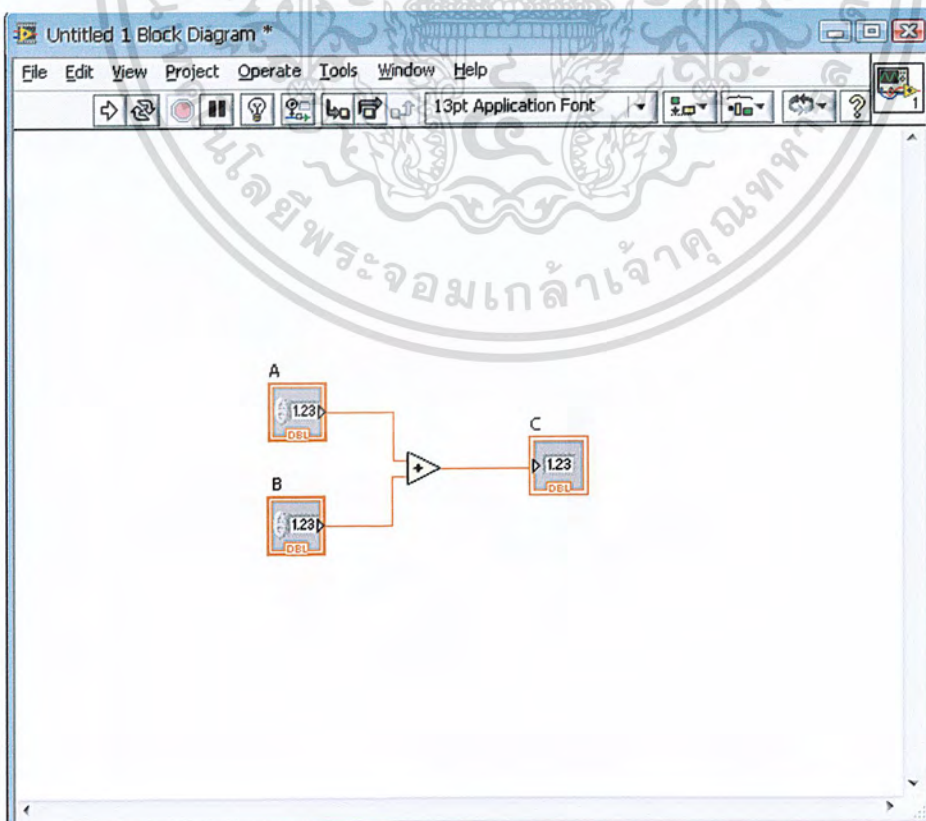
ภาพที่ 3 Numeric Control และ indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาพที่ 4 ฟังก์ชัน Add จาก Programming

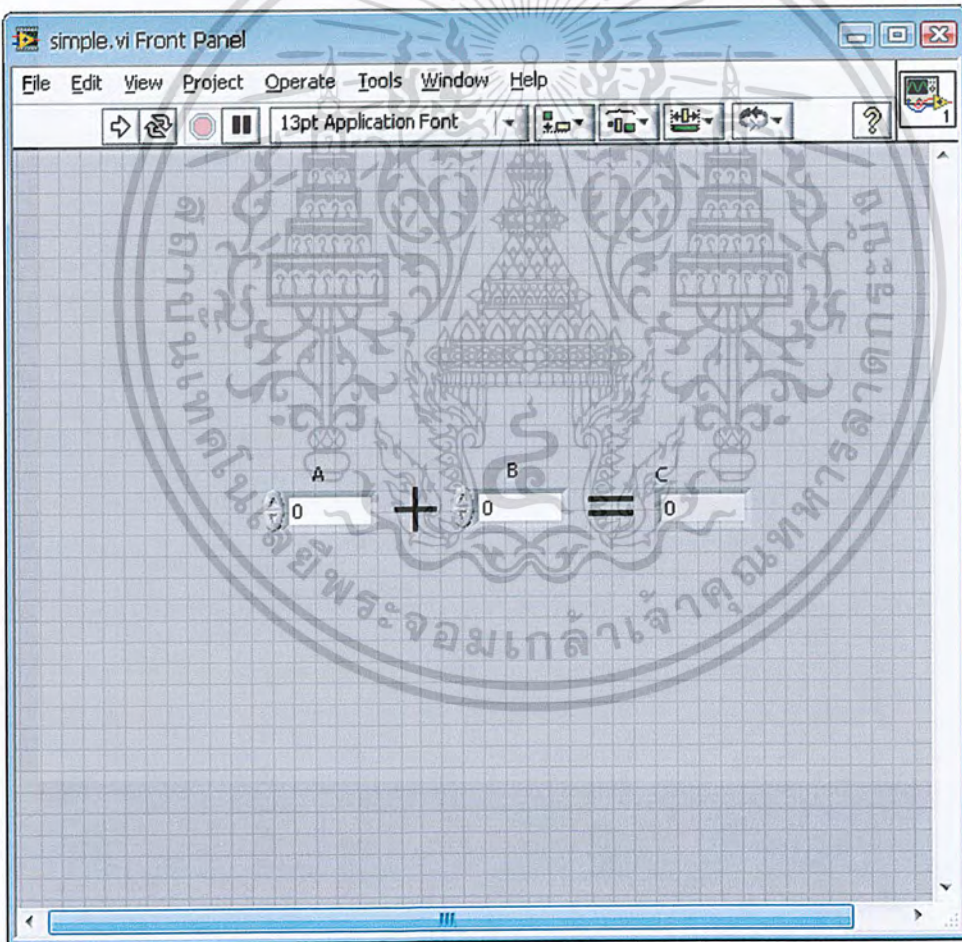
จากนั้นนำฟังก์ชัน Add ไปวางไว้ในหน้าจอบล็อกไดอะแกรม ซึ่งจะเป็นส่วนของการเขียนโปรแกรมของเรา จากนั้นทำการลากสายเชื่อมต่อระหว่างบล็อกทั้งหมด ใหดูสวยงามเป็นระเบียบดังภาพที่ 5




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





### ภาพที่ 5 หน้าจอ Block Diagram เมื่อเชื่อมต่อสายระหว่างบล็อกเรียบร้อยแล้ว

เท่านี้ เราจะได้ VI ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว โดย VI ที่ได้ก็คือโปรแกรมที่ทำหน้าที่บวก A และ B เพื่อจะได้ผลลัพธ์เป็น C การรันโปรแกรมก็เพียงแต่คลิกปุ่ม 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




ภาพที่ 6 หน้าจอ “simple.vi” ที่ตกแต่งเพื่อให้สวยงามและเข้าใจได้ง่าย


การรันโปรแกรมสามารถทำได้โดยกดปุ่มไอคอน  หรือ กด ctrl+R โดยเราสามารถทดลองรัน “simple.vi” ได้ทันที พร้อมกับทดลองเปลี่ยนค่า ของ A และ B เพื่อดูเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ C ขณะโปรแกรมกำลังรันอยู่ ไอคอน  จะเปลี่ยนรูปร่างเป็น  และหากต้องการให้หยุดการรัน ก็จะต้องคลิกที่ปุ่ม STOP  แต่ตอนนี้การรันโปรแกรม จะเกิดขึ้นเพียงแค่ครั้งเดียว หรือ รอบเดียว หากต้องการให้โปรแกรมสามารถรันได้ต่อเนื่อง ก็จะต้องเลือก  โปรแกรมจะรันต่อเนื่องได้หากมี การเขียนตัวควบคุมการรัน เช่นการใส่ While loop ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

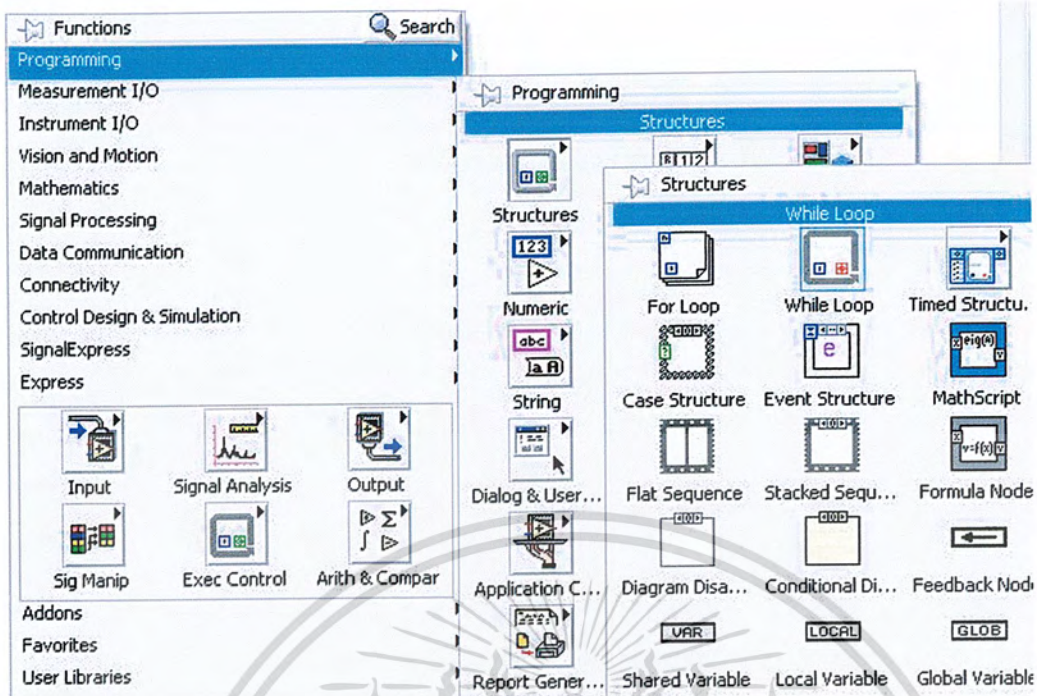
## เพิ่ม While loop

หากเราต้องการให้โปรแกรมสามารถรันได้อย่างต่อเนื่อง นั้นเราใช้บล็อกที่ทำหน้าที่คอนโทรลการรัน โดยส่วนมากเราใช้ While loop ซึ่งมีความหมายว่าเป็นการ “รันโปรแกรมไปจนกว่าจะพบเงื่อนไขการหยุดที่ถูกต้อง” เงื่อนไขการหยุดที่ว่าอาจจะเกิดจากการทำงานของโปรแกรมเอง หรือจากการรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน เช่นการกดปุ่มยกเลิก

การทำงาน บล็อก While loop ใน LabVIEW จะใช้ไอคอนเป็น  While Loop จาก Programming>> Structures>> While loop ในโปรแกรมที่เป็น Text ทั้งหมดจะใช้ “While” และ “end” ครอบคลุมของโปรแกรมที่ต้องการ หรือ While [เงื่อนไข][โปรแกรม]

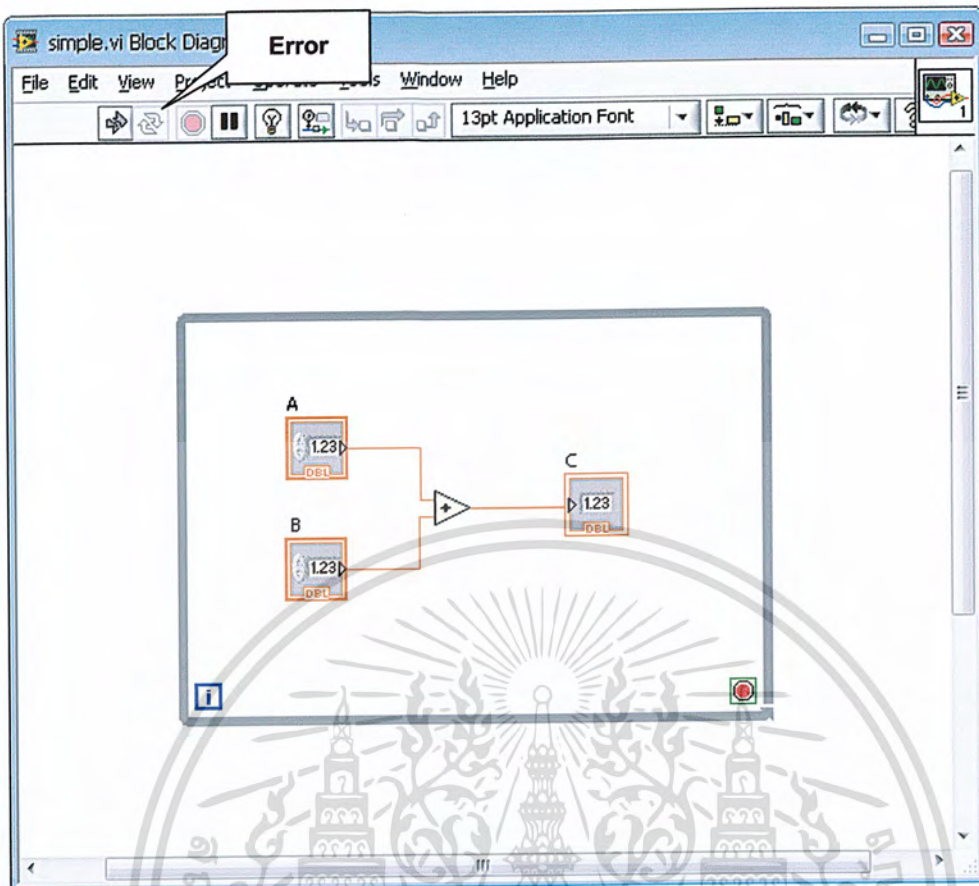
end วิธีการใช้ While loop ใน LabVIEW ก็คือการใส่บล็อก  While Loop ครอบลงไป ใน

ส่วนบล็อกที่เราต้องการเช่นเดียวในการเขียนโปรแกรม Text นั้นเอง ดูวิธีการใส่  While Loop ใน VI ได้จากภาพที่ 7








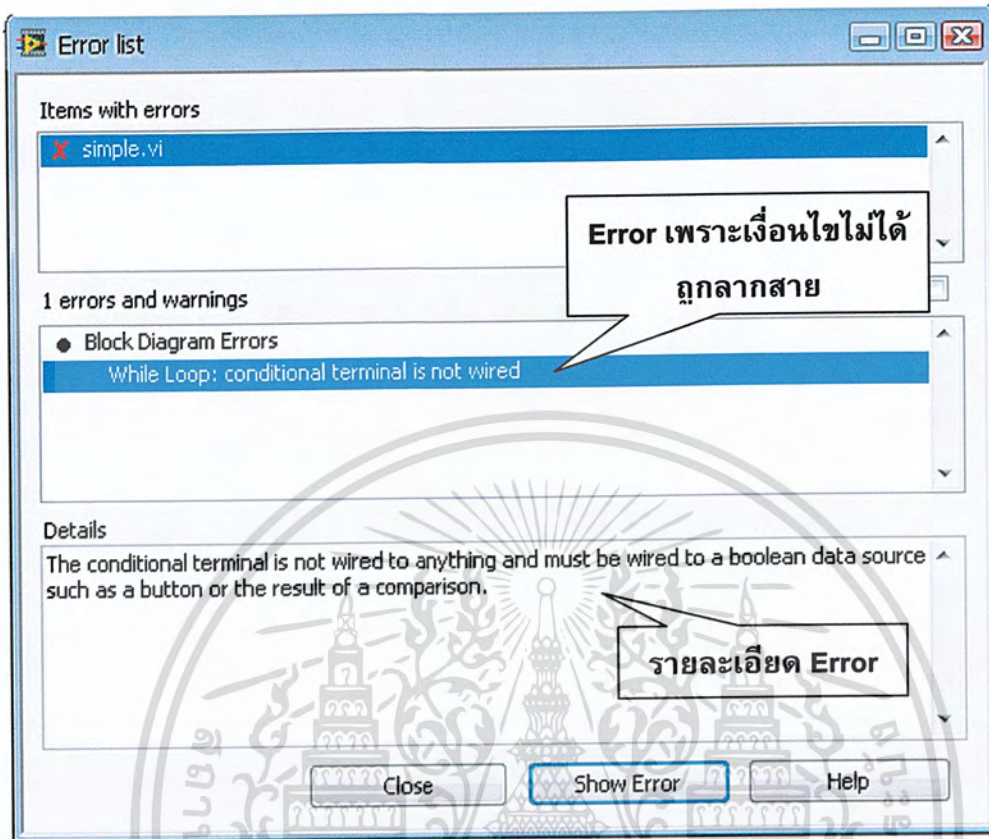
ภาพที่ 7 การเลือก While loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

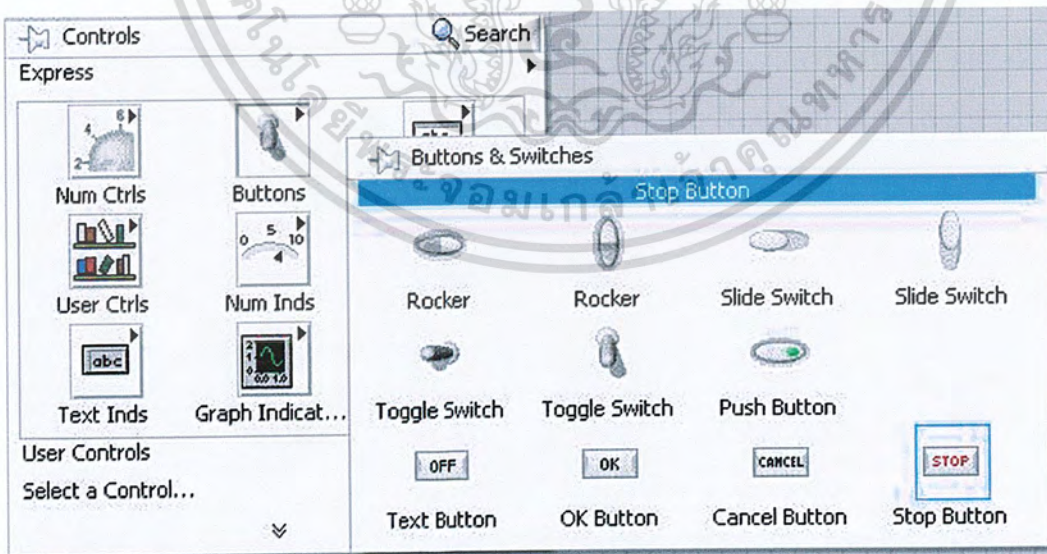


ภาพที่ 8 การใส่ While loop

แต่ในภาพที่ 8 สังเกตว่า หากเราไม่ใส่เงื่อนไขการหยุดการทำงาน ให้กับ While loop แล้วละก็ จะเกิด ความผิดพลาด หรือ Error ขึ้นแสดงด้วยไอคอน  ซึ่งหากเรากดคลิกเข้าไปดู LabVIEW จะแสดงเหตุผลของ Error ที่เกิดขึ้นโดย Error ในตอนนี้ก็ เพราะเนื่องจากตัวแสดงเงื่อนไข 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 จากนั้นเราก็จะลาก บล็อก  ซึ่งเป็น Boolean นั้น ลงมาในส่วนของ Front panel แล้วลากสายให้ เชื่อมต่อกับเงื่อนไขยกเลิกการทำ While loop 

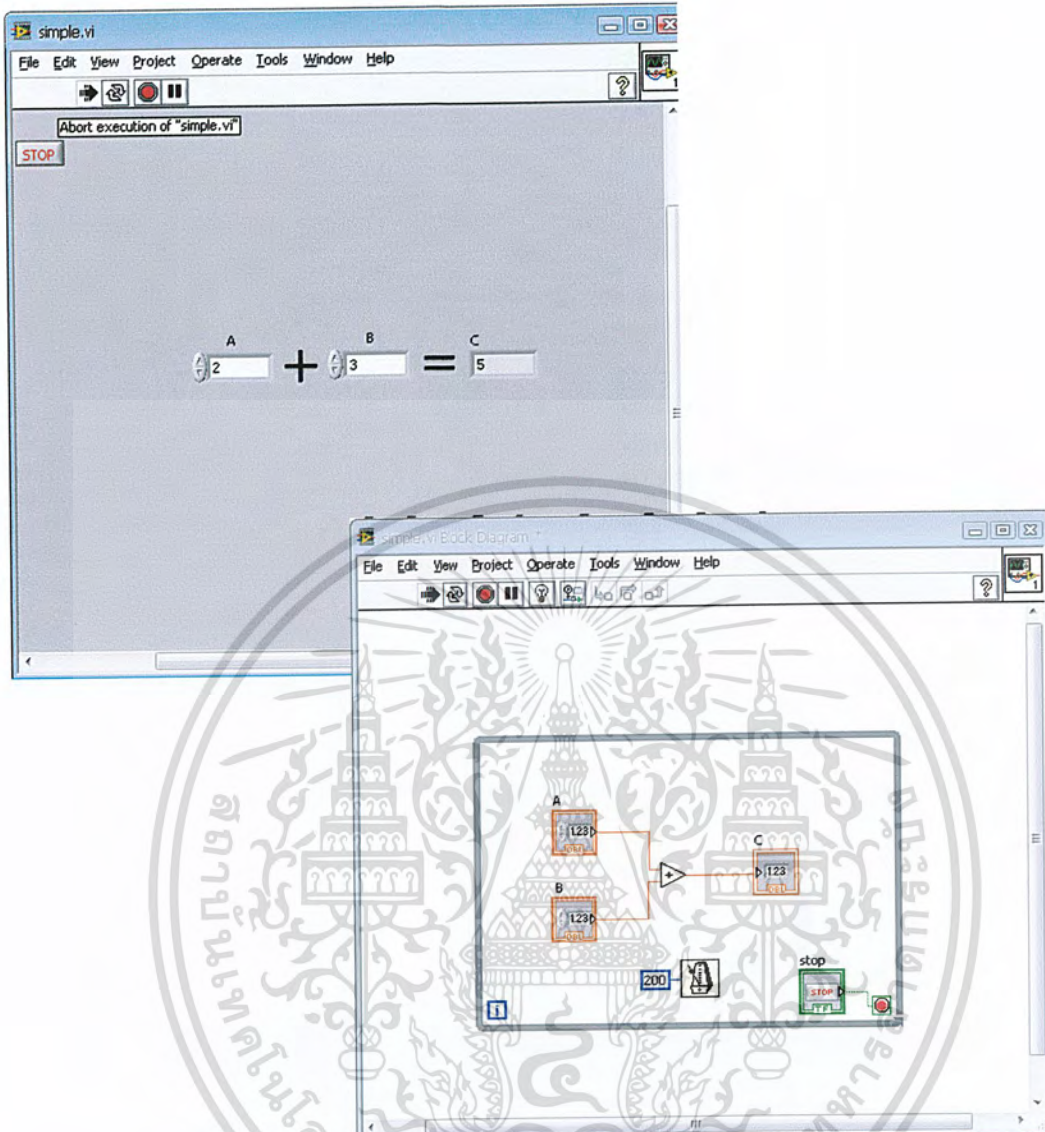


ภาพที่ 9 หน้าจอแสดงรายการ Error








ภาพที่ 10 Stop Button

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 simple.vi ที่มี While loop ที่มีเงื่อนไขการหยุด

เท่านี้เราก็จะได้โปรแกรมการบวกที่สามารถรัน เรียบร้อยแล้ว เมื่อกดปุ่ม  ก็  
จะปรากฏการรันต่อเนื่อง  ขึ้น จนกว่าจะยกเลิก  หรือ stop  บนเมนู สังเกต  
ในภาพที่ 11 นั้น จะปรากฏว่ามีบล็อกการตั้งเวลาการทำงานใน while loop ด้วย โดยมี  
สัญลักษณ์ ของฟังก์ชันบล็อกเป็น  บล็อกนี้ได้มาจาก Function>> Programming>>  
Timing>> Wait until next ms multiple สาเหตุที่ต้องใช้บล็อกตั้งเวลาก็คือว่า ใน While  
loop นั้นจะทำงานต่อเนื่องจาก loop เก่าไป loop ถัดไปโดยไม่มีช่วงหยุดพัก ซึ่งจะทำให้  
โปรแกรมนี้จองเวลาของ CPU เต็มที่จนไม่มีเวลาไปทำงานอื่นๆ ได้เลย ดังนั้นจึงควร  
จะมีส่วนของการตั้งค่านองเวลาของการวนแต่ละ loop ด้วยการตั้งเวลาทำได้จาก การใส่ชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นพทเป็นค่าคงที่ซึ่งมีบล็อกเป็น  โดยมีหน่วย มิลลิวินาที ซึ่งเขียนเป็นชุดบล็อกที่จะเป็นมาตรฐาน เช่น   นั้นหมายความว่า เราตั้งค่าให้มีการรอเป็นเวลา 200 มิลลิวินาที ก่อนที่ loop ถัดไปจะเริ่มทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

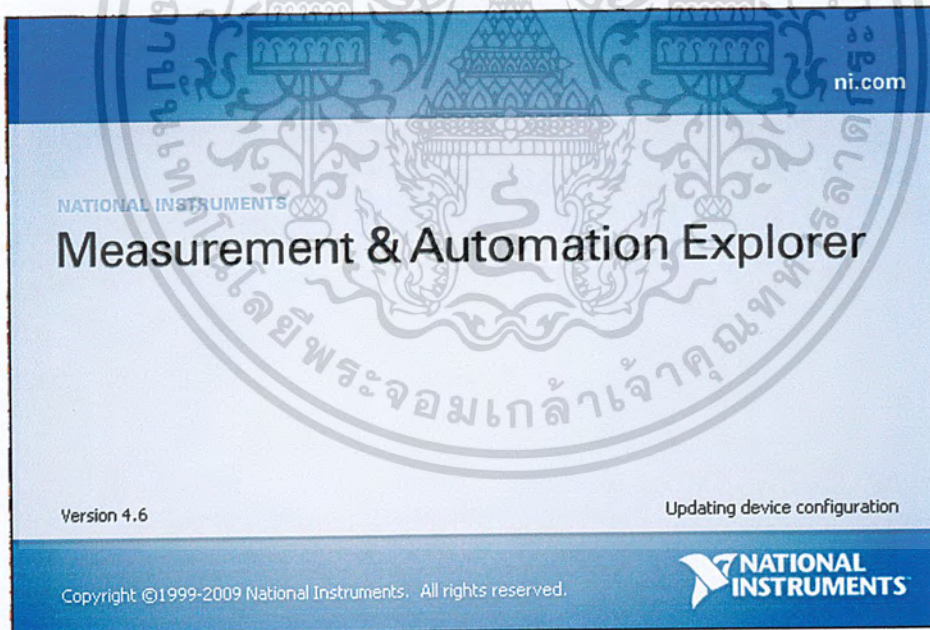
### DAQ

#### 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



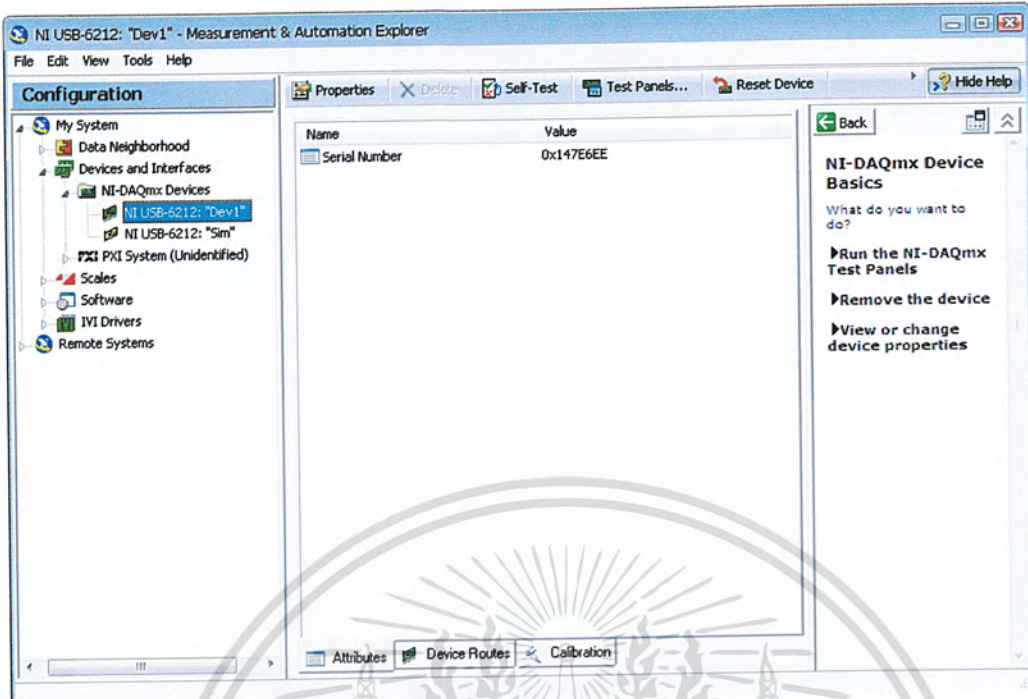
รูปที่ ข.1 Icon ของโปรแกรม Measurement & Automation



รูปที่ ข.2 เข้าโปรแกรม Measurement & Automation Version 4.6

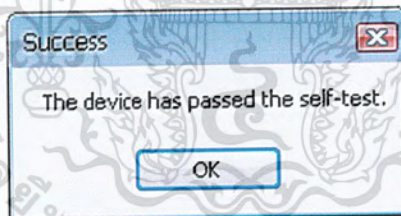
เมื่อเข้าโปรแกรมแล้วจะพบหน้าต่าง NI USB-6212: "Dev 1" Measurement & Automation Explorer จากนั้นทำการตรวจสอบความผิดปกติของชุดอุปกรณ์ โดยเลือกที่ Self-Test บน Toolbar ของโปรแกรม ดังรูปที่ ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 หน้าต่างของโปรแกรม Measurement & Automation

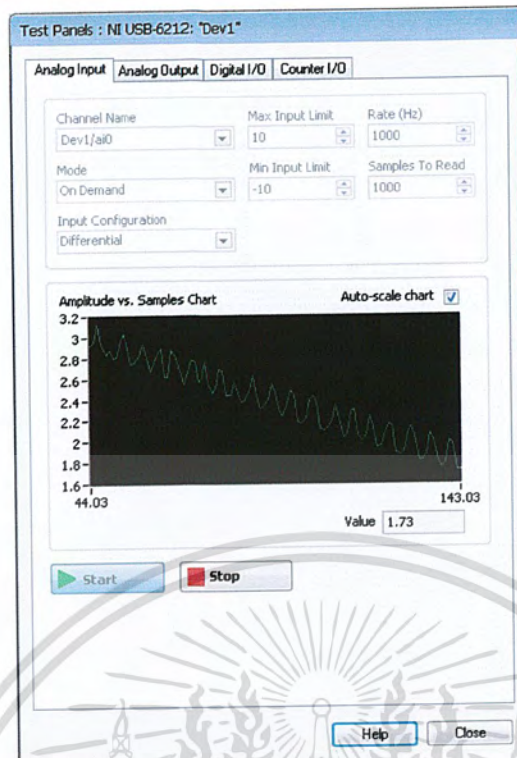
จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Success ขึ้นมา ดังรูปที่ ข.4 ซึ่งแปลว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับชุดอุปกรณ์ หรือสามารถใช้งานได้ปกติ



รูปที่ ข.4 หน้าต่างเมื่อทำการตรวจสอบชุดอุปกรณ์

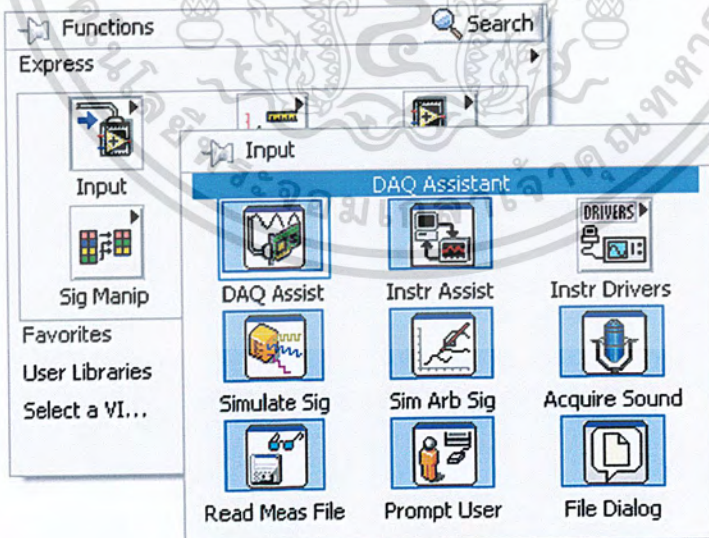
และยังทำการทดสอบแต่ละช่องอุปกรณ์ได้ที่ Test Panels บน Toolbar ในโปรแกรม Measurement & Automation เมื่อกด Test Panel แล้วจะพบกับหน้าต่างที่ใช้ทดสอบช่องอุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ ข.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 หน้าต่างของ Test Panels

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

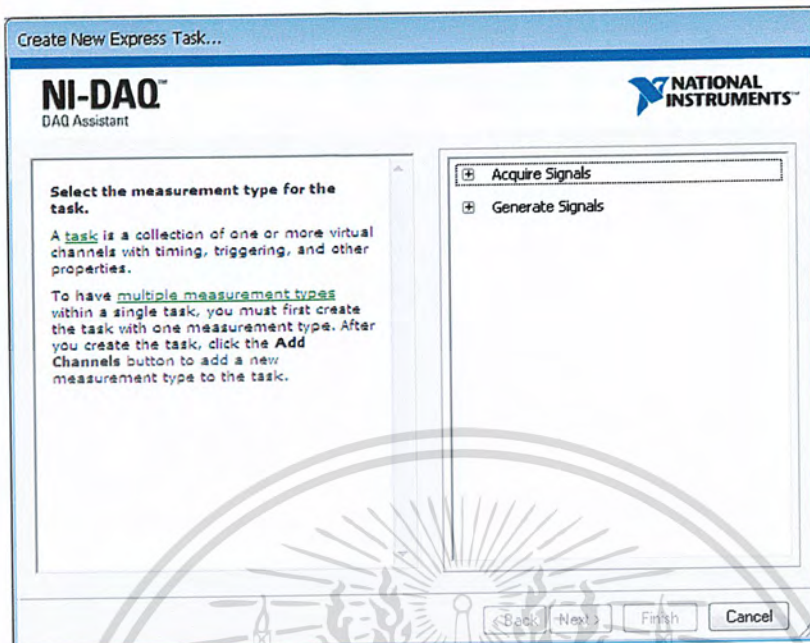


รูปที่ ข.6 DAQ Assistant จาก Fuction Palette

เมื่อเลือก DAQ Assistant แล้วจะปรากฏหน้าต่าง Crate New Express Task ดัง

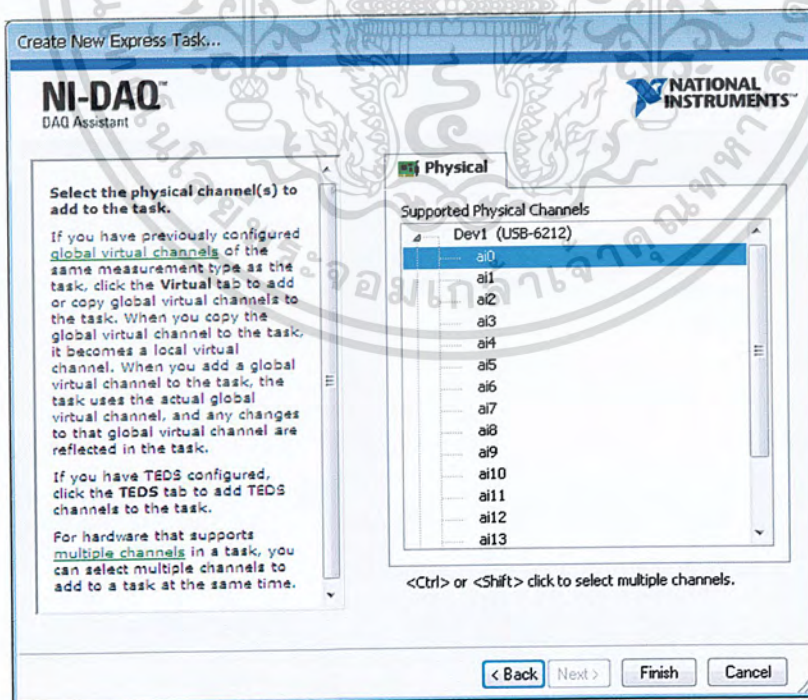
รูปที่ ข.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 หน้าต่าง Create New Express Task

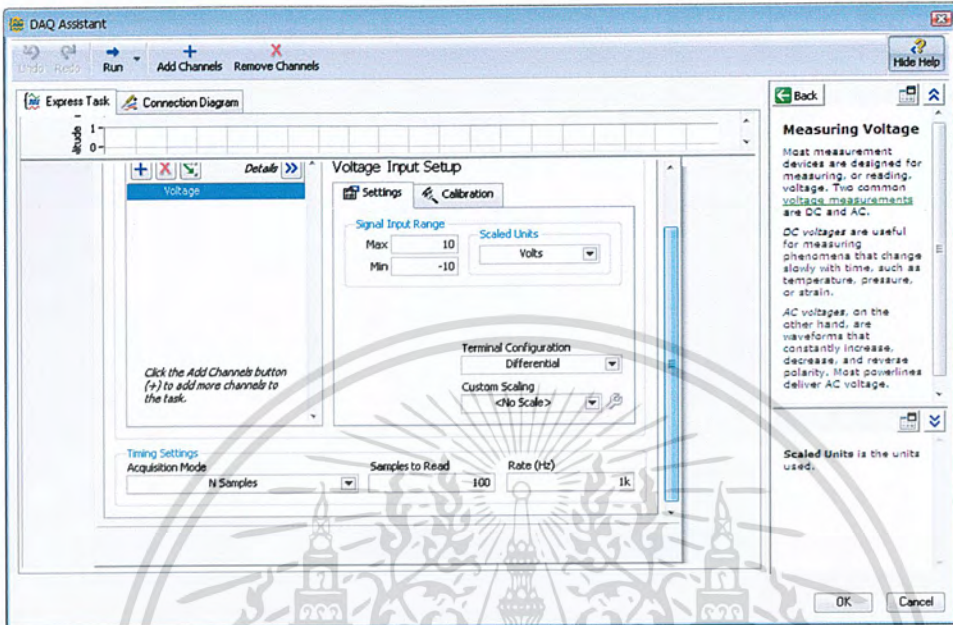
จากนั้นทำการเลือกสัญญาณอินพุตที่ Acquire Signals หรือสร้างสัญญาณเอาต์พุตที่ Generate Signals จากนั้นทำการเลือกช่องสัญญาณของ DAQ ดังรูปที่ ข.8



รูปที่ ข.8 เลือกช่องสัญญาณของ DAQ

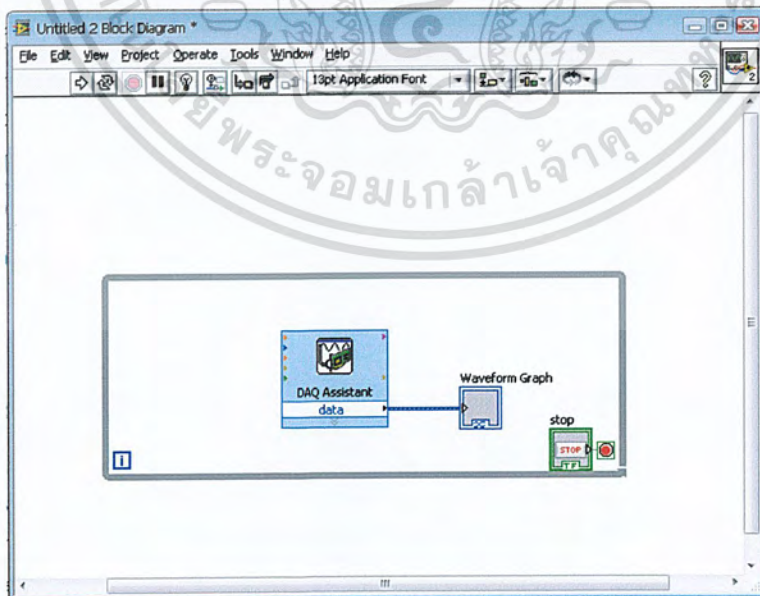
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จากนั้นก็สามารรถสร้าง Block Diagram ต่างๆเพื่อนำมาใช้ทำงานกับสัญญาณที่ผ่านจากชุดอุปกรณ์ได้



รูปที่ ข.10 ทำการเขียน Block Diagram โดยรับสัญญาณอินพุตจาก DAQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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 SignalExpress 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 ( $\pm 0.2$  to  $\pm 10$  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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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 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

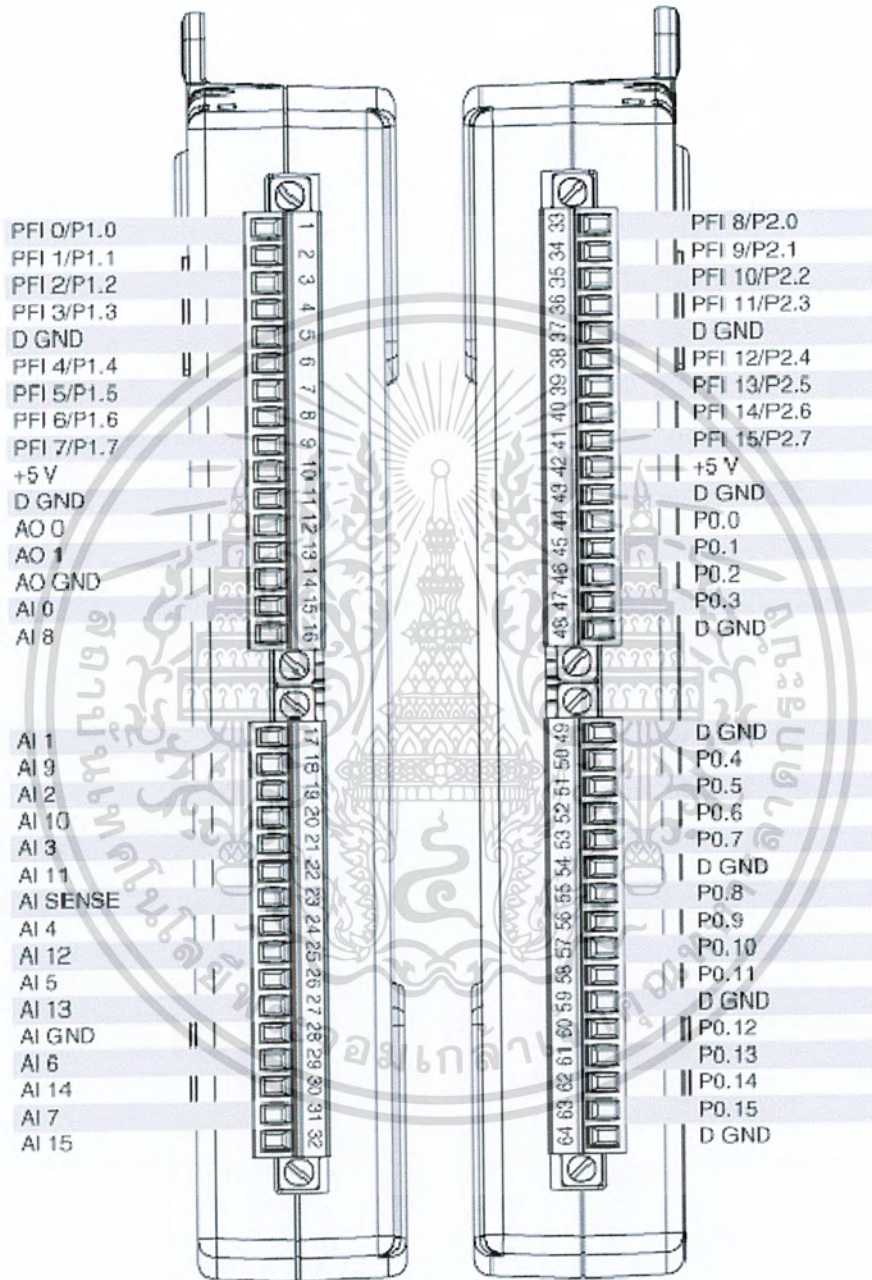
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Analog Input</b>	
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 $\mu$ V
Minimum Voltage Range	-200 mV , 200 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	0.088 mV
Minimum Voltage Range Sensitivity	4.8 $\mu$ V
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples
<b>Analog Output</b>	
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
<b>Digital I/O</b>	
Bidirectional Channels	32
Input-Only Channels	0
Output-Only Channels	0
Number of Channels	32 , 0 , 0
Timing	Software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
Maximum Input Range	0 V , 5.25 V
Maximum Output Range	0 V , 3.8 V
<b>Counter/Timers</b>	
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
<b>Physical Specifications</b>	
Length	16.9 cm
Width	9.4 cm
Height	3.1 cm
I/O Connector	Screw terminals
<b>Timing/Triggering/Synchronization</b>	
Triggering	Digital

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

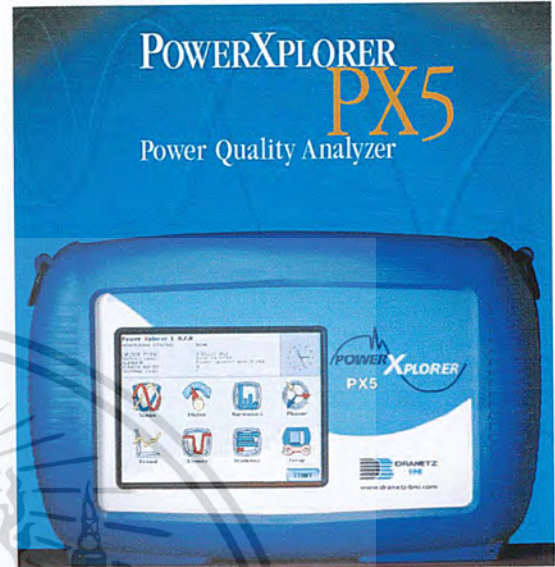


รูปที่ ?? ตำแหน่ง PIN ของ DAQ รุ่น 6212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Power Xplorer - PX5

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Long Term Monitoring w/min/max/avg
Continuous Data Logging
<b>Power Quality Triggers</b>
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)
<b>Distortion/Power/Energy</b>
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
<b>Available Languages</b>
English, French, Italian, German, Spanish, Swedish
<b>General Specifications</b>
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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
<b>Optional Accessories</b>
<p>Current Probes: An extensive selection, including:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Model TR-2510A 0-10 A; up to 0.47" conductors</li> <li>▪ Model TR-2500A 10-500 A; up to 1/8" diameter or 2.5" x 0.2"conductors</li> <li>▪ Model TR-2520A 300-3000 A; up to 2.56" diameter or 1.97" x 5.3" (bus bar)</li> <li>▪ Model TR-2019B 1-300 A; up to 2.0" conductors (requires 116002-G1 adapter)</li> <li>▪ Flexible probes: ranging in current from 30-6000 A, 24", 36", 48"</li> <li>▪ Hall Effect Probes for AC/DC applications, 150 A or 1500 A</li> </ul>
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)
<p>Communications Interface:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232 FiberOptic Adapter (COMM-RS232)</li> <li>▪ USB FiberOptic Adapter (COMM-OUA)</li> <li>▪ LAN-FiberOptic Adapter (COMM-OEA)</li> </ul>
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  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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.

<b>Electrical functions</b>	
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)
<b>Volts / Amps / Hertz</b>	
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 $\pm(5\% + 1 \text{ counts})$
<b>Power (1 and 3 Phase, 3 Conductor balanced loads)</b>	
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)	▪ $\pm(2\% + 6 \text{ counts})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ when selected: fundamental (%f)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\pm(4 \% + 4 \text{ counts})</math></li> </ul>
DPF <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ to 0.25</li> <li>▪ 0.25 to 0.90</li> <li>▪ 0.90 to 1.00</li> </ul>	0.0 to 1.00 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ not specified</li> <li>▪ <math>\pm 0.04</math></li> <li>▪ <math>\pm 0.03</math></li> </ul>
PF	0.00 to 1.00, $\pm 0.04$
Frequency range <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 40.0 to 70.0 Hz</li> </ul>	10.0 Hz to 15.0 kHz <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\pm(0.5 \% + 2 \text{ counts})</math></li> </ul>
<b>Harmonics</b>	
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 $\pm(10 \% + 10 \text{ counts})$ , 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)	$\pm 10 \%$
<b>Sags &amp; Swells</b>	
Recording times (selectable)	4 minutes to 8 days, endless (16 days)
Readings <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ V rms actual, A rms actual (cycle by cycle calculation)</li> <li>▪ V rms max, A rms max</li> <li>▪ V rms min, A rms min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\pm(2 \% + 10 \text{ count})</math></li> <li>▪ <math>\pm(2 \% + 10 \text{ counts})\text{s}</math></li> <li>▪ <math>\pm(2 \% + 10 \text{ counts})</math></li> </ul>
Cursor Readings <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ V rms max, A rms max</li> <li>▪ V rms average, A rms average</li> <li>▪ V rms min, A rms min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\pm(2 \% + 12 \text{ counts})</math></li> <li>▪ <math>\pm(2 \% + 10 \text{ counts})</math></li> <li>▪ <math>\pm(2 \% + 12 \text{ counts})</math></li> </ul>
<b>Transients</b>	
Detection of voltage transients	> 40 ns
Useful bandwidth input 1 (with test leads TL24)	DC to 1 MHz
Reference signal	V rms, Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

After START, the $V_{rms}$ and frequency of the signal are measured. From these data a pure sinewave is calculated.	
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 $V_{peak\ min}$ , $V_{peak\ max}$ at cursor	$\pm 5\%$ of full scale
<b>Inrush Current</b>	
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	$\pm(0.2\% + 2\text{ pixels})$
<b>Input Impedance</b>	
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: $18\text{ pF} \pm 3\text{ pF}$
<b>Horizontal</b>	
Time base modes (selectable)	Normal, Single, Roll
Ranges (selectable within modes) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In Normal</li> <li>▪ In Single shot</li> <li>▪ In Roll mode</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5 s to 20 ns/div</li> <li>▪ 5 s to 1 <math>\mu\text{s}</math>/div</li> <li>▪ 60 s to 1 s/div</li> </ul>
Time base error	$< \pm(0.4\% + 1\text{ pixel})$
Maximum sampling rate <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 10 ms to 60 s</li> <li>▪ 20 ns to 10 ms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5 MS/s</li> <li>▪ 25 MS/s</li> </ul>

Trigger source (AUTO, 1/2 AUTO, MANUAL)	Input 1 or Input 2
<b>Vertical</b>	
Voltage ranges <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trace accuracy</li> </ul>	5.0 mV/div to 500 V/div <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\pm(1 \% + 2 \text{ pixels})</math></li> </ul>
Bandwidth input 1 (voltage) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ excluding test leads or probes</li> <li>▪ with test leads TL24</li> <li>▪ with 10:1 probe VPS100-R (optional)</li> <li>▪ with shielded test leads STL120 (optional)</li> <li>▪ Lower transition point (AC coupling)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DC to 20 MHz (-3 dB)</li> <li>▪ DC to 1 MHz (-3 dB)</li> <li>▪ DC to 20 MHz (-3 dB)</li> <li>▪ DC to 12.5 MHz (-3 dB)</li> <li>▪ DC to 20 MHz (-6 dB)</li> <li>▪ 10 Hz (-3 dB)</li> </ul>
Bandwidth input 2 (current) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ with Banana-to-BNC adapter</li> <li>▪ Lower transition point (AC coupling)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DC to 15 kHz</li> <li>▪ 10 Hz (-3 dB)</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว

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

เกรียงไกร อยู่สุวรรณ จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์ เจตน์ มังกรอัสวกุล และ ฉัตรชัย บุญเย็น  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร./โทรสาร. 0-2739-2478

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการใช้โปรแกรมแลปวิวและอุปกรณ์ตรวจจับและบันทึกสัญญาณดิจิทัลมาใช้ในการสร้างเป็นชุดอุปกรณ์วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสามเฟสซึ่งสามารถให้ทั้งในแบบการแสดงผลขณะทำการวัดค่าและในแบบการบันทึกข้อมูลต่อเนื่องในช่วงเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกเหตุการณ์และช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าสามเฟสได้อัตโนมัติ อุปกรณ์ที่จัดสร้างมีความสามารถในการพกพาได้ และยังมีศักยภาพในการควบคุมระยะไกล จากการทดสอบการทำงานในโหมดต่างๆ ทั้งในห้องปฏิบัติการและในงานจริงที่โรงไฟฟ้าชีวมวลกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 160 KW พบว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: แลปวิว, สัญญาณความผิดปกติทางไฟฟ้าสามเฟส

### Abstract

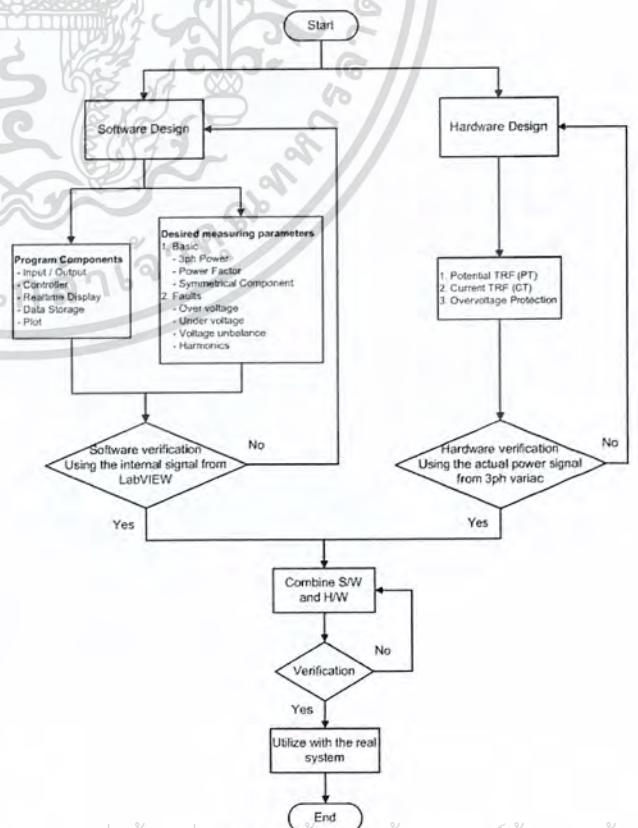
This project presents the use of LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) and digital signal data recording equipment as a smart measuring unit. The main objective is to apply LabVIEW in analyzing the 3-phase parameters in general power system during both normal and faults conditions. 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 ประกอบด้วยส่วนการทำงานของโปรแกรม และส่วนการทำงานของฮาร์ดแวร์ โดยส่วนของโปรแกรมสามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานสามเฟส และความผิดปกติทางไฟฟ้าสามเฟสต่างๆ

โดยการทำงานของโปรแกรมมีส่วนของหน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ หน้าจอควบคุมสัญญาณ หน้าจอตั้งค่าการบันทึกโปรแกรม หน้าจอแสดงคลื่นสัญญาณ และหน้าจอเลือกสัญญาณอินพุตโดยสัญญาณอินพุตเลือกได้ทั้งสองทางคือ สัญญาณที่จำลองจากโปรแกรมและสัญญาณวัดค่าจริงที่รับจาก DAQ (Data Acquisition) โดยส่วนของการรับค่าสัญญาณจริงจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ โดย DAQ จะรับค่าผ่านหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านเข้า DAQ โดยมีวงจรร Zener Diode ป้องกันแรงดันเกินผ่านเข้า DAQ และส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมเพื่อประมวลผลการวัด และวิเคราะห์ค่าต่อไปโดยข้อมูลที่วัดได้สามารถแสดงผลข้อมูลเชิงคุณภาพได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลการวัดและแสดงผลมีประสิทธิภาพ โปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นผ่านกระบวนการทดสอบและนำไปทดลองความถูกต้องพบว่าผลการวัดค่าทดสอบต่างๆ สามารถนำไปใช้ได้จริงและค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดโดยทั่วไป ซึ่งสามารถอธิบายภาพรวมของโครงการ ดังรูปที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 LabVIEW Program

LabVIEW คือ โปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัด สำหรับงานทางวิศวกรรมและทางวิทยาศาสตร์ เป็นโปรแกรมประเภทใช้โค้ดรูปภาพแทนการเขียนโค้ดตัวอักษร

### 2.2 พารามิเตอร์ที่ทำการวัด

#### 2.2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส

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

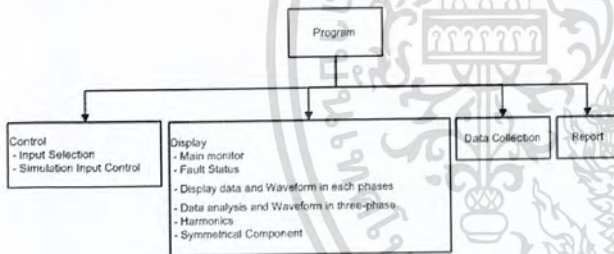
#### 2.2.2 พารามิเตอร์ความผิดปกติของสัญญาณทางไฟฟ้า

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

## 3. การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

### 3.1 การออกแบบโปรแกรม

ควรออกแบบ Front Panel ให้มีความเรียบร้อยเหมาะสมกับประเภทของงาน และที่สำคัญคือให้ผู้ใช้เข้าใจและใช้งานได้ง่าย โดยโปรแกรมส่วนที่ออกแบบแสดงตาม Flow Chart ดังรูปที่ 2 [4]



รูปที่ 2 การออกแบบ โปรแกรม

#### 3.1.1 ส่วนควบคุม (Control)

ใช้ในการเลือกสัญญาณอินพุตระหว่างสัญญาณจริงที่ทำการวัดหรือสัญญาณที่จำลองขึ้นมาด้วยโปรแกรม LabVIEW และส่วนที่ใช้ปรับค่าสัญญาณจำลองประกอบด้วยขนาด มุมเฟส ความถี่ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสดังรูปที่ 3



(ก)

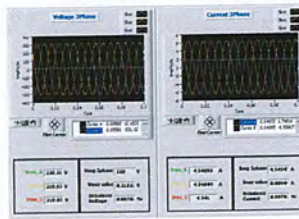


(ข)

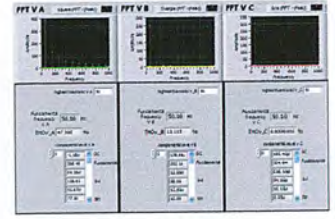
รูปที่ 3 (ก) ส่วนเลือกสัญญาณอินพุต (ข) ส่วนควบคุมสัญญาณจำลอง

#### 3.1.2 ส่วนแสดงผล (Display)

แสดงผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในรูปของตัวเลข ไฟสัญญาณเตือนและรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ยกตัวอย่างส่วนแสดงผล ดังรูปที่ 4



(ก)

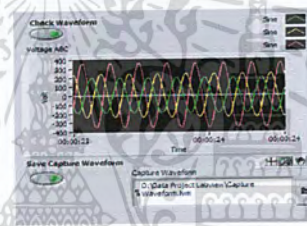


(ข)

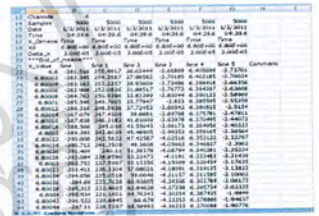
รูปที่ 4 (ก) ตัวอย่างรูปคลื่นสามเฟส (ข) ตัวอย่างผลทางฮาร์มอนิก

#### 3.1.3 ส่วนการบันทึกข้อมูล (Data Collection)

การบันทึกข้อมูลในที่นี้จะบันทึกเป็น \*.lvm (LabVIEW Measurement) ซึ่งเก็บข้อมูลได้สะดวก และมีความต่อเนื่องในการบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 5



(ก)

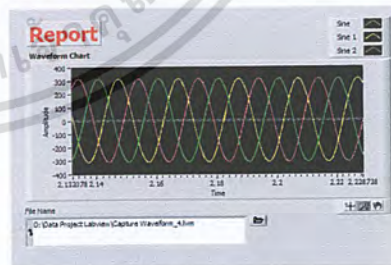


(ข)

รูปที่ 5 (ก) ส่วนการบันทึกข้อมูล (ข) รูปแบบของไฟล์ \*.lvm

#### 3.1.4 ส่วนรายงานผล (Report)

นำไฟล์ \*.lvm ที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาพล็อตกราฟเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ส่วนรายงานผล

## 3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์

### 3.2.1 ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer)

ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมกับย่านการทำงานของ DAQ คือประมาณ  $\pm 10$  โวลต์ [5] ซึ่งหม้อแปลงแรงดันที่ใช้มีอัตราส่วน 800/16 แสดงดังรูปที่ 7 (ก)

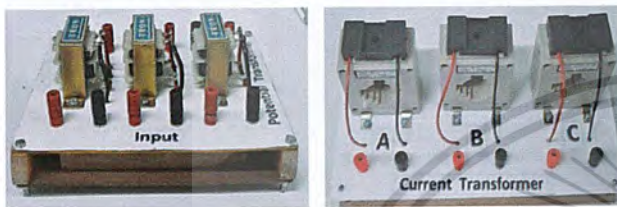
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

ใช้สำหรับลดกระแสของแหล่งจ่ายที่มีกระแสสูง เพื่อให้เหมาะสมกับย่านการทำงานของ DAQ หรือน้อยกว่า 3 มิลลิแอมป์ [5] หม้อแปลงกระแสที่ใช้มีอัตราส่วน 200/5 แสดงดังรูปที่ 7 (ข)

3.2.3 ชุดป้องกันแรงดันเกิน (Zener Diode)

มีหน้าที่รักษาแรงดันให้คงตัวขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง เพื่อป้องกัน DAQ ไม่ให้เสียหายถ้าแรงดันเกิน  $\pm 10$  โวลต์ ดังรูปที่ 7 (ค) ซึ่งในวงจรจะประกอบด้วยตัวต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์มและซีเนอร์ไดโอด แสดงดังรูปที่ 7 (ง)

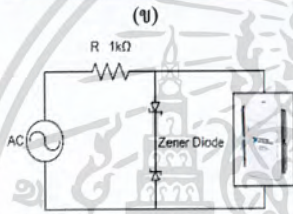


(ข)

(ค)



(ค)



(ง)

รูปที่ 7 (ก) หม้อแปลงแรงดัน (ข) หม้อแปลงกระแส (ค) ชุดป้องกันแรงดันเกิน (ง) วงจรป้องกันแรงดันเกิน

4. ผลการทดลอง

เพื่อให้ชุดอุปกรณ์มีความน่าเชื่อถือนำไปใช้ได้จริง มีการทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์และทำการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์

4.1.1 การหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

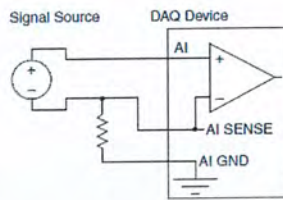
โดยป้อนแรงดันอินพุตให้โหลด บันทึกค่าแรงดันจริง กระแสจริง และบันทึกค่าแรงดันที่ออกจาก PT และ CT หาอัตราส่วนระหว่าง Output กับ Input ได้ค่าแก้อัตราส่วนของ CT และ PT ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

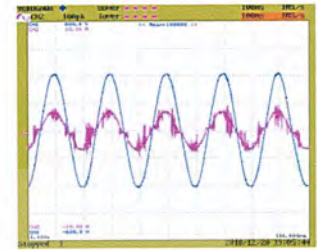
Phase	ค่าแก้ไขโปรแกรม			
	PT		CT	
	Actual Ratio	New Ratio	Actual Ratio	New Ratio
A	50	48.90	40	44.79
B	50	48.94	40	44.06
C	50	48.91	40	44.72

4.1.2 การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก DAQ

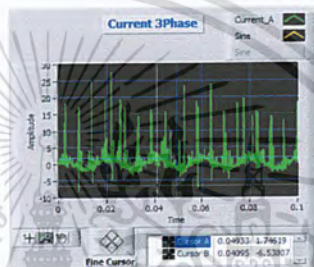
โดยทำการต่อตัวต้านทานระหว่างกราวด์ของกระแสดังวงจรในรูปที่ 8 (ก) จะพบว่าสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้และรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ก็มีความถูกต้องมากขึ้น โดยเทียบกับรูปคลื่นจากเครื่อง Power Analyzer PZ-4000 แสดงดังรูปที่ 8 (ข), (ค) และ (ง)



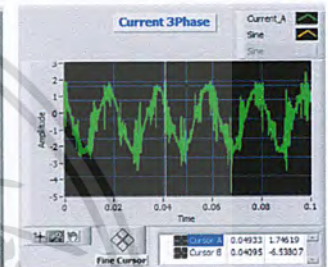
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 8 (ก) วงจรการต่อ DAQ (ข) รูปคลื่นสัญญาณจากเครื่อง PZ4000 (ค) ก่อนแก้ไข (ง) หลังแก้ไข

4.1.3 ตรวจสอบห่าย่านการทำงานของ Zener Diode

จากการป้อนแรงดันด้านอินพุตให้มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า 10 โวลต์ พบว่าวงจรก็จะป้องกันแรงดันด้านเอาต์พุตไม่ให้มีค่าเกิน 10 โวลต์ โดยย่านการทำงานที่ดีที่สุดของ Zener Diode คือแรงดันอินพุตไม่เกิน 8 โวลต์ เพราะจะสามารถทำงานได้ถูกต้อง แสดงดังตารางที่ 2

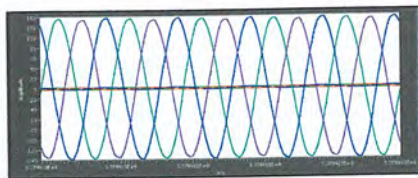
ตารางที่ 2 ผลแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต

Voltage <sub>input</sub> (V)	6.00	7.20	8.30	9.10	12.30	15.00
Voltage <sub>output</sub> (V)	6.03	7.23	8.03	8.35	9.09	9.46

4.2 ผลการทดลองของชุดอุปกรณ์

4.2.1 การทดสอบขณะทำการวัด Basic Linear Load

จากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้โหลดเป็นหลอดไฟไส้ต่อแบบสตาร์สามเฟสพบว่ารูปคลื่นขณะทำการวัดเป็นดังรูปที่ 9 และค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 9 กราฟกำลังไฟฟ้าในกรณี Basic Linear Load



(ก)



(ง)

รูปที่ 11 (ก) ค่า THD<sub>V</sub> จากโปรแกรม (ข) ค่า THD<sub>V</sub> จากเครื่อง PZ4000  
(ค) ค่า THD<sub>V</sub> จากโปรแกรม (ง) ค่า THD<sub>V</sub> จากเครื่อง PZ4000

ตารางที่ 3 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

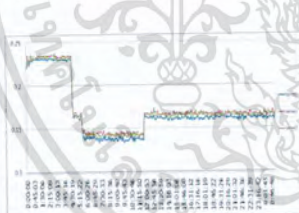
\*Power Meter PX120

4.2.2 การทดสอบเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องกับ Non-Linear Load

จากการวัดกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้โหลดเป็น High performance Electronics Ballast ตลอด 24 ชั่วโมงจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเป็น 3 ระดับ ซึ่งก็เป็นไปตามมาตรฐานของบัลลาสต์ชนิดนี้ แสดงดังรูปที่ 10 (ก) และ (ข) โดยรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่บันทึกได้จากเครื่อง PZ-4000 แสดงดังรูปที่ 8 (ข)



(ก)

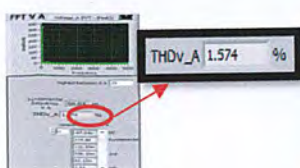


(ข)

รูปที่ 10 (ก) วงจรการทดสอบ (ข) กราฟกำลังไฟฟ้า

4.2.3 การทดสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

จากการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของ โคมไฟถนนที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมแลปวิวเปรียบเทียบกับเครื่อง Power Analyzer (PZ4000) จะพบว่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกรวมที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นดังรูปที่ 11 (ก), (ข) และ (ค), (ง) ตามลำดับ



(ค)



(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดัน

ทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตด้วย Variac แล้วบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตจะพบว่าชุดอุปกรณ์สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้ถูกต้องโดยค่าที่บันทึกแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่บันทึกได้

Voltage <sub>input</sub> (V)	Per-Unit	Va	Vb	Vc
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

4.2.5 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

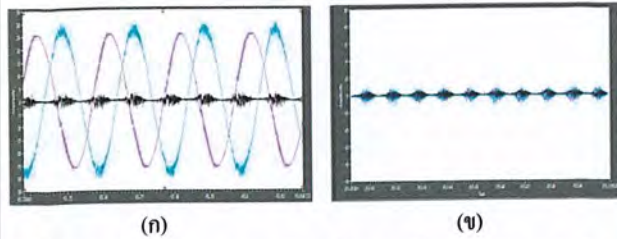
ทำการปรับเปลี่ยนความถี่ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดโดยใช้ Function Generator จะพบว่าชุดอุปกรณ์สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความถี่นี้ได้ซึ่งค่าความถี่ที่บันทึกได้แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความถี่ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์

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

4.2.6 การทดสอบเมื่อ Open Circuit 1 เฟสและ 3 เฟส

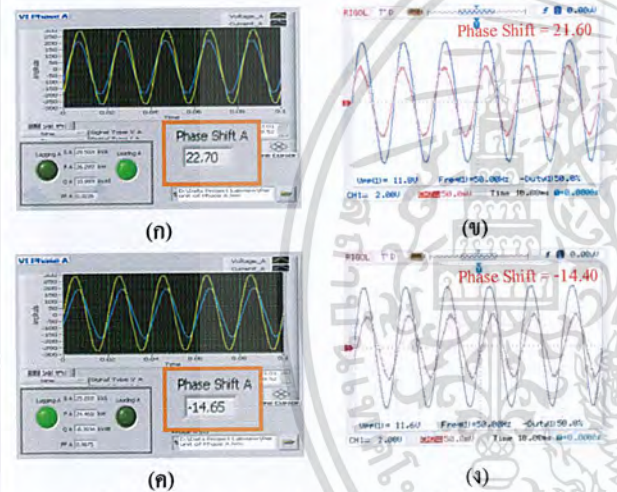
ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับโหลดจากนั้น Open Circuit 1 เฟสจะพบว่ารูปคลื่นสัญญาณที่บันทึกได้จะเป็นดังรูปที่ 12(ก) และเมื่อ Open Circuit 3 เฟสรูปคลื่นสัญญาณที่บันทึกได้จะเป็นดังรูปที่ (ข)



รูปที่ 12 (ก) กราฟเมื่อ Open Circuit 1 เฟส (ข) เมื่อ Open Circuit 3 เฟส

4.2.7 การหาความต่างเฟสเมื่อโหลดเป็น RC และ RL

ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดที่เป็น RC และ RL จะพบว่าเมื่อโหลดเป็น RC มุมกระแสะจะนำหน้ามุมแรงดัน และเมื่อโหลดเป็น RL มุมกระแสะจะล้าหลังมุมแรงดัน โดยดูความต่างเฟสจากโปรแกรมเทียบกับ Oscilloscope ดังรูปที่ 13(ก), (ข) และ (ค), (ง) ตามลำดับ จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 13 (ก),(ข) เมื่อ โหลดเป็น RC (ค),(ง) เมื่อ โหลดเป็น RL

4.2.8 การนำชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลในสถานที่จริง

จากการทดสอบการทำงานจริง ณ โรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 160 kW โดยนำชุดอุปกรณ์ไปทำการวัดที่ตู้ Main Distribution Board พบว่าค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์มีค่าใกล้เคียงกับมิเตอร์ของตู้ โดยมีผลเปรียบเทียบกับตารางที่ 6 และ 7



รูปที่ 14 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าชีวมวล

ตารางที่ 6 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 7 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 สาเหตุมาจากตัวต้านทานของอุปกรณ์

Zener Diode หลุดจากวงจร

5. สรุป

ในบทความฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการวัดปริมาณทางไฟฟ้าและการบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบ ถือเป็นงานนำเอาเทคโนโลยีใหม่มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเครื่องมือวัดที่ออกแบบนี้จะช่วยให้สามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้มากขึ้นภายในเครื่องเดียว โดยชุดอุปกรณ์สามารถจำลองสัญญาณแล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณตามที่ต้องการได้ หรืออาจวิเคราะห์สัญญาณจากภายนอกโดยผ่านตัวแปลงสัญญาณ DAQ ส่วนการบันทึกข้อมูลก็สามารถทำได้ สองรูปแบบคือ การบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะแสดงจำนวนครั้งที่บันทึก วันที่และเวลาที่บันทึก หรือการบันทึกค่าเฉพาะเวลาที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า พร้อมทั้งแสดงสัญญาณไฟแจ้งเตือน ซึ่งจากการทดสอบพบว่าโปรแกรมนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Saadat, "Power System Analysis", 2<sup>nd</sup> 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] กิจไพบุลย์ ชิวพันธ์ุศรี "การออกแบบแอปพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW", ซีอีอูเคชั่น, 2007.
- [5] พิชชา หงสกุล, ภัคพล สุขุมลย์, ภูซงค์ เจริญประสาธสุข, "ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Saadat, "Power System Analysis", 2<sup>nd</sup> 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] J. Travis and J. Kring, "LabVIEW for Everyone," Graphical Programming Made Easy and Fun, 3<sup>rd</sup> ed.: Prentice-Hall, 2006.
- [5] Robert H. Bishop, "LabVIEW7 Express", student ed., Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, 1993.
- [6] กิจไพบุลย์ ชีวพันธุ์ศรี "การออกแบบแอฟพลีเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW" , ซี เอ็ดดูเคชั่น, 2007.
- [7] พิชยา หงสกุล, ภัคพล สุขุมาลัย, ภูชงค์ เจริญประสพสุข, "ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าโดยใช้ โปรแกรม LabVIEW" , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้จัดทำ



นาย เกรียงไกร อยู่สุวรรณ  
 ที่อยู่ : 123/22 หมู่ 4 ต.เขาพระ  
 อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี  
 Email : kriangkri\_um@hotmail.com  
 Tel : 081-2904142



นาย จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์  
 ที่อยู่ : 4/45 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110  
 Email : maizx@hotmail.com  
 Tel : 086-8114271



นาย เจตน์ มังกรอัสกุล  
 ที่อยู่ : 151 หมู่ 2 ถ.เวียงใหม่ ต.แม่สะเรียง  
 อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน 58110  
 Email : jet\_xxvii@hotmail.com  
 Tel : 084-1696217



นาย ฉัตรชัย บุญยอิน  
 ที่อยู่ : 5 หมู่ 2 ต.เขาบายศรี อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี  
 22120  
 Email : profess\_not@hotmail.com  
 Tel : 086-8161907

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้