

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW โดยการทำผลตอบสนองความถี่

LabVIEW Application to Measure The Frequency Response



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

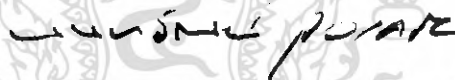
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW โดยการทำผลตอบสนองความถี่

LabVIEW Application to Measure The Frequency Response

ผู้จัดทำ นางสาว อนวัชวีดี อมรธรรม 47010925

นาย อมรศักดิ์ โพธิ์ธีรบุตร 47010948



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW โดยการหาผลตอบสนองความถี่

โดย

นางสาว อนวัชวดี อมรธรรม 47010925

นาย อมรศักดิ์ โพธิ์ธีรบุตร 47010948

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. นนทวัฒน์ จุลเคชะ

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนสำหรับวัดผลตอบสนองเชิงความถี่โดยใช้โปรแกรม National Instruments LabVIEW ในการออกแบบจุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือ การออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนสำหรับวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ผู้ใช้สามารถควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ และ DAQ ฮาร์ดแวร์แทนการใช้เครื่องมือวัดจริงซึ่งมีราคาแพงกว่า

ขั้นตอนการดำเนินการ เริ่มจากการศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabVIEW ถึงการทำงานต่าง ๆ ฟังก์ชันและออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร Buck converter ซึ่งโปรแกรมนี้ต้องมีกรออกแบบโปรแกรมการส่งสัญญาณ Sinusoid ที่เปลี่ยนค่าความถี่ไปเรื่อย ๆ จนถึงค่าความถี่ที่ต้องการ โดยไม่ทำให้สัญญาณเกิดการ Alias ขึ้น นำสัญญาณนี้ไปทดสอบระบบที่ต้องการทดสอบ หลังจากนั้นวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบขนาดและมุมเฟสของสัญญาณขาออกและขาเข้า นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟโบด (Bode Plot) เพื่อดูประสิทธิภาพของวงจร Buck Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LabVIEW Application to Measure The Frequency Response

By

Miss. Anawatwadee Amorntham 47010925

Mr. Amornsak Potiteerabut 47010948

Thesis Advisor

Asst. Prof. Dr. Nontawat Chuladacha

Academic Year 2007

## ABSTRACT

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

The project has been progress to begin from learning about function of LabVIEW programming to create the virtual instruments for the frequency response measurement of Buck Converter circuit , that is designed to send the sinusoid signal output which is swept until the desired frequency without any aliasing occurs. After that to measure the frequency response of the system by comparing the magnitude and phase between the output and input signals, and transfer the data to plot the bode diagram for analysis of buck converter circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์และการดำเนินโครงการนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผศ. ดร. นนทวัฒน์ จุลเคชะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำมาโดยตลอดการดำเนินโครงการตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเพื่ออุปกรณ์ที่จำเป็นต่าง ๆ ในการทดลอง และความช่วยเหลืออื่น ๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ รุ่ณพีปริญาโทในห้องวิจัยที่ให้คำปรึกษารวมถึงคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่โครงการ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำที่ได้ให้ความสนับสนุนให้โอกาสผู้จัดทำได้เล่าเรียนมาจนถึงทุกวันนี้ และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

นางสาว อนวัชวดี อมรธรรม

นาย อมรศักดิ์ โพธิ์ธีรบุตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ	1
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ผลตอบสนองทางโดเมนความถี่ (Frequency Response)	3
2.1.1 โบทพล็อต (Bode Plots)	3
2.2 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)	16
บทที่ 3 หลักการวิเคราะห์ และการออกแบบ	23
3.1 การทำ Swept Sine Excitation และการ Sampling Signal	24
3.2 การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำลอง	24
3.3 การหาผลตอบสนองเชิงความถี่โดย Bode Plots	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การขับสัญญาณ Sine+DC	30
3.5 การออกแบบวงจร PWM Controller	31
3.6 วงจร Buck Converter	32
3.7 ส่วนออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง โครงการงาน	35
บทที่ 5 สรุปผล โครงการงาน ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	38
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก ก USB 6008/6009 User Guide and Specification	41
ภาคผนวก ข NI 6230 Specification	67
ภาคผนวก ค Datasheet TLP 250	77
ภาคผนวก ง Datasheet High Speed PWM Controller UC3825	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนเมื่อ $G(s) = K$ โดยที่ $K > 0$ และ $K < 0$	5
2.2 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน $G(j\omega) = j\omega$	7
2.3 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$	8
2.4 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน $G(j\omega) = 1 + j\omega T$	10
2.5 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน $G(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega T}$	12
2.6 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน $G(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right) + \left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$	15
2.7 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน $G(j\omega) = 1 + 2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right) + \left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2$	16
2.8 ตัวอย่างเครื่องมืวัดเสมือนที่แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ (ส่วนของ Front Panel)	17
2.9 ตัวอย่างการเขียน โปรแกรม LabVIEW บน Block Diagram	17
2.10 ส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW	18
2.11 Control Palette และ Tools Palette	20
2.12 Function Palette และ Tools Palette	20
2.13 Front Panel Toolbar	21
2.14 Block Diagram Toolbar	22
3.1 แสดงการคำนวณด้วย MatLab	26
3.2 IIR Digital Filter	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การวิเคราะห์ขนาดและการใช้ Shift Register ในการเก็บค่า	28
3.4 แสดงการวิเคราะห์หุ้มเฟส	28
3.5 Block Diagram ของการออกแบบเครื่องมือวัดเพื่อหาผลตอบสนองความถี่	30
3.6 การออกแบบการขับสัญญาณ Sine+DC	31
3.7 การต่อวงจร PWM	31
3.8 PWM Block Diagram	32
3.9 การทำงานของวงจร Buck Converter ขณะที่ MOSFET นำกระแส	32
3.10 การทำงานของวงจร Buck Converter ขณะที่ MOSFET หยุดนำกระแส	33
3.10 Block Diagram ของเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อหาผลตอบสนองความถี่	34
4.1 Bode Plot ของระบบกรองสัญญาณ Analog Lowpass Filter จากLabVIEW	35
4.2 Bode Plot ของระบบกรองสัญญาณ Analog Lowpass Filter จากMatLab	36
4.3 Bode Plot ของผลตอบสนองความถี่ของวงจร Buck Converter	37

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

LabVIEW เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ Visual Basic, Visual C++ แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิด Text based Programming เช่น Text-based จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆ ที่ซับซ้อนได้เหมือน Text-Based เช่น ภาษา C โดยใช้ Formula Node และ LabVIEW การทำงานจะเน้นการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่างๆ และนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งาน เช่น เก็บข้อมูล (Database) หรือส่งผ่านข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตทำให้ในหลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้งานกับงานวัดคุมและอัตโนมัติ (Automation) ดังนั้น โครงการนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อนำไปใช้ในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบวงจร Buck Converter เพื่อที่จะสามารถทราบได้ว่าวงจร Buck Converter มีประสิทธิภาพที่ดีหรือไม่ในการทำงานของวงจร

### 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาหลักการใช้งานโปรแกรม LabVIEW เพื่อสามารถประยุกต์การใช้งานโปรแกรม LabVIEW มาใช้กับการออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนวัดผลตอบสนองเชิงความถี่
2. สามารถออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร Buck Converter
3. สามารถควบคุมการทำงานของวงจร Buck Converter

### 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและขอบเขตการศึกษา

1. ค้นคว้าหาข้อมูลและศึกษาหลักการใช้งานและคุณสมบัติต่างๆ ของโปรแกรม LabVIEW เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนในการวิเคราะห์ผลตอบสนองความถี่ของระบบซึ่งคือ Sampling Rate, ดิจิตอลฟิวเตอร์, ผลตอบสนองความถี่
3. ออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงความถี่แบบ Bode Plots
4. ค้นคว้าหาข้อมูลและศึกษาหลักการทำงานของวงจร Buck Converter และ High Speed PWM Controller
5. สร้างสัญญาณ Pulse ที่มีความถี่และ Voltage ตามที่กำหนดไว้ของวงจร Buck Converter
6. ออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงความถี่แบบ Bode Plots
7. ทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ
8. สรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงการ

#### 1.4 รายละเอียดของปฏิญานិพนธ์

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงที่มาและวัตถุประสงค์ของโครงการตลอดจนขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการทั้งหมด กล่าวถึง หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเครื่องมือวัดเสมือน วัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบซึ่งก็คือการทำ Swept Sine Excitation และการ Sampling Signal, การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำลอง Analog Low pass Filter แบบ Chebyshev – I Filter และการหาผลตอบสนองเชิงความถี่โดย Bode Plots ในส่วนของหลักการวิเคราะห์และหลักการออกแบบระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร Buck Converter อันประกอบไปด้วย การออกแบบวงจรที่ขับสัญญาณ Sine และ DC การออกแบบวงจร PWM Controller ส่วนของวงจร Buck Converter และส่วนที่ออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่

บทที่ 3 ผลการทดลองของโครงการ จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองระบบ

บทที่ 4 สรุปผลและบทวิจารณ์โครงการ กล่าวถึงการสรุปผลของการดำเนินโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ผลตอบสนองทางโดเมนความถี่ (Frequency Response)

จากบทที่ผ่านมาเป็นการวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีของโดเมนเวลา (Time Domain) แต่สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยเครื่องมือที่สำคัญเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบสนองทางความถี่คือ โบทพล็อต (Bode Plots) และ โพลพล็อต (Polar Plots)

#### โบตพล็อต (Bode Plots)

ถ้าเราป้อนสัญญาณค่านเข้าเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal) ความถี่แล้วสัญญาณค่านออกของระบบที่วัดได้ก็ยังคงเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ωเช่นกันแต่จะมีขนาดและเฟสที่ต่างไปซึ่งขนาดและเฟสนี้เองที่เป็นคุณลักษณะสำคัญในการพิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ของระบบด้วยวิธีโบตพล็อตการพล็อตแผนภาพโบต (Bode Diagram) แบ่งการพล็อตออกเป็นสองส่วนคือขนาด (Magnitude) และเฟส (Phase angle) ที่ช่วงความถี่ต่างๆ โดยจะทำการพล็อตบนกราฟครึ่งล็อก (Semi-Logarithm) เพื่อให้สามารถพิจารณาผลตอบสนองของระบบในช่วงความถี่ที่กว้างกว่าการใช้กราฟที่เป็นเชิงเส้น (Linear) โดยตัวอย่างต่อไปจะแสดงถึงข้อดีในการประยุกต์ลอการิทึมในการพล็อตแผนภาพโบต

#### ตัวอย่าง

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{(s+z_1)\dots(s+z_m)}{(s+p_1)\dots(s+p_n)}$$

$$|G(j\omega)| = \frac{|(j\omega+z_1)\dots(j\omega+z_m)|}{|(j\omega+p_1)\dots(j\omega+p_n)|}$$

$$\log \frac{|(j\omega+z_1)\dots(j\omega+z_m)|}{|(j\omega+p_1)\dots(j\omega+p_n)|} = \log|(j\omega+z_1)| + \dots + \log|(j\omega+z_m)| - \log|(j\omega+p_1)| + \dots + \log|(j\omega+p_n)|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างเราจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการ Take Log จะสามารถแยกพล็อตขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนแต่ละเทอมได้ ซึ่งจะทำให้สามารถพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ซับซ้อนได้ง่าย

การพล็อต โปดพล็อตนั้นมีแฟกเตอร์พื้นฐาน (Basic Factors) ที่สำคัญอยู่ 4 แฟกเตอร์คือ

1. เทอมเกนเค  $G(j\omega) = K$  ( $K$  Gain) หรือตัวควบคุมชนิดพี (P Controller)

2. เทอมอินทิกรัล  $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$  หรือตัวควบคุมชนิดไอ (I Controller)

เทอมอนุพันธ์  $G(j\omega) = j\omega$  หรือตัวควบคุมชนิดดี (D Controller)

3. เทอมซีโรอันดับหนึ่ง  $G(j\omega) = 1 + j\omega T$  (Zero)

เทอมโพลอันดับหนึ่ง  $G(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega T}$  (Pole)

4. เทอมอันดับสอง  $G(j\omega) = \left(1 + 2\xi \left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right) + \left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^{\pm 1}$  (second order)

ทำการพิจารณาการพล็อตแผนภาพโบทของขนาดและเฟสของแต่ละแฟกเตอร์ ดังนี้

1. เทอมเกน  $K$  ( $K$  Gain Factors)

- การหาขนาด

การหาขนาดของ  $G(j\omega)$  เมื่อเกนเคมีค่ามากกว่าศูนย์ ( $K > 0$ ) และเกนเคมีค่าน้อยกว่าศูนย์ ( $K < 0$ ) สามารถทำได้ดังนี้

เมื่อ  $G(j\omega) = K$

ทำการเทค 20 ล็อกจะได้

$$20 \log G(j\omega) = 20 \log |K|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขนาดของ  $G(j\omega)$  เมื่อเกนเคมีค่ามากกว่าศูนย์ ( $K > 0$ ) และเกนเคมีค่าน้อยกว่าศูนย์ ( $K < 0$ ) จะมีค่าเท่ากันดังรูปที่ 2.1

- การหาเฟส

การหาเฟสของ  $G(j\omega)$  เมื่อเกนเคมีค่ามากกว่าศูนย์ ( $K > 0$ ) และเกนเคมีค่าน้อยกว่าศูนย์ ( $K < 0$ ) ต้องทำการแยกหาแต่ละตัวดังนี้

เมื่อ  $G(j\omega) = K$  และ  $K > 0$

ทำการหามุมเฟสโดยการ Take  $\tan^{-1} G(j\omega)$  จะได้

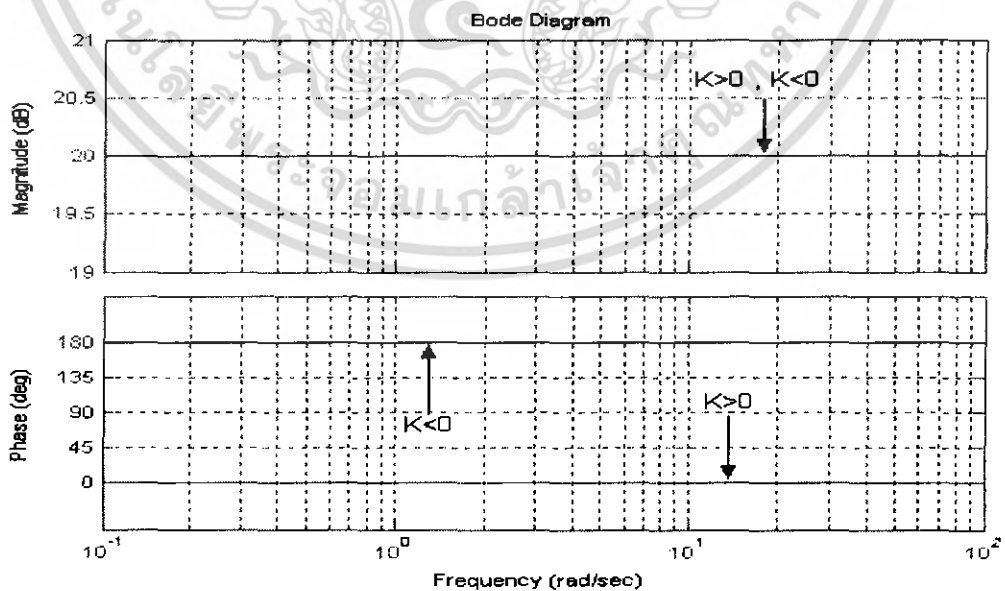
$$\angle K = \tan^{-1} K = 0$$

เมื่อ  $G(j\omega) = K$  และ  $K < 0$

ทำการหามุมเฟสโดยการ Take  $\tan^{-1} G(j\omega)$  จะได้

$$\angle K = \tan^{-1} K = 180^\circ$$

ผังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนเมื่อ  $G(s) = K$  โดยที่  $K > 0$  และ  $K < 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เทอมอนุพันธ์และเทอมอินทิกรัล (Derivative and Integral Factors)

### 2.1 เทอมอนุพันธ์ $G(j\omega) = j\omega$

- การหาขนาด

การหาขนาดของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = j\omega$  สามารถทำได้ดังนี้

เมื่อ  $G(j\omega) = j\omega$

ทำการเทค 20 ล็อกจะได้

$$20 \log |j\omega| = 20 \log \sqrt{\omega^2} = 20 \log \omega$$

จะได้เส้นตรง Slope 20 db/decade ดังรูปที่ 2.2

- การหาเฟส

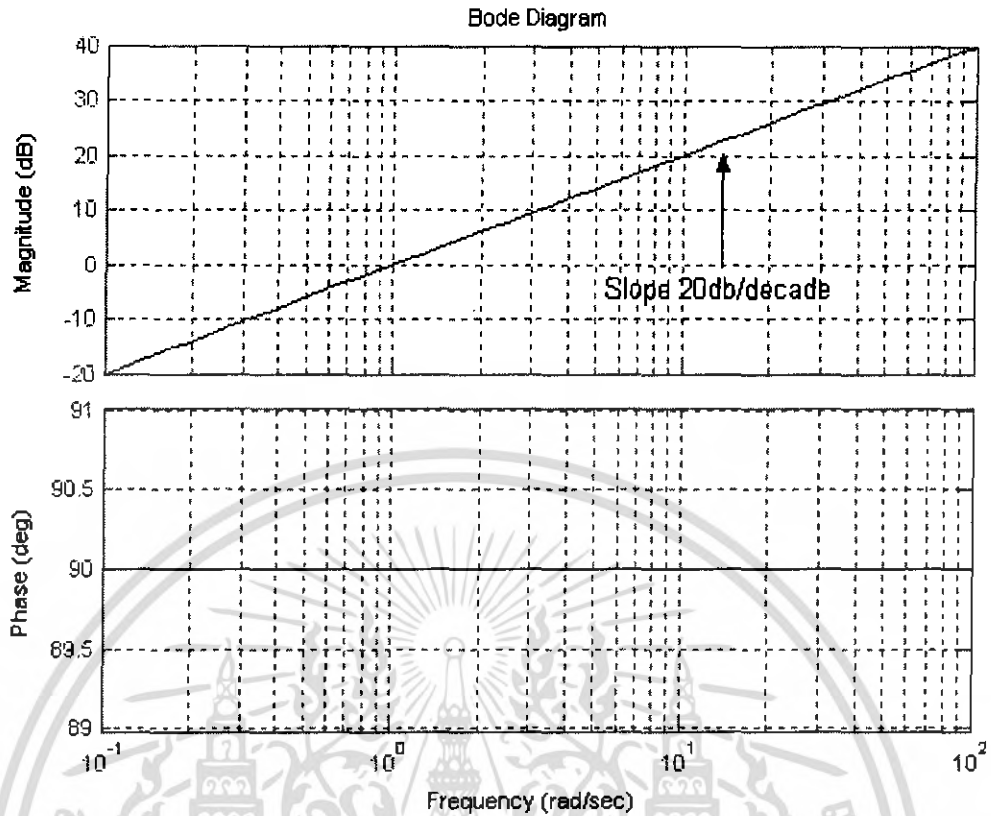
การหาเฟสของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = j\omega$  สามารถทำได้ดังนี้

เมื่อ  $G(j\omega) = j\omega$

ทำการหามุมเฟสโดยการ Take  $\tan^{-1} G(j\omega)$  จะได้

$$\angle j\omega + 0 = \tan^{-1} \frac{j\omega}{0} = 90^\circ$$

ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน  $G(j\omega) = j\omega$

2.2 เทอมอินทิกรัล  $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$

- การหาขนาด

การหาขนาดของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$  สามารถทำได้ดังนี้

เมื่อ  $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$

ทำการเทค 20 ล็อกจะได้

$$20 \log \left| \frac{1}{j\omega} \right| = 20 \log 1 - 20 \log |j\omega| = -20 \log \omega$$

จะได้เส้นตรง Slope -20 db/decade ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหาเฟส

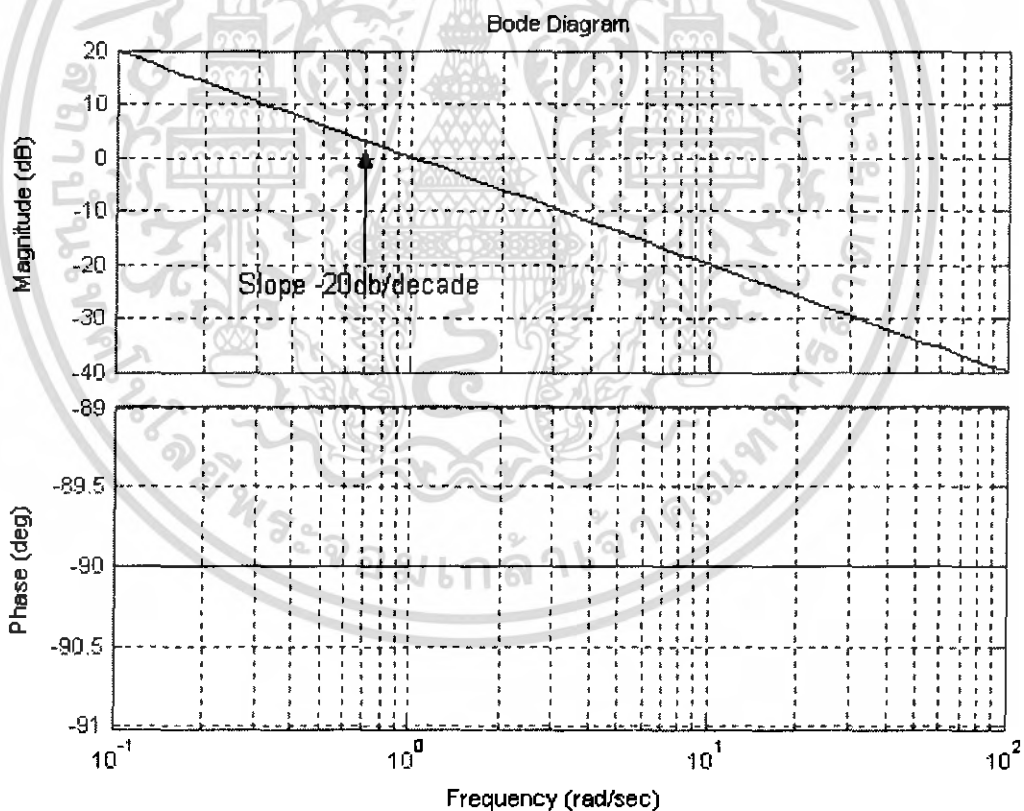
การหาเฟสของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$  สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$$

ทำการหามุมเฟสโดยการ Take  $\tan^{-1} G(j\omega)$  จะได้

$$\angle \frac{1}{j\omega} = \tan^{-1} 1 - \tan^{-1} j\omega = 0^\circ - 90^\circ$$

ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน  $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$

### 3. เทอมซีโรอันดับหนึ่งและเทอมโพลอันดับหนึ่ง (Zero and Pole Factors)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 เทอมซีโรอันดับหนึ่ง $G(j\omega) = 1 + j\omega T$ (Zero)

- การหาขนาด

การหาขนาดของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = 1 + j\omega T$  สามารถทำได้ดังนี้

เมื่อ  $G(j\omega) = 1 + j\omega T$

ทำการเทค 20 ล็อกจะได้

$$20 \log |1 + j\omega T| = 20 \log 1 + 20 \log |1 + j\omega T| = 20 \log \sqrt{1 + \omega^2 T^2}$$

โดยจะแยกเป็นสองกรณีคือ

1. เมื่อ  $\omega \ll 1$

$$20 \log \sqrt{1 + \omega^2 T^2} \approx 0$$

2. เมื่อ  $\omega \gg 1$

$$20 \log \sqrt{1 + \omega^2 T^2} \approx 20 \log \sqrt{\omega^2 T^2}$$

$$= 20 \log \omega T = 20 \log \omega + 20 \log T$$

เราจะได้เส้นตรง Slope 20db/decade และตัดเส้น 0 db ที่  $\omega = \frac{1}{T}$  ดังรูปที่ 2.4

- การหาเฟส

การหาเฟสของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = 1 + j\omega T$  สามารถทำได้ดังนี้

เมื่อ  $G(j\omega) = 1 + j\omega T$

ทำการหามุมเฟสโดยการ Take  $\tan^{-1} G(j\omega)$  จะได้

$$\angle 1 + j\omega T = \tan^{-1} \frac{\omega T}{1}$$

โดยจะแบ่งเป็นสามกรณีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อ  $\omega \ll 1$

$$\tan^{-1} \frac{\omega T}{1} = \tan^{-1} 0$$

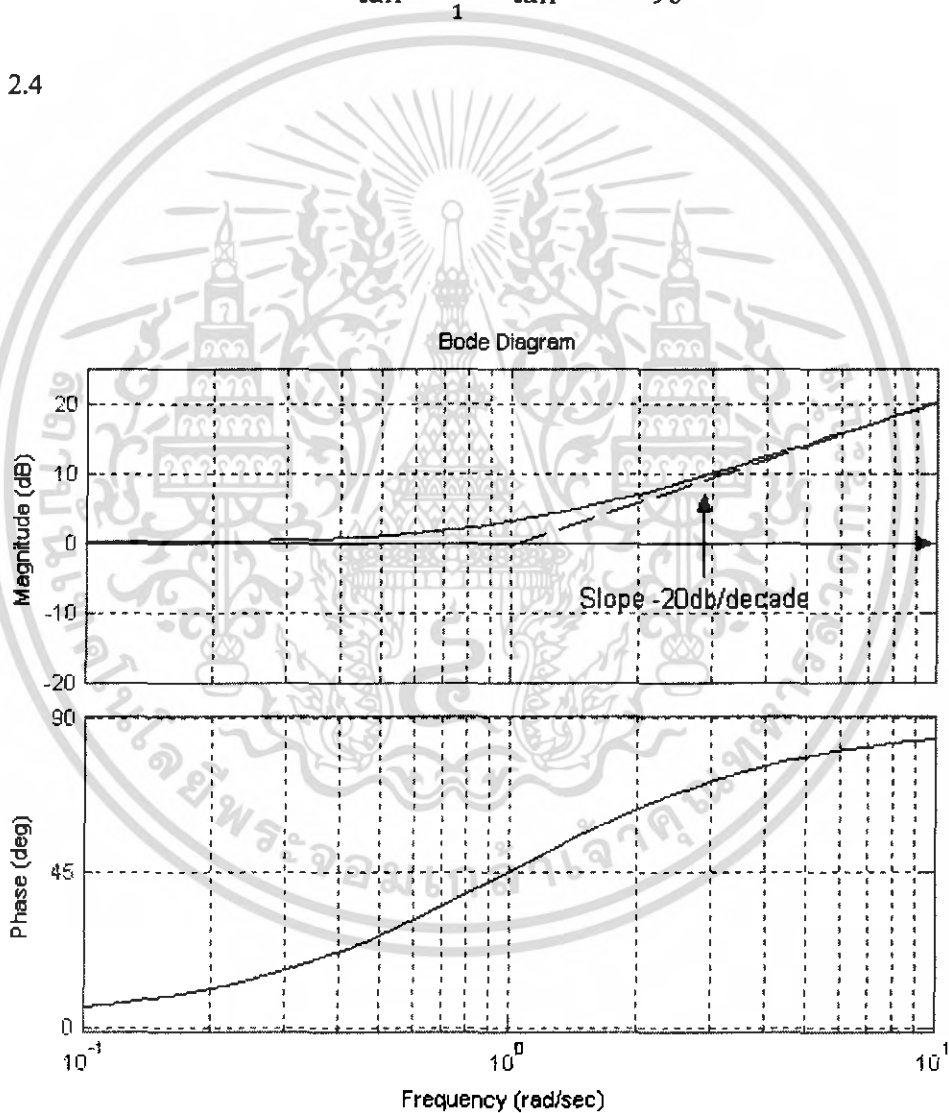
2. เมื่อ  $\omega = \frac{1}{T}$

$$\tan^{-1} \frac{\omega T}{1} = \tan^{-1} 1 = 45^\circ$$

3. เมื่อ  $\omega \gg 1$

$$\tan^{-1} \frac{\omega T}{1} = \tan^{-1} \infty = 90^\circ$$

ผังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน  $G(j\omega) = 1 + j\omega T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เทอมโพลอันดับหนึ่ง $G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T}$ (Pole)

- การหาขนาด

การหาขนาดของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T}$  สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T}$$

ทำการเทค 20 ล็อกจะได้

$$\begin{aligned} 20 \log \left| \frac{1}{1+j\omega T} \right| &= 20 \log 1 - 20 \log |1 + j\omega T| \\ &= -20 \log \sqrt{1 + \omega^2 T^2} \end{aligned}$$

โดยจะแยกเป็นสองกรณีคือ

1. เมื่อ  $\omega \ll 1$

$$-20 \log \sqrt{1 + \omega^2 T^2} \approx 0$$

2. เมื่อ  $\omega \gg 1$

$$\begin{aligned} -20 \log \sqrt{1 + \omega^2 T^2} &\approx -20 \log \sqrt{\omega^2 T^2} \\ &= -20 \log \omega T \end{aligned}$$

$$= -20 \log \omega - 20 \log T$$

เราจะได้เส้นตรง Slope  $-20 \text{ db/decade}$  และตัดเส้น  $0 \text{ db}$  ที่  $\omega = \frac{1}{T}$  ดังรูปที่ 2.5

- การหาเฟส

การหาเฟสของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T}$  สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการหามุมเฟสโดยการ Take  $\tan^{-1} G(j\omega)$  จะได้

$$\angle \frac{1}{1+j\omega T} = -\tan^{-1} \frac{\omega T}{1}$$

โดยจะแบ่งเป็นสามกรณีดังนี้

1. เมื่อ  $\omega \ll 1$

$$-\tan^{-1} \frac{\omega T}{1} = -\tan^{-1} 0$$

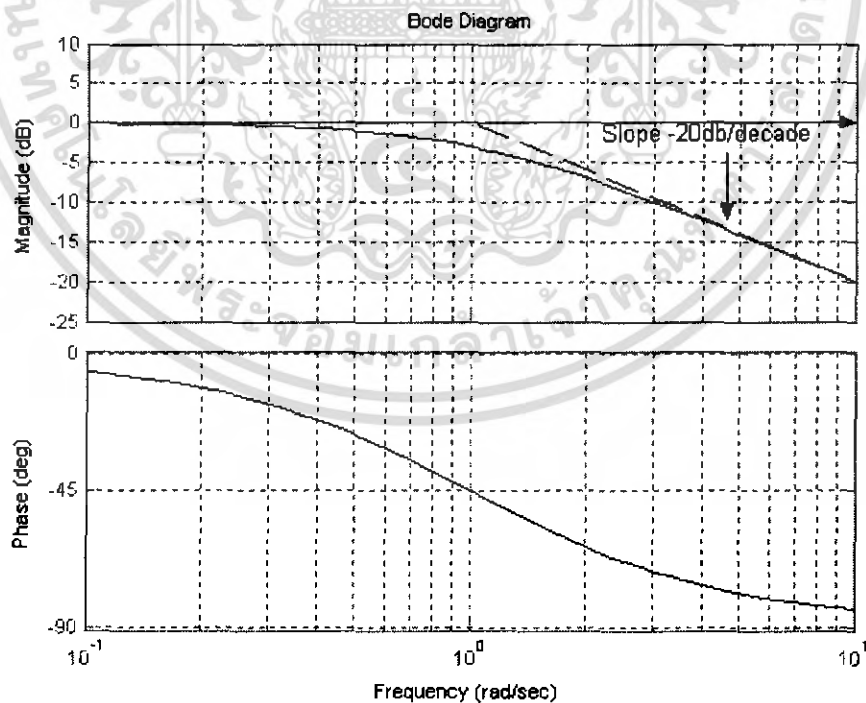
2. เมื่อ  $\omega = \frac{1}{T}$

$$-\tan^{-1} \frac{\omega T}{1} = -\tan^{-1} 1 = -45^\circ$$

3. เมื่อ  $\omega \gg 1$

$$-\tan^{-1} \frac{\omega T}{1} = -\tan^{-1} \infty = -90^\circ$$

ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน  $G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. เทอมอันดับสอง (Quadratic Factors)

$$\text{กรณีที่ } G(j\omega) = \frac{1}{1+2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (\text{Quadratic lag})$$

- การหาขนาด

การหาขนาดของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = \frac{1}{1+2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$  สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } G(j\omega) = \frac{1}{1+2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

ทำการเทค 20 ล็อกจะได้

$$20 \log \left| \frac{1}{1+2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right| = -20 \log \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

โดยเส้นแอสซิมโททของผลตอบสนองทางความถี่สามารถแบ่งเป็นสามกรณีคือ

1. สำหรับความถี่ต่ำๆ  $\omega \ll \omega_n$  เช่น

$$-20 \log 1 = 0 \text{ db}$$

ดังนั้นเส้นแอสซิมโททที่ความถี่ต่ำ (Low-frequency asymptote) จะวางอยู่บนแกนแนวราบ (Horizontal line) ที่ 0 db

2. สำหรับความถี่สูงๆ  $\omega \gg \omega_n$  เช่น

$$-20 \log \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right) = -40 \log \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right) \text{ db}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเส้นแอสซิมโททที่ความถี่สูง (High-frequency asymptote) จะวางต่อกับเส้นแอสซิมโททที่ความถี่ต่ำ (Low-frequency asymptote) ที่  $\omega = \omega_n$  ดังนี้

$$-40 \log \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right) = -40 \log 1 = 0 \text{ db}$$

โดยเส้นแอสซิมโททของทั้งสองกรณีข้างต้นนี้ไม่ขึ้นกับค่า  $\xi$

3.  $\omega = \omega_n$  เรียกความถี่ตรงค่านี้ว่าเป็นความถี่รีโซแนนซ์ (Resonance) หรือความถี่หักมุม (Corner frequency) ซึ่งจะทำให้ขนาดมีค่าสูงสุด โดยมีค่า  $\xi$  เป็นตัวกำหนดความสูงของค่าสูงสุด สำหรับ Quadratic lag

เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า  $\xi$  ตั้งแต่  $\xi = 0 - 1$  จะได้ผลดังรูปที่ 2.6

- การหาเฟส

การหาเฟสเป็นความสัมพันธ์ของเส้นโค้งขนาดแบบล็อก (log-magnitude curve) และเส้นโค้งมุมเฟส (Phase angle curve) กับการเปลี่ยนแปลงค่า  $\xi$

การหาเฟสของ  $G(j\omega)$  เมื่อ  $G(j\omega) = \frac{1}{1+2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$  สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } G(j\omega) = \frac{1}{1+2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

ทำการหามุมเฟสโดยการ Take  $\tan^{-1} G(j\omega)$  จะได้

$$\phi = \angle \frac{1}{1+2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} = -\tan^{-1} \left[ \frac{2\xi\frac{\omega}{\omega_n}}{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right]$$

มุมเฟสเป็นฟังก์ชันของ  $\omega$  และ  $\xi$  สามารถแบ่งเป็นสามกรณีดังนี้

1. ที่  $\omega = 0$

$$\phi = -\tan^{-1} 0 = 0^\circ$$

จะได้มุมเฟส =  $0^\circ$

2. ที่  $\omega = \omega_n$  ซึ่งเป็นความถี่หักมุม มุมเฟส =  $-90^\circ$  ซึ่งไม่ต้องคิดค่า  $\xi$  คือ

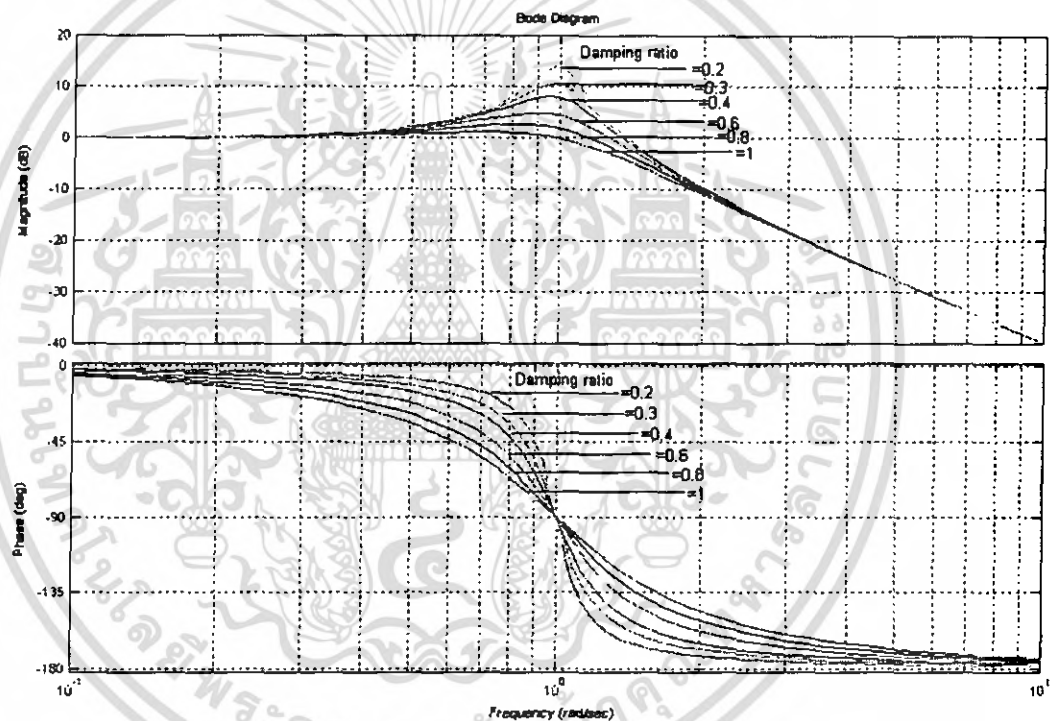
$$\phi = -\tan^{-1} \left[ \frac{2\xi}{0} \right] = -\tan^{-1} \infty = -90^\circ$$

จะได้มุมเฟส =  $-90^\circ$  ซึ่งไม่ต้องคิดค่า  $\xi$

3. ที่  $\omega = \infty$

$$\phi = -\tan^{-1} \left[ \frac{2\xi}{\infty} \right] = -\tan^{-1} 0 = -180^\circ$$

จะได้มุมเฟส =  $-180^\circ$  ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน  $G(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\xi \left( j\frac{\omega}{\omega_n} \right) + \left( j\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2}$

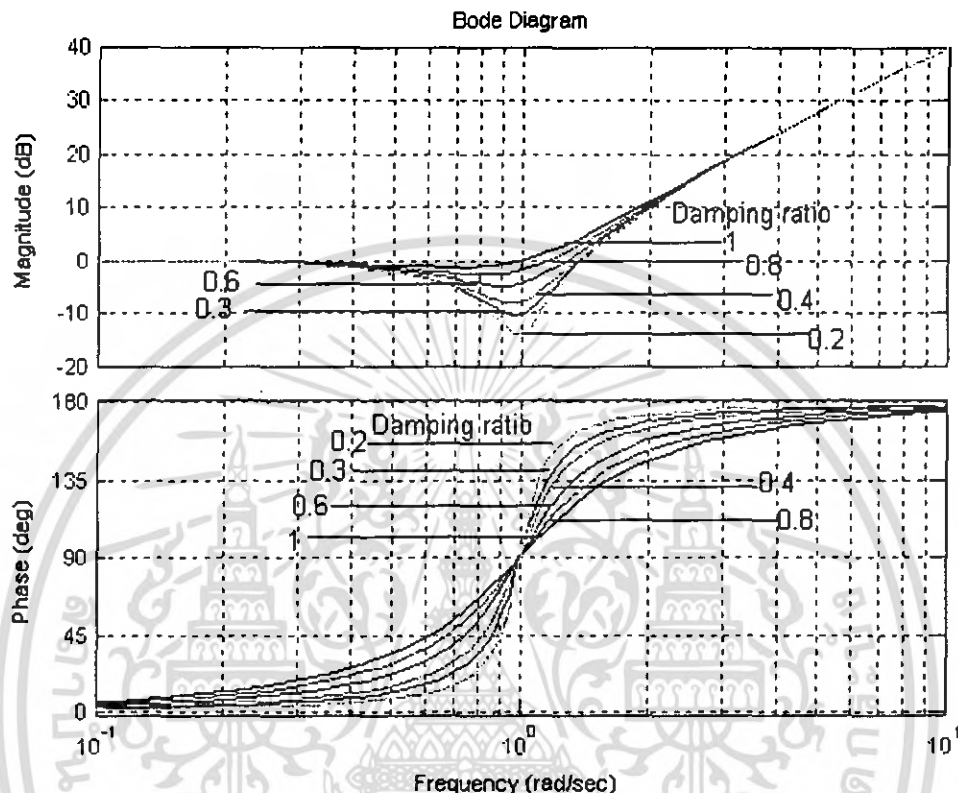
สำหรับแฟคเตอร์

$$G(j\omega) = 1 + 2\xi \left( j\frac{\omega}{\omega_n} \right) + \left( j\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2$$

สามารถแสดงเส้นโค้งขนาดแบบล็อก (log-magnitude curve) และเส้นโค้งมุมเฟส (Phase angle curve) โดยการกลับเครื่องหมายแฟคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right) + \left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad \text{คังรูปที่ 2.7}$$



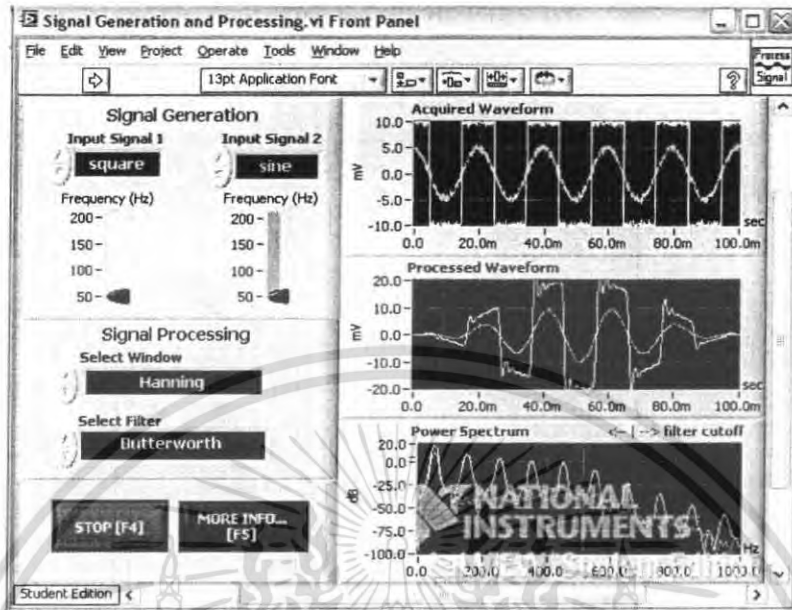
รูปที่ 2.7 การพล็อตขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน  $G(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right) + \left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$

## 2.2 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)

LabVIEW เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆ ที่ซับซ้อนได้เหมือน Text-Based การทำงาน จะเน้นการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่างๆ และนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งานทำให้ในหลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้งานกับงานวัดคุม และออโตเมชัน (Automation) โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual

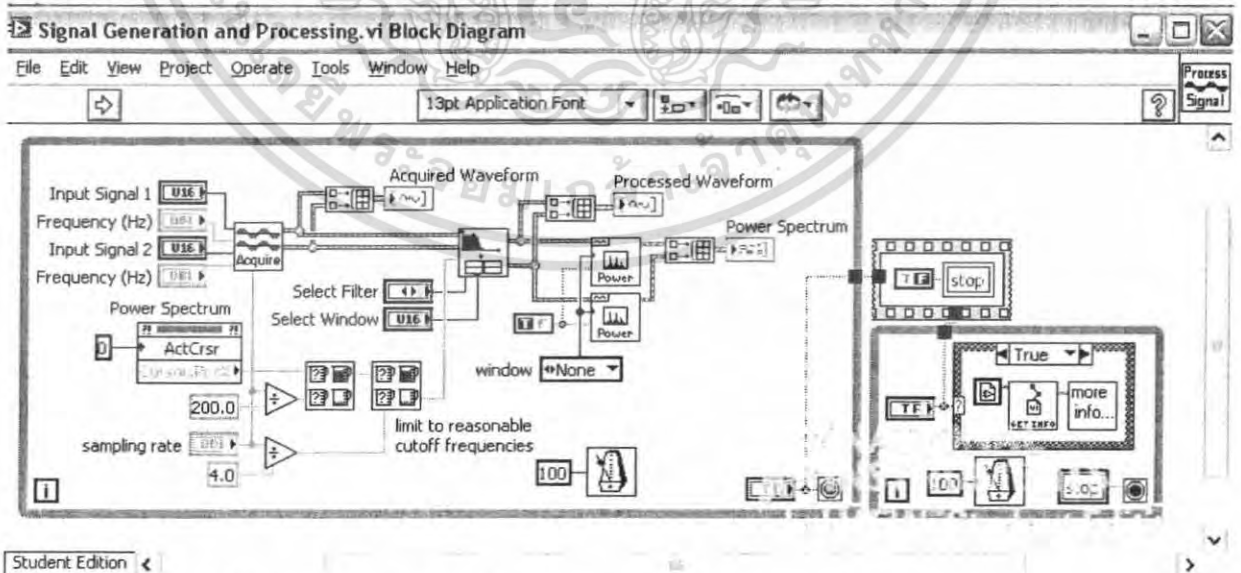
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังตัวอย่างจากรูปนี้เป็น Signal Generation and Processing ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเครื่องมือวัดเสมือนที่แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ (ส่วนของ Front Panel)

LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนกับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.8 ส่วนพื้นที่ที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการเขียน โปรแกรม LabVIEW บน Block Diagram

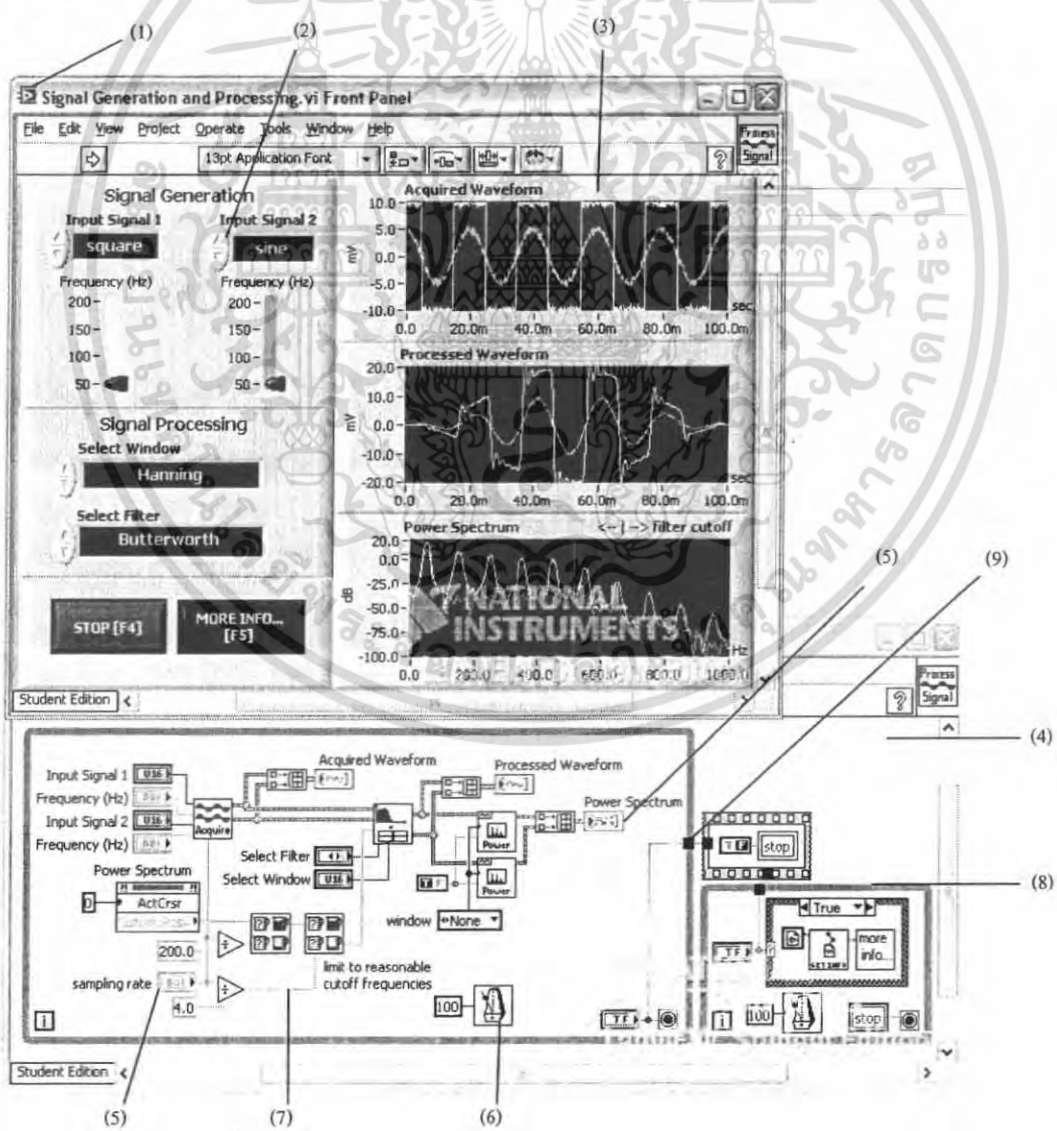
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถ ออกแบบรูปแบบ โปรแกรมตามความต้องการได้ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากภายนอกระบบเข้าสู่ระบบ ระบบในที่นี้ คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ(สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า) , การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysisหรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประ โยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบน หน้าจอคอมพิวเตอร์ หรือพิมพ์ออกมาเป็นรายงาน หรือเก็บบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายจากรูป (ตามหมายเลข )

(1) Front Panel คือ ส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย Control หรือ Input (รับข้อมูลจากผู้ใช้) และ Indicator หรือ Output (แสดงผลให้ผู้ใช้งานเห็น)

(2) Control คือสิ่งที่ผู้ใช้งานจะป้อนค่าหรือเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งก็คือ Input เข้าสู่ระบบในรูปแบบ Numeric control (ตัวรับข้อมูลแบบตัวเลข)

(3) Indicator เป็นสิ่งที่โปรแกรมแสดงผลออกมาให้ผู้ใช้งานเห็น ซึ่งก็คือ Output ที่ออกมาจากรบบหรือ Application ที่พัฒนา

(4) Block Diagram คือส่วนที่ผู้พัฒนาใช้ในการเขียนโปรแกรม หรือส่วนของ Source Code

(5) Terminal จะมีสองรูปแบบ คือ จุดกำเนิด (Source) หรือ (Output Terminal) และจุดรับ (Sink) หรือ (Input Terminal)

(6) Icons คือ ส่วนที่มีการทำงานบางอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อโปรแกรมทำงาน เช่น ฟังก์ชันซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่มีอยู่แล้วใน LabVIEW ได้แก่ Add, Subtract หรือ SubVIs ซึ่งจะหมายถึง VI ที่ถูกเรียกอ่านจาก VI หนึ่ง

(7) Wires คือ เส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านจุดกำเนิดข้อมูล (Source) ไปจุดรับข้อมูล/จุดสิ้นสุด (Sink)

(8) Structures คือส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เช่น For Loop

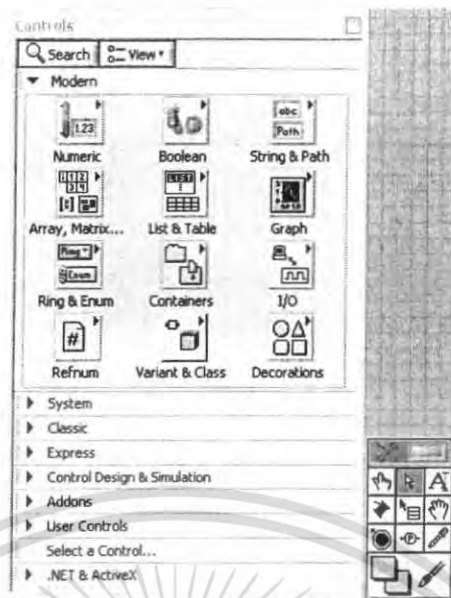
(9) Nodes คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างข้อมูลกับ SubVI , Function หรือ Structure

### เครื่องมือในการออกแบบ VI

- เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel

เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel จะใช้ Control Palette และ Tools Palette ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่าง ๆ ซึ่ง Tools Palette คือเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจะใช้ทั้งการออกแบบ Front Panel และ Block Diagram ดังรูป

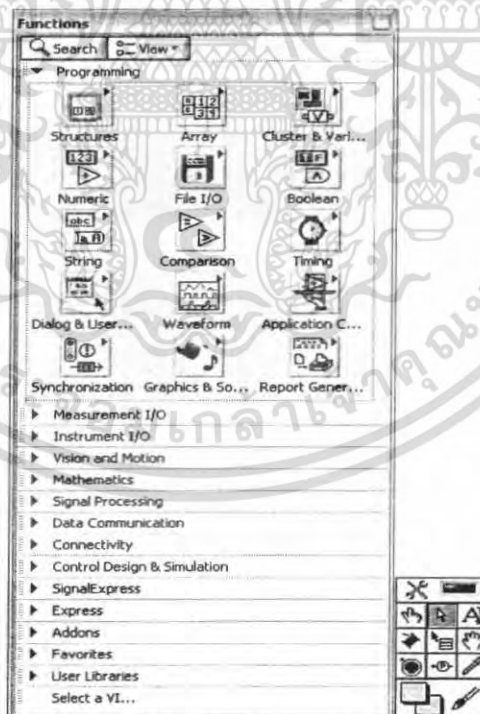
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Control Palette และ Tools Palette

เครื่องมือที่ใช้ในการเขียน โปรแกรมบน Block Diagram

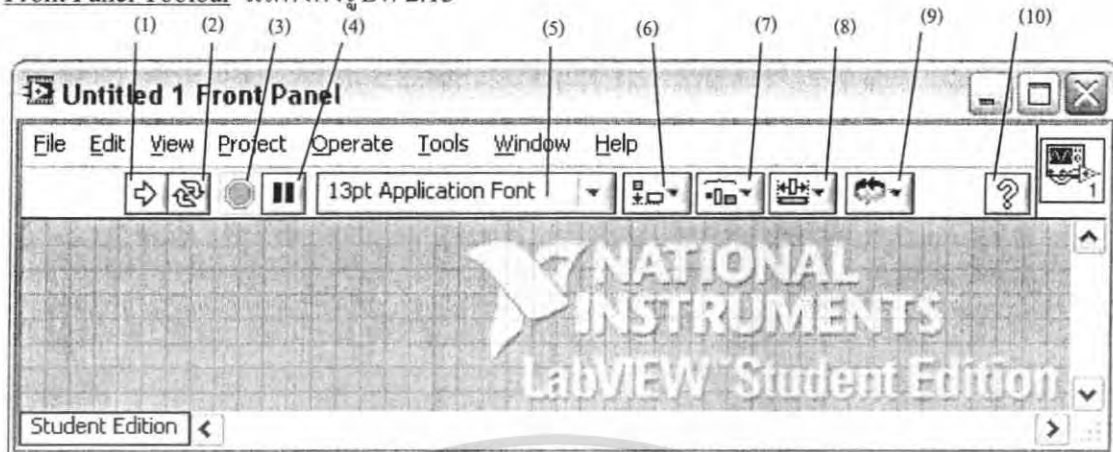
LabVIEW ใช้ Function Palette ซึ่งจะมี Function และ SubVI ต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วให้ผู้ใช้เลือกใช้ โดย Function และ SubVI จัดเป็นกลุ่ม ๆ ดังรูป



รูปที่ 2.12 Function Palette และ Tools Palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Front Panel Toolbar แสดงดังรูปที่ 2.13



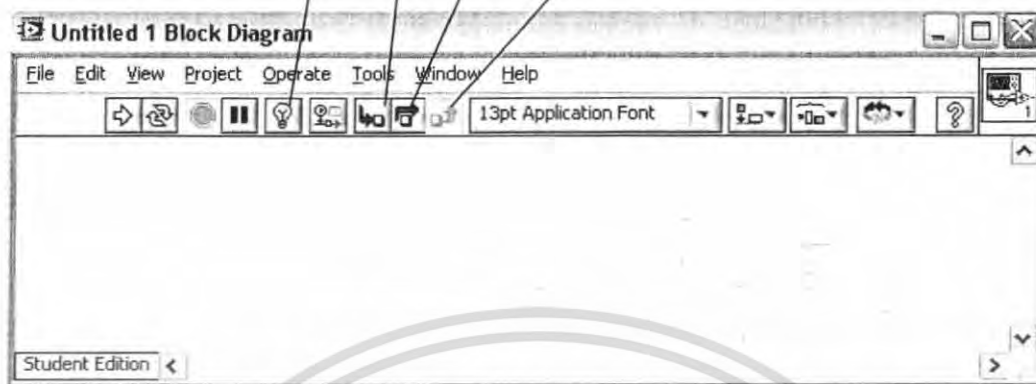
รูปที่ 2.13 Front Panel Toolbar

- (1) โปรแกรมสามารถ Run ได้เมื่อ Click ปุ่มนี้บน Toolbar
- (2) โปรแกรมสามารถ Run แบบต่อเนื่อง (Continuous) เมื่อ Click ปุ่มนี้
- (3) เมื่อโปรแกรมกำลัง Run อยู่สามารถหยุดการทำงาน โปรแกรมโดยการ Click ปุ่ม stop
- (4) หยุดชั่วคราว เพื่อตรวจสอบการทำงานของ โปรแกรม ซึ่งสามารถ Run ต่อไปได้เมื่อ Click ปุ่มอีกครั้ง
- (5) เลือกหรือแก้ไขรูปแบบอักษรที่ต้องการ
- (6) จัดแนวของสิ่งต่าง ๆ (Objects)
- (7) จัดระยะทางระหว่างสิ่งต่าง ๆ (Objects)
- (8) ปรับขนาดสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บน หลาย ๆ สิ่งซ้อนทับกัน
- (9) จัดลำดับของ Objects ที่วางซ้อนกัน
- (10) แสดง Context Help

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Block Diagram Toolbar

สิ่งที่เพิ่มเติมจาก Front Panel Toolbar ในส่วนของ Block Diagram มีดังรูปที่ 2.14 ดังนี้



รูปที่ 2.14 Block Diagram Toolbar

(1) Highlight Execution เมื่อ Click แล้ว ในการ Run Program จะทำให้โปรแกรม Run ช้าลงเพื่อให้เราเห็นถึงการไหลของข้อมูล และการทำงานของโปรแกรม

(2) เป็นการ Run Program แบบทีละคำสั่ง และจะลงไปถึงคำสั่งของ SubVI

(3) เป็นการ Run Program แบบทีละคำสั่งแต่จะไม่ลงไปถึงคำสั่ง SubVI

(4) ให้ Run จนออกจาก Loop และ SubVI

## หลักการการทำงานของ Dataflow Programming

โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย LabVIEW จะทำงานโดยอาศัยหลักการของ Dataflow ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟังก์ชันหรือ SubVI จะทำงานเมื่อมีข้อมูล (Input)

2. เมื่อฟังก์ชันหรือ SubVI ทำงานเสร็จจะทำให้ข้อมูล (Output) ไปยังฟังก์ชันหรือ SubVI

อื่นๆ ที่ ต้องการ

3. ข้อมูลจะถูกส่งผ่าน โดยสาย (wire)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### หลักการวิเคราะห์ และการออกแบบ

หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบซึ่งก็คือ การทำ Swept Sine Excitation และการ Sampling Signal , การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทรอนิกจำลอง Analog Low pass Filter แบบ Chebyshev – I Filter และการหาผลตอบสนองเชิงความถี่โดย Bode Plots ในส่วนของหลักการวิเคราะห์และหลักการออกแบบระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร Buck Converter อันประกอบไปด้วย การออกแบบวงจรที่ขับสัญญาณ Sine และ DC การออกแบบวงจร PWM Controller ส่วนของวงจร Buck Converter และส่วนที่ออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยเครื่องมือที่สำคัญเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบสนองทางความถี่คือ โบทพล็อต (Bode Plots) โบทพล็อต (Bode Plots) ถ้าเราป้อนสัญญาณด้านเข้าเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal) ความถี่  $\omega$  แล้วสัญญาณด้านออกของระบบที่วัดได้ก็ยังคงเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่  $\omega$  เช่นกันแต่จะมีขนาดและเฟสที่ต่างไปซึ่งขนาดและเฟสนี้เองที่เป็นคุณลักษณะสำคัญในการพิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ของระบบด้วยวิธี โบทพล็อต

การพล็อตแผนภาพโบด (Bode Diagram) แบ่งการพล็อตออกเป็นสองส่วนคือขนาด (Magnitude) และเฟส (Phase angle) ที่ช่วงความถี่ต่างๆ โดยจะทำการพล็อตบนกราฟครึ่งล็อก (Semi-Logarithm) เพื่อให้สามารถพิจารณาผลตอบสนองของระบบในช่วงความถี่ที่กว้างกว่าการใช้กราฟที่เป็นเชิงเส้น (Linear)

การออกแบบระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ในเบื้องต้นนั้น จะต้องเข้าใจหลักการทำงานในภาพรวมของระบบควบคุมก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร แล้วจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาส่วยย่อยต่างๆ อันประกอบไปด้วย การออกแบบวงจรที่ขับสัญญาณ Sine ที่สามารถปรับค่าให้ Sweep ไปตามย่านความถี่ที่เสียดค่าได้ ส่วนที่เป็นระบบจำลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (IIR Digital Filter) และส่วนของการนำค่าสัญญาณที่รับได้มาเปรียบเทียบหาค่าผลตอบสนองเชิงความถี่ และแสดงผลโดย Bode plots

### 3.1 การทำ Swept Sine Excitation และการ Sampling Signal

การใช้เทคนิค DSP (Digital Signal Processing) นั้น ต้องทำการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital โดยพิจารณาสัญญาณอนาล็อกที่ถูก Sampling ทุก ๆ วินาที

ในการตั้งค่าสัญญาณให้ Sweep ได้ มีหลักการที่ต้องคำนึงคือ การตั้งค่า Sampling Rate ไม่ให้เกิดการ Alias ของสัญญาณได้ ก็จะต้องทำการ Sample ที่ Sampling Frequency อย่างน้อยสองเท่าของความถี่ที่มากที่สุดของสัญญาณที่ต้องการ แต่ในทางปฏิบัติการ จะให้ Sampling Frequency ที่ 5-10 เท่าของความถี่สูงสุดที่ต้องการ

### 3.2 การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำลอง

การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำลอง คือสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำลอง Analog Low pass Filter แบบ Chebyshev – I Filter ซึ่งมี Spec ดังนี้

$$f_p \text{ (passband frequency)} = 10 \text{ kHz} \quad , \quad f_s \text{ (stopband frequency)} = 15 \text{ kHz}$$

$$R_p \text{ (passband ripple)} = 1 \text{ dB} \quad , \quad A_s \text{ (stopband attenuation)} = 25 \text{ dB}$$

โดยต้องการ spec ดังนี้คือ

$$f_p = 10 \text{ kHz} \quad \text{ก็คือ} \quad \Omega_p = 2\pi f_p = 62831.85307 \text{ rad/s}$$

$$f_s = 15 \text{ kHz} \quad \text{ก็คือ} \quad \Omega_s = 2\pi f_s = 94247.77961 \text{ rad/s}$$

$$E \text{ (ripple parameter)} = \sqrt{10^{R_p/10} - 1} = \sqrt{10^{1/10} - 1} = 0.5088$$

$$\Omega_c = \Omega_p = 62831.85307 \text{ rad/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = 10^{A_s/20} = 10^{25/20} = 17.7828$$

$$\Omega_r = \frac{\Omega_s}{\Omega_p} = 1.5$$

$$g = \sqrt{\frac{(A^2-1)}{\epsilon^2}} = 34.8952$$

$$\text{Order} = N = \frac{\left\lceil \log_{10}(g + \sqrt{g^2 - 1}) \right\rceil}{\left\lceil \log_{10}(\Omega_r + \sqrt{\Omega_r^2 - 1}) \right\rceil}$$

$$= \frac{\left\lceil \log_{10}(34.8952 + \sqrt{34.8952^2 - 1}) \right\rceil}{\left\lceil \log_{10}(1.5 + \sqrt{1.5^2 - 1}) \right\rceil}$$

$$= 5$$

โพลที่สอดคล้องของวงจกรอง

$$\alpha = \frac{1}{\epsilon} + \sqrt{1 + \frac{1}{\epsilon^2}} = 4.1706$$

$$a = 0.5 \left( \sqrt[N]{\alpha} - \sqrt[N]{1/\alpha} \right) = 0.2895$$

$$b = 0.5 \left( \sqrt[N]{\alpha} + \sqrt[N]{1/\alpha} \right) = 1.0411$$

เพราะฉะนั้นโพลที่สอดคล้องของวงจกรองคือ

$$P_k = (a\Omega_c) \cos \left[ \frac{\pi}{2} + \frac{(2k+1)\pi}{2N} \right] + j(b\Omega_c) \sin \left[ \frac{\pi}{2} + \frac{(2k+1)\pi}{2N} \right] \quad ; k = 0,1,2,3,4$$

$$P_{0,4} = -5.6208 \times 10^3 \pm j 6.2210 \times 10^4$$

$$P_2 = -1.8189 \times 10^4$$

$$P_{1,3} = -1.4716 \times 10^4 \pm j 3.8448 \times 10^4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(S) = \frac{k}{\prod_{k=0}^4 (S - P_k)}$$

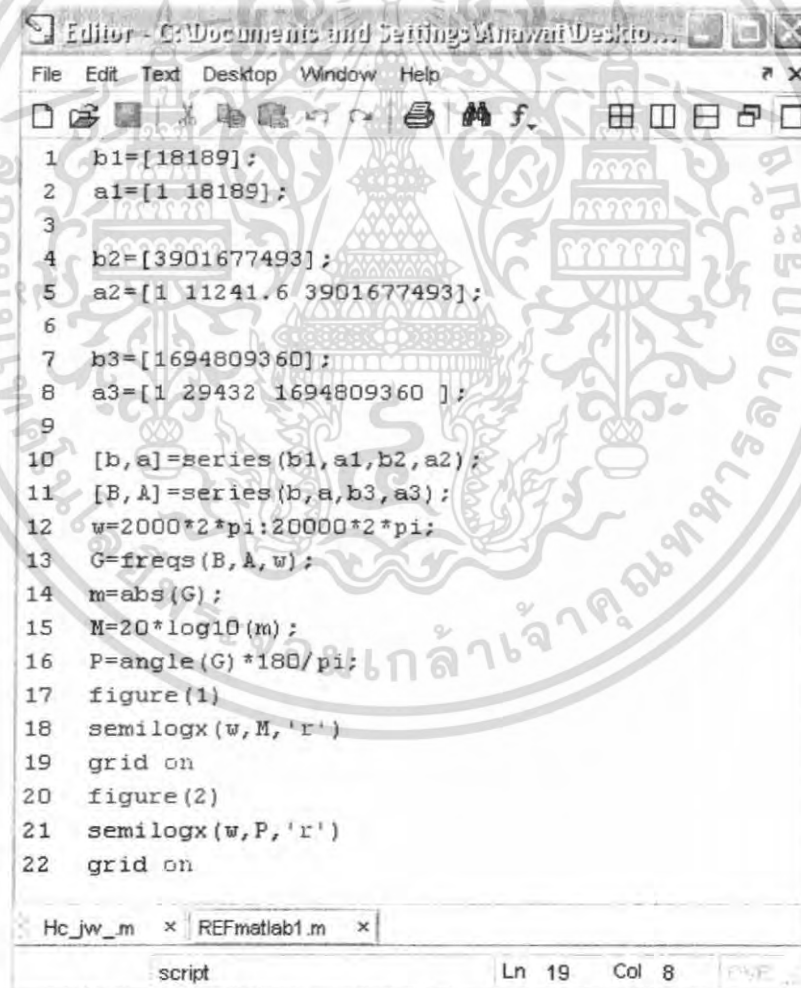
เมื่อ  $N$  เป็นจำนวนคี่  $H(j0) = 1$

$$\begin{aligned} K &= 18189 \times 3901677493 \times 1694809360 \\ &= 1.202765729 \times 10^{23} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบคือ

$$H(s) = \frac{1.202765729 \times 10^{23}}{(S + 18189)(S^2 + 11241.6S + 3901677493)(S^2 + 29432S + 1694809360)}$$

และคำนวณหาผลตอบสนองของความถี่ด้วยการใช้ Matlab simulink ดังนี้



```

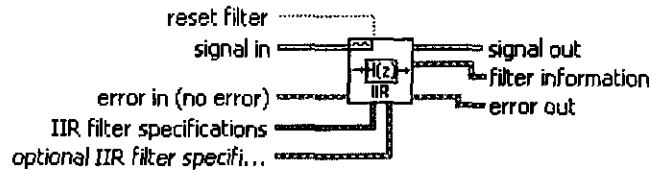
Editor - C:\Documents and Settings\Anawat\Desktop...
File Edit Text Desktop Window Help
1 b1=[18189];
2 a1=[1 18189];
3
4 b2=[3901677493];
5 a2=[1 11241.6 3901677493];
6
7 b3=[1694809360];
8 a3=[1 29432 1694809360];
9
10 [b,a]=series(b1,a1,b2,a2);
11 [B,A]=series(b,a,b3,a3);
12 w=2000*2*pi:20000*2*pi;
13 G=freqs(B,A,w);
14 m=abs(G);
15 M=20*log10(m);
16 P=angle(G)*180/pi;
17 figure(1)
18 semilogx(w,M,'r')
19 grid on
20 figure(2)
21 semilogx(w,P,'r')
22 grid on
Hc_jw_m x REFmatlab1.m x
script Ln 19 Col 8

```

รูปที่ 3.1 แสดงการคำนวณด้วย Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของLabVIEW นั้น มีฟังก์ชัน Filter ให้เลือก โดยใช้ IIR (Infinite Impulse Response) Filter

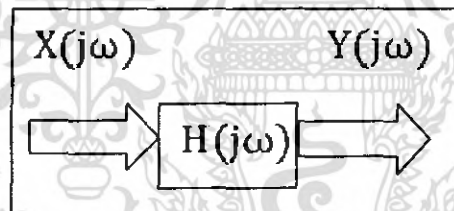


รูปที่ 3.2 IIR Digital Filter

### 3.3 การหาผลตอบสนองเชิงความถี่โดย Bode Plots

ถ้าป้อนสัญญาณไซน์ (Sinusoidal) ความถี่  $\omega$  แล้วสัญญาณด้านออกของระบบที่วัดได้ก็ยังคงเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่  $\omega$  เช่นกันแต่จะมีขนาดและเฟสที่ต่างไปซึ่งขนาดและเฟสที่ต่างไปนี้เองที่เป็นคุณลักษณะสำคัญในการพิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบด้วยวิธี Bode Plots

การพล็อตแผนภาพBode Diagramแบ่งการพล็อตออกเป็นสองส่วนคือขนาด(Magnitude) และเฟส(Phase angle)ในช่วงความถี่ต่างๆ โดยจะทำการพล็อตบนกราฟSemi-Logarithm เพื่อให้สามารถพิจารณาผลตอบสนองของระบบในช่วงความถี่ที่กว้างกว่าการใช้กราฟที่เป็นเชิงเส้น (Linear)



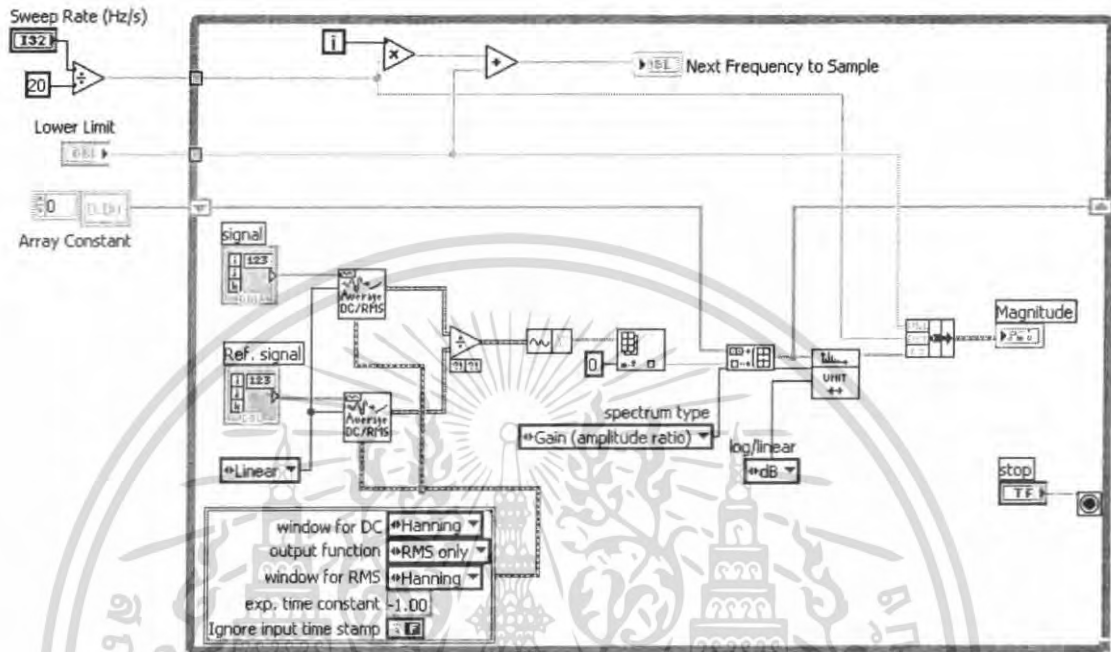
ฟังก์ชันการส่งผ่าน  $H(j\omega)$  ของวงจรเป็นอัตราส่วน(ที่ขึ้นกับความถี่) ของเฟเซอร์เอาท์พุต  $x(\omega)$  ต่อเฟเซอร์อินพุต  $x(j\omega)$

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

- ขนาด  $H(\omega)$  คืออัตราส่วนแอมพลิจูดของสัญญาณเอาท์พุตต่ออินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

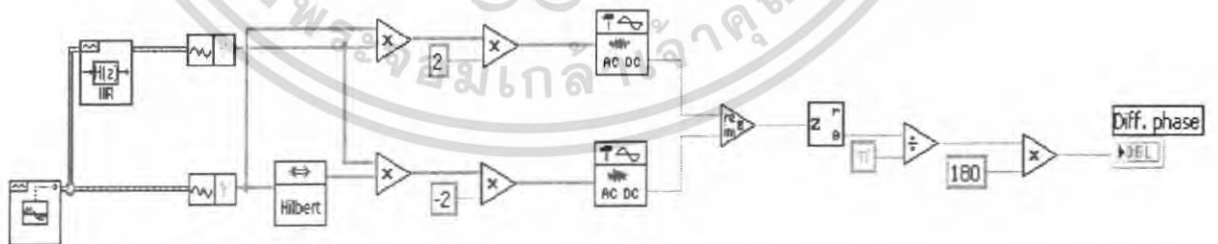
การนำสัญญาณ 2 สัญญาณเข้ามา ทำการหาค่าแอมพลิจูด (หรือค่า  $V_{rms}$ ) ของแต่ละสัญญาณ นำมาหารกันและนำค่าที่ได้มาสเกลให้อยู่ในหน่วยเดซิเบล ( $|H(j\omega)| = 20 \log |H(j\omega)|$  dB) ต่อมาคือการนำค่านั้นไปแสดงในกราฟ



รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์ห้ขนาดและการใช้ Shift Register ในการเก็บค่า

- มุมเฟส  $\angle H(j\omega)$  คือ มุมเฟสที่เลื่อนไปเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ทางเอาท์พุทคลบกับสัญญาณทางอินพุต

$$\angle H(j\omega) = \tan^{-1} H(j\omega)$$



รูปที่ 3.4 แสดงการวิเคราะห์ห้มุมเฟส

Reference signal =  $\sin(at)$

Hilbert Transform of reference signal =  $\cos(at)$

Measured signal =  $\sin(at + \phi)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จาก } \sin(A \pm B) = \sin(A) \cos(B) \pm \cos(A) \sin(B) \quad -(1)$$

$$\cos(A \pm B) = \cos(A) \cos(B) \mp \sin(A) \sin(B) \quad -(2)$$

จากสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \sin(A + B) - \sin(A - B) &= \sin(A) \cos(B) + \cos(A) \sin(B) \\ &\quad - \sin(A) \cos(B) + \cos(A) \sin(B) \end{aligned}$$

$$\sin(A + B) - \sin(A - B) = 2 \cos(A) \sin(B) \quad -(3)$$

จากสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} \cos(A + B) - \cos(A - B) &= \cos(A) \cos(B) - \sin(A) \sin(B) - \cos(A) \cos(B) - \\ &\quad - \sin(A) \sin(B) \end{aligned}$$

$$\cos(A + B) - \cos(A - B) = -2 \sin(A) \sin(B) \quad -(4)$$

$$\text{แทน } A = at, \quad B = at + \phi$$

จากสมการที่ (3)

$$\begin{aligned} 2 \cos(at) \sin(at + \phi) &= \sin(at + at + \phi) - \sin(at - at - \phi) \\ &= \sin(2at + \phi) - \sin(-\phi) \end{aligned}$$

$$2 \cos(at) \sin(at + \phi) = \sin(\phi) + \sin(2at + \phi)$$

จากสมการที่ (4) จะได้

$$\begin{aligned} -2 \sin(at) \sin(at + \phi) &= \cos(at + at + \phi) - \cos(at - at - \phi) \\ &= -\cos(\phi) + \cos(2at + \phi) \end{aligned}$$

$$2 \sin(at) \sin(at + \phi) = \cos(\phi) - \cos(2at + \phi)$$

$$\text{จะได้} \quad 2 \cos(at) \sin(at + \phi) = \sin(\phi) + \sin(2at + \phi)$$

$$2 \sin(at) \sin(at + \phi) = \cos(\phi) - \cos(2at + \phi)$$

$\cos(\phi)$  และ  $\sin(\phi)$  คือ DC terms

$\cos(at + \phi)$  และ  $\sin(at + \phi)$  คือ AC terms

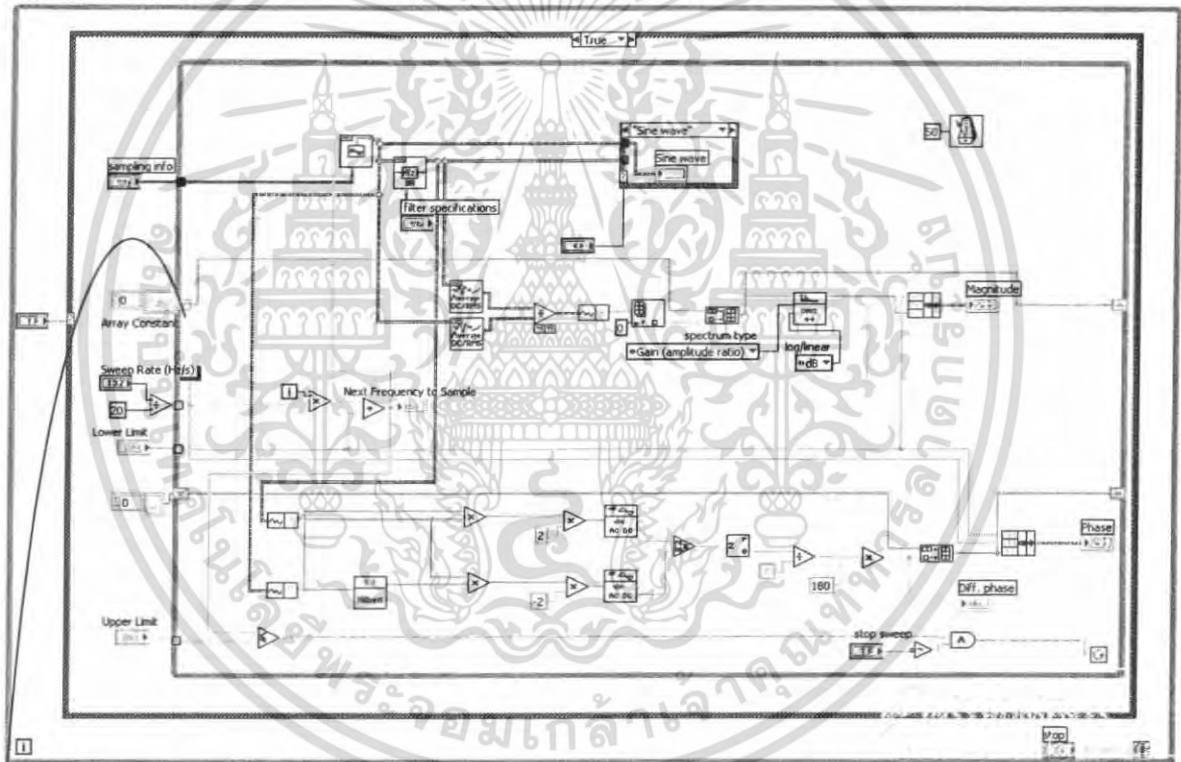
Combine DC terms to get  $\cos(\phi) + j \sin(\phi)$  and the phase is  $\arctan\left[\frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi)}\right]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\angle H(j\omega) = \tan^{-1} \left[ \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \right]$$

- การเก็บค่าขนาดและมุมเฟส

ในการ Swept Sine เพื่อเปลี่ยนความถี่ไปจนถึงความถี่ที่ตั้งไว้ จึงต้องมีการเก็บค่าผลตอบสนองในแต่ละความถี่ โดยการใช้ Shift Register ใน While Loop ในการเก็บค่า กล่าวคือการเก็บค่าในแต่ละครั้งจะมีค่าตั้งแต่ 0 เรื่อยไปจนถึงค่าสุดท้ายของลูป ซึ่งในที่นี้ที่ด้านซ้ายมือของ Shift Register จะมีตัวแปรซึ่งเรียกว่า Initialize Value จะใช้ตัวแปรนี้เมื่อต้องการให้ค่าที่เริ่มต้นมีค่าเท่ากับจำนวนนั้นๆ ที่ได้ตั้งเอาไว้ ซึ่งในโปรแกรมที่สร้างในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ตั้งให้เท่ากับ 0 ทั้งสองที่ ( ขนาดและมุมเฟส ) เพื่อทำการเก็บค่าในครั้งต่อไปจะไม่นำค่าเก่ามาคิดอีก



Initializing Shift Registers

รูปที่ 3.5 Block Diagram ของการออกแบบเครื่องมือวัดเพื่อกาผลตอบสนองความถี่

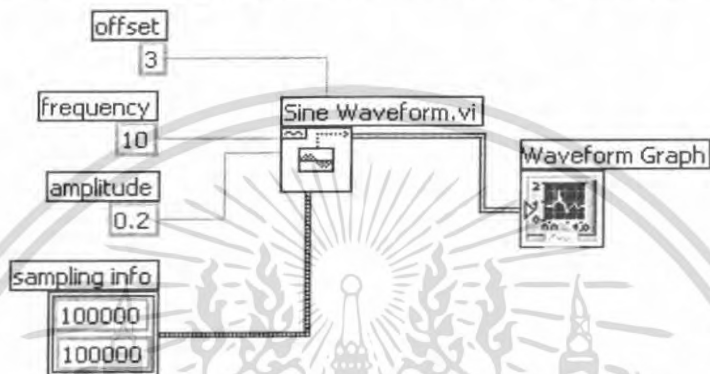
การออกแบบระบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร Buck Converter ในเบื้องต้นนั้นจะต้องเข้าใจหลักการทำงานในภาพรวมของระบบควบคุมก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร แล้วจึงพิจารณาส่วนย่อยต่างๆอันประกอบไปด้วย การออกแบบวงจรที่ขับสัญญาณ Sine และ DC ที่สามารถป้อนให้กับวงจร PWM Controller ได้สัญญาณ Pulse ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่วนของวงจร Buck Converter และส่วนที่ออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่

### 3.4 การขับสัญญาณ Sine+DC

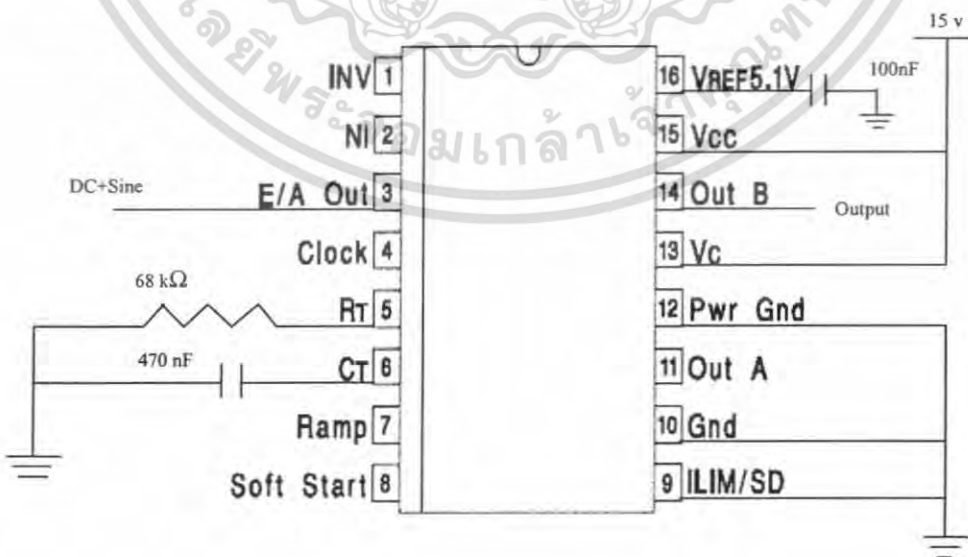
การออกแบบวงจรเสมือนในการขับสัญญาณ Sine และ DC โดยที่สัญญาณ Sine มีความถี่ 10 Hz และขนาด 0.2 v และสัญญาณ DC 3 volt โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ดังรูป



รูปที่ 3.6 การออกแบบการขับสัญญาณ Sine+DC

### 3.5 การออกแบบวงจร PWM Controller

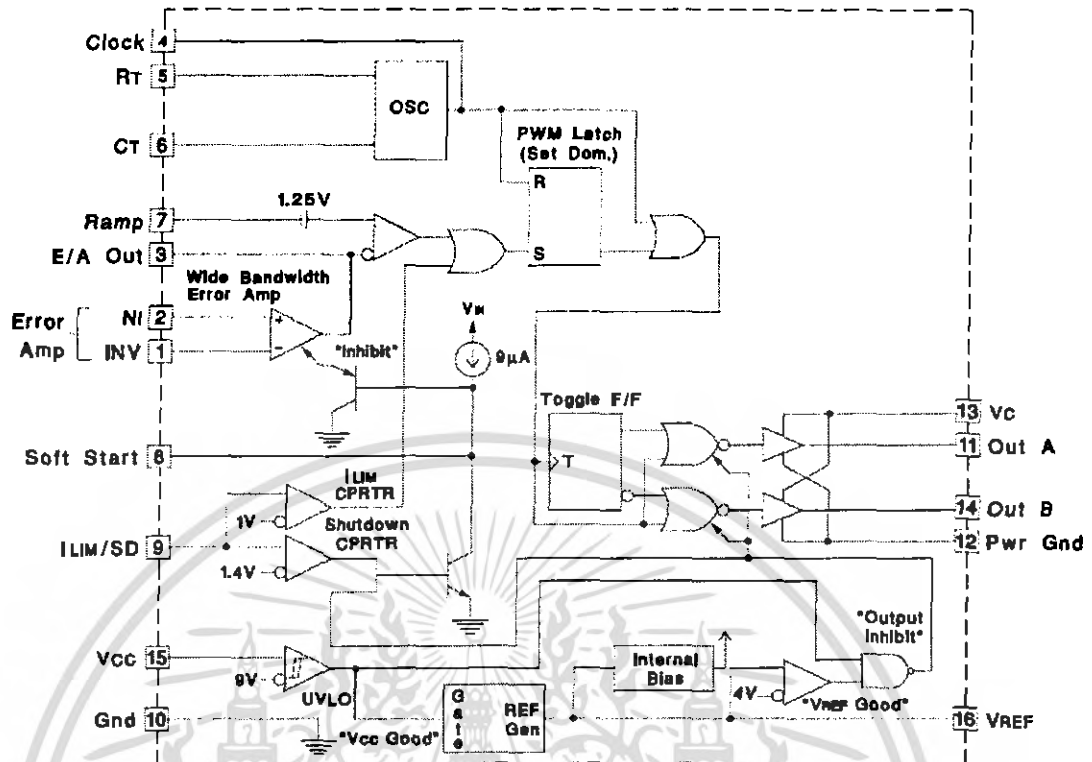
การออกแบบวงจร PWM Controller เพื่อให้ได้สัญญาณ Pulse ความถี่ 40kHz และมีการแกว่งของ duty cycle ดังนั้นจึงต้องเลือกค่า R และ C ที่ให้ความถี่ 40kHz คือ เลือก  $R = 68k\Omega$ ,  $C = 470 pF$  แล้วต่อวงจรดังรูป โดยที่ DC + Sine รับมาจากการ Generate จาก โปรแกรม LabVIEW ที่เขียนขึ้นจากคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.7 การต่อวงจร PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

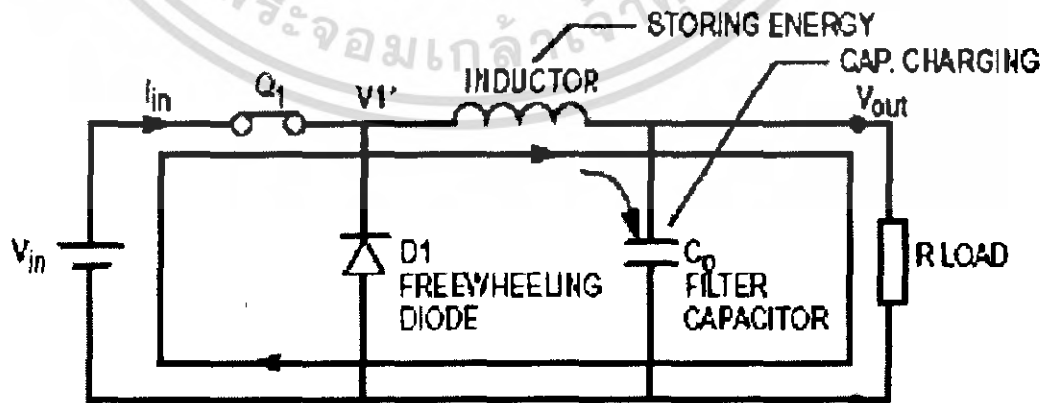
ซึ่ง Block Diagram ของ High Speed PWM Controller เป็นดังนี้



รูปที่ 3.8 PWM Block Diagram

### 3.6 วงจร Buck Converter

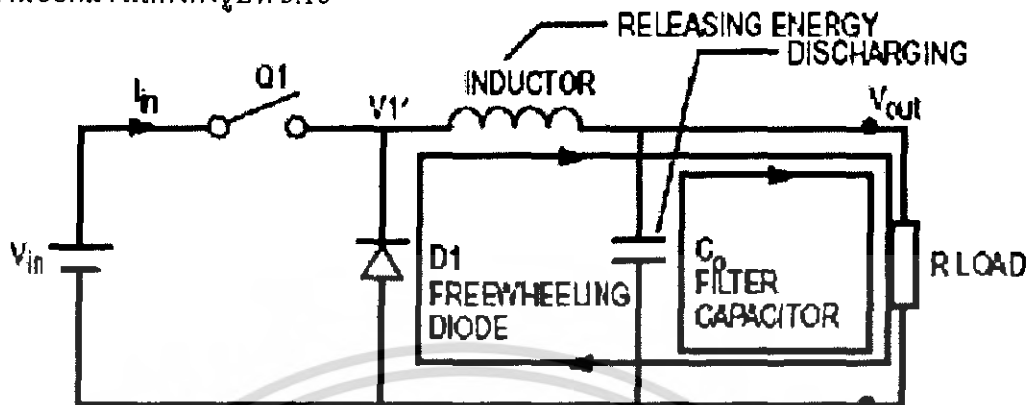
วงจร Buck Converter ที่ถูกออกแบบขึ้นให้ใช้ได้ถึงความถี่ 40 kHz โดยหลักการการทำงานของวงจร Buck Converter คือให้ MOSFET ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดวงจรซึ่งถูกควบคุมด้วยสัญญาณ PWM ที่สร้างจาก PWM Controller UC3825 โดยมี MOSFET นำกระแส (ปิดวงจร) จะมีกระแสไหลผ่านวงจร Buck Converter ดังรูปที่ 3.9 โดยมีกระแสไฟส่วนหนึ่งไปชาร์จตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.9 การทำงานของวงจร Buck Converter ขณะที่ MOSFET นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ MOSFET หยุดนำกระแส (เปิดวงจร) ก็ยังคงมีกระแสไหลผ่าน LOAD อยู่อีกชั่วขณะหนึ่ง โดยกระแสไฟที่ไหลผ่าน Load ได้มาจากสองแหล่งคือ ตัวเก็บประจุ และการที่ขดลวดปล่อยพลังงานออกมา แสดงดังรูปที่ 3.10

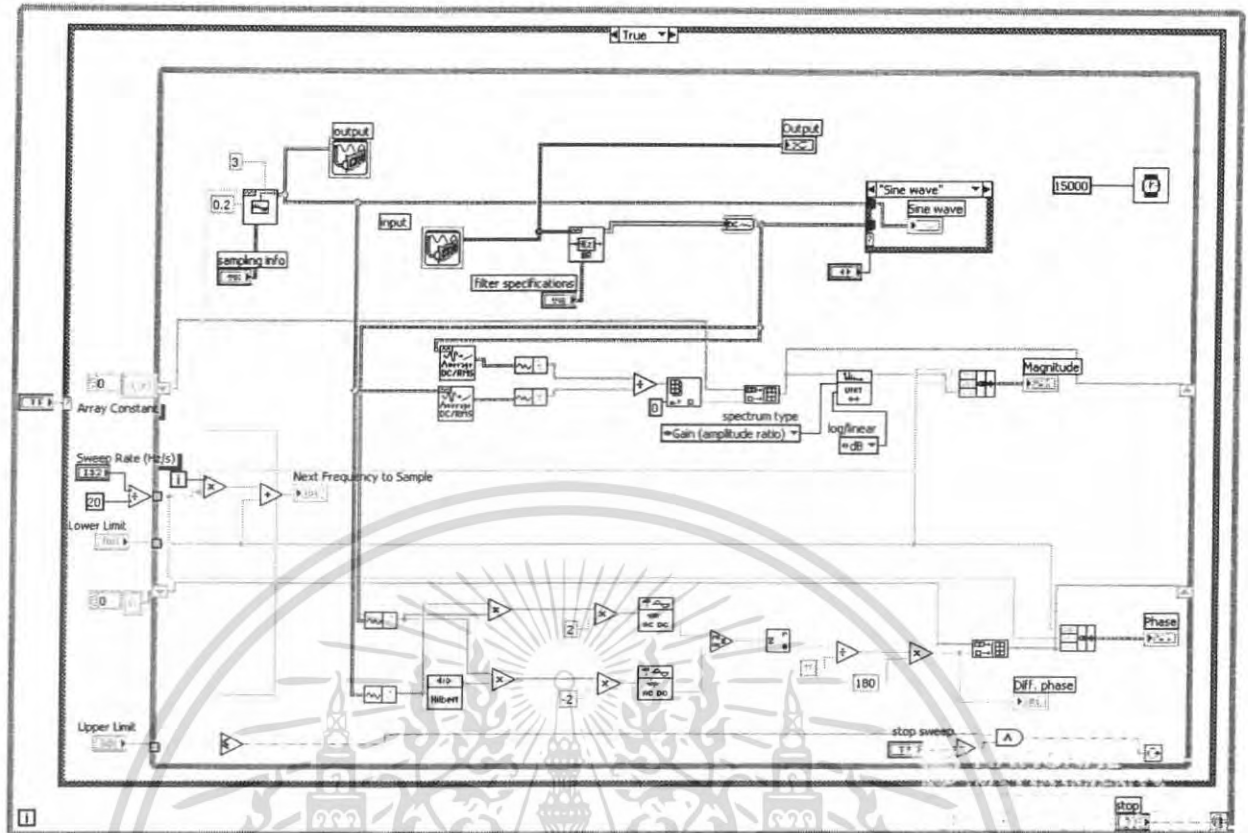


รูปที่ 3.10 การทำงานของวงจร Buck Converter ขณะที่ MOSFET หยุดนำกระแส

การเปิด-ปิดวงจรของ MOSFET จะรวดเร็วมาก (ประมาณ 20,000 ครั้งต่อวินาที หรือ 20 KHz ไปจนถึง 300,000 ครั้งต่อวินาที หรือ 300 KHz) เพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า สำหรับการควบคุมกระแสทำได้โดยการเปลี่ยนช่วงเวลา (Duty Cycle) ที่ให้ MOSFET นำกระแสและหยุดนำกระแส ถ้าให้ MOSFET นำกระแสเป็นเวลานานก็จะมีกระแสไฟไหลผ่าน LOAD มาก ถ้าให้ MOSFET นำกระแสเป็นเวลาน้อยก็จะมีกระแสไฟไหลผ่าน LOAD น้อยลงตามไปด้วย ส่วนการควบคุมแรงดันทำได้ด้วยวิธีการเดียวกัน แต่จะมีการตรวจสอบแรงดันอยู่ตลอดเวลา ถ้าแรงดันเปลี่ยนแปลงก็จะทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลา (Duty Cycle) ให้กระแสไหลมากขึ้นหรือ

### 3.7 ส่วนออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่

ส่วนออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ส่วนที่ออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนในการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร Buck Converter โดยรับสัญญาณเอาท์พุทจากวงจร Buck Converter เข้ามาทำการกรองผ่าน Band pass Filter เพื่อให้ได้สัญญาณ Small Signal มาทำการหาผลตอบสนองความถี่ โดยเปรียบเทียบเฟสและขนาดของสัญญาณเพื่อหาผลตอบสนองเชิงความถี่ ดังรูป



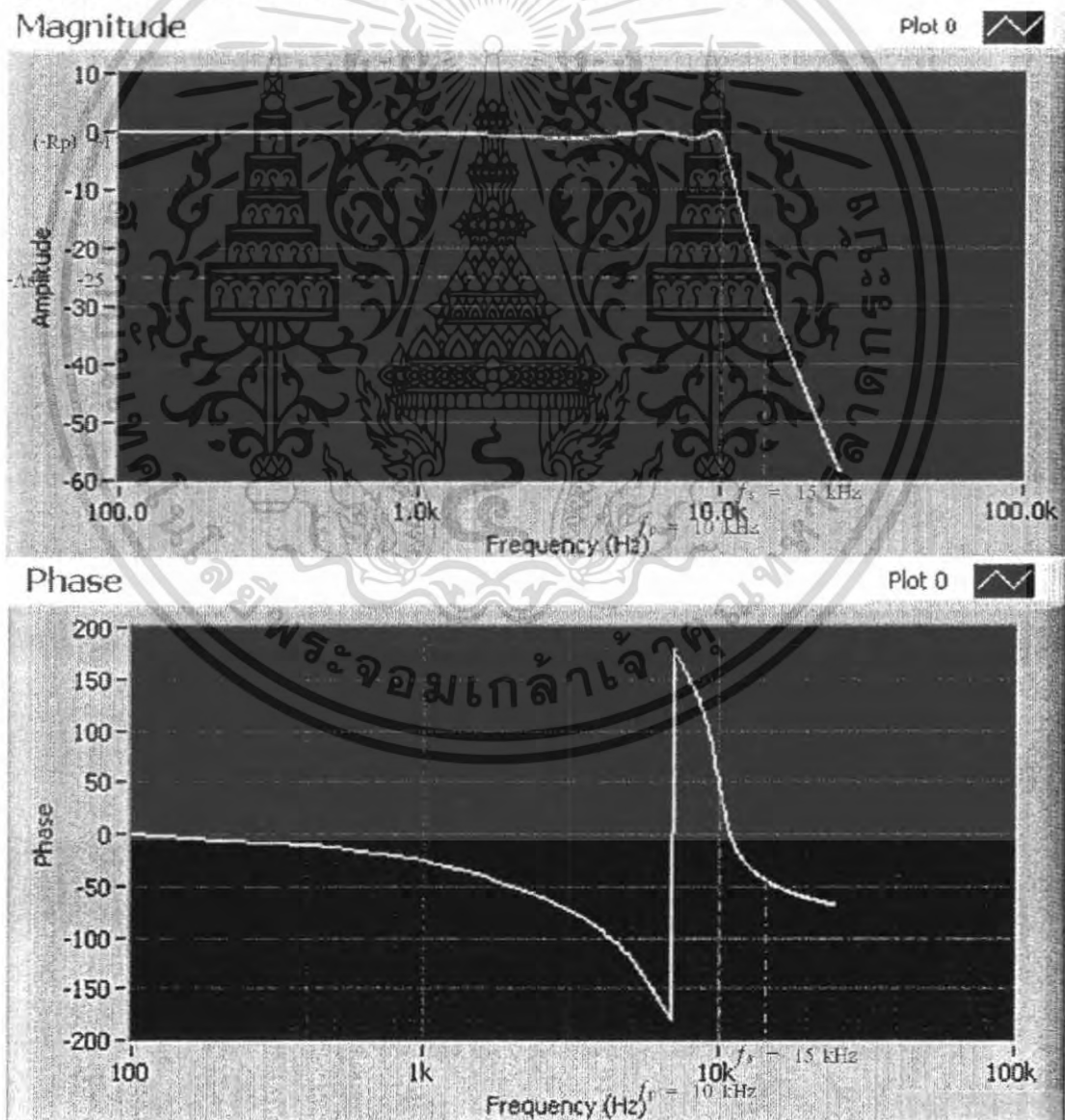
รูปที่ 3.10 Block Diagram ของเครื่องมอดูเลียนเพื่อหาผลตอบสนองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองโครงงาน

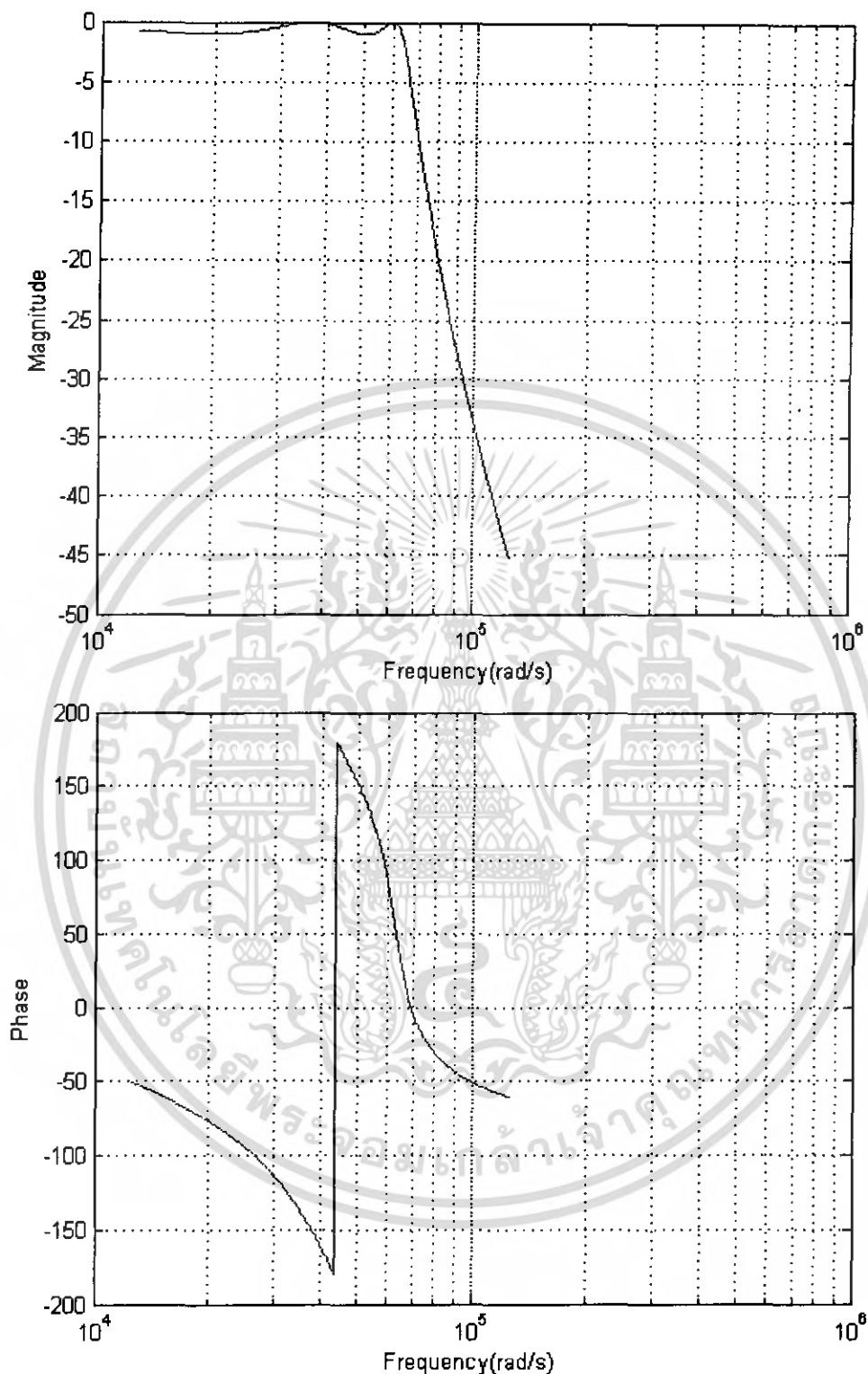
จากการทดลองเมื่อทำการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบขึ้นเพื่อสามารถวัดผลตอบสนองความถี่ของระบบการกรองสัญญาณ Analog Lowpass Filter โดยออกแบบ Lowpass Filter ให้เป็นตามที่ต้องการดังนี้ ความถี่สูงสุดที่ต้องการกรองสัญญาณเท่ากับ 25 kHz และความถี่ต่ำสุดที่ 100 Hz , Order 5 , Lower  $F_c$  (passband frequency) = 10 kHz, upper  $F_c$  (stopband frequency) = 15 kHz , PB Ripple (passband ripple) = 1 dB , SB Attenuation (stopband attenuation) = 25 dB และ Topology แบบ Chebyshev ผลตอบสนองความถี่ที่ได้เป็น Bode Diagram ดังนี้



รูปที่ 4.1 Bode Plot ของระบบกรองสัญญาณ Analog Lowpass Filter จาก LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลตอบสนองความถี่ที่ได้จากการคำนวณ Matlab เป็นดังนี้

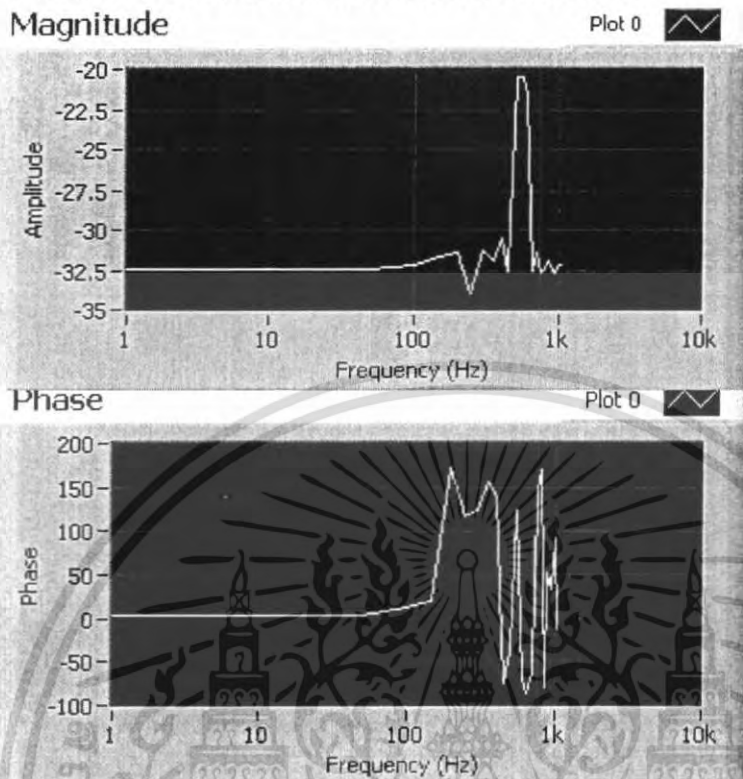


รูปที่ 4.2 Bode Plot ของของระบบกรองสัญญาณ Analog Lowpass Filter จากMatLab

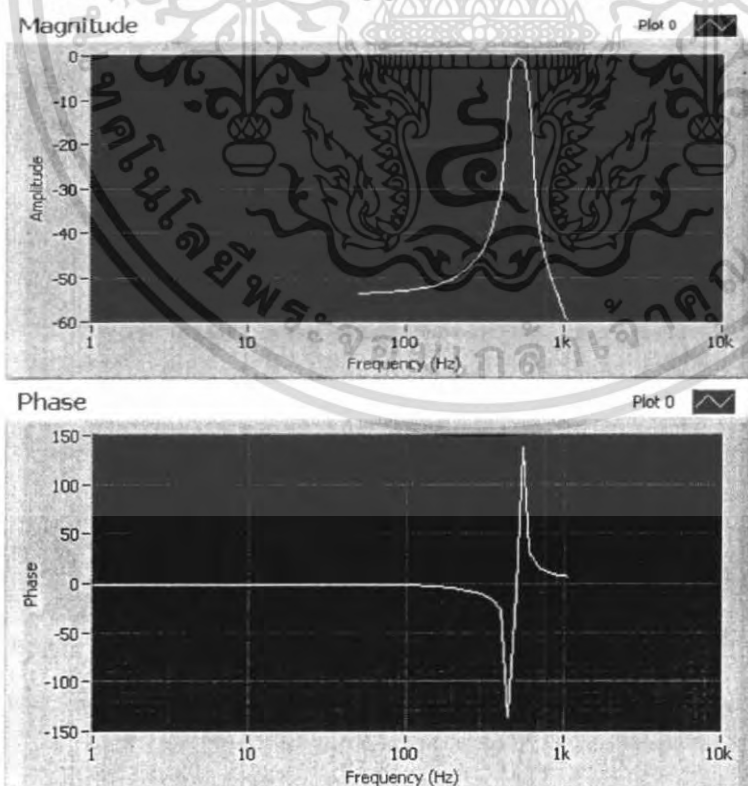
จากการทดลองเมื่อป้อนสัญญาณ Sine+DC ที่มีขนาดของแอมพลิจูดของ Sine เท่ากับ 2mv และ สัญญาณ DC 3v ให้กับ PWM ที่ได้ ออกแบบค่าของ R และ C แล้วทำให้ได้สัญญาณ Pulse ที่มีความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40kHz ตามต้องการแล้วเพื่อป้องกันให้กับวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมวงจรแล้ววัดผลตอบสนอง ความถี่ของวงจร Buck Converter ได้ผลตอบสนองเชิงความถี่ดังนี้



และผลที่ได้จากการ Simulate สัญญาณในคอมพิวเตอร์เป็นดังนี้



รูปที่ 4.3 Bode Plot ของผลตอบสนองความถี่ของวงจร Buck Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลโครงการ ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองระบบการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อวัดผลตอบสนองความถี่ พบว่าผลตอบสนองถี่ของระบบการกรองสัญญาณ Lowpass filter แบบchebyshev ที่มีspec เป็นไปตามที่ต้องการคือความถี่สูงสุดที่ต้องการกรองสัญญาณเท่ากับ 25 kHz และความถี่ต่ำสุดที่ 100 Hz , Order 5 , Lower  $F_c$  (passband frequency) = 10 kHz , upper  $F_c$  (stopband frequency) = 15 kHz , PB Ripple (passband ripple) = 1 dB , SB Attenuation (stopband attenuation) = 25 dB ที่ Simulink Matlab ได้ผลตอบสนองความถี่เป็นไปตามที่ต้องการและเมื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองความถี่ที่ได้จาก LabVIEW พบว่าได้ผลตอบสนองความถี่เหมือนกับที่ใช้ Matlab คำนวณไว้ ดังนั้นจึงสามารถใช้ LabVIEW ในการหาผลตอบสนองความถี่ได้และจากการออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อหาผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร Buck Converter

จากผลการทดลองระบบการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อวัดผลตอบสนองทางความถี่โดยวิธี Bode Plots โดยการเปรียบเทียบสัญญาณก่อนเข้าวงจร Buck Converter กับสัญญาณที่ออกมาจาก Buck Converter โดยผ่านการ์ด PCI – 6230 ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการรับและส่งสัญญาณจากโปรแกรม LabVIEW กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งในการทดลองใช้การกรองสัญญาณแบบ Bandpass filter ชนิด Chebyshev ซึ่งเป็นโปรแกรม VI ที่มีมาสำเร็จรูปอยู่แล้วในโปรแกรม LabVIEW และจากการทดลองทำการทดลองที่ย่านความถี่สูงสุดที่ต้องการกรองสัญญาณเท่ากับ 1k Hz และความถี่ต่ำสุดคือ 0 Hz โดยกำหนดคุณสมบัติของวงจรกรองสัญญาณดังนี้คือ ให้มี order = 4, Lower cut-off Frequency(Lower  $F_c$ ) = 450 Hz, Upper cut-off Frequency(Upper  $F_c$ ) = 550 Hz, Passband ripple( $R_p$ ) = 1 dB และ Stopband Attenuation( $A_s$ ) = 60 dB จากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟจำลองในโปรแกรม LabVIEW นั้นจะเห็นได้ว่า กราฟที่ได้นั้นผิดเพี้ยนไปมากเนื่องจากผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และในการส่งสัญญาณจากโปรแกรม LabVIEW ผ่านการ์ด PCI – 6230 ไปยังวงจร Buck Converter นั้น สัญญาณที่ออกไปช้ากว่าในการประมวลผลในโปรแกรม LabVIEW ทำให้ผลการทดลองผิดเพี้ยนไปมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงการนี้ในช่วงแรกเกิดปัญหาคือ การติดตั้งการ์ด PCI – 6230 ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (ในที่นี้คือวงจร Buck Converter) เนื่องจากในการติดตั้งครั้งแรกนั้น ได้ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของการ์ดและตัวโปรแกรม LabVIEW นี้ จึงทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากการ์ดและโปรแกรมนี้ ต้องติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติดีมากพอสมควรถึงจะใช้งานได้ดี (CPU 500 GHz ขึ้นไป, Ram 256 Mbytes ขึ้นไป) จึงได้เปลี่ยนคอมพิวเตอร์ใหม่ที่มีคุณสมบัติเพียงพอต่อความต้องการของการ์ดและโปรแกรมนี้ (คอมพิวเตอร์ที่ใช้ยี่ห้อ CPU- 500 GHz, Ram 256 Mbytes ซึ่งอยู่ในมาตรฐานต่ำสุด) จึงสามารถใช้งานได้ และเนื่องจากปัญหาดังกล่าวทำให้เสียเวลามากพอสมควร เนื่องจากต้องติดตั้งการ์ดแล้วยังเสียเวลากับการลงโปรแกรมเพื่อที่จะรองรับการใช้งานการ์ดนี้ และปัญหาต่อมาคือในการส่งสัญญาณอนาล็อก จากโปรแกรม LabVIEW ผ่านการ์ด PCI – 6230 นั้น สัญญาณอนาล็อกที่ออกไปนั้นช้ากว่าการประมวลผลใน โปรแกรม LabVIEW จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลการทดลองผิดเพี้ยน ไปมาก ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาก็คือจัดซื้อชุดคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติสูงๆ เนื่องจากคอมพิวเตอร์ที่อยู่ถึงจะสามารถใช้งานได้แม้ก็ยัง ไม่เพียงพอต่อความต้องการของการ์ด PCI – 6230 และตัว โปรแกรม LabVIEW และที่ยังไม่ได้จัดซื้อเนื่องจากราคาที่มากพอสมควร ประกอบกับไม่ทราบแผนระยะยาวว่าจะใช้ต่อไปหรือไม่จึงคิดว่ายังไม่คุ้มค่า

ในส่วนปัญหาที่พบและยังไม่ได้ปรับปรุงแก้ไข ได้แก่ ปัญหาที่ระบบจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาหากมีการต่อฮาร์ดแวร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ ซึ่งสัญญาณที่รับเข้ามาประมวลผลนั้นได้นำไปผ่านตัวกรองสัญญาณ (Filter) ชนิดต่างๆ ซึ่งเป็น VI ในตัวโปรแกรม LabVIEW ที่มีมาสำเร็จรูปอยู่แล้วพบว่าสัญญาณที่กรองออกไปมีสัญญาณที่เรียบ แต่ยังมีกร่อนของเฟสเกิดขึ้น ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ดีที่สุดคือการออกแบบตัวกรองสัญญาณ (Filter) แบบ Equiripple ซึ่งมีคุณสมบัติ Linear Phase คือผลตอบสนอง (ขนาด) ความถี่เป็นสมมาตรกัน จะทำให้ไม่เกิดการเลื่อนของเฟสเกิดขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. เจริญ เพชรมูณี. **เรียนลัด LabVIEW**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดบุ๊คเซ็น. 2547.
2. ฉมัยพร สุขสังข์, วิญญู. “การประยุกต์งานโปรแกรม LabVIEW.” **ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. 2549.
3. Robert H. Bishop. **LabVIEW Express**. New Jersey: Pearson Prentice Hall . 2006.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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](http://ni.com/jp/manuals) を参照してください。(For a Japanese language version, go to [ni.com/jp/manuals](http://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

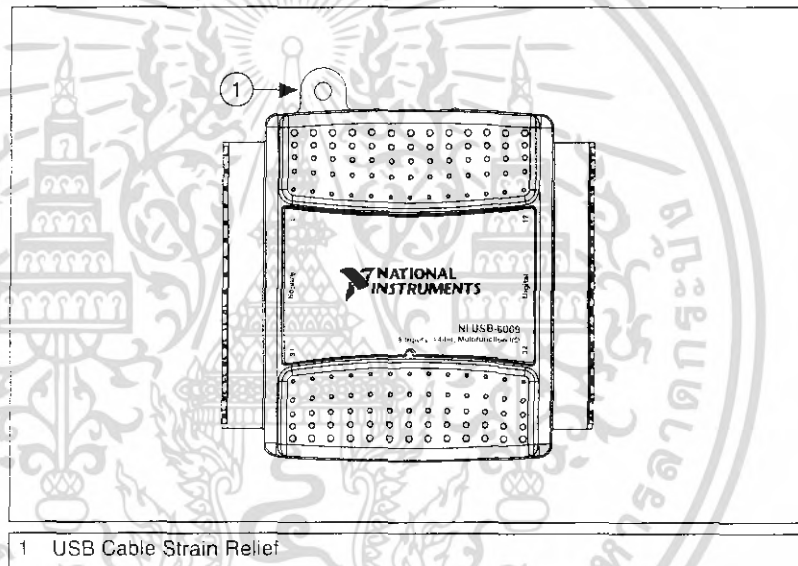
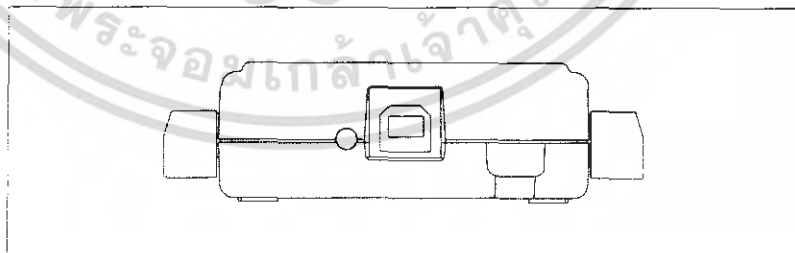
Hardware Functionality	NI-DAQmx Terminology
Open-drain	Open collector
Push-pull	Active drive



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.		

**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.

Operate the device at or below the Measurement Category I<sup>1</sup>. Measurement circuits are subjected to working voltages<sup>2</sup> 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<sup>3</sup> 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.

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

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

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

## 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](http://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.

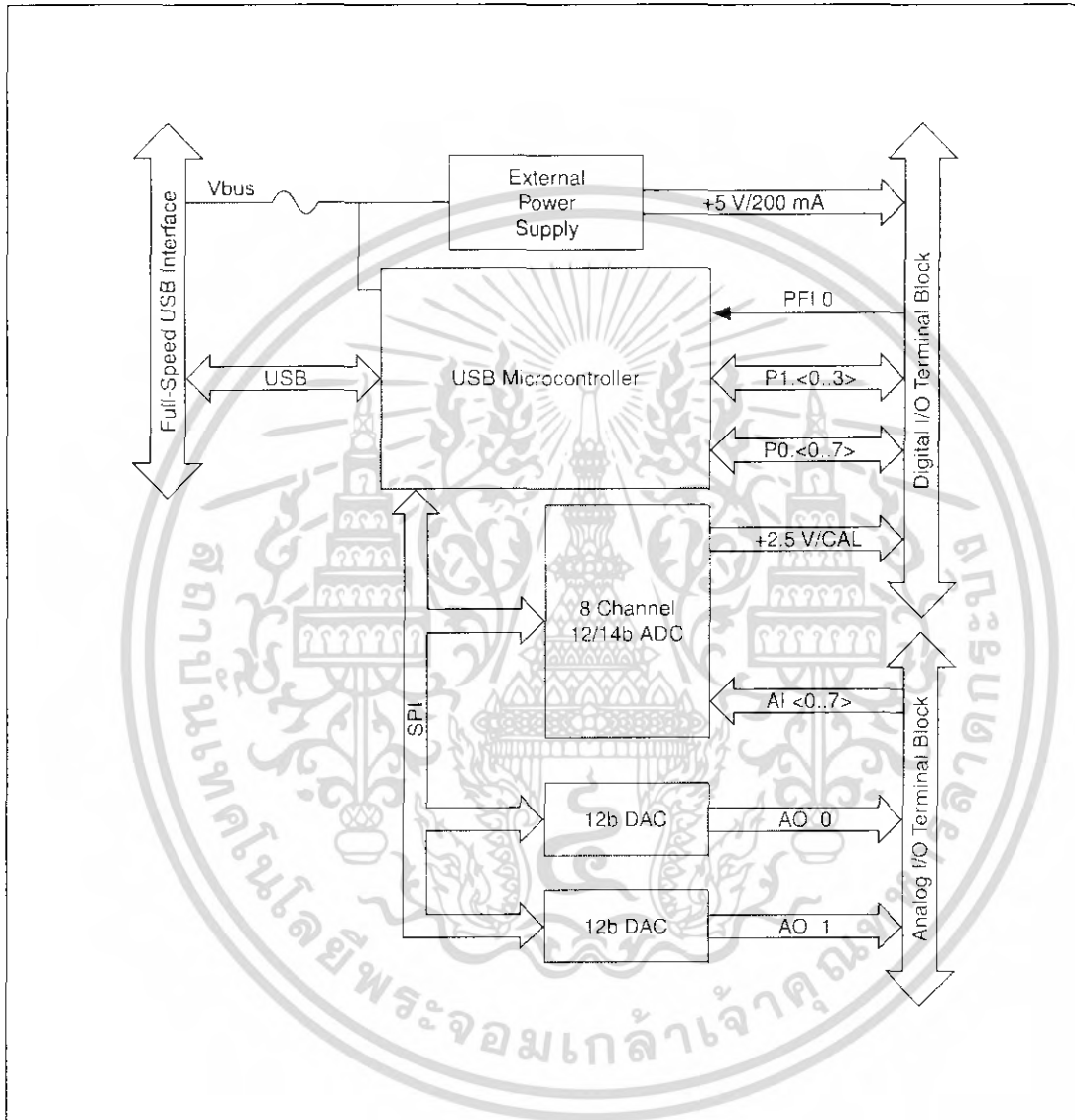


Figure 3. Device Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ 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.

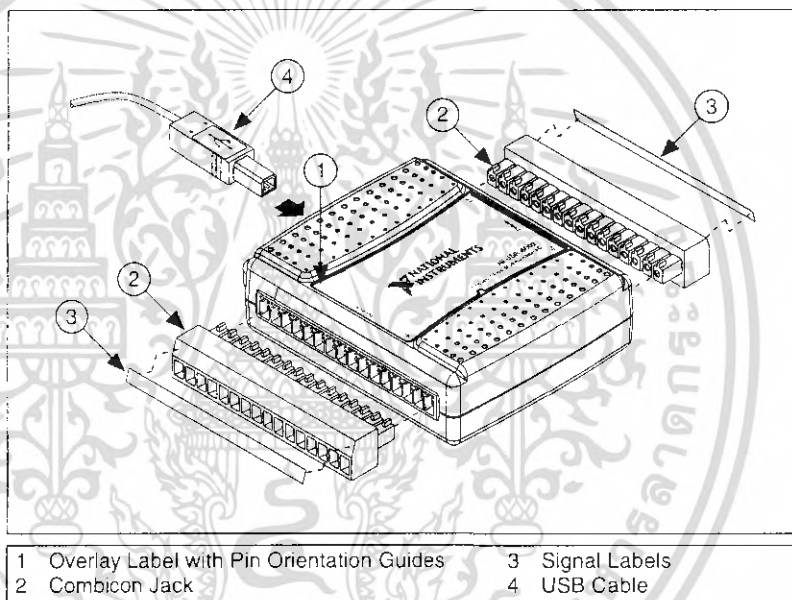


Figure 4. Signal Label Application Diagram



**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.

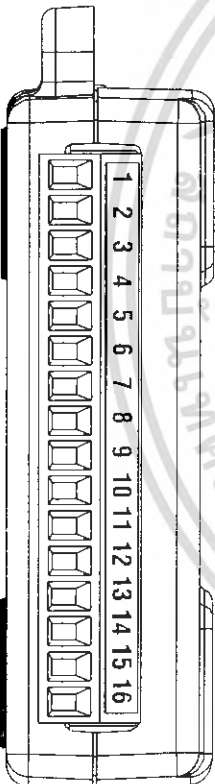
3. Connect the wiring to the appropriate screw terminals.

## 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.

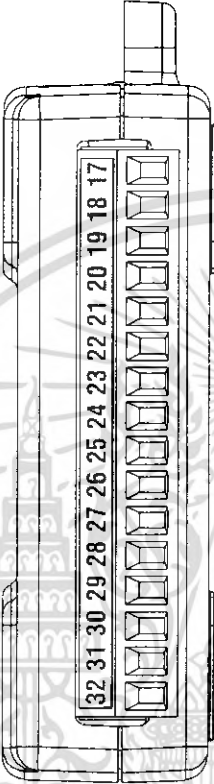
Table 3 lists the analog terminal assignments, and Table 4 lists the digital terminal assignments.

**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 อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา 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	—	—	<b>Ground</b> —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	<b>Analog Input Channels 0 to 7</b> —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	<b>Analog Channel 0 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 0.
AO 1	GND	Output	<b>Analog Channel 1 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 1.
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Input or Output	<b>Digital I/O Signals</b> —You can individually configure each signal as an input or output.
+2.5 V	GND	Output	<b>+2.5 V External Reference</b> —Provides a reference for wrap-back testing.
+5 V	GND	Output	<b>+5 V Power Source</b> —Provides +5 V power up to 200 mA.
PFI 0	GND	Input	<b>PFI 0</b> —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.

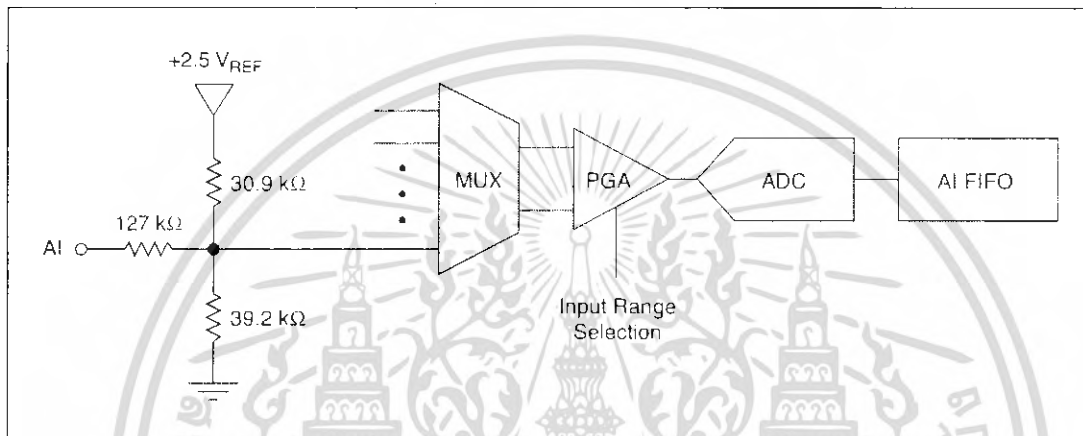


Figure 5. Analog Input Circuitry

#### 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 programmable-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

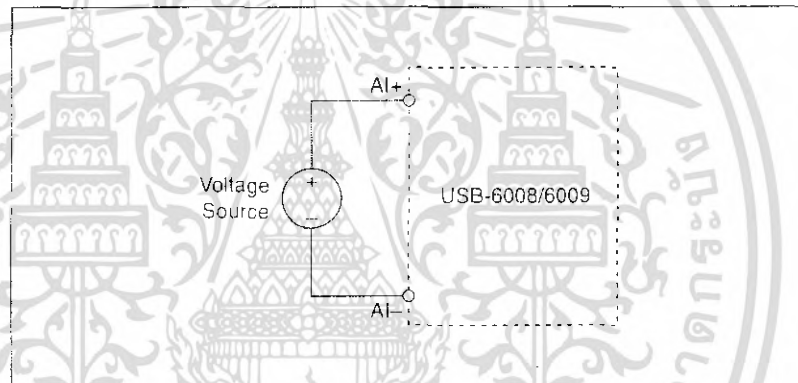
The USB-6008/6009 can perform both single and multiple A/D conversions of a fixed or infinite number of samples. A first-in-first-out (FIFO) buffer holds data during AI acquisitions to ensure that no data is lost.

## 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  $\pm 20$  V signals in the  $\pm 20$  V range. However, the maximum voltage on any one pin is  $\pm 10$  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.

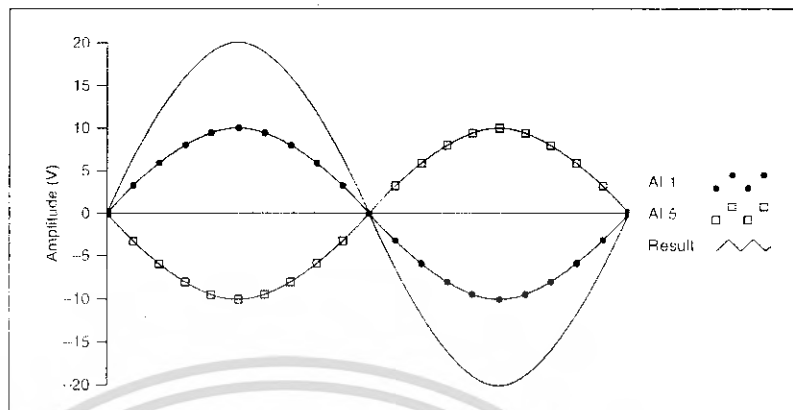


Figure 7. Example of a Differential 20 V Measurement

Connecting a signal greater than  $\pm 10$  V on either pin results in a clipped output.

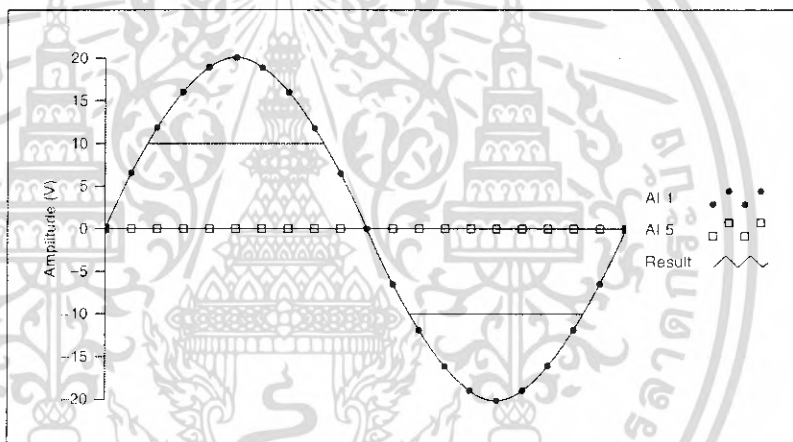


Figure 8. Exceeding +10 V on AI Returns Clipped Output

### 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

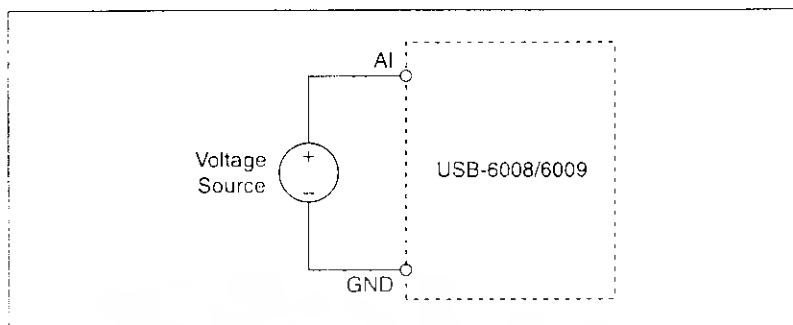


Figure 9. Connecting a Reference Single-Ended Voltage Signal

## 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.

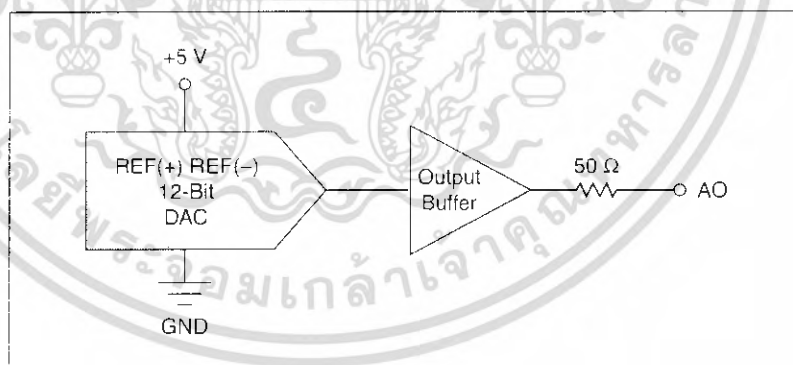


Figure 10. Analog Output Circuitry

## DACs

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

## 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.

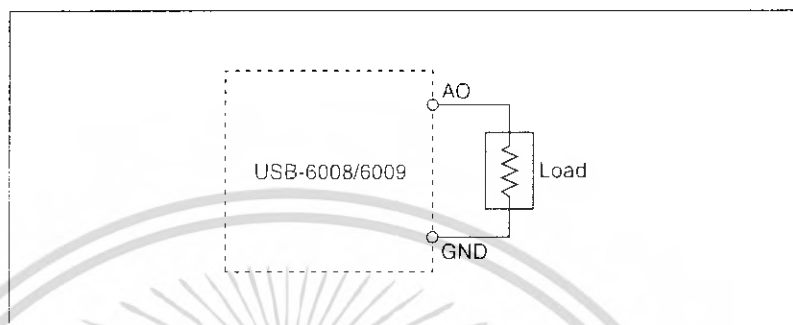


Figure 11. Connecting a Load

## 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](http://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.

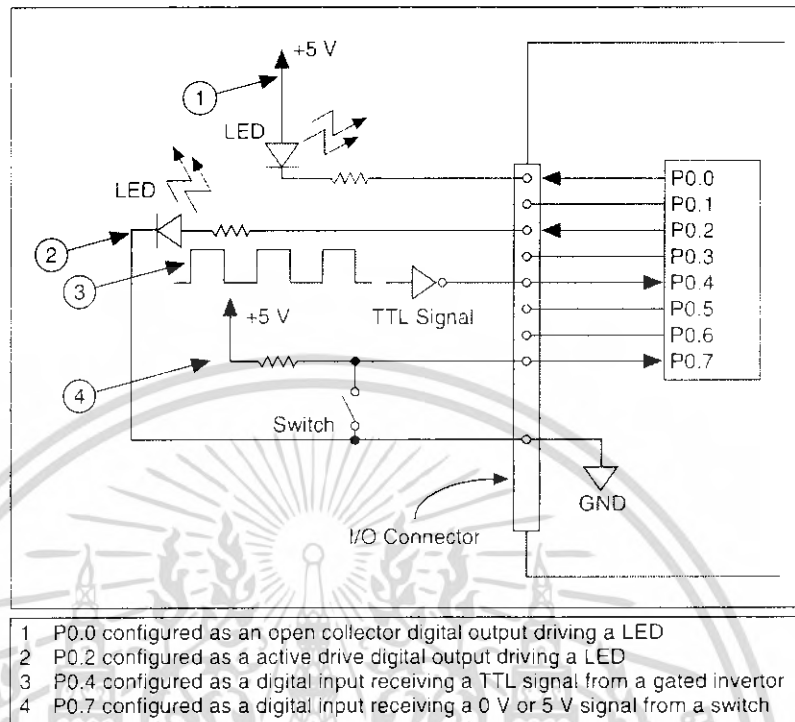


Figure 12. Example of Connecting a Load

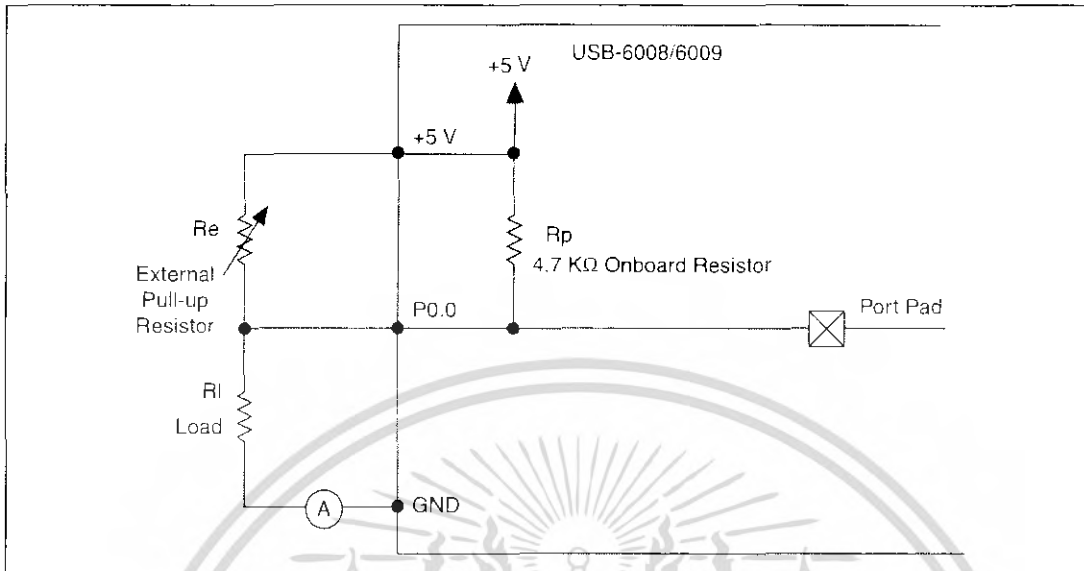


**Caution** Exceeding the maximum input voltage ratings or maximum output ratings, which are listed in the *Specifications* section, can damage the DAQ device and the computer. National Instruments is not liable for any damage resulting from such signal connections.

## 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 k $\Omega$  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  $\pm 8.5$  mA. Refer to the *NI-DAQmx Help* for more information about how to set the DIO configuration.



**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 inverter 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.

## 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 <sup>1</sup>	
USB-6008 .....	10 kS/s
USB-6009 .....	48 kS/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

<sup>1</sup> System dependent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System noise<sup>1</sup>

## 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<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> System noise measured at maximum sample rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output impedance .....	50 $\Omega$
Output current drive .....	5 mA
Power-on state .....	0 V
Slew rate .....	1 V/ $\mu$ s
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, LVTTTL, CMOS
Absolute maximum voltage range .....	-0.5 to 5.8 V with respect to GND
Pull-up resistor .....	4.7 k $\Omega$ 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	$\mu$ A
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 k $\Omega$ 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  $\mu$ A typical, 500  $\mu$ A max

## Physical Characteristics

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

### Dimensions

Without connectors ..... 6.35 cm  $\times$  8.51 cm  $\times$  2.31 cm  
(2.50 in.  $\times$  3.35 in.  $\times$  0.91 in.)

With connectors ..... 8.18 cm  $\times$  8.51 cm  $\times$  2.31 cm  
(3.22 in.  $\times$  3.35 in.  $\times$  0.91 in.)

I/O connectors ..... USB series B receptacle,  
(2) 16 position 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  $\cdot$  m  
(2.0–2.2 lb  $\cdot$  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



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit [ni.com/certification](http://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

## 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](http://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](http://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](http://ni.com/certification). If your product supports calibration, you can obtain the calibration certificate for your product at [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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](http://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

National Instruments, NI, ni.com, and LabVIEW are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Terms of Use* section on [ni.com/legal](http://ni.com/legal) for more information about National Instruments trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your CD, or [ni.com/patents](http://ni.com/patents).

© 2004–2006 National Instruments Corporation. All rights reserved.

371303G-01

Nov06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# NI 6230 Specifications

Specifications listed below are typical at 25 °C unless otherwise noted.

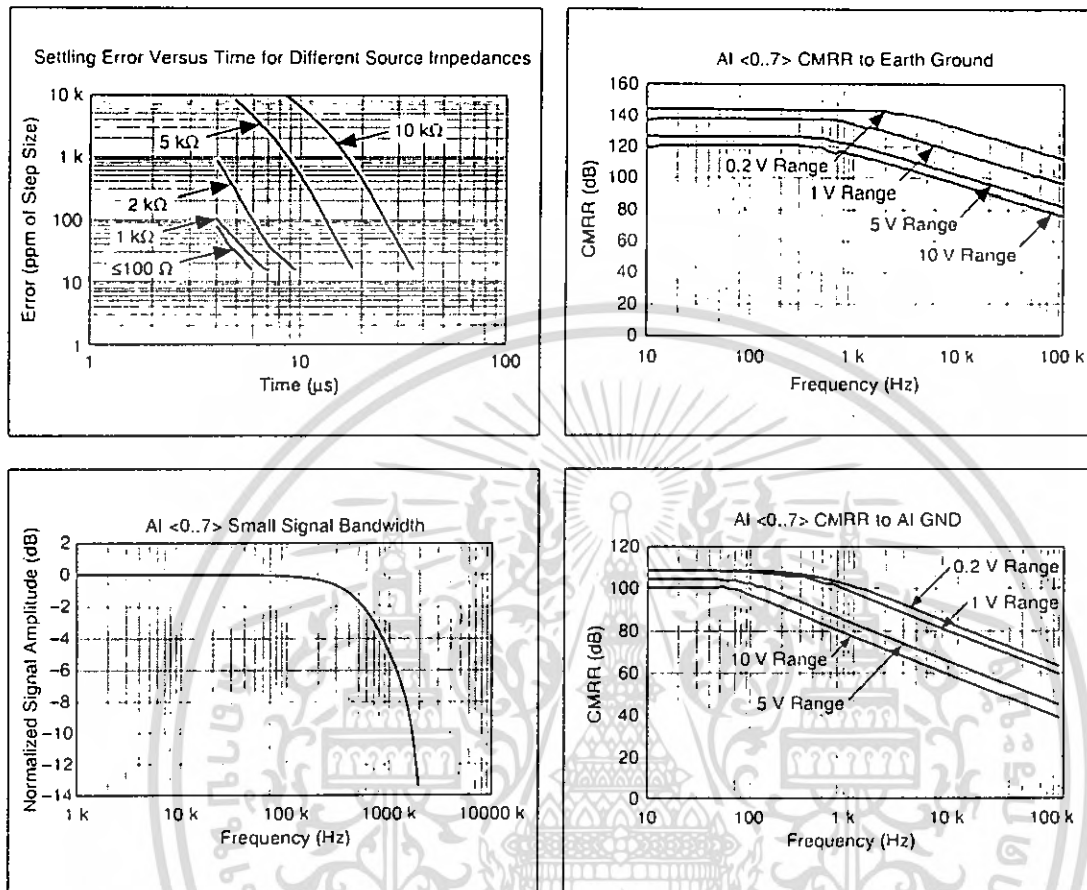
## Analog Input

Number of channels .....	4 differential or 8 single ended	Crosstalk (at 100 kHz) Adjacent channels .....	-75 dB
Channel type .....	Voltage input	Non-adjacent channels .....	-90 dB
ADC resolution .....	16 bits	Small signal bandwidth (-3 dB) .....	700 kHz
DNL .....	No missing codes guaranteed	Input FIFO size .....	4,095 samples
INL .....	Refer to the <i>AI Absolute Accuracy Table</i>	Scan list memory .....	4,095 entries
Sampling rate		Data transfers .....	DMA (scatter-gather), interrupts, programmed I/O
Maximum .....	250 KS/s	Overvoltage protection ( <i>AI &lt;0.7&gt;</i> with respect to AI GND)	
Minimum .....	0 S/s	Device on .....	±25 V for up to two AI pins
Timing accuracy .....	50 ppm of sample rate	Device off .....	±15 V for up to two AI pins
Timing resolution .....	50 ns	Input current during overvoltage condition .....	±20 mA max/AI pin
Input coupling .....	DC		
Input range .....	±10 V, ±5 V, ±1 V, ±0.2 V		
Maximum working voltage for analog inputs .....	Refer to the <i>Maximum Working Voltage</i> section	<b>Settling Time for Multichannel Measurements</b>	
CMRR (DC to 60 Hz) .....	95 dB (with respect to AI GND)	Accuracy, full scale step, all ranges	
Input impedance		±90 ppm of step (±6 LSB) .....	4 µs convert interval
Device on		±30 ppm of step (±2 LSB) .....	5 µs convert interval
AI+ to AI GND .....	>10 GΩ in parallel with 100 pF	±15 ppm of step (±1 LSB) .....	7 µs convert interval
AI- to AI GND .....	>10 GΩ in parallel with 100 pF		
Device off			
AI+ to AI GND .....	820 Ω		
AI- to AI GND .....	820 Ω		
Input bias current .....	±100 pA		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Graphs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Analog Output

Number of channels .....	4
Channel type .....	Voltage output
DAC resolution .....	16 bits
DNL .....	±1 LSB
Monotonicity .....	16 bit guaranteed
Maximum update rate	
1 channel .....	500 kS/s
2 channels .....	450 kS/s per channel
3 channels .....	425 kS/s per channel
4 channels .....	400 kS/s per channel
Timing accuracy .....	50 ppm of sample rate
Timing resolution .....	50 ns
Output range .....	±10 V
Output coupling .....	DC
Output impedance .....	0.4 Ω
Output current drive .....	±5 mA
Overdrive protection .....	±25 V
Overdrive current .....	10 mA
Power-on state .....	±20 mV
Power-on glitch <sup>1</sup> .....	±2 V for 2 ms
Power-off glitch <sup>2</sup> .....	±100 mV for 350 ms
Output FIFO size .....	8,191 samples shared among channels used
Data transfers .....	DMA (scatter-gather), interrupts, programmed I/O
AO waveform modes:	
• Non-periodic waveform	
• Periodic waveform regeneration mode from onboard FIFO	
• Periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update	
Settling time, full scale step 15 ppm (1 LSB) .....	6 μs
Slew rate .....	15 V/μs
Glitch energy	
Magnitude .....	100 mV
Duration .....	3 μs

## Calibration (AI and AO)

Recommended warm-up time .....	15 minutes
Calibration interval .....	1 year

<sup>1</sup> For the earlier version of the PCI-6230 (192233B-01), refer to the *NI 6230 Specifications* document, 371672A-01, January 2006 revision.

<sup>2</sup> When outputting 0 V on power down from the analog output channel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AI Absolute Accuracy Table

Nominal Range		Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)	Random Noise, $\sigma$ ( $\mu$ Vrms)	Absolute Accuracy at Full Scale <sup>1</sup> ( $\mu$ V)	Sensitivity <sup>2</sup> ( $\mu$ V)
Positive Full Scale	Negative Full Scale									
10	-10	75	25	5	20	57	76	244	3,100	97.6
5	-5	85	25	5	20	60	76	122	1,620	48.8
1	-1	95	25	5	25	79	76	30	360	12.0
0.2	-0.2	135	25	5	80	175	76	13	112	5.2

AbsoluteAccuracy = Reading · (GainError) + Range · (OffsetError) + NoiseUncertainty

GainError = ResidualGainError + GainTempco · (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempco · (TempChangeFromLastExternalCal)

OffsetError = ResidualAIOffsetError + OffsetTempco · (TempChangeFromLastInternalCal) + INL\_Error

NoiseUncertainty =  $\frac{\text{RandomNoise} \cdot 3}{\sqrt{100}}$  For a coverage factor of 3  $\sigma$  and averaging 100 points.

<sup>1</sup> Absolute accuracy at full scale on the analog input channels is determined using the following assumptions:

TempChangeFromLastExternalCal = 10 °C

TempChangeFromLastInternalCal = 1 °C

number\_of\_readings = 100

CoverageFactor = 3  $\sigma$

For example, on the 10 V range, the absolute accuracy at full scale is as follows:

GainError = 75 ppm + 25 ppm · 1 + 5 ppm · 10      GainError = 150 ppm

OffsetError = 20 ppm + 57 ppm · 1 + 76 ppm      OffsetError = 153 ppm

NoiseUncertainty =  $\frac{244 \mu\text{V} \cdot 3}{\sqrt{100}}$       NoiseUncertainty = 73  $\mu$  V

AbsoluteAccuracy = 10 V · (GainError) + 10 V · (OffsetError) + NoiseUncertainty      AbsoluteAccuracy = 3,100  $\mu$  V

<sup>2</sup> Sensitivity is the smallest voltage change that can be detected. It is a function of noise.

Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

**AO Absolute Accuracy Table**

Nominal Range		Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)	Absolute Accuracy at Full Scale <sup>1</sup> (µV)
Positive Full Scale	Negative Full Scale							
10	-10	90	10	5	40	5	128	3,230

<sup>1</sup> Absolute Accuracy at full scale numbers is valid immediately following internal calibration and assumes the device is operating within 10 °C of the last external calibration. Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

AbsoluteAccuracy = OutputValue · (GainError) + Range · (OffsetError)

GainError = ResidualGainError + GainTempco · (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempco · (TempChangeFromLastExternalCal)

OffsetError = ResidualOffsetError + AOffsetTempco · (TempChangeFromLastInternalCal) + INL\_Error

## Digital I/O/PFI

### Static Characteristics

Number of channels.....10 total  
 Input .....6 (PFI <0..5>/P0.<0..5>)  
 Output .....4 (PFI <6..9>/P1.<0..3>)  
 Ground reference .....D GND  
 Direction control.....Fixed, lines are unidirectional  
 Input voltage protection<sup>1</sup>.....±20 V on up to two pins

### PFI/Port 0/Port 1 Functionality

PFI <0..5>/P0.<0..5> ..... Static digital input, timing input  
 PFI <6..9>/P1.<0..3> ..... Static digital output, timing output  
 Timing output sources ..... Many AI, AO, counter, timing signals  
 Debounce filter settings ..... 125 ns, 6.425 µs, 2.54 ms, disable; high and low transitions; selectable per input

### Digital Input Characteristics

Level	Min	Max
V <sub>IL</sub> input low voltage	0 V	0.8 V
V <sub>IH</sub> input high voltage	2 V	5.25 V
I <sub>IL</sub> input low current (V <sub>m</sub> = 0 V)	—	-10 µA
I <sub>IH</sub> input high current (V <sub>m</sub> = 5 V)	—	10 µA

### Digital Output Characteristics

Guaranteed output levels

Parameter	Voltage Level	Current Level
V <sub>OL</sub>	0.4 V	7 mA
	0.6 V	10 mA
V <sub>OH</sub>	2.8 V	-24 mA
	4.0 V	-6 mA

Maximum operation conditions

Level	Min	Max
I <sub>OL</sub> output low current P1.<0..3>	—	10 mA
I <sub>OH</sub> output high current P1.<0..3>	—	-24 mA

## General-Purpose Counter/Timers

Number of counter/timers ..... 2  
 Resolution ..... 32 bits  
 Counter measurements ..... Edge counting, pulse, semi-period, period, two-edge separation  
 Position measurements ..... X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading, two-pulse encoding  
 Output applications ..... Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling  
 Internal base clocks ..... 80 MHz, 20 MHz, 0.1 MHz  
 External base clock frequency ..... 0 MHz to 20 MHz  
 Base clock accuracy ..... 50 ppm  
 Inputs ..... Gate, Source, HW\_Arm, Aux, A, B, Z, Up\_Down  
 Routing options for inputs ..... Any input PFI, RTSI, PXI\_TRIG, PXI\_STAR, many internal signals  
 FIFO ..... 2 samples  
 Data transfers ..... Dedicated scatter-gather DMA controller for each counter/timer; interrupts; programmed I/O

<sup>1</sup> Stresses beyond those listed under *Input voltage protection* may cause permanent damage to the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Isolation Effects

Maximum propagation delay through isolator	
Digital inputs	35 ns
Digital outputs	45 ns
Propagation delay skew between channels (inputs and outputs)	15 ns

## Frequency Generator

Number of channels	1
Base clocks	10 MHz, 100 kHz
Divisors	1 to 16
Base clock accuracy	50 ppm
Output can be available on any output PFI or RTSI terminal.	

## Phase-Locked Loop (PLL)

Number of PLLs	1
Reference signal	PXI_STAR, PXI_CLK10, RTSI <0..7>
Output of PLL	80 MHz Timebase: other signals derived from 80 MHz Timebase including 20 MHz and 100 kHz Timebases

## External Digital Triggers

Source	Any input PFI, RTSI, PXI_TRIG, PXI_STAR
Polarity	Software-selectable for most signals
Analog input function	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Convert Clock, Sample Clock Timebase
Analog output function	Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Counter/timer functions	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down

## Device-To-Device Trigger Bus

PCI devices	RTSI <0..7> <sup>1</sup>
PXI devices	PXI_TRIG <0..7>, PXI_STAR
Output selections	10 MHz Reference Clock; frequency generator output; many internal signals
Debounce filter settings	125 ns, 6.425 $\mu$ s, 2.54 ms, disabled; high and low transitions; selectable per input

## Bus Interface

PCI or PXI	3.3 V or 5 V signal environment
PXI-6230 devices can be installed in PXI slots or PXI Express hybrid slots.	
DMA channels	4, analog input, analog output, counter/timer 0, counter/timer 1

## Power Requirements

Current draw from bus during no-load condition	
+5 V	0.5 A
+12 V	20 mA
Current draw from bus during AI and AO overvoltage condition	
+5 V	0.75 A
+12 V	20 mA

## Physical Requirements

Printed circuit board dimensions	
NI PCI-6230	9.7 cm × 15.5 cm (3.8 in. × 6.1 in.)
NI PXI-6230	Standard 3U PXI
Weight	
NI PCI-6230	110 g (3.8 oz)
NI PXI-6230	150 g (5.2 oz)
I/O connector	37-pin D-SUB

<sup>1</sup> In other sections of this document, *RTSI* refers to RTSI <0..7> for PCI devices or PXI\_TRIG <0..7> for PXI devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Maximum Working Voltage<sup>1</sup>

Channel-to-earth ground<sup>2</sup>

Continuous .....	≤30 Vrms/60 VDC Measurement Category I <sup>3</sup>
Withstand .....	≤840 Vrms/1200 VDC, verified by a 5 s dielectric withstand test

Channel-to-bus<sup>4</sup>

Continuous .....	≤30 Vrms/60 VDC Measurement Category I <sup>3</sup>
Withstand .....	≤1400 Vrms/1950 VDC, verified by a 5 s dielectric withstand test

Analog channel to AI GND/AO GND

(in Figure 1, $ V_a - V_c $ ) .....	≤11 V, Measurement Category I <sup>3</sup>
-------------------------------------	---

Digital channel to D GND

(in Figure 1, $V_b - V_c$ ) .....	≤5.25 V, Measurement Category I <sup>3</sup>
-----------------------------------	---



**Caution** This device is rated for Measurement Category I and the voltage across the isolation barrier is limited to no greater than 30 Vrms/60 VDC/42.4 V<sub>pk</sub> continuous. Do not use for measurements within Categories II, III, or IV.

Figure 1 illustrates the maximum working voltage specifications.

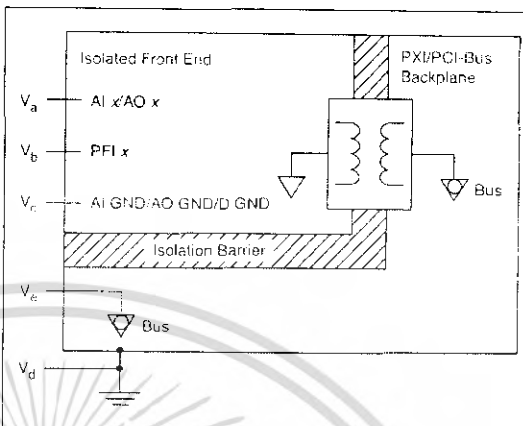


Figure 1. NI 6230 Maximum Working Voltage

### Environmental

Maximum altitude .....	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution Degree .....	2
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 70 °C (Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2.)
---------------------------------	--

<sup>1</sup> Maximum working voltage refers to the signal voltage plus the common-mode voltage.

<sup>2</sup> In Figure 1,  $|V_a - V_d|$ ,  $|V_b - V_d|$ , and  $|V_c - V_d|$ .

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> In Figure 1,  $|V_a - V_c|$ ,  $|V_b - V_c|$ , and  $|V_c - V_d|$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relative humidity range ..... 5% to 95%  
noncondensing (Tested  
in accordance with  
IEC-60068-2-56.)

### Shock and Vibration (PXI Only)

Operational shock ..... 30 g peak, half-sine,  
11 ms pulse  
(Tested in accordance  
with IEC-60068-2-27.  
Test profile developed  
in accordance with  
MIL-PRF-28800F.)

### Random vibration

Operating ..... 5 to 500 Hz, 0.3 g<sub>rms</sub>  
Nonoperating ..... 5 to 500 Hz, 2.4 g<sub>rms</sub>  
(Tested in accordance  
with IEC-60068-2-64.  
Nonoperating test profile  
exceeds the requirements  
of MIL-PRF-28800F,  
Class 3.)

### 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](http://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](http://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](http://ni.com/environment/weee.htm).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

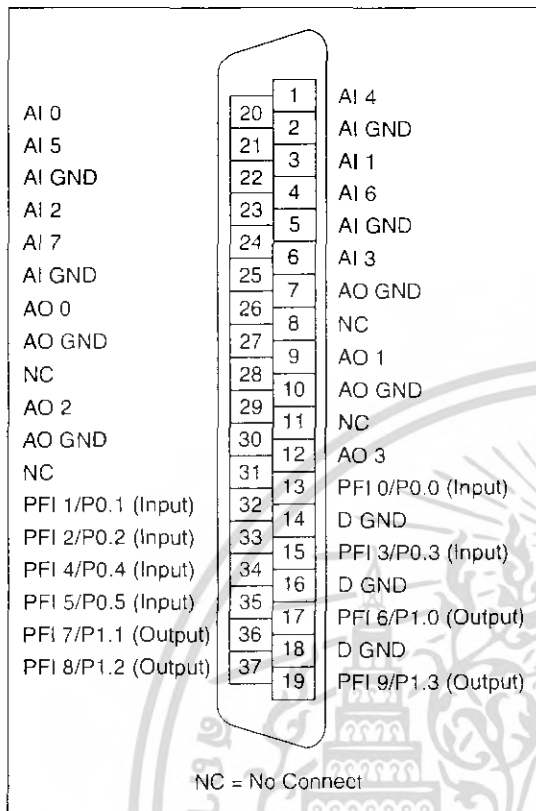


Figure 2. NI 6230 Pinout

National Instruments, NI, ni.com, and LabVIEW are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Terms of Use* section on [ni.com/legal](http://ni.com/legal) for more information about National Instruments trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your CD, or [ni.com/patents](http://ni.com/patents).

© 2006 National Instruments Corporation. All rights reserved.

371672C-01

May06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

Datasheet TLP 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

# TLP250

Transistor Inverter  
 Inverter For Air Conditionor  
 IGBT Gate Drive  
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

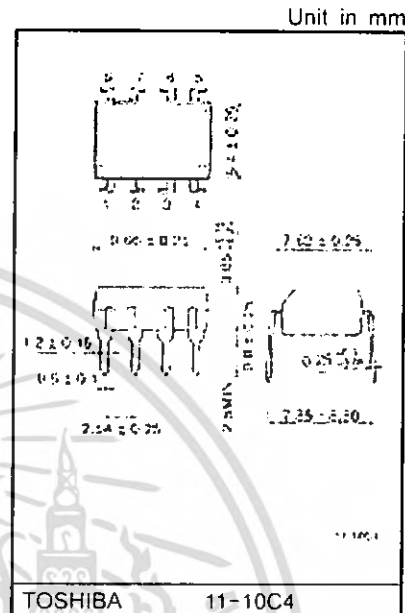
This unit is 8-lead DIP package.

TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500V_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type  
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823  
 Maximum operating insulation voltage:  $630V_{\text{PK}}$   
 Highest permissible over voltage:  $4000V_{\text{PK}}$

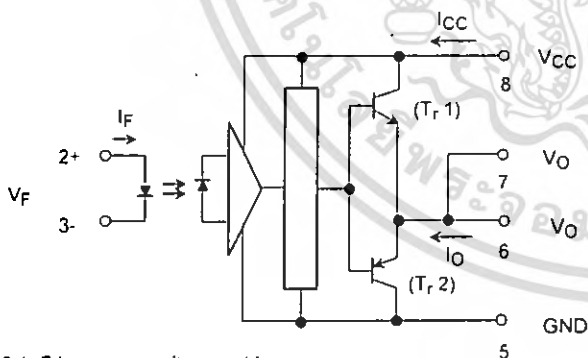
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$   
 Clearance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$



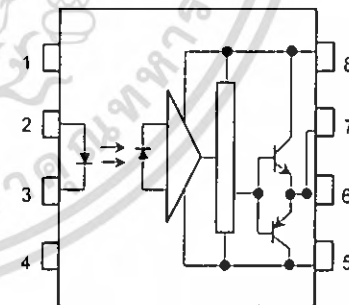
TOSHIBA 11-10C4  
 Weight: 0.54 g

### Schmatic



A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

### Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 :  $V_O$  (Output)
- 7 :  $V_O$
- 8 :  $V_{CC}$

### Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

## Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
Detector	"H" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15\text{kHz}$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	"L" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15\text{kHz}$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_O$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_{CC}$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	$f$	25	kHz		
Operating temperature range	$T_{opr}$	-20-85	°C		
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55-125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	$T_{sol}$	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	$BV_S$	2500	Vrms		

Note 1: Pulse width  $P_W \leq 1\mu s$ , 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -1.0A$  ( $\leq 2.5\mu s$ ),  $I_{OPL} \leq +1.0A$  ( $\leq 2.5\mu s$ )

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor (0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

## Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input current, on (Note 7)	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA	
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V	
Supply voltage	$V_{CC}$	15	—	30	20	V
Peak output current	$I_{OPH}/I_{OPL}$	—	—	±0.5	A	
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70	85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

## Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV <sub>F</sub> / ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C <sub>T</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C		45	250	pF
Output current	"H" level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> = 30V (*1) I <sub>F</sub> = 10 mA, V <sub>8-6</sub> = 4V I <sub>F</sub> = 0, V <sub>6-5</sub> = 2.5V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I <sub>OPL</sub>	2		0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 500V, Ta = 25°C R <sub>H</sub> ≤ 60%	1×10 <sup>-12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta = 25°C (\*1): Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

## Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)

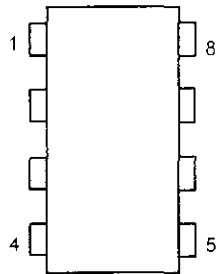
Characteristic	Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ. *	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t <sub>pLH</sub>	I <sub>F</sub> = 8mA (Note 7) V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t <sub>pHL</sub>		—	0.15	0.5	
Output rise time	t <sub>r</sub>	6		—	—	—	
Output fall time	t <sub>f</sub>			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C <sub>MH</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C <sub>ML</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 0mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

\* All typical values are at Ta = 25°C

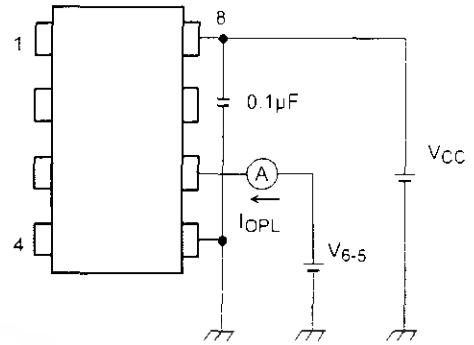
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.



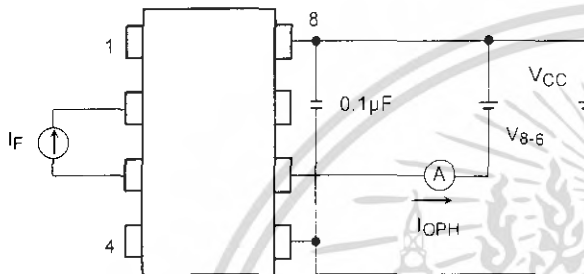
Test Circuit 1 :



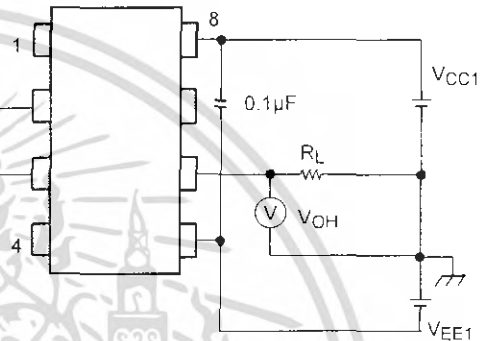
Test Circuit 2 : IOPL



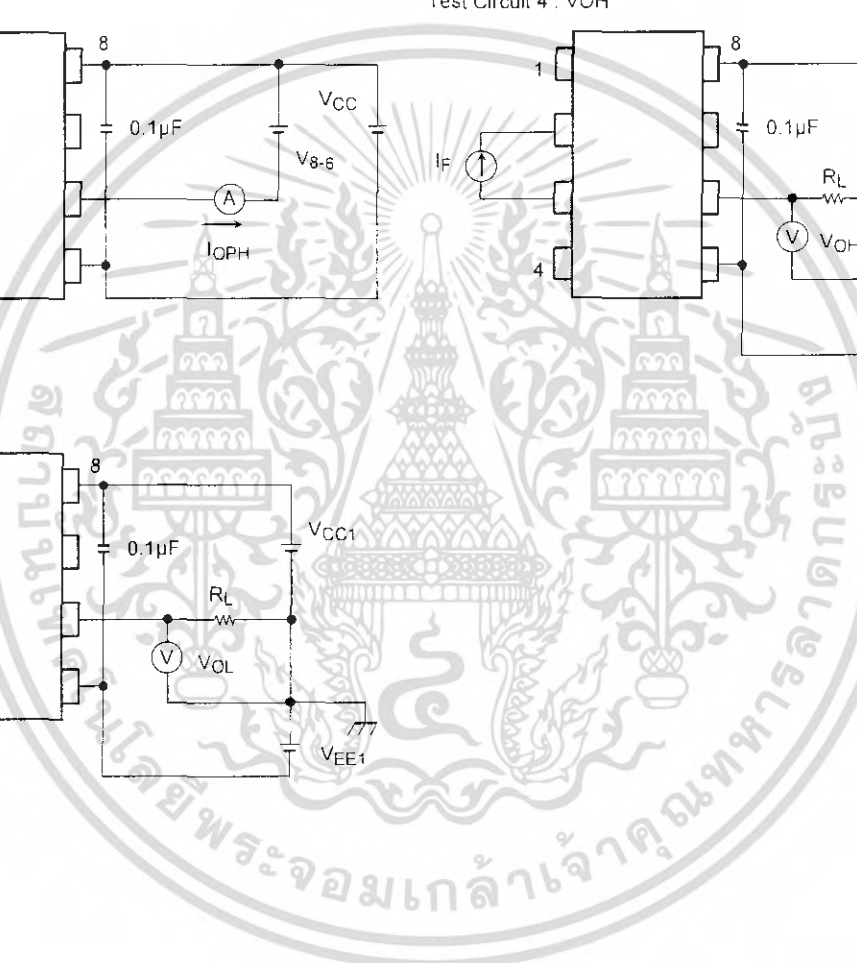
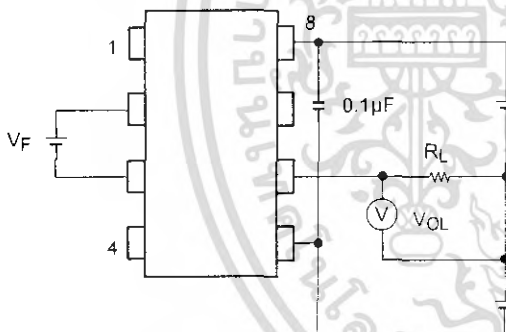
Test Circuit 3 : IOPH



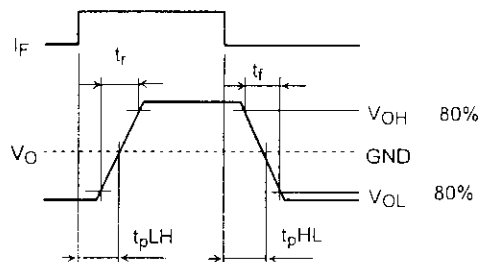
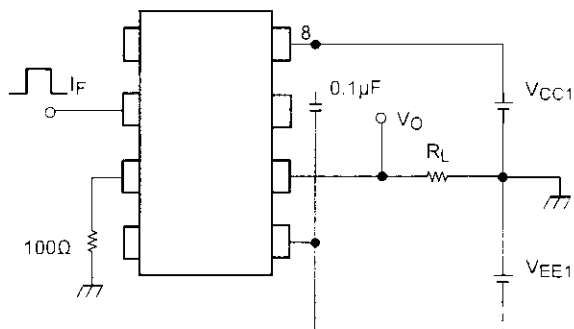
Test Circuit 4 : VOH



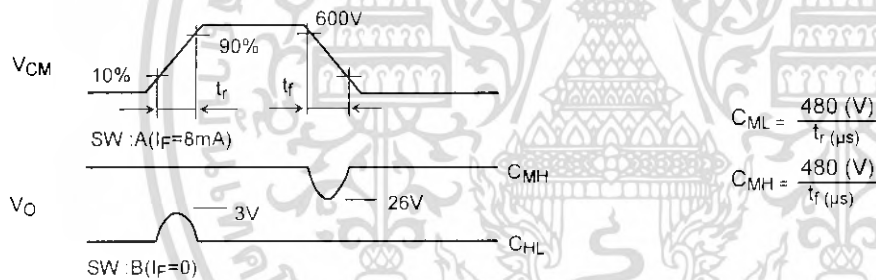
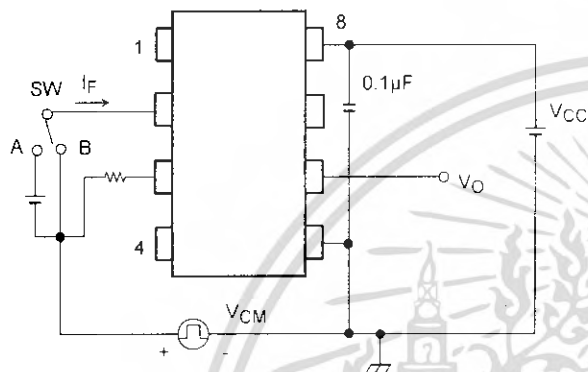
Test Circuit 5 : VOL



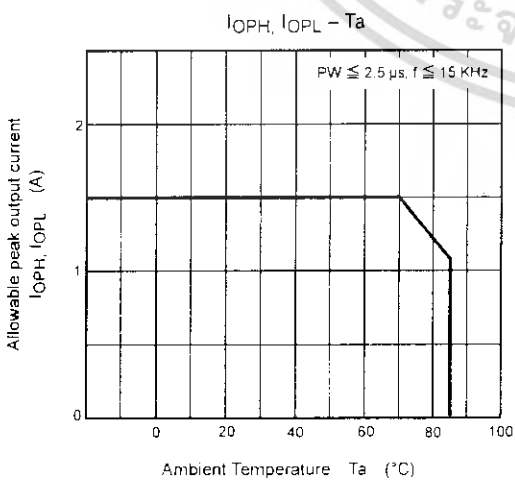
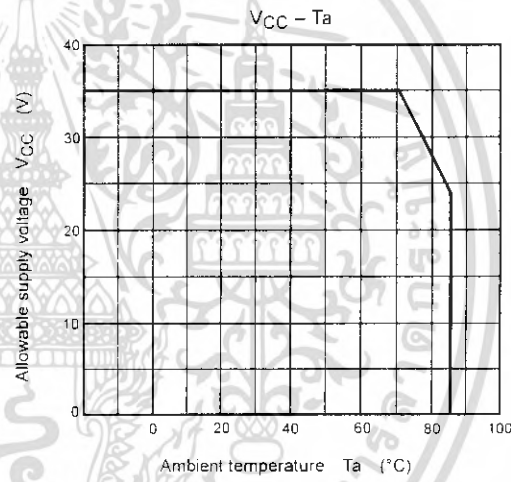
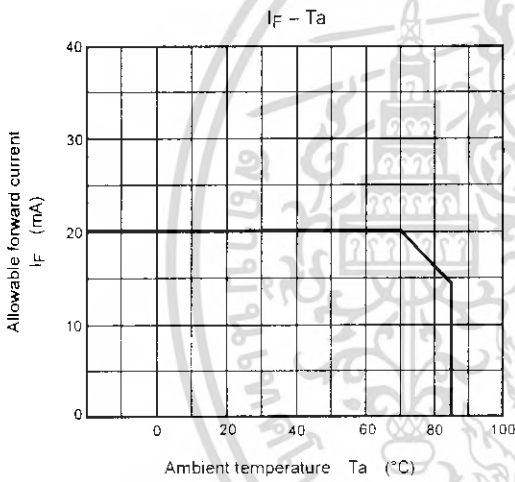
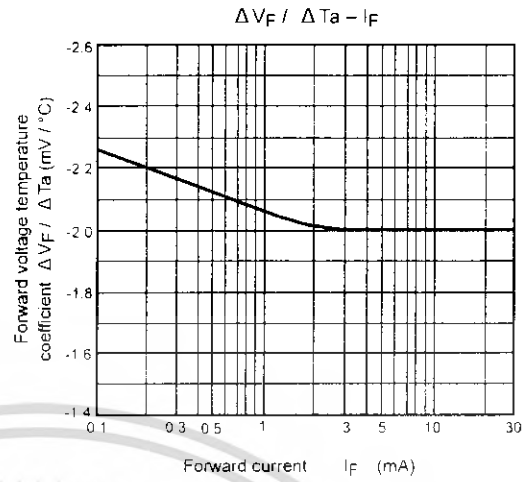
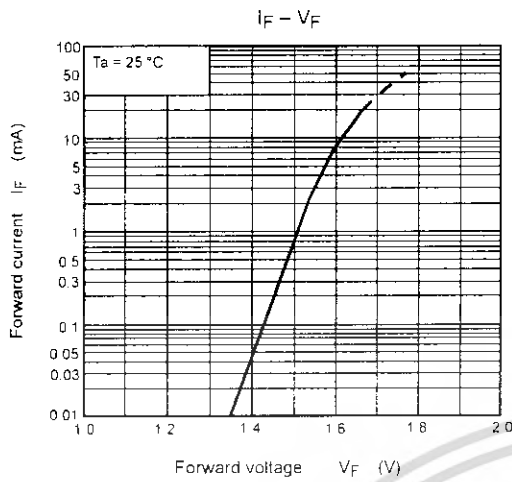
Test Circuit 6:  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



Test Circuit 7:  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$C_{ML}(C_{MH})$  is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



## RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- The information contained herein is subject to change without notice.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of TOSHIBA or others.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.  
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc.
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- TOSHIBA products should not be embedded to the downstream products which are prohibited to be produced and sold, under any law and regulations.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.



ภาคผนวก ง

Datasheet High Speed PWM Controller UC3825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High Speed PWM Controller

### FEATURES

- Compatible with Voltage or Current Mode Topologies
- Practical Operation Switching Frequencies to 1MHz
- 50ns Propagation Delay to Output
- High Current Dual Totem Pole Outputs (1.5A Peak)
- Wide Bandwidth Error Amplifier
- Fully Latched Logic with Double Pulse Suppression
- Pulse-by-Pulse Current Limiting
- Soft Start / Max. Duty Cycle Control
- Under-Voltage Lockout with Hysteresis
- Low Start Up Current (1.1mA)

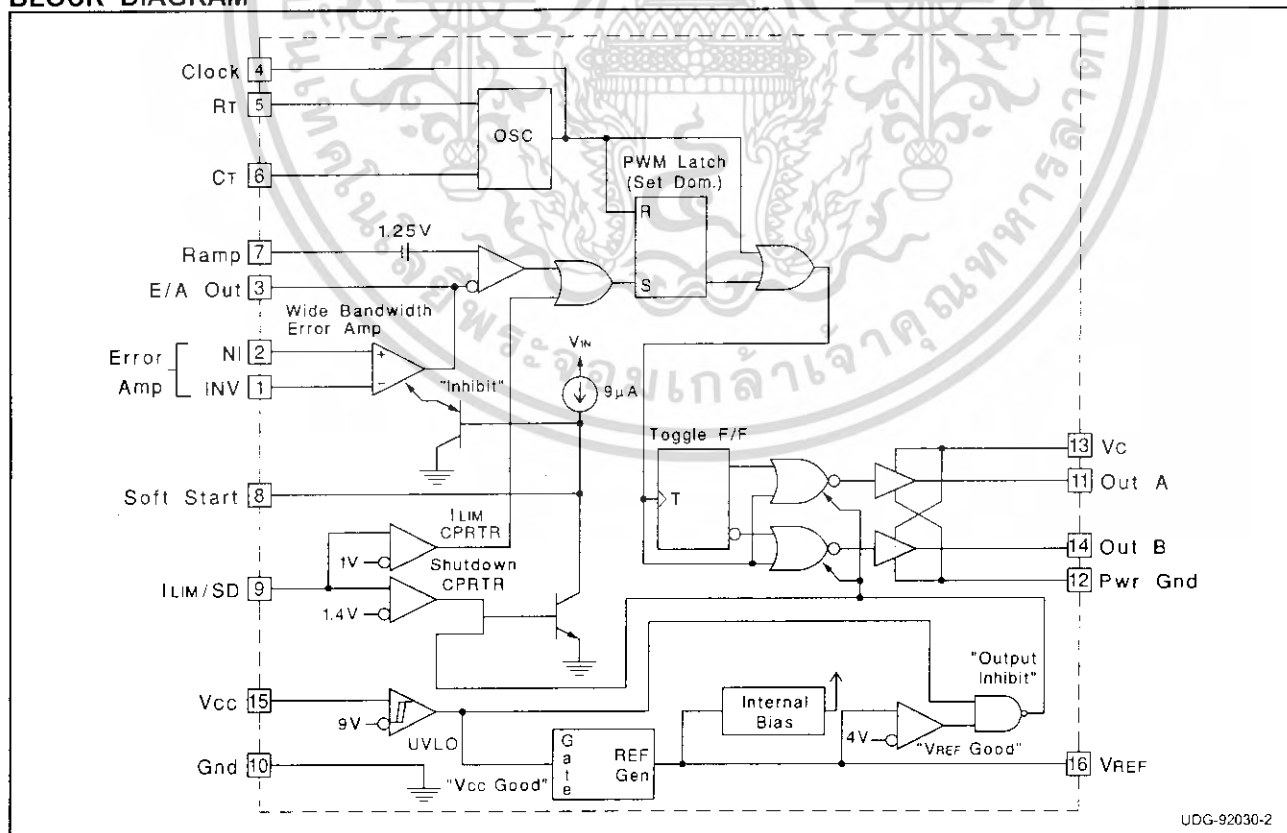
### DESCRIPTION

The UC1825 family of PWM control ICs is optimized for high frequency switched mode power supply applications. Particular care was given to minimizing propagation delays through the comparators and logic circuitry while maximizing bandwidth and slew rate of the error amplifier. This controller is designed for use in either current-mode or voltage mode systems with the capability for input voltage feed-forward.

Protection circuitry includes a current limit comparator with a 1V threshold, a TTL compatible shutdown port, and a soft start pin which will double as a maximum duty cycle clamp. The logic is fully latched to provide jitter free operation and prohibit multiple pulses at an output. An under-voltage lockout section with 800mV of hysteresis assures low start up current. During under-voltage lockout, the outputs are high impedance.

These devices feature totem pole outputs designed to source and sink high peak currents from capacitive loads, such as the gate of a power MOSFET. The on state is designed as a high level.

### BLOCK DIAGRAM



SLUS235A - MARCH 1997 - REVISED MARCH 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1825  
UC2825  
UC3825

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** (Note 1)

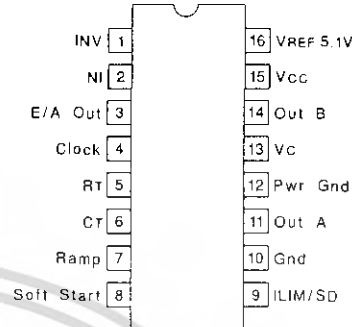
Supply Voltage (Pins 13, 15)	30V
Output Current, Source or Sink (Pins 11, 14)	
DC	0.5A
Pulse (0.5 s)	2.0A
Analog Inputs (Pins 1, 2, 7)	-0.3V to 7V
(Pin 8, 9)	-0.3V to 6V
Clock Output Current (Pin 4)	-5mA
Error Amplifier Output Current (Pin 3)	5mA
Soft Start Sink Current (Pin 8)	20mA
Oscillator Charging Current (Pin 5)	-5mA
Power Dissipation	1W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Note 1: All voltages are with respect to GND (Pin 10); all currents are positive into, negative out of part; pin numbers refer to DIL-16 package.

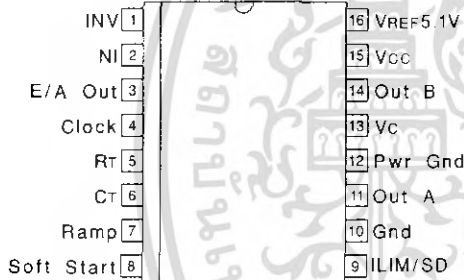
Note 3: Consult Unitrode Integrated Circuit Databook for thermal limitations and considerations of package.

**CONNECTION DIAGRAMS**

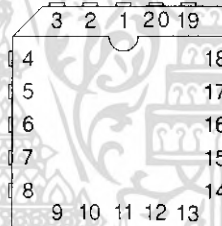
**DIL-16 (Top View)  
J or N Package**



**SOIC-16 (Top View)  
DW Package**



**PLCC-20 & LCC-20  
(Top View)  
Q & L Packages**



PACKAGE PIN FUNCTION	
FUNCTION	PIN
N/C	1
INV	2
NI	3
E/A Out	4
Clock	5
N/C	6
RT	7
CT	8
Ramp	9
Soft Start	10
N/C	11
ILIM/SD	12
Gnd	13
Out A	14
Pwr Gnd	15
N/C	16
Vc	17
Out B	18
Vcc	19
VREF 5.1V	20

**THERMAL RATINGS TABLE**

Package	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$
DIL-16J	80-120	28 <sup>(2)</sup>
DIL-16N	90 <sup>(1)</sup>	45
PLCC-20	43-75 <sup>(1)</sup>	34
LCC-20	70-80	20 <sup>(2)</sup>
SOIC-16	50-120 <sup>(1)</sup>	35

(1) Specified  $\theta_{JA}$  (junction to ambient) is for devices mounted to 5in<sup>2</sup> FR4 PC board with one ounce copper where noted. When resistance range is given, lower values are for 5in<sup>2</sup> aluminum PC board. Test PWB was 0.062in thick and typically used 0.635mm trace widths for power packages and 1.3mm trace widths for non-power packages with 100 x 100 mil probe land area at the end of each trace.

(2)  $\theta_{JC}$  data values stated were derived from MIL-STD-1835B. MIL-STD-1835B states that the baseline values shown are worst case (mean +2s) for a 60 x 60mil microcircuit device silicon die and applicable for devices with die sizes up to 14400 square mils. For device die sizes greater than 14400 square mils use the following values; dual-in-line, 11°C/W; flat pack 10°C/W; pin grid array, 10°C/W.

UC1825  
UC2825  
UC3825

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS:** Unless otherwise stated, these specifications apply for ,  $R_T = 3.65k$ ,  $C_T = 1nF$ ,  $V_{CC} = 15V$ ,  $-55^{\circ}C < T_A < 125^{\circ}C$  for the UC1825,  $-40^{\circ}C < T_A < 85^{\circ}C$  for the UC2825, and  $0^{\circ}C < T_A < 70^{\circ}C$  for the UC3825,  $T_A = T_O$ .

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	UC1825 UC2825			UC3825			UNITS
		MIN	TOP	MAX	MIN	TOP	MAX	
<b>Reference Section</b>								
Output Voltage	$T_O = 25^{\circ}C$ , $I_O = 1mA$	5.05	5.10	5.15	5.00	5.10	5.20	V
Line Regulation	$10V < V_{CC} < 30V$		2	20		2	20	mV
Load Regulation	$1mA < I_O < 10mA$		5	20		5	20	mV
Temperature Stability*	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$		0.2	0.4		0.2	0.4	mV/ $^{\circ}C$
Total Output Variation*	Line, Load, Temperature	5.00		5.20	4.95		5.25	V
Output Noise Voltage*	$10Hz < f < 10kHz$		50			50		$\mu V$
Long Term Stability*	$T_J = 125^{\circ}C$ , 1000hrs.		5	25		5	25	mV
Short Circuit Current	$V_{REF} = 0V$	-15	-50	-100	-15	-50	-100	mA
<b>Oscillator Section</b>								
Initial Accuracy*	$T_J = 2^{\circ}C$	360	400	440	360	400	440	kHz
Voltage Stability*	$10V < V_{CC} < 30V$		0.2	2		0.2	2	%
Temperature Stability*	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$		5			5		%
Total Variation*	Line, Temperature	340		460	340		460	kHz
<b>Oscillator Section (cont.)</b>								
Clock Out High		3.9	4.5		3.9	4.5		V
Clock Out Low			2.3	2.9		2.3	2.9	V
Ramp Peak*		2.6	2.8	3.0	2.6	2.8	3.0	V
Ramp Valley*		0.7	1.0	1.25	0.7	1.0	1.25	V
Ramp Valley to Peak*		1.6	1.8	2.0	1.6	1.8	2.0	V
<b>Error Amplifier Section</b>								
Input Offset Voltage				10			15	mV
Input Bias Current			0.6	3		0.6	3	$\mu A$
Input Offset Current			0.1	1		0.1	1	$\mu A$
Open Loop Gain	$1V < V_O < 4V$	60	95		60	95		dB
CMRR	$1.5V < V_{CM} < 5.5V$	75	95		75	95		dB
PSRR	$10V < V_{CC} < 30V$	85	110		85	110		dB
Output Sink Current	$V_{PIN3} = 1V$	1	2.5		1	2.5		mA
Output Source Current	$V_{PIN3} = 4V$	-0.5	-1.3		-0.5	-1.3		mA
Output High Voltage	$I_{PIN3} = -0.5mA$	4.0	4.7	5.0	4.0	4.7	5.0	V
Output Low Voltage	$I_{PIN3} = 1mA$	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0	V
Unity Gain Bandwidth*		3	5.5		3	5.5		MHz
Slew Rate*		6	12		6	12		V/ $\mu s$

UC1825  
UC2825  
UC3825

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS:** Unless otherwise stated, these specifications apply for .  $R_T = 3.65k$ ,  $C_T = 1nF$ ,  $V_{CC} = 15V$ ,  $-55^{\circ}C < T_A < 125^{\circ}C$  for the UC1825,  $-40^{\circ}C < T_A < 85^{\circ}C$  for the UC2825, and  $0^{\circ}C < T_A < 70^{\circ}C$  for the UC3825,  $T_A = T_J$

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	UC1825 UC2825			UC3825			UNITS
		MIN	TOP	MAX	MIN	TOP	MAX	
<b>PWM Comparator Section</b>								
Pin 7 Bias Current	$V_{PIN 7} = 0V$		-1	-5		-1	-5	$\mu A$
Duty Cycle Range		0		80	0		85	%
Pin 3 Zero DC Threshold	$V_{PIN 7} = 0V$	1.1	1.25		1.1	1.25		V
Delay to Output*			50	80		50	80	ns
<b>Soft-Start Section</b>								
Charge Current	$V_{PIN 8} = 0.5V$	3	9	20	3	9	20	$\mu A$
Discharge Current	$V_{PIN 8} = 1V$	1			1			mA
<b>Current Limit / Shutdown Section</b>								
Pin 9 Bias Current	$0 < V_{PIN 9} < 4V$			15			10	$\mu A$
Current Limit Threshold		0.9	1.0	1.1	0.9	1.0	1.1	V
Shutdown Threshold		1.25	1.40	1.55	1.25	1.40	1.55	V
Delay to Output			50	80		50	80	ns
<b>Output Section</b>								
Output Low Level	$I_{OUT} = 20mA$		0.25	0.40		0.25	0.40	V
	$I_{OUT} = 200mA$		1.2	2.2		1.2	2.2	V
Output High Level	$I_{OUT} = -20mA$	13.0	13.5		13.0	13.5		V
	$I_{OUT} = -200mA$	12.0	13.0		12.0	13.0		V
Collector Leakage	$V_C = 30V$		100	500		10	500	$\mu A$
Rise/Fall Time*	$CL = 1nF$		30	60		30	60	ns
<b>Under-Voltage Lockout Section</b>								
Start Threshold		8.8	9.2	9.6	8.8	9.2	9.6	V
UVLO Hysteresis		0.4	0.8	1.2	0.4	0.8	1.2	V
<b>Supply Current Section</b>								
Start Up Current	$V_{CC} = 8V$		1.1	2.5		1.1	2.5	mA
ICC	$V_{PIN 1}, V_{PIN 7}, V_{PIN 9} = 0V; V_{PIN 2} = 1V$		22	33		22	33	mA

\* This parameter not 100% tested in production but guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

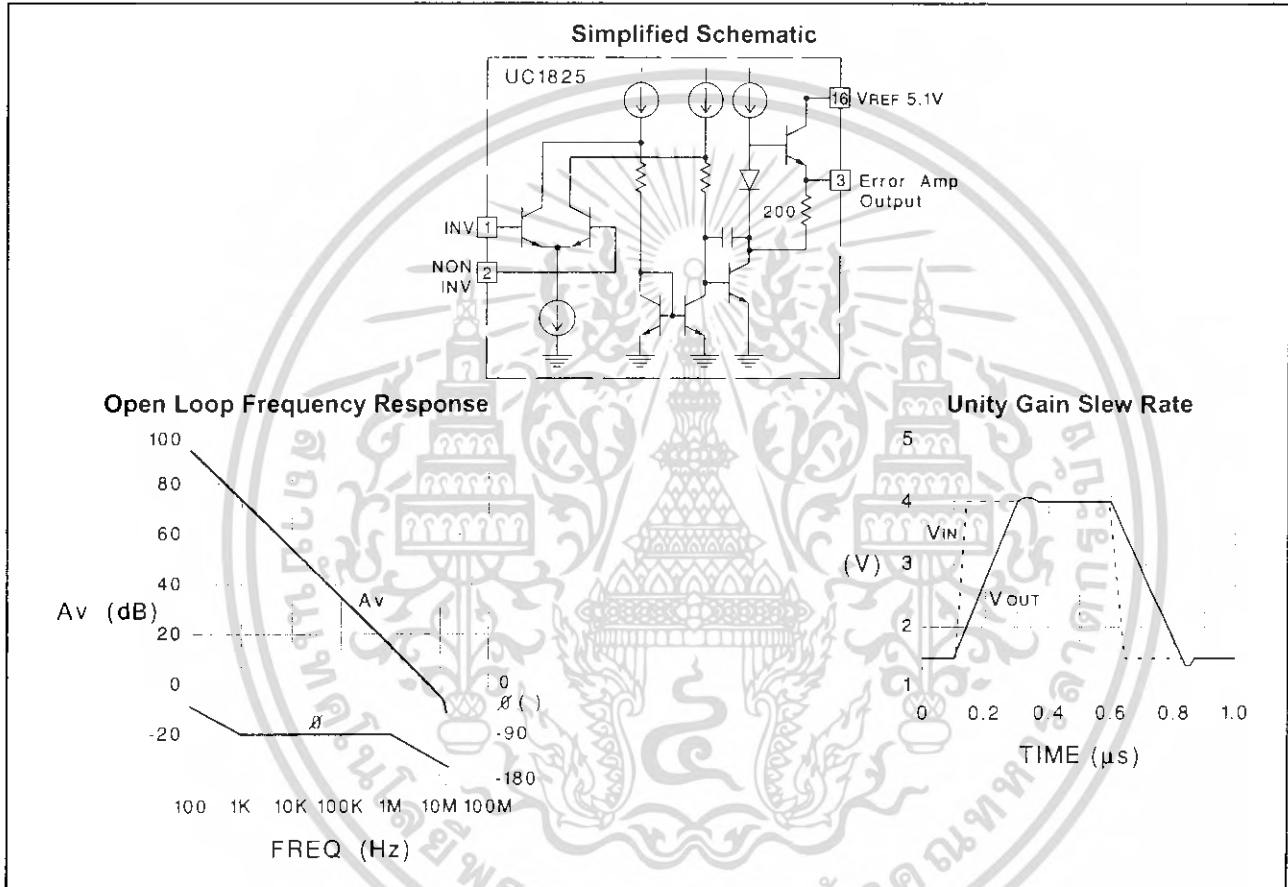
UC1825  
UC2825  
UC3825

**Printed Circuit Board Layout Considerations**

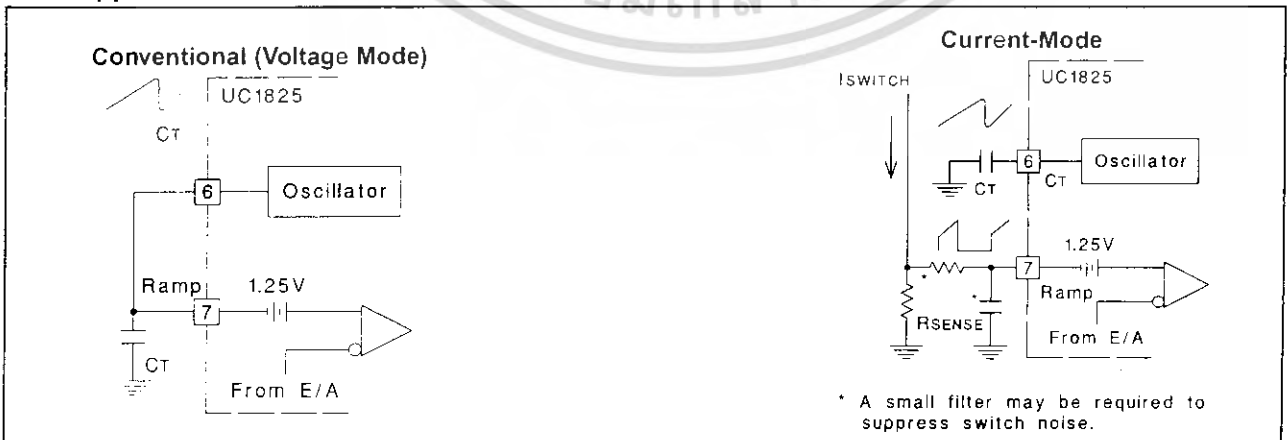
High speed circuits demand careful attention to layout and component placement. To assure proper performance of the UC1825 follow these rules: 1) Use a ground plane. 2) Damp or clamp parasitic inductive kick energy from the gate of driven MOSFETs. Do not allow the output pins to ring below ground. A series gate resistor or a shunt 1 Amp Schottky diode at the output pin will serve

this purpose. 3) Bypass VCC, VC, and VREF. Use 0.1μF monolithic ceramic capacitors with low equivalent series inductance. Allow less than 1 cm of total lead length for each capacitor between the bypassed pin and the ground plane. 4) Treat the timing capacitor, CT, like a bypass capacitor.

**Error Amplifier Circuit**

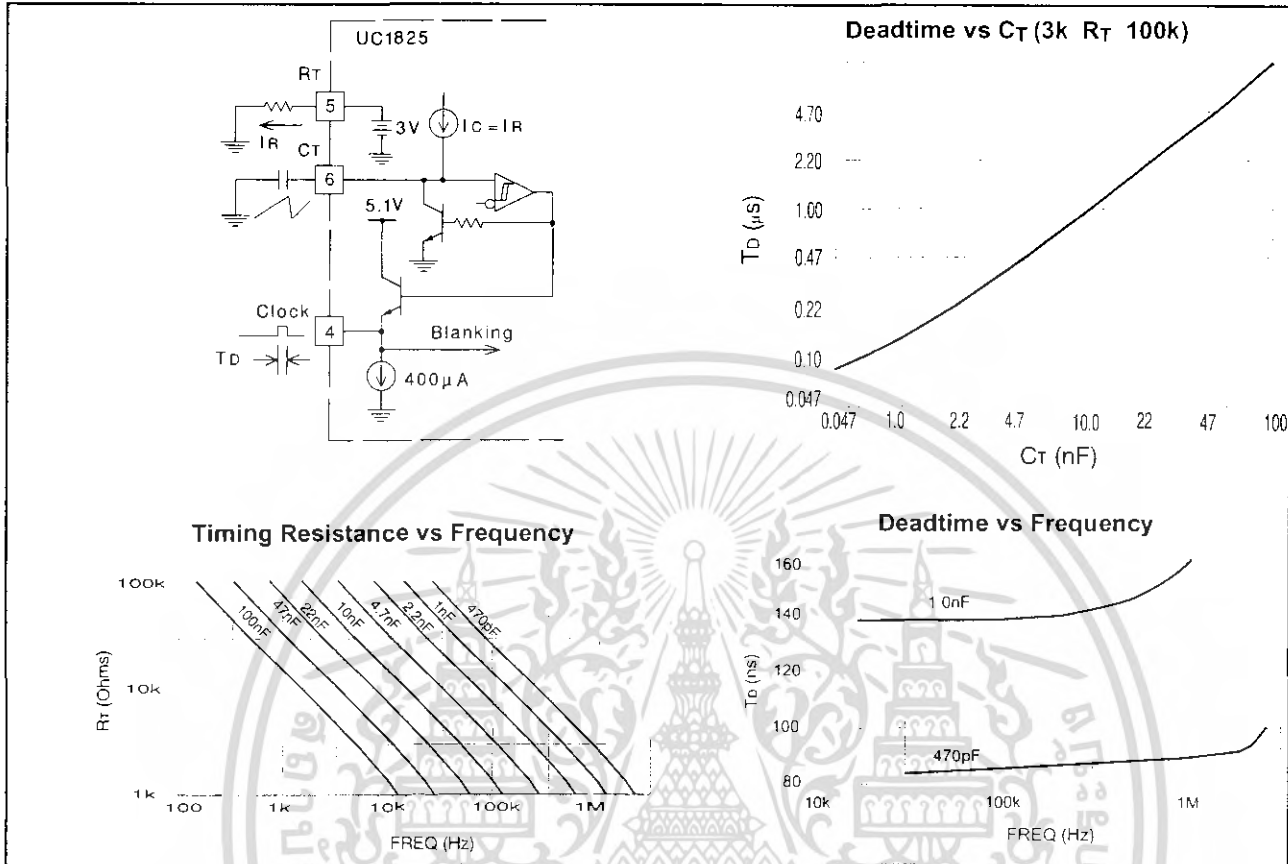


**PWM Applications**

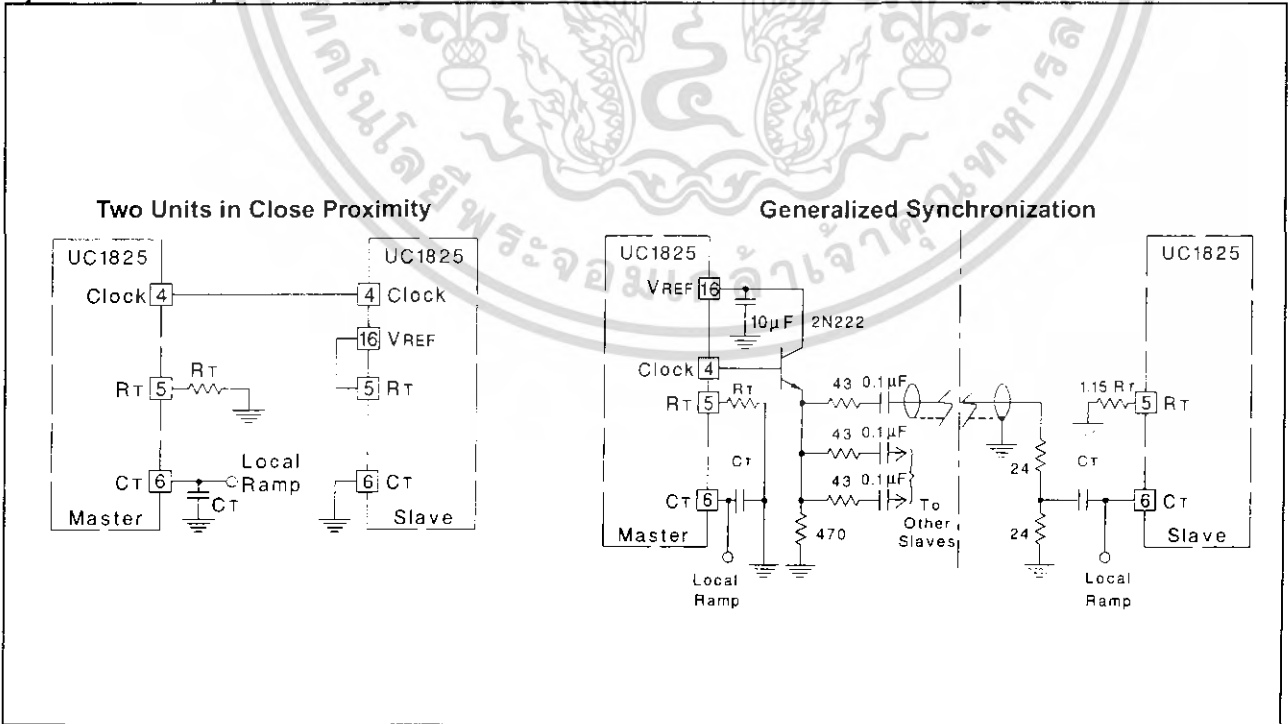


UC1825  
UC2825  
UC3825

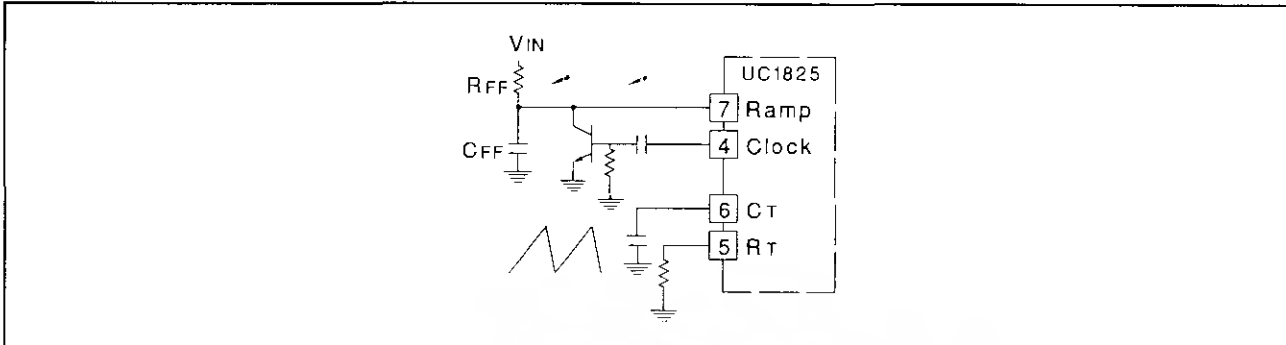
Oscillator Circuit



Synchronized Operation

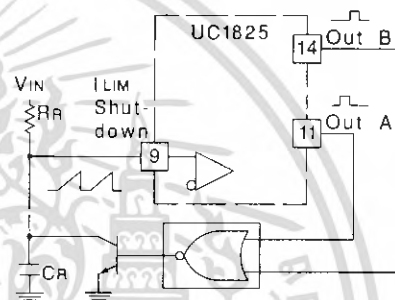


Forward Technique for Off-Line Voltage Mode Application



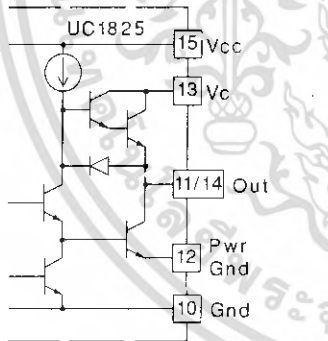
Constant Volt-Second Clamp Circuit

The circuit shown here will achieve a constant volt-second product clamp over varying input voltages. The ramp generator components,  $R_T$  and  $C_T$  are chosen so that the ramp at Pin 9 crosses the 1V threshold at the same time the desired maximum volt-second product is reached. The delay through the functional nor block must be such that the ramp capacitor can be completely discharged during the minimum deadtime.

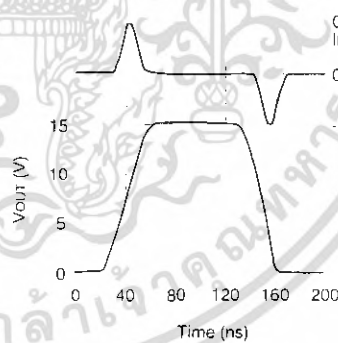


Output Section

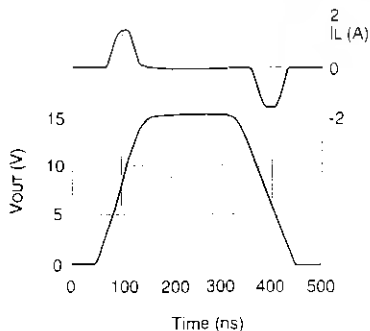
Simplified Schematic



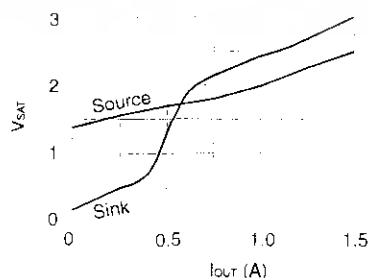
Rise/Fall Time (CL=1nF)



Rise/Fall Time (CL=10nF)

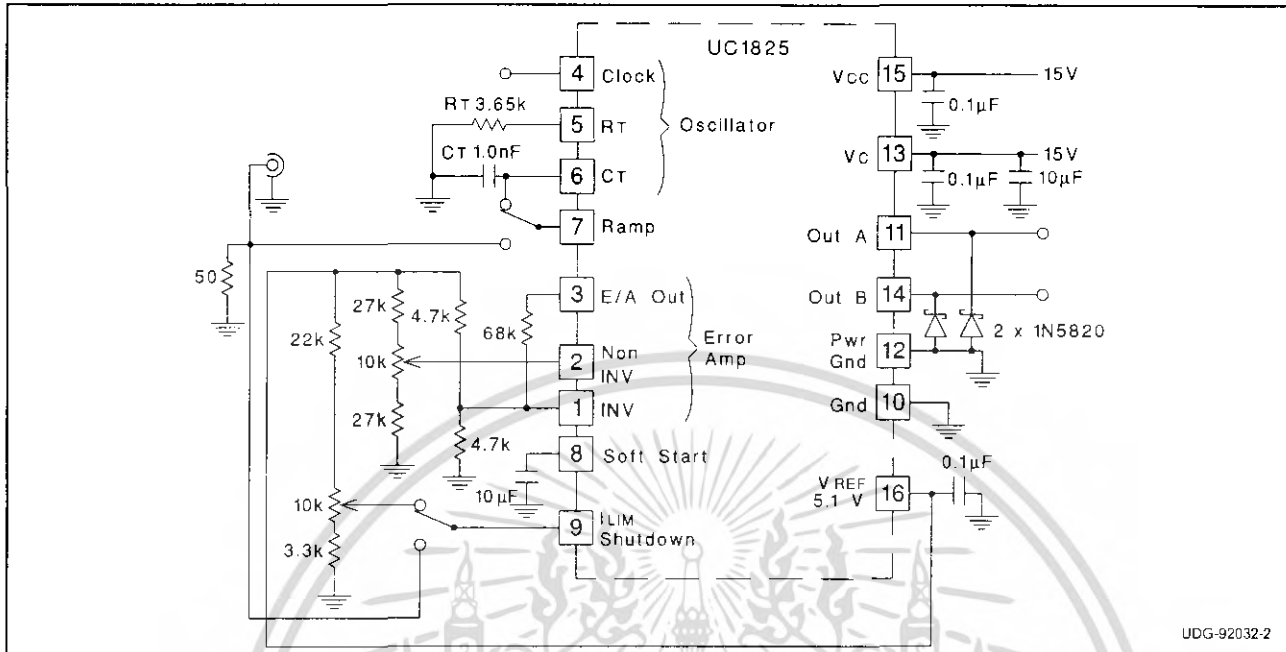


Saturation Curves



UC1825  
UC2825  
UC3825

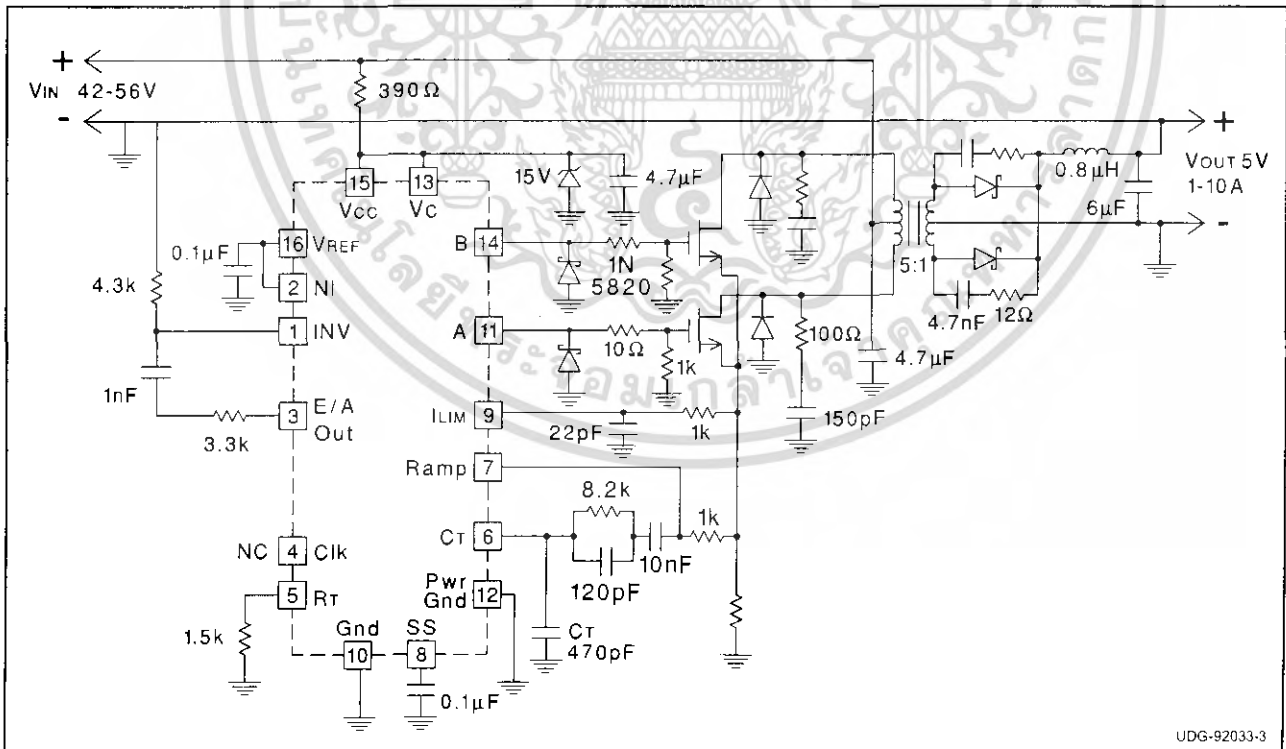
Open Loop Laboratory Test Fixture



UDG-92032-2

This test fixture is useful for exercising many of the UC1825's functions and measuring their specifications. As with any wideband circuit, careful grounding and bypass procedures should be followed. The use of a ground plane is highly recommended.

Design Example: 50W, 48V to 5V DC to DC Converter - 1.5MHz Clock Frequency



UDG-92033-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
5962-87681022A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
5962-8768102EA	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
5962-8768102V2A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
5962-8768102VEA	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type
5962-8768102XA	OBSOLETE	TO-92	LP	28		TBD	Call TI	N / A for Pkg Type
UC1825AJ	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
UC1825AJ883B	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
UC1825AJQMLV	ACTIVE	CDIP	J	16		TBD	Call TI	Call TI
UC1825AL	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
UC1825AL883B	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type
UC1825ALP883B	OBSOLETE	TO-92	LP	28		TBD	Call TI	N / A for Pkg Type
UC1825ALQMLV	ACTIVE	LCCC	FK	20		TBD	Call TI	Call TI
UC2825DW	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC2825DWG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC2825DWTR	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC2825DWTRG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC2825J	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
UC2825N	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
UC2825NG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
UC2825Q	ACTIVE	PLCC	FN	20	46	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR
UC2825QG3	ACTIVE	PLCC	FN	20	46	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR
UC2825QTR	ACTIVE	PLCC	FN	20	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR
UC2825QTRG3	ACTIVE	PLCC	FN	20	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR
UC3825DW	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC3825DWG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC3825DWTR	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC3825DWTRG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
UC3825J	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
UC3825N	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
UC3825NG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
UC3825Q	ACTIVE	PLCC	FN	20	46	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
						no Sb/Br)		
UC3825QG3	ACTIVE	PLCC	FN	20	46	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR
UC3825QTR	ACTIVE	PLCC	FN	20	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR
UC3825QTRG3	ACTIVE	PLCC	FN	20	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-2-260C-1 YEAR

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Pb-Free (RoHS Exempt):** This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

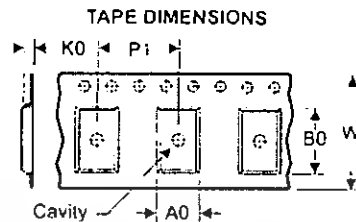
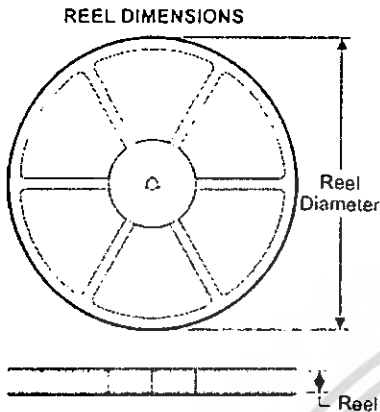
<sup>(3)</sup> MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

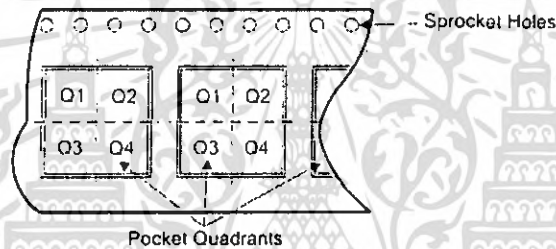
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TAPE AND REEL BOX INFORMATION



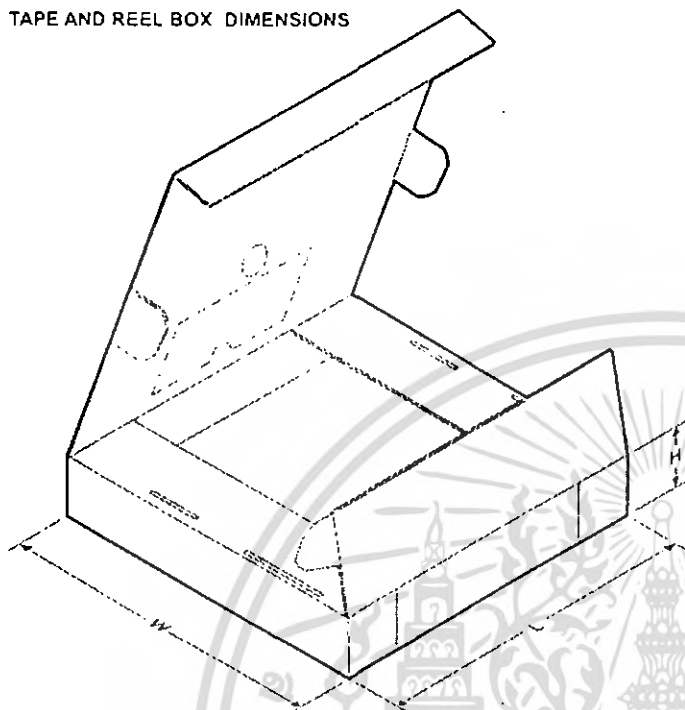
A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

## QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



Device	Package	Pins	Site	Reel Diameter (mm)	Reel Width (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
UC2825DWTR	DW	16	SITE 41	330	16	10.85	10.8	2.7	12	16	Q1
UC2825QTR	FN	20	SITE 41	330	0	10.3	10.3	4.9	12	16	Q1
UC3825DWTR	DW	16	SITE 41	330	16	10.85	10.8	2.7	12	16	Q1
UC3825QTR	FN	20	SITE 41	330	0	10.3	10.3	4.9	12	16	Q1

## TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



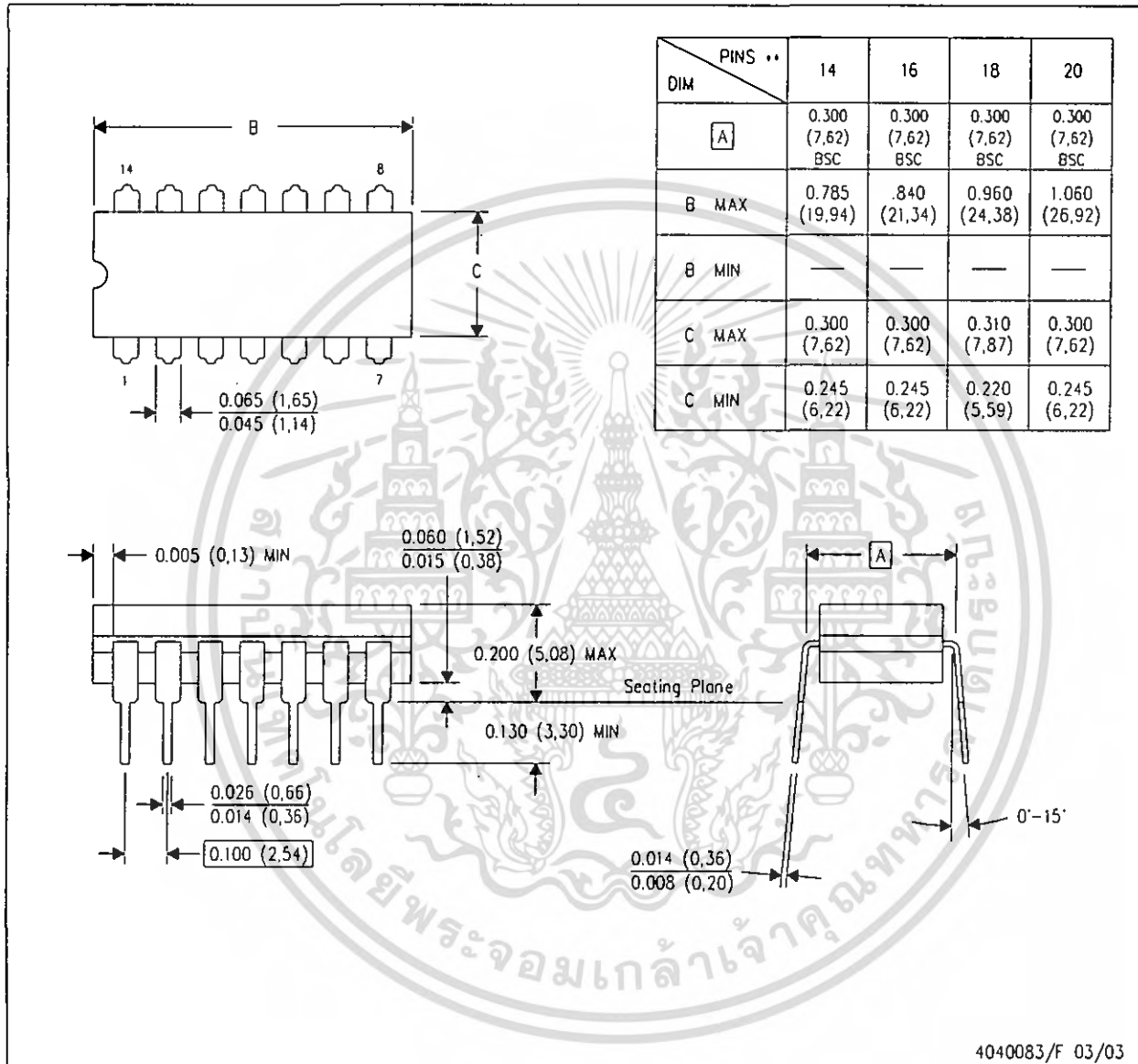
Device	Package	Pins	Site	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
UC2825DWTR	DW	16	SITE 41	346.0	346.0	33.0
UC2825QTR	FN	20	SITE 41	346.0	346.0	33.0
UC3825DWTR	DW	16	SITE 41	346.0	346.0	33.0
UC3825QTR	FN	20	SITE 41	346.0	346.0	33.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J (R-GDIP-T\*\*)

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE

14 LEADS SHOWN



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
  - This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
  - Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
  - Falls within MIL STD 1835 GOIP1-T14, GOIP1-T16, GOIP1-T18 and GOIP1-T20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

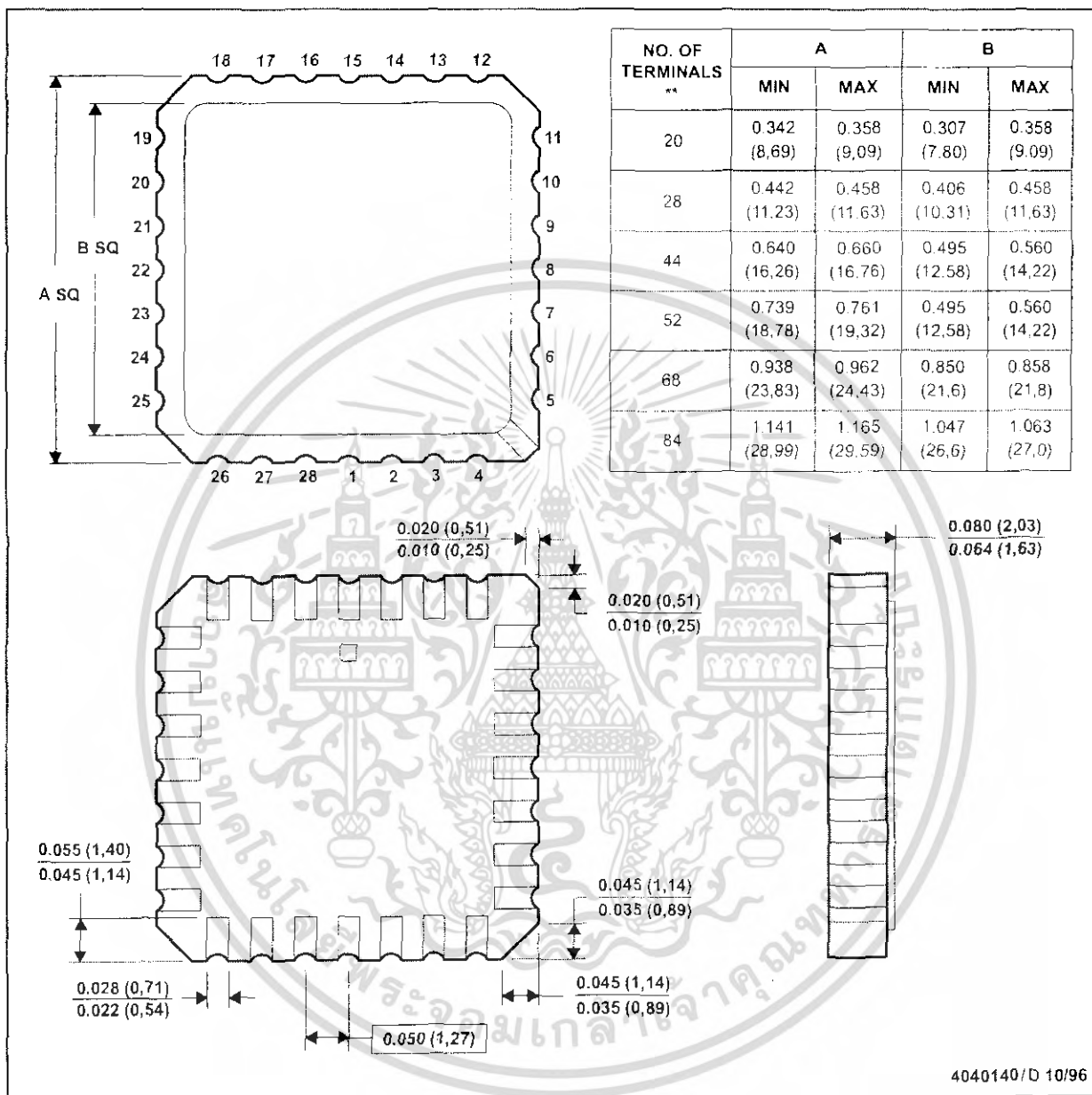
MECHANICAL DATA

MLCC006B - OCTOBER 1996

FK (S-CQCC-N\*\*)

LEADLESS CERAMIC CHIP CARRIER

28 TERMINAL SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. This package can be hermetically sealed with a metal lid.  
 D. The terminals are gold plated  
 E. Falls within JEDEC MS-004



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

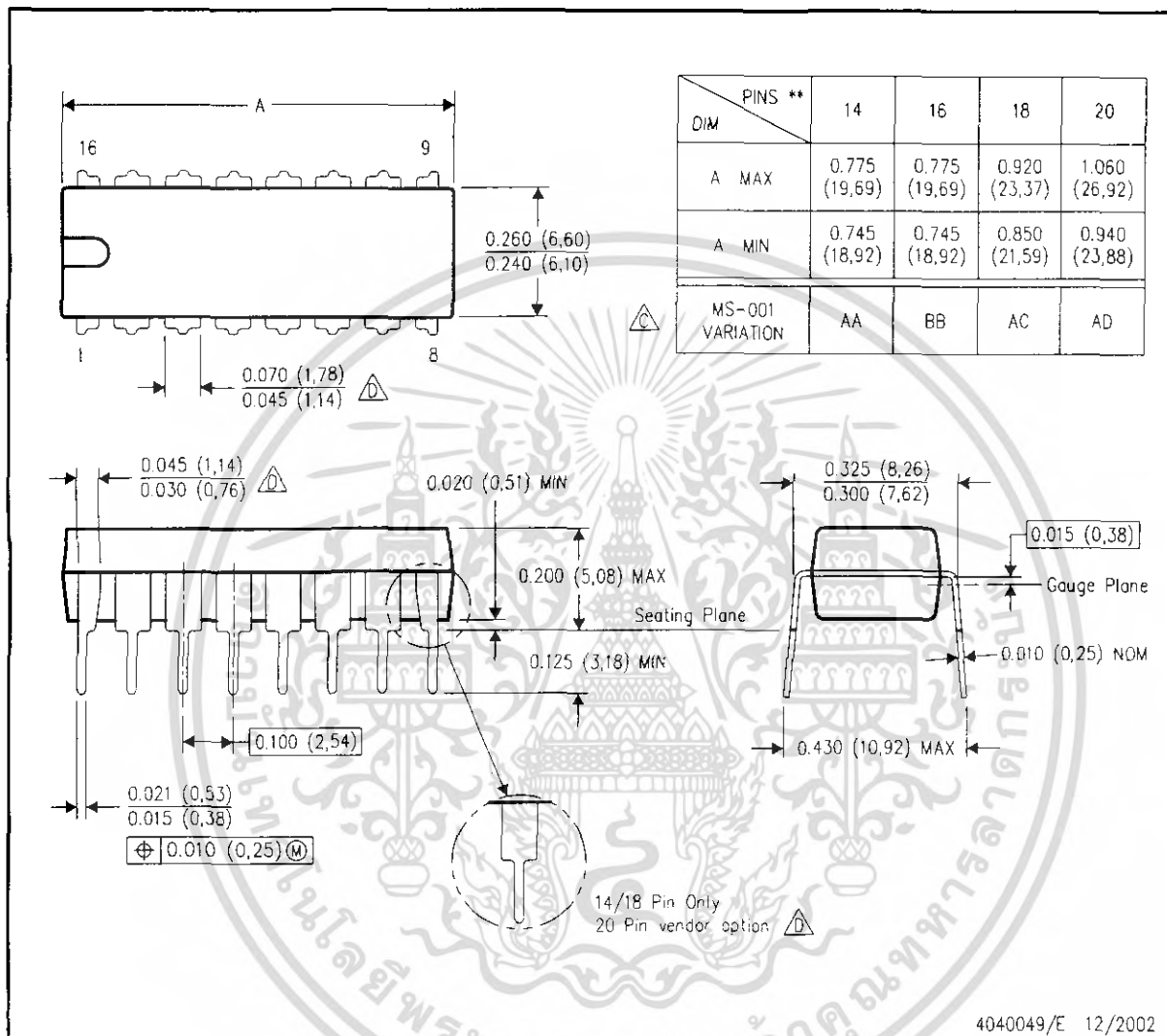
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MECHANICAL DATA

## N (R-PDIP-T\*\*)

16 PINS SHOWN

## PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
- Ⓒ Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
- Ⓓ The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

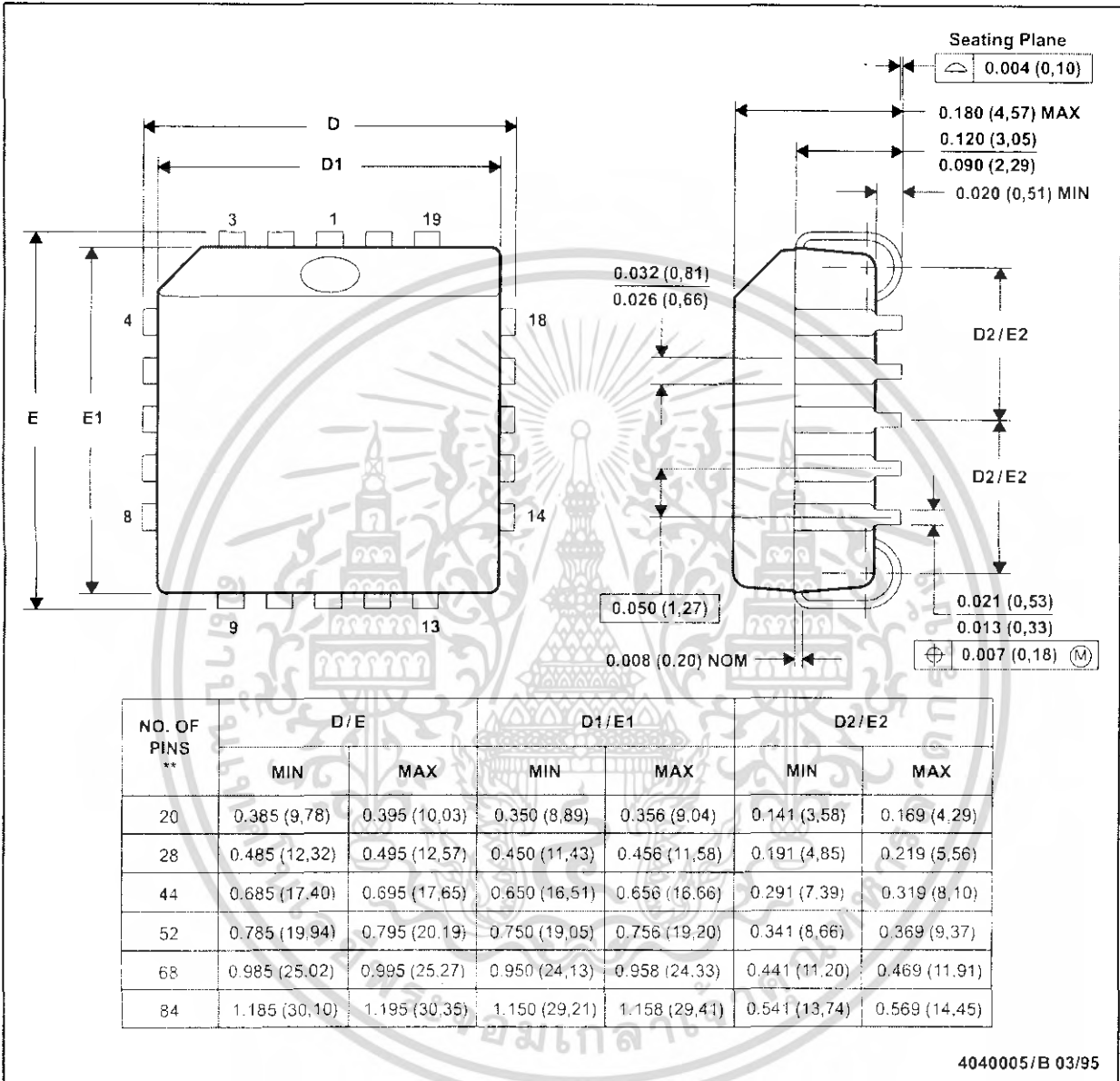
MECHANICAL DATA

MPLC004A – OCTOBER 1994

FN (S-PQCC-J\*\*)

PLASTIC J-LEADED CHIP CARRIER

20 PIN SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. Falls within JEDEC MS-018



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

### Products

Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
RF/IF and ZigBee® Solutions	<a href="http://www.ti.com/lfprf">www.ti.com/lfprf</a>

### Applications

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright 2008, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้