สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW APPLICATION

โดย

นางสาวฉมัยพร สุขสังข์

นายวิญญ์ เอกรังษี

วศ.
ธ 142ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72713
วัน,เดือน,ปี.....22 มิ.ย. 2550

b.11737768
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิศวกรรมระบบควบคุม สาขาแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW Application

ผู้จัดทำ นางสาวฉมัยพร สุขสังข์ 46010133

นายวิญญ์ เอกรังษี 46010703

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW

โดย
นางสาวฉมัยพร สุขสังข์ 46010133
นายวิญญ์ เอกรังษี 46010703

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร นนทวัฒน์ จุลเดชะ

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนสำหรับวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ โดยการใช้โปรแกรม National Instruments LabVIEW ในการออกแบบ จุดมุ่งหมายของโครงงานนี้คือ ออกแบบระบบจำลองเครื่องมือวัดเสมือนสำหรับวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ผู้ใช้สามารถควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ และ DAQ ฮาร์ดแวร์แทนการใช้เครื่องมือวัดจริงซึ่งมีราคาแพงกว่าได้

ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากการศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabVIEW ถึงฟังก์ชั่นและการทำงานต่าง ๆ ต่อมาเป็นการนำความรู้ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมมาประยุกต์ใช้โดยการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรใด ๆ ซึ่งโปรแกรมนี้ต้องมีการออกแบบโปรแกรมการส่งสัญญาณ Sinusoid ที่เปลี่ยนค่าความถี่ไปเรื่อย ๆ จนถึงค่าความถี่ที่ต้องการ โดยไม่ทำให้สัญญาณเกิดการ Alias ขึ้น นำสัญญาณนี้ไปทดสอบระบบที่ต้องการทดสอบ หลังจากนั้นวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบขนาดและมุมเฟสของสัญญาณขาออกและขาเข้า นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟเพื่อที่จะทำไปช่วยในการออกแบบระบบจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW Application

By

Miss. Chamaiporn Suksang 46010133

Mr. Winn Ekrangsi 46010703

Thesis Advisor

Asst. Prof. Dr. Nontawat Chuladaycha

Academic Year 2005

ABSTRACT

This thesis presents theory and implementation procedure of how to construct a virtual instrument to measure a frequency response of any systems by the use of LabVIEW programming. The goal is to construct a virtual instrument to measure a frequency response of any systems that the user can control through a computer instead of using more expensive real measure instruments

The project has been conducted as in the following steps. First, learn to how to use LabVIEW about its function. Then adapt those knowledge from programming by constructing a virtual instrument that can measure a frequency response of the system. This program is designed to output a sinusoid function which is a swept sine to your desired frequency without any aliasing occurs. The next step is to design a system with a given transfer function, then we pass the sine wave from previous step to this system. And the last step is measuring a frequency response of the system by comparing the gain and phase of the output and input signals, and transfer the data to plot a bode diagram for a further study to design a real control system in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก ผศ. ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ. ถาวร เบญจนราสุทธิ์ ที่ได้ให้ความกรุณาและคำแนะที่เป็นประโยชน์ ทำให้ผู้จัดทำทำงานอย่างเป็นระบบมากขึ้น และยังขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ปริญญาโทในห้องวิจัยที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา รวมถึงการให้ความสนใจถึงความคืบหน้าอย่างสม่ำเสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ
นางสาวฉมัยพร สุขสังค์
นายวิญญ์ เอกรังษี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน	1
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 LabVIEW	
2.1 โปรแกรม LabVIEW กับการใช้งาน	3
2.2 การออกแบบโปรแกรมโดยใช้ Lab VIEW	5
2.2.1 Front Panel	5
2.2.2 Graphical Block Diagram	7
2.2.3 Modularity and Hierarchy	8
2.2.4 Graphical Compiler	8
2.2.5 Instrument Control	9
2.2.6 Data Analysis	9
2.2.7 Connectivity	10
2.2.8 Distribute VI on Internet	10
2.2.9 Stand-alone Applications	10
2.2.10 Multiplatform Compatibility	10
2.3 ตัวอย่างการใช้งาน	11
2.4 การประยุกต์ใช้งาน	13
2.5 ระบบ Data Acquisition (DAQ System)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 สัญญาณ Continuous-Time (CT), Discrete time (DT), และสัญญาณดิจิตอล 15

3.2 Sampling Signals and Sampling Rate 17

3.3 วงจรกรองแบบดิจิตอล 20

3.3.1 การกรองสัญญาณดิจิตอล (Digital Filter) 20

3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Analog Signal Processing กับ Digital Signal Processing 21

3.3.3 ระบบชิพท์-อินแวร์เรียนท์เชิงเส้น (Linear Shift-Invarient System) 23

3.3.4 สมการแตกต่างเชิงเส้นสัมประสิทธิ์คงที่ 24

3.3.5 ระบบสมการเชิงเส้น 24

3.4 การแปลงเชิงเส้นคู่ หรือ Bilinear Transformation 26

3.5 ผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) 27

3.5.1 การเก็บค่า Steady-State Output กับค่าอินพุตแบบ Sinusoidal 27

3.5.2 การนำเสนอค่าผลตอบสนองความถี่บนกราฟ 31

บทที่ 4 หลักการออกแบบ 32

4.1 Swept Sine Excitation 32

4.2 การสร้างระบบจำลอง 34

4.3 ส่วนการหาค่าผลตอบสนองความถี่ 34

4.3.1 การหาค่าผลตอบสนองจากสัญญาณ 2 สัญญาณ 34

4.3.1.1 ขนาด 34

4.3.1.2 มุมเฟส 35

4.3.2 การเก็บค่าขนาดและมุมเฟส 35

บทที่ 5 การทดลอง 38

5.1 การทดลองตัวโปรแกรม 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป	42
6.1 สรุปผลการทดลอง	42
6.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	42
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	43
ภาคผนวก ก Data Acquisition in LabVIEW และ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW	45
ภาคผนวก ข เอกสารคู่มือ NI USB-6009	81
เอกสารอ้างอิง	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดง Lab VIEW ซอฟต์แวร์สำหรับงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ	4
รูปที่ 2.2 ลักษณะของ Front Panel	5
รูปที่ 2.3 ลักษณะของ Control Palette	6
รูปที่ 2.4 ลักษณะของ Block Diagram	6
รูปที่ 2.5 ลักษณะของ Functions Palette	7
รูปที่ 2.6 ลักษณะการทำงานแบบ Dataflow ของโปรแกรม	7
รูปที่ 2.7 โครงสร้างการโปรแกรมแบบลำดับชั้น (Hierarchy)	8
รูปที่ 2.8 การใช้งานโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดและควบคุมอัตโนมัติต่างๆ โดยทำงานเป็นเครือข่าย	9
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Disk Inspection)	11
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Engine Temperature Monitoring)	11
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Oscilloscope)	11
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Telecommunication Parametric Testing)	12
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Chemical Reactor)	13
รูปที่ 2.14 ระบบ Data Acquisition	14
รูปที่ 3.1 สัญญาณ Continuous-Time	15
รูปที่ 3.2 สัญญาณ Discrete-Time และสัญญาณดิจิตอล	16
รูปที่ 3.3 Quantization	17
รูปที่ 3.4 สัญญาณอนาล็อกและรูปแบบ Sampled	18
รูปที่ 3.5 การเกิด Aliasing	19
รูปที่ 3.6 องค์ประกอบของความถี่ของสัญญาณและการเกิด Alias	19
รูปที่ 3.7 แสดงวงจร Analog Filter	21
รูปที่ 3.8 แสดง Analog Signal Processing of Analog Signals	22
รูปที่ 3.9 แสดง Digital Signal Processing of Analog Signals	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.10 แสดงตัวต้นแบบเชิงคณิตศาสตร์ของระบบซึ่งมีลำดับสัญญาณเข้าไปเป็นสัญญาณออก	23
รูปที่ 3.11 แสดงสัญลักษณ์ของระบบ	24
รูปที่ 3.12 แสดงตัวต้นแบบเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งมีลำดับสัญญาณเข้า x(t) ไปเป็นสัญญาณออก y(t)	25
รูปที่ 3.13 แสดงการแปลง Z-Transfer funtion เป็น Bilinear โดยใช้โปรแกรม Matlab	26
รูปที่ 3.14 ระบบคงที่เชิงเส้นและไม่ขึ้นกับเวลา	28
รูปที่ 3.15 สัญญาณเข้ากับสัญญาณออกของสัญญาณ Sine	30
รูปที่ 4.1 ระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่	32
รูปที่ 4.2 ส่วนของการสร้าง Swept Sine Excitation	33
รูปที่ 4.3 IIR Filter.vi	33
รูปที่ 4.4 ส่วนของโปรแกรมในการคำนวณหาขนาด	34
รูปที่ 4.5 ส่วนของโปรแกรมในการวัดมุมเฟส	35
รูปที่ 4.6 ตัวอย่าง Shift Register	35
รูปที่ 4.7 ส่วน Front Panel ของโปรแกรม ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนของผู้ใช้	36
รูปที่ 4.8 ส่วน Block Diagram ของโปรแกรม ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนของการเขียนโปรแกรม	37
รูปที่ 5.1 เมื่อ Sampling Frequency = 100 kHz	39
รูปที่ 5.2 เมื่อ Sampling Frequency = 50 kHz	39
รูปที่ 5.3 เมื่อ Sweep Rate = 7000 Hz/s	40
รูปที่ 5.4 Bode Diagram ของระบบ	41
รูปที่ ก.1	45
รูปที่ ก.2	46
รูปที่ ก.3	47
รูปที่ ก.4	48
รูปที่ ก.5	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ก.6	49
รูปที่ ก.7	49
รูปที่ ก.8	50
รูปที่ ก.9	50
รูปที่ ก.10	51
รูปที่ ก.11	51
รูปที่ ก.12	52
รูปที่ ก.13	52
รูปที่ ก.14	53
รูปที่ ก.15	54
รูปที่ ก.16	54
รูปที่ ก.17	55
รูปที่ ก.18	56
รูปที่ ก.19	56
รูปที่ ก.20	57
รูปที่ ก.21	57
รูปที่ ก.22	58
รูปที่ ก.23	59
รูปที่ ก.24	59
รูปที่ ก.25	60
รูปที่ ก.26	61
รูปที่ ก.27	61
รูปที่ ก.28	62
รูปที่ ก.29	63
รูปที่ ก.30	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ก.31	64
รูปที่ ก.32	64
รูปที่ ก.33	65
รูปที่ ก.34	66
รูปที่ ก.35	66
รูปที่ ก.36	67
รูปที่ ก.37	68
รูปที่ ก.38	69
รูปที่ ก.39	69
รูปที่ ก.40	70
รูปที่ ก.41	70
รูปที่ ก.42	71
รูปที่ ก.43	74
รูปที่ ก.44	77
รูปที่ ก.45	78
รูปที่ ก.46	79
รูปที่ ก.47	79
รูปที่ ก.48	80
รูปที่ ก.49	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

LabVIEW เป็นเครื่องมือพัฒนา Applications ที่รู้จักกันดีในงานด้าน Automation, Test and Measurement และ Research ด้วยความที่สามารถติดต่อกับ เครื่องมือวัดและ อุปกรณ์ภายนอกได้มากมายทั้ง Data Logger หรือ Programmable Logic Controller (PLC) และ สนับสนุนการใช้งานด้านระบบฐานข้อมูล (Database Systems) ที่หลากหลาย เช่น Oracle, SQLserver, MySQL รวมถึงการสนับสนุนการใช้งานโปรโตคอลการสื่อสาร และ Network จึงทำให้การใช้งานเป็นไปได้อย่างกว้างขวางอย่างยิ่ง

แต่สิ่งหนึ่งที่ทำให้ LabVIEW เป็นที่พูดถึงกันในปัจจุบัน ก็เพราะ LabVIEW เป็น Development Tool ที่พัฒนาสะดวก เนื่องจากการทำงานใน โหมดกราฟฟิก จนกลายเป็นมาตรฐานการโปรแกรมอย่างหนึ่งในปัจจุบัน เรียกว่าภาษา G โดยมีส่วนหน้าตาหรือ Front Panel สำหรับการติดต่อกับผู้ใช้ และส่วนวิธีการเขียนโปรแกรมที่ใช้ Block Diagram ซึ่งมีการ Synchronistaion กับ Front Panel อยู่ตลอดเวลา ทำให้ผู้ใช้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน

ในการเรียนรู้การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DSP) นั้นองค์ประกอบที่จะช่วยให้เข้าใจตัวทฤษฎี ก็คือการได้เห็นสัญญาณที่ผ่านการประมวลผลแล้วถูกแสดงอย่างชัดเจนบนหน้าจอ อัลกอริธึมหนึ่งที่ สำคัญ และ เป็นพื้นฐานของการทำงานด้าน DSP ก็คือ คำนวณดีสครีตฟูริเยร์ หรือ DFT ซึ่งเป็น พื้นฐานของการฟังก์ชัน คำนวณ สเปคตรัมของสัญญาณ หรือ การคำนวณ Fast Fourier Transform หรือ FFT และเนื่องจาก DFT มีการทำงานแสดงอัลกอริธึมที่ไม่ซับซ้อน

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานโปรแกรม LabVIEW แล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านงานวัดและระบบควบคุมได้
2. เพื่อนำหลักการการเขียนโปรแกรม LabVIEW มาประยุกต์ใช้กับหลักการของการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DSP) ในการออกแบบเครื่องมือวัดผลตอบสนองความถี่ของวงจรต่าง ๆ ได้

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน

I. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับ LabVIEW

2. ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการติดตั้ง Software LabVIEW

4. ศึกษาการทำงานของระบบและขั้นตอนการใช้งาน LabVIEW

5. ทำเอกสารเกี่ยวกับ LabVIEW อย่างคร่าว ๆ

6. นำ Software LabVIEW มาประยุกต์ใช้งานกับ Hardware

   - ทำการสร้างโปรแกรม
   - ทดสอบการใช้งานของโปรแกรม
   - แก้ไขและหาข้อผิดพลาด
   - นำมาต่อใช้งานกับ Hardware

7. รวบรวมข้อมูลที่ค้นคว้ามาได้นำมาเรียบเรียงใหม่ในรูปแบบรายงาน

8. ปรับปรุงและตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงาน

9. นำเสนอผลงาน

1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงงาน พร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโปรแกรม LabVIEW รวมทั้งทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่ของระบบซึ่งก็คือ Sampling Rate, ดิจิตอลฟิวเตอร์, การแปลงไบลิเนียร์ ผลตอบสนองเชิงความถี่ และนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงงาน

บทที่ 3 หลักการออกแบบนำเสนอวิธีออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่ ซึ่งแบ่งออกได้ย่อย ๆ 3 ส่วน คือ ส่วนส่งสัญญาณ Swept Sine ส่วนของการแปลงระบบจากระบบที่ต้องการทดสอบมาเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนให้สามารถนำมาใช้ใน LabVIEW เพื่อเป็นการจำลองระบบ และสุดท้ายคือส่วนของการวัดผลตอบสนองความถี่แล้วนำค่ามาแสดงเป็น Bode Diagram

บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ ตลอดจนการทดลองเปลี่ยนค่าความถี่เข้าสู่ระบบ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

LabVIEW

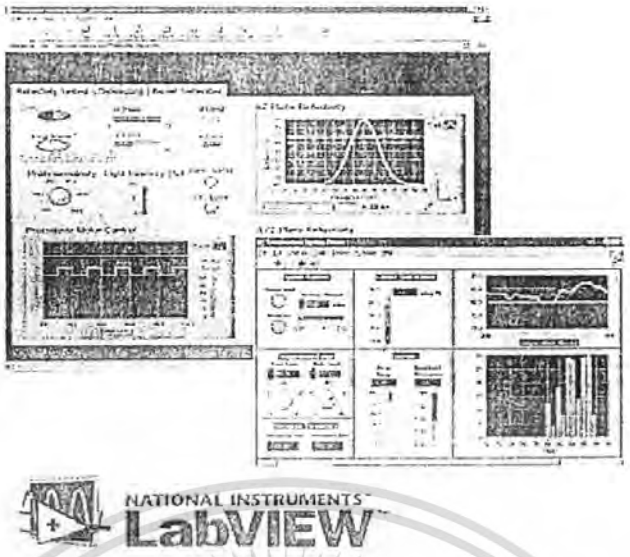
2.1 Introduction

ก่อนที่จะมีการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่นั้น จำเป็นต้องศึกษาฟังก์ชันของโปรแกรม LabVIEW และองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นของระบบให้เข้าใจเสียก่อน พบว่าระบบการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่นั้นมีส่วนที่สำคัญหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาและอธิบายถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จะนำไปสร้างเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่ ซึ่งประกอบด้วย หลักการ Sampling สัญญาณอินพุตและ Sampling Rate ซึ่งส่วนนี้จะอ้างอิงถึงทฤษฎีของ Nyquist เกี่ยวกับการเลือกค่า Sampling Rate ที่ถูกต้อง วงจรกรองแบบดิจิตัลซึ่งเราใช้ในการจำลองหรือ Simulate ระบบที่เราต้องการวัด การแปลงเชิงเส้นคู่ หรือ Bilinear Transform ซึ่งเป็นการแปลงวงจรกรองอนาล็อกเป็นวงจรกรองแบบดิจิตัล และสุดท้ายจะกล่าวถึงหลักของผลตอบสนองความถี่หรือ Frequency Response อย่างคร่าว ๆ

2.2 โปรแกรม LabVIEW กับการใช้งาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว สามารถนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ได้มากมายทั้ง การศึกษา, การวิจัยพัฒนา, ระบบควบคุม, ระบบตรวจสอบและข้อมูล, ระบบทดสอบอัตโนมัติ และการพัฒนาโครงงานทางด้านงานวัดและงานควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำและเที่ยงตรงในการทำงานแล้ว การพัฒนาโปรแกรมใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ (Application Program) ที่ใช้งานได้ง่ายแสดงผลเป็นรูปภาพที่สวยงามทำงานได้อย่างมีประสิทธิ์ภาพ เป็นเรื่องที่ง่ายและทำได้อย่างรวดเร็วในรูปแบบของโปรแกรมด้วยรูปภาพ (Graphical Programming) ซึ่งเป็นจุดเด่นของซอฟต์แวร์ตัวนี้ด้วยฟังก์ชันการทำงานต่างๆ (User Interfaces) ที่มีไว้ให้เลือกใช้ เช่น ตาราง, กราฟ และปุ่มควบคุมต่างๆ รองรับการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้งานกับเครื่องมือวัดและควบคุมที่หลากหลายซอฟต์แวร์ที่กล่าวนี้คือ Lab VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดง Lab VIEW ซอฟต์แวร์สำหรับงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ

2.3 LabVIEW คืออะไร

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Work bench) เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัทชันแนล อินสทรูเมนตส์ (National Instruments หรือ NI) ซึ่งเป็นบริษัทผู้พัฒนาอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติชั้นนำบริษัทหนึ่ง โดยที่ LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์ตัวหนึ่งในบรรดาซอฟต์แวร์ทางด้านนี้ ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 และเปิดตัวLabVIEW 1.0 สำหรับเครื่องแมคอินทอชเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1986 จนถึงปัจจุบันคือ LabVIEW 8.0 เป็นการอัพเกรดครั้งสำคัญสำหรับแพลตฟอร์มการพัฒนาด้านกราฟฟิคของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะปรับปรุงขีดความสามารถของวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ในด้านการออกแบบ ควบคุมและทดสอบ การอัพเกรดนี้จะนำเสนอระบบอัจฉริยะซึ่งเป็นขีดความสามารถใหม่ๆสำหรับวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ในการออกแบบ กระจายและเชื่อมโยงเครื่องมือและระบบอัจฉริยะ นอกจากนี้ LabVIEW 8 ยังรองรับภาวะแวดล้อมของโครงการใหม่สำหรับการพัฒนาและจัดการแอพพลิเคชันขนาดใหญ่ รวมถึงเทคโนโลยี Express ล่าสุดสำหรับการควบคุมเครื่องมือที่ง่ายขึ้น และการเปิดตัวนี้ยังรวมถึงการปรับปรุงที่สำคัญสำหรับโปรแกรม LabVIEW Real-Time Module, LabVIEW FPGA Module, LabVIEW PDA Module และ LabVIEW Datalogging

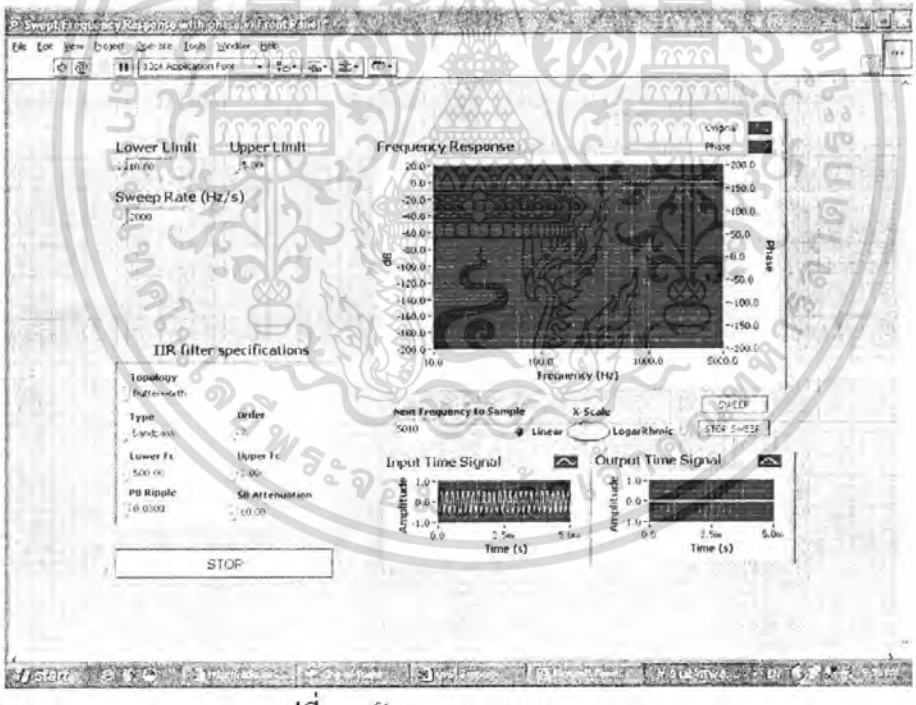
LabVIEW จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Programming Language คล้ายกับ Visual Basic หรือ Visual C++ แต่แตกต่างกันตรงที่ LabVIEW เป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาษารูปภาพ (Graphical (G) Programming Language) คือจะใช้บล็อกฟังก์ชันซึ่งแทนด้วยรูปไอคอน (Icon) แทนการเขียนโปรแกรมย่อย (Subroutine) และใช้เส้นเชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชันแทนการไหลของข้อมูลระหว่างโปรแกรมย่อยนั้นๆ คล้ายกับการเขียนโฟลวชาร์ต (Flow Chart) หรือบล็อกไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Block - Diagram) ของโปรแกรม สิ่งที่ทำให้ LabVIEW ต่างจากซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมอื่นทั่วไปอีกอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมใช้งานทางด้านงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญของ Lab VIEW โดยจะมีเครื่องมือ (Tool) และไลบรารี (Library) ที่สนับสนุนการใช้งานทางด้านนี้ไว้อย่างมากมาย ให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือเสมือนจริง(Virtual Instrument หรือ VI)

2.4 การออกแบบโปรแกรมโดยใช้ Lab VIEW

LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์ภาษาอย่างหนึ่งที่ใช้พัฒนาโปรแกรมใช้งานอื่น ๆ โดยเน้นไปทางด้านการใช้งานในงานวัดและควบคุมอัตโนมัติ โปรแกรมที่ได้จากการพัฒนาโดยใช้ LabVIEW นี้เรียกว่า VI (Virtual Instrument) คือการจำลองรูปแบบของส่วนต่างๆ ในเครื่องมือที่ใช้งานวัดคุม เช่น มิเตอร์ , บาร์สเกล , กราฟ , สวิตช์และปุ่ม มาไว้บนคอมพิวเตอร์เพื่อทำการควบคุมและแสดงผลข้อมูลจุดเด่นในการออกแบบโปรแกรมด้วย Lab VIEW คือ



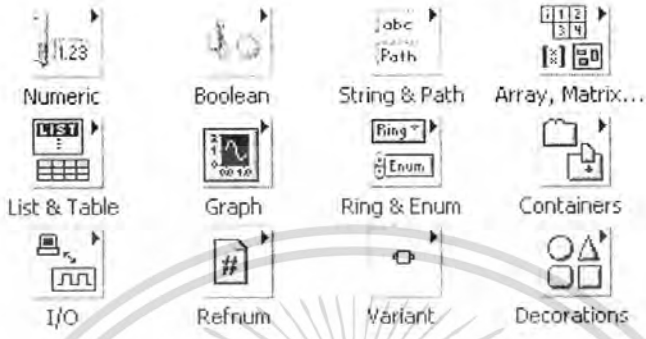
รูปที่ 2.2 ลักษณะของ Front Panel

2.4.1 Front Panel

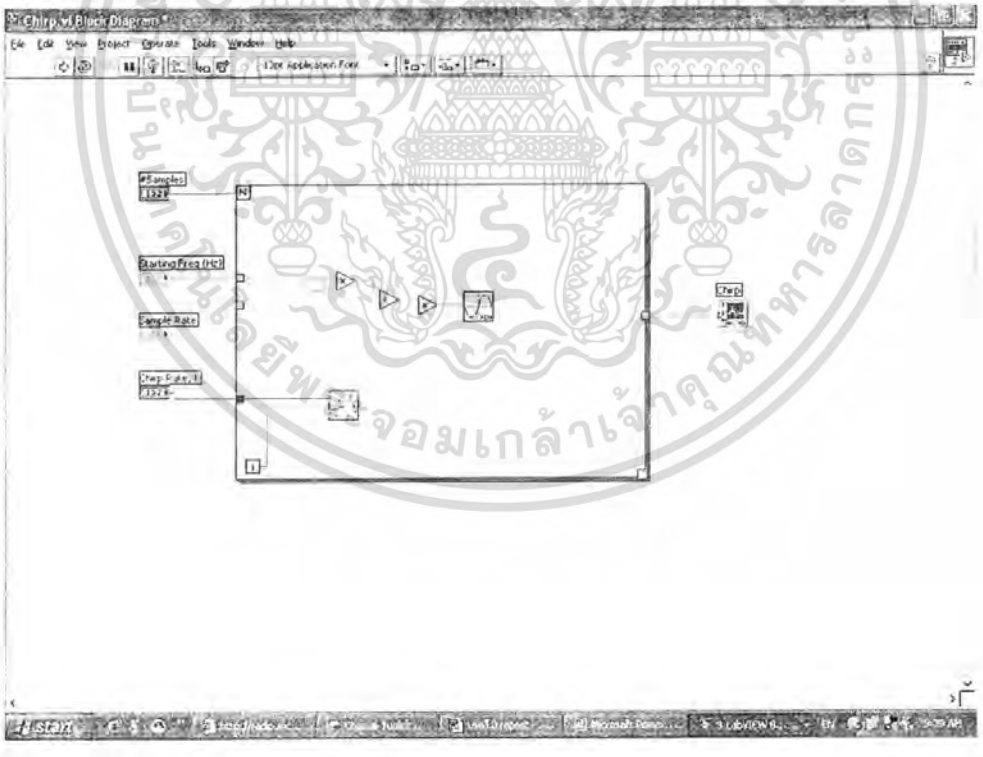
โปรแกรม Virtual Instrument ที่สร้างโดย LabVIEW จะเรียกส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ว่าFront Panel ซึ่งประกอบด้วยส่วนรับคำสั่งควบคุม เช่น การป้อนข้อมูล , ปุ่ม , สวิตช์ และส่วนแสดงผลข้อมูล เช่น มิเตอร์ , บาร์สเกล , และกราฟ เป็นต้น ส่วนต่างๆ เหล่านี้สามารถเลือกได้จากรูปไอคอนใน Control Palette แล้วนำมาวางประกอบกันเป็น Front Panel ผู้ใช้สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นผ่าน Front Panel นี้ เช่น การกดปุ่ม , เลื่อนแถบสไลด์ หรือป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ด พร้อมทั้งยังสามารถดูผลข้อมูลได้ ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3

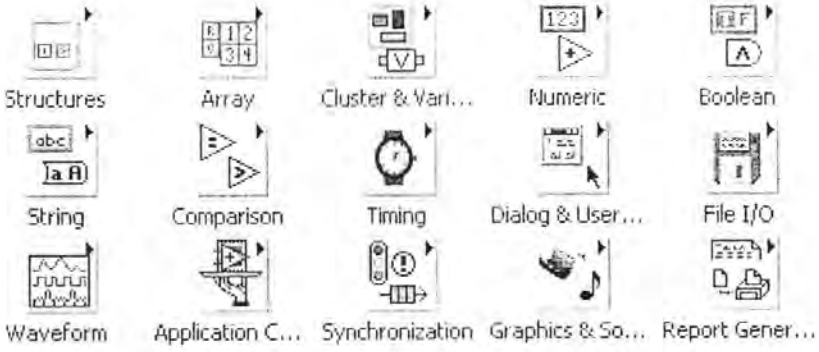


รูปที่ 2.3 ลักษณะของ Control Palette



รูปที่ 2.4 ลักษณะของ Block Diagram

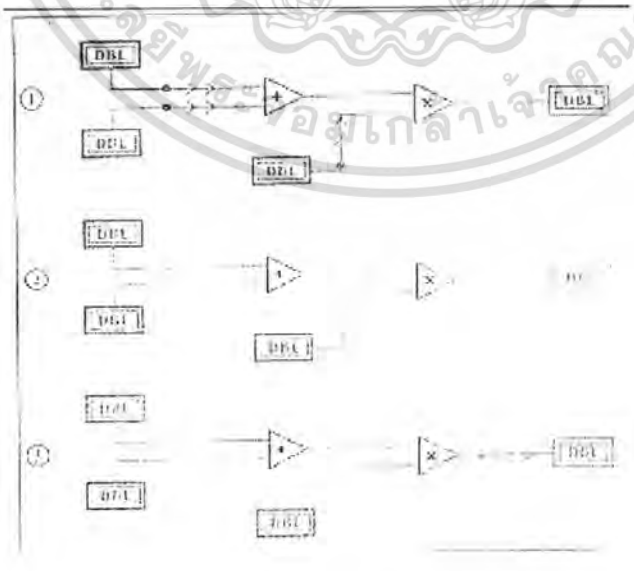
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะของ Functions Palette

2.4.2 Graphical Block Diagram

การสร้างโปรแกรม VI บน LabVIEW ทำได้โดยการสร้างบล็อกไดอะแกรมซึ่งประกอบด้วยรูปไอคอนของบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้แทนโปรแกรมย่อย โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการใช้ภาษามากมายเหมือนกับการเขียนโปรแกรมด้วยข้อความแบบเดิมๆ สามารถเลือกบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ได้จาก Functions Palette มาวางและเชื่อมโยงบล็อกต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อระบุว่ามีการส่งข้อมูลจากบล็อกใดไปยังบล็อกใด ฟังก์ชันการทำงานของบล็อกต่างๆ ที่มีให้เลือกใช้มีตั้งแต่ฟังก์ชันการคำนวณธรรมดาไปจนถึงฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง รวมถึงฟังก์ชันการควบคุมอุปกรณ์ที่ทางเข้าและทางออก การปฏิบัติการ เกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลและอื่น ๆ อีกมากมาย ดังรูปที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.6 ลักษณะการทำงานแบบ Dataflow ของโปรแกรม

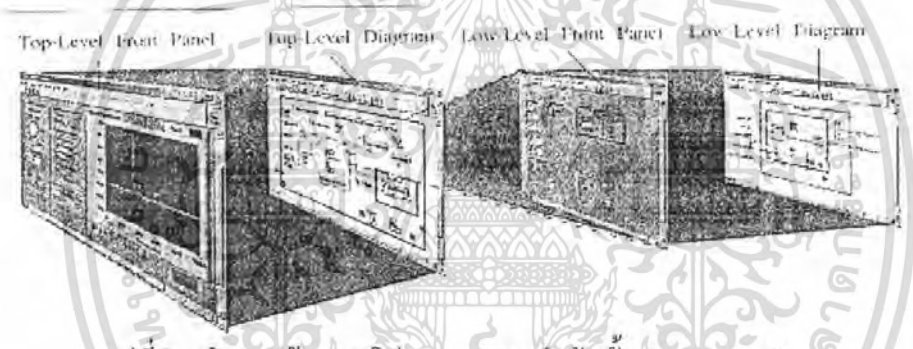
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Dataflow Programming

โปรแกรม VI ที่สร้างด้วย LabVIEW มีรูปแบบการทำงานในลักษณะของ Dataflow Programming คือการทำงานขึ้นอยู่กับการไหลของข้อมูลระหว่างบล๊อกฟังก์ชันต่าง ๆ ในลักษณะที่ทำงานพร้อมกัน (Simultitasking and Multihreaded Systems) นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อกับโปรแกรม VI อื่น ๆ เพื่อรับส่งข้อมูลได้ ดังรูปที่ 2.6

2.4.4 Modularity and Hierarchy

ในโปรแกรม VI หนึ่งนอกจากจะสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองแล้ว ยังสามารถสร้างโมดูล (Module) เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งหรือบล๊อกหนึ่งในโปรแกรม VI อื่นๆ ได้อีกด้วย โดยเรียกโปรแกรม VI ที่ถูกใช้ในโปรแกรม VI อีนว่าเป็น SubVI ทำให้สามารถออกแบบโปรแกรมให้มีโครงสร้างเป็นลำดับชั้น (Hierarchy) ได้

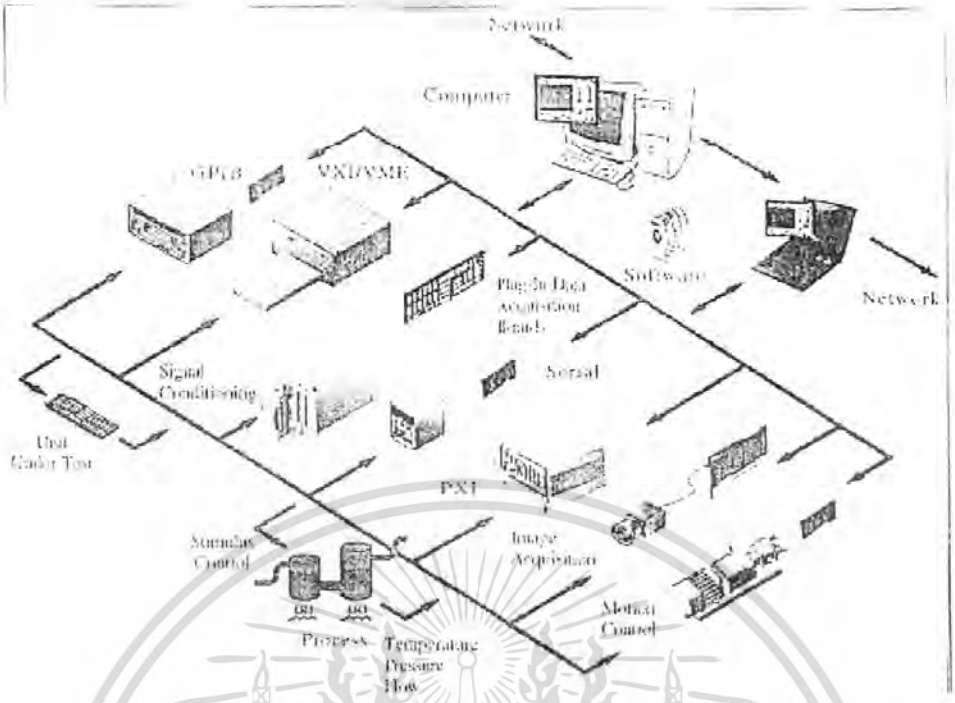


รูปที่ 2.7 โครงสร้างการโปรแกรมแบบลำดับชั้น (Hierarchy)

2.4.5 Graphical Compiler

แม้ว่า LabVIEW จะออกแบบโปรแกรมโดยใช้รูปภาพก็ตาม แต่ก็ไม่ได้มีปัญหาเรื่องความเร็วในการทำงานของโปรแกรมที่ได้แต่อย่างใด เนื่องจากมีคอมไพเลอร์ (Compiler) ที่ทำการออปติไมซ์ (Optimize) โค้ดให้มีความเร็วการทำงานที่ไม่แตกต่างไปจากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเมื่อสร้างโปรแกรมด้วย LabVIEW แล้วจะเกิดปัญหาเรื่องความเร็วของโปรแกรมขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การใช้งานโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดและควบคุมอัตโนมัติต่างๆ โดยทำงานเป็นเครือข่าย

2.4.6 Instrument Control

เป้าหมายสำคัญของ LabVIEW คือการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในงานทางด้านการวัดและควบคุมอัตโนมัติ ดังนั้น LabVIEW จึงมีไลบรารีของโปรแกรมเพื่อใช้งานกับเครื่องมือวัดและควบคุมของ NI ไว้อย่างครบครัน ได้แก่ GPIB, VXI/VME , PXI, VISA , Image Acquisition และ Motion Control เป็นต้น ซึ่งไลบรารีเหล่านี้จะไปเรียกโปรแกรมไดรเวอร์ของอุปกรณ์นั้นเพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์อีกทีหนึ่ง โดยมีไดรเวอร์อุปกรณ์ให้ใช้มากกว่า 600 อุปกรณ์

2.4.7 Data Acquisition and Control

นอกจากนี้ LabVIEW ยังไลบรารี DAQ ที่ใช้สำหรับอุปกรณ์จำพวกดาต้าแอกวิซิชัน (Data Acquisition) ของ NI รวมทั้งไดรเวอร์ของอุปกรณ์อินพุต/เอาท์พุตอุตสาหกรรม เช่น PLC , ดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger) ซิงเกิลลูปคอนโทรลเลอร์ (Single-loop Control) เป็นต้น

2.4.8 Data Analysis

LabVIEW ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีเครื่องมือที่ช่วยในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 Connectivity

เพื่อโปรแกรม VI ที่มีอยู่ สามารถเรียกใช้ได้ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาอื่น LabVIEW7 จึงเพิ่มความสามารถในการสร้างไฟล์ DLL (Dynamic Link Library) หรือแชร์ไลบรารี (Shared Library) จากโปรแกรม VI ที่มีอยู่ได้ ซึ่งสามารถเรียกใช้ไฟล์ DLL หรือแชร์ไลบรารีที่ได้เหล่านี้ได้จากโปรแกรมที่สสร้างด้วยซอฟต์แวร์อื่นๆ เช่น Visual Basic หรือ Visual C++

นอกจากนี้ยังสนับสนุนการทำงานร่วมกับฐานข้อมูล SQL , SPC และเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตเช่น E-Mail , FTP และการใช้งานโปรแกรมผ่านเว็บเพื่อประโยชน์ในการทำงานเป็นเครือข่าย

2.2.8 Distribute VI on Internet

โปรแกรม VI ที่พัฒนาด้วย LabVIEW สามารถนำไปใช้งานและเผยแพร่ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีซอฟต์แวร์ LabVIEW อยู่ก็สามารถใช้งานโปรแกรม VI ได้ โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW Player ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานโปรแกรม VIบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเมื่อติดตั้ง LabVIEW Player แล้วก็จะสามารถใช้งานโปรแกรม VI ที่พัฒนาโดย LabVIEW 7 ได้ หรือจะใช้งานโปรแกรม VI ผ่านเว็บที่มี Link กับ LabVIEW Player อยู่ก็ได้

2.2.9 Stand-alone Applications

เพื่อความสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น LabVIEW สามารถสร้างโปรแกรมที่ทำงานได้ด้วยตัวเอง (Stand-alone Executable Application) โดยไม่จำเป็นต้องทำงานบน LabVIEW อีกต่อไป และไม่จำเป็นต้องใช้ระบบ Run-time นอกจากนี้ถ้าใช้งานในระบบ Windows ยังสามารถสร้างดิสก์สำหรับการติดตั้งโปรแกรม (Installation Disk) ได้

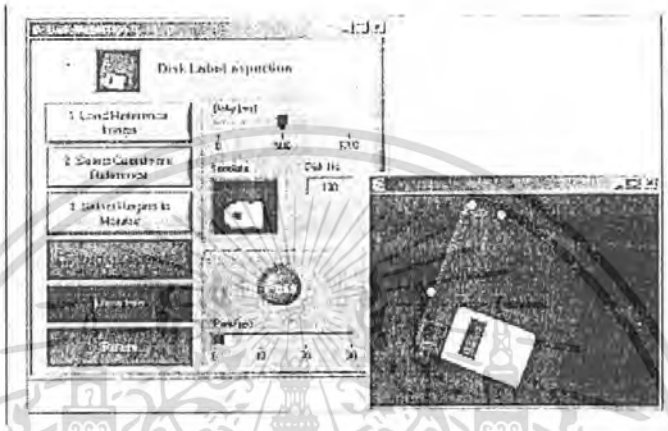
2.2.10 Multiplatform Compatibility

LabVIEW สามารถทำงานได้บนเครื่องหลายแพลตฟอร์ม (Platform) โดยที่โปรแกรม VI ที่พัฒนาด้วย LabVIEW บนแพลตฟอร์มหนึ่ง สามารถนำไปใช้กับ LabVIEW บนแพลตฟอร์มอื่นได้โดยไม่ต้องทำการแก้ไขแต่อย่างใดยกเว้นมีการเรียกใช้ฟังก์ชันเฉพาะที่มีอยู่ในแพลตฟอร์มในเท่านั้น เช่น ActiveX ที่มีอยู่เฉพาะในระบบปฏิบัติการ Windows เท่านั้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

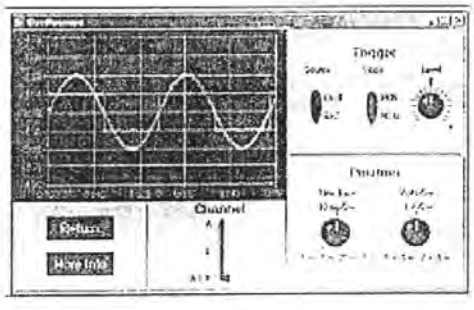
2.5 ตัวอย่างการใช้งาน

ด้วยคุณสมบัติเด่นต่างๆ ของ LabVIEW ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ทำให้การพัฒนาโปรแกรมใช้งาน โดยเฉพาะกับงานทางด้านการวัดและควบคุมอัตโนมัติมีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เป็นที่ยอมรับจากบรรดาวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากที่นำไปใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานต่าง ๆ ตัวอย่างของโปรแกรมที่พัฒนาด้วย LabVIEW มีดังนี้



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Disk Inspection)

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Engine Temperature Monitoring)



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Oscilloscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Engine Temperature Monitoring

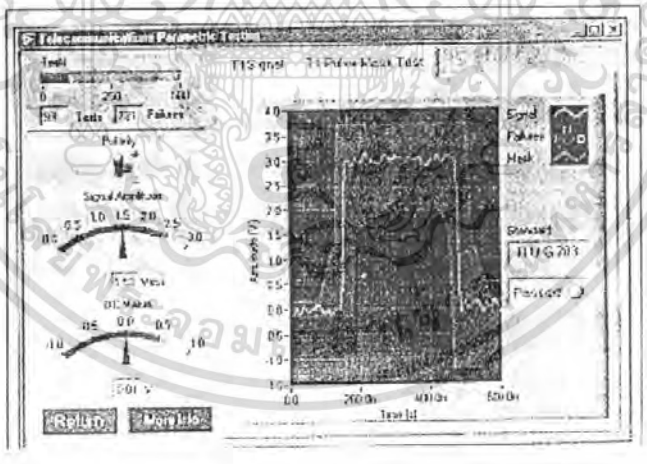
เป็นตัวอย่างโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในระบบเก็บค่าอุณหภูมิ (Temperature Logging System) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือมากมายในระบบ ได้แก่ Data Acquisition, Signal Conditioning, Motion Control และ Image Acquisition ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บไว้ในดิสก์

Oscilloscope

เป็นตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องมือวัดเพื่อสร้างออสซิสโลสโคปบนคอมพิวเตอร์ สามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องวัดของ NI ที่มีรูปแบบต่างๆ เช่น อุปกรณ์ IVI, VXI, GPIB และ Serial โดยติดต่อผ่านไดรเวอร์ของอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งมีอยู่ในโปรแกรม LabVIEW

Disk Inspection

เป็นตัวอย่างการใช้งานทางด้านการประมวลผลภาพ ซึ่งที่นี้คือการตรวจสอบความเรียบร้อยของแผ่นดิสก์ โดยใน LabVIEW จะมีไลบรารีหรือเครื่องมือที่ใช้กับงานด้านนี้คือ IMAQ Vision ซึ่งช่วยพัฒนาโปรแกรมการพัฒนาโปรแกรมใช้งานทางด้านการประมวลผลภาพทำได้ง่ายมีประสิทธิภาพและลดเวลาในการพัฒนาลงอย่างมาก

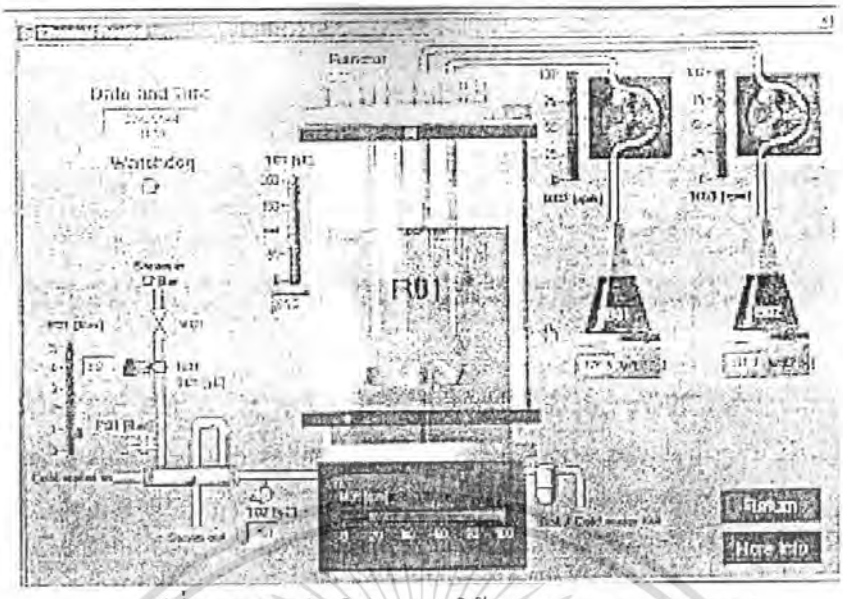


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Telecommunication Parametric Testing)

Telecommunication Parametric Testing

เป็นตัวอย่างโปรแกรมทางด้านการทดสอบอัตโนมัติ (Automated Testing) โดยใช้ฟังก์ชัน Limit Testing และ DC/RMS ที่มีอยู่ใน LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน (Chemical Reactor)

Chemical Reactor

เป็นตัวอย่างโปรแกรมทางด้านการควบคุมอัตโนมัติ (Automated Process Control) โดยใช้เครื่องมือวัดและควบคุมที่มีอยู่มากมายในไลบรารีของ LabVIEW ทำให้การพัฒนาระบบการควบคุมอัตโนมัติทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.6 การประยุกต์ใช้งาน

การใช้งานควบคุมทางด้านอุตสาหกรรม คมนาคม และทางด้านการสื่อสารโดยใช้ LabVIEW เข้ามาช่วยควบคุมด้วยเพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยากในการทำงานและการแก้ไข เช่น ใช้ LabVIEW มาทดสอบเครื่องบินรบ ช่วยให้ทำการทดสอบเครื่องบินรบรุ่นใหม่นั้นสามารถทำความเร็วได้มากกว่าเดิม 80 เท่า นอกจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แล้ว ยังพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บน NI-basedเพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิ อัตราการไหล ความดัน และพารามิเตอร์ที่จำเป็นอื่น ๆ ในการคำนวณหาสมรรถนะด้านอื่น ๆ ของเครื่องบินรบ ฯลฯ และLabVIEW ยังสามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ ได้อีกเพราะว่าการพัฒนาโปรแกรมนั้นไม่มีที่สิ้นสุด

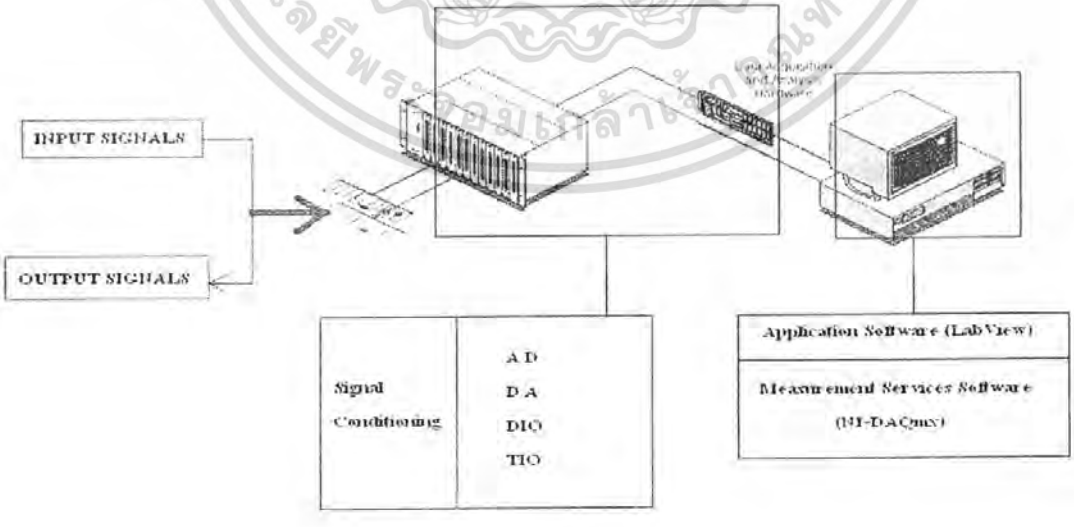
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบ DAQ (DAQ System)

ระบบรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ หรือที่เรียกว่า **"Data Acquisition System (DAQ System)"** ได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบวัดคุม และระบบอัตโนมัติในปัจจุบันนี้

ระบบ Data Acquisition โดยทั่วไปที่อ้างอิงถึงระบบการวัดเสมือน (Virtual Instrumentation) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ 5 ส่วน ดังรูป

1. **เซนเซอร์ หรือ สัญญาณ** - สัญญาณต่าง ๆ ที่เราจะเก็บค่าหรือส่งค่าออกด้วยระบบ Data Acquisition
2. **Signal Conditioning hardware** - ใช้สำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวน(Noise), ขยายสัญญาณ, ฯลฯ ซึ่งส่วนนี้ในฮาร์ดแวร์ DAQ บางรุ่นอาจจะติดตั้งมาด้วย
3. **DAQ hardware** - เป็นการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับระบบภายนอก ฟังก์ชั่นหลักคือการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตัลเพื่อที่คอมพิวเตอร์จะสามารถจัดการกับสัญญาณได้
4. **Measurement Service software** - คือ Driver ของฮาร์ดแวร์ ทำหน้าที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับฮาร์ดแวร์ (ประกอบด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆ ในการสร้างโปรแกรมที่ทำให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ต่าง ๆ เช่น A/D, D/A, DIO, TIO ได้)
5. **Application-level software** - คือส่วนของโปรแกรมที่สร้างขึ้น



รูปที่ 2.14 ระบบ Data Acquisition

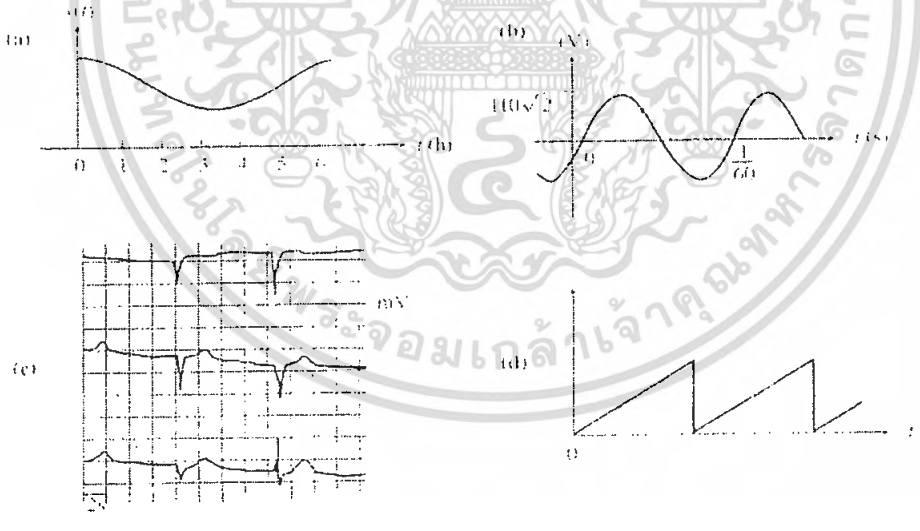
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 สัญญาณ Continuous-Time (CT), Discrete time(DT), และสัญญาณดิจิตอล

เมื่อพิจารณาแค่สัญญาณ 1 มิติ สัญญาณสามารถแทนค่าได้เป็น x(t) สำหรับทุก ๆ t สัญญาณจะต้องมีค่าเฉพาะค่าหนึ่ง มิฉะนั้นแล้วจะไม่เกิดสัญญาณคือ ในทางคณิตศาสตร์ x(t) ถูกเรียกว่า ฟังก์ชั่นเพราะมีค่าเฉพาะสำหรับทุก ๆ t ดังนั้นสัญญาณกับฟังก์ชั่นนั้นไม่มีข้อแตกต่างกันและสามารถใช้แทนกันได้

พิจารณาอุณหภูมิ x(t) ในรูปที่ 3.1(a) ซึ่งถูกกำหนดที่ค่าเวลานั้นและถูกเรียกว่า Continuous-Time (CT) Signal สัญญาณ CT นั้นก็คือ สัญญาณอนาล็อกนั่นเอง ตัวอย่างของสัญญาณอนาล็อก คือ รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า ใช้ภายในบ้านตามรูปที่ 3.1 (b) และรูปคลื่น Electrocardiogram ในรูป 3.1(c) สัญญาณโดยตัวไปในทางปฏิบัติจะเป็นสัญญาณ Continuous-Time หรือ สัญญาณอนาล็อก สังเกตุว่า สัญญาณ Continuous-Time ไม่จำเป็นต้องเป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่องของเวลาเช่นในรูปที่ 3.1(d) ซึ่งเป็นฐานเวลาในโทรทัศน์



รูปที่ 3.1 สัญญาณ Continuous-Time

ตัวอย่าง Continuous–Time Signal

(a) Temperature
(b) Household Electric Potential
(c) EKG.
(d) Saw-Tooth waveform

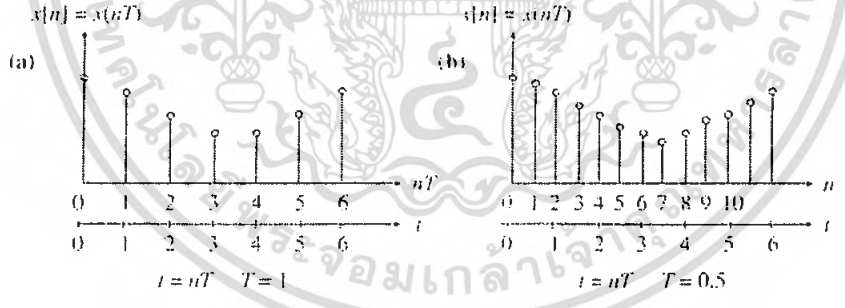
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

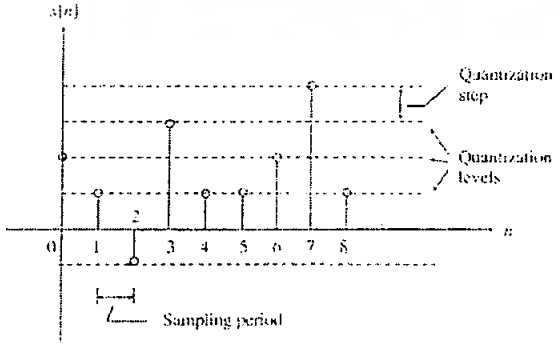
สัญญาณจะถูกเรียกว่าเป็น Discrete-Time (DT) หากสัญญาณนั้นถูกกำหนดในช่วงเวลาที่ Discrete เช่นในรูปที่ 3.2 สัญญาณ Discrete-time เกิดขึ้นจากการ Sampling สัญญาณ Continuous-Time ตัวอย่างเช่น ถ้า ค่าอุณหภูมิ x(t) ในรูปที่ 3.2(a) ถูกวัดค่าและเก็บค่าไว้ทุก ๆ ชั่วโมง ดังนั้นผลของสัญญาณจะเป็นดังรูปที่ 3.2(a) ซึ่งอธิบายได้ในสมการ

$$x[n] := x(nT) = x(t)\big|_{t=nT}$$

เมื่อ T ถูกเรียกว่า Sampling Period และ n เป็นจำนวนเต็มที่มีขอบเขตระหว่าง ∞ ถึง $-\infty$ ถูกเรียกว่า Time Index เราเรียก x(nT) ว่า Sampled Signal หรือ Sample Sequence ของ x(t) ส่วนเวลาที่สัญญาณปรากฏเราเรียกว่า Sampling Instants รูปที่ 3.2 (b) แสดงถึงการ Sample ของ x(t) ด้วย Sampling Period เท่ากับ T = 0.5

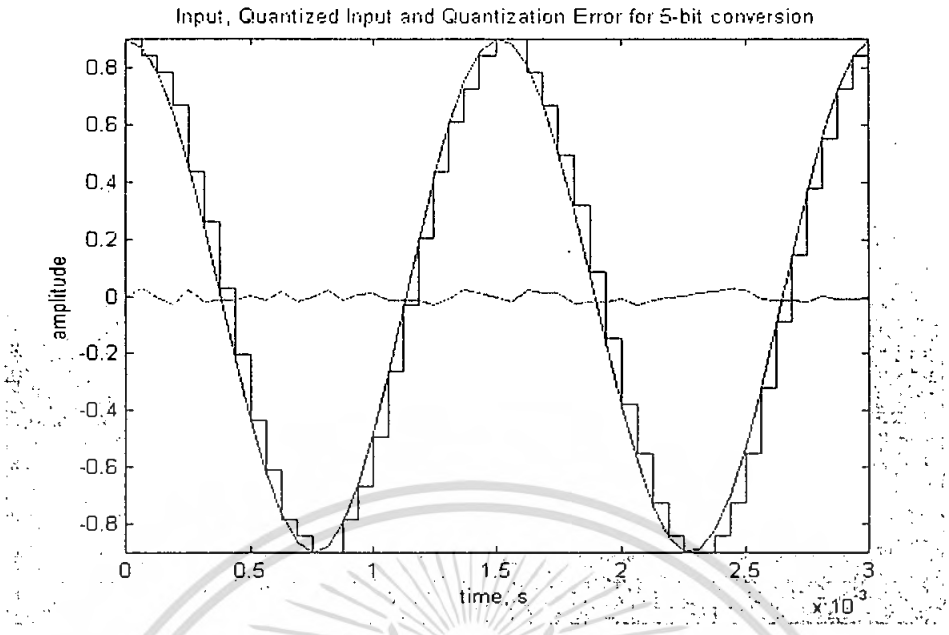
ถ้าใช้อนาล็อกเทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิ ดังนั้นจะเป็นการอ่านค่าในช่วงเวลาที่ต่อเนื่อง ถ้าใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ที่แสดงค่าจำนวนเต็ม ดังนั้นจะเป็นการอ่านค่าที่เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น ในกรณีนี้ แอมปลิจูดจะถูกเรียกว่าเป็น Quantized โดยทั่วไปอีก หากแอมปลิจูดของสัญญาณสามารถบอกค่าได้แค่ค่าจากเซ็ตที่จำกัดของจำนวนแอมปลิจูดก็จะถูกเรียกว่าเป็นDiscretized หรือ Quantized เซ็ตของค่าเหล่านี้โดยทั่วไปจะมีระยะห่างเท่ากันตามรูปที่3.2 ด้านล่าง ค่าที่แอมปลิจูดสามารถรับได้เรียกว่า Quantization Step ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ที่แสดงผลเป็นจำนวนเต็มเท่านั้นมี Quantization Step เท่ากับ 1 ถ้ามันแสดงผลมากกว่าจุดทศนิยมแรก Quantization Step จะเป็น 0.1





รูปที่ 3.2 สัญญาณ Discrete-Time และสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำการคัดลอก ดัดแปลง หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Quantization

สัญญาณจะถูกเรียกว่าสัญญาณดิจิตอลถ้าเวลานั้นถูก Discretized และแอมปลิจูดถูก Quantized เช่นในรูปที่ 3.3 ดิจิตอลคอมพิวเตอร์สามารถรับค่าไปเพียงลำดับของตัวเลข (Discrete-Time) และตัวเลขเหล่านั้นถูกจำกัดโดยตัวเลขของบิตที่ใช้ดังรูปที่ 3.3 ดังนั้น สัญญาณทั้งหมดที่ถูกประมวลโดยดิจิตอลคอมพิวเตอร์คือสัญญาณดิจิตอล

ดังนั้น

- สัญญาณ Continuous-Time(CT) : ต่อเนื่องในเวลาและต่อเนื่องในแอมปลิจูด
- สัญญาณ Discrete-Time (DT) : ไม่ต่อเนื่องในเวลาและแอมปลิจูด
- สัญญาณดิจิตอล : ไม่ต่อเนื่องในเวลาและ Quantized ในแอมปลิจูด

คำว่า ต่อเนื่องในแอมปลิจูดหมายถึงแอมปลิจูดจะรับค่าได้ที่ระยะต่อเนื่องจาก ∞ ถึง $-\infty$

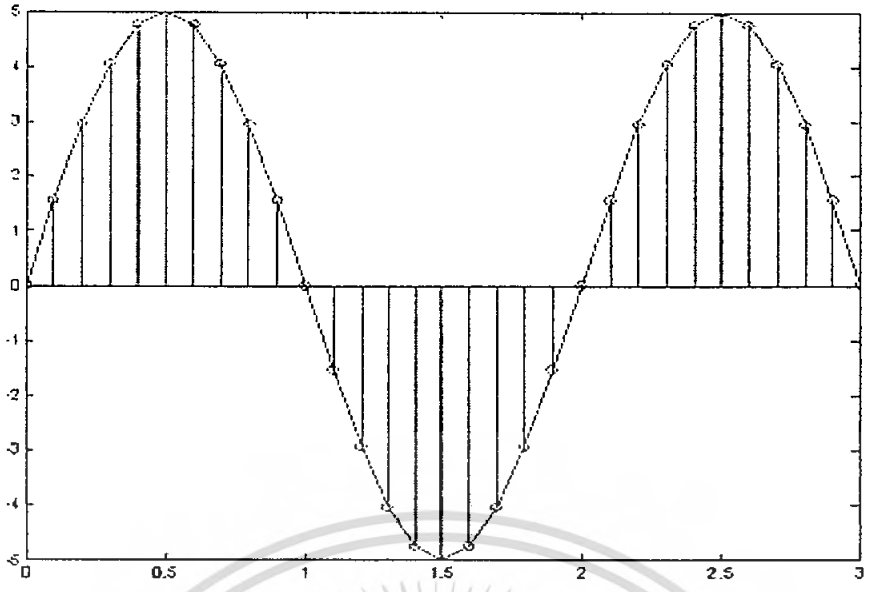
3.2 Sampling Signals and Sampling Rate

ในการใช้เทคนิค Digital Signal Processing ต่าง ๆ นั้น ต้องทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตัลเสียก่อน ในทางปฏิบัติกระบวนการนี้จะใช้ Analog-to-Digital (A/D) Converter

พิจารณาสัญญาณอนาล็อก x(t) ที่ถูก Sample ทุก ๆ วินาที ระยะห่างของเวลา Δt คือ Sampling Period ซึ่งส่วนกลับ $\frac{1}{\Delta t}$ ก็คือ Sampling Frequency มีหน่วยเป็น Samples/Second ค่าสัญญาณ discrete ของ x(t) ที่ $t = 0, \Delta t, \Delta 2t, \Delta 3t$ และต่อ ๆ ไป ถูกเรียกว่า Sample เนื่องจาก $x(0), x(\Delta t), x(\Delta 2t), \ldots,$ คือค่า Sample สัญญาณ x(t) สามารถแทนค่าได้โดยเซ็ต Discrete ของ Sample ทั้งหมด

$$\{x(0), x(\Delta t), x(2\Delta t), x(3\Delta t), \ldots, x(k\Delta t), \ldots\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72713



รูปที่3.4 สัญญาณอนาล็อกและรูปแบบ Sampled

รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณอนาลอกและการแสดงค่าเป็น Sample ระยะห่างระหว่าง Sample คือ จะเห็นว่า Sample ถูกกำหนดไว้ที่จุด Discrete ในเวลานั้น ๆ สามารถเขียนอธิบายได้เป็น

$$x[i] = x(i\Delta t), \qquad \text{สำหรับ I} = 0, 1, 2,\ldots$$

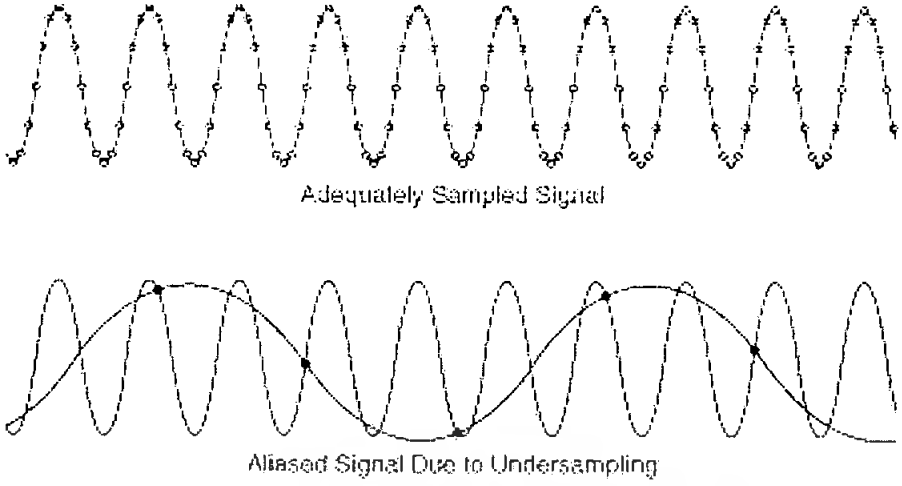
ถ้า Sample จำนวน N ถูกเก็บค่าจากสัญญาณ x(t) ดังนั้น x(t) สามารถแทนค่าโดยเรียงตามลำดับได้โดย

$$X = \{x[0], x[1], x[2], x[3], \ldots, x[N-1]\}$$

สมการนี้เป็นการแทนค่าทางดิจิตัลของสัญญาณ x(t) จะเห็นว่าลำดับ x = {x[i]} ถูกบรรจุเข้าไปในดัชนีบนตัวแปรจำนวนเต็ม i และไม่ได้ประกอบไปด้วยข้อมูลของ Sampling Rate ดังนั้นการรู้เฉพาะค่าของ Sample ที่อยู่ใน x ก็ยังไม่ทราบค่าของ Sampling Rate อยู่ดี

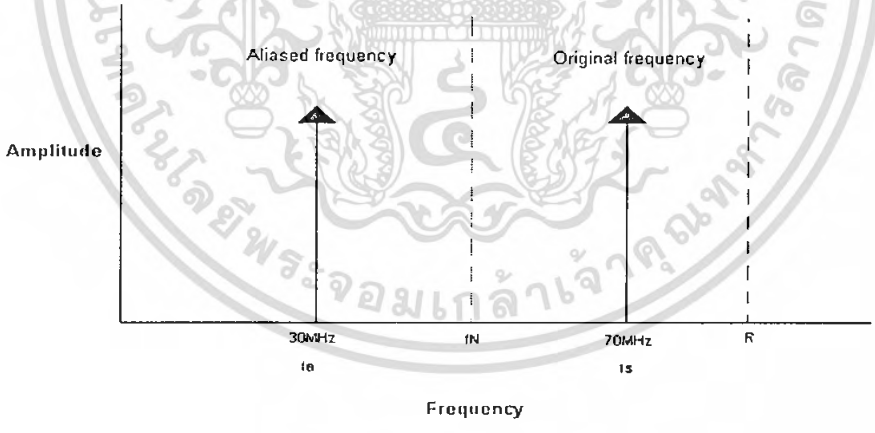
ตัวแปรที่สำคัญของระบบ Analog Input คือค่าอัตราที่ DAQ Board ทำการ Sample สัญญาณที่เข้ามา Sampling Rate จะบอกว่า Analog-to-Digital (A/D) มีการแปลงค่าสัญญาณถี่เท่าไหร่ ค่า Sampling Rate ที่เร็วจะเก็บค่าจุดบนสัญญาณอนาล็อกได้มากกว่าในเวลาที่กำหนดและสามารถแสดงค่าของสัญญาณต้นแบบหรือสัญญาณที่เข้ามาได้ถูกต้องกว่าค่า Sampling Rate ที่ช้า การ Sampling ที่ช้าเกินไปอาจทำให้เกิดการแสดงค่าสัญญาณอนาล็อกที่ผิดเพี้ยนออกไป รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณที่มีการ Sampling อย่างเพียงพอ และสัญญาณที่มีการ Sampling ที่น้อยไป (Under Sampling) และผลจากการ Under Sampling คือสัญญาณที่ปรากฏจะมีความถี่แตกต่างจากความถี่จริง ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Aliasing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การเกิด Aliasing

ตามทฤษฎีของ Nyquist การหลีกเลี่ยง Aliasing จะต้องทำการ Sample ที่อัตราอย่างน้อยสองเท่าของความถี่ที่มากที่สุดของสัญญาณที่ต้องการจะเก็บค่า สำหรับ Sampling Rate ที่กำหนดให้ ความถี่ที่มากที่สุดที่สามารถแสดงค่าได้อย่างถูกต้องโดยไม่มีการ Aliasing ถูกเรียกว่า Nyquist Frequency ซึ่งค่าความถี่นี้จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ Sampling Frequency สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า Nyquist Frequency จะเกิดการ Aliasing



รูปที่ 3.6 องค์ประกอบของความถี่ของสัญญาณและการเกิด Alias

ในรูปที่ 3.6 ความถี่ที่ต่ำกว่า Nyquist Frequency ถูก Sample ถูกต้อง ส่วนความถี่เหนือความถี่ Nyquist เกิดการ Aliasing คือ

$$fa = |R*n - fs|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R (Sampling Rate) = 100MS/s
fs (Signal being Sampled) = 70MHz
fN (the Nyquist Frequency) = 50MHz
fa (Aliased Frequency) = 30MHz
n = The closest integer multiple of the sampling rate (R) to the signal being aliased (fs)

ตามทฤษฎีแล้วจะทำการ Sampling สัญญาณที่ความถี่ครึ่งหนึ่งของความถี่ที่มากที่สุด แต่ในความเป็นจริง ไม่สามารถทำได้เนื่องจากสัญญาณภายนอกจริง ๆ จะองค์ประกอบของความถี่ที่มีค่าสูงกว่า Nyquist Frequency เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติการ Sampling จะทำกันที่จำนวน5 – 10 เท่าของความถี่สูงสุด

3.3 วงจรกรองแบบดิจิตอล

การกรองความถี่(Filtering) เป็นแขนงหนึ่งของการประมวลผลของสัญญาณซึ่งจะต้องทำความเข้าใจความหมายของคำที่เกี่ยวข้องต่อไป คือ

คำว่า สัญญาณ (Signal) คือ ฟังก์ชันที่แทนความหมายของข้อมูล (Data) หรือข่าวสาร (Information) ซึ่งเป็นขนาดทางกายภาพที่สามารถวัดได้ สัญญาณอาจจะเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ได้หลายตัวแปร ซึ่งขนาดของสัญญาณอาจจะเปลี่ยนไปตามเวลา ความถี่และระยะทาง เป็นต้น

ตัวแปรอิสระที่ใช้เขียนเป็นคณิตศาสตร์แทนความหมายของสัญญาณ อาจจะเป็นตัวแปรที่ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ ดังนั้น การประมวลผลสัญญาณจึงแบ่งชนิดของสัญญาณออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. สัญญาณอนาลอกหรือหรือสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางแกนเวลา คือ สัญญาณที่มีความต่อเนื่องทั้งในแกนเวลาและขนาดของสัญญาณ คณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์ คือ สมการอนุพันธ์เชิงเส้น โดยใช้ลาปลาสทรานฟอร์มช่วยแก้ปัญหา

2. สัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางแกนเวลา คือ สัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทั้งในแกนเวลาและขนาดของสัญญาณ คณิตศาสตร์พื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์ คือ สมการแตกต่างเชิงเส้น โดยใช้ z -Transform ช่วยแก้ปัญหา

3.3.1 การกรองสัญญาณดิจิตอล (Digital Filter)

การกรองสัญญาณดิจิตอล คือ กระบวนการคำนวณหรืออัลกอลิทึม ซึ่งสัญญาณดิจิตอลหรือลำดับของสัญญาณที่ทางเข้าถูกแปลงให้เป็นลำดับของตัวเลขใหม่ ที่เรียกว่า สัญญาณที่ทางออกดิจิตอล กระบวนการคำนวณอาจจะเป็นการกรองความถี่ต่ำ, การกรองความถี่สูง, การหาอนุพันธ์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณหรือเรียกรวมกันว่า สเปกตรัมความถี่ ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ ดังนั้น การกรองสัญญาณดิจิตอล จะหมายถึง ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลที่ทำให้สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณดิจิตอลเปลี่ยนแปลงไป

การกรองสัญญาณดิจิตอลเป็นการประมวลผลสัญญาณอันหนึ่งที่มีความสำคัญโดยที่สัญญาณดิจิตอลมักจะเกี่ยวเนื่องกับ การกำจัดสัญญาณรบกวนและความเพี้ยนของสัญญาณการประมวลผลสัญญาณ คำว่า ระบบ หมายถึง ขั้นตอนวิธีหรือกระบวนการที่ใช้ในการแปลงคุณสมบัติของลำดับสัญญาณอันหนึ่งไปเป็นสัญญาณอีกอันหนึ่ง

Digital Filter มีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานกันอย่างกว้างขวาง อาจมาจากข้อได้เปรียบหลายประการดังนี้

1. ผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของตัวกรอง สามารถออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้การออกแบบตัวกรองให้มีผลตอบสนองเฟสเชิงเส้น ก็ทำได้ง่าย

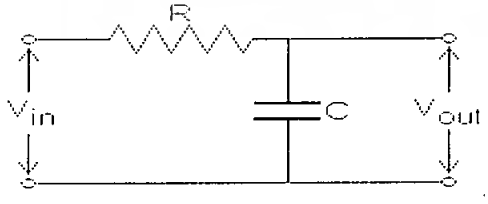
2. คุณสมบัติตัวกรองที่ออกแบบและสร้างแล้วจะไม่ขยับเขยื้อนไปตามสภาวะแวดล้อมหรือตามอุณหภูมิหรือระยะเวลาการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี

3. ถ้าพิจารณาในแง่มุมของเสถียรภาพของตัวกรอง ความเชื่อถือได้ ราคาหรือขนาดของตัวกรองสัญญาณดิจิตอล ให้ผลลัพท์ดีกว่าของตัวกรองสัญญาณอนาล็อก

4. มีโปรแกรมซอฟแวร์ที่ใช้สร้างและทดสอบการทำงานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ได้ เข้าใจง่าย Digital Filter อยู่บนพื้นฐานของการ Multiplication , การ Addition , การ Delay

3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Analog Signal Processing กับ Digital Signal Processing

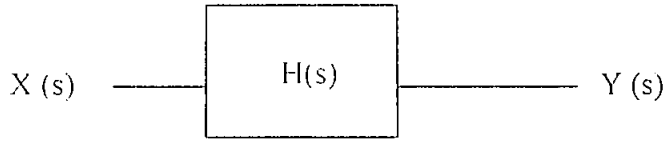
สมมุติว่าเรามีวงจร Analog Filter ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงวงจร Analog Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

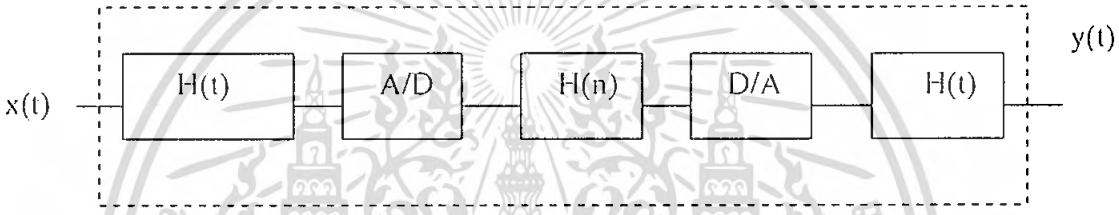
ซึ่งเราสามารถเขียนแทนด้วย Block Diagram ได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดง Analog Signal Processing of Analog Signals

เมื่อ H(s) เป็น Transfer Function ของวงจร RC

สามารถที่จะแทนวงจรที่มีการประมวลผลสัญญาณแบบอนาลอก โดยใช้การประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอลไปแทน



รูปที่ 3.9 แสดง Digital Signal Processing of Analog Signals

Transfer Function H(t) เราสามารถนำไปประมวลผลในรูปแบบ DSP (Digital Signal Processing) โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีความเร็วสูงและเป็นการออกแบบระบบด้วย Software ดังนั้น จึงประยุกต์ใช้งานง่าย ซึ่งการประมวลผลสัญญาณอนาลอกในรูปแบบ DSP ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. สุ่มสัญญาณอนาลอกที่เป็นอินพุต โดยมองสัญญาณอนาลอกเป็นห่วงๆ(Discrete Time)
2. เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D)
3. ประมวลข้อมูลดิจิตอลนั้นตามอัลกอริทึมทางคณิตศาสตร์
4. แปลงผลลัพธ์จากสัญญาณดิจิตอลกลับเป็นอนาลอกใหม่ (D/A)

Transfer Function ของวงจร Buck-Converter (ระบบที่ใช้ทดสอบ)

$$G_{cl} = G_{dc}\frac{1}{1+\frac{s}{Q_n\omega_n}+\left(\frac{s}{\omega_n}\right)^2} = G_{dc}\frac{\omega_n^2}{s^2+Q_n\omega_n s+\omega_n^2}$$

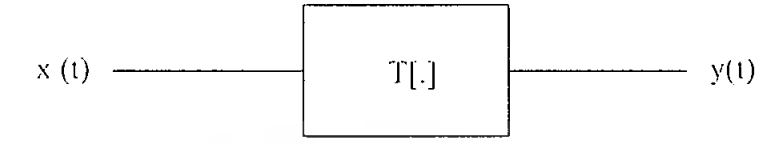
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ระบบชิฟท์-อินแวร์เรียนท์เชิงเส้น (Linear Shift-Invarient System)

ถ้า x(t) เป็นสัญญาณเข้า y(t) เป็นลำดับสัญญาณออก เขียนได้เป็น

$$y(t) = T[x(t)]$$

จากสมการ เขียนเป็น Block Diagram ได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงตัวต้นแบบเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งมีลำดับสัญญาณเข้าไปเป็นสัญญาณออก

ซึ่ง T[.] เป็นตัวดำเนินการ(Operater) ที่ใช้แทนขั้นตอนวิธีแบบต่างๆ

สำหรับระบบเชิงเส้น(Linear system) ถูกกำหนดด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$T[ax_1(t) + bx_2(t)] = aT[x_1(t)] + bT[x_2(t)]$$
$$= ay_1(t) + by_2(t)$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ใดๆ

$y_1(t)$ และ $y_2(t)$ เป็นผลตอบสนองของสัญญาณเข้า $x_1(t)$ และ $x_2(t)$ ในกรณี Discrete-Time system คือ T[.] ถูก Shift ด้วยเวลา n_0 ซึ่งเรียกว่า มีคุณสมบัติความเป็นเวลายืนยง เราจะได้ว่า

$x(t) \longrightarrow y(t)$ หรือ $T[x(t)] = y(t)$

$x(n-n_0) \longrightarrow y(n-n_0)$ หรือ $T[x(n-n_0)] = y(n-n_0)$

ซึ่งคุณสมบัตินี้หมายความว่า รูปคลื่นผลตอบสนองของระบบจะไม่แปรหรือเปลี่ยนรูปร่างไปตามเวลาที่ป้อนสัญญาณกระตุ้น แต่จะขึ้นกับลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณกระตุ้น กล่าวคือ ถ้าป้อนสัญญาณกระตุ้นที่หน่วงเวลาออกไป n_0 วินาที ผลตอบสนองของระบบยังคงเหมือนของระบบยังคงเหมือนกับผลตอบสนองของระบบยังคงเหมือนกับผลตอบสนองของระบบที่ป้อนเวลา $n = \theta$ เพียงแต่มีเวลาหน่วงออกไป n_0 วินาที เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 สมการแตกต่างเชิงเส้นสัมประสิทธิ์คงที่

ระบบ Shift-Invarient สามารถเขียนด้วยสมการแตกต่างเชิงเส้นสัมประสิทธิ์คงที่ n ได้ดังนี้

$$y_k + \sum_{i=1}^{n} b_i y_{k-1} = \sum_{j=0}^{m} a_j x_{k-j} \qquad k = 0, 1, 2, \ldots$$

k = ระยะห่างของเวลา

y_k = ระบบเอ้าพุตลำดับที่ k

x_k = ระบบอินพุตลำดับที่ k

m = ลำดับของระบบ Forward

n = ลำดับของระบบ Feedback

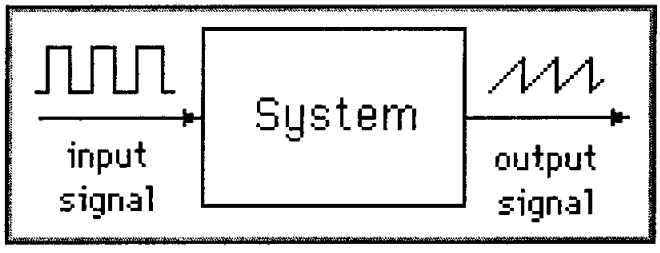
a_j = สัมประสิทธิ์ scalar forward

b_i = สัมประสิทธิ์ scalar feedback

ถ้า m เป็น ศูนย์ ระบบจะเป็น Finite Impulse Response (FIR) ดังนั้น เวลาที่ m หลังจากที่สัญญาณเข้ามาเป็นศูนย์ สัญญาณเอ้อกก็จะเป็นศูนย์ด้วย มิฉะนั้น ระบบจะเป็น Infinite Impulse Response (IIR)

3.3.5 ระบบสมการเชิงเส้น (Systems of Linear Equations)

ระบบ [1] เปรียบเสมือนกล่องดำ จะไม่สามารถให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ซ่อนอยู่ภายในระบบออกมาได้โดยตรง สิ่งที่จะวัดได้จากระบบก็คือสัญญาณเข้าและสัญญาณที่ออกจากระบบเท่านั้น แต่จากสัญญาณที่วัดได้ทั้งสองนี้ ก็เพียงพอที่จะนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ซ่อนอยู่ภายในระบบได้ ในที่นี้สัญญาณของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สัญญาณที่เข้าสู่ระบบและสัญญาณที่ออกจากระบบ สัญญาณที่เข้าสู่ระบบสำหรับการวิเคราะห์ฐานนิยม คือ แรงที่กระทำกับระบบส่วนสัญญาณที่ออกจากระบบคือ ความเร่ง, ความเร็วหรือระยะทางการเคลื่อนที่ของจุดที่ทำการวัดสัญญาณ ดังภาพที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงสัญลักษณ์ของระบบ

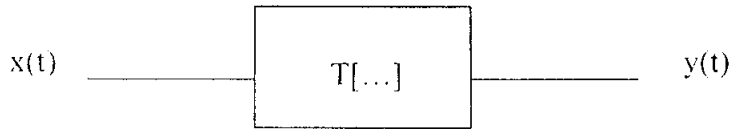
ถ้า x(t) เป็นสัญญาณเข้า y(t) เป็นลำดับสัญญาณออก เขียนสมการได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า x(t) เป็นสัญญาณเข้า y(t) เป็นลำดับสัญญาณออก เขียนสมการได้เป็น

$$y(t) = T\{x(t)\}$$

จากสมการ เขียนเป็น Block Diagram ได้ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงตัวต้นแบบเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งมีลำดับสัญญาณเข้า x(t) ไปเป็นสัญญาณออก y(t)

ซึ่ง T [...] เป็นตัวดำเนินการ (Operater) ที่ใช้แทนขั้นตอนวิธีแบบต่างๆ สำหรับระบบเชิงเส้น(Linear system) ถูกกำหนดด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$T[ax_1(t) + bx_2(t)] = aT[x_1] + bT[x_2(t)] = ay_1(t) + by_2(t)$$

Linear System Modeling

$$G_{vd} = G_{do}\frac{1}{1 + \frac{s}{Q_o\omega_o} + \left(\frac{s}{\omega_o}\right)^2} = G_{do}\frac{\omega_o^2}{s^2 + Q_o\omega_o s + \omega_o^2}$$

$$H(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + 0.1053\omega_o s + \omega_o^2}$$

เมื่อ H(s) คือ Laplace Transform

แปลงเป็น Z-Transform โดยแทน $s = \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$

$$H(z) = \frac{A}{\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right)^2 + B\left(\frac{1 + z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right)s + C}$$

เมื่อ $A = G_{do}\omega_o$, $B = \frac{\omega_o}{Q_o}$, $C = \omega_o^2$

$$\omega_o = 2\pi f_c = 2\pi(1000)$$

$$H(z) = \frac{a_o + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}$$

$$y_k = a_o x_k + a_1 x_{k-1} + a_2 x_{k-2} - b_1 y_{k-1} - b_2 y_{k-2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ค่า $$H(z) = \frac{1105395693}{s^2 + 661.388s + 39478418}$$

เมื่อแปลงเป็น Bilinear โดยให้ T = 0.00002 , Fs = 1/T

จะได้ค่า c = [0.1094 , 0.2188 , 0.1094]

d = [1.0000 , -1.9713 , 0.9869]

แปลง Z-Transform เป็น Bilinear โดยใช้ Matlab ช่วย ซึ่งได้ค่าออกดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 แสดงการแปลง Z-Transfer funtion เป็น Bilinear โดยใช้โปรแกรม Matlab

3.4 การแปลงเชิงเส้นคู่ หรือ Bilinear Transformation

ดังเช่นอธิบายคร่าว ๆ ในขั้นที่แล้วการแปลงเชิงเส้นคู่เป็นการเปลี่ยนอนาล็อกฟิลเตอร์เป็นดิจิตอลฟิลเตอร์เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในคอมพิวเตอร์ได้ สามารถทำได้ง่ายโดยใช้โปรแกรมอย่าง MATLAB

ตัวอย่าง

MATLAB Script

```
>> c = [1,1]; d = [1,5,6]; T = 1; Fs = 1/T;
>> [b.a] = bilinear(c,d,Fs)
b = 0.1500   0.1000   -0.0500
a = 1.0000   0.2000   -0.0000
>>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response)

ผลตอบสนองความถี่ หมายถึง ผลตอบสนองที่สภาวะคงที่ (Steady-State Response) กับอินพุตแบบ Sinusoidal หรือสัญญาณ Sine ในวิธีการของผลตอบสนองความถี่นั้น เราจะปรับค่าความถี่ของสัญญาณขาเข้าในย่านความถี่หนึ่งและศึกษาถึงผลตอบสนอง

ได้ใช้วิธีหาผลตอบสนองความถี่นี้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะแตกต่างจากแบบ Root – Locus ซึ่งข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของวิธีหาผลตอบสนองความถี่

นั้นก็คือสามารถใช้ข้อมูลที่เก็บจากวัตในระบบจริงได้เลยโดยปราศจากการวิเคราะห์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้น

ข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของวิธีนี้ก็คือการทดสอบผลตอบสนองความถี่นั้นโดยทั่วไปจะทำได้อย่างง่ายและแม่นยำโดยการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ Sine และเครื่องมือวัดที่เที่ยงตรง

ถึงแม้ว่าวิธีผลตอบสนองความถี่ของระบบควบคุมจะนำเสนอรูปแบบที่มีคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) แต่ความถี่และผลตอบสนองชั่วคราวก็ยังไม่ได้เกี่ยวข้องกันโดยตรง เว้นแต่กรณีของระบบกำลังสอง (Second-order System) ในการออกแบบระบบลูปปิดปรับค่าคุณสมบัติผลตอบสนองความถี่ของฟังก์ชั่นถ่ายโอนลูปเปิดโดยการใช้เกณฑ์การออกแบบบางอย่างเพื่อที่จะเก็บคุณสมบัติผลตอบสนองชั่วคราวที่ยอมรับได้สำหรับระบบ

3.5.1 การเก็บค่า Steady-State Output กับค่าอินพุตแบบ Sinusoidal

Steady-State Output ของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบสามารถถูกเก็บค่าได้โดยตรงจากฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบ Sinusoidal นั่นคือ ฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่ s ถูกแทนที่โดย $j\omega$ โดยที่ ω คือค่าความถี่

พิจารณาระบบที่คงที่, เป็นเส้นตรง, และไม่ขึ้นกับเวลาดังรูปที่ 2.27 สัญญาณเข้าและสัญญาณออกของระบบที่มีฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็น G(s) ถูกแทนค่าด้วย x(t) และ y(t) ตามลำดับ ถ้าอินพุต x(t) เป็นสัญญาณ Sine เอาท์พุตคงที่หรือ Steady-State Output จะต้องเป็นสัญญาณ Sine ที่ความถี่เดียวกัน แตกต่างกันที่ขนาดและมุมเฟสเท่านั้น

สมมติสัญญาณขาเข้าถูกแทนค่าด้วย

$$X(t) = X \sin \omega t$$

ωt และฟังก์ชั่นถ่ายโอน G(s) สามารถถูกเขียนให้อยู่ในรูปของสัดส่วนของโพลิโนเมียลสองอันในตัวแปร s นั่นคือ

$$G(s) = \frac{p(s)}{q(s)} = \frac{p(s)}{(s+s_1)(s+s_2)\ldots(s+s_n)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุต Y(s) ที่แปลงลาปลาซคือ

$$Y(s) = G(s)X(s) = \frac{p(s)}{q(s)} = \frac{p(s)}{q(s)}X(s)$$

เมื่อ X(s) คือการแปลงลาปลาซของอินพุต x(t)

หลังจากที่รอจนกระทั่งเกิดภาวะสถานะคงที่หรือ Steady-State แล้วผลตอบสนองความถี่สามารถคำนวณได้โดยการเปลี่ยนค่า s ในฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็น $j\omega$ และแสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองที่ Steady-State มีค่าเป็น

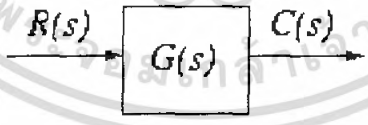
$$G(j\omega) = Me^{j\phi} = M\angle\phi$$

เมื่อ M เป็นอัตราส่วนของที่ทางออกและที่ทางเข้าของสัญญาณ Sine และ คือมุมเฟสที่เลื่อนไประหว่างที่ทางเข้าและสัญญาณออกรูป Sine ในการทดสอบผลตอสนองความถี่นั้น ความถี่ขาเข้า ω จะเปลี่ยนค่าไปจนกระทั่งสุดเขตย่านความถี่ที่ตั้งไว้

ผลตอบสนองที่ Steady-State ของระบบที่คงที่, มีความเป็นเชิงเส้น และไม่ขึ้นกับเวลาเทียบกับที่ทางเข้าของสัญญาณ Sine นั้นไม่ขึ้นอยู่กับสถานะเริ่มต้น ถ้า Y(s) มีโพลที่แน่นอนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเราจะทำการแยกส่วน Partial Fraction ของสมการ ได้เป็น

$$Y(s) = G(s)X(s) = G(s)\frac{\omega x}{s^2 + \omega^2}$$

$$= \frac{a}{s + j\omega} + \frac{\bar{a}}{s + j\omega} + \frac{b_1}{s + s_1} + \frac{b_2}{s + s_2} + \ldots + \frac{b_n}{s + s_n}$$



รูปที่ 3.14 ระบบคงที่เชิงเส้นและไม่ขึ้นกับเวลา

เมื่อ a และ b_i (เมื่อ i = 1, 2, …, n) เป็นค่าคงที่และ $\bar{a}$ เป็นการคอนจูเกตเชิงซ้อนของ a การแปลงลาปลาซกลับของสมการที่แล้วทำให้

$$y(t) = ae^{-j\omega t} + \bar{a}e^{j\omega t} + b_1e^{-s_1t} + b_2e^{-s_2t} + \ldots + b_ne^{-s_nt} \qquad (t \geq 0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบคงที่ $-s_1, -s_2, \ldots -s_n$ เป็นส่วนจริงที่มีค่าเป็นลบ ดังนั้น เมื่อค่า t เข้าสู่ค่าอนันต์ เทอม และก็จะมีค่าเป็นศูนย์ ด้วยเหตุนี้เทอมด้านขวาทั้งหมดของสมการที่แล้ว ยกเว้นเทอมสองอันแรก ก็จะหายไปที่สภาวะคงตัว

เมื่อ Y(s) มีโพล s_j หลายโพลที่คูณกันของ m_j ดังนั้น y(t) จะมีเทอมที่ประกอบด้วย m_i สำหรับระบบคงที่ เทอม $t^{m_i}e^{-s_i t}$ จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อค่า t เข้าสู่ค่าอนันต์

ดังนั้นเมื่อไม่พิจารณาว่าระบบเป็นชนิดที่มีโพลแท้จริง ผลตอบสนองที่สภาวะคงตัวจะเป็น

$$y_{ss}(t) = ae^{-j\omega t} + \bar{a}e^{j\omega t}$$

เมื่อค่าคงที่ a สามารถหาค่าได้จากสมการ $Y(s) = G(s)X(s) = G(s)\frac{\omega x}{s^2 + \omega^2}$

ดังนั้น

$$a = G(s)\frac{\omega X}{s^2 + \omega^2}(s + j\omega)|_{s=-j\omega} = -\frac{XG(-j\omega)}{2j}$$

สังเกตุว่า

$$\bar{a} = G(s)\frac{\omega X}{s^2 + \omega^2}(s - j\omega)|_{s=j\omega} = -\frac{XG(j\omega)}{2j}$$

เมื่อ $G(j\omega)$ เป็นจำนวนเชิงซ้อน ดังนั้นสามารถให้เขียนอยู่ในรูป

$$G(j\omega) = |G(j\omega)|e^{j\phi}$$

เมื่อ $|G(j\omega)|$ แสดงถึงค่าขนาดและ ϕ แสดงค่ามุมของ $G(j\omega)$ นั่นคือ

$$\phi = \angle G(j\omega) = \tan^{-1}[\frac{imaginarypartG(j\omega)}{realpartG(j\omega)}]$$

มุม อาจมีค่าเป็นลบ, บวก, หรือศูนย์ เช่นเดียวกันเราให้ความหมายของ $G(-j\omega)$ ว่า

$$G(-j\omega) = |G(-j\omega)|e^{-j\phi} = |G(j\omega)|e^{-j\phi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

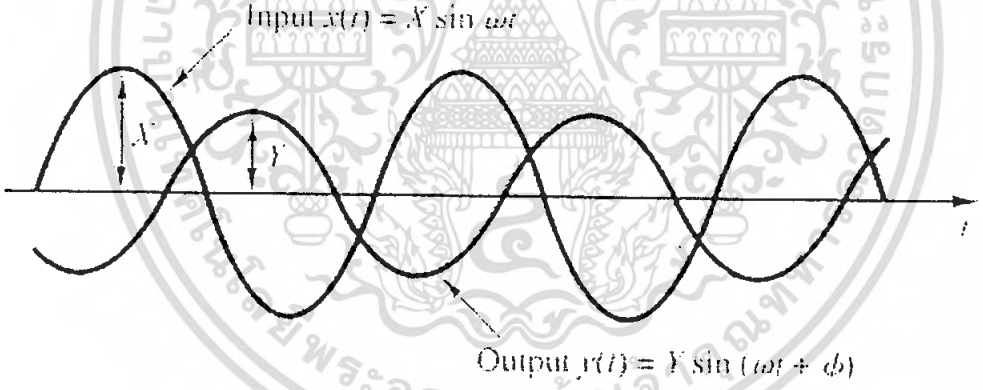
ดังนั้น

$$a = -\frac{X\,|G(j\omega)|\,e^{-j\phi}}{2j}, \bar{a} = \frac{X\,|G(j\omega)|\,e^{-j\phi}}{2j}$$

สมการ $y_{ss}(t) = ae^{-j\omega t} + \bar{a}e^{j\omega t}$ สามารถถูกเขียนให้อยู่ในรูป

$$y_{ss}(t) = X\,|G()j\omega|\,\frac{e^{j(\omega t+\phi)} - e^{-j(\omega t+\phi)}}{2j}$$
$$= X\,|G(j\omega)|\sin(\omega t+\phi)$$
$$= Y\sin(\omega t+\phi)$$

เมื่อ Y= X|G($j\omega$)| จะเห็นว่าระบบคงที่, มีความเป็นเชิงเส้น และไม่ขึ้นกับเวลาภายใต้ทางเข้ารูป Sine จะมีที่ทางออกรูป Sine ที่มีความถี่เดียวกับทางเข้าที่สภาวะคงตัว แต่ขนาดแอมปลิจูดกับเฟสของที่ทางออกจะแตกต่างกับที่ทางเข้า ซึ่งในความเป็นจริง แอมปลิจูดของเอาท์พุต คือ ผลจาก |G ($j\omega$)| ขณะที่มุมเฟสที่แตกต่างจากทางเข้า จะแตกต่างเป็นค่าที่ทางออก แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 สัญญาณเข้ากับสัญญาณออกของสัญญาณ Sine

ด้วยหลักการทั้งหมดที่กล่าวมานี้ จะได้ค่าที่สำคัญ 2 อย่าง สำหรับที่ทางเข้ารูป Sine

$|G(j\omega)| = \left|\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}\right|$ = อัตราส่วนของแอมปลิจูดของสัญญาณออกต่อสัญญาณเข้า

$\angle G(j\omega) = \angle\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}$ = เฟสที่เลื่อนไปของสัญญาณออกต่อสัญญาณเข้า

ดังนั้น คุณสมบัติผลตอบสนองที่สภาวะคงที่เทียบกับที่ทางเข้า Sinusoidal สามารถหาค่าได้โดยตรงจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น คุณสมบัติผลตอบสนองที่สภาวะคงที่เทียบกับที่ทางเข้า Sinusoidal สามารถหาค่าได้โดยตรงจาก

$$\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = G(j\omega)$$

ฟังก์ชั่น $G(j\omega)$ เรียกว่า Sinusoidal Transfer Function ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง $Y(j\omega)$ ต่อ $X(j\omega)$ เป็นปริมาณเชิงซ้อน และสามารถแสดงค่าขนาดและมุมเฟสซึ่งมีความถี่เป็นตัวแปร ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบเชิงเส้นนี้คำนวณจากการแทนค่า $(j\omega)$ ที่ s ในฟังก์ชั่นถ่ายโอน

มุมเฟสที่มีค่าเป็นบอกถูกเรียกว่า Phase Lead และมุมเฟสที่มีค่าลบจะเป็น Phase Lag ส่วนระบบที่มีคุณสมบัติ Phase-Lead ถูกเรียกว่า Lead Network ในขณะที่ระบบที่มีคุณสมบัติ Phase-Lag ถูกเรียกว่า Lag Network

3.5.2 การนำเสนอค่าผลตอบสนองความถี่บนกราฟ

ฟังก์ชั่น Sinusoidal ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นเชิงซ้อนของความถี่ ω ประกอบด้วยข้อมูลของขนาดและมุมเฟส ซึ่งมีความถี่เป็นตัวแปร สามารถถูกนำเสนออยู่ในรูปกราฟได้ 3 อย่างคือ

1. Bode Diagram หรือ Logarithmic Plot

ประกอบด้วยกราฟ 2 กราฟ กราฟหนึ่งคือการแสดงค่าขนาดที่เป็น Logarithm ของฟังก์ชั่นถ่ายโอน อีกกราฟเป็นการแสดงค่ามุมเฟส ซึ่งสองกราฟนี้แสดงกับค่าความถี่ที่อยู่ใน Logarithmic Scale ซึ่งขนาดจะมีค่าเท่ากับ $20\log|G(j\omega)|$ ซึ่งเป็น log ฐาน 10 มีหน่วยเป็น dB ในการนำเสนอแบบ Logarithmic เส้นทั้งหมดจะถูกเขียนบนกระดาษ Semilog โดยใช้ Log Scale สำหรับค่าความถี่ และ Linear Scale สำหรับค่าขนาด (อยู่ในหน่วยเดซิเบล) หรือมุมเฟส (หน่วยองศา)

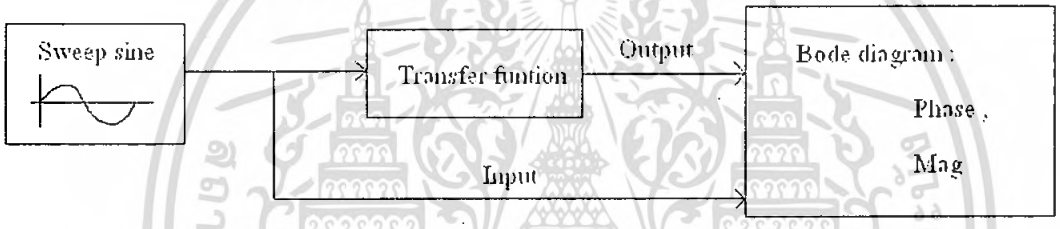
2. Nyquist Plot หรือ Polar Plot
3. Log-Magnitude-Versus-Phase Plot (Nichols P slots)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
หลักการออกแบบ

การออกแบบระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่ ในเบื้องต้นนั้นต้องเข้าใจหลักการทำงานในภาพรวมของระบบควบคุมก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร แล้วจึงพิจารณาส่วนย่อยต่าง ๆ อันประกอบไปด้วย การออกแบบวงจรที่ขับสัญญาณอินพุต Sine ที่สามารถปรับค่าให้ Sweep ไปตามย่านความถี่ที่เราเซ็ตได้ ส่วนที่เป็นระบบจำลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของการนำค่าสัญญาณที่รับได้ไปเปรียบเทียบหาค่าผลตอบสนองความถี่และพลอตกราฟ

หลักการทำงานในภาพรวมของระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่สามารถแสดงดังแผนผังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่

จากรูปที่ 4.1 เห็นว่าระบบควบคุมเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองความถี่คือ

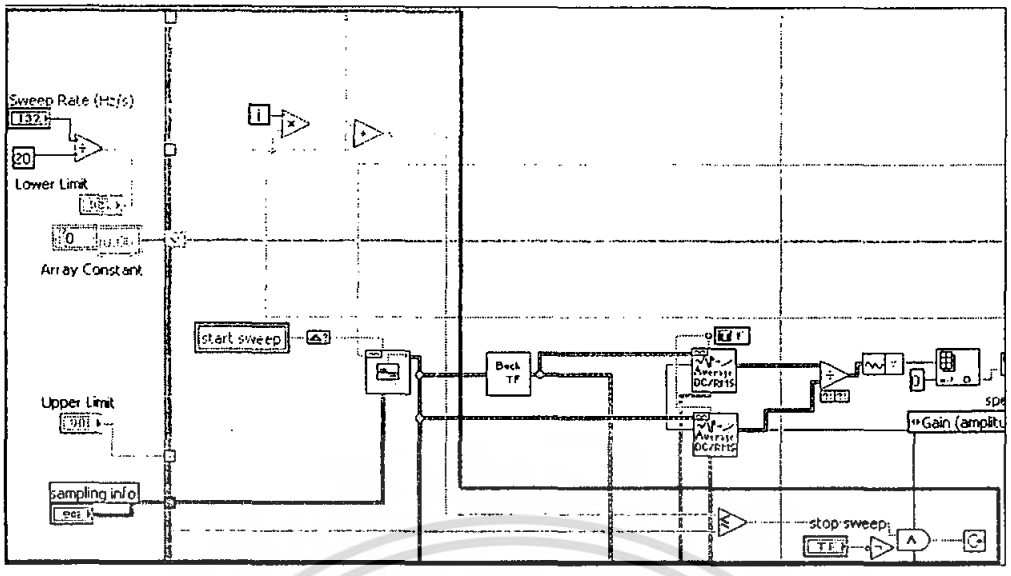
- Swept Sine Excitation
- ระบบจำลอง ซึ่งในนี้คือวงจร DC-DC Buck Converter
- การวิเคราะห์สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตเพื่อคำนวณค่าผลตอบสนองความถี่

4.1 Swept Sine Excitation

ในการวัดผลตอบสนองความถี่นั้นจะต้องกำหนดให้เกิดการกระตุ้นของระบบที่ต้องการวัด (Unit Under Test; UUT) ซึ่งมีพลังงานที่ความถี่ต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กัน วิธีที่เร็วที่สุดในการใช้ White Noise ที่มีแถบกว้างเป็นสัญญาณกระตุ้น ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือการใช้สัญญาณ Sine เป็นตัวกระตุ้นระบบดังที่กล่าวในบทที่แล้ว จึงได้ตัดสินใจที่เลือกใช้ Swept Sine ในการวัดสัญญาณเนื่องจากให้ค่าที่ถูกต้องและชัดเจนกว่า

ในการตั้งค่าสัญญาณให้ Sweep ได้ มีหลักการที่ต้องคำนึงคือ การตั้งค่า Sampling Rate ไม่ให้เกิดการ Alias ของสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ส่วนของการสร้าง Swept Sine Excitation

4.2 การสร้างระบบจำลอง

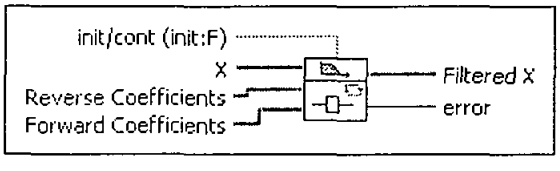
ได้ออกแบบระบบจำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดสอบโปรแกรมก่อนนำไปใช้งานจริง ซึ่งระบบที่จะนำมาใช้คือ วงจร DC-DC Buck Converter ซึ่งมีฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็น

$$G_{vd}(s) \Rightarrow H(s) = (28)\frac{\omega_o^2}{s^2 + 0.1053\omega_o s + \omega_o^2}$$

สิ่งแรกที่จะต้องทำคือ การแปลง Bilinear ระบบนี้ให้อยู่ในรูปของ Discrete Form เนื่องจากโปรแกรม LabVIEW จะจัดการกับสัญญาณ Discrete เท่านั้น เมื่อทำการแปลง Bilinear แล้วสมการจะออกมาอยู่ในรูป

$$H(z) = \frac{1105395693}{s^2 + 661.388s + 39478418}$$

ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกับ IIR Digital Filter ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองคือ Forward และ Reverse จะนำค่าเหล่านี้ไปแทนในฟังก์ชั่นสำเร็จรูปของ LaBVIEW ที่ชื่อ IIR Filter.VI ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 4.3 IIR Filter.vi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ามีค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ Forward Coefficients กับ Reverse Coefficients ซึ่งจะนำค่าที่คำนวณตอนต้นมาแทนในพารามิเตอร์นั้น

ข้อควรระวังในการออกแบบนี้ก็คือ การเลือก Sampling Rate เนื่องจากในการคำนวณเชิงเส้นคู่หรือ Bilinear Transform นั่นจะต้องกำหนดค่า Sampling Rate เข้าไปด้วย หากต้องการดูผลตอบสนองความถี่ในย่านความถี่ที่มากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์นั้นก็จะเปลี่ยนไปตามค่า Sampling Rate ด้วย

4.3 ส่วนการหาค่าผลตอบสนองความถี่

ส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน นั่นก็คือการหาค่าผลตอบสนองจากสัญญาณ 2 สัญญาณ กับการเก็บค่าขนาดกับมุมเฟสที่เลื่อนไปเพื่อที่จะนำมาแสดงในโบดไดอะแกรม

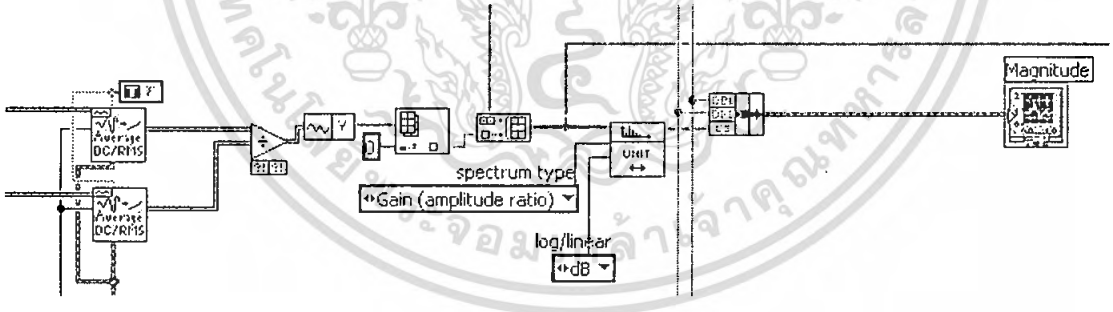
4.3.1 การหาค่าผลตอบสนองจากสัญญาณ 2 สัญญาณ

ในการหาค่าผลตอบสนองนี้ สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท เนื่องจากข้อมูลในผลตอบสนองนี้แบ่งออกเป็น

- ขนาด
- มุมเฟส

4.3.1.1 ขนาด

คืออัตราส่วนแอมปลิจูดของสัญญาณเอาท์พุตต่ออินพุต



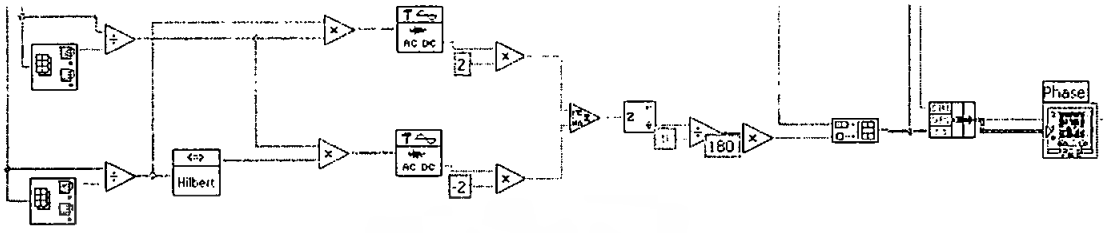
รูปที่ 4.4 ส่วนของโปรแกรมในการคำนวณหาขนาด

จากรูป 4.4 จะเห็นว่ามีการนำสัญญาณ 2 สัญญาณเข้ามา ทำการหาค่าแอมปลิจูด (หรือค่า V_{rms}) ของแต่ละสัญญาณ นำมาหารกันและนำค่าที่ได้มาสเกลให้อยู่ในหน่วยเดซิเบล ต่อมาคือการนำค่านั้นไปแสดงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 มุมเฟส

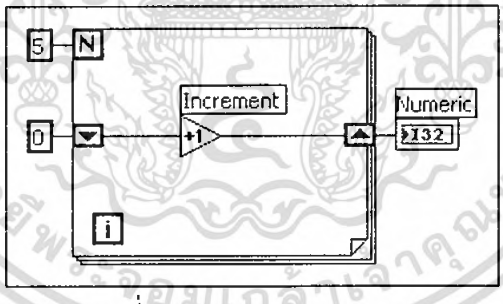
คือมุมเฟสที่เลื่อนไปเปรียบเทียบจากสัญญาณที่ทางออกลบกับสัญญาณที่ทางเข้า



รูปที่ 4.5 ส่วนของโปรแกรมในการวัดมุมเฟส

4.3.2 การเก็บค่าขนาดและมุมเฟส

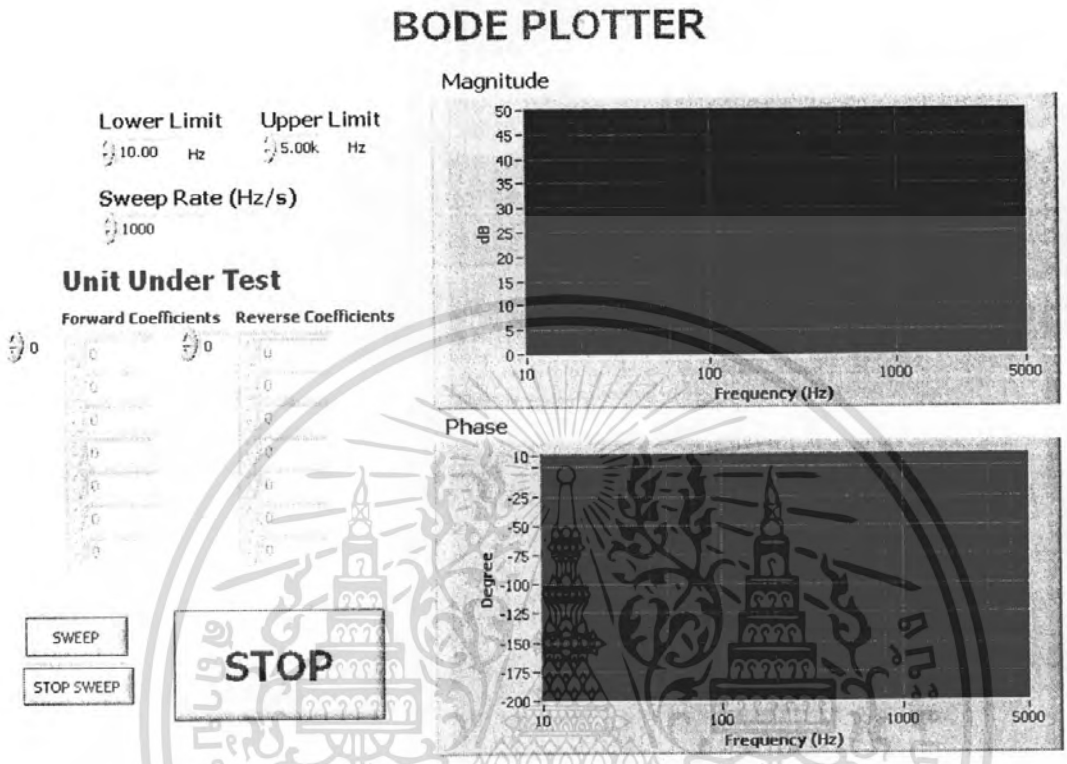
จากหัวข้อที่ 4.5 เป็นการสร้างในส่วนของการคำนวณหาผลตอบสนองความถี่(ขนาด-เฟส) ในแต่ละความถี่ แต่เนื่องจากในส่วนแรกที่เขียนโปรแกรมไว้ ได้สร้างส่วนที่เรียกว่า Swept Sine Excitation ขึ้นเพื่อเปลี่ยนความถี่ไปจนถึงความถี่ที่ตั้งไว้ จึงต้องมีการเก็บค่าผลตอบสนองในแต่ละความถี่ โดยการใช้ Shift Register ใน While Loopในการเก็บค่า



รูปที่ 4.6 ตัวอย่าง Shift Register

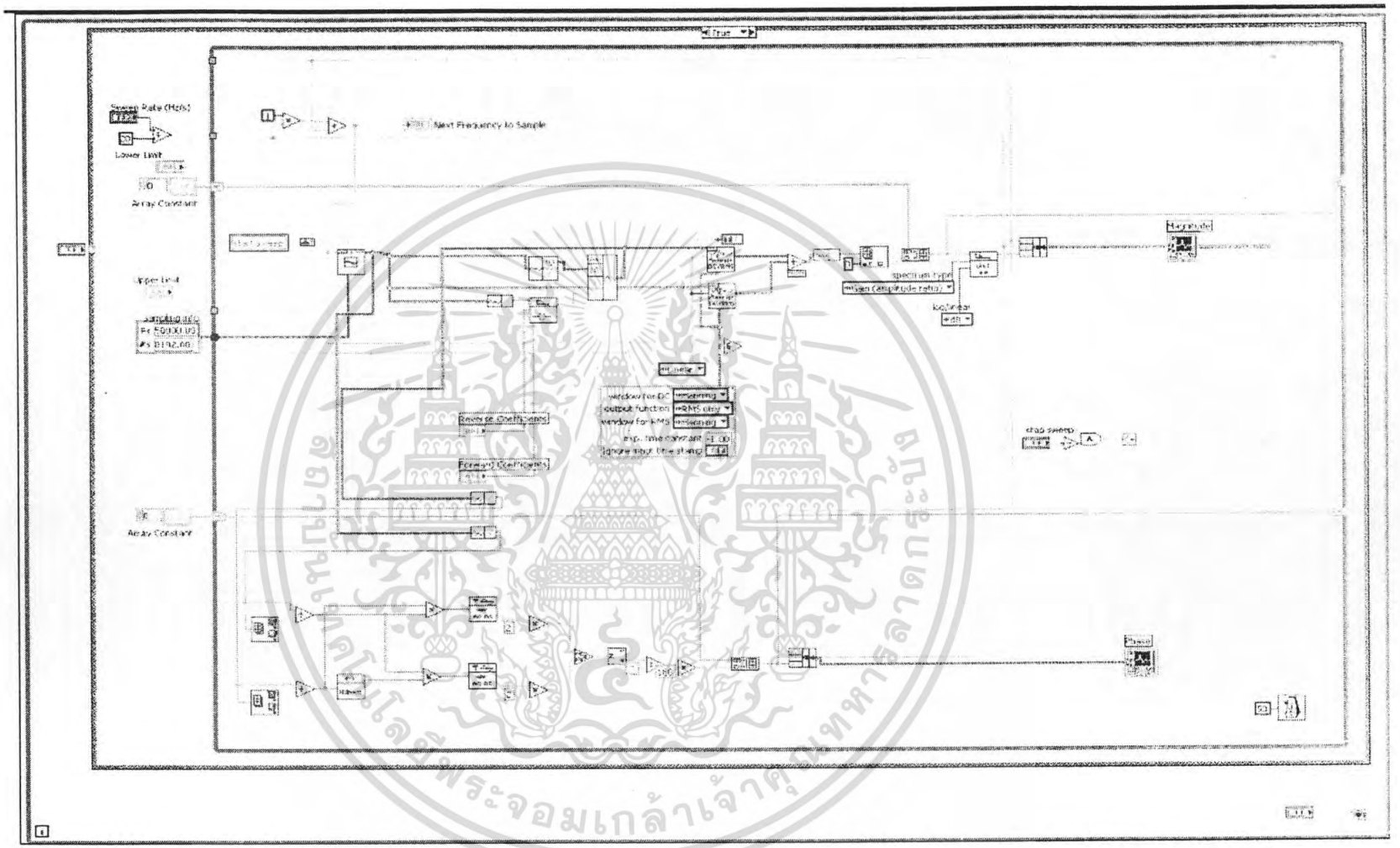
จากรูปอธิบายการทำงานของ Shift Register คือการเก็บค่าในแต่ละครั้งจะมีค่าตั้งแต่ 0 เรื่อยไปจนถึงค่าสุดท้ายของลูป ซึ่งในที่นี้ที่ด้านซ้ายมือของ Shift Register จะมีตัวแปรซึ่งเรียกว่า Initialize Value จะใช้ตัวแปรนี้เมื่อต้องการให้ค่าที่เริ่มต้นมีค่าเท่ากับจำนวนนั้น ๆ ที่เราตั้งไว้ ซึ่งในโปรแกรมที่สร้างในการวัดผลตอบสนองความถี่ตั้งให้เท่ากับ 0 ทั้งสองที่ (ขนาด-เฟส) เพื่อที่การเก็บค่าในครั้งต่อไปจะไม่นำค่าเก่ามาคิดอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ส่วน Front Panel ของโปรแกรม ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ส่วน Block Diagram ของโปรแกรม ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนของการเขียนโปรแกรม

บทที่ 5

การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองใช้งานโปรแกรมการวัดผลตอบสนองความถี่ของวงจรที่จำลองขึ้น โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

5.1 การทดลองตัวโปรแกรม

ในส่วนนี้ เป็นการศึกษาผลตอบสนองความถี่ จากวงจร DC-DC Converter ที่จำลองขึ้นจากการทำ Bilinear Transform

จากฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจร Buck Converter พร้อมทั้งตัวแปรที่กำหนดมาสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของ Discrete Form เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในโปรแกรมได้ โดยจะนำโปรแกรม MATLAB มาช่วยในการคำนวณการ Bilinear Transform ด้วย

รายละเอียดของวงจร ที่กำหนดมาคือ

$$G_{d0}\frac{1}{1+\frac{s}{Q_0\omega_0}+(\frac{s}{\omega})^2}$$

$$G_{d0}=28V$$

$$f_0=1kHZ$$

$$Q_0=9.5$$

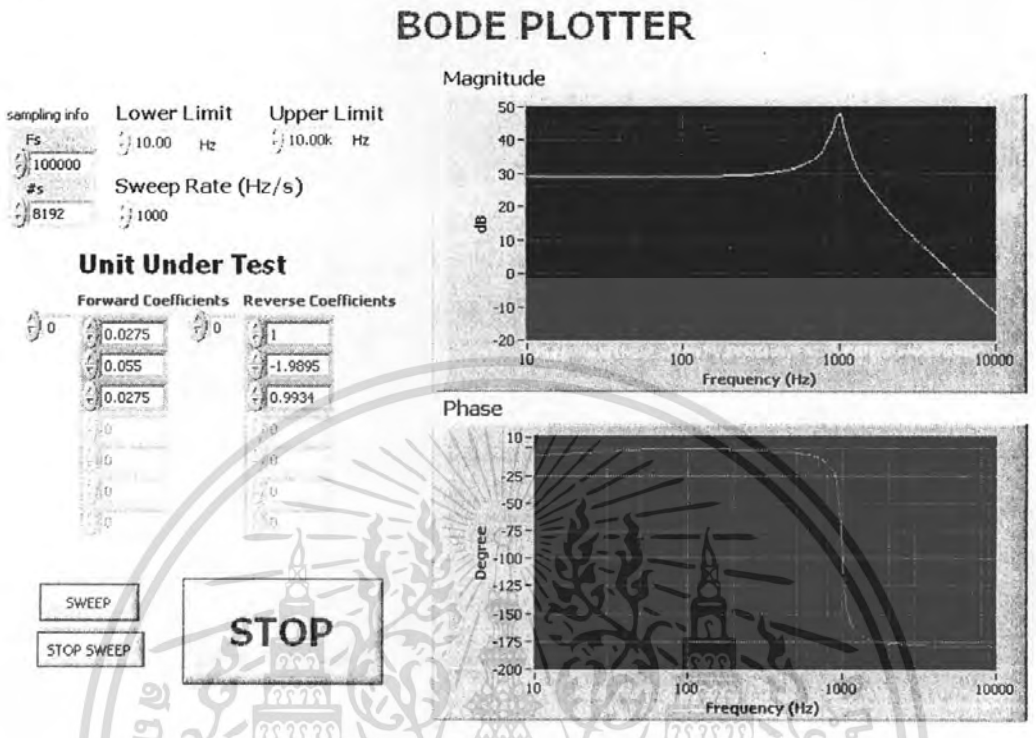
จากการทดลองนี้ย่านความถี่ที่สนใจคือ 10 Hz ถึง 10 kHz จึงควรเลือก Sampling Rate ไว้ที่ 10 เท่าของความถี่สูงสุด ซึ่งโดยทฤษฎีแล้วควรตั้งไว้น้อยที่สุด 2 เท่าของความถี่สูงสุด แต่เนื่องจากออกแบบโปรแกรมนี้ให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงจริงตั้งไว้ 10 เท่าเพื่อป้องกันการ Aliasing

MATLAB Script

```
>> c = [1105395693]; d = [1,661.388, 39478417.6]; T = 0.00001; Fs = 1/T;
>> [b,a] = bilinear(c,d,Fs)
b = 0.0275    0.0550    0.0275
a = 1.0000   -1.9895    0.9934
```

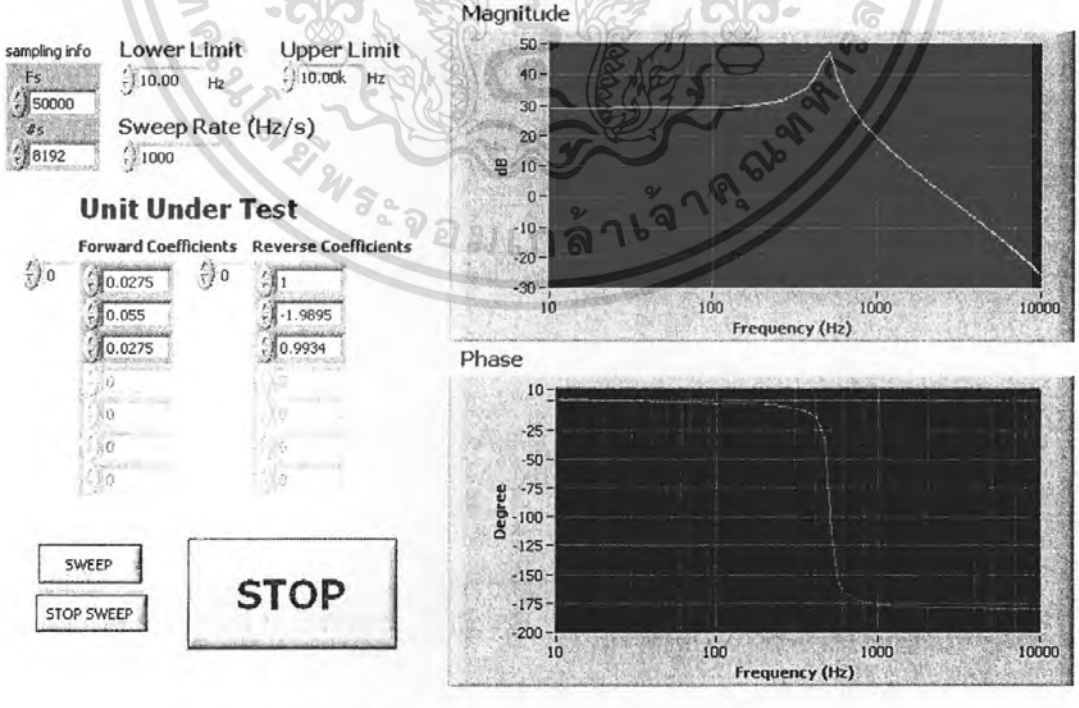
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า b คือค่า Forward Coefficients ส่วนค่า a คือค่า Reverse Coefficients นำค่าที่ได้นี้ไปใส่ใน โปรแกรม



รูปที่ 5.1 เมื่อ Sampling Frequency = 100 kHz

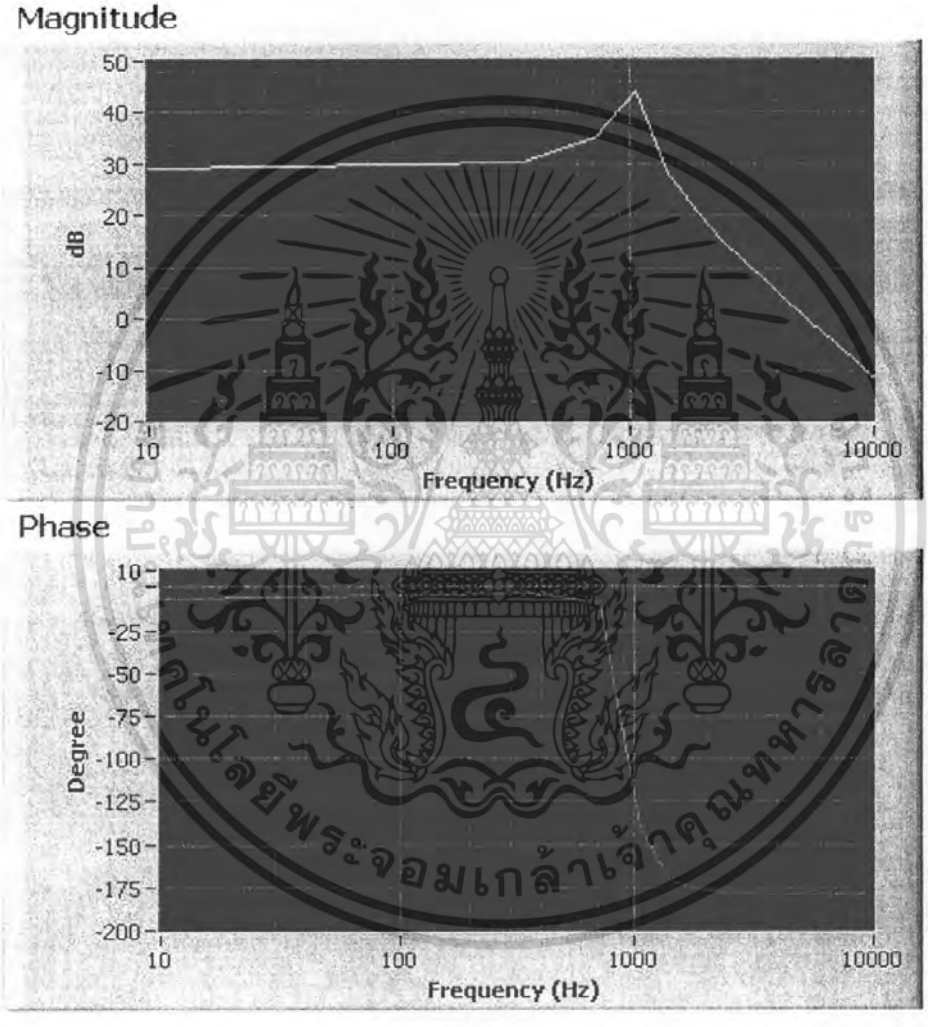
การทดลองต่อมาได้ลองเปลี่ยนค่า Sampling Frequency เป็น 50 Hz สังเกตุผลที่ได้



รูปที่ 5.2 เมื่อ Sampling Frequency = 50 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จะมีรูปร่างของเส้นกราฟคล้ายเดิม แต่สังเกตุว่าค่า Corner Frequency จะมีค่าแตกต่างออกไป นั่นคือ ถ้ามีการออกแบบระบบจำลองขึ้นมาโดยการใช้Bilinear ต้องคำนึงถึงย่านความถี่ที่จะปรับค่าก่อนเพื่อเลือก Sampling Frequency ซึ่งจะต้องให้มีค่าตรงกับตัวโปรแกรมด้วย การทดลองต่อมาจะตั้งค่า Sweep Rate ซึ่งเป็นอัตราเร็วในการ Sweep ค่าความถี่ของสัญญาณ Sine ซึ่งจะตั้งค่าให้สูงมากกว่าเดิมคือ 7000 Hz/s

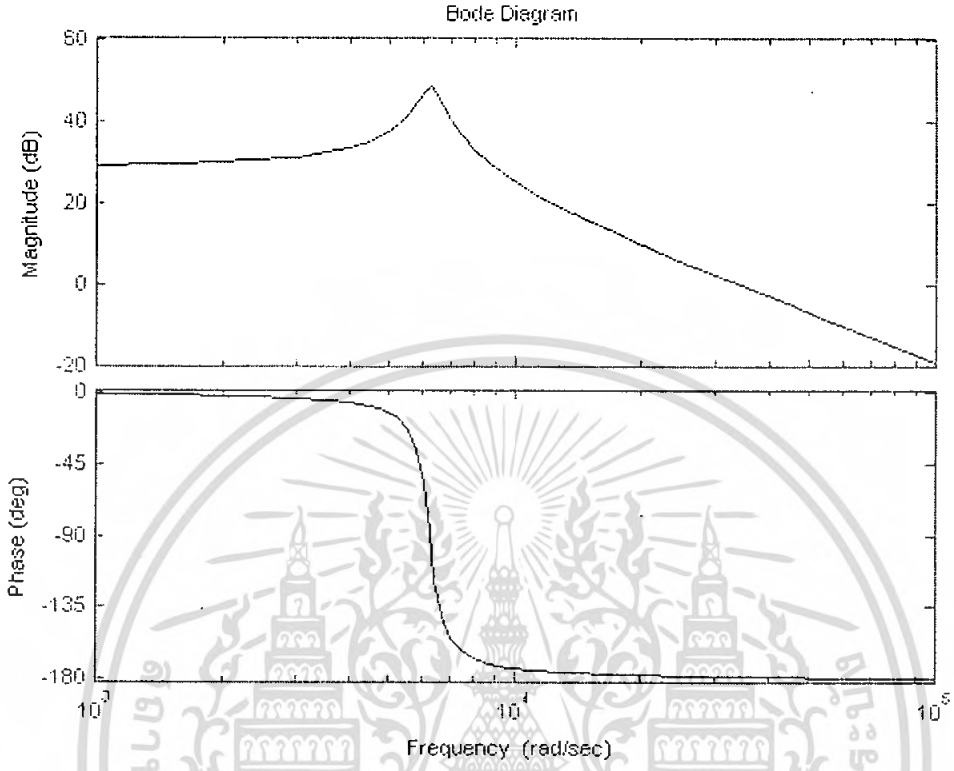


รูปที่ 5.3 เมื่อ Sweep Rate = 7000 Hz/s

รูปกราฟที่ได้ให้ค่าถูกต้องเหมือนเดิม แต่สังเกตุว่าเส้นกราฟเริ่มแตกและเป็นเหลี่ยม นี่แสดงให้เห็นว่าค่า Sweep Rate ก็มีความสำคัญกับการแสดงเช่นกัน ในทางตรงกันข้ามถ้าตั้งค่านี้ไว้น้อยมาก ๆ เช่น 100 Hz ผลที่ได้ก็จะมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น แต่ต้องแลกกับเวลาการประมวลผลที่ช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการตรวจสอบว่าผลที่ได้ถูกต้องหรือไม่โดยการใช้โปรแกรม MATLAB เข้ามาช่วยตรวจสอบ ซึ่งผลที่ได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 Bode Diagram ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทวิจารณ์และสรุป

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อวัดผลตอบสนองความถี่ โดยขั้นแรกเมื่อให้ค่า Sampling Frequency ตรงกับค่าที่คำนวณไว้ใน Bilinear Transform แล้วจะให้ค่าที่มี Corner Frequency ที่ถูกต้อง แต่เมื่อตั้งค่า Sampling Frequency ให้ไม่ตรงกับค่าที่คำนวณไว้แล้ว เส้นกราฟก็จะยังให้รูปเดิมเพียงแต่ค่า Corner Frequency เปลี่ยนไปจากเดิม ต่อมาได้ลองตั้งค่า Sweep Rate ซึ่งเป็นความเร็วในการ Update ค่าความถี่ให้มากขึ้น พบว่า เส้นกราฟแตกและเป็นเหลี่ยม และเมื่อตั้งค่านี้ให้น้อยกว่าเดิม พบว่าเส้นกราฟมีความคมชัดขึ้นแต่เวลาในการประมวลผลจะช้าลง

6.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงงานนี้ในช่วงแรกเกิดปัญหาคือ ใช้เวลาในการศึกษาโปรแกรมซึ่งจะทำให้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์ได้ ขั้นแรกได้วางแผนไว้ว่าให้โปรแกรมนี้สามารถส่งสัญญาณอนาล็อกออกไปจากฮาร์ดแวร์เข้าไปในวงจรที่ต้องการวัด และวัดค่าสัญญาณอนาล็อกของที่ทางเข้ากับที่ทางออกผ่านแชนแนล 2 แชนแนลผ่านพอร์ตอนาล็อกอินพุต1 กับ 2 เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบสัญญาณทางออกกับทางเข้า และหาค่าผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณนั้น ๆ ต่อมาได้สร้างโปรแกรมที่สามารถติดต่อกับสัญญาณภายนอกได้ แต่ปัญหาใหญ่ก็คือพบว่าฮาร์ดแวร์นี้ไม่สามารถทำอนาล็อกที่ทางออกได้ เนื่องจากฮาร์ดแวร์นี้เป็นใช้ Software ในการ Update ค่าสัญญาณออกมา กล่าวคือไม่มี Clock Reference ในตัวเอง ทำให้ได้ความถี่ที่จำกัดมากแค่ 16 Hz ทำให้ไม่สามารถนำฮาร์ดแวร์มาใช้ได้ ต่อมาได้ลอง Simulate สัญญาณเข้าไปในระบบจำลองที่สร้างขึ้น ตอนแรกเกิดปัญหาคือไม่สามารถใส่ค่าที่อยู่ใน s – Domain ลงไปตรง ๆ ได้ เพราะจะได้ผลที่ผิดพลาด จึงได้พบว่าการที่จะสร้างระบบจำลองที่อยู่ใน s-Domain ซึ่งเป็นระบบ Continuous Form นี้จะต้องมีการแปลงให้อยู่ในรูป Discrete Form ซึ่งจะนำไปใช้กับสัญญาณดิจิตอล เนื่องจากโปรแกรม LabVIEW จะจัดการกับค่าที่เป็น Discrete เท่านั้น ถึงอย่างไรก็ตาม พบว่ามีวิธีแก้ไขอีกทางคือ จัดซื้อชุดเสริมของ LabVIEW ชื่อ Modulation Toolkit ซึ่งจะสามารถใส่ค่าที่อยู่ในรูปของ s-Domain ได้โดยตรง แต่เนื่องจากราคาที่มาก พร้อมกับไม่ทราบแผนระยะยาวว่าจะใช้ต่อไปอีกหรือไม่จึงทำให้ยังไม่คุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนปัญหาที่พบและยังไม่ได้ปรับปรุงแก้ไข ได้แก่ ปัญหาที่ระบบจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาหากมีการต่อฮาร์ดแวร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ซึ่งได้ลองจำลองให้สัญญาณ Sine นั้นมี Noise เข้ามาเกี่ยวด้วย ได้ใส่ Filter ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นโปรแกรม VI ในตัว LabVIEW ที่มีมาสำเร็จรูปแล้ว พบว่าสัญญาณที่กรองออกไปมีรูปสัญญาณที่เรียบ แต่ยังมีการเลื่อนของเฟสเกิดขึ้น ดังนั้นแนวทางแก้ไขที่ดีที่สุดคือการออกแบบ Filter แบบ Equiripple ซึ่งมีคุณสมบัติ Linear Phase คือผลตอบสนอง (ขนาด) ความถี่เป็นสมมาตรกัน จะทำให้ไม่เกิดการเลื่อนของเฟสขึ้น

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

1. ศึกษาถึงสเปกของฮาร์ดแวร์ในกรณีที่ต้องการจะนำโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง
2. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถแปลงค่า s-Domain ให้เป็น z-Domain ได้โดยไม่ต้องใช้ MATLAB เข้ามาช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Data Acquisition in LabVIEW

และ

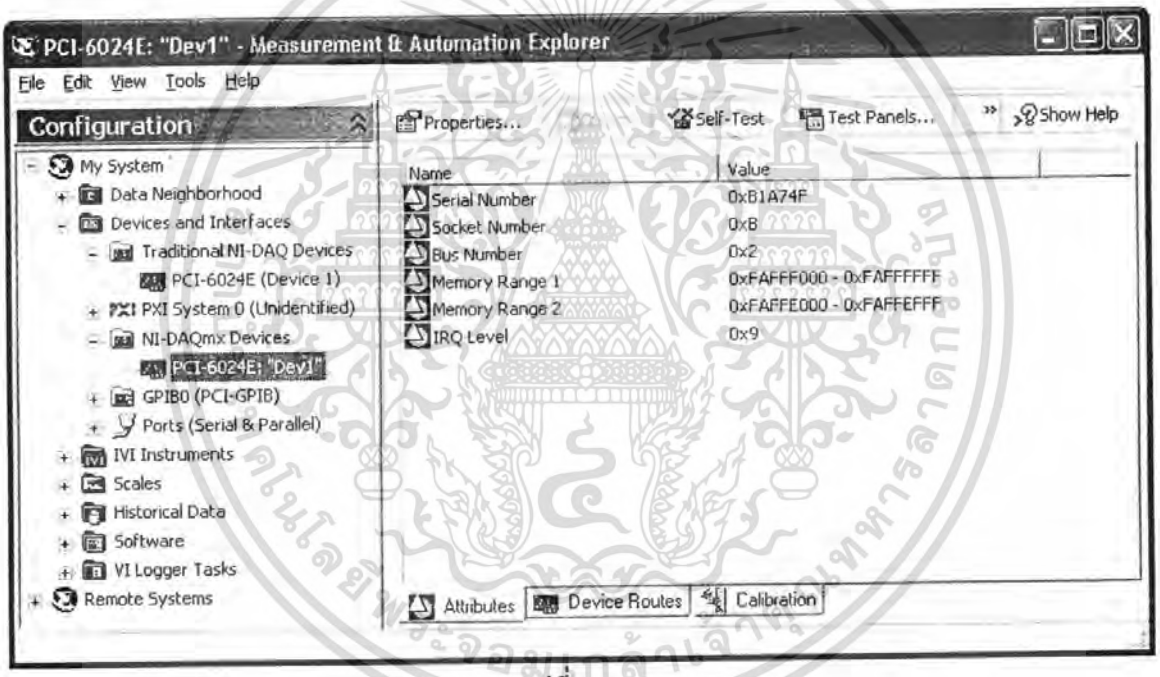
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Data Acquisition in LabVIEW

ใน LabVIEW ตั้งแต่เวอร์ชั่น 7.0 มีการเริ่มใช้ NI-DAQmx ซึ่งเป็น Driver ยุคใหม่ของ NI-DAQ ซึ่ง NI-DAQmx จะช่วยให้ใช้งาน Data Acquisition (วัดสัญญาณหรือสร้างสัญญาณทางฟิสิกส์ เช่น สัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ Computer) ได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น และจะมีโปรแกรมหนึ่งเรียกว่า Measurement and Automation Explorer หรือย่อ ๆ ว่า MAX สำหรับตรวจสอบ, Config และทดสอบสัญญาณที่ต่อเข้ากับ Channel ต่าง ๆ ของการ์ด DAQ รวมถึงการทำ Self Calibration ครั้งล่าสุด

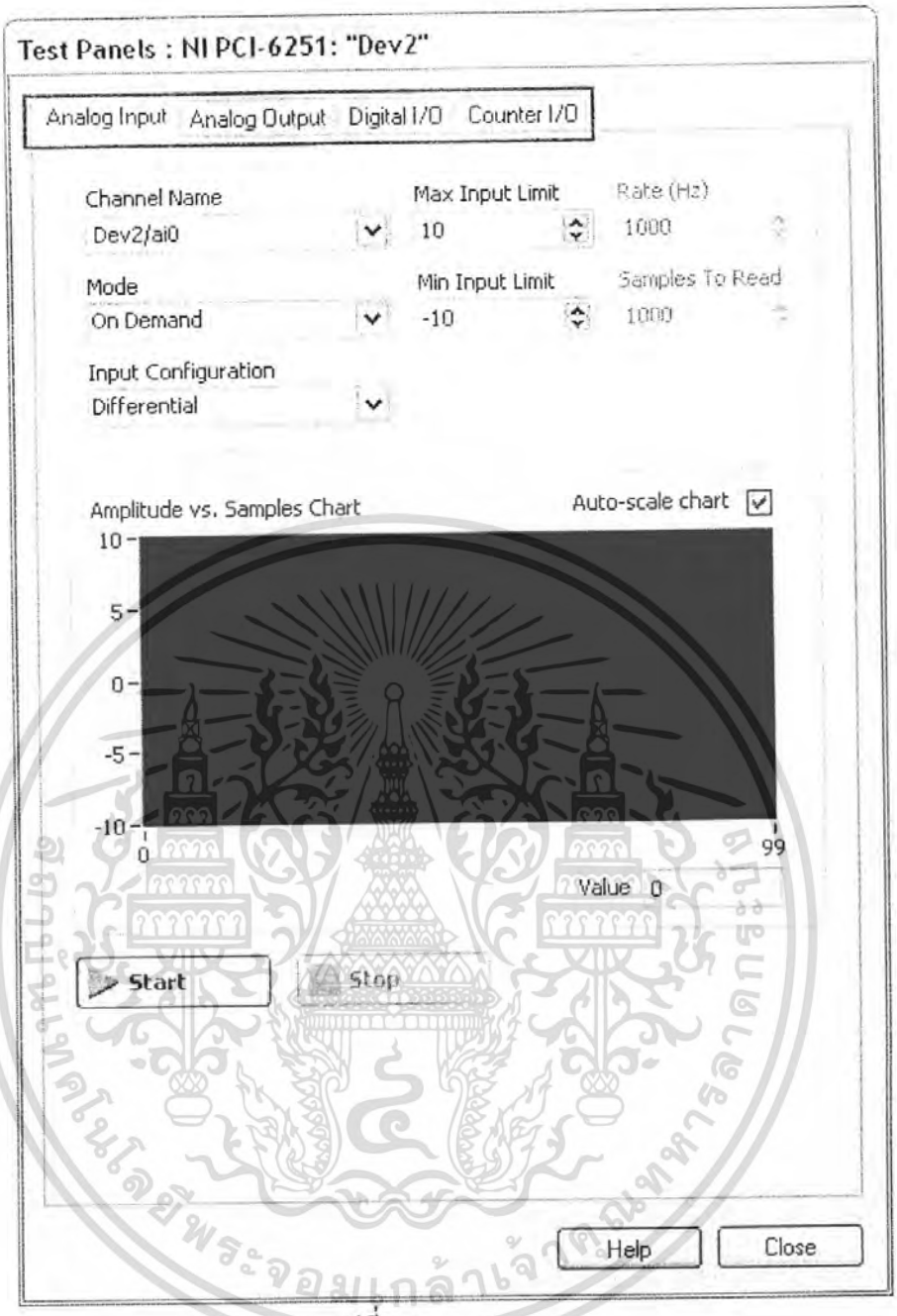


รูปที่ ก.1

ภายใน Devices and Interfaces จะแสดง DAQ การ์ดต่าง ๆ ของ NI ที่ได้ติดตั้งลงใน Computer ในการติดตั้งครั้งแรกถ้าการ์ดไม่แสดงขึ้นมาให้กด F5 หรือ Click ที่เมนู VIEW >> Refresh ถ้าทุกอย่างเป็นปกติ MAX จะแสดงการ์ดที่ติดตั้งขึ้นมาที่ Devices and Interfaces

MAX จะช่วยในการทดสอบสัญญาณที่ต่อเข้ากับ DAQ การ์ด โดย Click ที่ Test Panel MAX จะแสดงหน้าจอการทดสอบดังรูป

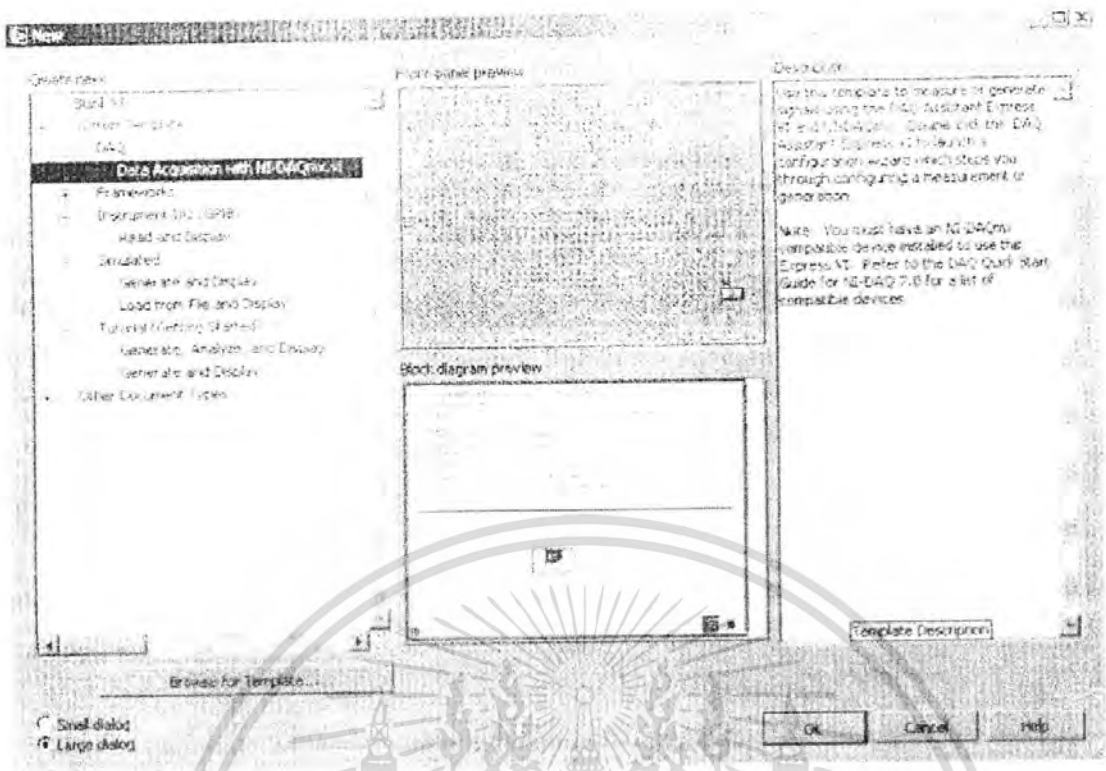
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2

เราสามารถเริ่มใช้งาน Data Acquisition กับโปรแกรม LabVIEW ได้โดยการเลือก Templates >> DAQ>>Data Acquisition with NI-DAQ-mx.vi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



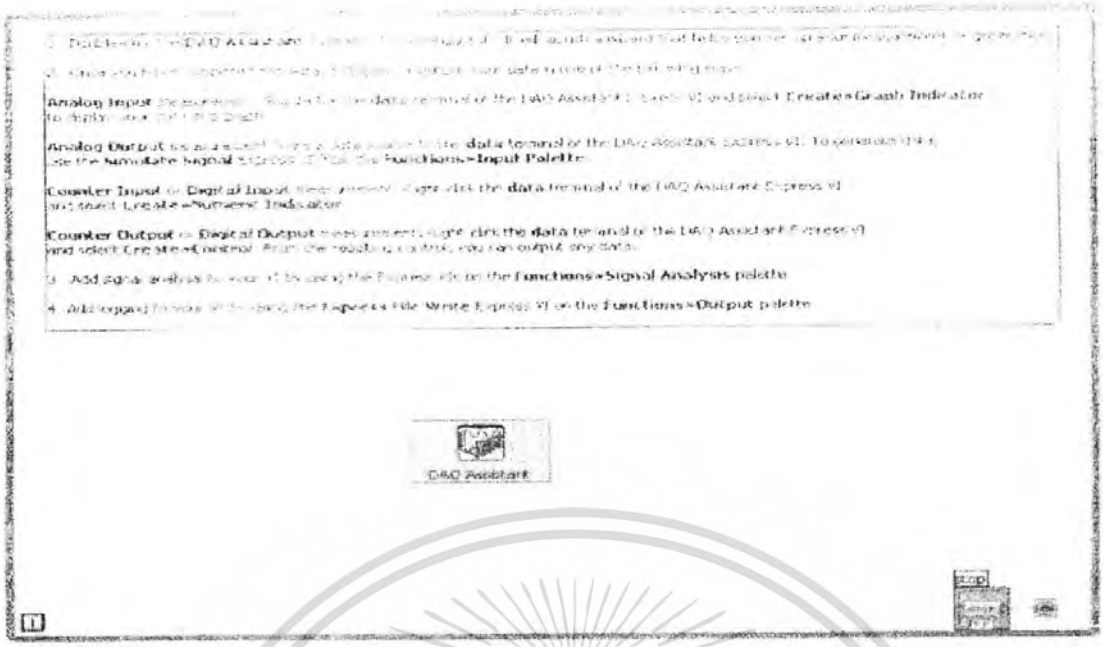
รูปที่ ก.3

ตัวอย่างการใช้งาน

ใช้งาน DAQ Assistance ในการจับสัญญาณ (Analog Input) และวิเคราะห์สัญญาณ (ต้องใช้ DAQ board ของ National Instruments)

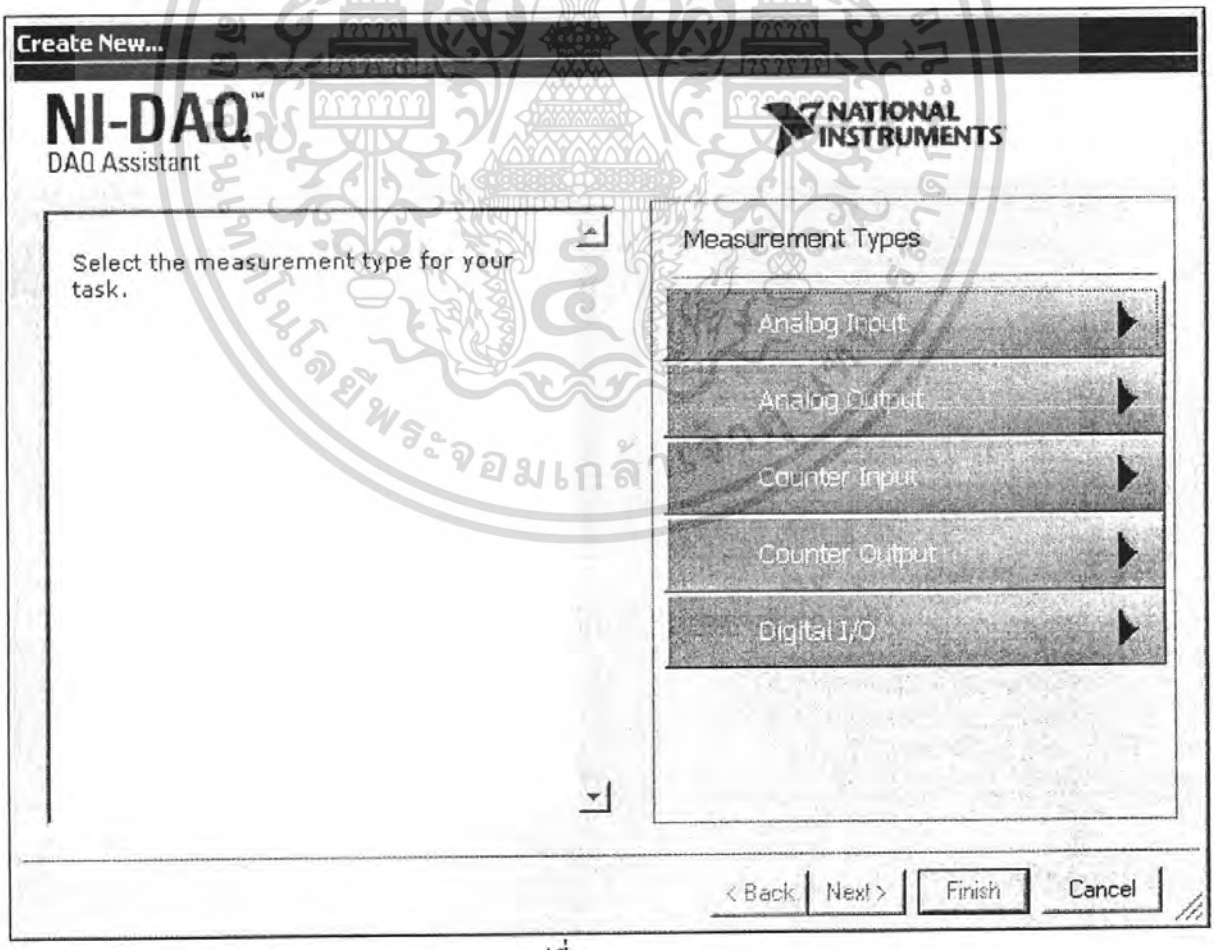
1. เริ่มสร้างโปรแกรมใหม่โดยเลือกจาก LabVIEW >> Templates >> Data Acquisition with Ni-DAQmx.vi จะเห็น Block Diagram ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4

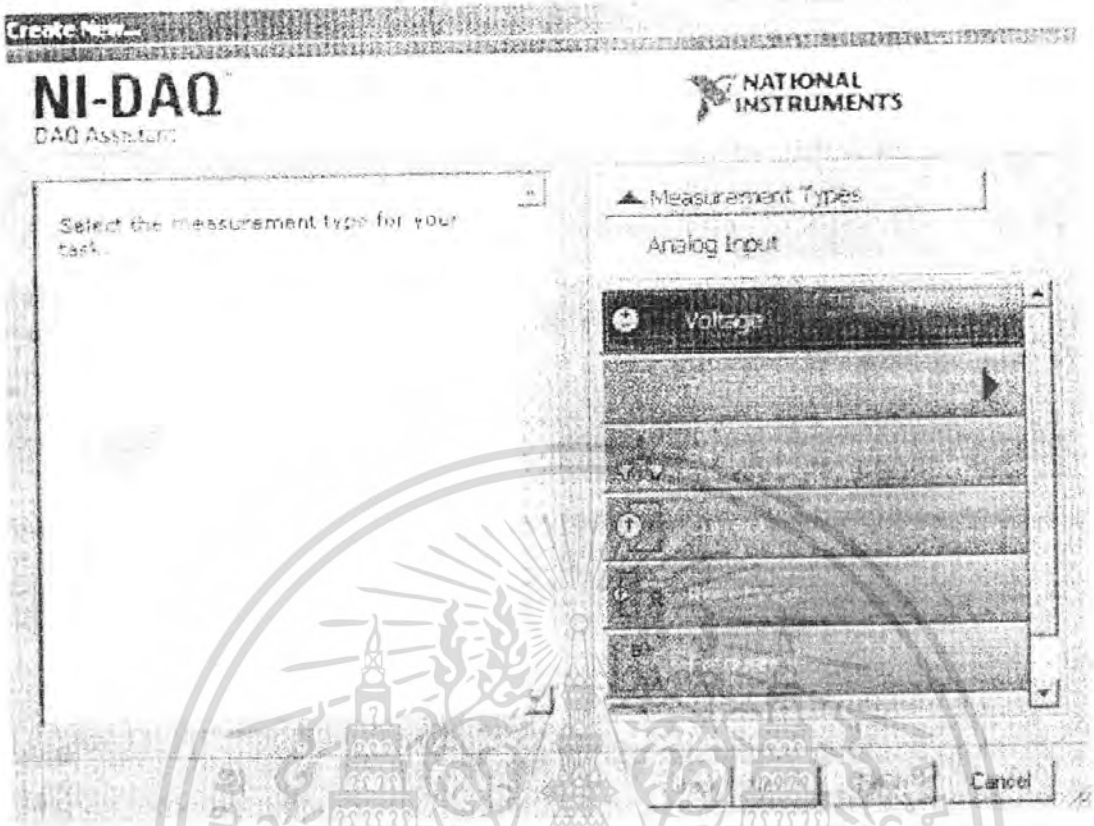
2. Double Click ที่ไอคอนDAQ Assistance เพื่อที่จะทำการ Config. Analog Input



รูปที่ ก.5

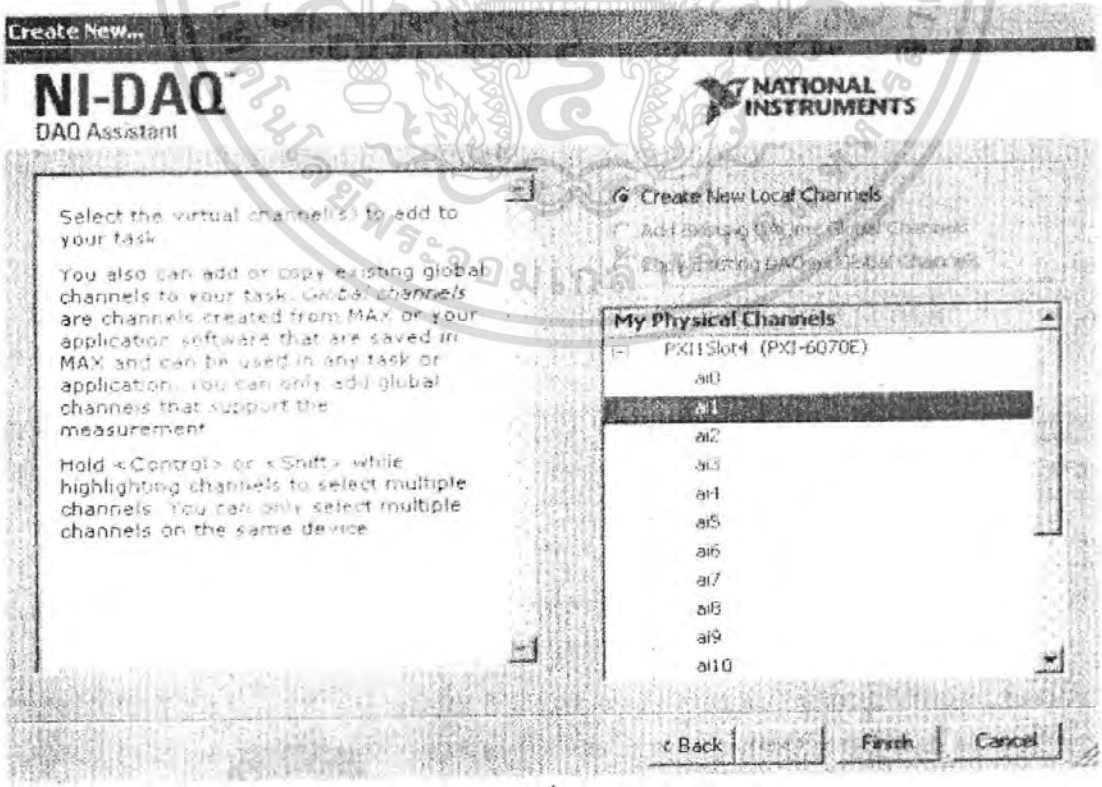
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือก Analog Input แล้วเลือก Voltage



รูปที่ ก.6

4. เลือกช่อง (Channel) ที่ได้ต่อสัญญาณไว้ เช่น ช่อง 1(ai1) แล้ว Click ที่ปุ่ม Finnish



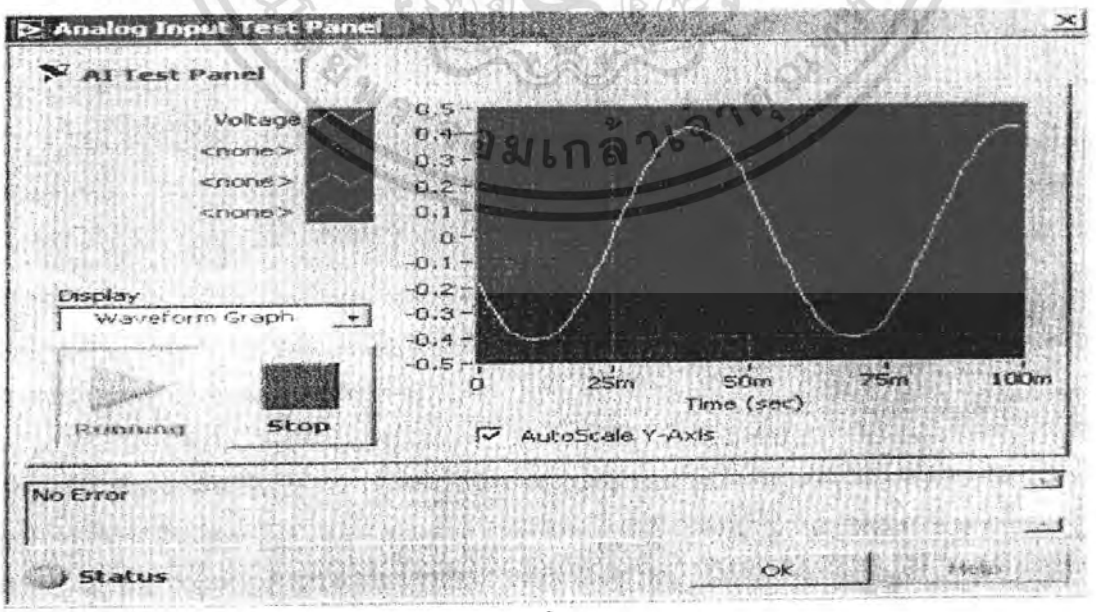
รูปที่ ก.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถ้ารู้ Input Range ของสัญญาณที่ต่อเข้ากับ DAQ การ์ด ให้ป้อนค่า MAX และ MIN เพื่อที่ DAQ Assistance จะปรับค่า GAIN ใน DAQ การ์ดอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ความละเอียดที่สูงสุด และจะนวน Samples ที่ต้องการ (Samples to Read) และความถี่ในการ Sample (Sampling Rate) ถ้าต้องระบุ วัดสัญญาณอย่างต่อเนื่องให้เลือก Acquire Continuously

รูปที่ ก.8

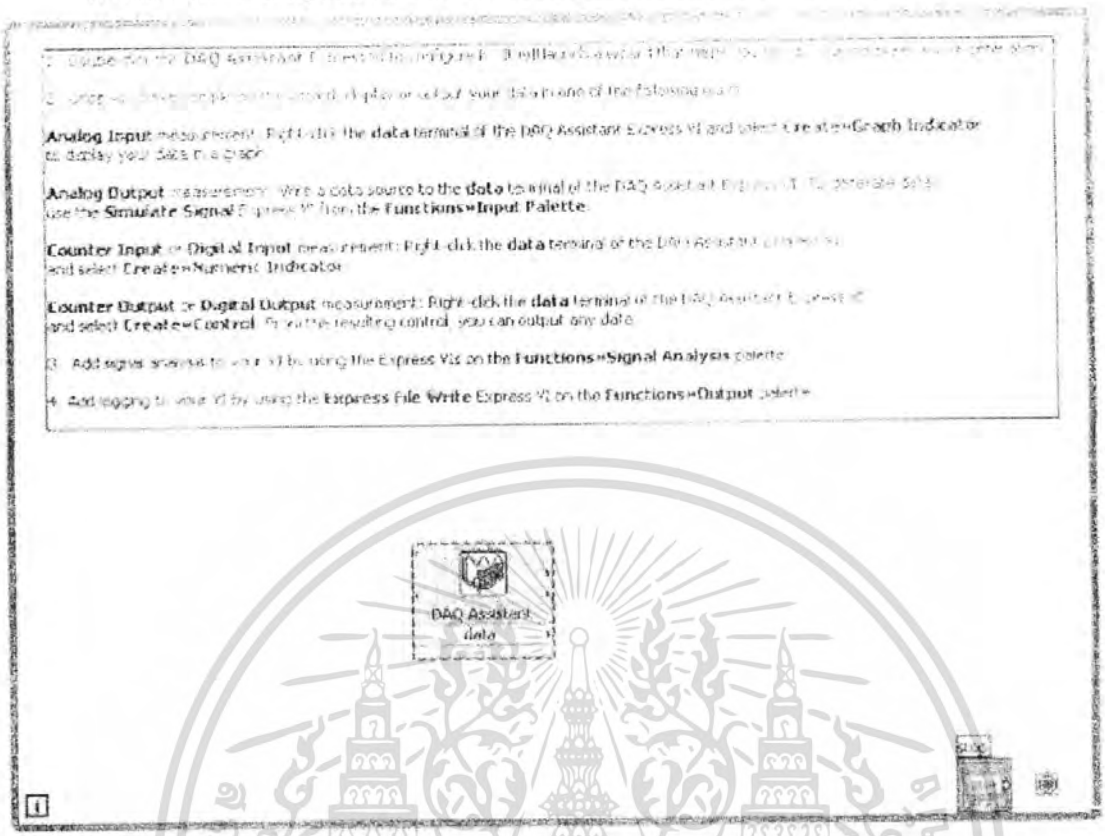
6. เลือก Test เพื่อทดสอบการวัดสัญญาร Click OK เพื่อกลับไปยัง DAQ Assistance



รูปที่ ก.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

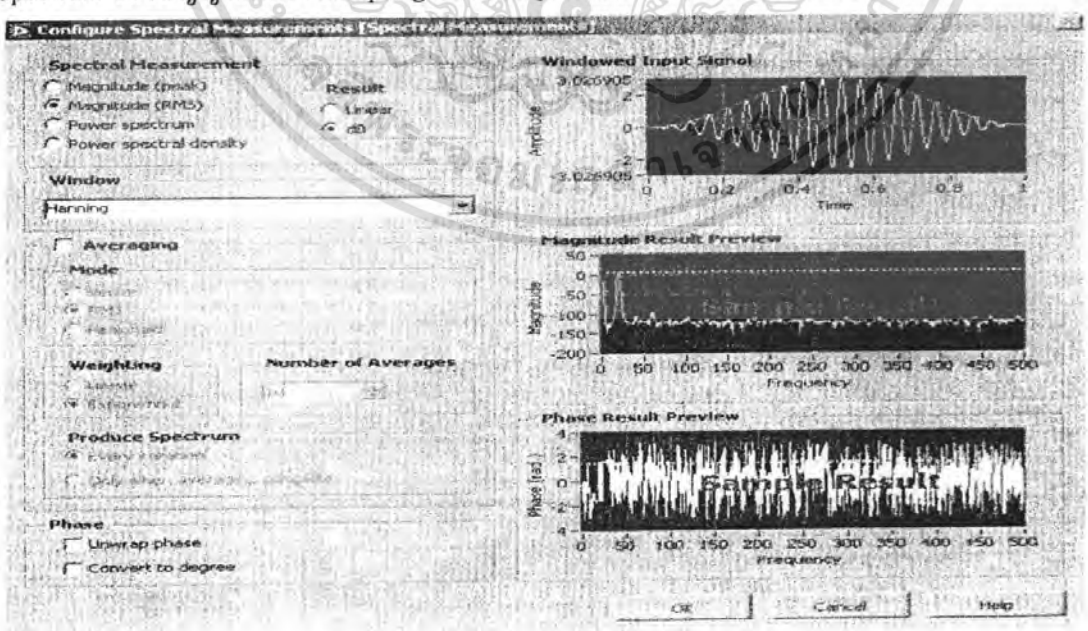
7. เลือก OK ที่ DAQ Assistance เพื่อเสร็จสิ้นการ Config จะได้โปรแกรมดังรูป



รูปที่ ก.10

8. เลือก Spectral Measurement แล้วนำมาวางข้าง DAQ Assistance

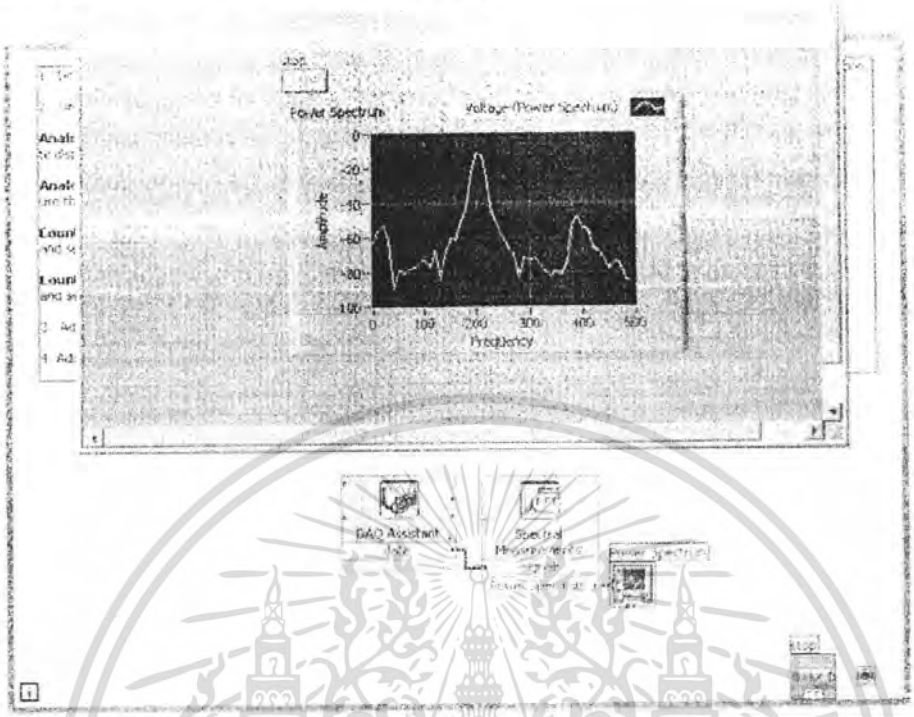
9. LabVIEW จะแสดง Window เพื่อทำการ Config ดังรูป เช่น ถ้าเราต้องการดู Power Spectrum ของสัญญาณที่เรา Sampling จาก DAQ Assistance จะเลือก Power Spectrum



รูปที่ ก.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

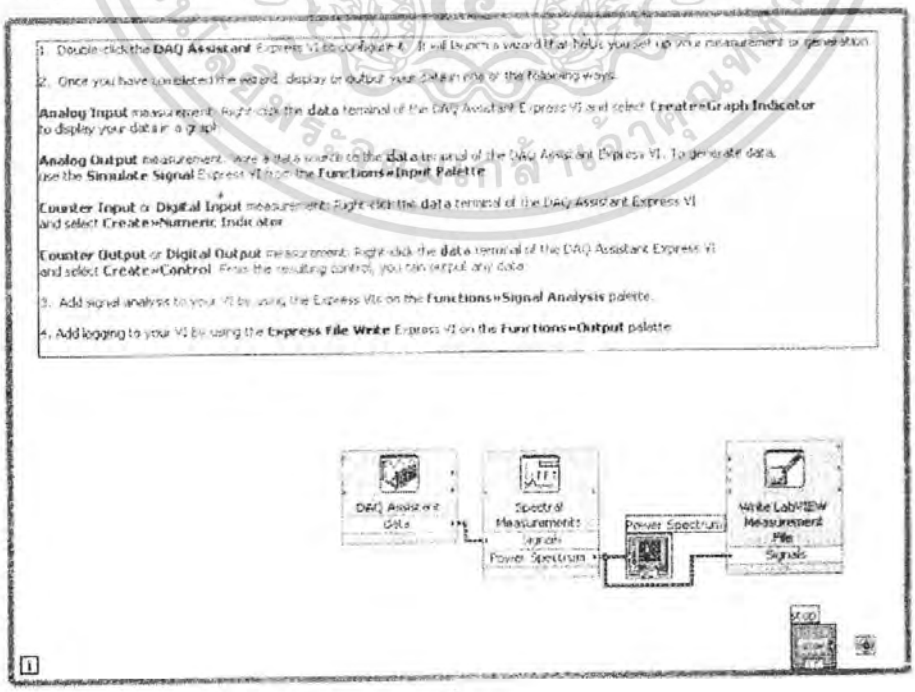
10. โยงสายเทอร์มินอล data ของ DAQ Assistance กับ Signals ของ Spectral Measurement แล้วสร้างกราฟขึ้นมาแสดงผล ผลที่ได้จะออกมาดังรูป



รูปที่ ก.12

11. หากต้องการเก็บข้อมูลลง File อาจทำข้อ 4 ที่ระบุใช้ใน While Loop คือเลือกฟังก์ชั่น Write LVM แล้วทำการ config

12. ทำการโยงสายสัญญาณที่ต้องการบันทึกลงไฟล์ เช่น อาจบันทึกข้อมูลของ Power Spectrum ดังรูป



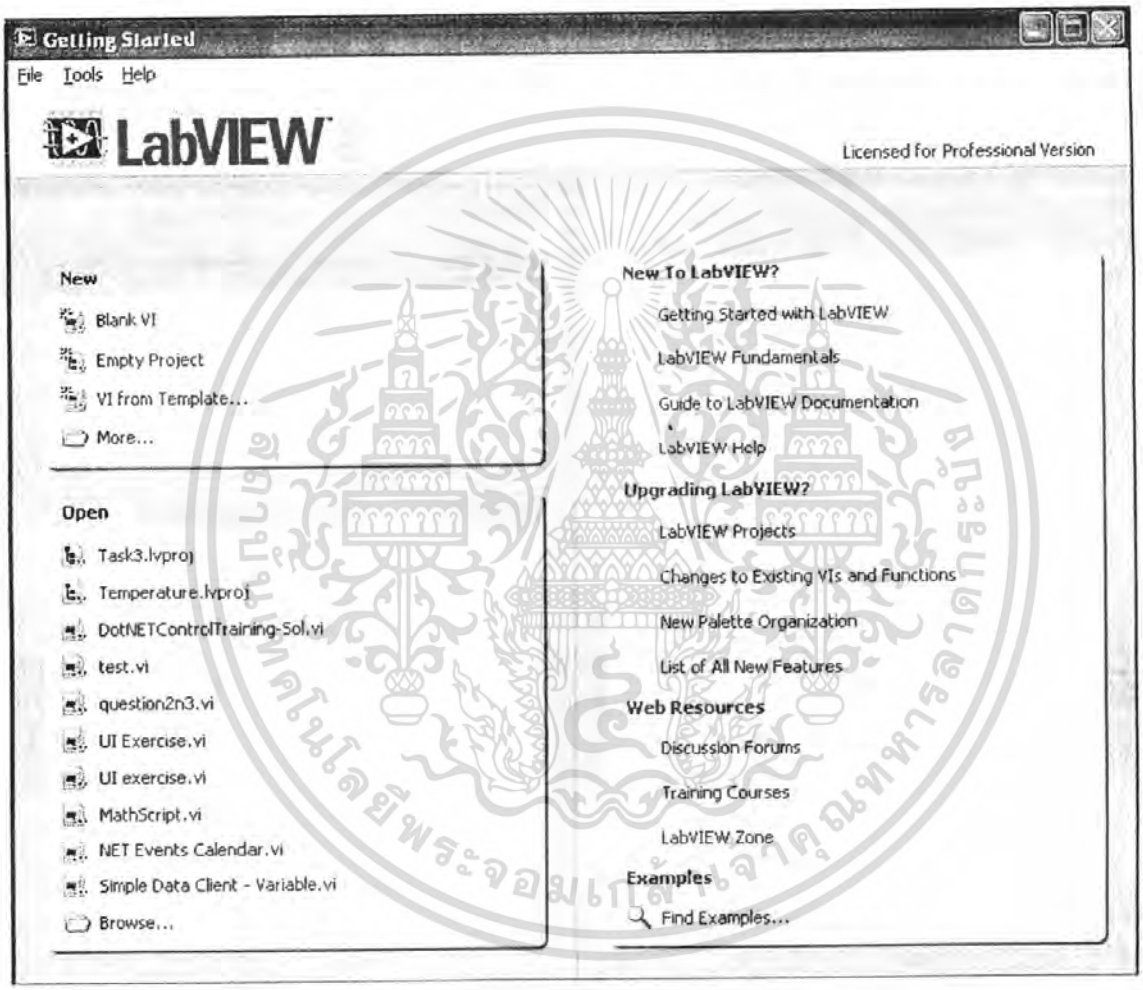
รูปที่ ก.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Exercise 2a: Data Acquisition in LabVIEW

In this exercise, you will use the DAQ Assistant to set up a channel and configure a virtual thermocouple measurement.

1. Click the **LabVIEW** icon on your desktop toolbar. If you already have a VI open, choose **File»Close** to return to the main LabVIEW start menu. A splash screen like the following appears.



ก.14

2. Create a new **Blank VI** from the LabVIEW splash screen.

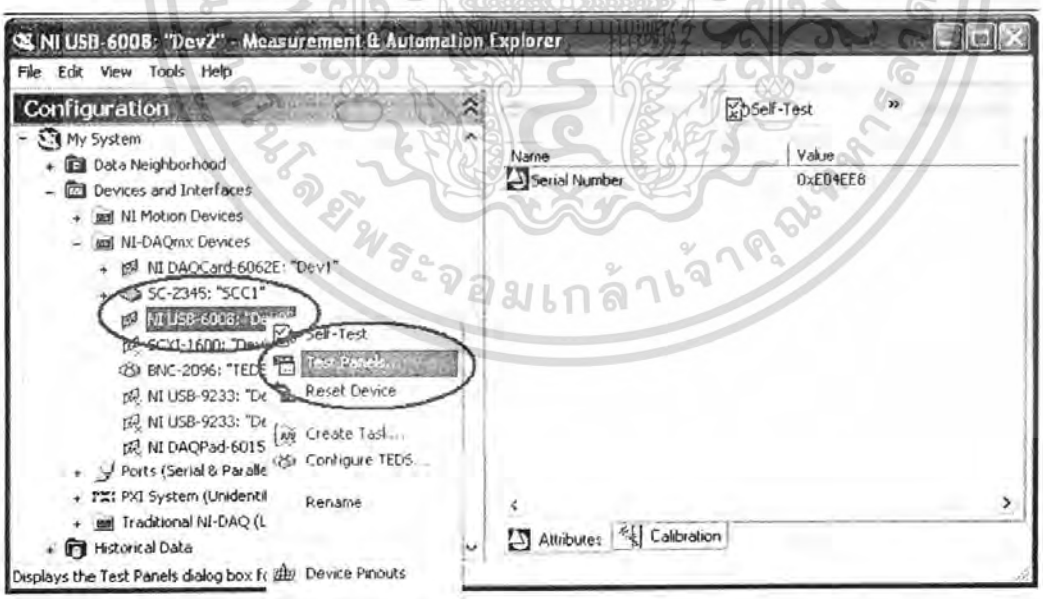
3. First we will examine Measurement & Automation Explorer (MAX). MAX allows you to test,troubleshoot, and verify installation of your National Instruments hardware without any programming. To open MAX, select **Tools»Measurement & Automation Explorer** from the menu bar in LabVIEW.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Double-click the icon on the left labeled **Devices and Interfaces**. This category contains all of the different devices and interfaces which you can currently communicate. Your device list should resemble the following screen.

ก.15

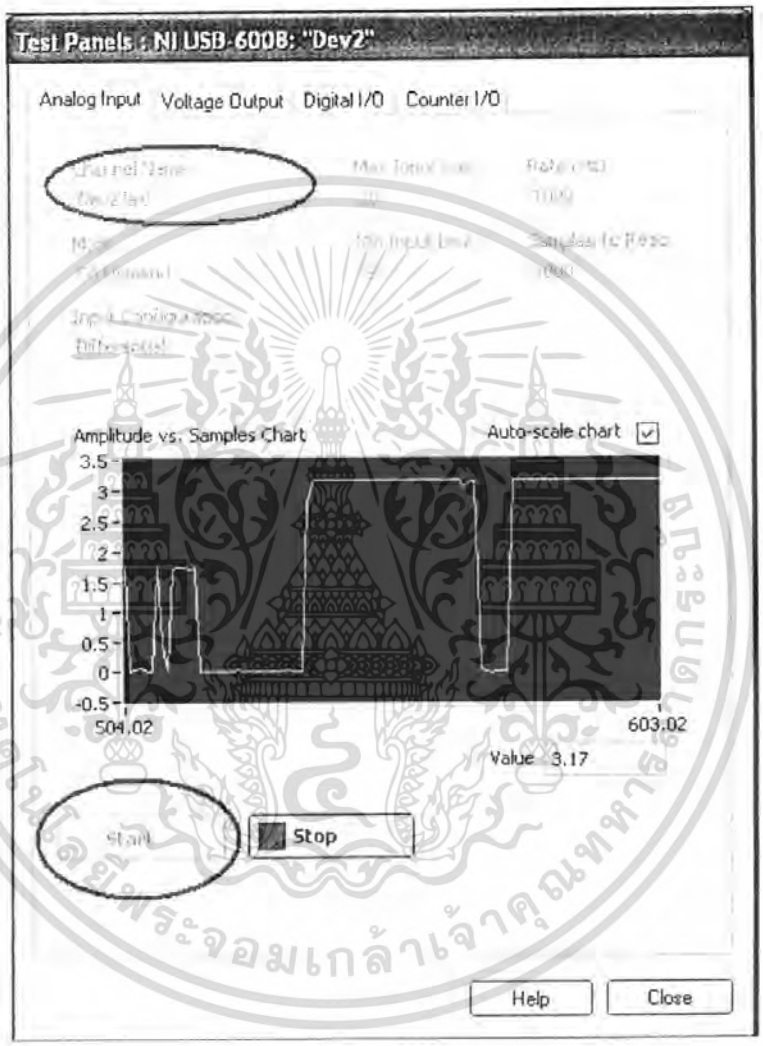
5. Click **NI-DAQmx Devices**. You will see a Data Acquisition (DAQ) card listed. The model should be etiher NI USB-6008 or NI USB-6009. If you do not see a DAQ card, select **View»Refresh** to have MAX search for the devices installed on your computer.
Right-click the DAQ card and select **Test Panels**. This will bring up a window that will allow you to perform the different data acquisition tasks that are available on your board.



ก.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Click on Start and you can see a real-time Chart of the signals read by the DAQ card's selected channel <Channel Name>. The USB-6008/9 has 8 Single Ended Channels for Voltage Input. If the <Input Configuration> you have chosen is Differential, the Single Ended Channels will be paired up. eg. <AI0-AI4> will form up <AI0+-AI0->, <AI1-AI5> will become <AI1+-AI1-> etc...



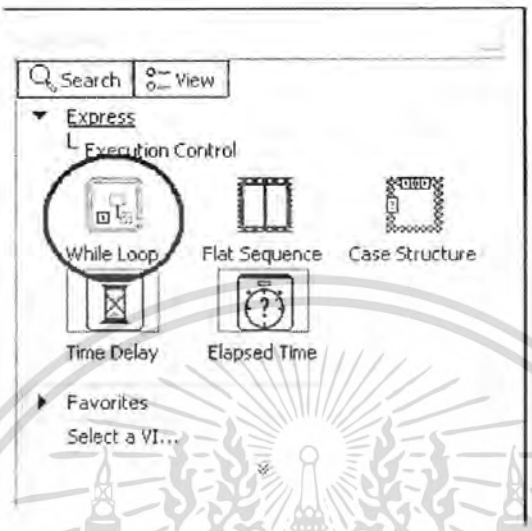
ก.17

7. You should see a straight line if the signal you want to measure is wired up correctly. You may want to try to 'tap' the wires on the connector instead of fastening it. In this case you will see something like the above screenshot because the USB-6008/9 is reading the signals in REAL-TIME. This shows the ability to use MAX as a troubleshooting and testing tool before you begin programming to ensure your hardware is set up properly.

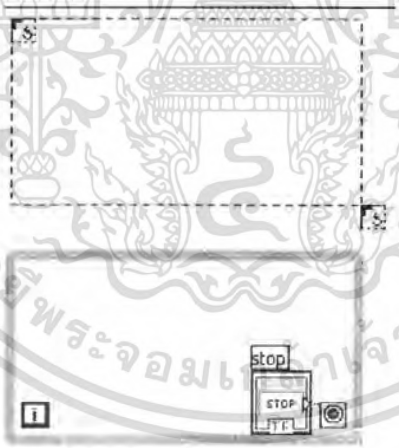
8. Click **Stop** on the Test Panel when you are finished. Close the Test Panel window and Measurement & Automation Explorer and return to the LabVIEW Block Diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Right-click the Block Diagram to bring up the functions palette. Place a While Loop on your Block Diagram by selecting **Express»Execution Control»While Loop**.



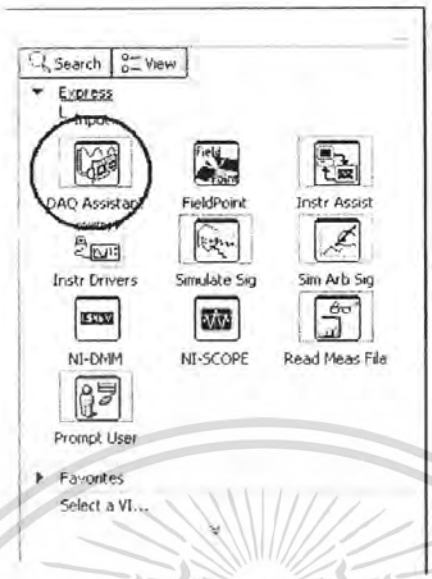
ก.18



ก.19

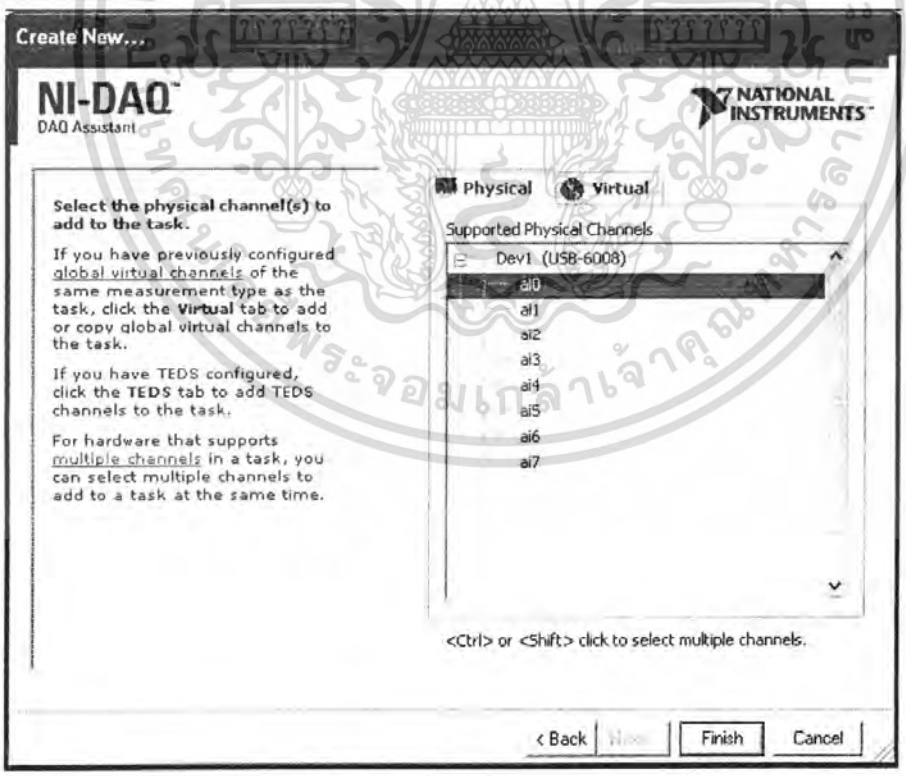
9. Place a **DAQ Assistant** Express VI inside your While Loop. This is located in the **Input** subpalette of the Functions palette.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.20

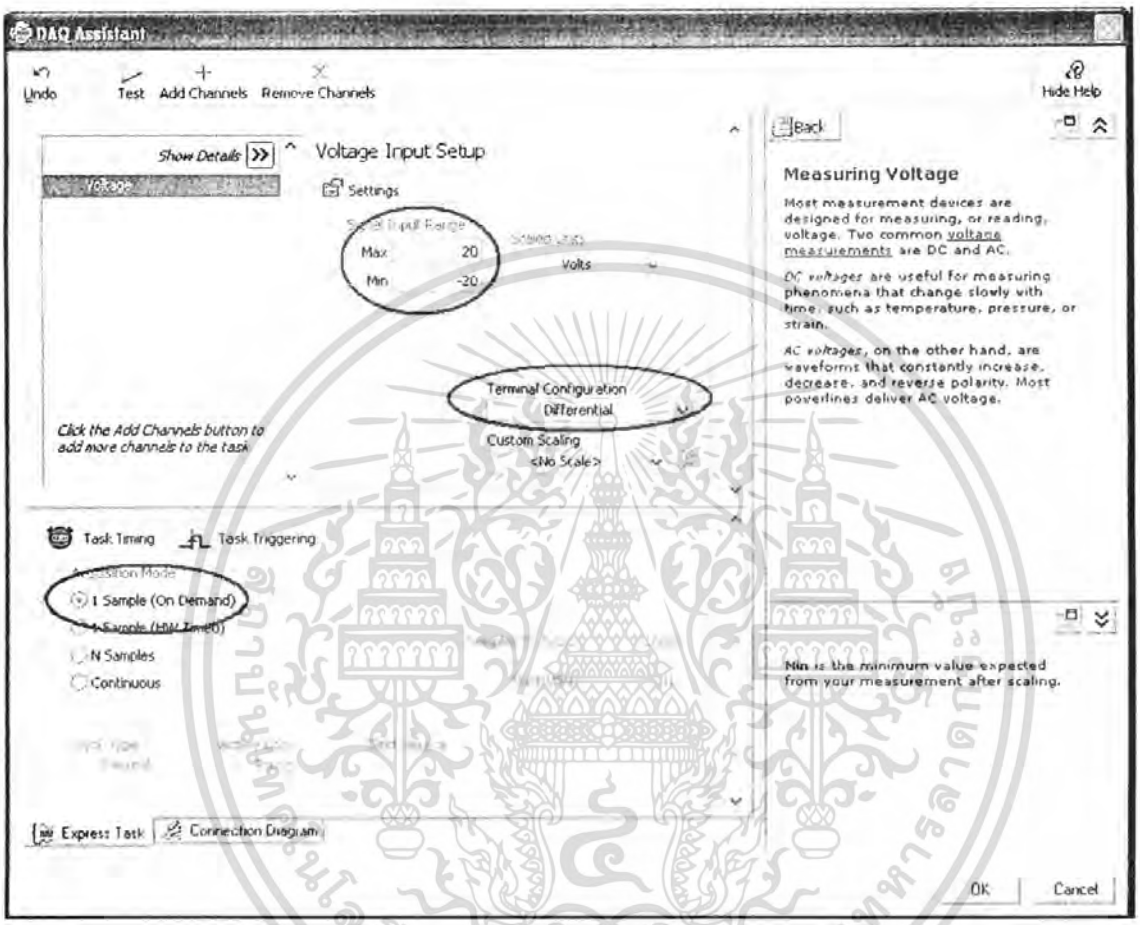
A configuration window should appear. Make the following selections.
Measurement Type: Analog Input»Voltage
Channel: Dev1 (USB-6008 or USB-6009)»ai0
Click **Finish**



ก.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Another configuration window will appear. Make the following selections and click **OK**. **Task Timing**: Acquisition Mode: 1 Sample (On Demand) You may also change the Signal Input Range or Terminal Configuration here.



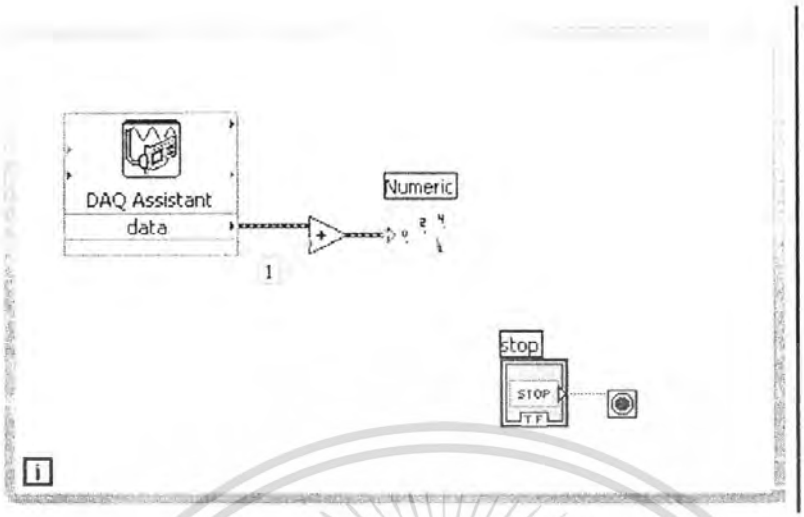
ก.22

11. Add the following elements to the block diagram:
11a. Put a **ADD** function (**Express>>Arithmetic & Comparison >> Numeric**) on the block diagram. You may in future use any other type of function depending on your application.
11b. Put a **Numeric Constant** (**Express>>Arithmetic & Comparison >> Numeric**) on the block diagram. Double click on the numeric constant and change the value to 1. We are now adding in a software OFFSET of 1V (just to do some simple arithmetic on the original voltage)

11c. Right click on the output terminal of the ADD function and choose **Create >> Numeric Indicator**.

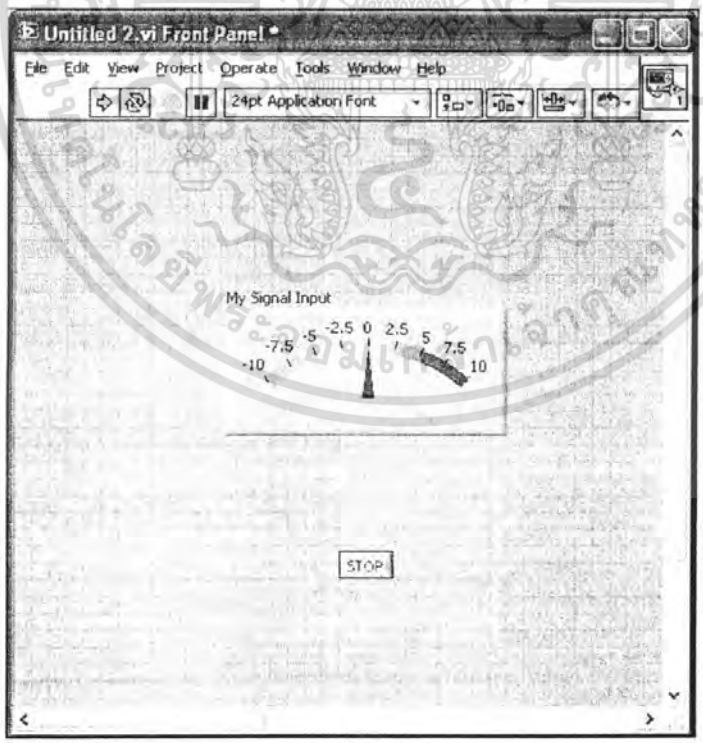
12. Position and wire the elements to resemble the following:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.23

13. Rather than displaying our data in a numeric indicator, we want to display our temperature readings in a thermometer indicator. To do this, go to the Front Panel by pressing <Ctrl-E>. Right-click the graph indicator and select **Replace**. The Controls palette will appear. Select **Express»Numeric Indicators» Meter**. The Meter indicator should now appear instead of the normal numerical indicator.

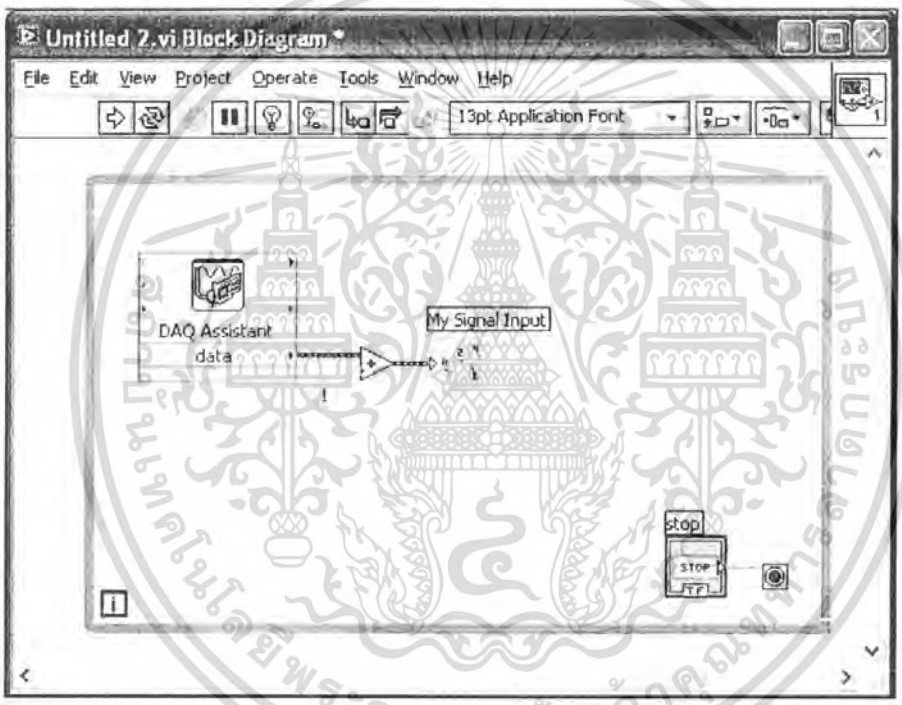


ก.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. Modify the Meter indicator by right-clicking it and selecting **Properties**. On the Appearance Tab, change the **Label** to **My Signal Input**. On the Scale tab, change the **Minimum** to **-10** and the **Maximum** to **10**.
Click **OK** when you are finished.

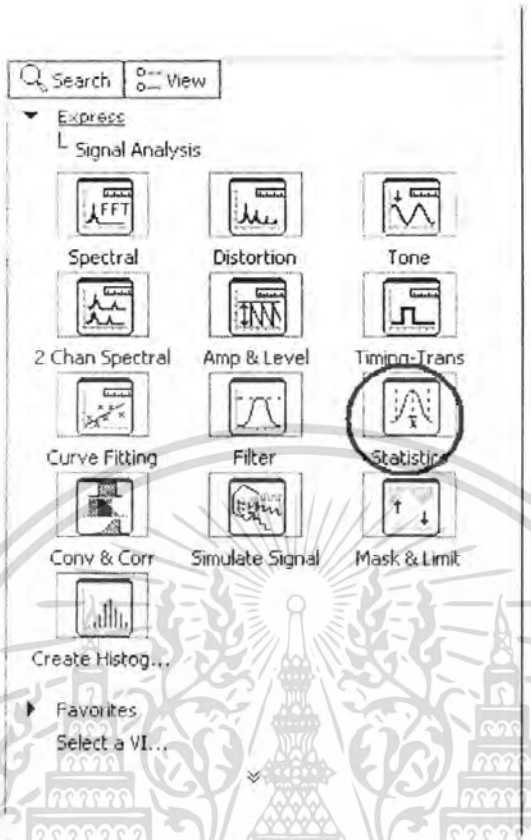
15. Switch to the Block Diagram by pressing <Ctrl-E>. Your Block Diagram should now resemble the following illustration. We have just set the My Signal Input to be equivalent to the voltage of the signal which we are trying to measure and added in a fix offset of 1. This offset of course is NOT really required. The purpose of the offset in this exercise is to show you that you can perform any arithmetic function on the original signal you are trying to measure.



ก.25

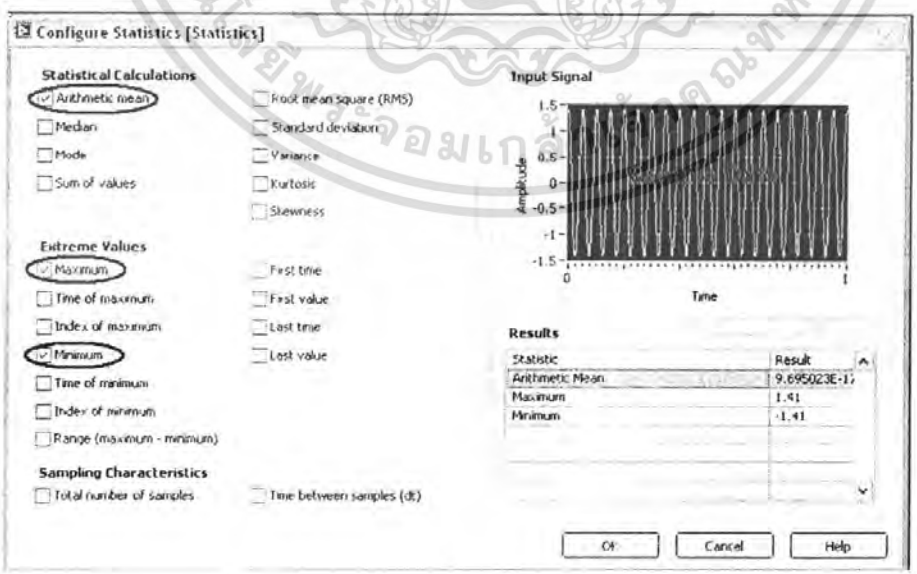
16. To perform analysis on your data, select the **Statistics** Express VI from the **Express>>Signal Analysis** subpalette of the Functions palette and place it on your Block Diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.26

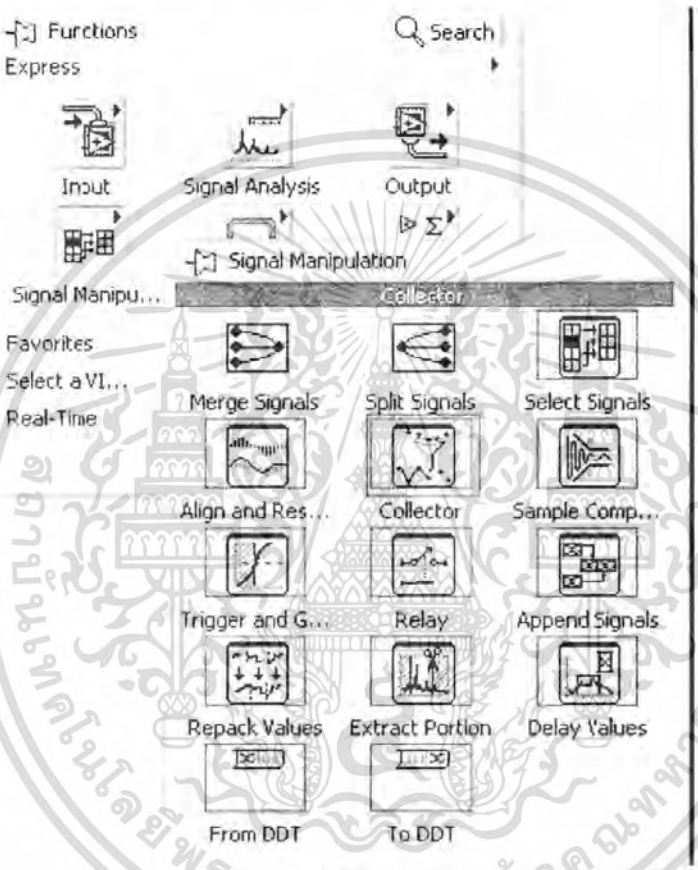
A properties window will appear. Make the following selections and click **OK**.
Statistical Calculations: Arithmetic Mean
Extreme Values: Maximum, Minimum



ก.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. Currently you are collecting one temperature reading each time the While Loop executes. To calculate the average, maximum, and minimum of 100 measurements, place the **Collector** Express VI, located on the **Functions»Express»Signal Manipulation** palette, on the Block Diagram. This Express VI creates an internal buffer to store the individual data points. When the maximum number of inputs is collected, the Express VI discards the oldest points and adds the newest points.



ก.28

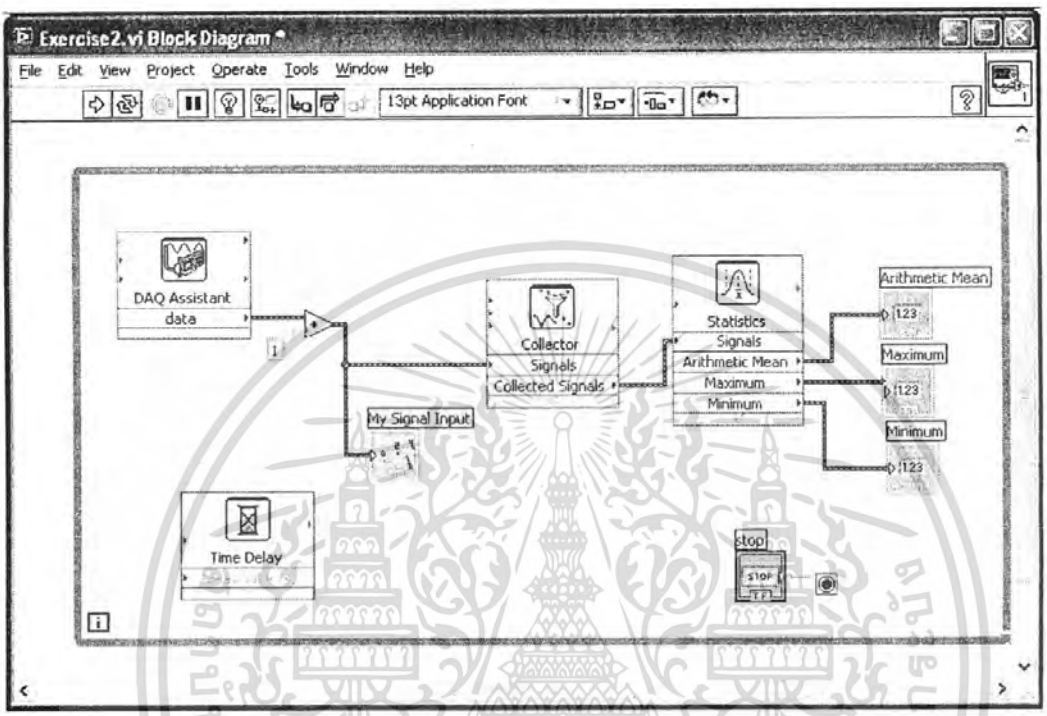
18. In the **Configure Collector** dialog box that appears, set the **Maximum number of samples** to `100`. Click the **OK** button to close the dialog box.

19. Place the **Time Delay** Express VI, located on the **Functions»Express»Execution Control** palette, on the Block Diagram. In the **Configure Time Delay** dialog box that appears, type 0.5 and click **OK** to close the dialog box. This will cause the loop to execute every 500 ms.

20. Make your Block Diagram resemble the following by completing the following steps.
a. Wire the data output of the multiply VI to the Signals input of the Collector VI.
b. Wire the Collected Signals output of the Collector VI to the Signals input of the Statistics VI.

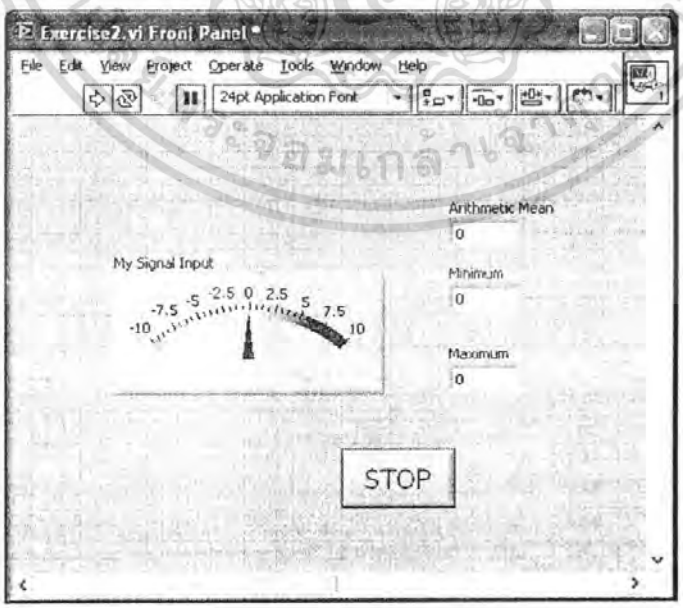
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c. Right-click the Arithmetic Mean output of the Statistics VI and select **Create»Numeric Indicator**. This will create a numeric indicator on the Front Panel that will display the Arithmetic mean. Repeat this step for both the Maximum and Minimum outputs of the Statistics VI.



ก.29

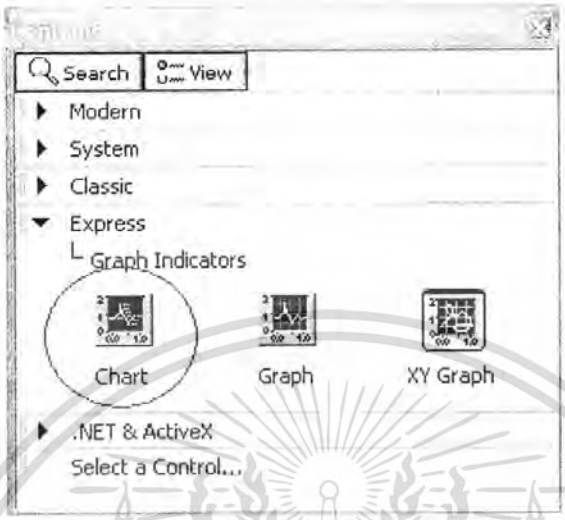
21. Switch to the Front Panel and rearrange your controls and indicators to resemble the following.



ก.30

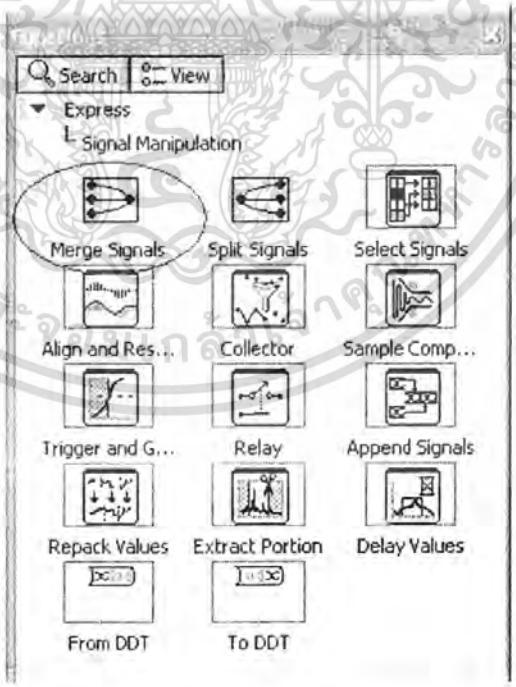
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. Add a waveform chart to the front panel. Right click on the front panel and select the **Waveform Chart** under **Express»Graph Indicators»Chart** and put in on the front panel.



ก.31

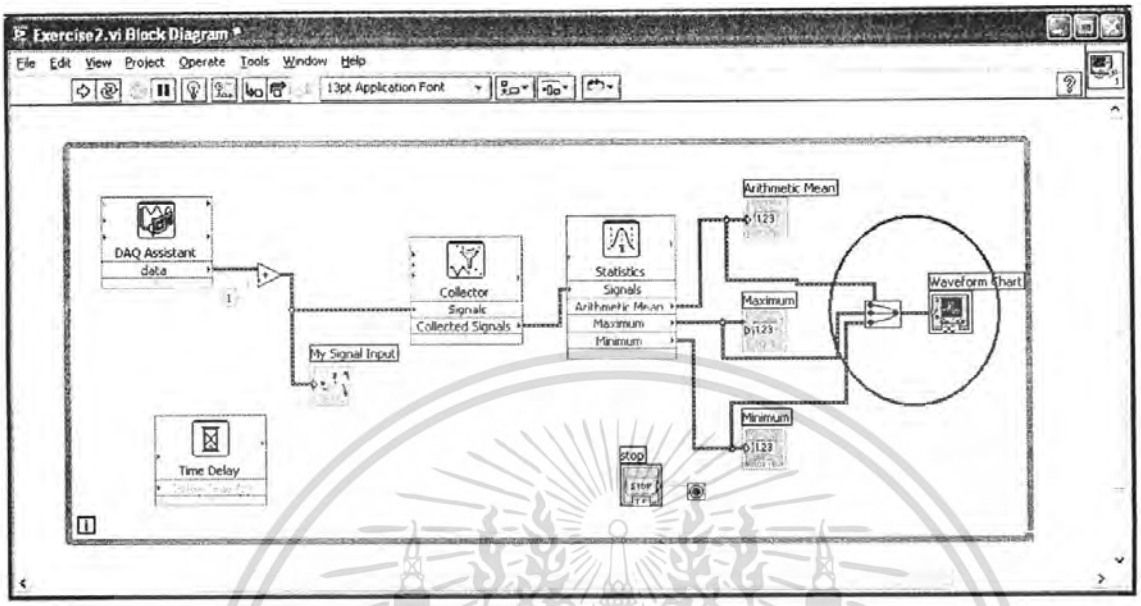
23. Switch to the block. Right click on the block diagram and select the **Merge Signals** under **Express»Signal Manipulation.** Once you drop it to the block diagram, resize the Merge Signals to merge 3 signals.



ก.32

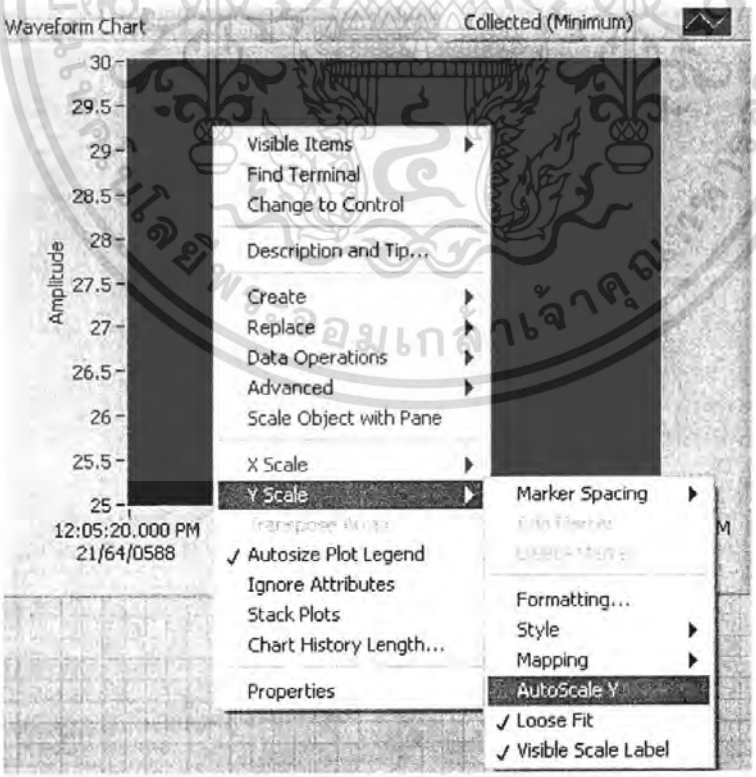
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. Make the following connections.



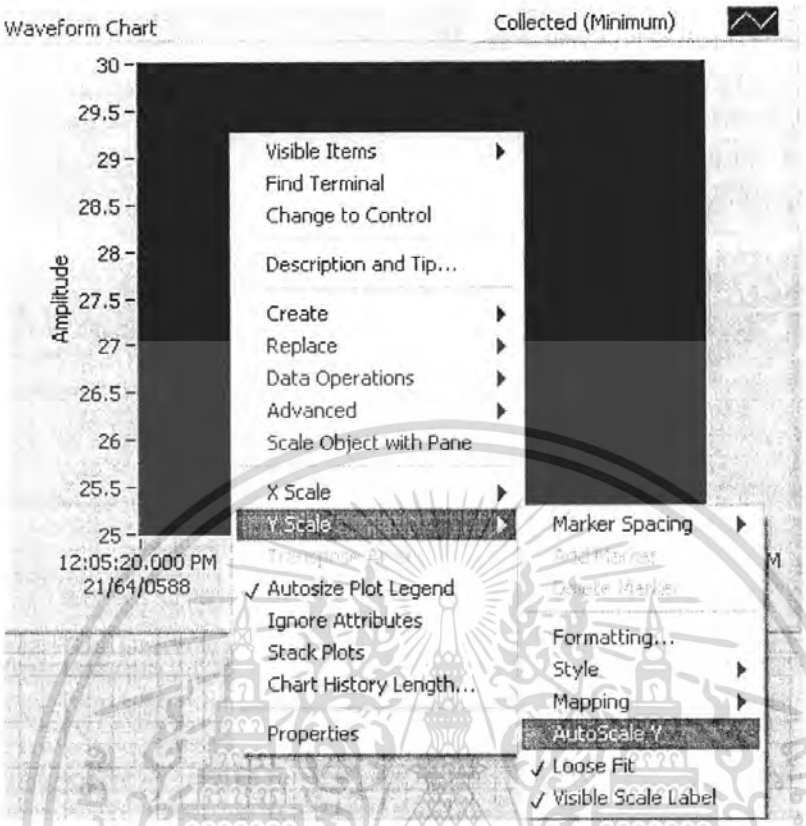
ก.33

25. Switch to the front panel by pressing <CTRL-E>, right-click on the Chart and make sure AutoScale Y is unchecked. Change the Y scale of the chart to a minimum of **-10** and maximum of **10**.



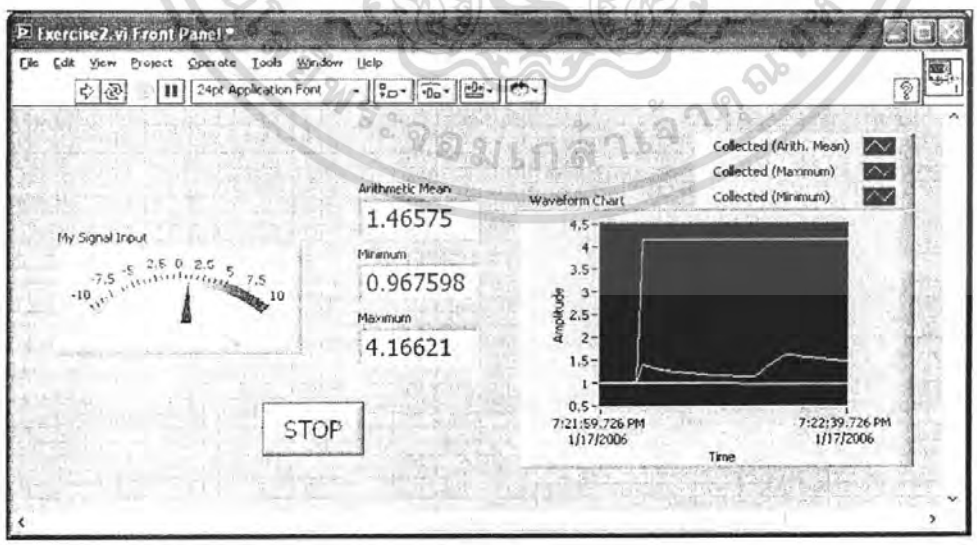
ก.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.34

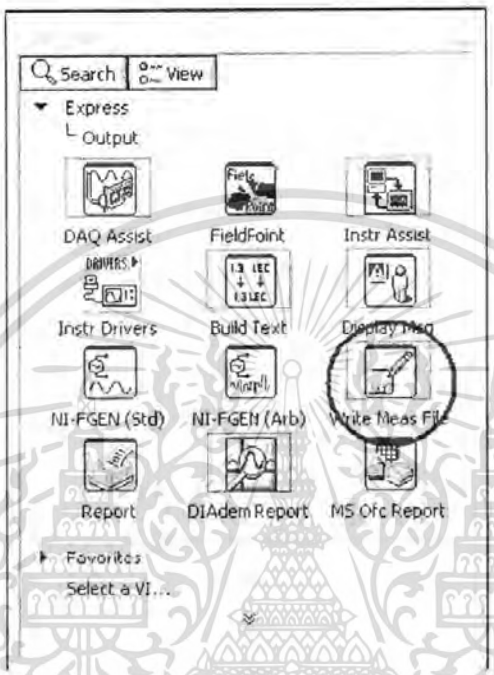
26. Run the VI. The front panel should look something like the following. To make the signal noisy you may want to fiddle with the connection to the signal. If the signal is fastened properly to the USB- 6008/9, all your signals should be flat. Notice the Offset of 1V (remember our software offset?)



ก.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

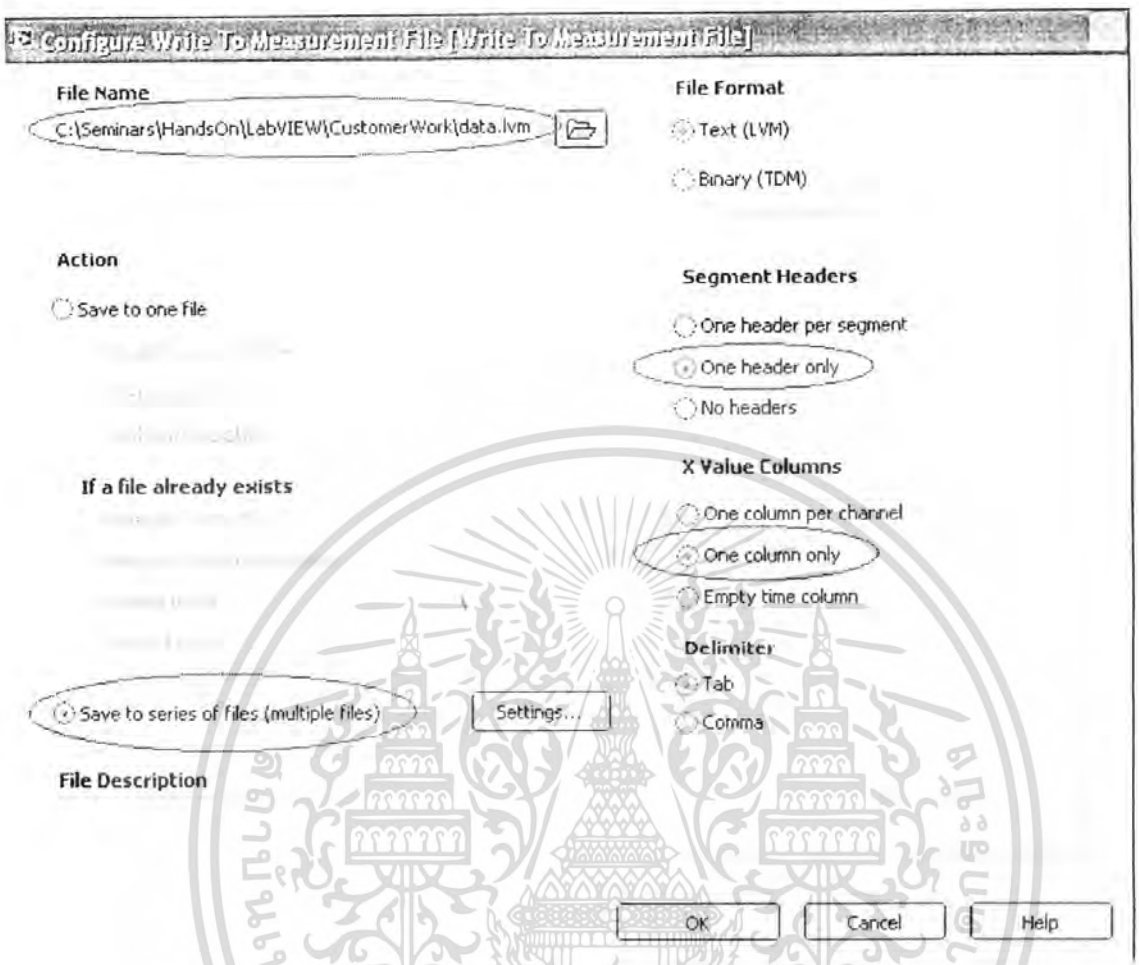
27. Save the VI in the `C:\Seminars\HandsOn\LabVIEW\CustomerWork` folder by using the Filemenu and name it `Exercise2.vi`.
28. Click the **STOP** button on the Front Panel.
29. Right-click on the block diagram and select **Express» Output» Write to Measurement File** and place it inside the While Loop on the block diagram



ก.36

30. A configuration window will appear. Enter the following parameters and click **OK.**

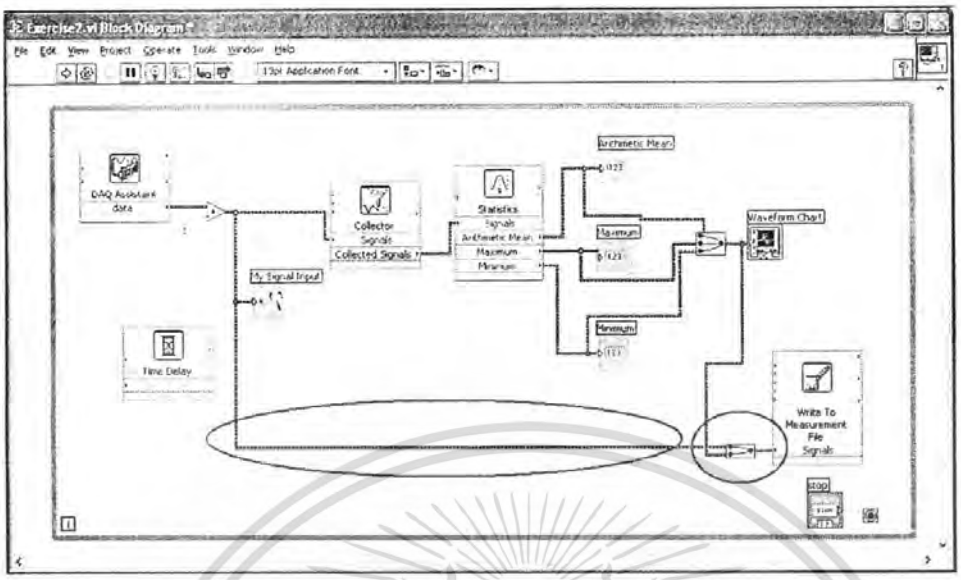
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.37

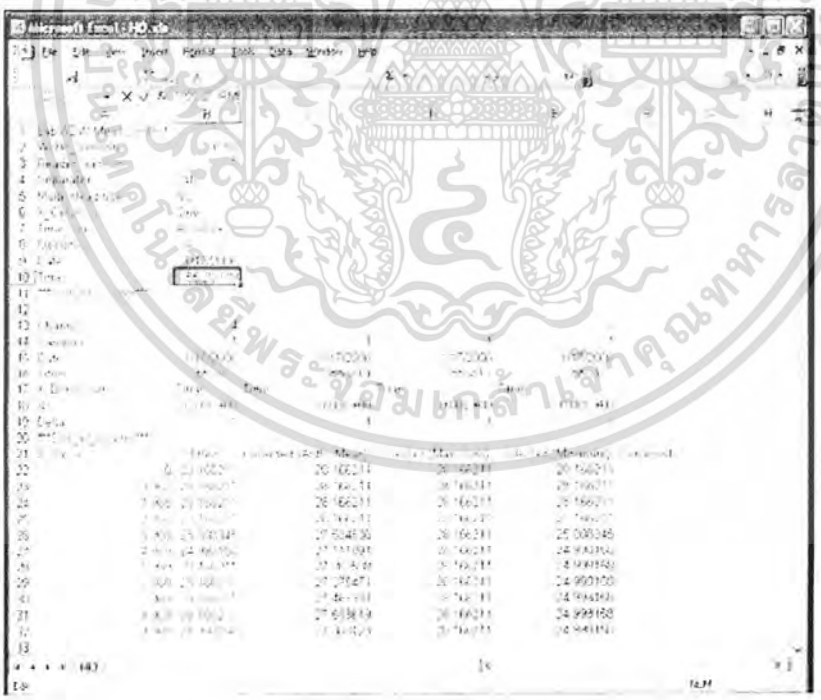
31. Make the following connections. Note that there will be 4 signals saved to the file. The 1st channel to save to file is from the USB-6008/9 channel 0 and the 2nd channel to save is a combination of 3 channels consisting of Mean, Max and Min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.38

32. Run the VI momentarily and Stop it. Browse to the path that you have set earlier and open the file with a spreadsheet program (eg. Microsoft Excel). You should see properly time-stamped data. Your data should correspond to the data that you have logged earlier.



ก.39

33. Save your VI.

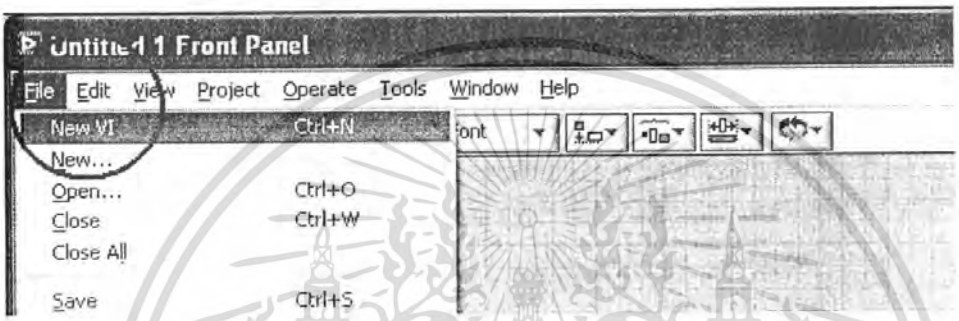
End of Exercise 2a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Exercise 2b: High Speed Data Acquisition in LabVIEW

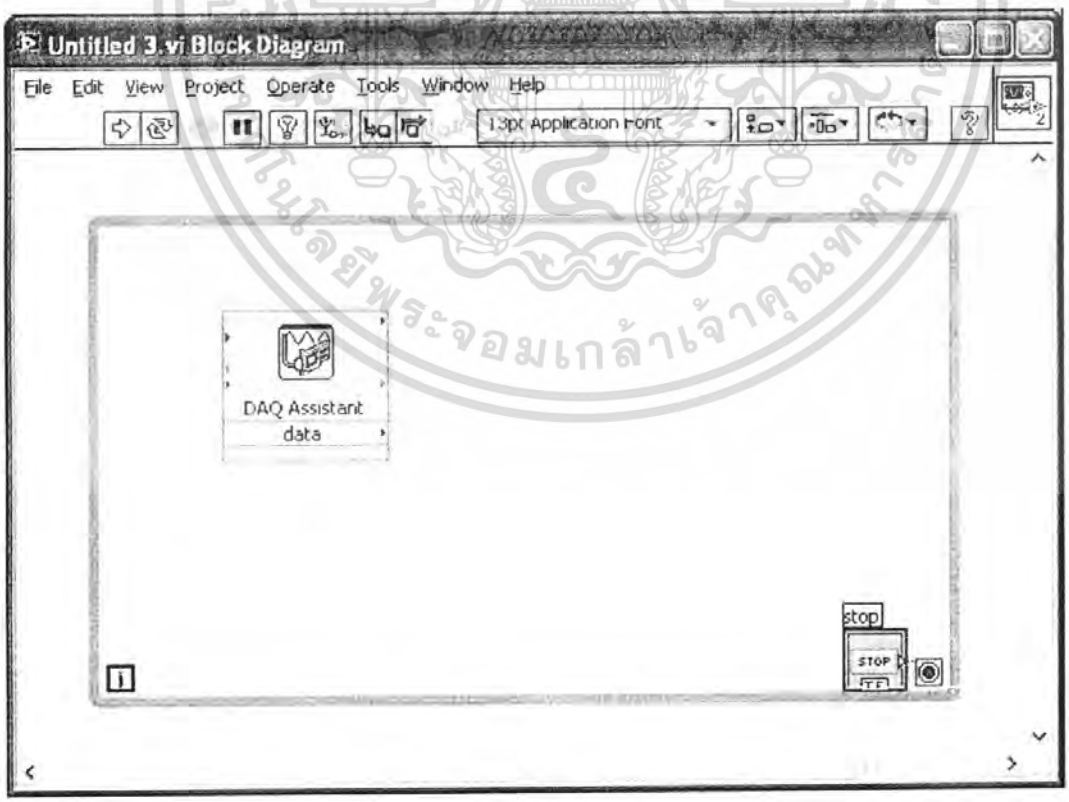
In the previous exercise, our sampling rate is only 2Hz because we have chosen a delay of 500ms in the loop. We will now attempt to sample at a higher rate of 10kHz. The USB-6009 can go up to 48kHz on 1 hannel. For multiplex samples, you will have to divide by the number of channels you have selected.

1. Start a brand new VI by going to the Menu and Clicking on File>>New VI.



ก.40

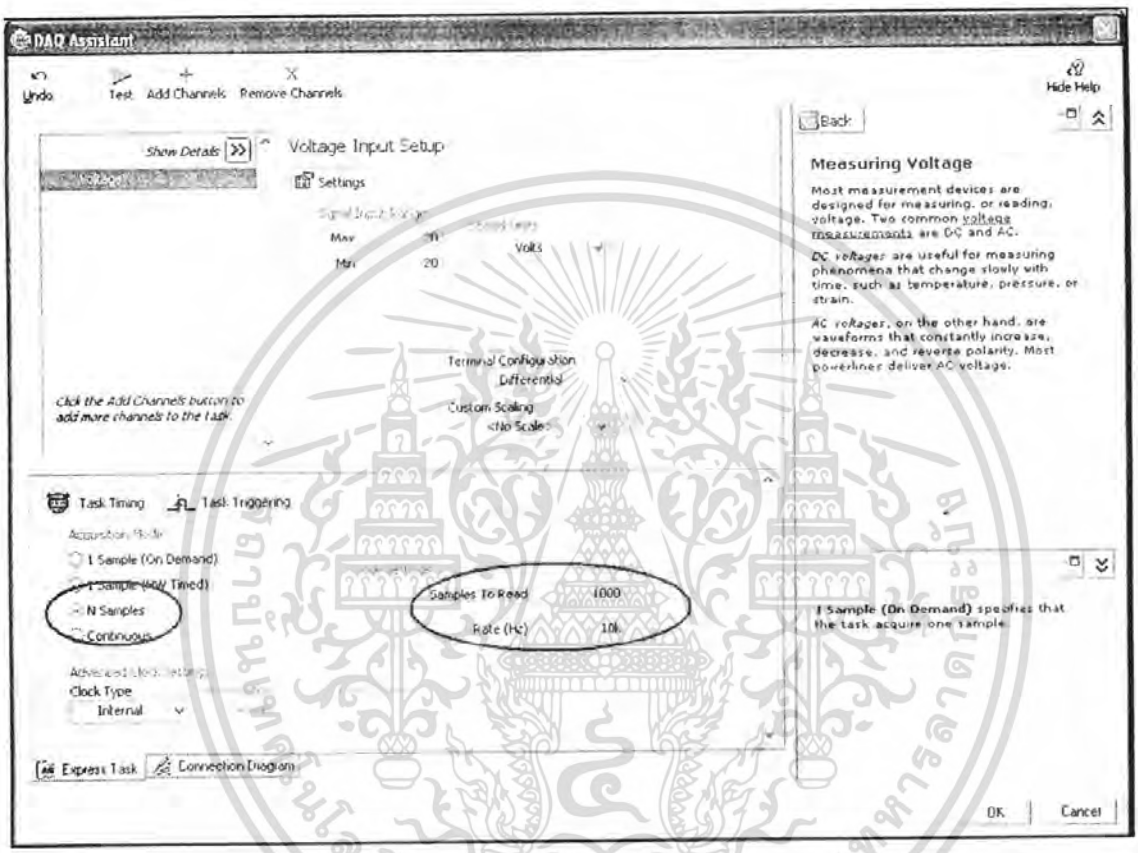
2. Build the following Block Diagram.



ก.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

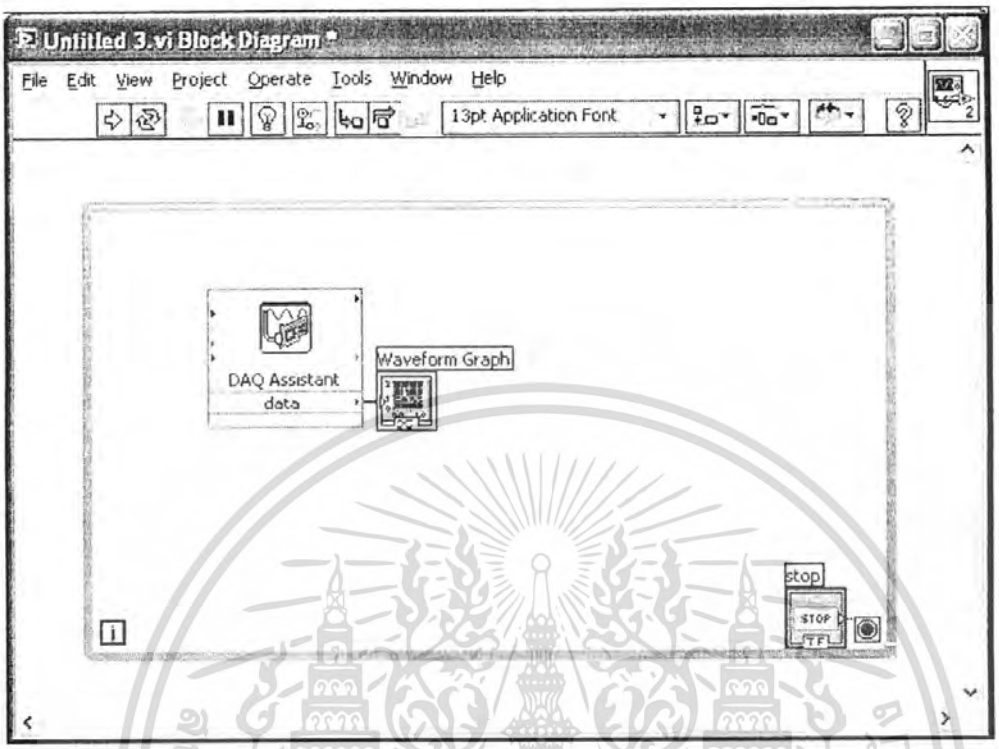
3. This time for the DAQ Assistant, use these settings instead.
Acquisition Mode : N Samples
Clock Settings: Samples to Read = 1000, Rate (Hz) = 10kHz
You are configuring the DAQ to sample at 10 kHz and return you 1000 data points on each run. i.e. the time for each run will be 10k/1000 = 0.1 sec.



ก.42

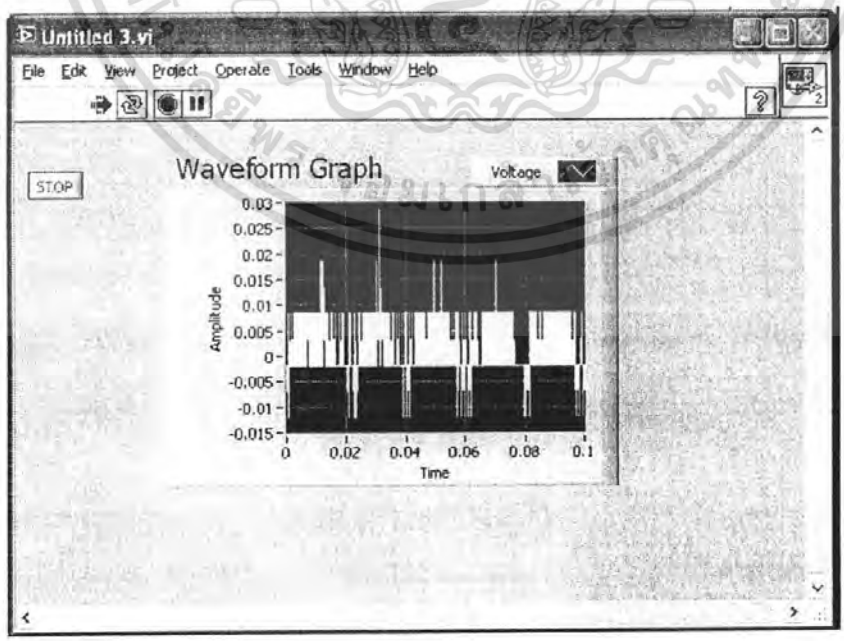
4. Click OK to return to the Block Diagram and add in the Graph. The Graph can be automatically created by Right-Clicking on 'data' terminal and select Create Graph Indicator. This time we select Graph instead of Chart (as in previous exercise) because we are expecting 1000 samples to be plotted per channel per loop. Previously, we are expected only 1 sample per channel per loop so the Chart will be fine.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.43

5. Run the VI and you should see an oscilloscope type of Display in real-time. Notice also that the data intervals are now smaller. We have now an interval of 0.1ms between data. 1000 points will give us 0.1 sec worth of data.



ก.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง
การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Student Scope Using NI USB Data Acquisition

Version 1.1: Dec 14, 2006 3:44 pm US/Central

Erik Luther

This work is produced by The Connexions Project and licensed under the Creative Commons Attribution License

Abstract

The StudentScope is a software oscilloscope speci_cally designed to work with the National Instruments Low Cost USB data acquisition devices. The StudentScope was created in LabVIEW. The front panel controls are modeled after those typically found on a traditional benchtop oscilloscope.

Student Scope Using NI USB Data Acquisition

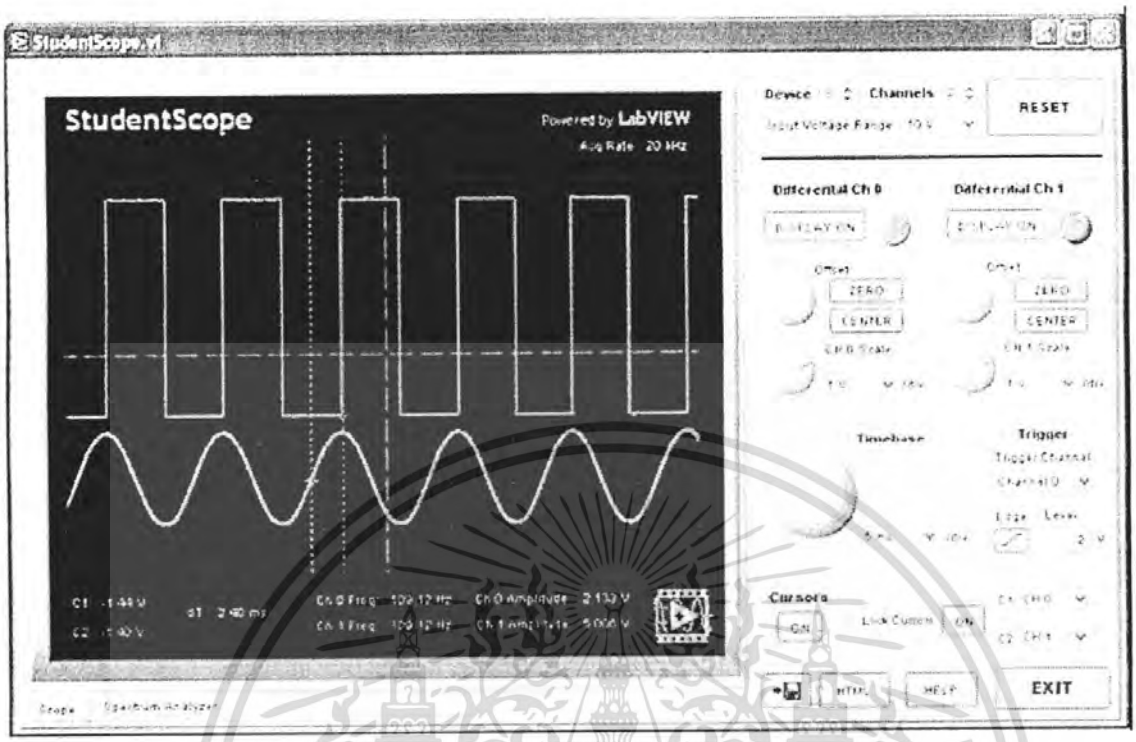
1 LabVIEW Student Scope Using the NI USB Data Acquisition

The StudentScope is a software oscilloscope speci_cally designed to work with the National Instruments USB-6009 data acquisition device1. To simulate the functionality of a scope, the StudentScope acquires analog input data across two channels and then searches for a user-speci_ed trigger level. This allows periodic waveforms to be lined up and displayed as standing waves. Controls to scale signals, apply vertical o_sets, adjust the timebase, and measure phase o_sets are all meant to function similarly to a benchtop oscilloscope. Several expanded features are also available, including a option to log data to an Excel-compatible spreadsheet _le or to export a screenshot to a printable HTML report.

1.1 Download the StudentScope The StudentScope source code can be downloaded here: StudentScope Source (1.0)2. The StudentScope source requires: LabVIEW3 8.0 or later, and NI DAQmx4 8.0 or later. The StudentScope stand-alone executable can be downloaded here: StudentScope.exe (1.0)5. The StudentScope source requires: LabVIEW RunTime Engine 8.06, and NI DAQmx7 8.0 or later.

http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/
1http://digital.ni.com/express.nsf/bycode/ex4v7m
2studentscope.zip
3http://digital.ni.com/demo.nsf/websearch/14f9ce475127ade786256ac60070926c
4http://digital.ni.com/softlib.nsf/websearch/11D505B7B355EBD68625722D006A6B97
5studentscope.exe
6ftp://ftp.ni.com/pub/devzone/tut/cnx_lv8_runtime.exe
7http://digital.ni.com/softlib.nsf/websearch/11D505B7B355EBD68625722D006A6B97
http://cnx.org/content/m14166/latest/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก..43: StudentScope Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 Getting Started

First, be sure you have the LabVIEW Run-Time Engine version 8.0 and the DAQmx driver version 8.0 or later installed under the default installation options. Both can be downloaded free of charge from ni.com. The installer included with the Student Scope includes the LabVIEW Run-Time Engine, but DAQmx must be downloaded separately. Next, connect your National Instruments USB-60098 to your PC. Windows should detect the device and con_gure the appropriate driver. If this is the _rst time that a USB-6009 device is installed on your computer, you might be prompted to install a USB-6xxx Firmware Loader. Please complete the Windows Hardware Wizard prompts to completely install this device.

To run the StudentScope, you will need to determine the device number of your USB- 6009, which is how the hardware is identi_ed by the scope software. Find this by opening National Instruments Measurement and Automation Explorer (MAX). In MAX, expand Devices and Interfaces. Then expand NI-DAQmx Devices. If the DAQmx driver is installed properly, and the USB-6009 is connected, you will see an item such as USB-6009: "Dev1" where Dev1 indicates device 1. Make a note of the device number. When you run the StudentScope, you will need to select the correct device number. If the wrong device number is selected, you will receive an error message. To _x this, be sure the USB-6009 plugged in, select the correct device number, and press the reset button.

1.3 Hardware Connections Connect input signals to di_erential channels 0 and 1 on the USB-6009. Terminals 2 and 3 on the 6009 correspond to the positive and negative inputs for di_erential channel 0. Terminals 5 and 6 the 6009 correspond to the positive and negative inputs for di_erential channel 1. For more information on terminals and connections, consult the help manual for the device.

1.4 Controls The following controls on the StudentScope front panel are used to control the behavior of the scope. The controls are modeled after a traditional benchtop oscilloscope.

• Device: Speci_es the Device Number of the 6009, which uniquely identi_es the hard- ware. This number can be found in Measurement and Automation Explorer (MAX). If you adjust this input, you will have to press reset for the changes to take e_ect.

• Channels: Speci_es the number of channels to scan. By acquiring only a single channel of data, twice the sampling rate can be achieved over acquiring two channels of data. If you adjust this input, you will have to press reset for the changes to take e_ect.

• Input Voltage Range: Sets the internal programmable gain ampli_er on the 6009. This applies an appropriate analog gain to the signal prior to digitization. For best results, choose the smallest range setting that completely encapsulates the expected signal. If you adjust this input, you will have to press reset for the changes to take e_ect.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Reset: If Device, Channels, or Input Voltage Range values are changed, the StudentScope needs to be reset for the changes to take e_ect.

• Display On: Toggles the visibility of each channel's trace. Note: This does not change whether or not the data is actually being acquired by the USB-6009; it merely allows the user to turn on or o_ the display of that data.

• O_set: Adjusts the vertical position of the trace on the display by adding or subtract- ing a voltage o_set.

• Zero: Removes any o_sets added with the O_set knob.

• Center: Automatically adjusts the O_set knob so that the waveform is centered vertically on the display.

• Scale: Sets the Volts per division along the vertical axis in order to "zoom" vertically.

• Timebase: Sets the time per division along the horizontal axis in order to "zoom" horizontally. This does not change the rate of acquisition of the hardware.

• Trigger Channel: Speci_es which channel will generate the trigger.

• Edge: Toggles between triggering o_ of a rising or falling edge of the signal.

• Level: Speci_es the voltage level at which a trigger will be generated. Note: If the level is never crossed by the periodic signal, the trigger will not work properly and the waveform will not display correctly. Also, the trigger is de_ned in software, and will only correctly display periodic signals with a period of less than 1/8 second.

• Cursors (On/O_): Toggles display of the cursors on or o_.

• Lock Cursors: Toggles whether cursors are free-_oating or locked to a channel trace. If cursors are free _oating, the voltage level at each cursor will not be displayed.

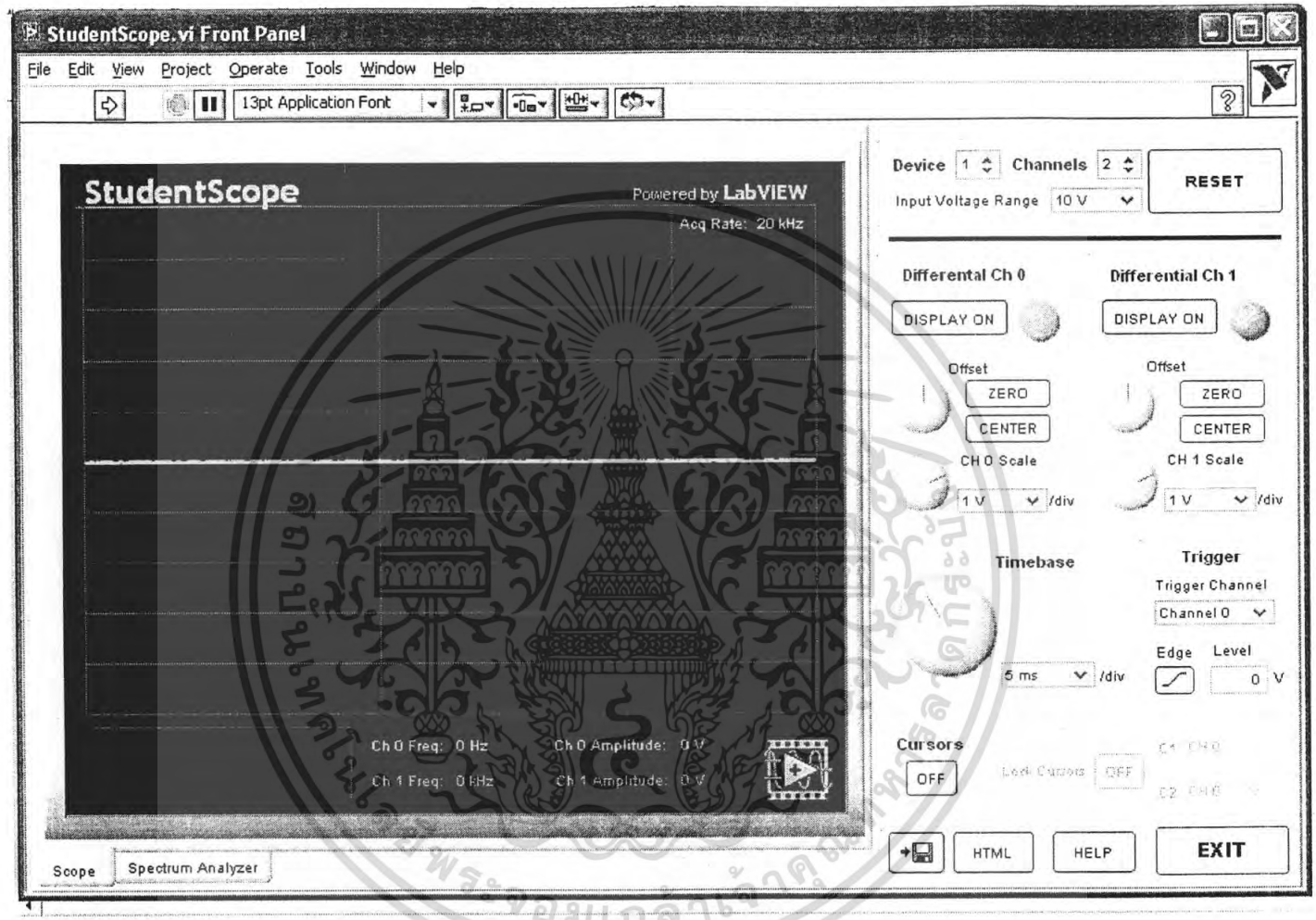
• C1: If Lock Cursors is toggle on, this selects the channel to which Cursor 1 is locked.

• C2: If Lock Cursors is toggle on, this selects the channel to which Cursor 2 is locked.

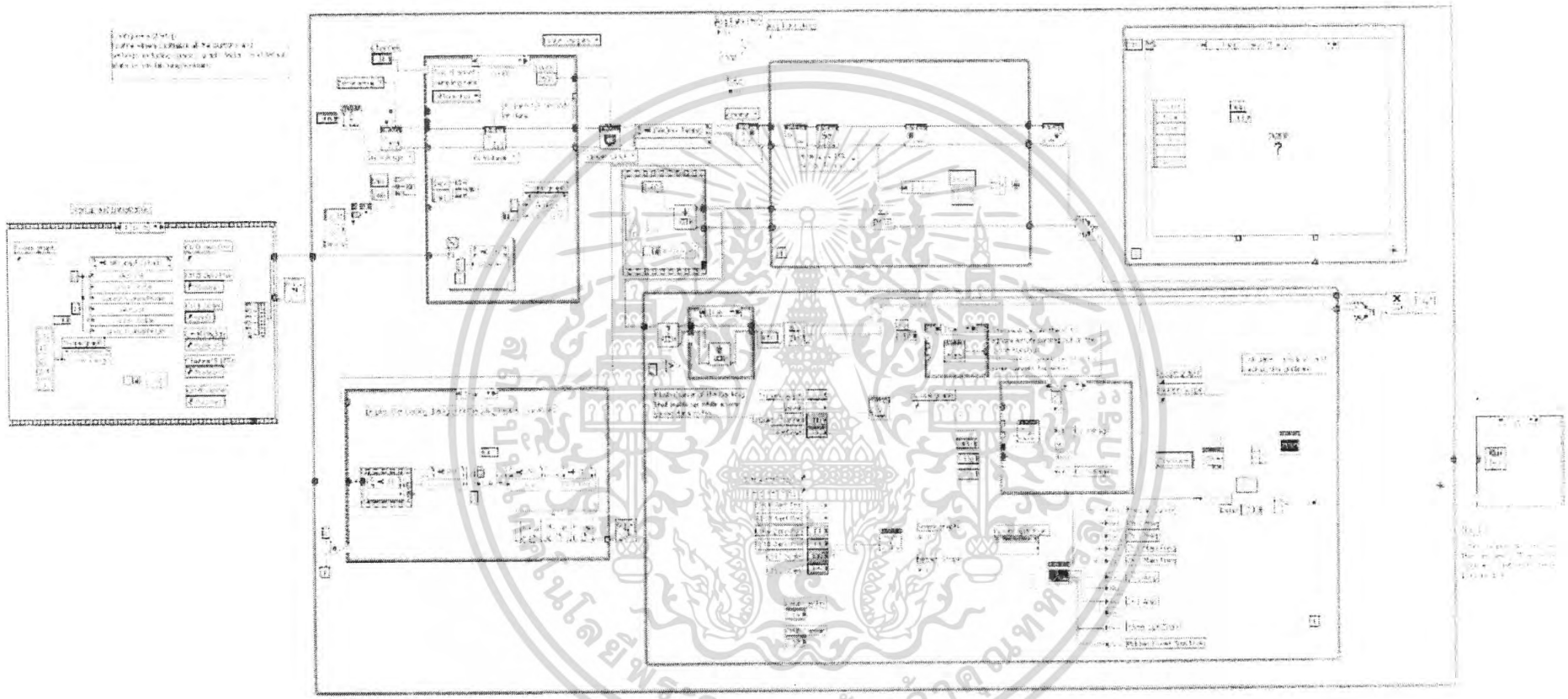
• X Axis Scroll: Adjusts the center frequency of the Spectrum Analyzer. Page Up and Page Down can _ne tune this control left and right.

• X Axis Zoom: Adjusts the min and max range of the X axis of the Spectrum Analyzer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

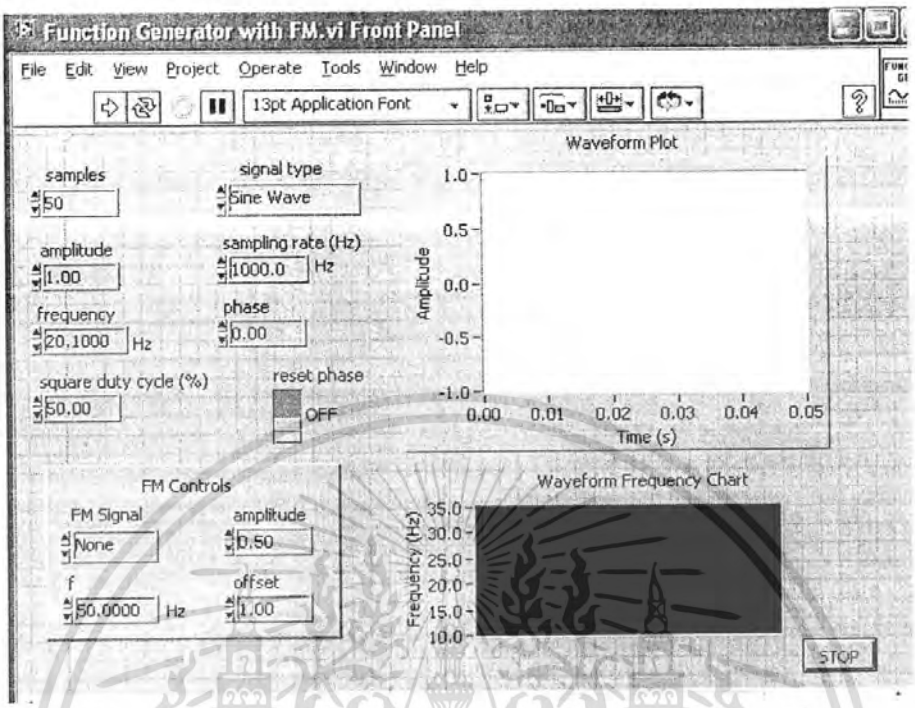


รูปที่ ก.44 แสดงส่วนของ Font Panel ของเครื่องมือวัดเสมือน Student Scope



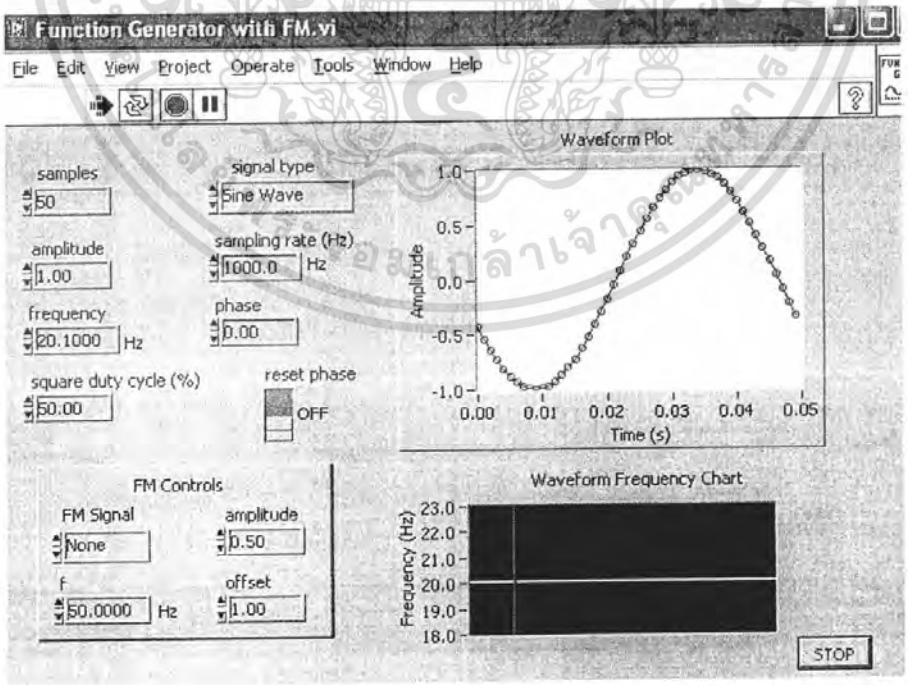
รูปที่ ก.45 แสดงส่วนของ Block Diagram ของเครื่องมือวัดเสมือน Student Scope

2. Function Generator in LabVIEW



รูปที่ ก.46 แสดงส่วน Font Panel ใน Virtual Instrument ของ Function Generator

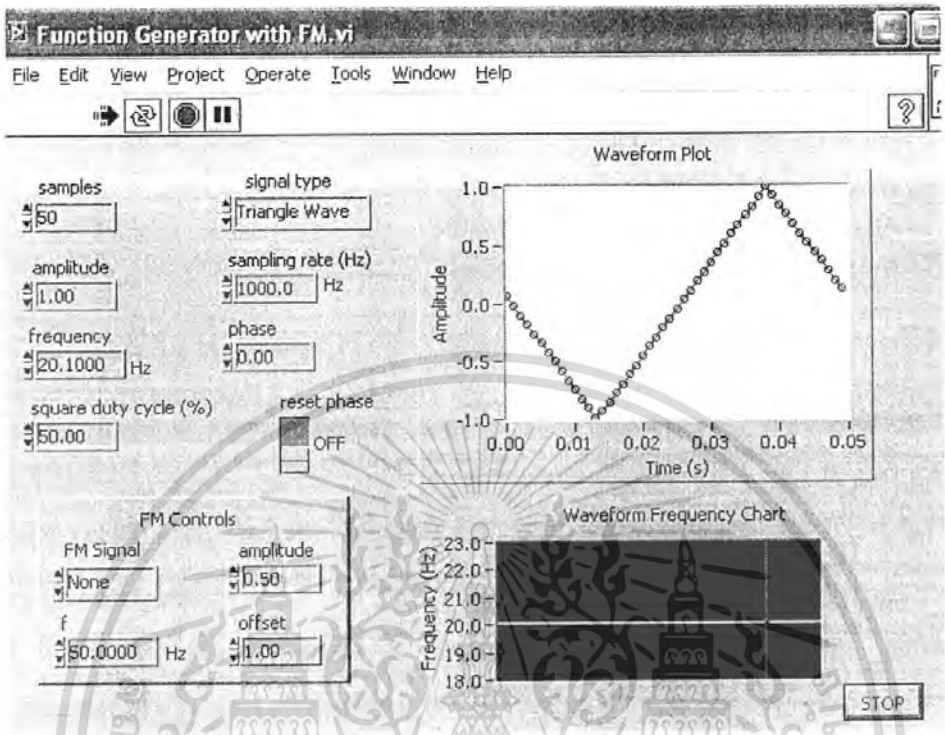
- เมื่อทำการ Run Program จะแสดงดังรูป



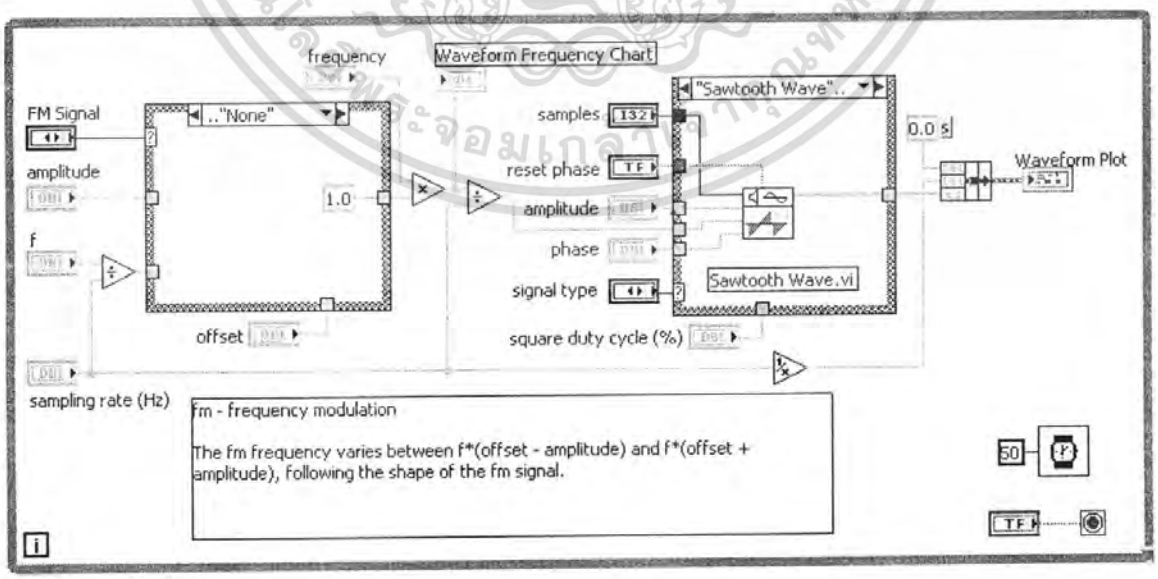
รูปที่ ก.47 แสดงส่วน Font Panel ของ Function Generator เมื่อแสดงผลออกเป็นสัญญาณ Sine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อปรับ Signal Type ส่วนของ Font Panel จะเป็นการเปลี่ยนชนิดของสัญญาณของ Function Generator ดังแสดงดังรูปที่



รูปที่ ก.48 แสดงส่วน Font Panel ของ Function Generator เมื่อเปลี่ยนชนิดของสัญญาณเป็นสัญญาณ Triangle



รูปที่ ก.49 แสดงส่วนของ Block Diagram ใน Virtual Instrument ของ Function Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มือ NI USB-6009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

NI USB-6008, NI USB-6009

- Small and portable
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X[1]
- Linux®[1]
- Pocket PC
- Win CE

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx
- Ready-to-run data logger

[1]Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base

Product	Bus	Analog Inputs[1]	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

[1]SE = single-ended, DI = differential

Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition (DAQ) modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data-logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download NI-DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld data acquisition applications.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit **ni.com/academic** for details.)
- Embedded OEM applications

NATIONAL INSTRUMENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit ni.com/oem. Go to the Ordering Information section for part numbers.

Ordering Information

NI USB-6008[1]	779051-01
NI USB-6009[1]	779026-01
NI USB-6008 OEM	193132-02
NI USB-6009 OEM	193132-01
NI USB-6008 Student Kit[1,2]	779320-22
NI USB-6009 Student Kit[1,2]	779321-22

[1] Includes NI-DAQmx software, NI ready-to-run data logger software, and a USB cable.

[2] Includes LabVIEW Student Edition.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 265 9891 (U.S. only) or go to ni.com/usb.

BUY ONLINE at ni.com or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential[1]

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.33	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.50	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels ..... 8 single-ended/4 differential
Type of ADC ..... Successive approximation

ADC resolution (bits)

Models	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Models	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended ..... ±10 V
Input range, differential ..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage ..... ±10 V
Overvoltage protection ..... ±35 V
FIFO buffer size ..... 512 B
Timing resolution ..... 41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy ..... 100 ppm of actual sample rate
Input impedance ..... 144 k
Trigger source ..... Software or external digital trigger
System noise ..... 0.3 LSB_{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load) ..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels 2
Type of DAC ..... Successive approximation
DAC resolution ..... 12 bits
Maximum update rate ..... 150 Hz, software-timed
Output range ..... 0 to +5 V
Output impedance ..... 50 Ω
Output current drive ..... 5 mA
Power-on state ..... 0 V
Slew rate ..... 1 V/µs
Short-circuit current ..... 50 mA

Digital I/O

Number of channels ..... 12 total
8 (P0.<0..7>)
4 (P1.<0..3>)
Direction control ..... Each channel individually programmable as input or output

Output driver type
USB-6008 ..... Open-drain
USB-6009 ..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain

Compatibility ..... CMOS, TTL, LVTTL
Internal pull-up resistor ..... 4.7 kΩ to +5 V
Power-on state ..... Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range ..... -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	–	50	µA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	–	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	–	V

Counter

Number of counters 1
Resolution ..... 32 bits
Counter measurements ..... Edge counting (falling edge)
Pull-up resistor ..... 4.7 kΩ to 5 V
Maximum input frequency ..... 5 MHz
Minimum high pulse width ..... 100 ns
Minimum low pulse width ..... 100 ns
Input high voltage ..... 2.0 V
Input low voltage ..... 0.8 V

Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum) ..... +5 V typical
+4.85 V minimum
+2.5 V output (1 mA maximum) ..... +2.5 V typical
+2.5 V output accuracy ..... 0.25% max
Voltage reference temperature drift ..... 50 ppm/°C max

[1]Input voltages may not exceed the working voltage range.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors)	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors)	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors)	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors)	84 g (3 oz)
I/O connectors	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC)	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend	300 µA typical 500 µA maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment

Ambient temperature range	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)

Storage environment

Ambient temperature range	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree	2

Safety and Compliance

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1

Note: For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit **ni.com/certification**, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

Note: For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/336/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit **ni.com/certification**, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers: At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/weee.htm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NI Services and Support

NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.

Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit **ni.com/training**.

Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit **ni.com/alliance**.

NATIONAL INSTRUMENTS
Certified Alliance Partner

OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit **ni.com/oem**.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at **ni.com/support**.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit **ni.com/ssp**.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with **ni.com/pxiadvisor**.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit **ni.com/calibration**.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit **ni.com/services**.

NATIONAL INSTRUMENTS

ni.com • (800) 813 3693
National Instruments • info@ni.com

351378A-01 2006-7322-301-101-D

© 2006 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, and SCXI are trademarks of National Instruments. Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds in the U.S. and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

USB-6008/6009

このドキュメントの日本語版については、ni.com/jp/manuals を参照してください。(For a Japanese language version, go to ni.com/jp/manuals.)

This guide describes how to use the National Instruments USB-6008/6009 data acquisition (DAQ) devices and lists specifications.

Introduction

The NI USB-6008/6009 provides connection to eight analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 digital input/output (DIO) channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface.

Note This manual revision updates naming conventions to reflect the conventions used in NI-DAQmx. Table 1 notes the correlation between the old and updated names.

Table 1. Digital Output Driver Type Naming Conventions

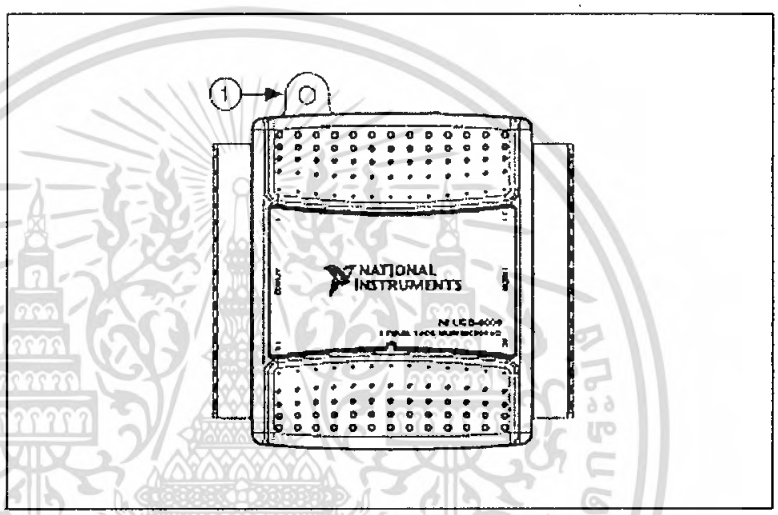
Hardware Functionality	NI-DAQmx Terminology
Open-drain	Open collector
Push-pull	Active drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Differences Between the USB-6008 and USB-6009

Feature	USB-6008	USB-6009
AI Resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI Sample Rate, Single Channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI Sample Rate, Multiple Channels (Aggregate)*	10 kS/s	48 kS/s
DIO Configuration	Open collector	Open collector or active drive

* System dependent.



1 USB Cable Strain Relief

Figure 1. USB-6008/6009

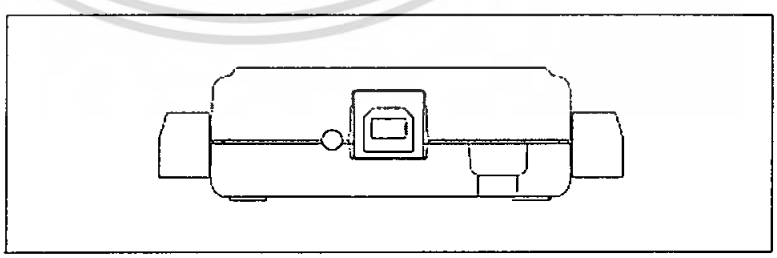


Figure 2. USB-6008/6009 Back View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Safety Guidelines

Caution Operate the hardware only as described in these operating instructions.

The following section contains important safety information that you must follow when installing and using the USB-6008/6009.

Do not operate the USB-6008/6009 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operate the device at or below the Measurement Category I[1]. Measurement circuits are subjected to working voltages[2] 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 MAINS[3] 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.

Software

Software support for the USB-6008/6009 for Windows 2000/XP is provided by NI-DAQmx.

The NI-DAQmx CD contains example programs that you can use to get started programming with the USB-6008/6009. 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.

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

VI Logger

The NI-DAQmx CD includes VI Logger Lite which is an easy-to-use configuration-based tool specifically designed for data logging applications. The application is available at Start»All Programs» National Instruments»VI Logger.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hardware

The following block diagram shows key functional components of the USB-6008/6009.

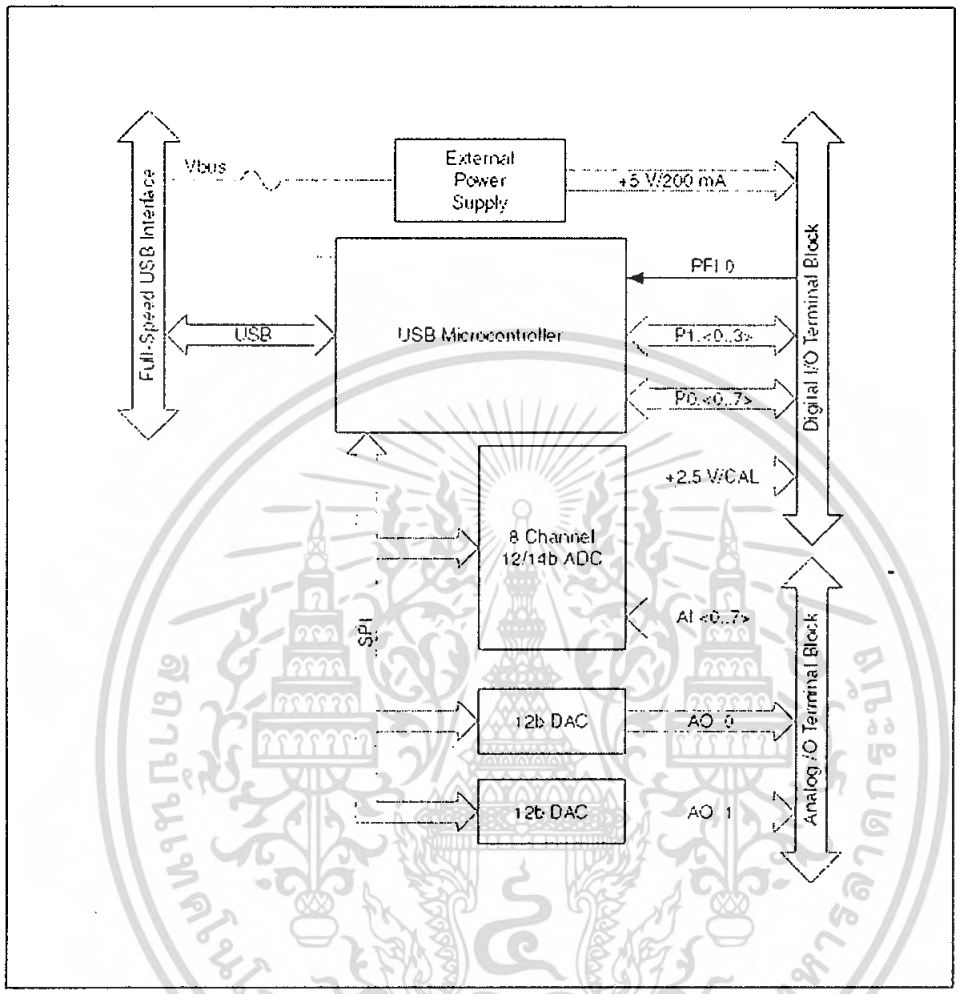


Figure 3. Device Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

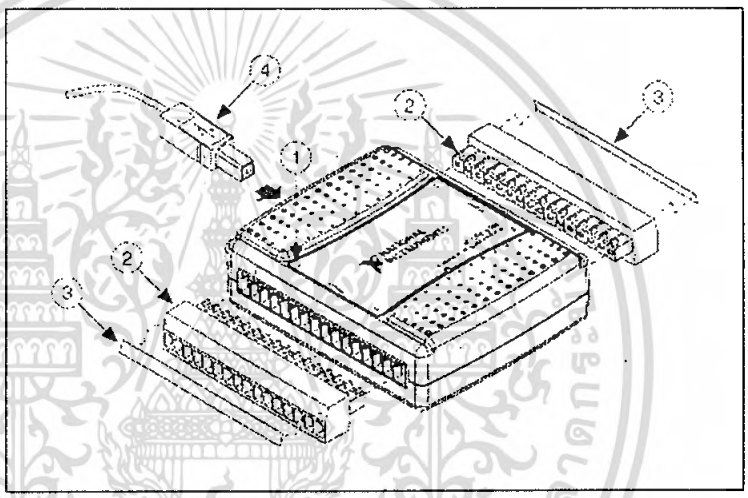
Setting Up Hardware

Complete the following steps to set up the hardware:

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

Note The USB-6008/6009 kit ships with signal labels. You can apply the signal labels to the screw terminal blocks for easy signal identification.

2. Refer to Table 3 and Figure 4 for signal label orientation and affix the provided signal labels to the screw terminal blocks. Until the signal labels are applied, you can insert the screw terminal blocks into either of the combicon jacks.



1	Overlay Label with Pin Orientation Guides	3	Signal Labels
2	Combicon Jack	4	USB Cable

Figure 4. Signal 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 USB-6008/6009 device.

3. Connect the wiring to the appropriate screw terminals.

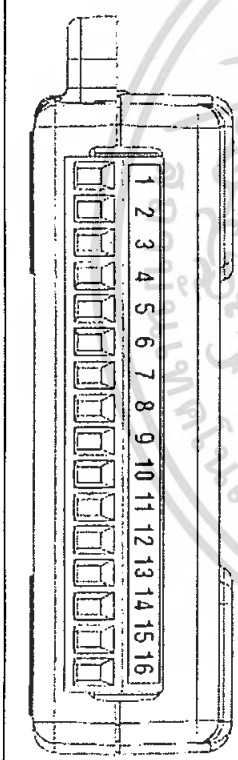
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I/O Connector

The USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal block for analog signals and one detachable screw terminal block for digital signals. These terminal blocks provide 16 connections that use 16 AWG to 28 AWG wire.

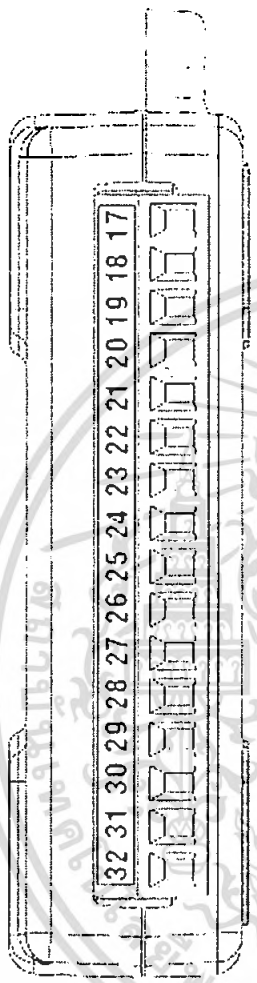
Table 3 lists the analog terminal assignments, and Table 4 lists the digital terminal assignments.

Table 3. Analog Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0–
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1–
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2–
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3–
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4. Digital Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal Descriptions

Table 5 describes the signals available on the I/O connectors.

Table 5. Signal Descriptions

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	Ground—The reference point for the single-ended AI measurements, bias current return point for differential mode measurements, AO voltages, digital signals at the I/O connector, +5 VDC supply, and the +2.5 VDC reference.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7—For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, and <AI 3, AI 7>.
AO 0	GND	Output	Analog Channel 0 Output—Supplies the voltage output of AO channel 0.
AO 1	GND	Output	Analog Channel 1 Output—Supplies the voltage output of AO channel 1.
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Input or Output	Digital I/O Signals—You can individually configure each signal as an input or output.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference—Provides a reference for wrap-back testing.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source—Provides +5 V power up to 200 mA.
PFI 0	GND	Input	PFI 0—This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analog Input

You can connect analog input signals to the USB-6008/6009 through the I/O connector. Refer to Table 5 for more information about connecting analog input signals.

Analog Input Circuitry

Figure 5 illustrates the analog input circuitry of the USB-6008/6009.

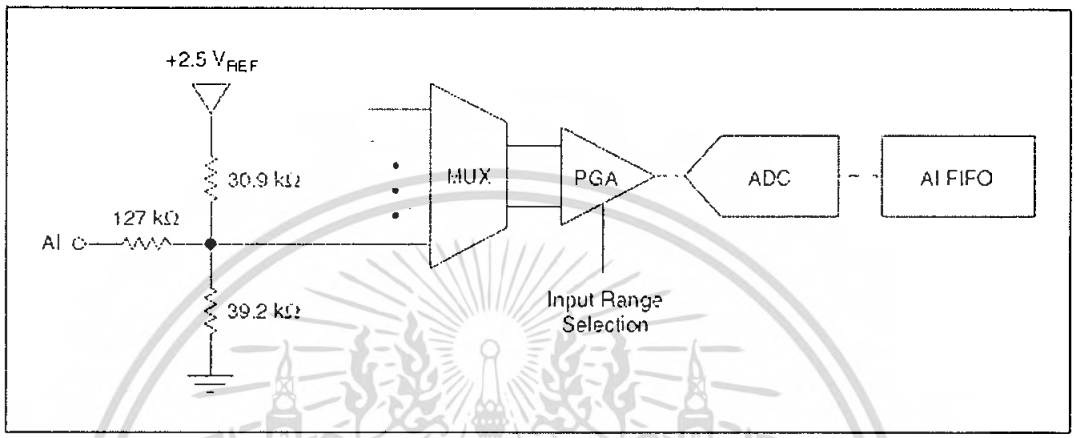


Figure 5. Analog Input Circuitry

MUX

The USB 6008/6009 has one analog-to-digital converter (ADC). The multiplexer (MUX) routes one AI channel at a time to the PGA.

PGA

The progammable-gain amplifier provides input gains of 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, or 20 when configured for differential measurements and gain of 1 when configured for single-ended measurements. The PGA gain is automatically calculated based on the voltage range selected in the measurement application.

A/D Converter

The analog-to-digital converter (ADC) digitizes the AI signal by converting the analog voltage into a digital code.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AI FIFO

The USB-6008/6009 can perform both single and multiple A/D conversions of a fixed or infinite number of samples. A first-in-first-out (FIFO) buffer holds data during AI acquisitions to ensure that no data is lost.

Analog Input Modes

You can configure the AI channels on the USB-6008/6009 to take single-ended or differential measurements. Refer to Table 5 for more information about I/O connections for single-ended or differential measurements.

Connecting Differential Voltage Signals

For differential signals, connect the positive lead of the signal to the AI+ terminal, and the negative lead to the AI– terminal.

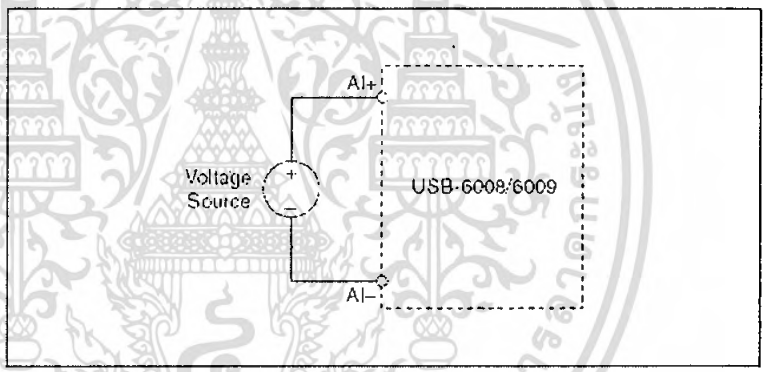


Figure 6. Connecting a Differential Voltage Signal

The differential input mode can measure ±20 V signals in the ±20 V range. However, the maximum voltage on any one pin is ±10 V with respect to GND. For example, if AI 1 is +10 V and AI 5 is –10 V, then the measurement returned from the device is +20 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

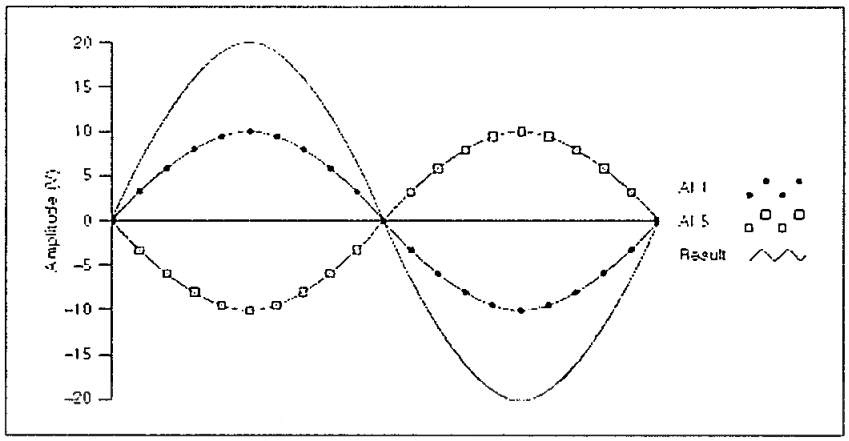


Figure 7. Example of a Differential 20 V Measurement

Connecting a signal greater than ±10 V on either pin results in a clipped output.

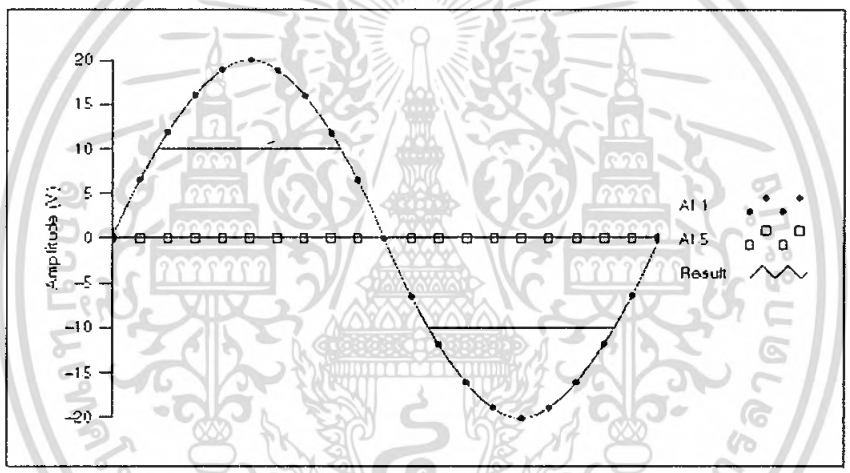


Figure 8. Exceeding +10 V on AI Returns Clipped Output

Connecting Reference Single-Ended Voltage Signals

To connect reference single-ended voltage signals (RSE) to the USB-6008/6009, connect the positive voltage signal to the desired AI terminal, and the ground signal to a GND terminal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

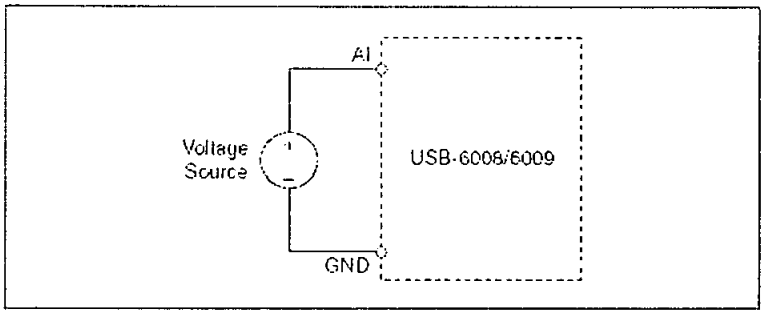


Figure 9. Connecting a Reference Single-Ended Voltage Signal

Digital Trigger

When an AI task is defined, you can configure PFI 0 as a digital trigger input. When the digital trigger is enabled, the AI task waits for a rising edge on PFI 0 before starting the acquisition. To use ai/Start Trigger with a digital source, specify PFI 0 as the source and select rising edge.

Analog Output

The USB-6008/6009 has two independent AO channels that can generate outputs from 0–5 V. All updates of AO lines are software-timed.

Analog Output Circuitry

Figure 10 illustrates the analog output circuitry for the USB-6008/6009.

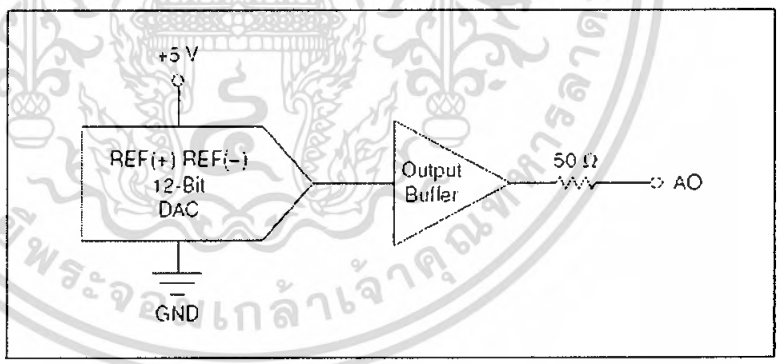


Figure 10. Analog Output Circuitry

DACs

Digital-to-analog converts (DACs) convert digital codes to analog voltages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connecting Analog Output Loads

To connect loads to the USB-6008/6009, connect the positive lead of the load to the AO terminal, and connect the ground of the load to a GND terminal.

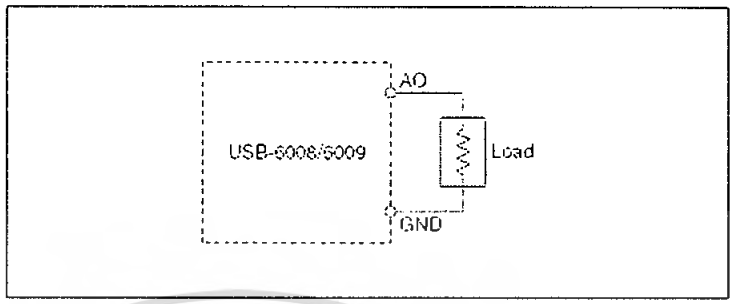


Figure 11. Connecting a Load

Minimizing Glitches on the Output Signal

When you use a DAC to generate a waveform, you may observe glitches in the output signal. These glitches are normal; when a DAQ switches from one voltage to another, it produces glitches due to released charges. The largest glitches occur when the most significant bit of the DAC code changes. You can build a lowpass deglitching filter to remove some of these glitches, depending on the frequency and nature of the output signal. Refer to `ni.com/support` for more information about minimizing glitches.

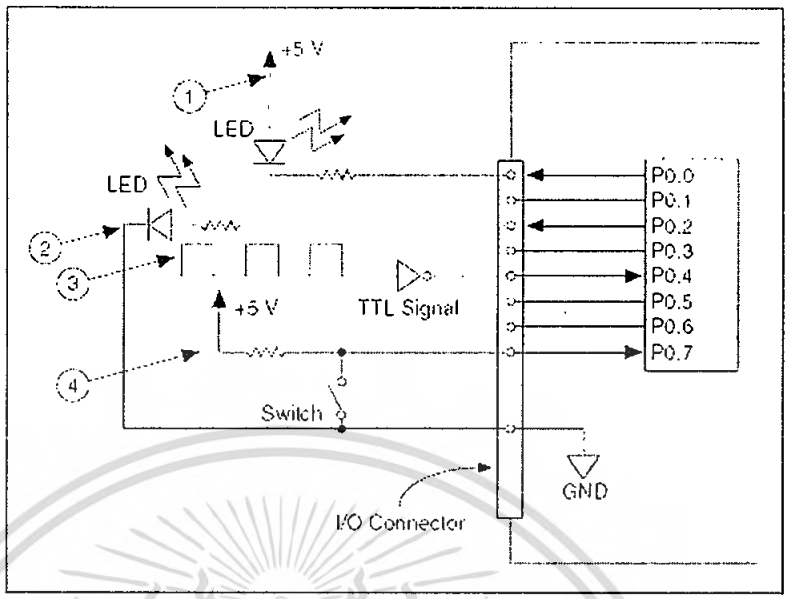
Digital I/O

The USB-6008/6009 has 12 digital lines, P0.<0..7> and P1.<0..3>, which comprise the DIO port. GND is the ground-reference signal for the DIO port. You can individually program all lines as inputs or outputs.

Digital I/O Circuitry

Figure 12 shows P0.<0..7> connected to example signals configured as digital inputs and digital outputs. You can configure P1.<0..3> similarly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1 P0.0 configured as an open collector digital output driving a LED
2 P0.2 configured as a active drive digital output driving a LED
3 P0.4 configured as a digital input receiving a TTL signal from a gated invertor
4 P0.7 configured as a digital input receiving a 0 V or 5 V signal from a switch

Figure 12. 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.

Source/Sink Information

The default configuration of the USB-6008/6009 DIO ports is open collector, allowing 5 V operation, with an onboard 4.7 kΩ 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 13.

The USB-6009 ports can also be configured as active drive using the DAQmx API, allowing 3.3 V operation with a source/sink current limit of ±8.5 mA. Refer to the *NI-DAQmx Help* for more information about how to set the DIO configuration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

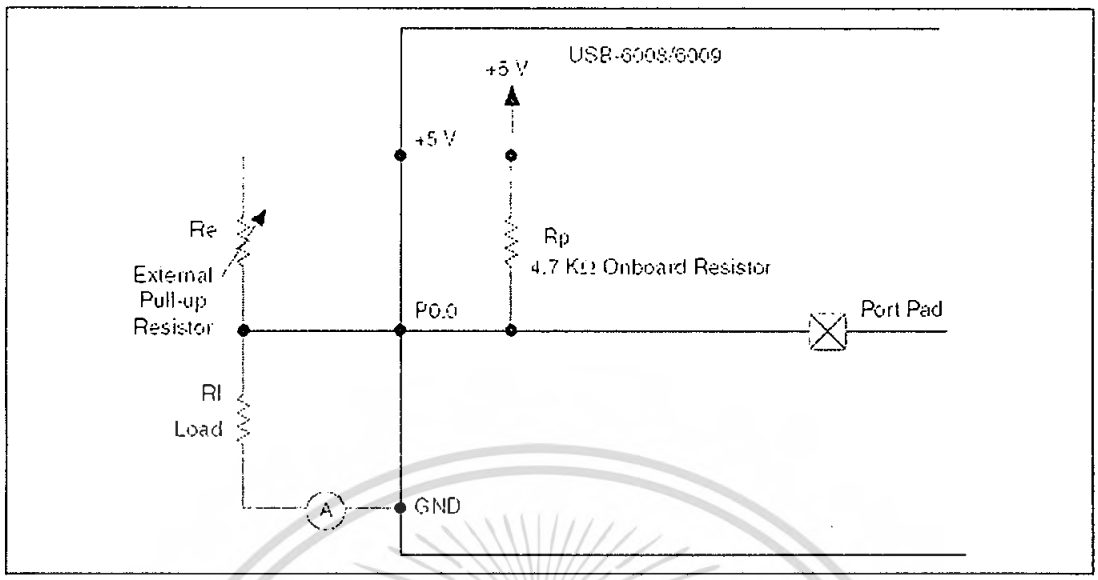


Figure 13. Example of Connecting External User-Provided Resistor

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.
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.

I/O Protection

To protect the USB-6008/6009 against overvoltage, undervoltage, and overcurrent conditions, as well as ESD events, 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Instruments has several signal conditioning solutions for digital applications requiring high current drive.

- If you configure a DIO line as an input, do not drive the line with voltages outside of its normal operating range. The DIO lines have a smaller operating range than the AI signals.
- 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.

Static DIO

Each of the USB-6008/6009 DIO lines can be used 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.

Event Counter

You can configure PFI 0 as a source for a gated invertor counter input edge count task. In this mode, falling-edge events are counted using a 32-bit counter. For more information about event timing requirements, refer to the *Specifications* section.

Reference and Power Sources

The USB-6008/6009 creates an external reference and supplies a power source. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.

+2.5 External References

The USB-6008/6009 creates a high-purity reference voltage supply for the ADC using a multi-state regulator, amplifier, and filter circuit. The resulting +2.5 V reference voltage can be used as a signal for self test.

+5 V Power Source

The USB-6008/6009 supplies a 5 V, 200 mA output. This source can be used to power external components.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

Analog Input

Converter type ..... Successive approximation

Analog inputs ..... 8 single-ended, 4 differential, software selectable

Input resolution

- USB-6008 ..... 12 bits differential, 11 bits single-ended
- USB-6009 ..... 14 bits differential, 13 bits single-ended

Max sampling rate[1]

- USB-6008 ..... 10 kS/s
- USB-6009 ..... 48 kS/s/s

AI FIFO ..... 512 bytes

Timing resolution ..... 41.67 ns (24 MHz timebase)

Timing accuracy ..... 100 ppm of actual sample rate

Input range

- Single-ended ..... ±10 V
- Differential ..... ±20 V, ±10 V, ±5 V, ±4 V, ±2.5 V, ±2 V, ±1.25 V, ±1 V

Working voltage ..... ±10 V

Input impedance ..... 144 kΩ

Overvoltage protection ..... ±35

Trigger source ..... Software or external digital trigger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System noise[1]

Single-ended

±10 V range.....5 mVrms

Differential

±20 V range.....5 mVrms

±1 V range.....0.5 mVrms

Absolute accuracy at full scale, single ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential[1]

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

[1] Input voltages may not exceed the working voltage range.

Analog Output

Converter type.....Successive approximation

Analog outputs.....2

Output resolution.....12 bits

Maximum update rate.....150 Hz, software-timed

Output range.....0 to +5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output impedance ..... 50 Ω

Output current drive ..... 5 mA

Power-on state ..... 0 V

Slew rate ..... 1 V/µs

Short circuit current ..... 50 mA

Absolute accuracy (no load) ..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale

Digital I/O

Digital I/O

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

P1.<0..3> ..... 4 lines

Direction control ..... Each channel individually programmable as input or output

Output driver type

USB-6008 ..... Open collector (open-drain)

USB-6009 ..... Each channel individually programmable as active drive (push-pull) or open collector (open-drain)

Compatibility ..... TTL, LVTTL, CMOS

Absolute maximum voltage range ..... –0.5 to 5.8 V with respect to GND

Pull-up resistor ..... 4.7 kΩ to 5 V

Power-on state ..... Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	−0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50	µA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8	V
Output high voltage			
Active drive (push-pull), I = −8.5 mA	2.0	3.5	V
Open collector (open-drain), I = −0.6 mA, nominal	2.0	5.0	V
Open collector (open-drain), I = −8.5 mA, with external pull-up resistor	2.0	—	V

External Voltage

+5 V output (200 mA maximum).....+5 V typical, +4.85 V minimum

+2.5 V output (1 mA maximum).....+2.5 V typical

+2.5 V accuracy.....0.25% max

Reference temperature drift.....50 ppm/°C max

Counter

Number of counters.....1

Resolution.....32 bits

Counter measurements.....Edge counting (falling-edge)

Counter direction.....Count up

Pull-up resistor.....4.7 kΩ to 5 V

Maximum input frequency.....5 MHz

Minimum high pulse width.....100 ns

Minimum low pulse width.....100 ns

Input high voltage.....2.0 V

Input low voltage.....0.8 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus Interface

USB specification ..... USB 2.0 full-speed

USB bus speed ..... 12 Mb/s

Power Requirements

USB

4.10 to 5.25 VDC ..... 80 mA typical, 500 mA max

USB suspend ..... 300 µA typical, 500 µA max

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions

Without connectors ..... 6.35 cm × 8.51 cm × 2.31 cm (2.50 in. × 3.35 in. × 0.91 in.)

With connectors ..... 8.18 cm × 8.51 cm × 2.31 cm (3.22 in. × 3.35 in. × 0.91 in.)

I/O connectors ..... USB series B receptacle, (2) 16 position terminal block plug headers

Weight

With connectors ..... 84 g (3 oz)

Without connectors ..... 54 g (1.9 oz)

Screw-terminal wiring ..... 16 to 28 AWG

Torque for screw terminals ..... 0.22–0.25 N · m (2.0–2.2 lb · in.)

Safety

Standards

The USB-6008/6009 is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1
- CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit `ni.com/certification`, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

Channel-to-GND .....±30 V max, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. 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.

Caution Do not use this module for connection to signals or for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Hazardous Locations

The USB-6008/6009 are not certified for use in hazardous locations.

Environmental

The USB-6008/6009 device is intended for indoor use only.

Operating temperature
(IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2).....0 to 55 °C

Operating humidity
(IEC 60068-2-56) .....5 to 95% RH, noncondensing

Maximum altitude.....2,000 m (at 25 °C ambient temperature)

Storage temperature
(IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2).....–40 to 85 °C

Storage humidity
(IEC 60068-2-56) .....5 to 90% RH, noncondensing

Pollution Degree (IEC 60664).....2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electromagnetic Compatibility

Emissions	EN 55011 Class A at 10 m FCC Part 15A above 1 GHz
Immunity	Industrial levels per EN 61326:1997 + A2:2001, Table 1
EMC/EMI	CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant

Note The USB-6008/6009 may experience temporary variations in analog input readings when exposed to radiated and conducted RF noise. The device returns to normal operation after RF exposure is removed.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety)	73/23/EEC
Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)	89/336/EEC

Note Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit `ni.com/certification`, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Where to Go for Support

The National Instruments Web site is your complete resource for technical support. At `ni.com/support` you have access to everything from troubleshooting and application development self-help resources to email and phone assistance from NI Application Engineers.

A Declaration of Conformity (DoC) is our claim of compliance with the Council of the European Communities using the manufacturer's declaration of conformity. This system affords the user protection for electronic compatibility (EMC) and product safety. You can obtain the DoC for your product by visiting `ni.com/certification`. If your product supports calibration, you can obtain the calibration certificate for your product at `ni.com/calibration`.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Instruments corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504. National Instruments also has offices located around the world to help address your support needs. For telephone support in the United States, create your service request at ni.com/support and follow the calling instructions or dial 512 795 8248. For telephone support outside the United States, contact your local branch office:

Australia 1800 300 800, Austria 43 0 662 45 79 90 0,
Belgium 32 0 2 757 00 20, Brazil 55 11 3262 3599,
Canada 800 433 3488, China 86 21 6555 7838,
Czech Republic 420 224 235 774, Denmark 45 45 76 26 00,
Finland 385 0 9 725 725 11, France 33 0 1 48 14 24 24,
Germany 49 0 89 741 31 30, India 91 80 41190000,
Israel 972 0 3 6393737, Italy 39 02 413091, Japan 81 3 5472 2970,
Korea 82 02 3451 3400, Lebanon 961 0 1 33 28 28,
Malaysia 1800 887710, Mexico 01 800 010 0793,
Netherlands 31 0 348 433 466, New Zealand 0800 553 322,
Norway 47 0 66 90 76 60, Poland 48 22 3390150,
Portugal 351 210 311 210, Russia 7 495 783 68 51,
Singapore 1800 226 5886, Slovenia 386 3 425 42 00,
South Africa 27 0 11 805 8197, Spain 34 91 640 0085,
Sweden 46 0 8 587 895 00, Switzerland 41 56 200 51 51,
Taiwan 886 02 2377 2222, Thailand 662 278 6777,
United Kingdom 44 0 1635 523545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้