

เครื่องจำลองการผสมสีโดยใช้โปรแกรม LabVIEW
COLOUR MIXING SIMULATED MACHINE
USING LabVIEW



วุฒิไกร เกษมากุล
พีระพล ม่วงสุขเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เครื่องจำลองการผสมสีโดยใช้โปรแกรม LabVIEW
COLOUR MIXING SIMULATED MACHINE
USING LabVIEW



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อปีการศึกษา 2556 เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COLOUR MIXING SIMULATED MACHINE
USING LabVIEW



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ
ACADEMIC YEAR 2013 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องจำลองการผสมสีโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

COLOUR MIXING SIMULATED MACHINE USING LabVIEW

ผู้จัดทำ นายวุฒิไกร เกษมากุล 53011513

นายพีระพล ม่วงสุขเจริญ 53011174



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตศิริรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจำลองการผสมสีโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

โดย

นายวุฒิไกร เกษมากุล 53011513

นายพีระพล ม่วงสุขเจริญ 53011174

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตศิริธรรัตน์

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบการแสดงผลของกระบวนการผสมสีในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถติดตามกระบวนการได้สะดวกขึ้น การจำลองการผสมสีนั้นจะใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะเป็นทั้งส่วนควบคุมและยังสามารถแสดงผลผ่าน Front Panel ซึ่งเป็นหน้าต่างแสดงผลแบบ Graphic User Interface ในการรับคำสั่งจากชุดควบคุม โดยใช้ NI USB-6501 จะเป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างโปรแกรมกับชุดควบคุม จากนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COLOUR MIXING SIMULATED MACHINE USING LabVIEW

By

MR. Wutikai Ketmakul 53011513

MR. Peerapon Mounsookcharoen 53011174

Advisor

Asst. Prof. Dr. Kongsak Anuntahirunrat

Academic Year 2013

ABSTRACT

This project aims to design and develop a colour mixing system of production in industrial factory to observe conveniently mixing system. The colour mixing machine uses LabVIEW to control and display system in front panel which is graphic user interface. Uses NI USB-6501 to acquire control signals from control devices Then, the system acquires signals to begins process. When System finishes, all values that spend in the process will be exported to Microsoft Excel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตศิริรัตน์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอดนับตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นและสถานที่ทำโครงการ และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 LabVIEW	3
2.2.1 Introduction to LabVIEW	3
2.2.2 Virtual Instrument	4
2.2.2.1 Introduction	4
2.2.2.2 History of Instrumentation Systems	4
2.2.3 Evolution of LabVIEW	6
2.2.4 Virtual Instrument of LabVIEW	7
2.2.4.1 Front Panel	7
2.2.4.2 Block Diagram	9
2.2.5 LabVIEW Data Types	13
2.2.5.1 Numeric	13
2.2.5.2 Boolean	15
2.2.5.3 String	17
2.2.5.4 Dynamic	18
2.2.5.5 Time Stamp	18
2.3 Data Acquisition with LabVIEW	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนลิขสิทธิ์และข้อมูลเชิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.1 Type of Signal	19
2.3.1.1 Analog Input	19
2.3.1.2 Analog Output	19
2.3.1.3 Digital Input and Output	20
2.3.2 Type of Source	20
2.3.2.1 Grounded Source	20
2.3.2.2 Floating Source	21
2.3.3 Type of Measurement System	21
2.3.3.1 Differential	21
2.3.3.2 Referenced Single-Ended	22
2.3.3.3 Non-Referenced Single-Ended	22
2.3.4 DAQ Assistant	24
บทที่3 วิธีการดำเนินงาน	25
3.1 การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการทำงาน	25
3.2 ฮาร์ดแวร์	30
3.2.1 DAQ	31
3.2.2 ชุดควบคุมสำหรับส่งสัญญาณ Input	31
3.3 การบันทึกค่าที่ได้จากระบบ	32
บทที่4 ผลการดำเนินงาน	33
4.1 ผลการทดลอง	33
บทที่5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก โปรแกรม LabVIEW	37
ภาคผนวก ข รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ	49
ภาคผนวก ค ข้อมูลของอุปกรณ์ NI USB-6501	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน้าต่าง Front Panel	7
2.2 หน้าต่าง Block Diagram	9
2.3 Tools Palette	11
2.4 Block Diagram Objects	12
2.5 Numeric Subpalette ในหน้าต่าง Front Panel	14
2.6 Numeric Subpalette ในหน้าต่าง Block Diagram	14
2.7 Boolean Subpalette ในหน้าต่าง Front Panel	16
2.8 Boolean Subpalette ในหน้าต่าง Block Diagram	16
2.9 String Subpalette ในหน้าต่าง Front Panel	17
2.10 String Subpalette ในหน้าต่าง Block Diagram	17
2.11 ข้อมูลชนิด Dynamic ที่อยู่ในรูปสัญญาณ Waveform	18
2.12 การแปลงข้อมูลตัวเลขเป็นข้อมูล Time Stamp	18
2.13 ข้อมูล Time Stamp ที่ถูกแปลงจากข้อมูลตัวเลข	18
2.14 DAQ Operation	19
2.15 Grounded Source	20
2.16 Floating Source	21
2.17 ระบบการวัดแบบ Differential	22
2.18 ระบบการวัดแบบ Referenced Single-Ended	22
2.19 ระบบการวัดแบบ Non-Referenced Single-Ended	23
2.20 DAQ Assistant Express VI	24
3.1 แสดงการรับส่งข้อมูลของกระบวนการผสมของเหลว	25
3.2 แสดงการเชื่อมต่อของแต่ละ Port	26
3.3 ตัวอย่าง Loop การทำงานของหนึ่ง Tank	27
3.4 แสดงการเชื่อมต่อ Port ต่างๆ กับ DAQ	28
3.5 Loop การส่งข้อมูลไปยัง Microsoft Excel	29
3.6 Front Panel	30
3.7 DAQ	30
3.8 กล่องควบคุมการทำงานของระบบ	31
3.9 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างกล่องควบคุมกับโปรแกรม LabVIEW	31
3.10 แสดงลำดับการทำงาน	32
4.1 แสดงโปรแกรม Microsoft Excel	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เมนู Toolbar ของหน้าต่าง Front Panel	8
2.2 ชนิดของข้อมูลที่สอดคล้องกับ Wire	10
2.3 เมนู Toolbar ของหน้าต่าง Block Diagram	10
2.4 เมนูของ Tools Palette	11
2.5 Function Block ของ VI และ Express VI	12
2.6 รายละเอียดของข้อมูลชนิดตัวเลข	13
2.7 รายละเอียดของ Mechanical Action	15
2.8 แบบการต่อสัญญาณเข้ากับระบบการวัดแบบต่างๆ	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในระบบการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในปัจจุบัน ได้มีการใช้ระบบควบคุมที่เป็นอัตโนมัติเข้ามาเกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก โดยโรงงานได้มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์การควบคุมซึ่งทำให้กระบวนการผลิตดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้ผลกำไรที่มากขึ้น จึงจำเป็นต้องเรียนรู้และศึกษาทฤษฎีต่างๆ และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และควบคุมอุปกรณ์ตามระบบ ปฏิบัติการที่ต้องการ

สำหรับโครงการนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบจำลองระบบควบคุมการไหลของของเหลว การควบคุมปริมาณระดับของเหลว โดยนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW โดยส่วนของโปรแกรมจะมีการส่งข้อมูลที่ได้จากการจำลองไปยัง Microsoft Excel เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบจำลองระบบควบคุมการไหลของของเหลว
2. เพื่อศึกษาแนวคิดการใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีความคล้ายคลึงกันในอนาคต
3. เพื่อศึกษาการบันทึกของมูลจากโปรแกรม LabVIEW โดยส่งไปยัง Microsoft Excel แบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

1. สร้างแบบจำลองการทำงานของระบบควบคุมในการผสมสี และโปรแกรมควบคุมการทำงาน
2. รับคำสั่งจากชุดควบคุมโดยใช้ฮาร์ดแวร์ NI USB-6501 เพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์
3. ส่งข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานและปริมาณของเหลวจากถังต่างๆ ที่ใช้ไปยัง Microsoft Excel

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษารูปแบบการผสมสีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
2. ออกแบบจำลองระบบผสมของเหลว
3. ศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabVIEW เพื่อที่จะนำมาควบคุม และแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบผสมของเหลว
4. ศึกษาการแสดงผลไปยังโปรแกรม Microsoft Excel อัตโนมัติ
5. สรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผสมสีในอุตสาหกรรม
2. สามารถนำแนวคิดที่ได้จากการออกแบบไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีความคล้ายคลึงกันได้
3. สามารถนำโปรแกรม LabVIEW ไปเชื่อมต่อกับโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อแสดงผลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการไหลของของเหลว จำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อที่จะได้เข้าใจภาพรวม ซึ่งการควบคุมการไหลของของเหลวมีส่วนสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาและอธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่นำไปใช้งานจริง ในกาควบคุมระบบการไหลของของเหลว ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรม LabVIEW

2.2 LabVIEW

2.2.1 Introduction to LabVIEW

LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในระบบการวัดและควบคุมทางวิศวกรรม จุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือ การจัดการระบบการวัดอย่างมีประสิทธิภาพ ภายในโปรแกรมประกอบด้วยฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณ และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในงานทางวิศวกรรมสำหรับการวิเคราะห์ ประมวลผล และแสดงข้อมูลรวมถึงความสามารถในการใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์อื่นๆ ได้ดี สิ่งที่ LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดคือ LabVIEW เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือเราไม่จำเป็นต้องเขียน Code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น ลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เรียกว่า “ภาษารูปภาพ” หรือภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างภาษา C หรือ Basic ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด โปรแกรม LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมที่ต้องการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อใช้ในการวัดและควบคุม ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญของ LabVIEW โดยจะให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือวัดเสมือนจริงหรือ Virtual Instrument (VI) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างเครื่องมือวัดโดยอัตโนมัติให้มีรูปแบบ และความสามารถเฉพาะทางบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้การใช้งานระบบเครื่องมือวัด ระบบควบคุม และระบบทดสอบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเติมฟังก์ชันที่หลากหลายเพื่อรองรับกับความต้องการในอนาคตได้อย่างอิสระ

ปัจจุบัน LabVIEW ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ และการทำวิจัยที่ต้องการระบบอัตโนมัติในการวัดและควบคุม นอกจาก LabVIEW จะถูกใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปเพื่อการดั่งสัญญาณหรือควบคุมเครื่องมือวัด แล้วยังมีแนวคิดที่เรียกว่า Graphical System Design ซึ่งทาง National Instruments ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อขยายขีดความสามารถของแพลตฟอร์ม LabVIEW ให้สามารถทำการออกแบบได้ทั้งระบบ ตั้งแต่ส่วนของการออกแบบซอฟต์แวร์ไปจนถึงการดั่งสัญญาณจาก

ภายนอกเข้ามายังระบบ และการติดตั้งซอฟต์แวร์ให้สามารถลงโปรแกรมในฮาร์ดแวร์ทั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์แบบ Real-Time และบอร์ด FPGA โดยใช้เพียงแพลตฟอร์มเดียว จึงทำให้สามารถทำงานได้ทันที เมื่อต้องการย้ายจากการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ไปเป็นฮาร์ดแวร์แบบฝังตัว ซึ่งอุปกรณ์ที่มีระบบสมองกลฝังตัวจะมีความทนทาน และสามารถทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานได้มากกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นระบบสมองกลฝังตัวนี้จึงเหมาะกับระบบที่ต้องการการควบคุมที่ต่อเนื่องตลอดเวลา

2.2.2 Virtual Instrumentation

2.2.1 Introduction

เครื่องมือวัดคืออุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อเก็บข้อมูลจากสภาพแวดล้อมการทำงาน หรือจากหน่วยการทำงานภายใต้การทดสอบ และแสดงข้อมูลต่อผู้ใช้งานจากข้อมูลที่ถูกเก็บมาจริงๆ แล้วเครื่องมือวัดอาจใช้ทรานสดิวเซอร์เพื่อรับรู้การเปลี่ยนแปลงในตัวแปรทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิหรือความดัน และแปลงข้อมูลที่ได้ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้าหรือการเปลี่ยนแปลงความถี่ คำว่าเครื่องมือวัดอาจถูกกำหนดให้เป็นอุปกรณ์ซอฟต์แวร์ทางกายภาพที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือวัดอื่น และส่งข้อมูลที่ประมวลผลแล้วออกไปยังอุปกรณ์แสดงผลหรืออุปกรณ์บันทึก เครื่องมือบันทึกประเภทที่สองนี้อาจประกอบไปด้วยออสซิลโลสโคป เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล ชนิดข้อมูลถูกจัดเก็บและถูกวิเคราะห์โดยเครื่องมือวัดที่อาจมีช่วงแปรผันที่กว้างซึ่งรวมทั้งตัวแปรทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ระยะทาง แสง และเสียง และตัวแปรทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส และความถี่

ชุดเครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrumentation) คือองค์ความรู้ที่รวมกันสองสาขาวิชาขึ้นไปที่รวมเทคโนโลยีการตรวจจับ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์เพื่อสร้างเครื่องมือวัดที่ยืดหยุ่นและทันสมัยสำหรับงานประยุกต์ในการควบคุมและการเฝ้าสังเกตการณ์ แนวคิดของชุดเครื่องมือวัดเสมือนจริงถือกำเนิดขึ้นในปลายทศวรรษที่ 1970 เมื่อเทคโนโลยี Microprocessor ทำให้ฟังก์ชันของเครื่องจักรสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายมากโดยการเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์ของมัน

2.2.2.2 History of Instrumentation Systems

ระบบชุดเครื่องมือวัดเริ่มขึ้นในอดีตเมื่อนานมาแล้วด้วยไม้วัดเทอร์โมมิเตอร์ และตาชั่ง ในสมัยใหม่ระบบชุดเครื่องมือวัดโดยทั่วไปประกอบด้วยเครื่องมือวัดเฉพาะตัว ตัวอย่างเช่น เกจวัดความดันไฟฟ้าเชิงกลประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์ ที่ต่อสายอยู่กับวงจรปรับแต่งสัญญาณการส่งข้อมูลที่ประมวลผลแล้วออกมายังแผงแสดงผล และบางทีก็ส่งมายังเครื่องบันทึกแบบเส้น การบันทึกเวลาของการเปลี่ยนแปลงความดัน ระบบเชิงซ้อนเช่นงานประยุกต์การควบคุมกระบวนการเคมีที่ใช้งานมาจนถึงทศวรรษที่ 1980 ประกอบด้วยชุดของเครื่องมือวัดทางกายภาพ เฉพาะตัวที่ต่อสายเข้ากับแผงควบคุมกลางที่มีแถวลำดับของอุปกรณ์แสดงผลข้อมูลทางกายภาพ เช่น

หน้าปัดและตัวนับพร้อมด้วยชุดของสวิทช์ ลูกบิด และปุ่มกดสำหรับการควบคุม เครื่องมือวัด

ประวัติของชุดเครื่องมือวัดเสมือนจริงถูกแสดงลักษณะพิเศษ โดยการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของความยืดหยุ่นและการปรับขนาดได้ของอุปกรณ์การวัด การเริ่มต้นมาจากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่ผู้ขายกำหนดที่ควบคุมด้วยมือตัวแรก วิชาการวัดคุมทำให้เกิดความก้าวหน้าครั้งใหญ่ที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ร่วมสมัย ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดเองได้และทำให้เกิดอุปกรณ์วัดสมัยใหม่

ชุดเครื่องมือวัดมีช่วงต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์การวัดแบบอนาลอก
2. อุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูลและประมวลผล
3. การประมวลผลแบบดิจิทัลโดยใช้แพลตฟอร์มการคำนวณวัดถูประสงค์

ทั่วไป

4. ชุดเครื่องมือวัดเสมือนจริงแบบกระจาย

ช่วงแรกถูกนำเสนอด้วยอุปกรณ์การวัดแบบอนาลอกบริสุทธิ์ เช่น ออสซิลโลสโคปหรือระบบบันทึกคลื่นไฟฟ้าของสมอง อุปกรณ์เหล่านี้ถูกจำกัดโดยสมบรูณ์สำหรับระบบเฉพาะทางที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟ เซนเซอร์ ตัวแปลงสัญญาณ และหน้าจอแสดงผล อุปกรณ์เหล่านี้ต้องการการตั้งค่าด้วยมือ การแสดงผลลัพท์บนเครื่องนับต่างๆ เกจวัด หน้าจอแสดงผล CRT หรือบนกระดาษ การนำข้อมูลมาใช้ต่อไปไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของชุดเครื่องมือวัด และผู้ปฏิบัติการจำเป็นต้องคัดลอกข้อมูลทางกายภาพไปยังสมุดบันทึกหรือแผ่นกระดาษข้อมูล การปฏิบัติการในขั้นตอนการทดสอบเชิงซ้อนหรืออัตโนมัติค่อนข้างซับซ้อน หรือเป็นไปได้เพราะทุกอย่างจำเป็นต้องถูกตั้งค่าด้วยมือ

ช่วงที่สองเริ่มต้นในทศวรรษที่ 1950 ตามผลลัพธ์ของความต้องการจากงานควบคุมทางอุตสาหกรรม เครื่องมือวัดได้รวมเข้ากับระบบควบคุมพื้นฐานที่มีรีเลย์ เครื่องตรวจจับอัตรา และอินทิเกรเตอร์ ดังนั้นจึงนำมาสู่การสร้างระบบควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID) ที่ให้ความยืดหยุ่นของขั้นตอนการทดสอบและระบบอัตโนมัติบางส่วนของกระบวนการวัดมากกว่าระบบเดิม เครื่องมือวัดเริ่มเปลี่ยนสัญญาณที่วัดได้ให้เป็นแบบดิจิทัล การยอมให้มีการประมวลผลแบบดิจิทัลของข้อมูล และการเปิดตัวการควบคุมเชิงซ้อนหรือการตัดสินใจเชิงวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามความต้องการการประมวลผลดิจิทัลแบบ Real-Time มีสูงมากสำหรับบางกระบวนการ แต่คอมพิวเตอร์วัตถุประสงค์พิเศษที่อยู่บนชิพหรือตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เครื่องมือวัดในช่วงนี้ยังคงเป็นแบบ Stand-Alone ซึ่งผู้ขายเป็นคนกำหนดตัวเครื่อง

ช่วงที่สามเครื่องมือสำหรับการวัดกลายเป็นฐานคอมพิวเตอร์ เครื่องมือวัดเหล่านี้เริ่มมีการเชื่อมต่อที่สามารถใช้งานการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องมือวัดกับคอมพิวเตอร์ ความสัมพันธ์นี้เริ่มด้วย General Purpose Interface Bus (GPIB) ถือกำเนิดขึ้นในทศวรรษที่ 1960 โดย Hewlett-Packard (HP) เวลานั้นเรียกว่า HPIB สำหรับวัตถุประสงค์ของการควบคุมเครื่องมือวัดโดยคอมพิวเตอร์ HP ในตอนต้นคอมพิวเตอร์ถูกใช้เป็นเครื่องมือวัดแบบออฟไลน์ มันเป็นการประมวลผลข้อมูลหลังจาก

การบันทึกการวัดครั้งแรกบนงานบันทึก เนื่องจากความเร็วและประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์วัดสูงส่งค์ทั่วไปเร็วพอสำหรับการวัดแบบ Real-Time ที่ซับซ้อน มันเป็นไปได้ที่จะปรับมาตรฐานโดยคอมพิวเตอร์ความเร็วสูง ให้เข้ากับงานประยุกต์แบบออนไลน์ที่ต้องการในการวัดและควบคุมแบบ Real-Time

โปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัดในตอนต้นเกือบทั้งหมดถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา BASIC เนื่องจากมันเป็นภาษาที่มีลักษณะเด่นที่ใช้กับตัวควบคุมเครื่องมือวัดเฉพาะงาน มันจึงต้องการวิศวกรและผู้ใช้งานอื่นๆ ที่เป็นโปรแกรมเมอร์มาก่อน ที่จะเป็นผู้ใช้งานเครื่องมือวัดมันจึงมีความยากที่จะใช้ประโยชน์ในศักยภาพของชุดเครื่องมือวัดด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเหตุการณ์สำคัญในประวัติศาสตร์ของชุดเครื่องมือวัดเสมือนจริงเกิดขึ้นในปี 1986 เมื่อบริษัท National Instruments เปิดตัว LabVIEW 1.0 บนแพลตฟอร์ม PC และ LabVIEW ถูกเปิดตัวด้วยส่วนติดต่อกราฟิกกับผู้ใช้หรือ Graphical User Interface (GUI) และการเขียนโปรแกรมที่เข้าใจได้เข้าไปในชุดเครื่องมือวัดด้วยคอมพิวเตอร์ ปัจจุบัน PC เป็นแพลตฟอร์มที่การวัดส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้น และ GUI สร้างการวัดที่สะดวกต่อผู้ใช้

ช่วงที่สี่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเครือข่ายคอมพิวเตอร์วัดสูงส่งค์ทั่วไปแบบท้องถิ่นและแบบครอบคลุม เนื่องจากเครื่องมือวัดส่วนใหญ่ถูกทำให้เป็นระบบคอมพิวเตอร์ ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีโทรคมนาคม และเครือข่ายทำให้มีความเป็นไปได้ในการกระจายทางกายภาพของส่วนประกอบของเครื่องมือวัด เสมือนจริงเข้าไปในระบบโทรเวชเพื่อสร้างข้อมูลทางการแพทย์และบริการในระยะไกล โครงสร้างพื้นฐานที่เป็นไปได้สำหรับชุดเครื่องมือวัด เสมือนจริงแบบกระจายประกอบด้วยอินเทอร์เน็ต เครือข่ายส่วนตัว และเครือข่ายเล็กๆ

2.2.3 Evolution of LabVIEW

หัวใจของเครื่องมือวัดเสมือนจริงคือ ซอฟต์แวร์ที่ยืดหยุ่น และบริษัท National Instruments ได้สร้างหนึ่งในแพลตฟอร์มซอฟต์แวร์ชุดเครื่องมือวัดเสมือนจริงที่ดีที่สุดของโลกที่มีชื่อว่า LabVIEW ซึ่งย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โดย LabVIEW เป็นชุดพัฒนากาฟิกที่ทรงพลังสำหรับการรับสัญญาณ การวิเคราะห์การวัด และการนำเสนอข้อมูล การให้ความยืดหยุ่นของภาษาโปรแกรม โดยไม่มีความซับซ้อนของเครื่องมือการพัฒนาแบบเดิม ในปี 1983 ทางบริษัท National Instruments ได้เริ่มต้นคว่ำหาวิธีการที่จะลดภาระและเวลาในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานด้านระบบเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดการสร้าง LabVIEW หลังจากนั้นในปี 1986 บริษัท National Instruments ได้เปิดตัว LabVIEW 1.0 สำหรับใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ Macintosh เท่านั้น ถึงแม้ว่าเครื่อง Macintosh จะไม่เป็นที่ใช้อย่างกว้างขวางในด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม แต่ลักษณะการทำงานด้วยกราฟิกเหมาะกับการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่ใช้กับ LabVIEW ระบบปฏิบัติการอื่นที่ไม่ใช่ GUI นั้นไม่เหมาะที่จะใช้กับ LabVIEW

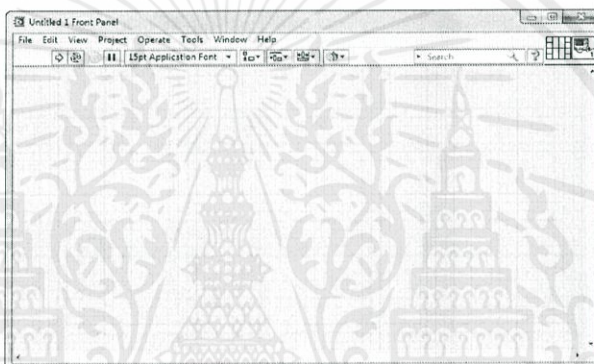
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 Virtual Instruments of LabVIEW

Virtual Instruments (VI) คือหน้าต่าง Front Panel และหน้าต่าง Block Diagram ส่วนของ Front Panel หรือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ถูกสร้างด้วยส่วนควบคุม (Control) และตัวชี้วัด (Indicator) โดย Control จะเป็นลูกบิด (Knob) ปุ่มกด (Push Button) หน้าปัด (Dial) และอุปกรณ์อินพุตอื่นๆ Indicator จะเป็น Graph, LED และส่วนแสดงผลอื่นๆ หลังจากที่เราส่วนติดต่อกับผู้ใช้ถูกสร้างขึ้น Code ของโปรแกรมจะปรากฏที่หน้าต่าง Block Diagram ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Flowchart

2.2.4.1 Front Panel

เมื่อเปิด VI เปล่าขึ้นมาหน้าต่าง Untitled 1 Front Panel จะปรากฏขึ้นมา หน้าต่างนี้จะแสดง Front Panel ที่ใช้สร้าง VI ข้อมูลอินพุตต่อโปรแกรมดำเนินการถูกป้อนผ่าน Front Panel และสามารถดูเอาต์พุตได้บนหน้าต่าง Front Panel



รูปที่ 2.1 หน้าต่าง Front Panel














Front Panel เป็นการรวมกันของ Controls และ Indicators ที่เป็นจุดต่ออินพุตและเอาต์พุตซึ่งมีการสื่อสารระหว่างกันของ VI ตามลำดับ Control จะจำลองอุปกรณ์อินพุตเครื่องมือวัดและให้ข้อมูลไปยัง Block Diagram ของ VI ส่วน Indicator จะจำลองอุปกรณ์เอาต์พุตเครื่องมือวัดและแสดงข้อมูลที่ Block Diagram ต้องการหรือสร้างขึ้น วิธีง่ายๆ ที่จะทำให้เข้าใจเกี่ยวกับส่วน Controls และ Indicators แสดงได้ดังนี้

Controls = Inputs from the User = Source or "Terminals"

Indicators = Outputs to the User = Destinations or "Sinks"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

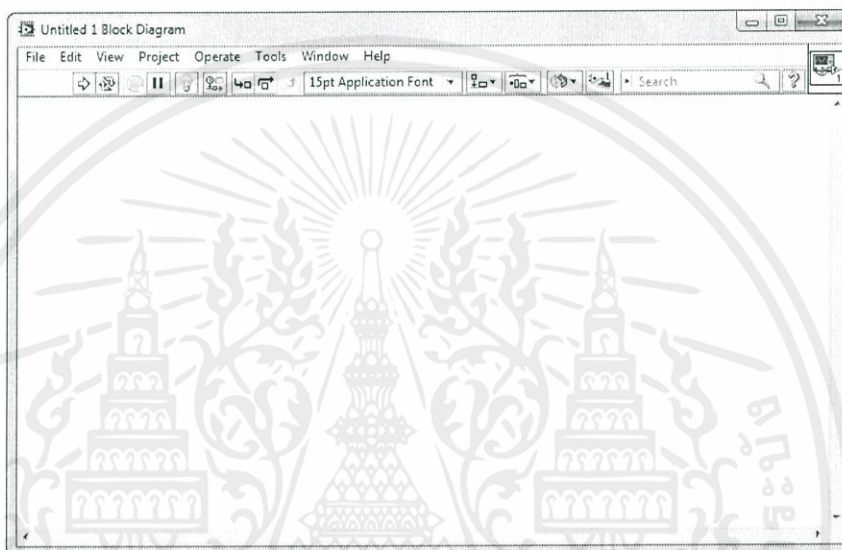
ตารางที่ 2.1 เมนู Toolbar ของหน้าต่าง Front Panel

Icon	Name	Meaning
	Run	ใช้รัน VI
	Running	VI ที่กำลังรันอยู่ ปุ่มนี้จะปรากฏเมื่อ VI เป็น Top-Level VI
	SubVI Waiting to Run	SubVI ที่กำลังรันอยู่
	List Errors	VI ที่ถูกสร้างและแก้ไขเกิดความผิดพลาดขึ้น เมื่อ กดที่ปุ่มนี้จะแสดงหน้าต่าง Error List ขึ้นมา
	Run Continuously	ใช้รันแบบวนซ้ำต่อเนื่อง
	Abort Execution	ใช้หยุด VI โดยทันที ควรใช้ในกรณีที่ไม่สามารถหยุดได้ด้วยวิธีอื่น ซึ่งจะทำให้ VI หยุดอย่างไม่สมบูรณ์
	Pause	เมื่อกดที่ปุ่มนี้ LabVIEW จะเน้นไปที่หน้าต่าง Block Diagram และปุ่มนี้จะกลายเป็นสีแดง เมื่อกดซ้ำ VI จะรันต่อไป
15pt Application Font ▼ Text Settings		ใช้ตั้งค่า Font เช่น ขนาด รูปแบบ และสี
	Align Objects	ใช้จัดรูปแบบของวัตถุให้อยู่ในระนาบเดียวกัน (ลากเมาส์คลุมอุปกรณ์)
	Distribute Objects	ใช้จัดระยะห่างของวัตถุในรูปแบบต่างๆ (ลากเมาส์คลุมอุปกรณ์)
	Resize Objects	ใช้ปรับขนาดของอุปกรณ์ (ลากเมาส์คลุมอุปกรณ์)
	Reorder	ใช้จัดอุปกรณ์เป็นกลุ่มและจัดลำดับอุปกรณ์ที่วางซ้อนกัน
	Show Context Help Window	ใช้แสดงหน้าต่าง Context Help เมื่อชี้ Cursor ไปที่อุปกรณ์จะแสดงคำอธิบายของอุปกรณ์นั้นๆ
	Enter Text	ปุ่มนี้จะปรากฏขึ้นมาเพื่อเตือนผู้ใช้ว่าค่าใหม่พร้อมที่จะแทนที่ค่าเก่าของอุปกรณ์ที่คลิกอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 Block Diagram

หน้าต่าง Block Diagram จะคงค้าง Code ที่เป็นรูปภาพของ Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW ที่สอดคล้องกับบรรทัดของตัวหนังสือที่พบในภาษาธรรมชาติ เช่น C หรือ BASIC ซึ่งมันเป็น Code เชิงดำเนินการจริงๆ Block Diagram สามารถสร้างได้ด้วย Block พื้นฐาน เช่น ขั้วต่อ (Terminal) จุดต่อ (Node) และสาย (Wire) เมื่อวางอุปกรณ์ลงไปบนหน้าต่าง Front Panel แล้วจะปรากฏ Code หรือ Function Block ขึ้นมาที่หน้าต่าง Block Diagram เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ที่อยู่ในหน้าต่าง Front Panel



รูปที่ 2.2 หน้าต่าง Block Diagram



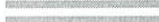




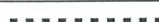




Terminal เป็นพอร์ตเข้าและออกที่แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน้าต่าง Front Panel และ Block Diagram ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับตัวแปรและค่าคงที่ในภาษาโปรแกรมที่เป็นตัวหนังสือ รูปแบบของ Terminal ประกอบด้วยขั้วต่อ Control หรือ Indicator และขั้วต่อ Node

Node เป็นแค่คำที่คิดขึ้นมาสำหรับส่วนการดำเนินการโปรแกรม ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับ Statement, Operator, Function และ Subroutine ในภาษาโปรแกรมมาตรฐานฟังก์ชัน AND และ XOR เป็นรูปแบบหนึ่งของ Node โครงสร้าง (Structure) สามารถถูกดำเนินการด้วย Code อย่างซ้ำๆ หรืออย่างมีเงื่อนไขซึ่งคล้ายกับ Loop และ Case Statement ในภาษาโปรแกรมแบบเดิม LabVIEW ยังมี Node พิเศษอีกด้วยเรียกว่า Formula Node










Wire เป็นเส้นทางข้อมูลระหว่างต้นทางและ Terminal ปลายทาง ซึ่งทำหน้าที่ส่งข้อมูลจาก Terminal ต้นทางหนึ่งไปยัง Terminal ปลายทางหนึ่งหรือมากกว่า Wire มีลักษณะที่คล้ายกับตัวแปรในภาษาโปรแกรมที่เป็นตัวหนังสือ Wire แต่ละเส้นจะมีรูปแบบและสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่ไหลผ่าน Wire ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ 2.2 ชนิดของข้อมูลที่สอดคล้องกับ Wire

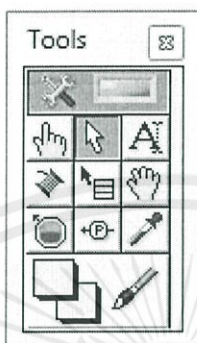
Data Type	Scalar	1D Array	2 D Array	Color
FloatingPoint Number				สี
Integer Number				น้ำเงิน
Boolean				เขียว
String				ชมพู

ตารางที่ 2.3 เมนู Toolbar ของหน้าต่าง Block Diagram

Icon	Name	Meaning
	Highlight Execution (Off)	ใช้แสดงภาพเคลื่อนไหวของการดำเนินการโปรแกรมเมื่อกดปุ่ม Run
	Highlight Execution (On)	ปุ่ม Highlight Execution ที่เปิดการใช้งาน เมื่อรัน VI จะเห็นการไหลของข้อมูลผ่าน Block Diagram
	Retain Wire Values (Off)	ใช้แสดง Probe สำหรับวัดข้อมูลที่ไหลผ่านสายข้อมูลเมื่อกดปุ่ม Run
	Retain Wire Values (On)	ปุ่ม Retain Wire Values ที่เปิดการใช้งาน เมื่อรัน VI และชี้ Cursor ไปที่สายข้อมูล Cursor จะกลายเป็นรูป  ถ้าคลิกที่สายข้อมูลจะปรากฏหน้าต่าง Probe Watch Window ขึ้นมา ซึ่งจะแสดงข้อมูลที่ไหลผ่านสายนั้น
	Step Into	เป็นการสั่งให้โปรแกรมทำงานทีละคำสั่ง โดยการทำงานของโปรแกรมจะเข้าไปข้างใน SubVI ด้วย (สามารถกด Ctrl+Down เพื่อใช้คำสั่งนี้ได้)
	Step Over	เป็นการสั่งให้โปรแกรมทำงานทีละคำสั่งโดยการทำงานของโปรแกรมจะไม่เข้าไปข้างใน SubVI (สามารถกด Ctrl+Right เพื่อใช้คำสั่งนี้ได้)
	Step Out	เป็นการสั่งให้โปรแกรมทำงานจนออกจาก SubVI และ Loop (สามารถกด Ctrl+Up เพื่อใช้คำสั่งนี้ได้)
	Clean Up Diagram	ใช้จัดระเบียบ Object ทุกตัวที่อยู่บน Block Diagram โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tools Palette เป็นโหมดดำเนินการพิเศษของ Cursor ค่าเริ่มต้นของ Automatic Tool Selection จะถูกเปิดการใช้งาน (หลอด LED จะเป็นสีเขียว) Tools Palette นั้นสามารถใช้งานได้ทั้งหน้าต่าง Front Panel และ Block Diagram โดยเลือกเมนู View >> Tools Palette ดังรูปที่ 2.27 (ก) หรือกด Shift+Right Click จะได้หน้าต่างดังรูปที่ 2.27 (ข)














(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 Tools Palette

ตารางที่ 2.4 เมนูของ Tools Palette

Icon	Name	Meaning
	Automatic Tool Selection	ใช้การเลือกแบบอัตโนมัติ (สามารถกด Shift+Tab เพื่อเปิดการใช้งานได้)
	Operate Value	ใช้สำหรับคลิกปุ่มเพื่อปรับระดับให้กับอุปกรณ์
	Position/Size/Select	ลูกศรชี้เพื่อใช้คลิกเคลื่อนย้ายหรือปรับขนาดของวัตถุ
	Edit Text	ใช้พิมพ์ข้อความที่ต้องการลงบนพื้นที่ทำงานได้
	Connect Wire	ใช้ต่อสายให้กับอุปกรณ์ในหน้าต่าง Block Diagram
	Object Shortcut Menu	เป็นคำสั่งที่ใช้เรียก Controls Palette มาใช้งาน
	Scroll Window	ใช้เลื่อนพื้นที่ในหน้าต่างการทำงาน
	Set/Clear Breakpoint	ใช้ตั้งค่าหรือยกเลิก Breakpoint เมื่อข้อมูลมาถึงจุดนี้ การประมวลผลจะหยุดและมี Probe ขึ้นมาให้ใช้ตรวจสอบ
	Probe Data	เรียกใช้งาน Probe สำหรับวัดข้อมูลที่ไหลผ่านสายข้อมูล
	Get Color	ใช้คัดลอกสีของวัตถุที่ต้องการ
	Set Color	เครื่องมือเปลี่ยนสีวัตถุและสีพื้นหลัง ส่วนมากจะใช้ในหน้าต่าง Front Panel และจะมีวัตถุบางตัวที่ใช้ได้ในหน้าต่าง Block Diagram เช่น Label

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต




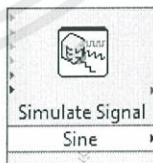


Function Block ที่อยู่บน Block Diagram จะมีการประมวลผลอย่างไร ได้อย่างหนึ่ง ซึ่งจะทำงานตามหน้าที่เมื่อมีการรันมาถึงลำดับของมันโดยแบ่งเป็น 3 ชนิดหลักๆ ได้แก่

1. Function คือ Node ที่มีหน้าที่พื้นฐานของโปรแกรม ซึ่งเราไม่สามารถที่จะเปิดเข้าไปดูรายละเอียดภายในได้ เช่น การบวก การคูณ การเปิด-ปิดไฟล์ เป็นต้น
2. VI คือไฟล์ของโปรแกรม LabVIEW ที่มีทั้งหน้าต่าง Front Panel และ Block Diagram ถ้ามี VI อยู่ภายใน VI หลักจะเรียกว่า SubVI หรือในภาษาทางซอฟต์แวร์อาจเรียกว่า Subroutine คือ โปรแกรมย่อยที่ถูกเขียนขึ้นเพื่อนำมาเรียกใช้ในโปรแกรมหลัก โดยจะมีพื้นหลังเป็นสีเหลืองอ่อนเมื่อไอคอนถูกขยายและสามารถเปิดเข้าไปดูรายละเอียดภายในได้เมื่อดับเบิลคลิกที่ตัว SubVI
3. Express VI แสดงถึง Higher-Level VI ที่ถูกปรับแต่งเพื่อรวมเข้ากับ Lower-Level VI หรือฟังก์ชัน เมื่อเลือก Express VI มาวางบน Block Diagram มันจะปรากฏหน้าต่าง Configuration ขึ้นมาเพื่อให้เราเข้าไปปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามต้องการ และเมื่อเราปรับค่าเสร็จมันก็จะสร้างโค้ดไว้ภายในโดยอัตโนมัติตามที่เรได้ตั้งค่าไว้ ซึ่งความสามารถของ Express VI นี้ทำให้เราแทบไม่ต้องต่อสายอินพุตเลย เพราะพารามิเตอร์ทั้งหมดนั้นถูกสร้างและเก็บอยู่ภายในเรียบร้อยแล้ว Express VI จะมีไอคอนขนาดใหญ่ที่มีพื้นหลังเป็นสีฟ้า



รูปที่ 2.4 Block Diagram Objects

ตารางที่ 2.5 Function Block ของ VI และ Express VI

VI	Express VI
  Sine Waveform.vi	  Simulate Signal Sine
 Sine Waveform.vi <ul style="list-style-type: none"> ▶ amplitude ▶ error in (no error) ▶ frequency ▶ offset ▶ phase ▶ reset signal ▶ sampling info ▶ error out ▶ signal out 	 Simulate Signal Sine <ul style="list-style-type: none"> ▶ error out ▶ Amplitude ▶ error in (no error) ▶ Frequency ▶ Offset ▶ Phase ▶ Reset Signal
















เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 LabVIEW Data Types

2.2.5.1 Numeric

LabVIEW สนับสนุนจำนวนของข้อมูลชนิดตัวเลข ชนิดหลักๆ คือตัวเลขแบบทศนิยม (Floating Point) ตัวเลขจำนวนเต็ม (Integer) และตัวเลขจำนวนเชิงซ้อน (Complex Number) ซึ่งแต่ละชนิดสนับสนุนระดับความเที่ยงตรง (Precision) สามระดับ จำนวนทศนิยมจะมี Precision แบบ Single, Double และ Extended จำนวนเต็มจะมี Precision แบบ Byte (8-bit), Word (16-bit), Long Word (32-bit) และ Quad Word (64-bit)

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดของข้อมูลชนิดตัวเลข

ไอคอนชนิดของข้อมูล	ตัวย่อ	ชื่อเต็ม	ขนาด (bytes)	สีไอคอนและสายของอุปกรณ์
	EXT	Extended Precision	$10^a / 12^b / 16^c$	ส้ม
	DBL	Double Precision	8	ส้ม
	SGL	Single Precision	4	ส้ม
	FXP	Fixed-Point	2	ม่วงอ่อน
	I64	Quad	8	น้ำเงิน
	I32	Long	4	น้ำเงิน
	U16	Word	2	น้ำเงิน
	I8	Byte	1	น้ำเงิน
	U64	Unsigned Quad	8	น้ำเงิน
	U32	Unsigned Long	4	น้ำเงิน
	U16	Unsigned Word	2	น้ำเงิน
	U8	Unsigned Byte	1	น้ำเงิน
	CXT	Complex Extended	$20^a / 24^b / 32^c$	ส้ม
	CDB	Complex Double	16	ส้ม
	CSG	Complex Single	8	ส้ม

a = Windows

b = MacOS







c = Unix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.2 Boolean

Boolean เป็นชื่อของนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษที่มีชื่อว่า George Boolean ซึ่งเป็นผู้วางรากฐานของ Boolean Algebra ข้อมูลชนิดนี้จะมีค่าอยู่สองค่าคือ True และ False ค่า Default ของมันคือ False ในหน้าต่าง Front Panel อุปกรณ์ที่เป็น Boolean Control จะมีคุณสมบัติเป็นสวิตช์ (Mechanical Action) ซึ่งมีอยู่ 6 รูปแบบดังตารางที่ 2.7

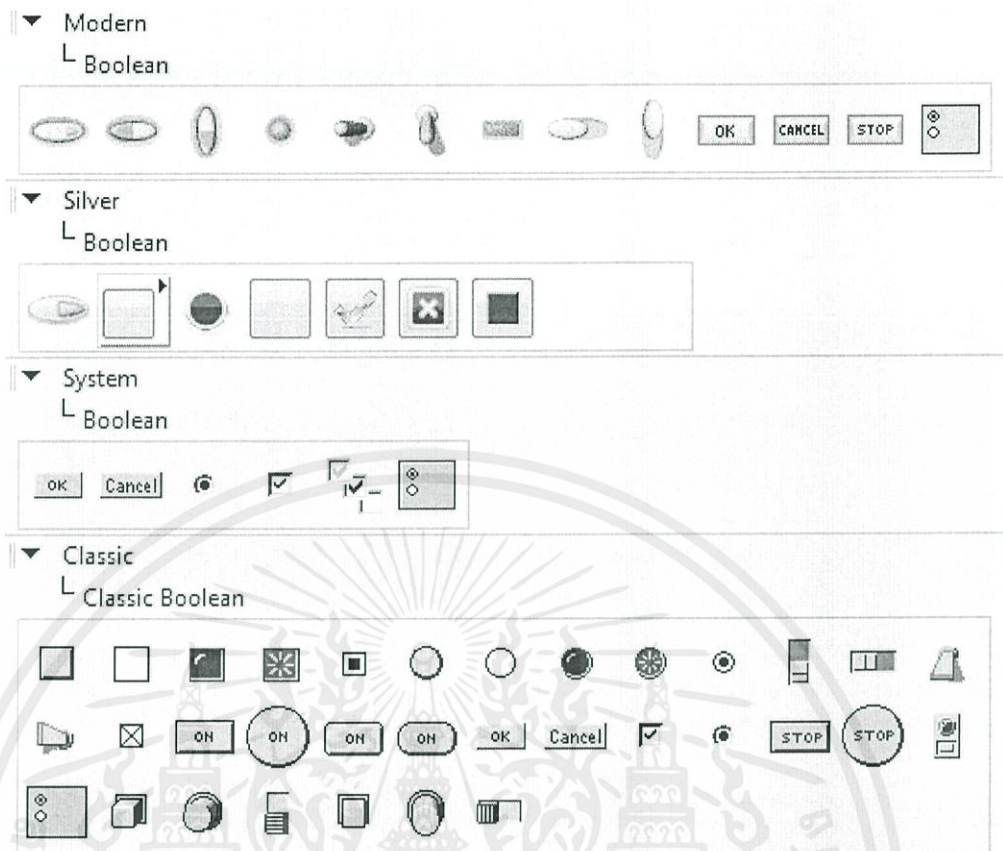
ตารางที่ 2.7 รายละเอียดของ Mechanical Action

Icon	Name	Meaning
	Switch When Pressed	สวิตช์แบบกดติด-กดดับ
	Switch When Released	สวิตช์แบบกดติด-กดดับซึ่งจะมีผลเมื่อปล่อยมือแล้ว
	Switch Until Released	สวิตช์แบบกดติด-ปล่อยดับ
	Latch When Pressed	สวิตช์จะเปลี่ยนค่าทันทีเมื่อถูกกดแล้วจะดังกลับเป็นค่าเดิมเมื่อโปรแกรมรับรู้ถึงแม้ว่าจะยังไม่ปล่อยมือก็ตาม
	Latch When Released	หลังจากกดแล้วสวิตช์จะเปลี่ยนค่าก็ต่อเมื่อปล่อยมือแล้วจะดังกลับเป็นค่าเดิมทันทีเมื่อโปรแกรมรับรู้
	Latch Until Released	สวิตช์ที่คล้ายกับสวิตช์แบบกดติด-ปล่อยดับ แต่จะมีการรอให้โปรแกรมอ่านค่าตอนปล่อยมือก่อน แล้วเปลี่ยนกลับเป็นค่าเดิม

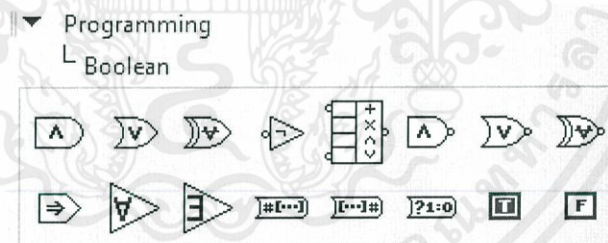
ใน Boolean Subpalette ที่หน้าต่าง Front Panel นี้ประกอบด้วยสวิตช์หลอด LED และปุ่มกดต่างๆ ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งการกำหนดเบื้องต้นว่าจะเป็น Control หรือ Indicator ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานในเครื่องมือวัดจริง เช่น สวิตช์จะเป็น Control และหลอด LED จะเป็น Indicator อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะเปลี่ยนให้อุปกรณ์เหล่านั้นเป็น Control หรือ Indicator ได้โดยใช้คำสั่ง Change to Control/Indicator ภายใต้ Pop-up Menu ของ Boolean นั้น

ในหน้าต่าง Block Diagram ลักษณะของ Boolean Terminal จะเป็นสี่เหลี่ยมและมีตัวอักษร TF อยู่ตรงกลาง โดย Boolean ที่เป็น Control จะเป็นรูป  และ Boolean ที่เป็น Indicator จะเป็นรูป  ภายในหน้าต่างนี้จะมี Boolean ให้เลือกใช้มากมายดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



รูปที่ 2.7 Boolean Subpalette ในหน้าต่าง Front Panel



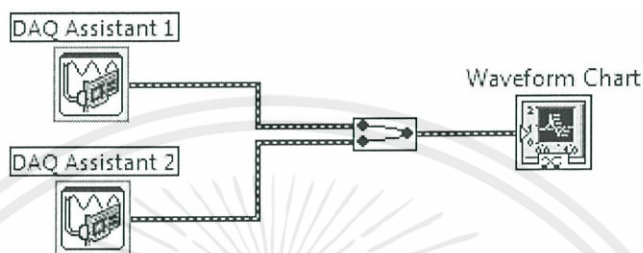
รูปที่ 2.8 Boolean Subpalette ในหน้าต่าง Block Diagram

อุปกรณ์ต่างๆ ของ Boolean บางตัวจะมีตัวหนังสือประกอบไว้บน Object นั้นด้วย เช่น ON และ OFF โดยปกติตัวหนังสือประกอบนี้ไม่ได้แสดงบนสวิตช์กับหลอด LED ทุกชนิด แต่เราสามารถที่จะเลือกให้แสดงได้โดยคลิกขวาที่ Object นั้น เลือก Visible Items >> Boolean Text

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.4 Dynamic

DDT (Dynamic Data Type) เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปสัญญาณ Waveform และสายบน Block Diagram จะเป็นสีน้ำเงินเข้มเส้นใหญ่ ภายในประกอบด้วยข้อมูลหลายอย่าง เช่น Array ของ Waveform, Time Stamp และอื่นๆ ข้อมูลชนิด DDT นี้ส่วนใหญ่ใช้ใน Express VI สำหรับการอ่าน สร้าง และวิเคราะห์สัญญาณสัญญาณที่รับเข้ามาจากโมดูล Analog Input(AI) ก็จะเป็นข้อมูลชนิด DDT ซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณ Waveform



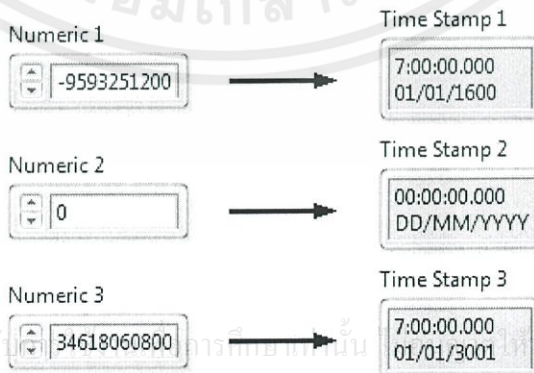
รูปที่ 2.11 ข้อมูลชนิด Dynamic ที่อยู่ในรูปสัญญาณ Waveform

2.2.5.5 Time Stamp

ข้อมูลที่ประกอบด้วยเวลาและวันที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระบบเวลาของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ดำเนินงานอยู่ LabVIEW จะคำนวณ Time Stamp โดยนับเป็นจำนวนวินาทีซึ่งเริ่มตั้งแต่เวลา 7:00:00.000 วันที่ 1 มกราคม 1600 ถึง เวลา 7:00:00.000 วันที่ 1 มกราคม 3001 นั่นคือจำนวนตัวเลขตั้งแต่ -9593251200 ถึง 34618060800 โดยตัวเลข 0 จะไม่สามารถแปลงเป็น Time Stamp ได้



รูปที่ 2.12 การแปลงข้อมูลตัวเลขเป็นข้อมูล Time Stamp

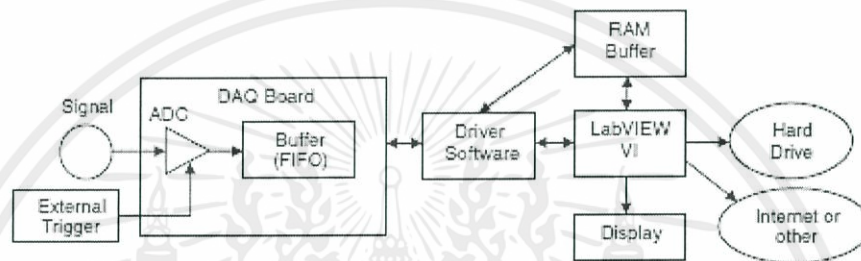


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 ข้อมูล Time Stamp ที่ถูกแปลงจากข้อมูลตัวเลข

2.3 Data Acquisition with LabVIEW

ความสามารถในการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งภายนอก ข้อมูลกระบวนการ และส่งสัญญาณกลับออกไปควบคุมอุปกรณ์ผ่านบอร์ด Data Acquisition (DAQ) ซึ่งเป็นความสามารถที่ทำให้ LabVIEW ต่างจากผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์อื่นๆ ที่สามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้ดังรูปที่ 2.38 แสดงการดำเนินการ DAQ ที่สัมพันธ์กับ LabVIEW เรียกว่า NI-DAQ ซึ่งจะนำสัญญาณเข้าไปในฮาร์ดแวร์เพื่อเริ่มการดำเนินการ I/O บอร์ด DAQ ใช้ Buffer ที่ฝังติดกับบอร์ด (เรียกว่า FIFO คือ “First-In, First-Out”) และ RAM Buffer ที่อยู่กลางทางเพื่อใช้เก็บข้อมูลที่ได้อีก



รูปที่ 2.14 DAQ Operation

2.3.1 Type of Signal

2.3.1.1 Analog Input

หัวใจของระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลส่วนใหญ่คือ Analog-to-Digital Converter (ADC) ที่สามารถรับสัญญาณอนาลอก และแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่สามารถจัดเก็บบนคอมพิวเตอร์ได้ สัญญาณอนาลอกของเซนเซอร์ถูกเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณ Analog Input (AI) ระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลหลายระบบจะจัดเตรียมช่องสัญญาณ AI หลายช่องที่ใช้ ADC ตัวเดียวร่วมกันโดยใช้วิธีของ Multiplexer (MUX)

2.3.1.2 Analog Output

ระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลทั่วไปได้เตรียมช่องสัญญาณ Analog Output (AO) ที่ใช้ Digital-to-Analog Converter (DAC) ในการแปลงค่าดิจิทัลที่กำหนดอยู่ในระบบคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อบนแผงตัวเชื่อมต่อ แรงดันไฟฟ้านั้นสามารถถูกส่งออกไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้ ตัวอย่างเช่น แรงดันเอาต์พุต 7 V อาจถูกใช้เพื่อสั่งให้วาล์วอัตโนมัติเคลื่อนก้านวาล์วให้เปิด 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 Digital Input and Output

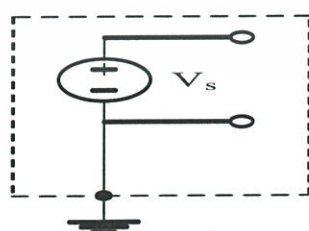
Digital Input (DI) สามารถรับสัญญาณได้แค่สองค่าคือ High และ Low ใน Digital Output (DO) บนแผงตัวเชื่อมต่อของระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลจะมีค่าแรงดันสูงหรือแรงดันต่ำเช่นกัน โดยฮาร์ดแวร์จะใช้ระดับของสัญญาณต่ำเป็น 0 V และระดับของสัญญาณสูงจะมี Logic Level แบบ TTL (Transistor-Transistor Logic) และ CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) สำหรับอุปกรณ์แบบ TTL แรงดันระหว่าง 0 ถึง 0.8 V จะเป็น Low และแรงดันระหว่าง 2 ถึง 5 V จะเป็น High โดยช่องว่างที่อยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 2 V เป็นการป้องกันสัญญาณรบกวน ถ้าสัญญาณส่งมายัง DI ประมาณ 0.7 V แต่มีสัญญาณรบกวน ± 0.15 V สัญญาณจะยังคงอ่านเป็น Low ถึงแม้ว่าระดับสัญญาณบางครั้งมีมากกว่า 0.8 V มันจะอ่านเป็น Low เนื่องจากแรงดันยังไม่ถึง 2 V สำหรับระดับ High ที่ DI สัญญาณดิจิทัลจะถูกนำมาใช้สำหรับงานประยุกต์แบบ Boolean และระดับแรงดัน Low และ High โดยทั่วไปมีความหมายเหมือน 0 หรือ 1, True หรือ False, เปิดหรือปิด

2.3.2 Type of Source

แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้ามีหลายรูปแบบซึ่งอาจมาจาก Power Supply แบตเตอรี่หรือเซนเซอร์ สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดสัญญาณทางกายภาพมีมากมาย เช่น การวัดอุณหภูมิด้วย Thermocouple การวัดน้ำหนักด้วย Load Cell การวัดระยะทางด้วย Proximity โดยสัญญาณทางกายภาพที่เป็นสัญญาณอนาล็อกเหล่านี้จะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ Signal Conditioning ก่อนที่จะถูกส่งเข้ามาอ่านค่าด้วยอุปกรณ์ DAQ แหล่งกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้ามีอยู่สองแบบคือ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded Source) และแหล่งสัญญาณแบบไม่ต่อกราวด์หรือแบบลอย (Floating Source)

2.3.2.1 Grounded Source

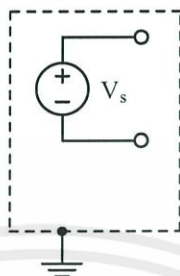
สัญญาณที่มีขาลบต่อเข้ากับกราวด์ เช่น System Ground ของอาคาร แหล่งสัญญาณจะใช้กราวด์ร่วมกันกับอุปกรณ์ DAQ โดยปกติศักย์ไฟฟ้าของกราวด์แต่ละระบบจะไม่เท่ากัน การต่อกราวด์ของแหล่งสัญญาณเข้ากับกราวด์ของเครื่องมือวัดอาจทำให้เกิดกระแสไหลระหว่างกราวด์ทั้งสองเนื่องจากความต่างศักย์ สิ่งนี้เรียกว่า Ground Loop ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.15 Grounded Source
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 Floating Source

สัญญาณที่ไม่ได้ถูกอ้างอิงกับ System Ground ใดๆ เช่น แบตเตอรี่ หรือ Thermocouple แหล่งสัญญาณจะไม่ได้ใช้กราวด์ร่วมกันกับอุปกรณ์ DAQ เราเรียกแหล่งสัญญาณนี้อีกอย่างหนึ่งว่า Non-Reference Source



รูปที่ 2.16 Floating Source

2.3.3 Type of Measurement System

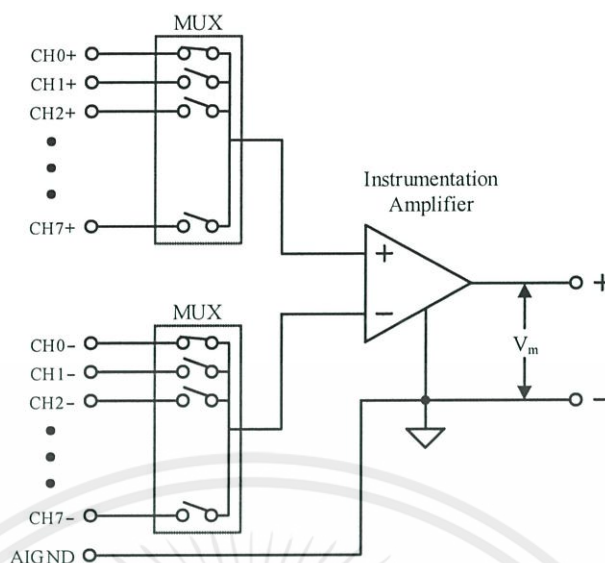
การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งสัญญาณด้วยอุปกรณ์ DAQ นั้นจะต้องปรับอุปกรณ์ DAQ ให้เหมาะสมกับการวัดก่อน ไม่ว่าจะเป็นการปรับที่ฮาร์ดแวร์ (เช่น ปรับ DIP Switch) หรือการปรับที่ซอฟต์แวร์ในกรณีที่อุปกรณ์ DAQ ไม่ได้มีส่วน Isolation มาให้

2.3.3.1 Differential (DIFF)

การวัดสัญญาณที่บวกและลบของแหล่งสัญญาณไม่ได้ต่อเข้ากับจุดอ้างอิงใดๆ เช่น Earth Ground หรือ System Ground ของอาคารดังรูปที่ 2.17 สายสัญญาณทั้งสองของแหล่งสัญญาณจะถูกต่อเข้ากับช่องสัญญาณ AI โดยขาบวกจะต่อไปที่ช่อง CH + ขาลบจะต่อไปที่ช่อง CH - และ AIGND (Analog Input Ground) คือ System Ground ของระบบการวัด การวัดสัญญาณแบบ DIFF จะไม่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน เนื่องจาก Ground Loop โดย Ground Loop นั้นจะปรากฏเมื่อแหล่งสัญญาณและระบบการวัดใช้กราวด์ร่วมกัน เมื่อเราต่อสัญญาณแบบ DIFF อุปกรณ์ DAQ จะใช้ Multiplexer 2 ชุด โดยชุดหนึ่งใช้สำหรับค่าของสัญญาณและอีกชุดหนึ่งใช้สำหรับ Reference ของสัญญาณ ดังนั้นถ้าอุปกรณ์ DAQ มีช่องสัญญาณ AI อยู่ 16 ช่องก็จะสามารถวัดสัญญาณได้เพียง 8 ช่องเราควรใช้วิธีการวัดแบบ DIFF เมื่อสัญญาณมีลักษณะดังต่อไปนี้

- สัญญาณมีแรงดันไฟฟ้าต่ำ (น้อยกว่า 1 V)
- สายสัญญาณมีขนาดยาวมากกว่า 3 เมตร ก่อนที่จะต่อเข้ากับอุปกรณ์ DAQ
- สายสัญญาณมี Noise มาก

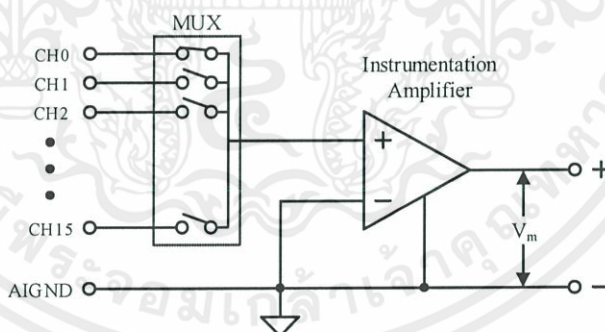
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ระบบการวัดแบบ Differential

2.3.3.2 Referenced Single-Ended (RSE)

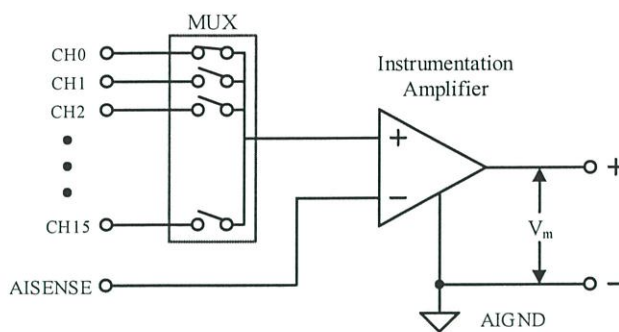
การวัดสัญญาณที่มีการเทียบกับ AIGND ซึ่งเป็นจุดอ้างอิง โดยขาบวกของแหล่งสัญญาณจะต่อที่ช่อง CH และขาลบของทุกช่องสัญญาณจะต่อรวมกันที่ช่อง AIGND ดังรูปที่ 2.18 การวัดสัญญาณแบบ Grounded Source ด้วยระบบ RSE นี้จะทำให้เกิด Ground Loop ถ้าอุปกรณ์ DAQ มีช่องสัญญาณ AI อยู่ 16 ช่องก็สามารถวัดสัญญาณได้ทั้งหมด 16 ช่อง



รูปที่ 2.18 ระบบการวัดแบบ Referenced Single-Ended

2.3.3.3 Non-Referenced Single-Ended (NRSE)

ระบบการวัดที่คล้ายกับ RSE แต่จะใช้จุดอ้างอิงเป็นช่อง AISENSE (Analog Input Sense) ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้จะแตกต่างกับ AIGND ดังรูปที่ 2.19 ระบบการวัดแบบ NRSE จะเหมาะกับการวัดสัญญาณแบบ Grounded Source ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ระบบการวัดแบบ Non-Referenced Single-Ended

การใช้ระบบการวัดแบบ Differential หรือ NRSE กับสัญญาณแบบ Floating Source มักจะเกิด Bias Currents ซึ่งจะทำให้แรงดันที่อินพุตขยับออกไปนอกช่วงการวัดของอุปกรณ์ DAQ ถึงแม้ว่าจะสามารถแก้ไขได้ด้วยการต่อตัวต้านทานลง AIGND เพื่อเป็นไบแอส แต่ก็จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับอุปกรณ์ที่ทำการวัดอยู่วิธีการต่อสัญญาณมีทั้งหมด 6 รูปแบบดังตารางที่ 2.8

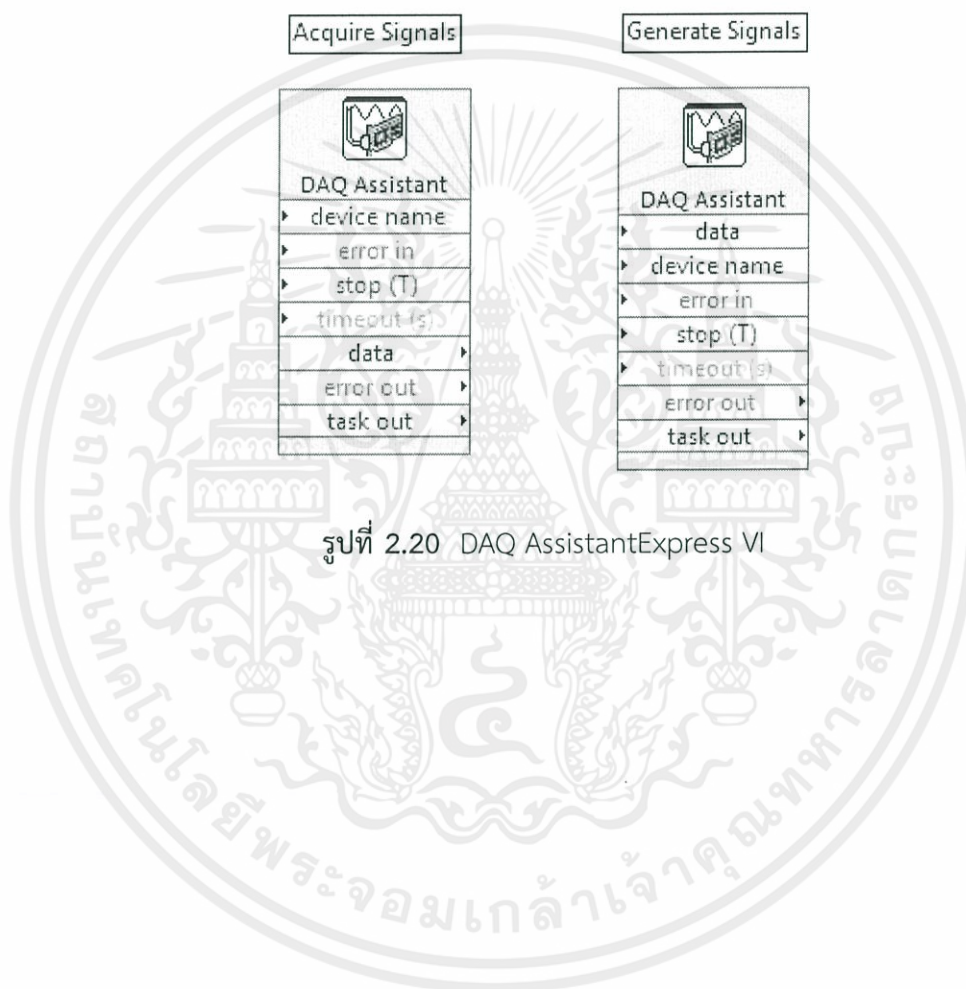
ตารางที่ 2.8 แบบการต่อสัญญาณเข้ากับระบบการวัดแบบต่างๆ

Input Type	Grounded Source	Floating Source
Differential (DIFF)		
Referenced Single-Ended (RSE)	<p>NOT Recommended</p> <p>Ground Loop Losses, V_g are added to measured signal</p>	
Non-Referenced Single-Ended (NRSE)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สละลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและเพื่อเผยแพร่โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 DAQ Assistant

การรับสัญญาณจากภายนอกเข้ามายังคอมพิวเตอร์ หรือการส่งสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์ DAQ นั้นจะต้องใช้ Express VI ที่มีชื่อว่า DAQ Assistant ซึ่งเป็นส่วนติดต่อกราฟิกที่ใช้เพื่อปรับค่าหน้าต่างงานและช่องการวัด ก่อนติดตั้งอุปกรณ์ DAQ จะต้องลงไดรฟ์เวอร์ NI DAQmx ก่อน โดยจะลงหลังจากที่ลงโปรแกรม LabVIEW แล้ว เมื่อเราต่ออุปกรณ์ DAQ เข้ากับคอมพิวเตอร์แล้วจะสามารถตั้งค่าอุปกรณ์ DAQ ได้โดยใช้ DAQ Assistant ซึ่งจะอยู่ใน Functions Palette: Measurement I/O >> DAQmx - Data Acquisition (NI-DAQmx)



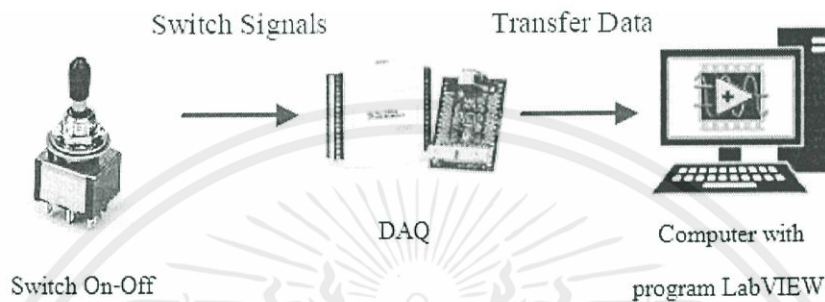
รูปที่ 2.20 DAQ Assistant Express VI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการผสมของเหลวนั้น จะต้องเข้าใจภาพรวมในการทำงานของส่วนต่างๆ แล้วจึงพิจารณาส่วนประกอบย่อยต่างๆ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการรับส่งข้อมูลของกระบวนการผสมของเหลว

เราจะรับ Input จาก Switch On-Off แล้วส่งสัญญาณ Digital ไปยังกล่อง DAQ เพื่อส่งสัญญาณต่อไปยังตัวโปรแกรม LabVIEW ซึ่งในส่วนนี้จะป็นทั้งโปรแกรมควบคุมกระบวนการทำงาน และเป็นหน้าจอแสดงผลการทำงาน

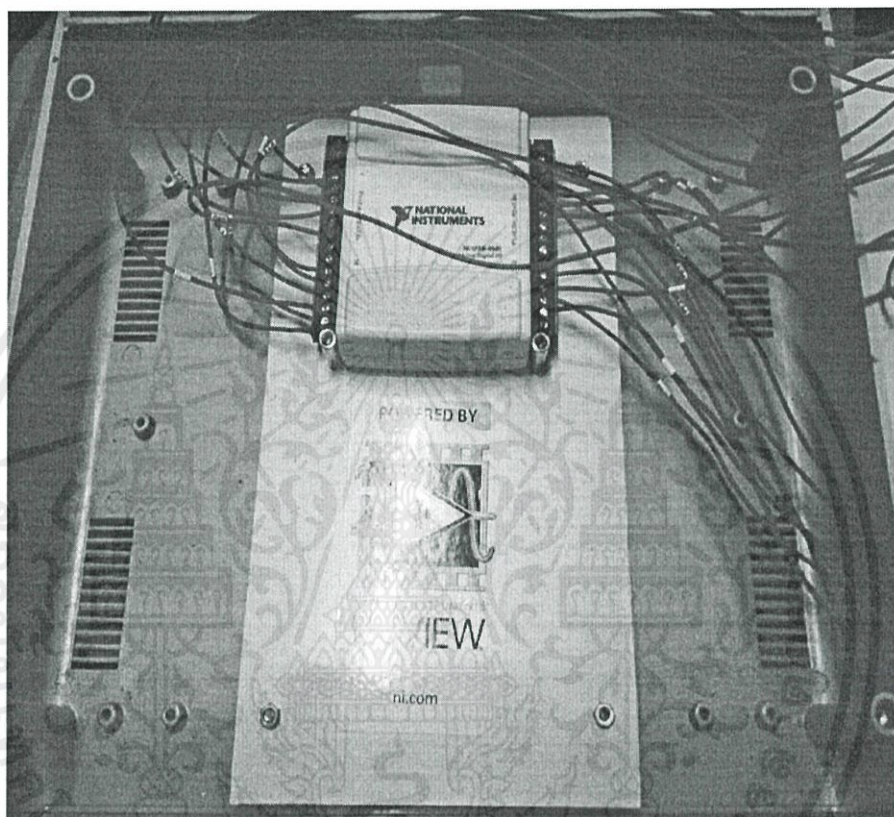
3.1 การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการทำงาน

เริ่มต้นจากตัว DAQ รุ่น NI USB-6501 จะรับ Input Signal จากส่วนของ Hardware ซึ่งในที่นี้ใช้ป็น Switch On-Off โดยจะส่งป็นสัญญาณ Digital จากนั้นตัวโปรแกรม LabVIEW จะทำประมวผลจากสัญญาณที่ได้รับแล้วจึงดำเนินการ พร้อมทั้งแสดงผลผ่านทางหน้าจอ Interface ซึ่งในส่วนของหน้าจอ Interface นี้ยังสามารถที่จะรับ Input จาก Keyboard ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Port ต่างๆ ที่ต่อกับ DAQ สามารถแบ่งตามการทำงานได้ดังนี้

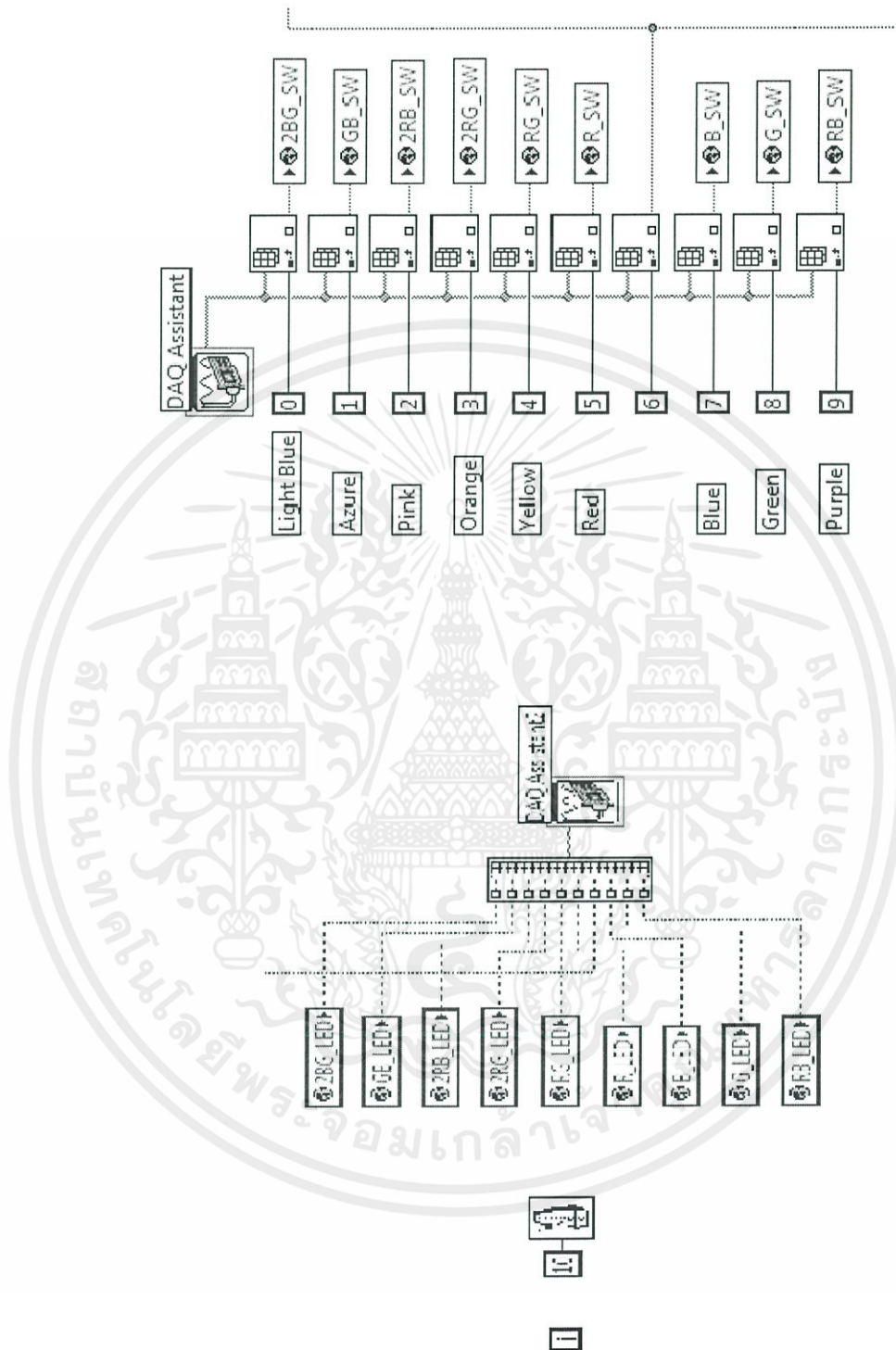
1. Port ที่รับสัญญาณ Input ได้แก่ Port0.0/Port0.2 /Port0.4 /Port1.0 /Port1.2 /Port1.5 /Port1.7/Port2.1 /Port2.3 /Port2.5
2. Port ที่รับสัญญาณ Output ได้แก่ Port0.1 /Port0.3 /Port0.5 /Port1.1 /Port1.3 /Port1.4 /Port1.6 /Port2.0 /Port2.2 /Port2.4



รูปที่ 3.2 แสดงการเชื่อมต่อของแต่ละ Port

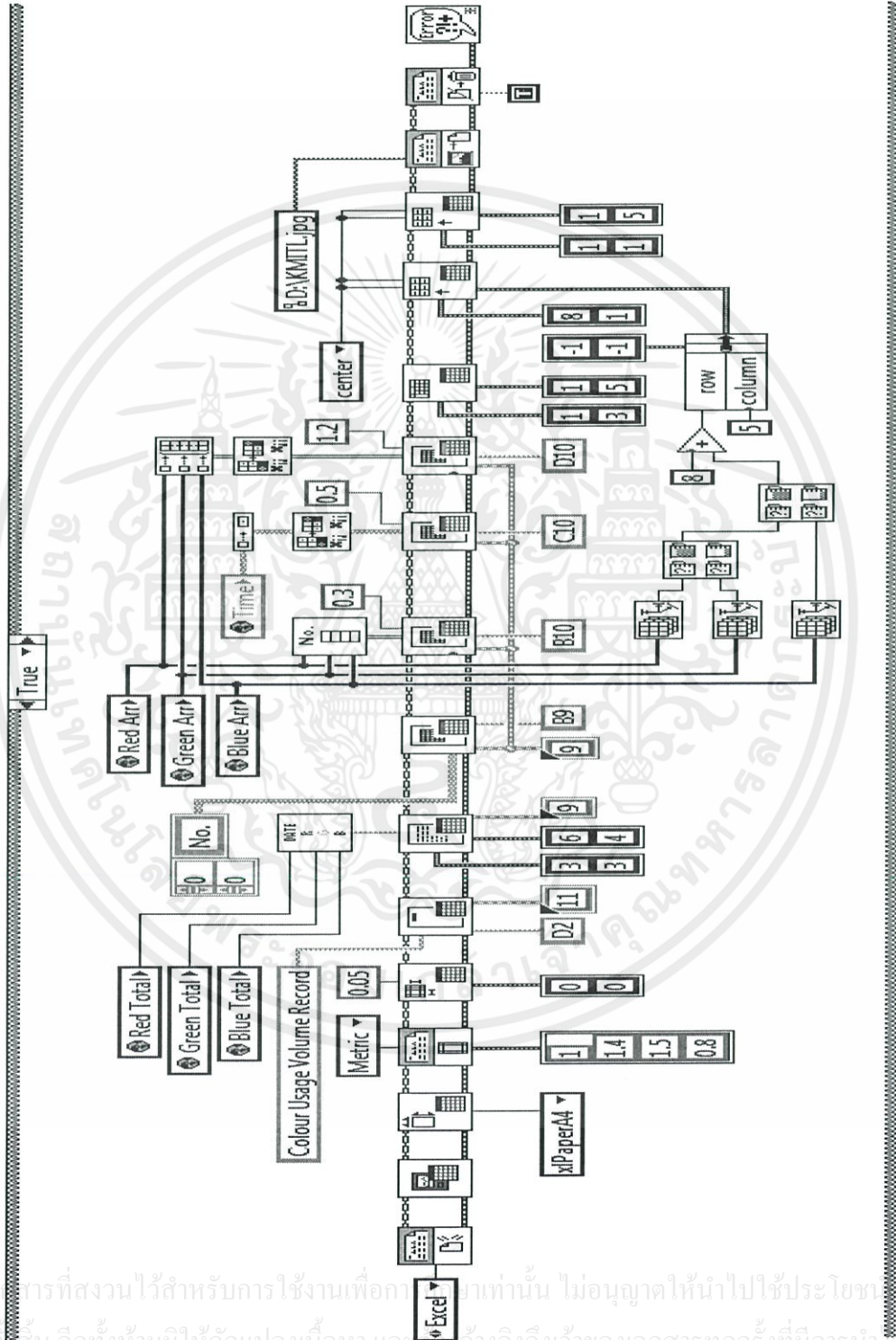
เมื่อกำหนด Port ต่างๆ ครบหมดแล้ว ก็ทำการออกแบบ Block Diagram เพื่อนำค่าสัญญาณที่ได้จาก Port ต่างๆ มาเข้าตามระบบที่ออกแบบ หลังจากนั้นทำการออกแบบหน้าต่าง Front Panel เพื่อใช้แสดงผลการทำงานของโปรแกรม ซึ่งเป็นหน้าต่างแสดงผลแบบ Graphic User Interface ในส่วนนี้จะแสดงกระบวนการทำงานของระบบที่ออกแบบ และยังสามารถป้อน Input เข้าไปยังระบบได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

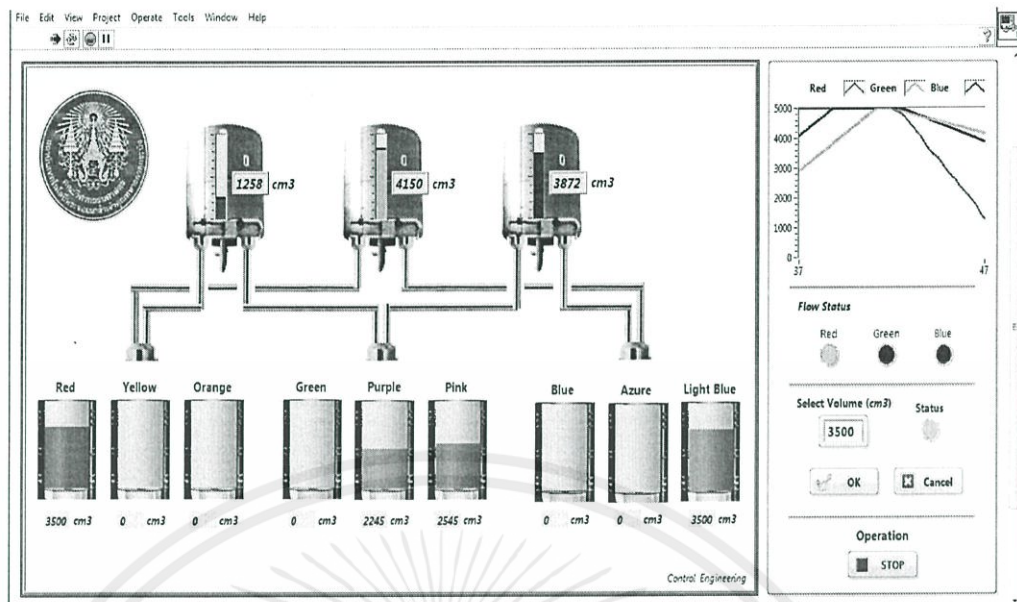


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่อ Port ต่างๆ ของ DAQ
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและที่อยู่ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละขั้นตอนของระบบจะต้องสร้างตัวแปร Global มาเพื่อรับค่าต่างๆ ที่ต้องการบันทึกเป็นข้อมูล จากนั้นตัวแปรที่รับมาจะรวบรวมค่าทั้งหมดที่ใช้ในแต่ละ Loop จากนั้นส่งค่าต่างๆ มายัง Loop นี้ เพื่อส่งต่อไปยัง Microsoft Excel ที่ทำการออกแบบไว้



รูปที่ 3.5 Loop การส่งข้อมูลไปยัง Microsoft Excel



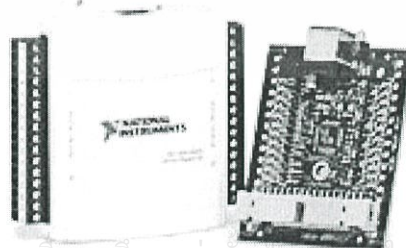
รูปที่ 3.6 Front Panel

ในส่วนของ Front Panel จะสามารถใส่ค่าปริมาตรที่ต้องการในช่อง Select Volume เมื่อเสร็จแล้วกดปุ่ม OK จากนั้นกด Switch On-Off จากตัว Hardware เพื่อเลือกถังที่ต้องการ ระบบก็จะทำงาน โดยจะมีกราฟแสดงปริมาตรของถังหลักอยู่ที่มุมบนขวามือ

3.2 ฮาร์ดแวร์

3.2.1 DAQ

อุปกรณ์ DAQ ที่ใช้คือรุ่น NI USB-6501 โดยจะมี 24 Port ซึ่งจะรับสัญญาณ Digital ที่เป็นได้ทั้ง Input และ Output ตัว DAQ นี้จะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้ USB 2.0 โดยจะประมวลผลสัญญาณ High, Low จากค่าแรงดัน ซึ่ง -0.3 ถึง 0.8 V จะอ่านค่า Low และ 2 ถึง 5.8 V จะอ่านค่า High

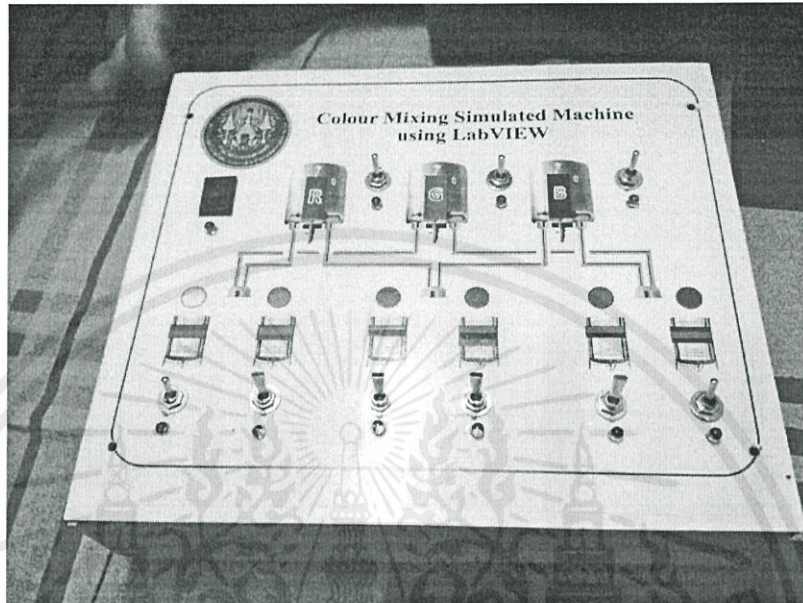


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

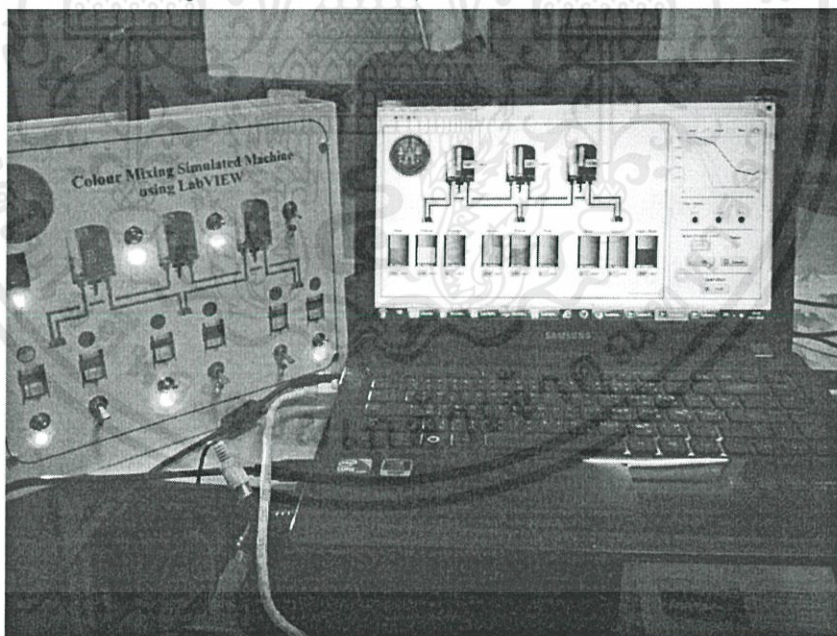
รูปที่ 3.7 DAQ

3.2.2 กล่องสำหรับส่งสัญญาณ Input

ด้านนอกของกล่องจะเป็น Switch On-Off และ LED แสดงการทำงานของระบบ ด้านข้างกล่องจะมีช่องสำหรับต่อสาย USB เพื่อเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.8 กล่องควบคุมการทำงานของระบบ

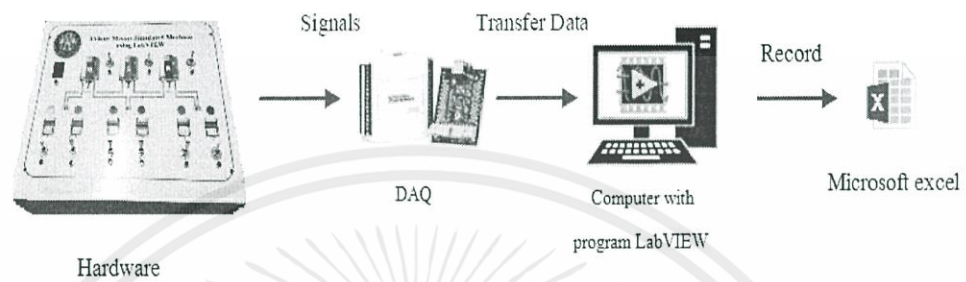


รูปที่ 3.9 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างกล่องควบคุมกับโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การบันทึกค่าที่ได้จากระบบ

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบ จะมีการบันทึกค่าปริมาตรที่ใช้ เวลาที่ดำเนินการ โดยจะแสดงเป็นตารางใน Microsoft Excel อัตโนมัติทันทีที่สิ้นสุดกระบวนการ ซึ่งในส่วนนี้จะทำให้ง่ายต่อการติดตามข้อมูล



รูปที่ 3.10 แสดงลำดับการทำงาน

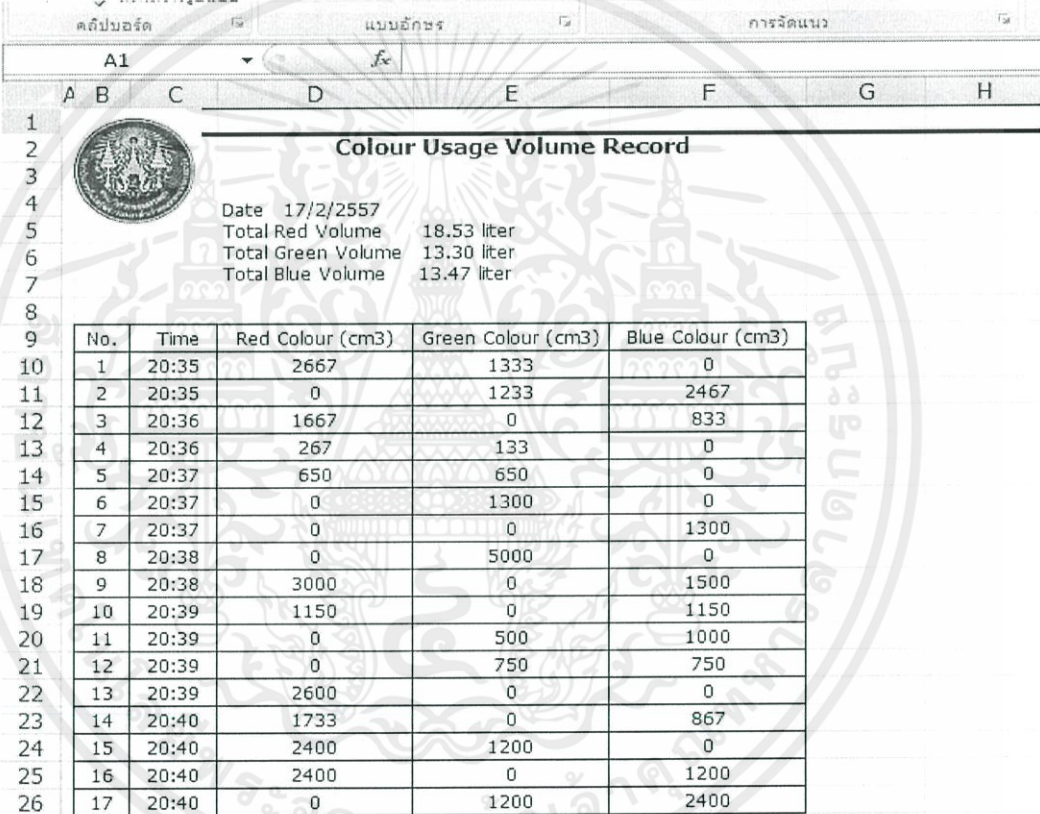
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทดลอง

เมื่อเริ่มต้นการทำงาน ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้จะถูกรับค่าและส่งต่อไปยัง Microsoft Excel เพื่อบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผสมของเหลวจะถูกบันทึกลงใน Microsoft Excel ซึ่งจะมีวันที่ใช้โปรแกรม เวลา ปริมาตรสุทธิ



No.	Time	Red Colour (cm3)	Green Colour (cm3)	Blue Colour (cm3)
1	20:35	2667	1333	0
2	20:35	0	1233	2467
3	20:36	1667	0	833
4	20:36	267	133	0
5	20:37	650	650	0
6	20:37	0	1300	0
7	20:37	0	0	1300
8	20:38	0	5000	0
9	20:38	3000	0	1500
10	20:39	1150	0	1150
11	20:39	0	500	1000
12	20:39	0	750	750
13	20:39	2600	0	0
14	20:40	1733	0	867
15	20:40	2400	1200	0
16	20:40	2400	0	1200
17	20:40	0	1200	2400

รูปที่ 4.1 แสดงโปรแกรม Microsoft Excel

จากรูปที่ 4.1 จะแสดงข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการ ซึ่งจะแสดงตั้งแต่วันที่เข้าใช้ระบบ, ปริมาตรของ Main Tank ที่ใช้ทั้งหมด ในตารางจะแสดงลำดับการทำงาน, เวลาเริ่มต้นในการไหลของสีมายัง Tank product และ ปริมาณสีจาก Main Tank ต่างๆ ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ฮาร์ดแวร์สามารถส่งคำสั่ง Input ไปยังซอฟต์แวร์เพื่อรันระบบตามที่ต้องการ ในกระบวนการผสมสีนั้นขณะที่มีการผสมสีไปยัง Tank ย่อยนั้น Tank หลักจะไม่สามารถเติมสีเข้ามาได้ ซึ่งจะต้องรอให้ไหลครบตามปริมาตรที่ป้อนเข้ามาก่อนจึงจะเติมสีได้ เพราะจะต้องรอให้สิ้นสุดการเติมแล้วจึงรับค่า ซึ่งในทางทฤษฎีอาจเกิดปัญหาในกรณีที่เติมพร้อมกันหลายๆ ถัง โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการระบบจะบันทึกค่าทั้งหมดลงใน Microsoft Excel

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในระบบที่ต้องการความคล่องตัวในการทำงานสามารถเลือกใช้ DAQ ที่สามารถส่งสัญญาณ Input Output ผ่านระบบ Bluetooth หรือ Wifi
2. ในการไหลของสีไปยัง Tank ต่างๆ นั้น ถึงแม้จะมี Graph แสดงการลดลงของปริมาตรในถังหลักซึ่งจะเช็คได้ว่าการไหลของสีจริงๆไม่เกิดการอุดตัน แต่ในกรณีที่เกิดการอุดตันในขณะที่ทำการผสมมากกว่า 1 Tank เราจะไม่สามารถทราบได้ว่าส่วนไหนที่การไหลเกิดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Frank D. Petruzella. **Programmable Logic Controllers**. 4th ed. New York : McGraw-Hill. 2011
- [2] Stephen L. Herman. **Industrial Motor Control**. 7th ed. New York : Delmar Cengage Learning. 2013
- [3] Frank D. Petruzella. **Electric Motors and Control Systems**. New York : McGraw-Hill. 2010
- [4] S. Sumathi and P. Surekha. **LabVIEW based Advanced Instrumentation Systems**. Berlin : Springer. 2007
- [5] Rick Bitter, TaqiMohiuddin and Matt Nawrocki. **LabVIEW Advanced Programming Techniques**. 2nd ed. New York : CRC Press. 2007
- [6] Ronald W. Larsen. **LabVIEW for Engineers**. New Jersey : Prentice Hall. 2011

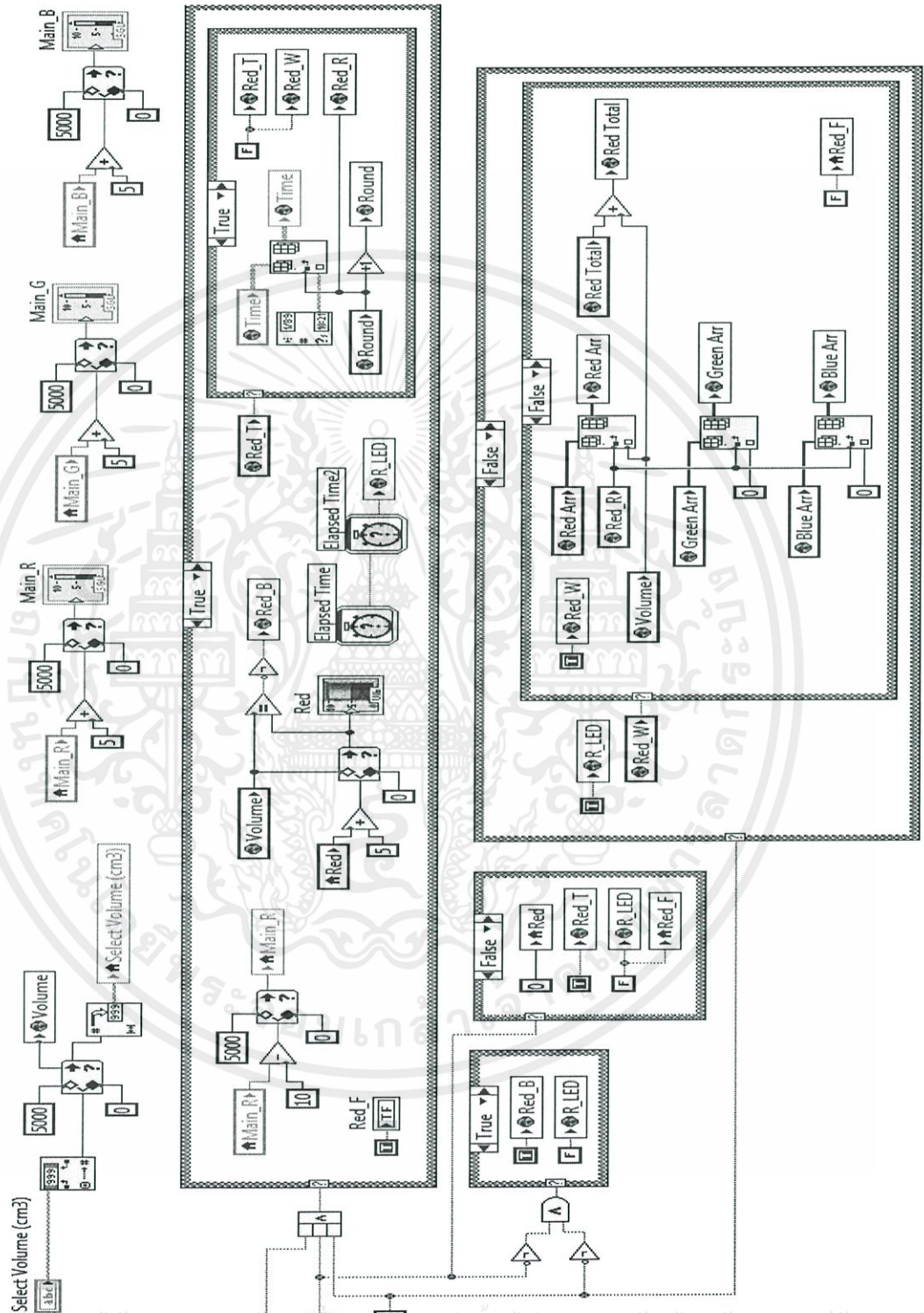


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



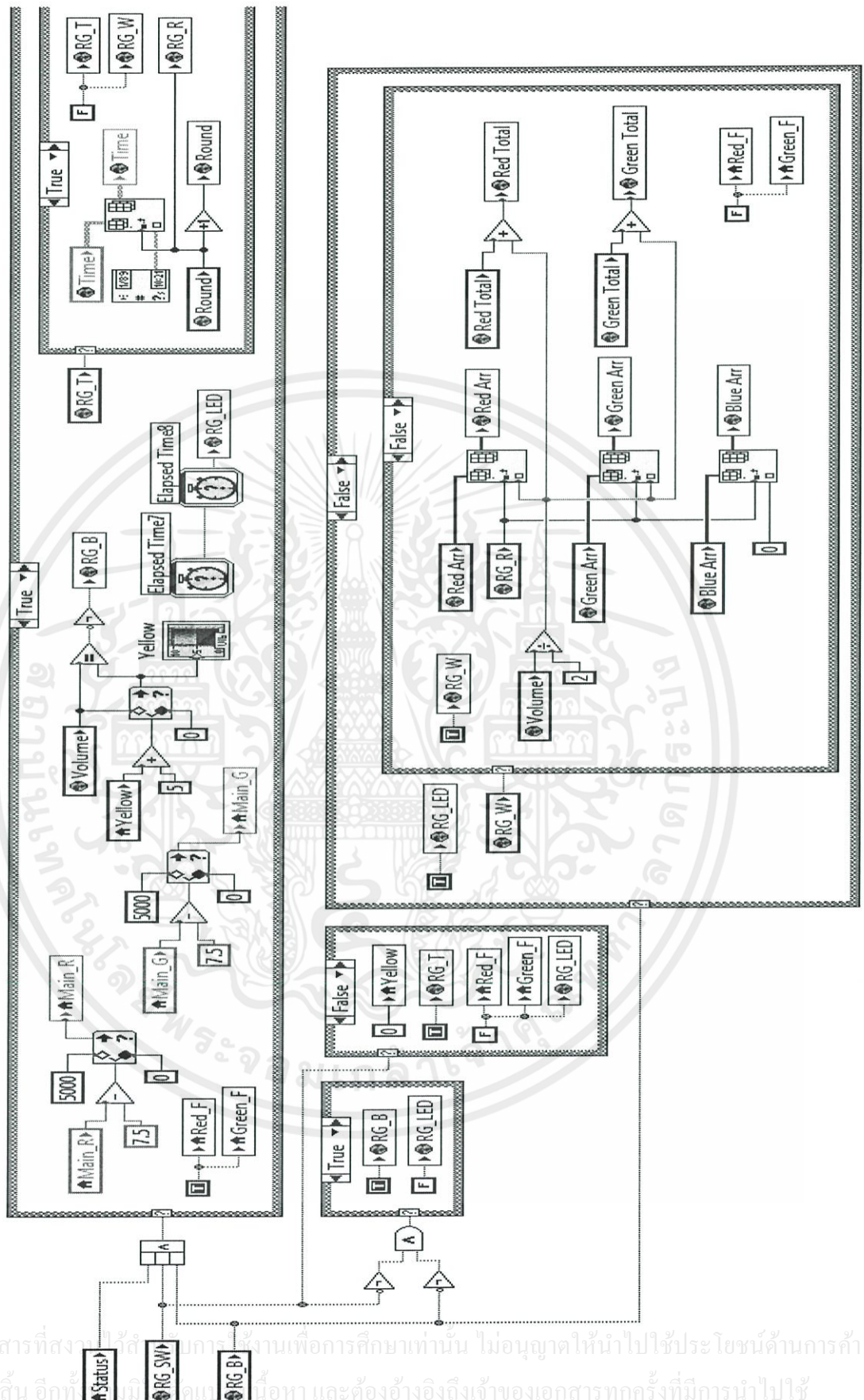
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
รายละเอียดของโปรแกรม LabVIEW



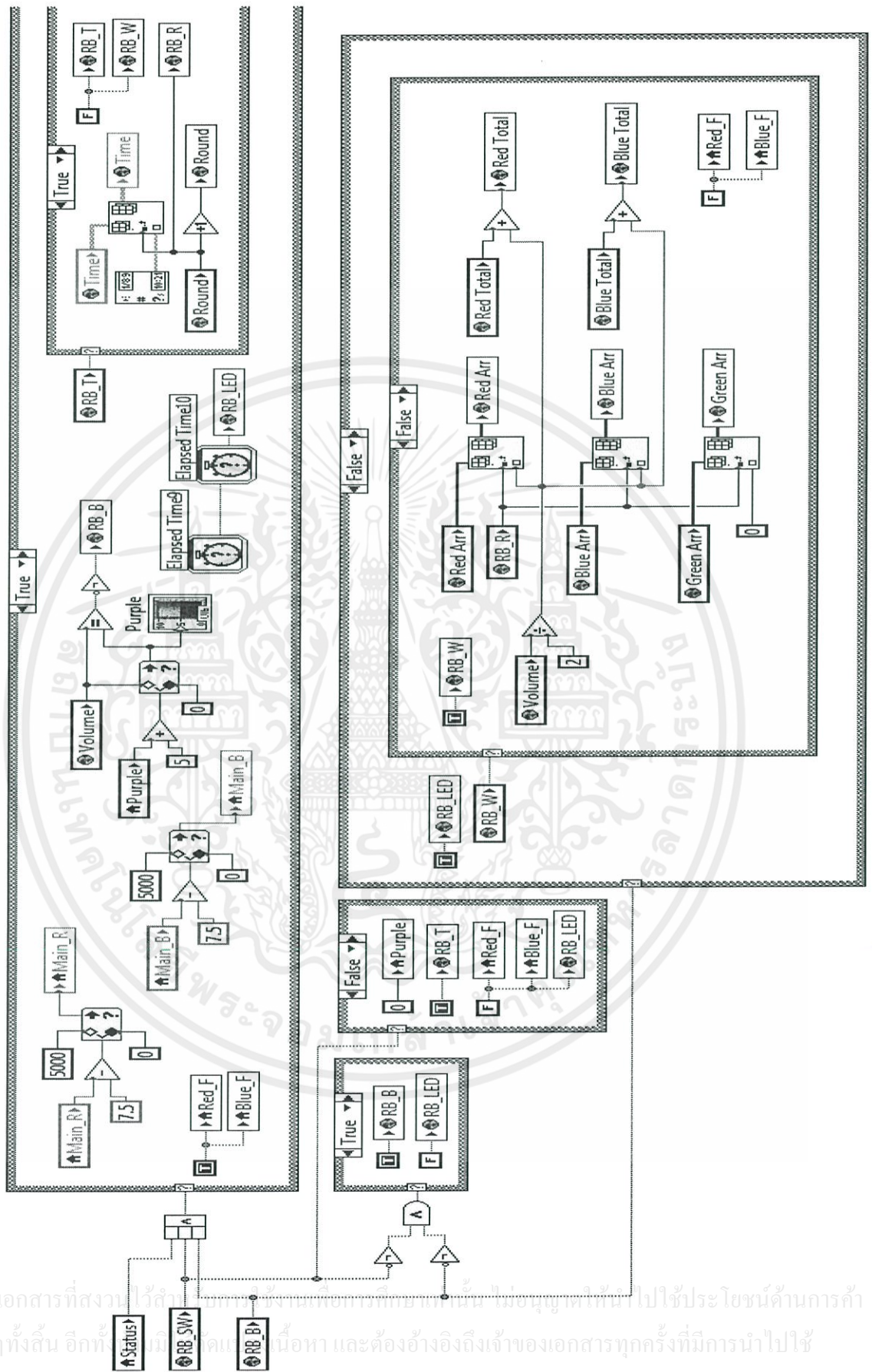
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.1 Block Diagram ส่วนของถึงหลักสีแดง



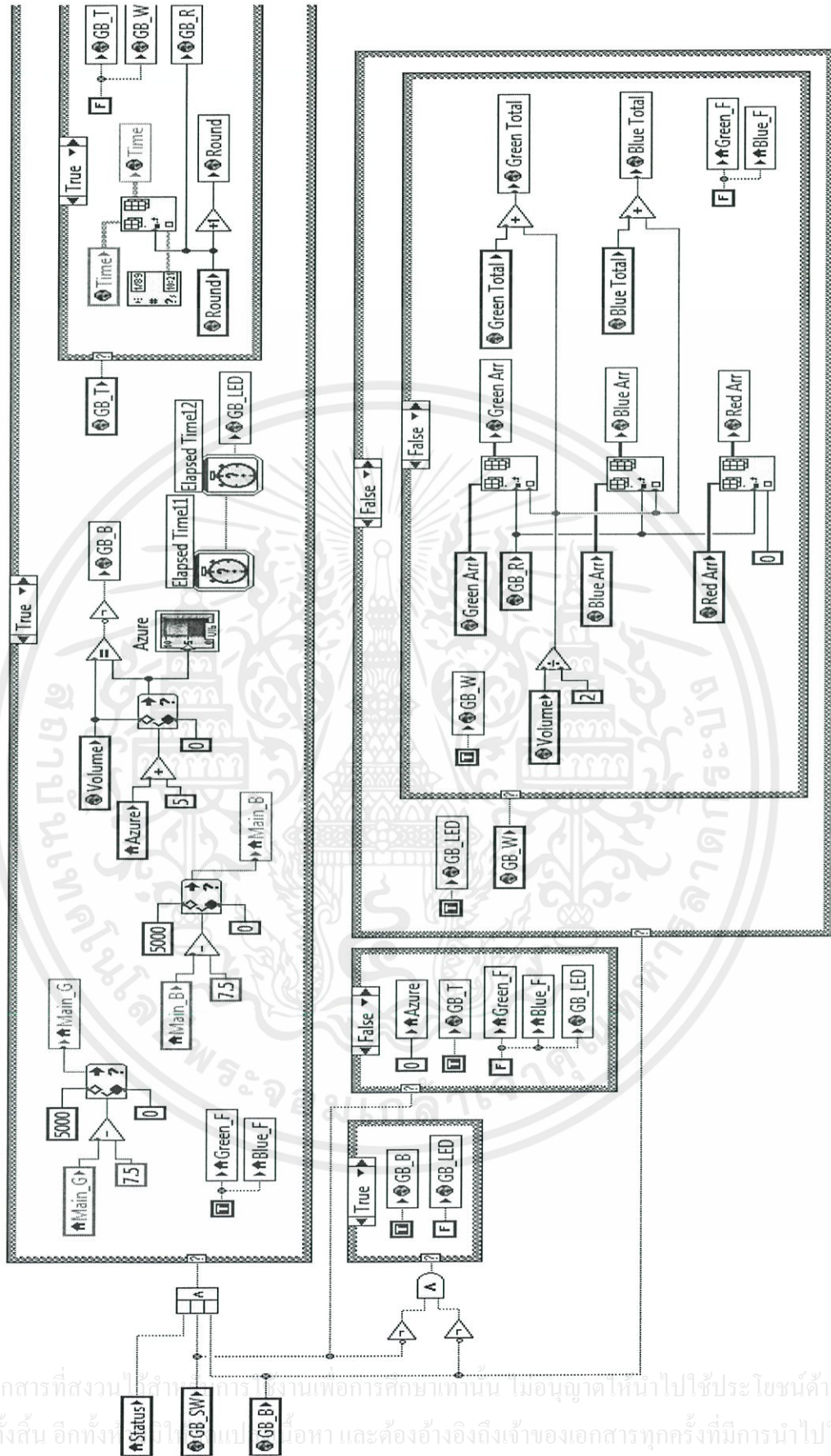
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.4 Block Diagram ส่วนของถึงผสมแดงเขียวในอัตราส่วน 1:1



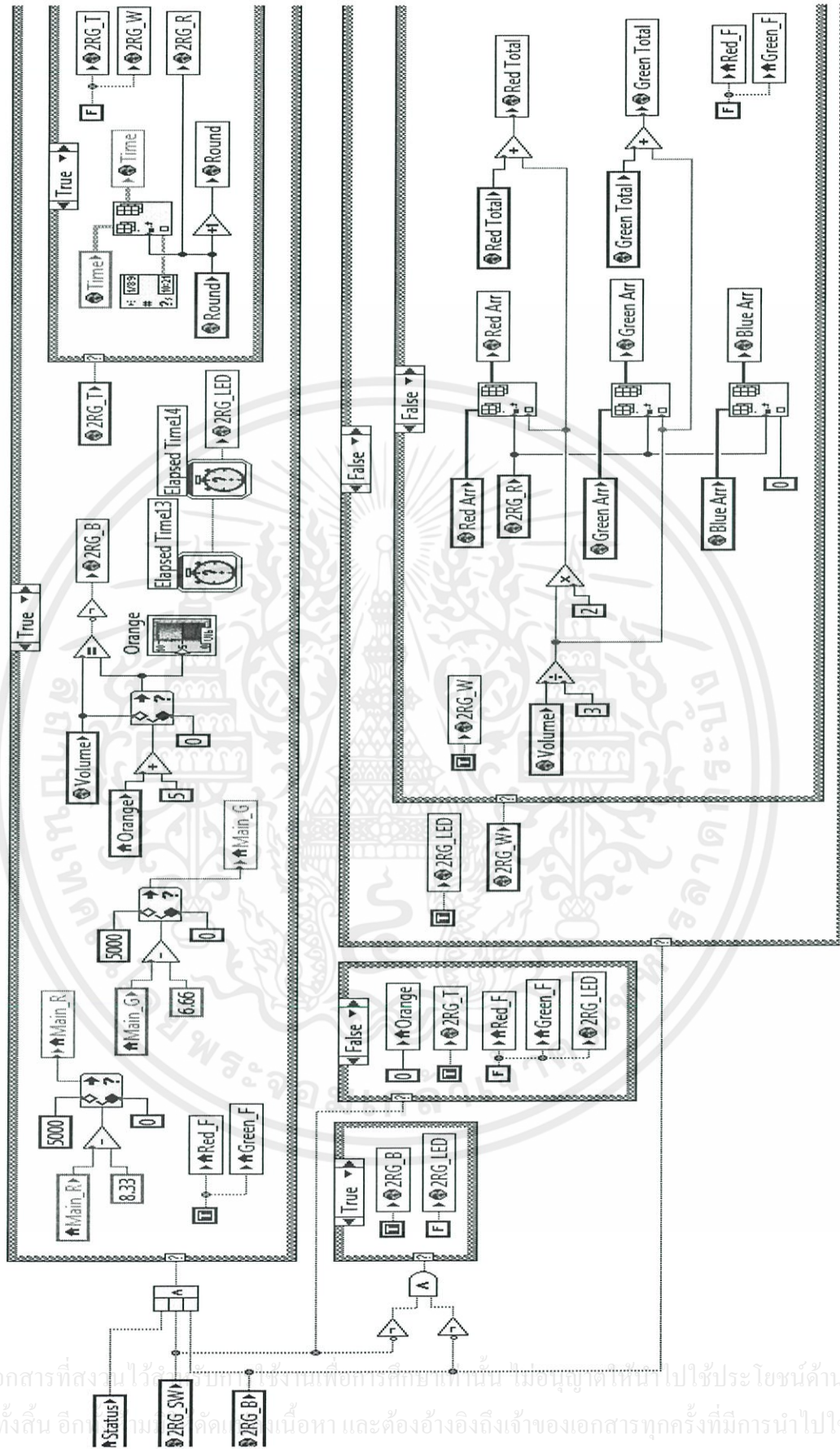
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.5 Block Diagram ส่วนของถังผสมแตงน้ำเงินในอัตราส่วน 1:1



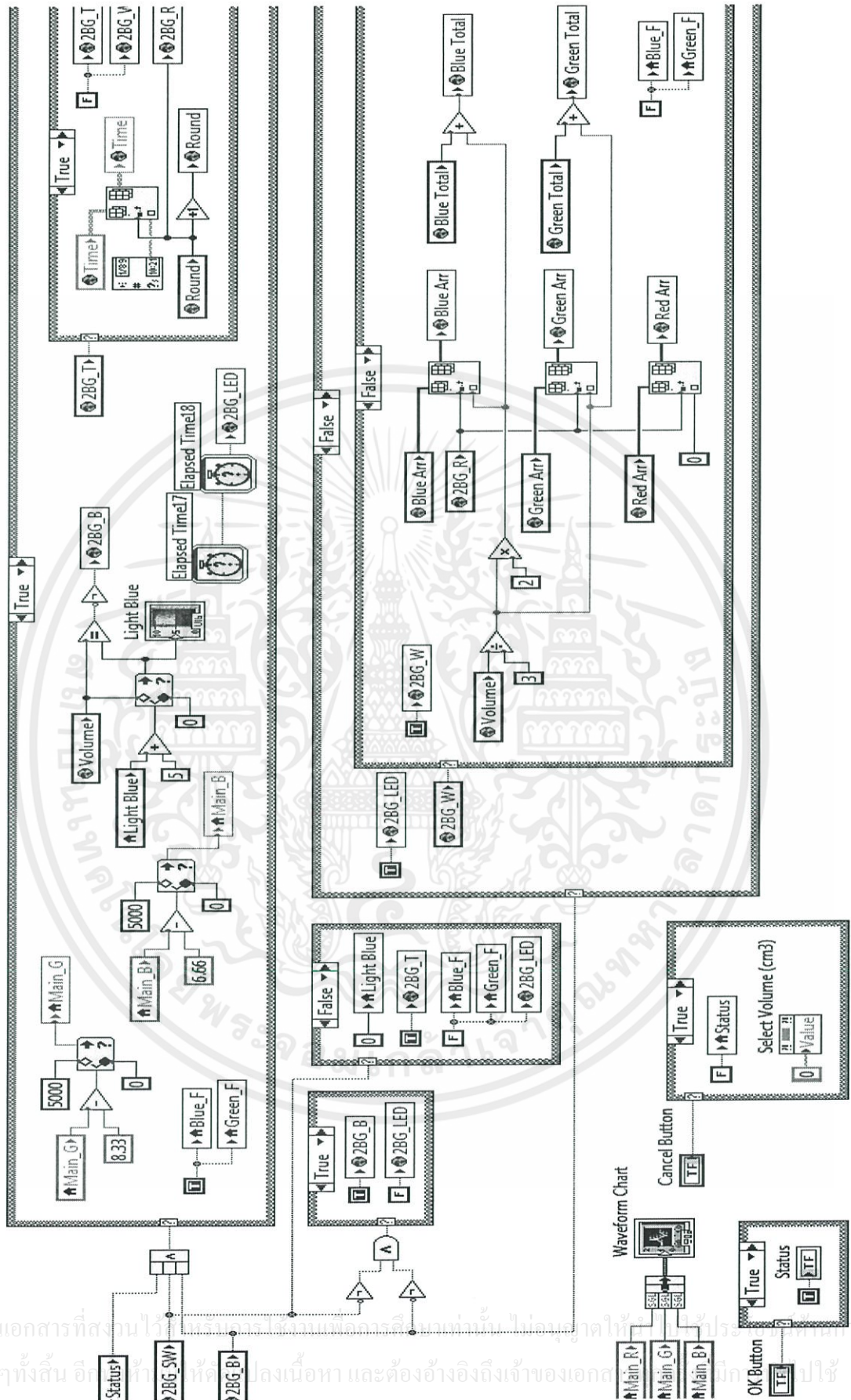
รูปที่ ก.6 Block Diagram ส่วนของถึงผสมเขี้ยวน้ำเงินในอัตราส่วน 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นการผิดกฎหมายหากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

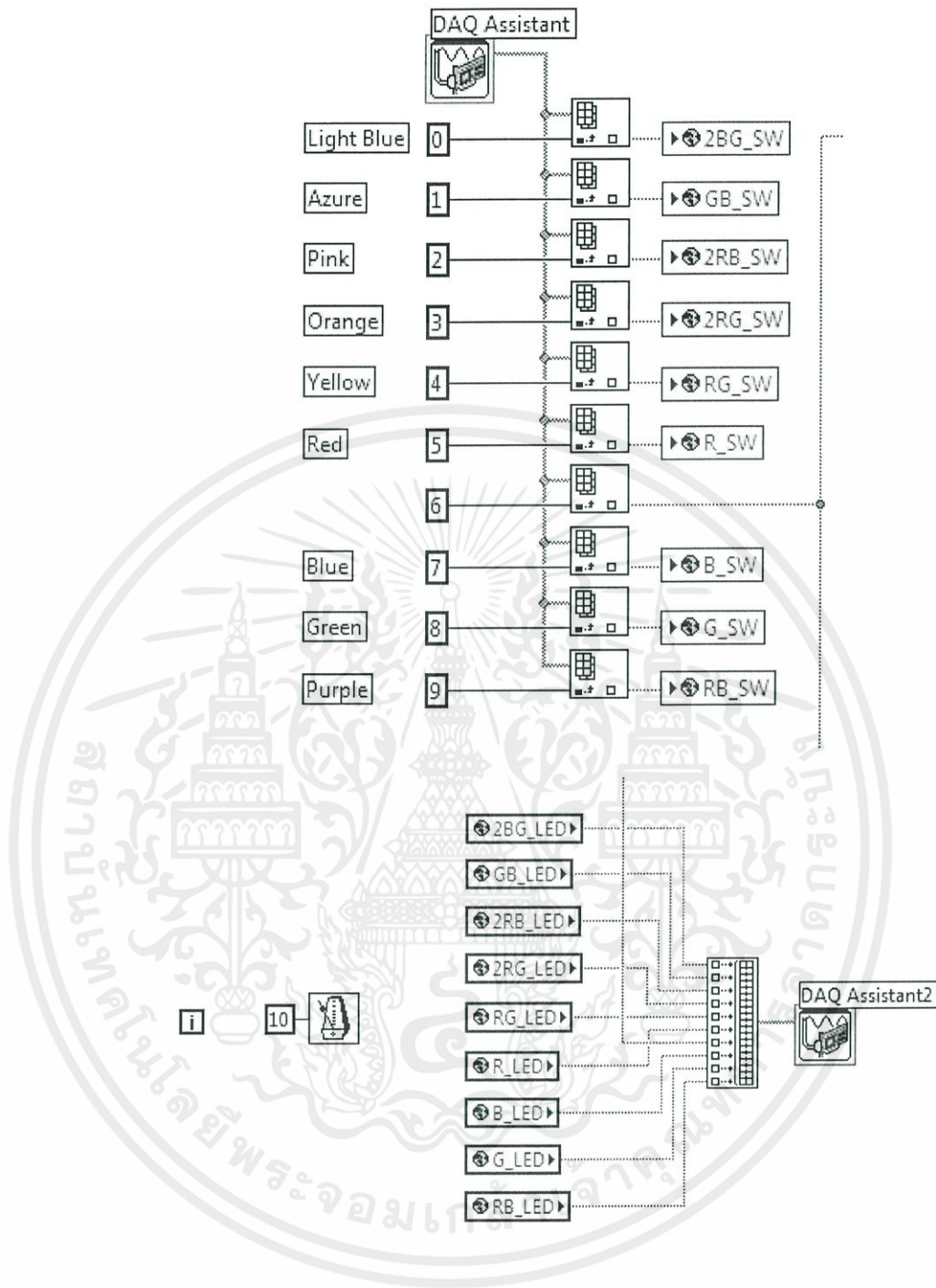


รูปที่ ก.7 Block Diagram ส่วนของถึงผสมแดงเขียวในอัตราส่วน 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะงานเพียงการที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกด้วย ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

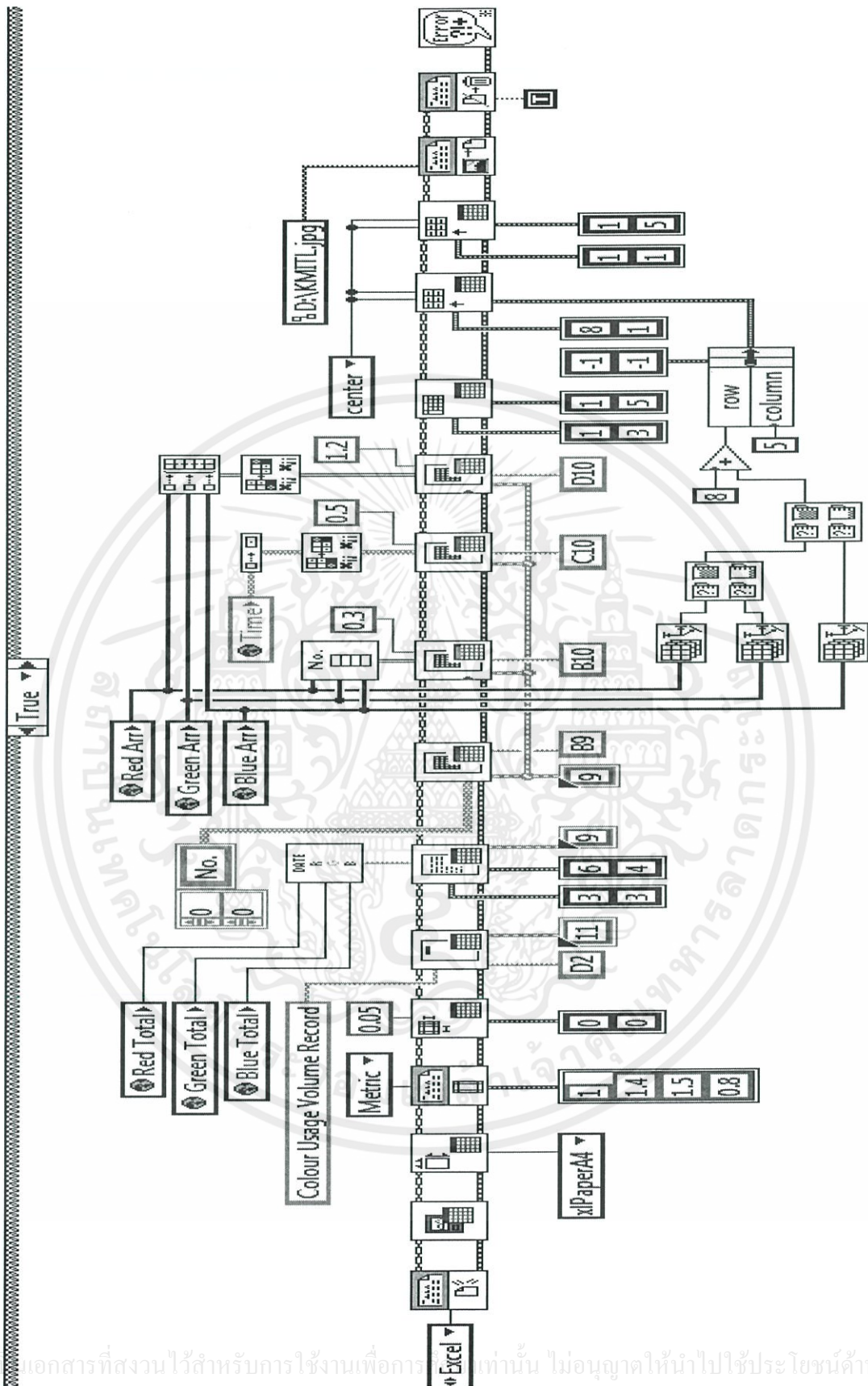


รูปที่ ก.9 Block Diagram ส่วนของถังผสมน้ำเงินเขียวในอัตราส่วน 2:1

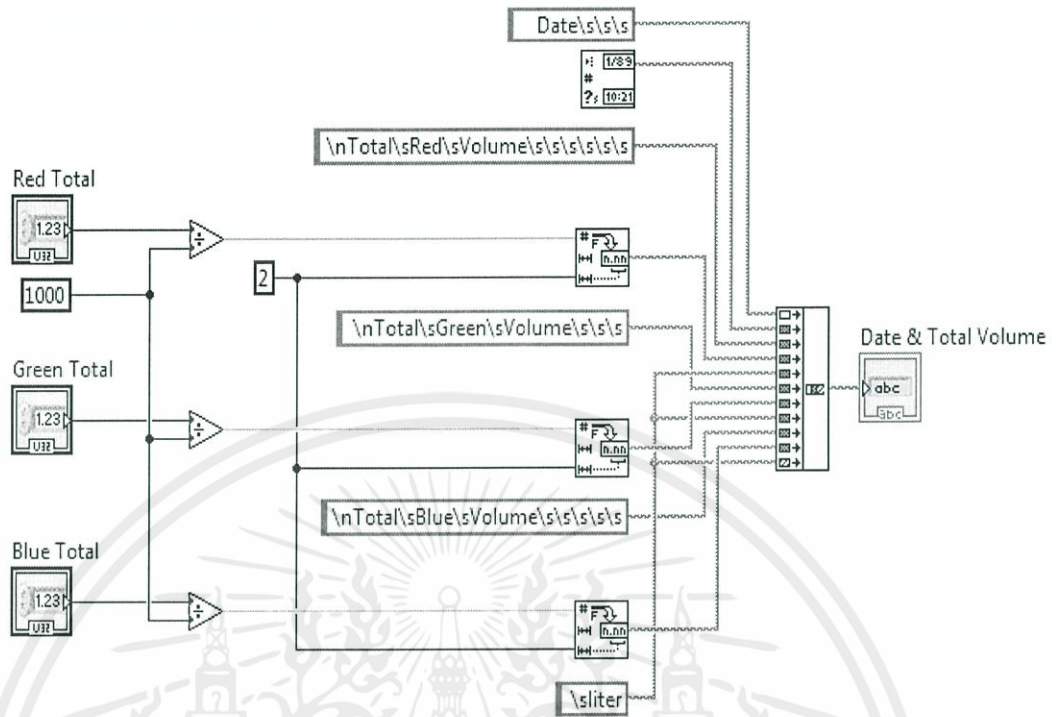


รูปที่ ก.10 Block Diagram ส่วนรับสัญญาณเข้ามายังคอมพิวเตอร์

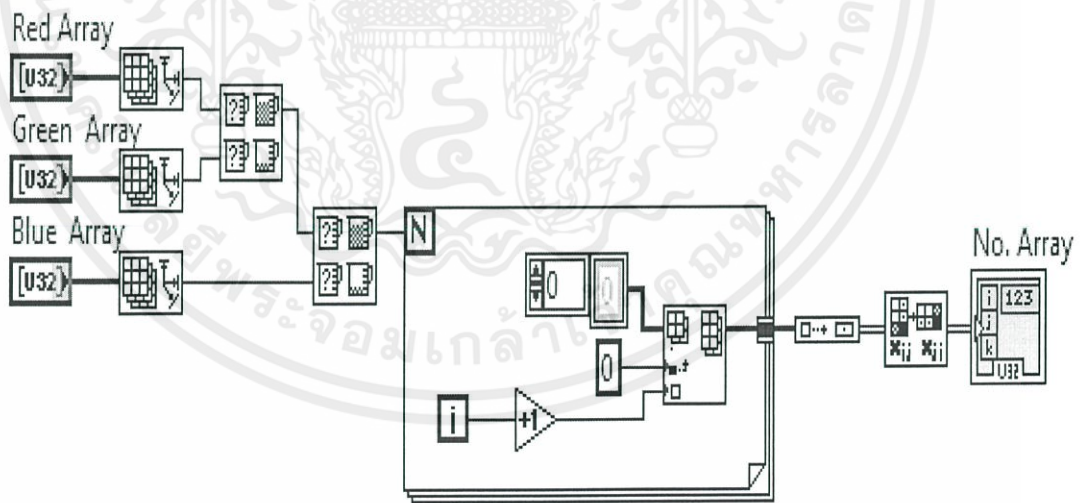
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ ก.11 Block Diagram ส่วนบันทึกข้อมูลลงไฟล์ Excel



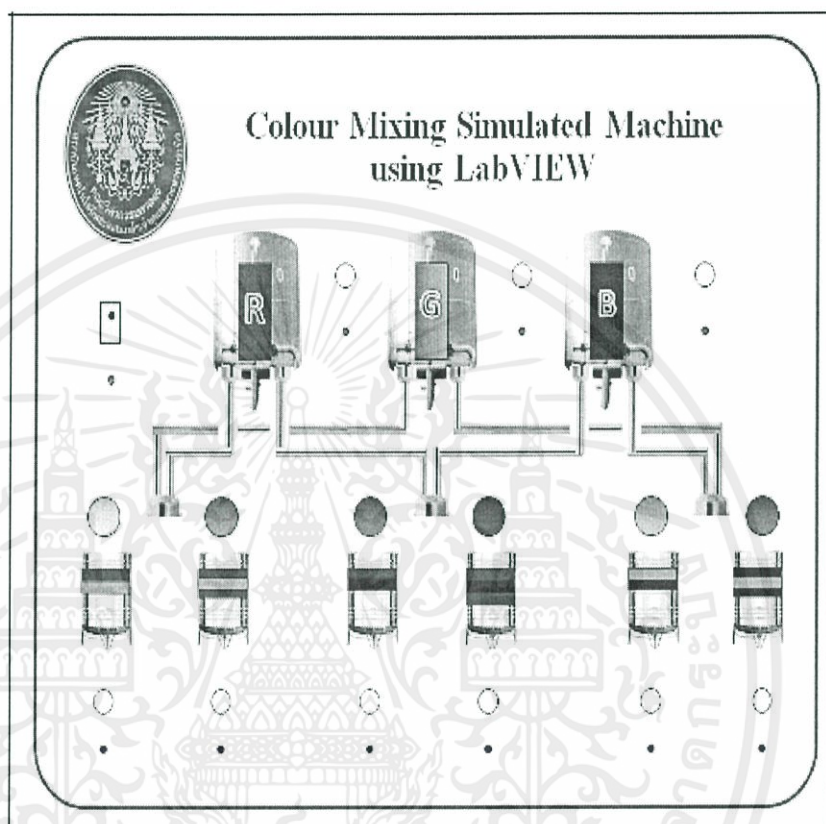
รูปที่ ก.12 Block Diagram ของส่วนที่ต้องการบันทึกข้อมูลลง Excel



รูปที่ ก.13 Block Diagram ของส่วนตัวเลขลำดับข้อมูลในตาราง Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ ข.1 ภาพบนกล่องอุปกรณ์สำหรับควบคุมการผสมสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
ข้อมูลของอุปกรณ์ NI USB-6501

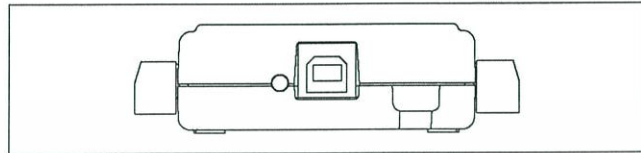


Figure 2. NI USB-6501 Back View

Dimensions

Figure 3 illustrates the dimensions of the USB-6501 device.

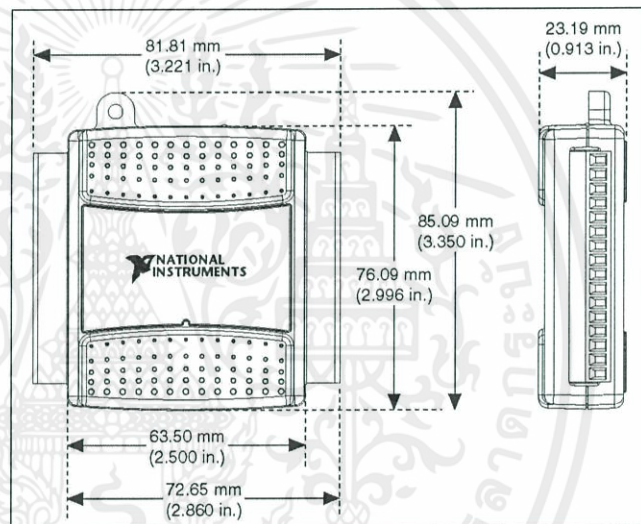


Figure 3. NI USB-6501 Device In Millimeters (Inches)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Safety Guidelines



Caution Operate the NI USB-6501 only as described in these operating instructions.

The following section contains important safety information that you must follow when installing and using the NI USB-6501.

Do not operate the NI USB-6501 in a manner not specified in this document. Misuse of the device can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the device if the device is damaged in any way. If the device is damaged, contact National Instruments for repair.

Do not substitute parts or modify the device except as described in this document. Use the device only with the chassis, modules, accessories, and cables specified in the installation instructions. You must have all covers and filler panels installed during operation of the device.

Do not operate the device in an explosive atmosphere or where there may be flammable gases or fumes. If you must operate the device in such an environment, it must be in a suitably rated enclosure.

If you need to clean the device, use a dry cloth. Make sure that the device is completely dry and free from contaminants before returning it to service.

Operate the device only at or below Pollution Degree 2. Pollution is foreign matter in a solid, liquid, or gaseous state that can reduce dielectric strength or surface resistivity. The following is a description of pollution degrees:

- Pollution Degree 1 means no pollution or only dry, nonconductive pollution occurs. The pollution has no influence.
- Pollution Degree 2 means that only nonconductive pollution occurs in most cases. Occasionally, however, a temporary conductivity caused by condensation must be expected.
- Pollution Degree 3 means that conductive pollution occurs, or dry, nonconductive pollution occurs that becomes conductive due to condensation.

You must insulate signal connections for the maximum voltage for which the device is rated. Do not exceed the maximum ratings for the device. Do not install wiring while the device is live with electrical signals. Do not remove or add connector blocks when power is connected to the system. Avoid contact between your body and the connector block signal when hot swapping modules. Remove power from signal lines before connecting them to or disconnecting them from the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operate the device at or below the Measurement Category I¹. Measurement circuits are subjected to working voltages² and transient stresses (overvoltage) from the circuit to which they are connected during measurement or test. Measurement categories establish standard impulse withstand voltage levels that commonly occur in electrical distribution systems. The following is a description of measurement categories:

- Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS³ voltage. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.
- Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet (for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe). Examples of Measurement Category II are measurements performed on household appliances, portable tools, and similar E Series devices.
- Measurement Category III is for measurements performed in the building installation at the distribution level. This category refers to measurements on hard-wired equipment such as equipment in fixed installations, distribution boards, and circuit breakers. Other examples are wiring, including cables, bus-bars, junction boxes, switches, socket-outlets in the fixed installation, and stationary motors with permanent connections to fixed installations.
- Measurement Category IV is for measurements performed at the primary electrical supply installation (<1,000 V). Examples include electricity meters and measurements on primary overcurrent protection devices and on ripple control units.

¹ Measurement Category as defined in electrical safety standard IEC 61010-1. Measurement Category is also referred to as Installation Category.

² Working Voltage is the highest rms value of an AC or DC voltage that can occur across any particular insulation.

³ MAINS is defined as a hazardous live electrical supply system that powers equipment. Suitably rated measuring circuits may be connected to the MAINS for measuring purposes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Related Documentation

Each application software package and driver includes information about writing applications for taking measurements and controlling measurement devices. The following references to documents assume you have NI-DAQmx 8.7 or later, NI-DAQmx Base 3.x, and where applicable, version 7.1 or later of the NI application software.

NI-DAQmx for Windows

The *DAQ Getting Started Guide* describes how to install your NI-DAQmx for Windows software, how to install your NI-DAQmx-supported DAQ device, and how to confirm that your device is operating properly. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»DAQ Getting Started Guide**.

The *NI-DAQ Readme* lists which devices are supported by this version of NI-DAQmx. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQ Readme**.

The *NI-DAQmx Help* contains general information about measurement concepts, key NI-DAQmx concepts, and common applications that are applicable to all programming environments. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQmx Help**.



Note For information about non-Windows operating system support, refer to ni.com/info and enter BaseGSGML.

LabVIEW

If you are a new user, use the *Getting Started with LabVIEW* manual to familiarize yourself with the LabVIEW graphical programming environment and the basic LabVIEW features you use to build data acquisition and instrument control applications. Open the *Getting Started with LabVIEW* manual by selecting **Start»All Programs»National Instruments»LabVIEW»LabVIEW Manuals** or by navigating to the `labview\manuals` directory and opening `LV_Getting_Started.pdf`.

Use the *LabVIEW Help*, available by selecting **Help»Search the LabVIEW Help** in LabVIEW, to access information about LabVIEW programming concepts, step-by-step instructions for using LabVIEW, and reference information about LabVIEW VIs, functions, palettes, menus, and tools. Refer to the following locations on the **Contents** tab of the *LabVIEW Help* for information about NI-DAQmx:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Getting Started»Getting Started with DAQ**—Includes overview information and a tutorial to learn how to take an NI-DAQmx measurement in LabVIEW using the DAQ Assistant.
- **VI and Function Reference»Measurement I/O VIs and Functions**—Describes the LabVIEW NI-DAQmx VIs and properties.
- **Taking Measurements**—Contains the conceptual and how-to information you need to acquire and analyze measurement data in LabVIEW, including common measurements, measurement fundamentals, NI-DAQmx key concepts, and device considerations.

LabWindows/CVI

The **Data Acquisition** book of the *LabWindows/CVI Help* contains measurement concepts for NI-DAQmx. This book also contains *Taking an NI-DAQmx Measurement in LabWindows/CVI*, which includes step-by-step instructions about creating a measurement task using the DAQ Assistant. In LabWindows™/CVI™, select **Help»Contents**, then select **Using LabWindows/CVI»Data Acquisition**.

The **NI-DAQmx Library** book of the *LabWindows/CVI Help* contains API overviews and function reference for NI-DAQmx. Select **Library Reference»NI-DAQmx Library** in the *LabWindows/CVI Help*.

Measurement Studio

If you program your NI-DAQmx-supported device in Measurement Studio using Visual C++, Visual C#, or Visual Basic .NET, you can interactively create channels and tasks by launching the DAQ Assistant from MAX or from within Visual Studio .NET. You can generate the configuration code based on your task or channel in Measurement Studio. Refer to the *DAQ Assistant Help* for additional information about generating code. You also can create channels and tasks, and write your own applications in your ADE using the NI-DAQmx API.

For help with NI-DAQmx methods and properties, refer to the NI-DAQmx .NET Class Library or the NI-DAQmx Visual C++ Class Library included in the *NI Measurement Studio Help*. For general help with programming in Measurement Studio, refer to the *NI Measurement Studio Help*, which is fully integrated with the Microsoft Visual Studio .NET help. To view this help file in Visual Studio .NET, select **Measurement Studio»NI Measurement Studio Help**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To create an application in Visual C++, Visual C#, or Visual Basic .NET, follow these general steps:

1. In Visual Studio .NET, select **File»New»Project** to launch the New Project dialog box.
2. Find the Measurement Studio folder for the language you want to create a program in.
3. Choose a project type. You add DAQ tasks as a part of this step.

ANSI C without NI Application Software

The *NI-DAQmx Help* contains API overviews and general information about measurement concepts. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQmx Help**.

The *NI-DAQmx C Reference Help* describes the NI-DAQmx Library functions, which you can use with National Instruments data acquisition devices to develop instrumentation, acquisition, and control applications. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQmx C Reference Help**.

.NET Languages without NI Application Software

With the Microsoft .NET Framework version 1.1 or later, you can use NI-DAQmx to create applications using Visual C# and Visual Basic .NET without Measurement Studio. You need Microsoft Visual Studio .NET 2003 or Microsoft Visual Studio 2005 for the API documentation to be installed.

The installed documentation contains the NI-DAQmx API overview, measurement tasks and concepts, and function reference. This help is fully integrated into the Visual Studio .NET documentation. To view the NI-DAQmx .NET documentation, go to **Start»Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQmx .NET Reference Help**. Expand **NI Measurement Studio Help»NI Measurement Studio .NET Class Library»Reference** to view the function reference. Expand **NI Measurement Studio Help»NI Measurement Studio .NET Class Library»Using the Measurement Studio .NET Class Libraries** to view conceptual topics for using NI-DAQmx with Visual C# and Visual Basic .NET.

To get to the same help topics from within Visual Studio, go to **Help»Contents**. Select **Measurement Studio** from the **Filtered By** drop-down list and follow the previous instructions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Device Documentation and Specifications

NI-DAQmx includes the Device Document Browser, which contains online documentation for supported DAQ and SCXI devices, such as documents describing device pinouts, features, and operation. You can find, view, and/or print the documents for each device using the Device Document Browser at any time by inserting the CD. After installing the Device Document Browser, device documents are accessible from **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»Browse Device Documentation**.



Note You can also download these documents at ni.com/manuals.

NI-DAQmx Base (Linux/Mac OS X/LabVIEW PDA 8.x)

The *NI-DAQmx Base Getting Started Guide* describes how to install your NI-DAQmx Base software, your NI-DAQmx Base-supported DAQ device, and how to confirm that your device is operating properly. In Windows, select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»Documentation»Getting Started Guide**.

Getting Started with NI-DAQmx Base for Linux and Mac Users describes how to install your NI-DAQmx Base software, your NI-DAQmx Base-supported DAQ device, and how to confirm that your device is operating properly on your Mac/Linux machine.

The *NI-DAQmx Base Readme* lists which devices are supported by this version of NI-DAQmx Base. In Windows, select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»DAQmx Base»DAQmx Base Readme**.

The *NI-DAQmx Base VI Reference Help* contains VI reference and general information about measurement concepts. In LabVIEW, select **Help»NI-DAQmx Base VI Reference Help**.

The *NI-DAQmx Base C Reference Help* contains C reference and general information about measurement concepts. In Windows, select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»Documentation»C Function Reference Help**.



Note All NI-DAQmx Base documentation for Linux is installed at `/usr/local/natinst/nidaqmxbase/documentation`.



Note All NI-DAQmx Base documentation for Mac OS X is installed at `/Applications/National Instruments/NI-DAQmx Base/documentation`.

Training Courses

If you need more help getting started developing an application with NI products, NI offers training courses. To enroll in a course or obtain a detailed course outline, refer to ni.com/training.

Technical Support on the Web

For additional support, refer to ni.com/support or zone.ni.com.

Installing the Software

Software support for the NI USB-6501 for Windows Vista/XP/2000 is provided by NI-DAQmx or NI-DAQmx Base depending on the software you are using. The *DAQ Getting Started Guide*, which you can download at ni.com/manuals, offers NI-DAQmx users step-by-step instructions for installing software and hardware, configuring channels and tasks, and getting started developing an application.



Note For information about non-Windows operating system support, refer to ni.com/info and enter BaseGSGML.

Installing Other Software

If you are using other software, refer to the installation instructions that accompany your software.

Example Programs

The NI-DAQmx CD contains example programs that you can use to get started programming with the NI USB-6501. Refer to the *NI-DAQmx for USB Devices Getting Started Guide* that shipped with your device, and is also accessible from **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ**, for more information.

The NI-DAQmx Base software ships with example programs you can use to get started programming with the NI USB-6501. Refer to the *NI-DAQmx Base Getting Started Guide* that shipped with your device, and is also accessible from **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»Documentation**, for more information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Installing the NI USB-6501 Device

Before installing the device, you must install the software you plan to use with the device. Refer to the *Installing the Software* section of this guide and the documentation included with the software for more information.

Figure 4 shows key functional components of the NI USB-6501.

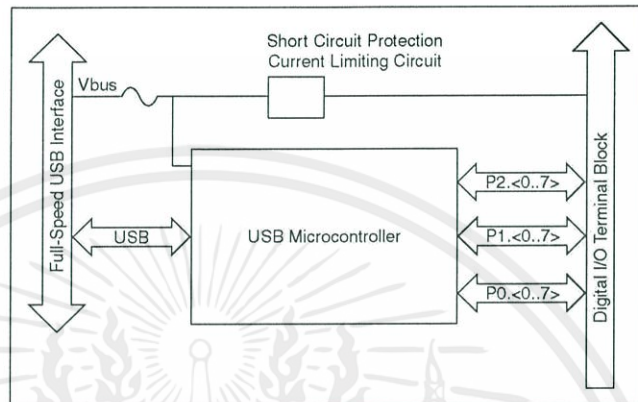


Figure 4. Device Block Diagram

Refer to the *Safety Guidelines* section of this document for important safety information.

Setting Up the NI USB-6501 Device

Complete the following steps to set up the NI USB-6501:

1. Install combicon screw terminal blocks by inserting them into the combicon jacks.



Note The NI USB-6501 kit ships with signal name labels. You can apply the signal name labels to the screw terminal blocks for easy signal identification.

2. Refer to Table 2 and Figure 5 for label orientation and affix provided signal labels to the screw terminal blocks. Until the signal name labels are applied, you can insert the screw terminal blocks into either of the combicon jacks. Refer to Figure 5 for more information about signal name label orientation.

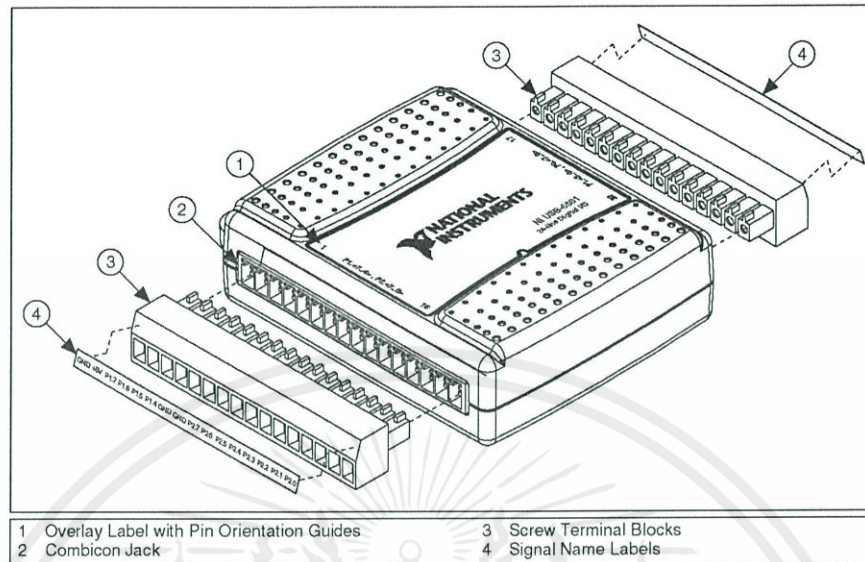


Figure 5. Signal Name Label Application Diagram



Note Once you label the screw terminal blocks, you must only insert them into the matching combicon jack, as indicated by the overlay label on the NI USB-6501 device.

3. Connect the wiring to the appropriate screw terminals.

Connecting the NI USB-6501 to a Computer

Plug one end of the USB cable into the NI USB-6501 and the other end into an available USB port on the computer.

LED Indicator

The NI USB-6501 device has a green LED next to the USB connector. The LED indicator indicates device status, as listed in Table 1. When the device is connected to a USB port, the LED blinks steadily to indicate that the device is initialized and is receiving power from the connection.

If the LED is not blinking, it may mean that the device is not initialized or the computer is in standby mode. In order for the device to be recognized, the device must be connected to a computer that has NI-DAQmx or NI-DAQmx Base installed on it. If your device is not blinking, make sure your computer has the latest version of NI-DAQmx or NI-DAQmx Base installed on it, and the computer is not in standby mode.

Table 1. LED State/Device Status


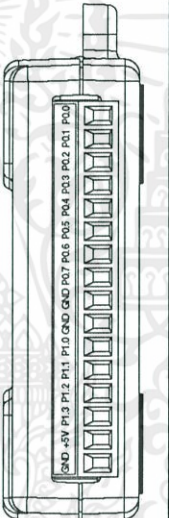
LED State	Device Status
Not lit	Device not connected or in suspend.
On, not blinking	Device connected.
Single-blink	Operating normally.

I/O Connector

The NI USB-6501 ships with two detachable terminal blocks for digital signals. The individual terminals accept 16 AWG to 28 AWG wire.

Table 2 lists the digital terminal assignments.

Table 2. Digital Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal	Module	Terminal	Signal
	1	GND		17	P0.0
	2	+5 V		18	P0.1
	3	P1.7		19	P0.2
	4	P1.6		20	P0.3
	5	P1.5		21	P0.4
	6	P1.4		22	P0.5
	7	GND		23	P0.6
	8	GND		24	P0.7
	9	P2.7/PFI 0		25	GND
	10	P2.6		26	GND
	11	P2.5		27	P1.0
	12	P2.4		28	P1.1
	13	P2.3		29	P1.2
	14	P2.2		30	P1.3
	15	P2.1		31	+5 V
	16	P2.0		32	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal Descriptions

Table 3 describes the signals available on the I/O connectors.

Table 3. Signal Descriptions

Signal Name	Direction	Description
P0.<0..7> P1.<0..7> P2.<0..6>	Input or Output	Digital I/O Signals —You can individually configure each signal as an input or output.
P2.7/PFI 0	Input or Output	This pin is configurable as either a digital line or an event counter. Digital I/O Signal —As a digital line, this signal can be used as an input or output. CTR —As a counter, this signal can be used as an event counter input source.
+5 V	Output	+5 V —The voltage source provided by the USB host. The voltage is nominally 5 V, but varies from system to system.
GND	—	Ground —The reference for the digital signals and the +5 VDC supply.

Digital I/O

The NI USB-6501 has 24 single-ended digital lines, P0.<0..7>, P1.<0..7>, and P2.<0..7>, which comprise the three DIO ports. P2.7/PFI 0 can also function as a 32-bit counter. Refer to the *Event Counter* section for more information about the counter.

Static DIO

Each of the NI USB-6501 DIO lines can be individually programmed as a static DI or DO line. You can use static DIO lines to monitor or control digital signals. All samples of static DI lines and updates of DO lines are software-timed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital Output Information



Note This manual revision updates naming conventions to reflect the conventions used in NI-DAQmx. Table 4 notes the correlation between the hardware functionality and the NI-DAQmx terminology.

Table 4. Digital Output Driver Type Naming Conventions

Hardware Functionality	NI-DAQmx Terminology
Open-drain	Open collector
Push-pull	Active drive

The default configuration of the NI USB-6501 DIO ports is open collector, allowing 5 V operation, with an onboard 4.7 k Ω pull-up resistor. An external, user-provided pull-up resistor can be added to increase the source current drive up to a 8.5 mA limit per line, as shown in Figure 6.

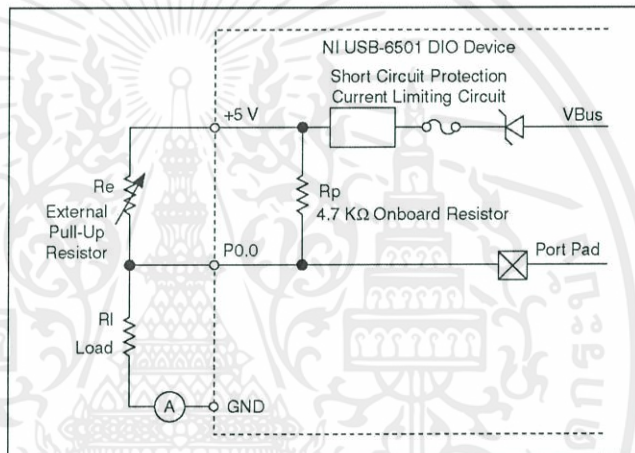


Figure 6. Example of Connecting External User-Provided Resistor

Complete the following steps to determine the value of the user-provided pull-up resistor:

1. Place an ammeter in series with the load.
2. Place a variable resistor between the digital output line and the +5 V.
3. Adjust the variable resistor until the ammeter current reads as the intended current. The intended current must be less than 8.5 mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Remove the ammeter and variable resistor from your circuit.
5. Measure the resistance of the variable resistor. The measured resistance is the ideal value of the pull-up resistor.
6. Select a static resistor value for your pull-up resistor that is greater than or equal to the ideal resistance.
7. Re-connect the load circuit and the pull-up resistor.

Additionally, you can configure the NI USB-6501 DIO ports as active drive. When configured as active drive, the total current sourced by all DO lines simultaneously should not exceed 65 mA.

Digital I/O Circuitry

Figure 7 shows P0.<0..7> connected to example signals configured as digital inputs and digital outputs. You can configure P1.<0..7> and P2.<0..7> similarly. Refer to Figure 7 for some common examples of connections of DIO lines with standard circuits.

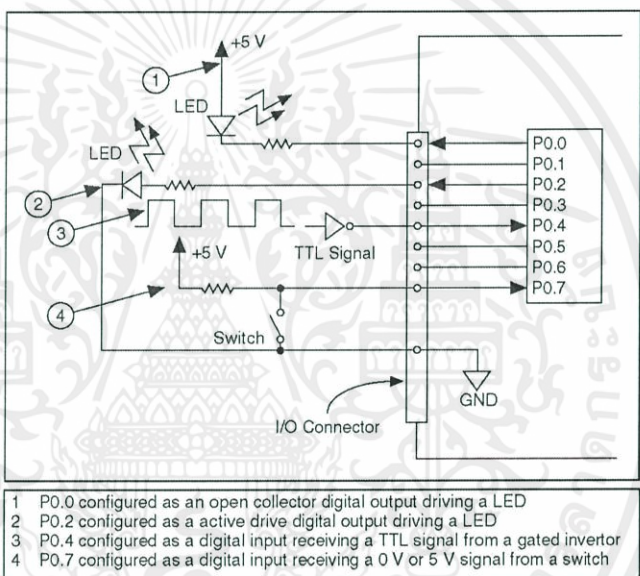


Figure 7. Example of Connecting a Load



Caution Exceeding the maximum input voltage ratings or maximum output ratings, which are listed in the *Specifications* section, can damage the DAQ device and the computer. National Instruments is *not* liable for any damage resulting from such signal connections.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I/O Protection

Each DIO signal is protected against overvoltage, undervoltage, and overcurrent conditions, as well as ESD events. However, you should avoid these fault conditions by using the following guidelines:

- If you configure a DIO line as an output, do not connect it to any external signal source, ground signal, or power supply.
- If you configure a DIO line as an output, understand the current requirements of the load connected to these signals. Do not exceed the specified current output limits of the DAQ device.
- If you configure a DIO line as an input, do not drive the line with voltages outside of its normal operating range.
- Treat the DAQ device as you would treat any static sensitive device. Always properly ground yourself and the equipment when handling the DAQ device or connecting to it.

Power-On States

At system startup and reset, the hardware sets all DIO lines to high-impedance inputs. The DAQ device does not drive the signal high or low. Each line has a weak pull-up resistor connected to it.

Event Counter

You can configure P2.7 as the source for a 32-bit counter. In this mode, the device counts high to low transitions on P2.7. The counter can be armed and disarmed and the count can be read or reset through software. Refer to your software documentation for more information about counter programming techniques.

+5 V Power Source

The NI USB-6501 supplies a nominal 5 V from two pins, one on each screw terminal block. The voltage source is provided by the USB host. The voltage is nominally 5 V, but varies from system to system. Refer to the *Specifications* section for more information about USB bus power specifications. This source can be used to power external components.



Note While the device is in USB suspend, the output is disabled.



Caution When using the 5 V source, understand the current requirements of the load connected. Do *not* exceed the specified current output limits of the USB Vbus.

Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.

Digital I/O

Number of lines

P0.<0..7>..... 8

P1.<0..7>..... 8

P2.<0..7>..... 8

Direction control Input or output,
software-selectable

Output driver type Active drive (push-pull) or
open collector (open-drain),
software selectable

Pull-up resistor 4.7 k Ω VBus (nominally 5 V)

Absolute voltage range..... -0.5 to 5.8 V with respect to GND

Power-on state..... Input (high impedance)

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input			
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50.0	μ A
Output			
Output low voltage			
Open collector (open-drain) or active drive (push-pull)			
I _{OL} = 2 mA	—	0.4	V
I _{OL} = 8.5 mA	—	0.8	V
Output high voltage			
Active drive (push-pull ¹)			
I _{OH} = -2 mA	2.8	3.6	V
I _{OH} = -8.5 mA	2.0	3.5	V
Open collector (open-drain), I _{OH} = -0.4 mA, nominal	2.0	5.0	V
Open collector (open-drain), I _{OH} = -7.5 mA, with external pull-up resistor	2.0	—	V
¹ The total current sourced by all DO lines simultaneously should not exceed 65 mA.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Counter

Number of counters	1 (P2.7 can be configured as a counter)
Resolution	32 bits
Counter measurements	Falling edge counting
Maximum input frequency	5 MHz
Minimum high pulse width.....	100 ns
Minimum low pulse width.....	100 ns

Bus Interface

USB specification	USB 2.0 Full-Speed (12 Mb/s)
-------------------------	------------------------------

External Voltage

+5 V output	
Voltage	4.00 V min, 5.25 V max
Current.....	230 mA max

Power Requirements

USB	
Input voltage.....	4.50 to 5.25 VDC, in configured state
Active current	80 mA typical, 500 mA max
Suspend current	500 μ A max, all DIO lines disconnected

Physical Characteristics

Dimensions	
Without connectors.....	6.35 cm \times 8.51 cm \times 2.31 cm (2.50 in. \times 3.35 in. \times 0.91 in.)
With connectors.....	8.18 cm \times 8.51 cm \times 2.31 cm (3.22 in. \times 3.35 in. \times 0.91 in.)
I/O connectors.....	USB series B receptacle, (2) 16 position (screw terminal) plug headers
Screw-terminal wiring.....	16 to 28 AWG copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end
Torque for screw terminals	0.22–0.25 N \cdot m (2.0–2.2 lb \cdot in.)
Weight.....	84 g (3 oz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้