สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

OSCILLOSCOPE COMPUTER

T055732

โดย

นายธีรวัฒน์ โรจน์วัชราภิบาล

นายวีระ คำรักเกียรติเจริญ

นางสาวสุธิณี คานต์อาสิญจ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55732
วัน,เดือน,ปี 25 พ.ค. 2548

b.....
i.....

OSCILLOSCOPE COMPUTER

BY

Mr. TERAWAT ROJWATCHARAPIBAL

Mr. WEERA KHAMRAKKIATCHARERN

Miss SUTINEE KANARESIN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบเสนอปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์	
นักศึกษา	นายธีรวัฒน์ โรจน์วัชราภิบาล	รหัสนักศึกษา 44015650
	นายวีระ คำรักเกียรติเจริญ	รหัสนักศึกษา 44015665
	นางสาวสุธิณี กานต์อาสิญจ์	รหัสนักศึกษา 44015673
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์มนชนก ศรีเสือขาม	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2546	

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

.....

(อาจารย์มนชนก ศรีเสือขาม)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

.....

(อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์		
ชื่อนักศึกษา	นายธีรวัฒน์	โรจน์วัชราภิบาล	รหัสนักศึกษา 44015650
	นายวีระ	คำรักเกียรติเจริญ	รหัสนักศึกษา 44015665
	นางสาวสุธิณี	กานต์อาสิญจ์	รหัสนักศึกษา 44015673
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์มนชนก ศรีเสือขาม		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2546		

บทคัดย่อ

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดที่สำคัญทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากทำให้ทราบลักษณะรูปร่างของสัญญาณไฟฟ้าต่างๆได้ แต่เนื่องจากออสซิลโลสโคปมีราคาค่อนข้างแพงมากจึงยากแก่การซื้อมาใช้งาน

ดังนั้นจึงนำเสนอโครงงานออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานแทนออสซิลโลสโคป ในการนำสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์จะใช้ตัวกลางในการทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน แล้วจึงนำสัญญาณดิจิตอลที่ได้ไปทำการประมวลและแสดงผลออกทางจอภาพที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Oscilloscope computer		
Student	Mr. Teerawat	Rojwatcharapibal	ID. 44015650
	Mr. Weera	Khamrakkiatcharern	ID. 44015665
	Miss Sutinee	Kanaresin	ID. 44015673
Advisor	Miss. Monchanok	Srisaukham	
	Mr. Sorapong	Wachirarattanapornkul	
Graduate Level	Bachelor Degree fo Information Engineering		
Department	Information Engineering		
Academic Year	2003		

ABSTRACT

Oscilloscope is an important instrument in electronic work. Because it can use for displaying the signal waveform.

Oscilloscope computer, presented in this project, uses the computer to measure. In sending input signal to the computer, it uses a media for converting the analog signal to digital signal. Afterward, the digital signal is processed and displayed to a monitor written by Visual Basic.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเป็นผลเนื่องมาจากความมานะอดทน และความช่วยเหลือเกื้อกูลกันของเพื่อน ๆ ทุกท่านที่มีส่วนร่วม ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงงานนี้ โดยได้รับการสนับสนุนจาก อาจารย์มนชนก ศรีเสือขาม และ อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล ซึ่งคอยดูแลและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงงานนี้ตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศที่ได้สั่งสอนวิชาความรู้ต่าง ๆ ไว้ ณ. ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษา อีกทั้งสิ่งดี ๆ ทุก ๆ อย่างที่มีให้กันมาโดยตลอด รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยเป็นขวัญและกำลังใจด้วยดีเสมอมา

ผู้จัดทำ

นายธีรวัฒน์ โรจน์วัชราภิบาล

นายวีระ คำร้กเกียรติเจริญ

นางสาวสุธิณี กานต์อาสิญจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อไทย	I
บทคัดย่ออังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป	**3**
2.1 ลักษณะการทำงานทั่วไปของดิจิตอลออสซิลโลสโคป	3
2.2 ขอบเขตการวัด	3
2.3 การสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลออสซิลโลสโคป	10
2.4 ขั้นตอนหลังการสุ่มตัวอย่าง	16
2.5 การแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล	17
2.6 แบนวิดธ์และอัตราการสุ่มตัวอย่าง	19
2.7 พอร์ทอนุกรม RS-232	20
2.8 Visual Basic	26
บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบ	**34**
3.1 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลออสซิลโลสโคป	34
3.2 ภาควงจรลดทอนสัญญาณ	35
3.3 ภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4 การออกแบบโปรแกรม	37
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	**39**
4.1 ขั้นตอนการทดลอง	39
4.2 ผลการทดลอง	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	**50**
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก ก. Source code โปรแกรม Visual Basic	
ภาคผนวก ข. Source code โปรแกรม MCS-51	
ภาคผนวก ค. วงจรอิเล็กทรอนิกส์	
ภาคผนวก ง. Data sheet	
ภาคผนวก จ. คู่มือและวิธีการใช้งานออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะของการเกิดเอเลียสซิ่ง 5
รูปที่ 2.2 ทฤษฎีการสอดแทรก 6
รูปที่ 2.3 การจัดช่วงขอบขาขึ้น ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการสุ่มตัวอย่าง 9
รูปที่ 2.4 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบต่างๆ ของดิจิตอลออสซิลโลสโคป 10
รูปที่ 2.5 ผลที่ออกมาจากการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอินพุทแบบเป็นลำดับ 12
รูปที่ 2.6 ผังการทำงานตามแนวความคิดของทฤษฎีการแซมปลิ้ง 13
รูปที่ 2.7 จุดการแซมปลิ้ง และค่าแซมเปิ้ล 13
รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองอิมพัลส์ 16
รูปที่ 2.9 การควอนไตซิ่ง โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเปลี่ยนแรงดันอนาลอกเป็นเลขฐานสองที่ระดับต่างๆ 17
รูปที่ 2.10 แฟลชคอนเวอร์เตอร์ 18
รูปที่ 2.11 ลำดับของความเร็ว และความละเอียดของอัลกอริทึมต่างๆ 19
รูปที่ 2.12 คอนเน็คเตอร์ของ RS-232 22
รูปที่ 2.13 เพิ่มคอมโพเนนต์ MSComm 28
รูปที่ 2.14 เลือกที่รายการ MSComm 28
รูปที่ 2.15 คอนโทรล MSComm พร้อมทำงาน 29
รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อระหว่าง Client กับ Server 31
รูปที่ 2.17 การเพิ่มคอมโพเนนต์ Microsoft Winsock Control 6.0 32
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลออสซิลโลสโคป 34
รูปที่ 3.2 วงจรลดทอนสัญญาณ 35
รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 36
รูปที่ 3.4 แสดง flow chart ของโปรแกรมออสซิลโลสโคป 37
รูปที่ 4.1 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 20 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 39
รูปที่ 4.2 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 20 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 40
รูปที่ 4.3 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 40
รูปที่ 4.4 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 41
รูปที่ 4.6 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 42
รูปที่ 4.7 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 1000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 42
รูปที่ 4.8 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 1000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 43
รูปที่ 4.9 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 2000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 43
รูปที่ 4.10 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 2000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 44
รูปที่ 4.11 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 2000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 44
รูปที่ 4.12 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 2000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 45
รูปที่ 4.13 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 5000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 45
รูปที่ 4.14 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 5000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 46
รูปที่ 4.15 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 46
รูปที่ 4.16 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 47
รูปที่ 4.17 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป 47
รูปที่ 4.18 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป 48
รูปที่ 4.19 วัดสัญญาณซายน์ที่ความถี่ 1000 Hz 2 channel 48
รูปที่ 4.20 วัดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1000 Hz 2 channel 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงขาของคอนเน็คเตอร์ แบบ DB-9 24
ตารางที่ 2.2 ค่าสถานะการเชื่อมต่อของ Winsock.State 33
ตารางที่ 3.1 การลดทอนและการขยายสัญญาณแนวตั้ง 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดที่สำคัญทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากใช้วัดและวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของสัญญาณไฟฟ้าต่างๆ ได้ แต่เนื่องจากออสซิลโลสโคปมีราคาค่อนข้างแพงมากจึงยากแก่การซื้อมาใช้งาน ดังนั้นจึงนำเสนอโครงงานออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานรวมกับอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ เพื่อทดแทนเครื่องมือวัดสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาแพง และสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายไปใช้งานนอกสถานที่ที่มีคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อใช้คอมพิวเตอร์ประยุกต์เป็นเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า
2. เข้าใจหลักการทำงานของออสซิลโลสโคป
3. สามารถนำไปประยุกต์รวมกับคอมพิวเตอร์เป็นออสซิลโลสโคป
4. เพื่อประหยัดต้นทุนในการซื้อออสซิลโลสโคป

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. Hardware - สามารถแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล
   - สามารถวัดได้ 2 ช่องสัญญาณ
   - วัดสัญญาณได้ทั้งอนาลอกและดิจิตอล
2. Software - แสดงผลเป็นรูปสัญญาณ
   - ส่งผลรูปสัญญาณผ่านระบบเครือข่าย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. กำหนดปัญหาและสิ่งที่ต้องการ
2. วิเคราะห์และออกแบบทางด้าน Hardware
   - ออกแบบวงจรและทดสอบการใช้งาน
   - ประกอบชิ้นงานด้าน Hardware

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิเคราะห์และออกแบบทางด้าน Software

- ออกแบบ User Interface
- Interface โปรแกรมกับ Hardware
- ส่วนของการแสดงผล

4. ทดสอบการทำงานและปรับปรุง

- ทดสอบการ error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีทั่วไป

2.1 ลักษณะการทำงานทั่วไปของดิจิตอลออสซิลโลสโคป

ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscopes) ได้รับการออกแบบให้มีขีดความสามารถในการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งไม่สามารถทำได้ในอนาลอกออสซิลโลสโคปเดิมๆ ที่มีอยู่ โดยที่ความแตกต่างพื้นฐานระหว่างออสซิลโลสโคปแบบอนาลอกและแบบดิจิตอลอยู่ที่รูปแบบของการเก็บภาพ อนาลอกออสซิลโลสโคปใช้กลไกในการเก็บรูปคลื่นซึ่งใช้หลอด CRT โดยหลอดที่ว่านี้มีความสามารถทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นสามารถแสดงผลได้ชั่วขณะหนึ่งเท่านั้น ส่วนดิจิตอลออสซิลโลสโคปจะสุ่มตัวอย่างรูปคลื่นอินพุทมาเปลี่ยนเป็นข้อมูลไบนารี(Binary data) แล้วทำการส่งไปแสดงผลทางจอภาพ

ดิจิตอลออสซิลโลสโคปนี้ จะมีขบวนการในการทำงานอยู่ด้วยกัน 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ ช่วงของการสุ่มตัวอย่าง การแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล, ช่วงของการเก็บข้อมูล และ ช่วงของการแสดงผลค่าต่างๆ

เริ่มต้นด้วยเมื่อมีสัญญาณอนาลอก เข้ามาจะทำการสุ่มตัวอย่าง และทำการควอนไตซ์ (Quantizing) เพื่อให้ได้จำนวนของจุดบนสัญญาณตามระดับที่เราต้องการค่าที่ได้จะถูกส่งไปที่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter : ADC) หากเป็นวงจรที่ใช้สัญญาณดิจิตอล 8 บิต(bit) ก็จะได้ระดับของสัญญาณที่แปลงออกมา 2^8 หรือ 256 ระดับ ขั้นตอนที่กล่าวมาถูกควบคุมความเร็วในการทำงานด้วยฐานเวลา (time base) เดียวกัน ซึ่งฐานเวลานี้จะกำเนิดสัญญาณพัลซ์ ที่มีความถี่ที่เหมาะสม ในการสุ่มตัวอย่าง และจะเป็นตัวกำหนดจุดเวลาเพื่อเป็นจุดอ้างอิงค่าควอนไตซ์ของสัญญาณอินพุทด้วย ซึ่งเป็นฐานเวลาแบบดิจิตอลที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก และใช้เป็นเวลาอ้างอิงในการทำงานของวงจรค่าที่ถูกแปลงเป็นดิจิตอลแล้วนั้นจะถูกส่งไปยังพอร์ต RS-232 เพื่อทำการส่งเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวจัดการเก็บและบันทึกค่าที่ได้แล้วส่งมาแสดงผลทางจอมอนิเตอร์

2.2 ขอบเขตการวัด

สำหรับดิจิตอลออสซิลโลสโคปนั้น ขอบเขตการวัดนอกจากสามารถบอกเป็นค่าความถี่สูงสุดที่เครื่องสามารถทำการวัดได้แล้วยังต้องบอกค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูลควบคู่ไปด้วย โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติแล้วจะมีค่าเป็นล้านครั้งต่อวินาที(MS/s) เช่น 20 MS/s 20 MHz ,40 MS/s 100 MHz , 100 MS/s 100 MHz และ 200 MS/s 70 MHz เป็นต้น ค่าเหล่านี้จะบอกอะไรบ้าง

เริ่มด้วยค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูลจะชี้ให้เห็นถึงความละเอียด และคุณภาพของภาพที่ปรากฏบนจอ ซึ่งประกอบขึ้นมาจากจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างบนรูปคลื่นที่วัด ถ้าจำนวนจุดที่ได้มีจำนวนมาก ภาพที่ได้ก็จะมีความถูกต้องสมบูรณ์มาก การสูญเสียจุดจากการสุ่มตัวอย่างไปเพียงเล็กน้อย ในบางรูปคลื่น ก็อาจเป็นการสูญเสียรายละเอียดของรูปคลื่นนั้นไปได้ ถ้าอัตราการสุ่มตัวอย่างมีค่ามาก นั่นคือ ดิจิตอลออสซิลโลสโคปจะมีความละเอียดของรูปคลื่นมากด้วย ส่วนความถี่ที่บอกมานั้นก็ยังคงเป็นขอบเขตการวัดความถี่สูงสุดของดิจิตอลออสซิลโลสโคปในลักษณะเดียวกับอนาลอกออสซิลโลสโคป

ถ้าหากต้องการจะรู้ว่ารูปคลื่นที่ปรากฏบนจอนั้นมีความละเอียดแค่ไหน ก็สามารถทำได้ด้วยการคำนวณแบบง่ายๆ ตามสูตรที่ว่า

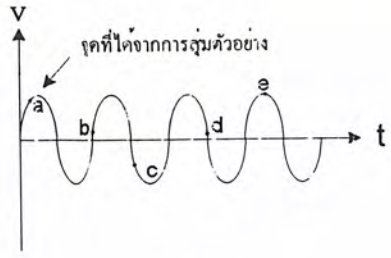
$$\text{จำนวนจุดต่อหนึ่งรูปคลื่น} = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลออสซิลโลสโคป}}{\text{ค่าความถี่ที่ทำการวัด}} \quad (2.1)$$

ตัวอย่างเช่น ดิจิตอลออสซิลโลสโคปมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 50 MS/s ใช้วัดสัญญาณที่มีความถี่ 500 kHz ดังนั้นจะได้ว่า

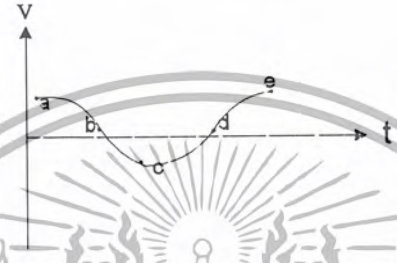
$$\text{จำนวนจุดต่อหนึ่งรูปคลื่น} = \frac{50\ MS/s}{500\ KHz} = 100$$

จะเห็นว่าภาพที่แสดงผลบนจอนั้นในหนึ่งรูปคลื่นจะเกิดจากการเรียงกันของจุดจำนวน 100 จุด แต่ถ้าหากความถี่ที่ใช้วัดเปลี่ยนเป็น 10 MHz ที่อัตราการสุ่มตัวอย่างเดิมความละเอียดของภาพในหนึ่งรูปคลื่นจะมีเพียง 5 จุด ต่อรูปคลื่นเท่านั้น ซึ่งจากทั้ง 2 กรณี สามารถสรุปได้ว่า เมื่อนำมาวัดค่าสัญญาณที่มีความถี่ต่ำๆ จะให้ความละเอียดของภาพสูง แต่เมื่อนำมาวัดสัญญาณที่มีความถี่สูงๆ แล้ว จะให้ภาพที่มีความละเอียดชัดเจนได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 ลักษณะของการเกิดเอเลียสซิ่ง
(ก) สัญญาณอินพุทเมื่อมีการสุ่มตัวอย่างต่ำเกินไป
(ข) เมื่อแสดงผลเกิดเป็นสัญญาณเอเลียส

ปัญหาอย่างหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นกับดิจิตอลออสซิลโลสโคป คือ การที่สัญญาณที่จะทำการวัดมีความถี่สูงมากๆ เมื่อมีการสุ่มตัวอย่างสัญญาณดังกล่าว แล้วนำมาสร้างให้ปรากฏบนจออีกครั้ง ผลที่ได้บนจอจะเป็นภาพที่ต่างไปจากสัญญาณที่วัดจริง เรียกว่า สัญญาณเอเลียส (Alias signal) อันเกิดจากอัตราการสุ่มต่ำกว่าความถี่สัญญาณที่วัด โดยดูได้จาก ตัวอย่างในรูปที่ 2.1 ในการใช้งานควรจะพยายามหลีกเลี่ยง อย่าให้เกิดสัญญาณเอเลียสขึ้น เพราะว่าสัญญาณเอเลียสเป็นรูปคลื่นที่มีความถี่ต่างไปจากรูปคลื่นจริงอย่างมาก ซึ่งไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้

การทำให้รูปคลื่นที่ปรากฏบนจอ มีความสมบูรณ์ถูกต้องนั้น จำนวนจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างต้องมีมากกว่า 2 เท่าของความถี่ที่วัดนั้นใน 1 รูปคลื่น และเมื่อทำการตรวจวัดขอบขาขึ้นและขอบขาลงของพัลส์จะต้องได้จำนวนครั้งที่สุ่มตัวอย่างมากกว่า 10 ครั้งต่อ 1 รูปคลื่น นอกจากการสุ่มตัวอย่างที่ต้องการความเร็วในการทำงานพอสมควรแล้วยังต้องพิจารณาอีกด้วยว่าวงจร ADC นั้น สามารถทำงานได้ด้วยความเร็วขนาดไหนซึ่งเราจะพิจารณากันในหัวข้อต่อไป

สิ่งที่จะทำให้เรารู้ถึงขอบเขตการวัด ของดิจิตอลออสซิลโลสโคป อีกอย่างหนึ่งก็คือ ค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ดิจิตอลออสซิลโลสโคปสามารถทำการเก็บข้อมูลได้ ซึ่งเราเรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Useful Storage Bandwidth จะมีค่าเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลออสซิลโลสโคปด้วย ซึ่งค่า USB สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{Useful Storage Bandwidth} = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด(MS/s)}}{25} \qquad (2.2)$$

โดยที่ ตัวเลข 25 เป็นจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างภาพบนจอไน 1 รูปคลื่น ซึ่งเป็นค่าที่ใช้โดยทั่วไป

เนื่องจากดิจิตอลออสซิลโลสโคป ไม่สามารถแสดงรายละเอียดของสัญญาณโดยการสร้างสัญญาณสุ่มตัวอย่างสอดแทรกลงไปในการสุ่มตัวอย่างแบบปกติ ผลที่ได้คือ จะมีจุดเสริมเข้าไปในรูปคลื่นเดิม ภาพที่ได้จะมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอมากขึ้นและเรียกวิธีการนี้ว่า "ทฤษฎีการสอดแทรก" (interpolation methods) ซึ่งแสดงตัวอย่างการสอดแทรกสัญญาณในรูปที่ 2.2

(ค)

รูปที่ 2.2 ทฤษฎีการสอดแทรก

(ก) การแสดงผลแบบจุด

(ข) การสอดแทรกด้วยวิธีเวกเตอร์

(ค) การสอดแทรกแบบซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.2 (ก) จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงการสร้างภาพให้ปรากฏบนจอโดยการเรียงจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างโดยปกติจะได้ประมาณ 25 จุดต่อรูปคลื่น ส่วนรูปที่ 2.2 (ข) เป็นการลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุดที่ได้มา ทำให้ได้ภาพที่เป็นเส้นตรงที่เชื่อมต่อกัน 10 เส้นต่อรูปคลื่น ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า "การสอดแทรกแบบลิเนียร์" (linear interpolation) หรือการแสดงผลแบบเวกเตอร์ (vector display) ดังนั้น เมื่อเป็นการแสดงผลของรูปคลื่นซายน์ ค่า Useful Storage Bandwidth จะเป็น

$$\text{Useful Storage Bandwidth} = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด(MS/s)}}{10} \qquad (2.3)$$

สำหรับรูปที่ 2.2 (ค) เป็นการสอดแทรกโดยการนำเอาฟังก์ชันซายน์มาคำนวณลากเส้นเชื่อมต่อ ระหว่างจุด(sine interpolation) ซึ่งวิธีการนี้จะใช้จุดเพียง 2.5 จุดต่อรูปคลื่นเท่านั้น ในการแสดงผล ดังนั้นค่า Useful Storage Bandwidth จะเป็น

$$\text{Useful Storage Bandwidth} = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด(MS/s)}}{2.5} \qquad (2.4)$$

ซึ่งทำให้ค่า Useful Storage Bandwidth มีค่ามากนั้นเท่ากับ ว่าขอบเขตของดิจิตอลออสซิลโลสโคปก็ถูกขยายมากไปด้วย

2.2.1 ดิจิตอลออสซิลโลสโคปกับรูปคลื่นพัลส์

หากเราจะพูดกันถึงรูปคลื่นพัลส์แล้ว ส่วนที่มีความสำคัญมากต่อรูปคลื่นชนิดนี้ก็คือช่วงเวลาขอบขาขึ้นและขอบขาลงของพัลส์ ดังนั้นเครื่องมือที่จะใช้วัดรูปคลื่นเหล่านี้จะต้องสามารถวัดช่วงขอบขาขึ้นและขอบขาลงได้ โดยมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุดในอนาลอกออสซิลโลสโคปสามารถคำนวณหาช่วงเวลาขอบขึ้น (t_r : rise time) ของพัลส์ได้ดังนี้

$$t_r(\text{ns}) = \frac{0.35}{\text{แบนด์วิดธ์}} \qquad (2.5)$$

จากสูตรดังกล่าวหากอนาลอกออสซิลโลสโคปมีย่านการวัด 100 MHz เราจะได้ช่วงเวลาขอบขาขึ้นของพัลส์เท่ากับ 3.5 ns ($0.35/100 \times 10^6$) นี่คือวิธีการของอนาลอกออสซิลโลสโคป ส่วนในดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออสซิลสโคปช่วงเวลาขอบขาขึ้นที่วัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.6 เท่าของช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง หากเราคิดเอาช่วงเวลาขอบขาขึ้นเป็น 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแอมปลิจูดของพัลส์ จะได้

$$t_r = 0.8 \times 2 \text{ (ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง)} \quad (2.6)$$

หรือ $$t_r = 1.6 / \text{(อัตราการสุ่มตัวอย่าง)} \quad (2.7)$$

เพื่อให้การคำนวณมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง สูตรการหาช่วงเวลาขอบขาขึ้นที่นำไปใช้งานจริง (Ut_r = Useful Rise Time) จึงใช้ค่า 1.6 ตลอด ดังนี้

$$Ut_r = 1.6 / \text{(อัตราการสุ่มตัวอย่าง)} \quad (2.8)$$

หรือ $$Ut_r = \text{(ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่างต่ำสุด)} \times 1.6 \quad (2.9)$$

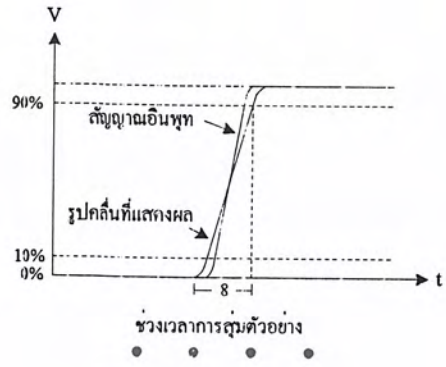
เช่น ถ้ามีอัตราการสุ่มตัวอย่างเป็น 100 MS/s ก็จะมีช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.01 µs และ Ut_r = 0.01µs x 1.6 = 16 ns นั่นคือ ดิจิตอลออสซิลโลสโคปเครื่องนี้จะสามารถแสดงผลช่วงขอบขาขึ้นในการวัดได้ภายในเวลา 16 ns เมื่อคิดช่วงขอบขาขึ้นเป็น 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแอมปลิจูด

จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการแสดงผลรูปคลื่นพัลส์นั้นจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลออสซิลโลสโคปเอง รูปที่ 2.3 (ก) จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาของขาขึ้นที่อยู่ระหว่างช่วงการสุ่มตัวอย่าง โดยรูปคลื่นที่แสดงผลจะอยู่ในช่วง 0.8 x (ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง) รูปคลื่นที่แสดงผลออกมา จะมีความชันของขอบขาขึ้น ต่างจากรูปคลื่นจริงอยู่บ้างพอสมควร และเมื่อดูรูปสัญญาณอินพุทเดียวกัน แต่มีช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างต่างกัน ตามรูปที่ 2.3 (ข) ภาพที่ได้จากการแสดงผลช่วงขอบขาขึ้นจะอยู่ในช่วง 1.6 x (ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง) ซึ่งถ้าเปรียบกับรูปที่ 2.3 (ก) แล้ว ความชันของขอบขาขึ้นตามรูปที่ 2.3 (ข) จะแตกต่างจากรูปสัญญาณอินพุทจริงค่อนข้างมากที่เดียว

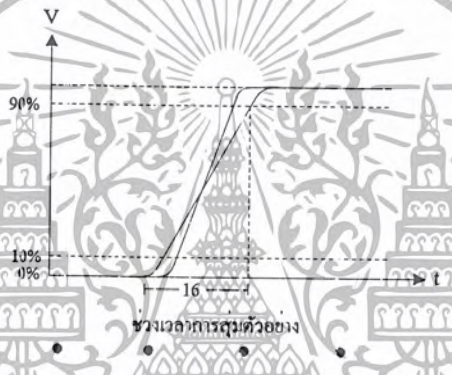
จากที่ทราบในตอนต้นว่า การจัดช่วงขอบขาขึ้นและขอบขาลงของพัลส์ จะต้องทำการสุ่มตัวอย่างมากกว่า 10 ครั้ง ดังนั้น เราสามารถหาช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการวัดขอบขาขึ้นได้ โดยหารอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วย 10 แล้วกลับเศษเป็นส่วนดังนี้

$$\text{Res} = \frac{1}{\text{(อัตราการสุ่มตัวอย่าง)} / 10} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 การจัดช่วงขอบขาขึ้น ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการสุ่มตัวอย่าง
(ก) ช่วงขอบขาขึ้นอยู่ระหว่าง 0.8
(ข) ช่วงขอบขาขึ้นอยู่ระหว่าง 1.6

ถ้าเป็นดิจิตอลออสซิลโลสโคป ที่มีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 100 MS/s จะมีการสุ่มตัวอย่างทุกๆ 10 ns (1 / 100 MS/s) และจะใช้การทำงานกับขอบขาขึ้นเป็นเวลา 100 ns แล้วถ้าหากว่าพัลส์ที่เข้ามามีความถี่สูงมาก เราก็ย่อมต้องการดิจิตอลออสซิลโลสโคป ที่มีความเร็วในการสุ่มตัวอย่างสูงขึ้นด้วย เช่น 500 MS/s ซึ่งจะมีการสุ่มตัวอย่างทุกๆ 2 ns และสามารถวัดช่วงขอบขาขึ้นที่อยู่ระหว่างช่วงการสุ่มตัวอย่างโดยใช้เวลา 1.17 ns

จะเห็นว่าดิจิตอลออสซิลโลสโคป ตอบสนองการวัดรูปคลื่นพัลส์ ได้มีค่อยจะดีเท่ากับอนาลอกออสซิลโลสโคป และเราไม่สามารถนำค่า Ut_r เป็นค่าซึ่งแสดงถึงขอบเขตจำกัดของดิจิตอลออสซิลโลสโคปก็ได้

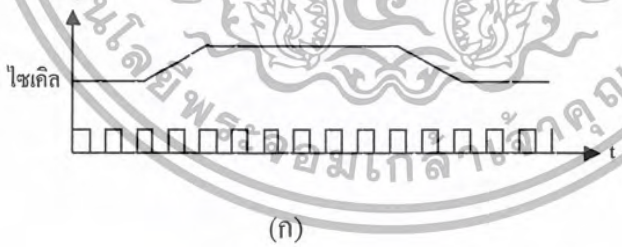
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลออสซิลโลสโคป

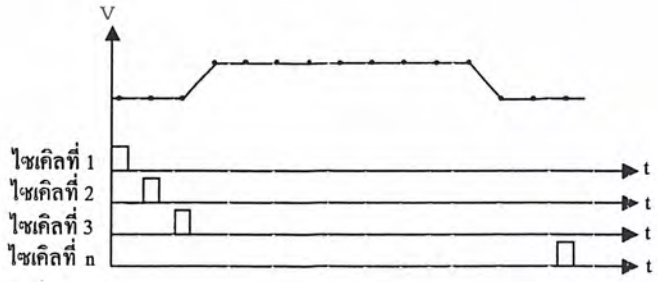
2.3.1 ดิจิตอลออสซิลโลสโคปใช้การสุ่มตัวอย่างด้วยกัน 2 แบบ คือ

การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริง (Real Time or One-Shot) จะเกิดการสุ่มตัวอย่างขึ้นทันทีที่มีการจัดสัญญาณอินพุทได้ โดยผลที่ได้จะมาจากรูปคลื่นจริงๆ และจะมีความเหมือนกับรูปคลื่นจริงมาก ส่วนมากจะใช้กับสัญญาณที่เกิดขึ้น เพียงชั่วขณะหรือใช้ในการสุ่มตัวอย่าง บางส่วนของสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์เป็นพิเศษ ดังนั้นความเร็วของการสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริงนี้จึงต้องสูงพอที่จะทำงานในกรณีดังกล่าวได้ การสุ่มตัวอย่างแบบนี้จะทำงานแบบผ่านครั้งเดียวเสร็จ จะมีการสุ่มตัวอย่างจุดเดียวในแต่ละครั้งของการทำงาน จึงสามารถนำไปตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะเช่น แรงไฟกระชาก, สัญญาณควบคุมเครื่องกล, สัญญาณลักษณะทางชีววิทยา ฯลฯ ซึ่งจะปรากฏให้สามารถวัดได้ในระยะเวลาที่สั้นมาก การจะใช้วิธีสุ่มตัวอย่างจึงต้องใช้แบบที่เมื่อเริ่มสุ่มและสิ้นสุดการสุ่มต้องได้รูปสัญญาณที่เกิดขึ้น รูปที่ 2.4 (ก) จะเห็นการสุ่มตัวอย่าแบบเวลาจริงที่ใช้ในการวัดรูปคลื่นพัลส์หนึ่งลูก

การสุ่มตัวอย่าแบบเวลาสมือน (Equivalent Time) การสุ่มตัวอย่างแบบนี้โดยมากจะใช้กับสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กันหรือใช้ตรวจจับบางส่วนของสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อยๆ อีกคือ การสุ่มชนิดเป็นลำดับ (Sequential Sampling) และการสุ่มชนิดมีเป็นลำดับ (Random Sampling)

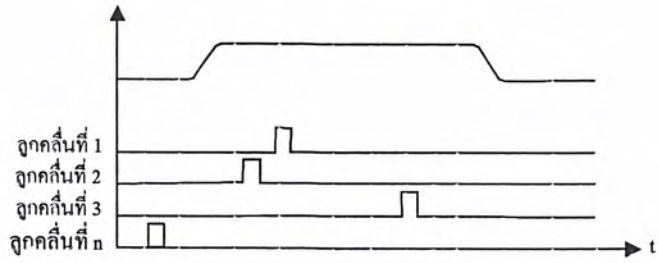


(ก)

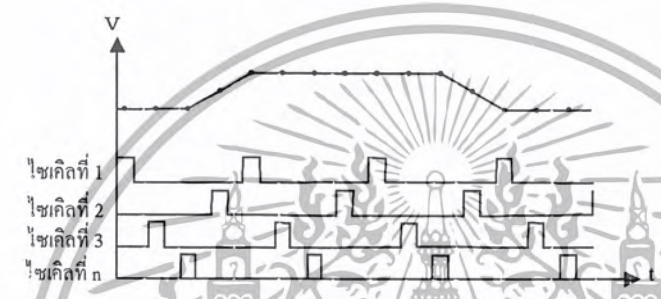


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.4 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบต่างๆ ของดิจิตอลออสซิลโลสโคป

(ก) การสุ่มแบบเวลาจริง

(ข) การสุ่มแบบเวลาเสมือนชนิดเป็นลำดับ

(ค) การสุ่มแบบเวลาเสมือนชนิดไม่เป็นลำดับโดยใช้จุดเดียวในการทำงานหนึ่งครั้ง

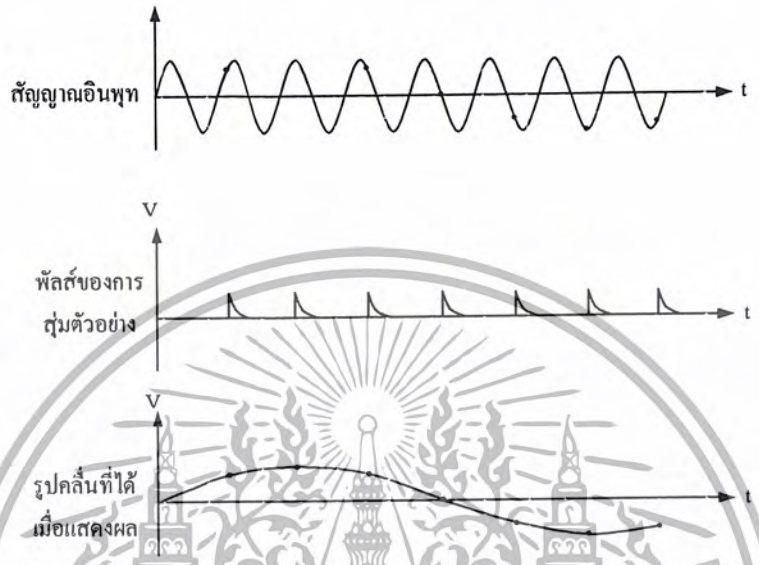
(ง) การสุ่มแบบเวลาเสมือนชนิดไม่เป็นลำดับ โดยใช้หลายจุดในการทำงานหนึ่งครั้ง

ในการสุ่มตัวอย่างชนิดลำดับจะเป็นดังรูปที่ 2.4 (ข) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างชนิดนี้ในการทำงานหนึ่งครั้งหรือหนึ่งไซเคิลจะต้องได้จุดบนรูปคลื่น 1 จุดแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ จนกระทั่งหน่วยความจำเต็ม เมื่อนำไปแสดงผลก็จะเป็นไปตามรูปที่ 2.5 ส่วนการสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือนชนิดมีเป็นลำดับนั้นจะเป็นดังรูปที่ 2.4 (ค) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบนี้จะใช้เมื่อมีการทำ ปรีทริกเกอร์ (pre-trigger) เพื่อดูรูปคลื่นที่อยู่หลังจุดทริก ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นลำดับจะไม่สามารถทำได้ ในการทำงานหนึ่งไซเคิลจะได้จุดบนรูปคลื่น 1 จุดเช่นกัน แต่จะเป็นจุดตรงส่วนใดของรูปคลื่นก็ได้ โดยจะทำไปเรื่อยๆ จนหน่วยความจำเต็ม

ในรูปที่ 2.4 (ง) จะเป็นการสุ่มตัวอย่างแบบไม่เป็นลำดับเช่นกัน แต่จะต่างกันตรงที่ในการทำงานหนึ่งไซเคิลนั้นจะได้จุดหลายจุดบนรูปคลื่น และในการทำงานครั้งต่อไปก็จะได้จุดหลายจุด แต่จะเป็นจุดที่ไม่ซ้ำจุดเดิม (จุดใดก็ได้) การสุ่มตัวอย่าง ในรูปนี้จะนำไปใช้ประโยชน์เมื่อมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์รูปคลื่น โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบนี้มาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์รูปคลื่นในส่วนที่เป็นการทริกในลักษณะต่างๆ กัน



รูปที่ 2.5 ผลที่ออกมาจากการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอินพุทแบบเป็นลำดับ

สำหรับดิจิตอลออสซิลโลสโคป ที่ระบุความสามารถในการวัดไว้ เช่น 100 MHz นั่นคือ ความสามารถในการวัดสัญญาณความถี่ 100 MHz แล้วดิจิตอลออสซิลโลสโคปจะแสดงผลได้ทันที 100 MHz เฉพาะสำหรับสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน แต่หากเป็นสัญญาณชั่วขณะเกิดขึ้นแล้วใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริง แล้วดิจิตอลออสซิลโลสโคปนี้มีจะสามารถวัดสัญญาณชั่วขณะได้เพียง 10 MHz เท่านั้น

เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราส่วน ระหว่างการทำงานกับสัญญาณปกติและการทำงานกับสัญญาณชั่วขณะของดิจิตอลออสซิลโลสโคป ก็จะได้เป็น 10:1 และสามารถเพิ่มเป็น 5:1 หรือ 2:5:1 ได้ หมายถึง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปจะต้องมีการใช้วิธีการสอดแทรกอย่างมากเกยที่เดียว สาเหตุที่เกิดกรณีดังกล่าวขึ้นนั้นมาจากการที่ความสามารถในการสุ่มตัวอย่างถูกกำหนดด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน แต่สัญญาณที่เข้ามาวัดจะเป็นการทำงานแสดงผลแบบอนาลอก ซึ่งขอบเขตของความถี่จะกว้างมาก นี่คือการนำข้อดีของอนาลอกมาใช้

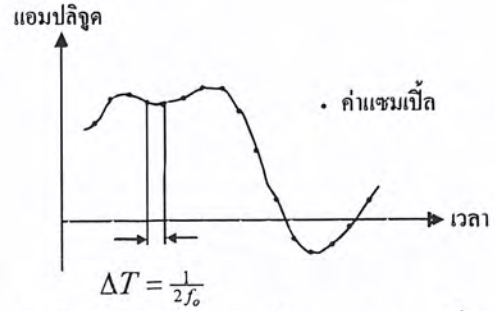
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หลักการสุ่มสัญญาณ

กระบวนการเบื้องต้น ที่จะแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอลนั้น จะอาศัยทฤษฎีการแซมปลิ้ง (Sampling Theorem) โดยมีแนวความคิดเบื้องต้นตามรูปที่ 2.6 ขบวนพัลส์ที่เอาต์พุทของมอดูเลเตอร์ (Modulator) จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของสัญญาณอินพุท สำหรับด้านรับนั้น เมื่อองค์ประกอบความถี่สูงของขบวนพัลส์ถูกกำจัดออกโดยวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) แล้ว จะได้รับสัญญาณเดิม กล่าวคือ ถ้าแซมปลิ้ง (Sampling) สัญญาณอินพุทด้วยระยะห่างที่เท่ากันแล้ว ก็สามารถจะทำให้เกิดสัญญาณเดิมได้อย่างสมบูรณ์ที่ด้านรับ ซึ่งตามทฤษฎีการแซมปลิ้งกล่าวว่า ถ้าข่าวสารในสัญญาณถูกจำกัดให้มีความถี่สูงสุดเป็น f_o แล้ว หากใช้ขบวนพัลส์ที่มีความที่เท่ากับ หรือ มากกว่า $2f_o$ ทำการแซมปลิ้งก็สามารถจะเก็บข่าวสารได้สมบูรณ์

รูปที่ 2.6 ผังการทำงานตามแนวความคิดของทฤษฎีการแซมปลิ้ง

ตัวอย่าง เช่น ถ้าลักษณะคลื่น $g(t)$ ตามรูปที่ 2.7 (ก) เป็นสัญญาณที่ถูกจำกัดแถบความถี่ให้มีเพียง f_o และถ้าแอมปลิจูด (Amplitude) ของคลื่นถูกกำหนดให้เป็นแบบดิสครีท (discreet) ที่ทุกๆ $\frac{1}{2}f_o$ วินาทีแล้วที่ด้านรับจะได้นับสัญญาณ g(t) อย่างแน่นอน สำหรับ "•" ในลักษณะคลื่นตามรูปที่ 2.7 (ก) นั้น ค่าแซมเปิ้ล (Sample) ระยะห่างของแต่ละจุดที่แซมปลิ้ง คือ $\frac{1}{2}f_o$ จะเรียกว่า "ไนควิสต์อินเทอวอล (Nyquist Interval)"



รูปที่ 2.7 จุดการแซมปลิ้ง และค่าแซมเปิ้ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าจะเขียนส่วนโค้งผ่านจุดแซมปลิ้งทั้งสองในระหว่างไนควิสต์อินเทอวอลได้หลายแบบก็ตาม แต่จริงๆ แล้วส่วนโค้งเหล่านี้จะมีองค์ประกอบความถี่ f_o เพียงส่วนโค้งเดียวเท่านั้น สำหรับส่วนโค้งอื่นๆ จะมีองค์ประกอบความถี่สูงกว่า f_o ทั้งสิ้น ตัวอย่าง เช่น การแซมปลิ้งคลื่นลักษณะซายน์(Sine) ความถี่ 1 kHz ถ้าใช้เวลาในการแซมปลิ้งทุกๆ $1/2000$ วินาที แล้วองค์ประกอบของความถี่ที่สูงกว่า 1 kHz จะประกอบขึ้นตามที่ได้กล่าวมา ซึ่งเป็นการอธิบายทฤษฎีการแซมปลิ้งอย่างกว้างๆ และในขณะเดียวกัน เพื่อทำให้เข้าใจทฤษฎีนี้มากยิ่งขึ้น จึงแสดงการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ไว้ดังต่อไปนี้

สมมติว่า $g(t)$ เป็นสัญญาณอินพุทซึ่งความถี่ถูกจำกัดไว้เป็น f_o มีสเปคตรัม (Spectrum) ความถี่เป็น $G(f)$ แล้วเมื่อใช้ฟูริเยร์อินเวอร์สทรานฟอร์ม (Fourier Inverse Transform) จะได้

$$g(t) = \int_{\alpha}^{-\alpha} G(t)e^{j2\pi ft}\,df \tag{2.11}$$

เนื่องจาก G(f) ถูกจำกัดแถบความถี่ให้มีค่าระหว่าง $|f| \le f_o$ ดังนั้นจึงเขียนสมการ(2.11) ใหม่ได้ดังนี้

$$g(t) = \int_{-f_o}^{f_o} G(f)e^{j2\pi ft}\,df \tag{2.12}$$

ดังนั้นค่าของ $g(t)$ ที่ทุกๆ $t = \frac{n}{2f_o}$ คือ

$$g(\frac{n}{2f_o}) = \int_{-f_o}^{f_o} G(f)e^{j2\pi f(\frac{n}{2f_o})}\,df \tag{2.13}$$

ตามที่ทราบกันดีว่าสามารถแสดง $G(f)$ ในรูปของอนุกรมฟูริเยร์ได้ดังนี้

$$G(f) = \sum_{n=-\alpha}^{\alpha} c_{-n}e^{-j2\pi f(\frac{n}{2f_o})} \tag{2.14}$$

ในที่นี้

$$c_n = \frac{1}{2f_o}\frac{f_o}{f_o}\int G(f)e^{j2\pi f(\frac{n}{2f_o})}\,df$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c_n = \frac{1}{2f_o} g(\frac{n}{2f_c}) \quad (2.15)$$

แทนค่าสมการ (2.15) ลงในสมการ (2.14) จะได้

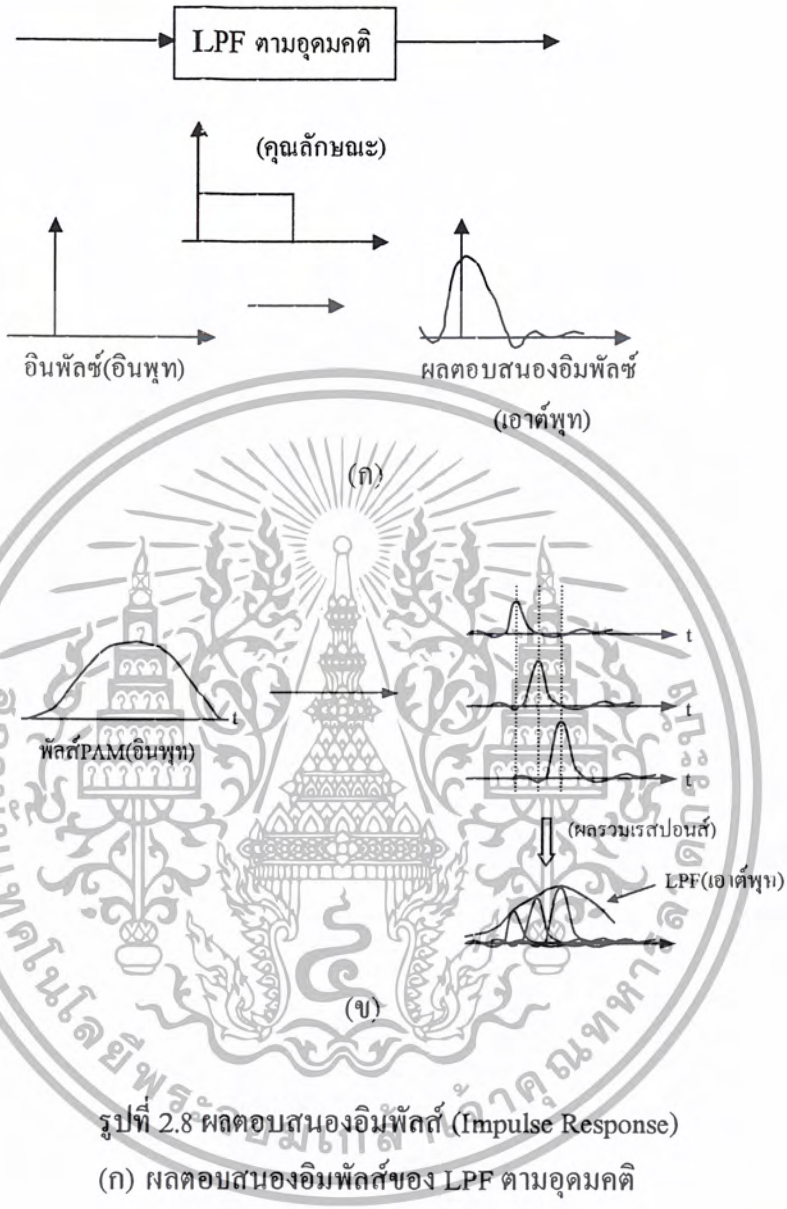
$$G(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{2f_o} g(\frac{n}{2f_o}) e^{-j\frac{2\pi nf}{2f_o}} \quad (2.16)$$

และแทนค่าสมการ (2.16) ลงในสมการ (2.11) แล้วคำนวณต่อไปจะได้

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} G(f) e^{j2\pi ft} df \\ &= \frac{1}{2f_o} \int_{-f_o}^{f_o} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(\frac{n}{2f_o}) e^{-j\frac{2\pi nf}{2f_o}} e^{j2\pi ft} df \\ &= \frac{1}{2f_o} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(\frac{n}{2f_o}) \int_{-f_o}^{f_o} e^{-j2\pi f}(t - \frac{n}{2f_o}) df \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} g[\frac{n}{2f_o}] \frac{\sin \pi(2f_o t - n)}{\pi(2f_o t - n)} \end{aligned} \quad (2.17)$$

จากสมการ (2.17) เทอม $g[\frac{n}{2f_o}]$ แสดงค่าแอมปลิจูดของสัญญาณเดิม g(t) ที่แซมปลิ้งทุกๆ $1/2f_o$ วินาที กล่าวคือ เป็นขบวนพัลส์พีเอเอ็ม(Pulse Amplitude Modulation : PAM) ที่มีระยะห่างกันทุกๆ $1/2\ f_o$ วินาที สำหรับเทอม $\frac{\sin \pi(2f_o t - n)}{\pi(2f_o t - n)}$ แสดงคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอุดมคติ(Idea Low Pass Filter : ILPF) ซึ่งมีความถี่คัทออฟ(Cut off) f_o ฟังก์ชันที่อยู่ในรูปของ $\sin \frac{X}{X}$ นี้ถูกเรียกว่าแซมปลิ้งฟังก์ชัน(Sampling Function) เมื่อกล่าวโดยสรุปแล้วสมการ (2.17) หมายความว่า ถ้าแซมปลิ้งสัญญาณนาลอก $g(t)$ ด้วยอัตรา 2 เท่าของความถี่สูงสุดจะสามารถสร้างสัญญาณเดิมใหม่ได้อย่างสมบูรณ์ หลังจากแซมปลิ้งพัลส์ได้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านไปแล้ว แสดงไว้ตามรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response)
(ก) ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ LPF ตามอุดมคติ
(ข) ผลตอบสนองของขบวนพัลส์พีเอเอ็ม

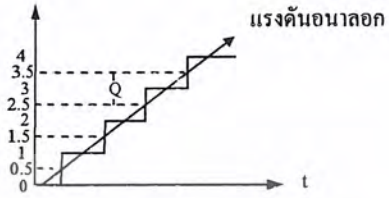
2.4 ขั้นตอนหลังการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อเราได้ทำการสุ่มตัวอย่างไปแล้ว ค่าที่ได้จะไม่ทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลในทันที ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่มาจากการสุ่มตัวอย่างนั้นเป็นค่าที่มีระดับแตกต่างกันอย่างมากมาย ในทางปฏิบัติเราจะไม่สามารถแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลได้มากขนาดนั้น จึงจำเป็นต้องแบ่งค่าที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มๆ เราเรียกว่า "ควอนไตซิ่ง (quantizing)" ซึ่งการควอนไตซิ่งนี้จะเป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

นำค่ามาจากการสุ่มตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงกันมากอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ต่อจากนั้นจะนำค่าตัวเลขมาใช้แทนกลุ่มสัญญาณดังกล่าว



รูปที่ 2.9 การควอนไตซิ่ง โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเปลี่ยนแรงดันอนาลอกเป็นเลขฐานสองที่ระดับต่างๆ

การแบ่งกลุ่มสัญญาณจะมีลักษณะเป็นขั้นบันได ตามรูปที่ 2.9 โดยให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0-4 โวลต์ และจัดเป็นกลุ่มได้ 4 กลุ่ม คือ ช่วงระดับ 0-1, 1-2, 2-3 และ 3-4 โวลต์ โดยให้สัญญาณที่อยู่ในระดับ 0-1 มีค่า 0.5 แทนกลุ่มนี้ และ 1.5 แทนกลุ่ม 1-2, ระดับ 2.5 แทนกลุ่ม 2-3 และระดับ 3.5 แทนกลุ่ม 3-4 ค่า 0.5, 1.5, 2.5 และ 3.5 จะนำไปใช้ใน ADC อีกครั้งเพื่อทำเป็นสัญญาณดิจิตอล

เนื่องจากวิธีการควอนไตซิ่งดังกล่าวมีโอกาสที่จะเกิดค่าคลาดเคลื่อนได้ อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน ที่เข้ามาในระบบทำให้ค่าที่ได้ในการจัดกลุ่ม ผิดไปจากความเป็นจริงได้ และเนื่องจากการควอนไตซิ่งนั้นประกอบจากวงจรดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงเกิดความไม่แน่นอนของผลที่ได้อยู่บ้าง โดยความไม่แน่นอนเหล่านี้จะแสดงค่าบวก, ลบ ของบิตสุดท้าย

เมื่อผ่านADC แล้ว นอกจากบิตสุดท้ายจะเป็นค่าของความไม่แน่นอนแล้ว บิตอื่นๆ ก็ยังเป็นค่าผิดพลาด ที่เกิดจากสัญญาณรบกวนได้ด้วยเหมือนกัน แต่สัญญาณดิจิตอลที่ได้ส่วนใหญ่ก็ยังคงมีความเที่ยงตรงอยู่มาก

2.5 การแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter : ADC)

ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างระบบอนาลอก และระบบดิจิตอลนั้นเป็นไปไม่ได้เลยที่จะให้สัญญาณอนาลอกเข้ามาทำงานในระบบดิจิตอล ดังนั้น จึงต้องมีการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ส่วนที่ทำหน้าที่ดังกล่าวนี้เราเรียกว่า "วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล" วิธีแปลง ADC นั้นมีหลายวิธีที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันอาจแยกได้ 4 วิธีดังนี้

1. แบบอินทิเกรท (Integrating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55732

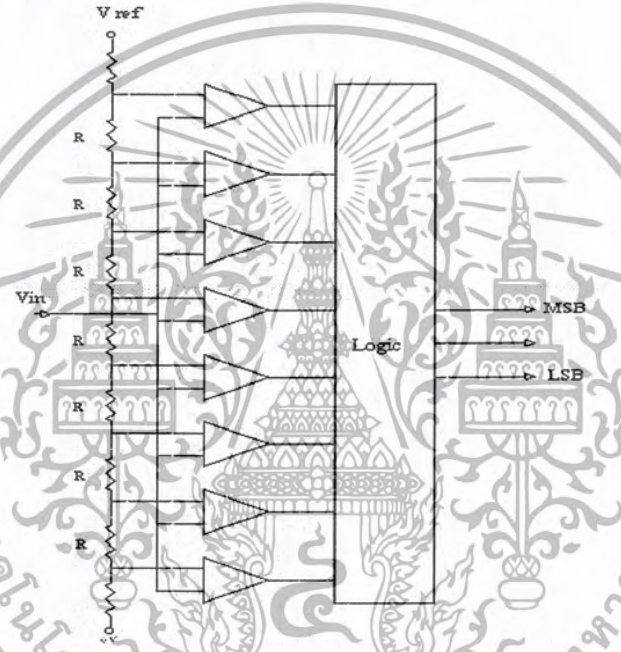
2. แบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนาน หรือแบบ "แฟลช" (Parallel Comparator Simultaneous "Flash")

3. แบบไบนารี่แรมพ์ (Binary Ramp)

4. แบบประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง (Successive Approximation)

แต่ในที่นี้เราจะอธิบายในแบบที่ใช้ในการทำออสซิลโลสโคปเท่านั้น

2.5.1 ADC แบบ Flash Converter



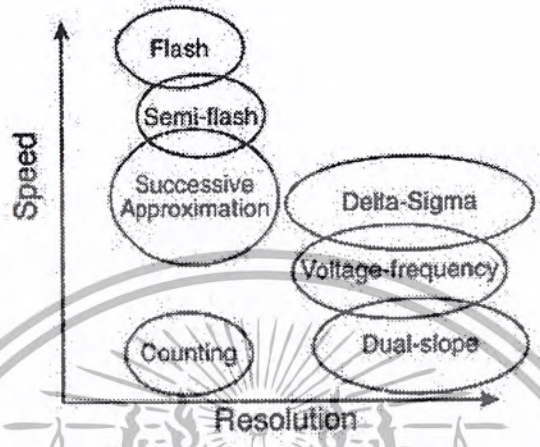
รูปที่ 2.10 แฟลชคอนเวอร์เตอร์

หลักการของ Flash Converter คือ การใช้การแบ่งแรงดันเป็นแรงดันหลายๆ ค่าแล้วเปรียบเทียบกับ V_{in} เป็นคู่ๆ พร้อมกัน แล้วกระทำการทาง logic จากรูป มีแรงดันเปรียบเทียบ 8 bit ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มขึ้น ความต่างศักย์ที่ได้นั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} แล้วมากกว่าก็จะปล่อยลอจิกออกมา ถ้ามากกว่าก็จะให้ลอจิก "1" ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากันก็จะให้ลอจิก "0" วิธี Flash Converter นี้จะเร็วที่สุด แต่ใช้อุปกรณ์ทาง Hardware มากกว่าแบบอื่นๆ

การแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอล มีประโยชน์มากในการควบคุมอุปกรณ์สวิตชิ่ง ซึ่งมีลักษณะการแปลงสัญญาณได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะมีอัลกอริทึม ความรวดเร็วในการทำงาน และการใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างกันด้วย ทำให้ขนาด และราคาต่างกัน ขึ้นกับความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผู้ใช้ที่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ และงบประมาณที่มีอยู่ ลำดับของความเร็ว และความละเอียดของอัลกอริทึมต่างๆ เป็นดังรูป



รูปที่ 2.11 ลำดับของความเร็ว และความละเอียดของอัลกอริทึมต่างๆ

2.6 แบนวิดธ์และอัตราการสุ่มตัวอย่าง(Bandwidth and Sample rate)

แบนวิดธ์เป็นส่วนสำคัญที่ต้องระบุสำหรับดิจิไตเซอร์เช่นเดียวกับสโคปแบบยนาลอก การขยายข้อมูลที่ป้อนเข้าของดิจิไตเซอร์ และการกรองเป็นตัวตัดสิน กำหนดแบนวิดธ์ขอบสัญญาณพัลส์ที่เร็วและจุดยอดของรูปคลื่นที่ฉับพลัน ประกอบด้วยส่วนประกอบสัญญาณความถี่สูงเพื่อที่จะบันทึกยอดและขอบของสัญญาณได้ถูกต้องแม่นยำ ดิจิไตเซอร์ต้องมีแบนวิดธ์เพียงพอเพื่อจะผ่านสัญญาณความถี่สูงที่มีการลดทอนต่ำ ต้องมีแบนวิดธ์เท่าใด เพื่อแสดงการขยายจุดยอดสัญญาณอย่างถูกต้องแม่นยำ แบนวิดธ์ของดิจิไตเซอร์ควรจะมีมากกว่าของแบนวิดธ์ของสัญญาณ ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาแบนวิดธ์ของสัญญาณ โดยการประเมินค่าเวลาที่เพิ่มขึ้นเร็วกว่าสมมติผลตอบ สนองต่อระบบมีโพลเดียวแบนวิดธ์ของสัญญาณจะเป็นดังนี้

2.6.1 แบนวิดธ์ของสัญญาณ 0.35/(10%-90% rise time)

แบนวิดธ์ของดิจิไตเซอร์แสดงความถี่ซึ่งถูกลดทอนลง 3 เดซิเบล การลดทอนนี้เกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป เริ่มจากความถี่ต่ำกว่า ดังนั้นต้องเลือกดิจิไตเซอร์ซึ่งมีแบนวิดธ์สูงกว่าของสัญญาณผลกระทบต่ออัตราการสุ่มตัวอย่างของแบนวิดธ์ที่ใช้

อัตราการสุ่มตัวอย่างของดิจิไตเซอร์ สามารถลดแบนวิดธ์ที่ใช้ เพื่อให้แน่ใจว่าการสุ่มตัวอย่างที่ใช้เพียงพอ เรารับมา 4 ตัวอย่างต่อรอบกับการแทรก $\sin\frac{x}{x}$ หรือ 10 ตัวอย่างต่อรอบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแทรกเส้นตรงถ้าเป็นสัญญาณทรานเชี้ยนพิจารณารายละเอียดอัตราการสุ่มตัวอย่าง ซิงเกิลชอท (Single Shot) ถ้าเกิดซ้ำๆ หลายครั้งสามารถใช้อัตราการสุ่มที่เท่าๆ กันอย่างรวดเร็ว

ดิจิไตเซอร์ในอุดมคติที่ไม่มีสัญญาณรบกวน และให้สัญญาณจำกัด หลักการไนควิสต์ (Nyquist Theorem) ต้องได้อย่างน้อย 2 ตัวอย่างต่อแต่ละลูกคลื่น อาจกล่าวอีกอย่างได้ว่าความถี่ข้อมูลป้อนเข้าที่สูงที่สุดห้ามเกินครึ่งหนึ่งของอัตราการสุ่มตัวอย่าง ขั้นตอนการสอดแทรก $\sin\frac{X}{X}$ สามารถจำลองสัญญาณข้อมูลป้อนเข้าในดิจิไตเซอร์อย่างแม่นยำถูกต้องเหมาะสม ขั้นตอน $\sin\frac{X}{X}$ เหมาะกับส่วนโค้ง ระหว่างจุดตัวอย่างเพื่อแสดงรูปคลื่นที่เรียบ มีข้อเสียการสอดแทรก $\sin\frac{X}{X}$ สามารถขยายสัญญาณรบกวน เนื่องจาก สัญญาณรบกวนมีอยู่ในสัญญาณจริงและในดิจิไจเซอร์ ดังนั้น $\sin\frac{X}{X}$ ควรจะใช้อย่างระมัดระวังโดยเฉพาะการสุ่มตัวอย่างเพียง 2 ตัวอย่างต่อลูกคลื่น

ขั้นตอน $\sin\frac{X}{X}$ จะสร้างโอเวอร์ชู้ทและพรีชู้ทบนขอบที่ไม่มีเป็นที่ต้องการด้วย ดังนั้นจึงต้องการตัวอย่างข้อมูลอย่างน้อย 2 อันบนขอบของสัญญาณ ผู้ใช้สามารถตรวจสอบจุดข้อมูลดิบที่ได้มาในออสซิลโลสโคปโดยใช้แสดง $\sin\frac{X}{X}$

สำหรับการแทนรูปคลื่นที่แม่นยำกว่า ดิจิไตเซอร์ควรบันทึกอย่างน้อย 4 จุดตัวอย่างต่อลูกคลื่นของส่วนประกอบของคลื่นซายน์ที่มีความถี่สูงสุด จุดตัวอย่างที่เพิ่มเติม เพิ่มอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน สำหรับการสอดแทรก $\sin\frac{X}{X}$

การสอดแทรกเส้นตรง สามารถแสดงรูปคลื่นที่ถูกต้องแม่นยำ โดยปราศจากการขยายสัญญาณรบกวนเพื่อผลที่ดีจะต้องการอย่างน้อย 10 ตัวอย่างต่อลูกคลื่น

2.7 พอร์ทอนุกรม RS-232

การส่งข้อมูลแบบที่ละไบต์ หรือก็คือ การส่งแบบขนานนั่นเอง วิธีนี้เป็นวิธีที่เร็ว แต่ถูกรบกวนได้ง่ายจากสัญญาณรบกวนต่างๆ และมีราคาแพงเนื่องจากใช้ปริมาณสายส่งมาก จึงเป็นเหตุให้วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมในการส่งข้อมูลในระยะทางไกลๆ

การส่งข้อมูลแบบทีละบิต หรือการส่งแบบอนุกรม มีความเร็วในการรับส่งช้ากว่าการส่งแบบขนาน แต่มีข้อดีคือ มีผลกระทบจากสัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อย และประหยัดกว่าการส่งแบบขนานมาก เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลเป็นระยะเวลาทางไกลๆ เนื่องจากใช้สายส่งเพียงสองสามเส้น

2.7.1 ลักษณะทางฮาร์ดแวร์

อุปกรณ์ที่ใช้การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม สามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ DCE (Data Communications Equipment) อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ โมเด็ม (Modem) พล็อตเตอร์ (Plotter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น และ DTE (Data Terminal Equipment) ซึ่งก็คือคอมพิวเตอร์นั่นเอง ข้อกำหนดทางไฟฟ้าของพอร์ทอนุกรมกำหนดเป็นมาตรฐานโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือ RS-232 ซึ่งประกอบไปด้วยสิ่งต่างๆ เหล่านี้

1. ช่วงไม่มีข้อมูล (space) หรือลอจิก "0" ต้องมีแรงดันอยู่ในช่วง -3 ถึง -25 โวลต์
2. ช่วงข้อมูล (mark) หรือลอจิก "1" ต้องมีแรงดันอยู่ช่วง +3 ถึง +25 โวลต์
3. แรงดันในช่วง -3 ถึง +3 โวลต์ ไม่มีการนิยามไว้
4. แรงดันในขณะเปิดวงจรต้องมีค่าไม่เกิน 25 โวลต์
5. กระแสขณะช็อตวงจรมีค่าไม่เกิน 500 มิลลิแอมป์

มาตรฐานของ RS-232 นั้นนอกจากจะมีคุณสมบัติดังที่กล่าวมาแล้วยังจะต้องประกอบด้วยค่าความจุของสาย อัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate) สูงสุด ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ดูได้จากมาตรฐานของ EIA RS-232-C ตามมาตรฐานของ RS-232-C กำหนดอัตราการส่งข้อมูล ไว้ที่ 20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งค่อนข้างจะช้าเกินไปสำหรับมาตรฐานในปัจจุบันในช่วงหลังจึงได้มีการกำหนดมาตรฐาน RS-232D ขึ้นและยังคงใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน

พอร์ทอนุกรมนี้จะมีอยู่ 2 ขนาน คือ คอนเน็คเตอร์แบบ D-type ตัวผู้ขนาด 25 Pin รูปที่ 2.11 (ก) และคอนเน็คเตอร์แบบ D-type ตัวผู้ขนาด 9 pin ในรูปที่ 2.11 (ข) ซึ่งคอนเน็คเตอร์ทั้ง 2 แบบนี้จะติดอยู่ที่ด้านหลังของเครื่องคอมพิวเตอร์

คุณสมบัติเบื้องต้นของ RS-232

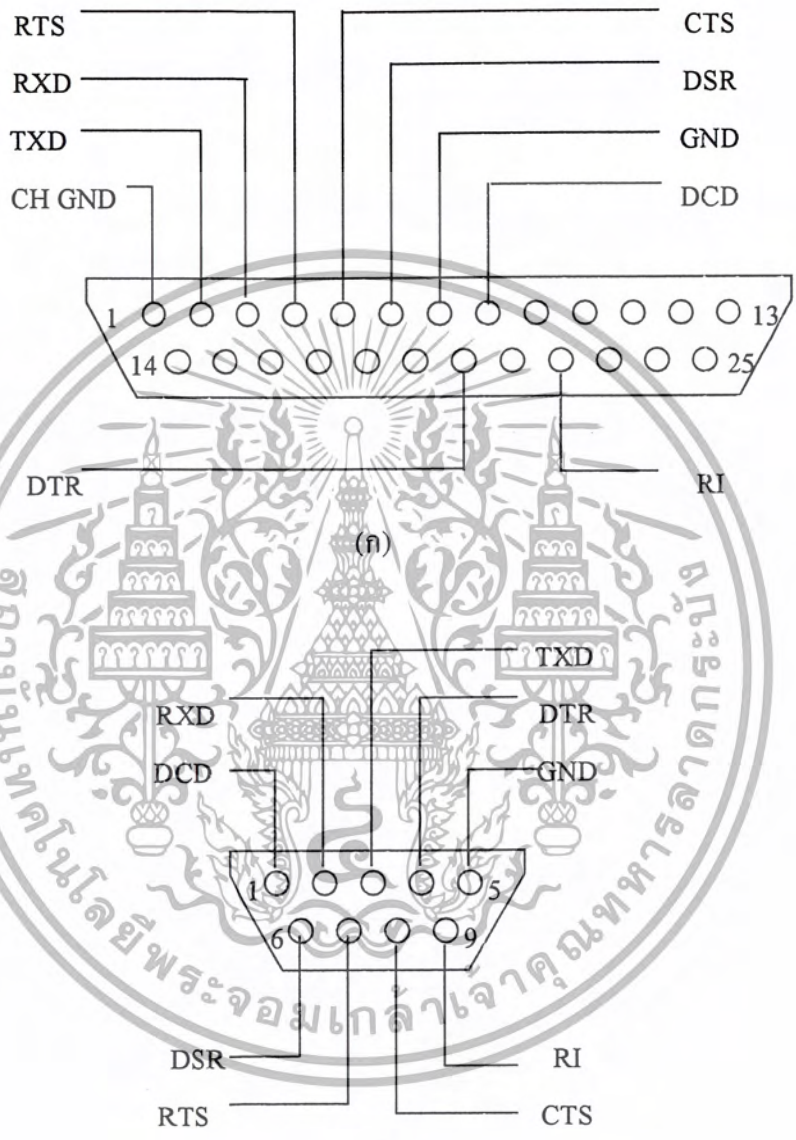
- รับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทางคอนเน็คเตอร์ ขา 2 และ 3
- การแฮนด์เชคทางซอฟท์แวร์ เป็นการผนวกอักษรควบคุมการรับส่งข้อมูลเข้าไปกับชุดข้อมูลที่ต้องการส่ง
- การแฮรด์เชคทางฮาร์ดแวร์ เป็นการผ่านสัญญาณควบคุม ไปตามสายเคเบิลที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง โดยจะต่อขาเอาต์พุทเข้ากับขาอินพุท
- แม้ว่าชื่อสัญญาณ และหมายเลขประจำขาของคอนเน็คเตอร์ สำหรับการอินเตอร์เฟซของ DTE หรือ DCE เหมือนกัน แต่จะทำหน้าที่ตรงข้ามกัน โดยเมื่อมีด้านหนึ่งเป็นอินพุท อีกด้านที่ต่อกับขานั้นก็จะเป็นเอาต์พุท

การอินเตอร์เฟซ เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูล กับอุปกรณ์ภายนอกที่มีความแน่นอน ระบบการอินเตอร์เฟซแบบอนุกรมในไมโครคอมพิวเตอร์ทั่วไปคือ ระบบ EIA RS-232 ในยุคแรกๆ การอินเตอร์เฟซ RS-232 ถูกออกแบบสำหรับเชื่อมต่อเทอร์มินัลกับโมเด็ม

การแฮนด์เชค เป็นกระบวนการที่อุปกรณ์หนึ่งใช้ตรวจสอบสถานะของอีกอุปกรณ์หนึ่งที่ต่อเข้าด้วยกัน และตอบสนองสถานะนั้นอย่างเหมาะสมและถูกจังหวะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่การทำงานของแต่ละขา คำจำกัดความของแต่ละขาบนคอนเน็คเตอร์ DB-25 นิยามตามหน้าที่ของด้าน DTE เป็นหลัก



รูปที่ 2.12 คอนเน็คเตอร์ของ RS-232

(ก) คอนเน็คเตอร์แบบ DB-25

(ข) คอนเน็คเตอร์แบบ DB-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 1 PROTECTIVE GROUND เรารู้จักกันทั่วไป ในชื่อกราวด์ของอุปกรณ์(chassis ground) ถ้าปลั๊กไฟของอุปกรณ์ด้านหนึ่งไม่มีขากราวด์ (มีเพียง 2 ขา) ขา 1 ของด้านอุปกรณ์นั้น จะต้องต่อไปหาขา 1 ของอีกอุปกรณ์หนึ่งที่มีการต่อสายกราวด์เพื่อป้องกันอันตรายไฟฟ้าดูด หน้าที่ของขานี้ มักจะมีผู้เข้าใจสับสนกับหน้าที่ของขา 7(COMMON RETURN) ตามปกติในระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะมีสายไฟสายหนึ่งสำหรับส่งกระแสกลับลงดินหรือกราวด์ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้น เส้นทางเดินของกระแสในสายกราวด์กลับไปยังพื้นดินเป็นระยะทางไกล ทำให้มีความต้านทานไฟฟ้าเดินขึ้นระหว่างอุปกรณ์กับพื้นดิน และหากเราต่ออุปกรณ์ 2 ตัว ซึ่งต่อกับระบบไฟฟ้าคนละระบบกันเข้าด้วยกัน (เช่น ในอาคารขนาดใหญ่) กราวด์ของอุปกรณ์ทั้งคู่อาจมีทางเดินไฟฟ้าที่ต่างกัน ทำ ให้เกิดความแตกต่างของระดับแรงดันที่กราวด์ของอุปกรณ์ได้ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้การอินเตอร์เฟซทำงานผิดพลาด แต่เราสามารถแก้ไขได้โดยการต่อกราวด์ของทั้งสองอุปกรณ์เข้าด้วยกันโดยตรงผ่านทางขา 1 และแต่ละอุปกรณ์ อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวข้างต้นมักทำให้เกิดปัญหามากกว่า นั่นคือมันอาจทำให้เกิดกระแสไหลวนในกราวด์(round loop) ผ่านทางสายเคเบิลที่เชื่อมระหว่างอุปกรณ์ ปัญหากระแสไหลวนในกราวด์ มักทำให้การอินเตอร์เฟซมีการทำงานที่ไม่คงเส้นคงวา มีอาการแปลกๆ ไม่แน่นอน และอาการจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันหรือการตั้งค่าสวิตช์บนอุปกรณ์ ถ้าอุปกรณ์มีอาการที่ขึ้นกับลักษณะดังกล่าว สิ่งที่คุณควรตรวจเป็นอันดับแรกคือ ดูว่าสายเคเบิลที่ใช้มีสายสำหรับขา 1 อยู่หรือไม่ และคุณอาจแก้ปัญหาแปลกๆ นี้ได้ด้วยการตัดสายของขา 1 ออกไป โดยปกติขา 1 จะมีหรือไม่ก็ได้

ขา 2 TRANSMITTED DATA ส่งข้อมูลจาก DATA ไป DCE

ขา 3 RECEIVED DATA ส่งข้อมูลจาก DCE ไป DTE

ขา 4 REQUEST TO SEND เอาต์พุทเอนกประสงค์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

ขา 5 CLEAR TO SEND อินพุทอเนกประสงค์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย

ขา 6 DATA SET READY อินพุทอเนกประสงค์ที่ใช้แจ้ง DTE อุปกรณ์ DCE มีไฟเลี้ยงและพร้อมที่จะทำงาน

ขา 7 COMMON จุดอ้างอิงแรงดันสำหรับทุกสัญญาณในกระบวนการอินเตอร์เฟซ

ขา 8 DATA CARRIER DETECT สำหรับ DTE สัญญาณ DCD จะถูกนำไปใช้ในการยกเลิกการรับข้อมูล

ขา 20 DATA TERMINAL READY เอาต์พุทเอนกประสงค์ โดยทั่วไปใช้เป็นสัญญาณบอก DCE ว่าอุปกรณ์ DTE ที่มันอินเตอร์เฟซด้วยมีไฟเลี้ยงและพร้อมที่จะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจาก 9 ขา ที่กล่าวถึงข้างต้น ยังมีขาอื่นๆอีกที่ใช้ในการอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์ แต่สัญญาณสำคัญต่างๆ ที่การนำไปใช้เป็นประจำก็มีมักมาจาก 9 ขานี้เท่านั้น เรามักเรียกกลุ่มของคอนเน็คเตอร์ขา 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 20 ว่า "กลุ่ม BIG EIGHT" ส่วนขาสัญญาณอื่นๆ มีไว้สำหรับเป็นทางเลือกที่ผู้ผลิตแต่ละราย จะนำไปประยุกต์ใช้ได้ตาความต้องการ ส่วนคอนเน็คเตอร์ DB-9 จะทำงานได้เหมือน DB- 25 ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงขาของคอนเน็คเตอร์ แบบ DB-9

ขา	ฟังก์ชัน
1	Received Line Signal Detect
2	Received Data
3	Transmit Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Ground
6	Data Set Ready
7	Request To Send
8	Clear To Send
9	Ring Indicator

ข้อดีของการสื่อสารผ่านพอร์ทอนุกรมมีหลายข้อดังเช่น สามารถใช้สายได้ยาวกว่าการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ทแบบขนาน โดยที่พอร์ตอนุกรมจะใช้ระดับแรงดันในช่วง -3 ถึง -25 โวลต์ แทนลอจิก "0" และใช้แรงดันในช่วง +3 ถึง +25 โวลต์ แทนลอจิก "1" ดังนั้นจะเห็นว่าช่วงการสวิง (swing) ของแรงดันมีค่าประมาณ 50 โวลต์ ส่วนพอร์ทขนานมีช่วงสวิง 5 โวลต์ เท่านั้นซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจน ว่าหากมีการสูญเสียในสายแล้วการส่งข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรมจะสามารถส่งข้อมูลไปได้ไกลกว่าอย่างแน่นอน อีกข้อก็คือ ใช้จำนวนสายสัญญาณน้อยกว่าการส่งข้อมูลแบบขนาน ในกรณีที่อุปกรณ์อยู่ห่างจากเครื่องคอมพิวเตอร์มากๆ ย่อมจะสะดวกกว่าหากจะเดินสายเพียง 3 เส้น ซึ่งเป็นลักษณะของนัลโมเด็ม (Null Modem) เมื่อเทียบกับการเดินสายจำนวน 19 หรือ 25 เส้น ในการใช้พอร์ทขนาน

ข้อเสียจะมีค่าประจุสะสมอยู่เนื่องจากการที่สายรวมกันหลายๆ เส้น สายส่วนใหญ่จะมีตัวเก็บประจุสเตย์ (Stay Capacitance) ประมาณ 40 ถึง 50 pF ต่อ 1 ฟุต ซึ่งที่จริงแล้วเรายอมให้มีค่าตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บประจุสเตย์ได้ต้องไม่มากกว่า 2,500 pF ดังนั้นจึงต่อสายได้ยาวสุด 50 ฟุต หากสายยาวกว่านี้ค่าประจุสเตย์จะมากตามไปด้วย จะมีผลให้ช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณจะมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเป็นเช่นนี้ฝ่ายรับจะตีความสัญญาณผิดไปจากความเป็นจริง มาร์กบิต(Mark bit) จะยาวกว่าสเปซบิต (Space bit) หรือ สเปซบิตยาวกว่ามาร์กบิตขึ้นอยู่กับวงจร การตรวจสอบการผิดเพี้ยนแบบนี้เรียกว่า "Bias Distortion"

2.7.2 องค์ประกอบของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมที่นิยมใช้กับคอมพิวเตอร์นั้นเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบอซิงโครนัส นั่นคือ ต้องใช้สายสัญญาณเส้นเดียวทำหน้าที่ทั้งส่งส่วนที่เป็นข้อมูลและส่วนที่ใช้ควบคุมการส่งข้อมูล ดังนั้นข้อมูลที่อ่านได้แต่ละบิตจากการส่งแบบอนุกรม จึงต้องถูกแยกแยะว่าใช้สำหรับวัตถุประสงค์ใดโดยเราสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน

1. Start Bit ขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูล (Data Character) ขนาด 7 หรือ 8 บิต
3. Parity Bit ขนาด 1 บิต
4. Stop Bit ขนาด 1 หรือ 2 บิต

แต่ละตัวอักษรที่ถูกส่งออกไปเป็นกลุ่มจะประกอบไปด้วยบิตเริ่มต้น บิตข้อมูล บิตพาริตี้ (จะมีหรือไม่มีก็ได้) และบิตจบ โดยเราพอจะสรุปหน้าที่ของแต่ละส่วนได้ดังนี้

Start Bit หรือบิตเริ่มต้น จะใส่ที่จุดเริ่มต้นเสมอ เพื่อเตือนอุปกรณ์ฝ่ายรับว่าข้อมูลกำลังจะมาถึง

Data Character หรือบิตข้อมูล การส่งบิตข้อมูลจะส่งเป็นกลุ่มๆ โดยทั่วไปจะส่งเป็น 7 หรือ 8 บิต ซึ่งเพียงพอสำหรับการส่ง Ascii Word

Parity หรือบิตพาริตี้ ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่ง เราจะใส่บิตพาริตี้เข้าไป แต่ทั้งตัวรับและตัวส่งจะต้องรู้กันว่าใช้พาริตี้แบบไหนในการส่งข้อมูลซึ่งหลักการในการกำหนดบิตพาริตี้มีหลายแบบดังนี้

พาริตี้คู่(Even Parity) ค่าของบิตพาริตี้นี้เมื่อรวมกับทุกๆ บิตของข้อมูลแล้ว จะต้องมีจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 เป็นเลขคู่ ตัวอย่างเช่น ข้อมูล 1000101 มีเลข 1 ทั้งหมด 3 ตัว ดังนั้นบิตพาริตี้จะเป็นศูนย์

พาริตี้คี่ (Odd Parity) ค่าของบิตพาริตี้นี้เมื่อรวมกับทุกๆ บิตของข้อมูลแล้วจะต้องมีจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 เป็นเลขคี่ ตัวอย่างเช่น ข้อมูล 1000101 มีเลข 1 ทั้งหมด 3 ตัวดังนั้นบิตพาริตี้จะเป็นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีพาริตี้ (None) ถ้าตั้งบิตพาริตี้เป็น None ทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบบิตพาริตี้

Stop Bit หรือบิตจบ เป็นบิตที่ส่งมาปิดท้ายข้อมูล

2.8 Visual Basic (VB)

ในปัจจุบันระบบปฏิบัติการ Windows ได้เข้ามาแทนที่ระบบปฏิบัติการในลักษณะเดิม ซึ่งส่วนใหญ่ที่นิยมคือ MS-DOS ซึ่งเป็นลักษณะของ Command Line แต่ใน Windows จะมีรูปแบบของจอภาพที่ใช้ติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และผู้ใช้เป็นแบบรูปภาพต่างๆ เรียกว่า GUI (Graphic User Interface)

ภาษา VB เป็นภาษาสูงอีกตัวหนึ่ง จัดอยู่ในภาษาระดับที่ 4 เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ทาง Microsoft ทำขึ้นโดยพัฒนามาจากภาษา Basic เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานต่างๆ ได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว มี Interface ที่สวยงาม มีลักษณะการทำงานแบบ Visualize เป็นภาษาที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ของบริษัท Microsoft เท่านั้นในช่วงก่อน แต่ทว่าในปัจจุบันได้มีผู้นำมาพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการ Linux เนื่องจากคุณสมบัติข้อดีดังที่ได้กล่าวไปแล้วทำให้มีผู้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในขณะนี้ ที่ได้กล่าวไว้ว่า VB พัฒนามาจาภาษา Basic นั้น จะขอกล่าวความเป็นมาของภาษา basic อย่างคร่าวๆ ดังนี้

ภาษา basic ได้รับการสร้างขึ้นในปี 1963 โดย Hohn Keneny และ Thomas Kurtz ที่วิทยาลัย Dartmouth พวกเขามีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาเพื่อใช้ในการสอนโปรแกรม (Programming Concept) โดยเน้นให้รูปแบบของภาษานั้นง่ายต่อการเข้าใจและการใช้งาน รวมทั้งเป็นการทำงานแบบ Interpreter (ตัวแปลภาษาที่ละบรรทัด) ซึ่งต่างกับในสมัยนั้นที่ส่วนใหญ่จะอาศัย JCL (Job Control Language) ในการทำการ Compile และ Link ทำให้ในช่วงนั้นได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล PC (Personal Computer) ในปี 1970 Microsoft ได้เริ่มผลิตตัวแปลภาษา Basic ใน ROM ซึ่งเรียกว่า ROM-Based BASIC ขึ้น ต่อมาได้พัฒนาเป็น GW-BASIC ซึ่งเป็นตัวแปลภาษาที่ใช้กับ MS-DOS และในปี 1982 ก็ได้รับการพัฒนาเป็น Microsoft QuickBasic โดยการเพิ่มความสามารถในการ Complier ให้เป็น Executed Program รวมทั้งมีความสามารถเป็น Structured Programming มากขึ้นโดยการตัด Line Number ทิ้งไปเพื่อลบข้อกล่าวหาที่ว่าเป็นภาษาที่มีลักษณะ Spaghetti Code (Logical Flow ของภาษาที่ขาดโครงสร้าง) มาใช้รูปแบบของ Sub Program และ User Defined รวมทั้งการใช้ Structured Data Type ต่อมาทาง Microsoft ก็พัฒนาจนกลายเป็น Visual Basic

Visual Basic มีข้อดีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเขียนโปรแกรมนั้นสามารถทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว
2. ในโปรแกรมมี Tool และ Components ต่างๆ ให้ไว้สำเร็จรูปแล้วไม่ต้องยุ่งยาก และสำบากในการเขียนโปรแกรมเอง
3. มีความเข้ากันได้กับ Active X/OLE ต่างๆ บน Windows ทำให้เป็นการง่ายยิ่งขึ้นในการเรียกใช้ความสามารถอื่นๆ ของโปรแกรมอื่นบน Windows
4. Application ที่ได้รับการพัฒนาออกมามักจะมี Interface ที่สวยงาม และผู้ใช้โปรแกรม (User) ก็ใช้งานได้ง่าย

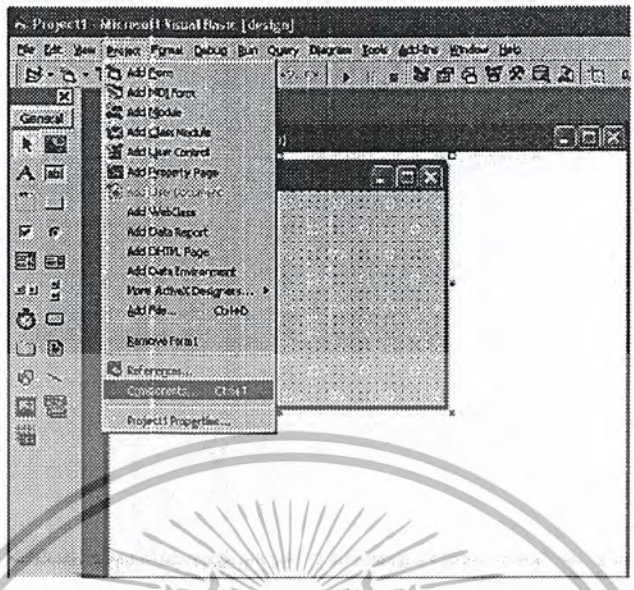
Visual Basic มีข้อเสียคือ

1. Programmer ไม่ได้เขียนโปแกรมติดต่อกับ Hardware โดยตรง แต่จะติดต่อผ่านทางฟังก์ชันหรือ Components สำเร็จรูปที่มีให้อยู่แล้วในโปรแกรม
2. Programmer ขาดทักษะ ความรู้ความเข้าใจในการทำงานทาง Hardware (เนื่องจากผลของข้อที่ 1)
3. ขณะที่โปรแกรมกำลังทำงานอยู่จะไม่ทราบได้เลยว่าโปรแกรมมีการสั่งงานอะไรบ้าง เนื่องจากมีระดับชั้นของ Components สำเร็จรูปกลั้นอยู่ (ลักษณะคล้ายๆ การทำงานในแต่ละ Layer ใน OSI ที่แต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องรู้ถึงการทำงานในชั้นอื่นๆ)

2.8.1 การเขียนโปแกรมติดต่อและควบคุม Serial Port กับ Visual Basic

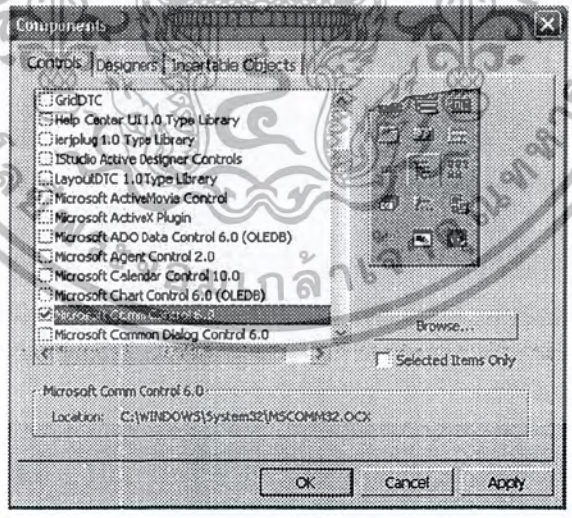
คอนโทรลที่สำคัญในการทำให้ Visual Basic สามารถสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมได้นั้นก็คือคอนโทรล MSComm ซึ่งไม่ใช่คอนโทรลมาตรฐานดังนั้นถ้าเราต้องการใช้งาน MSComm เราจะต้องทำการเพิ่มคอนโทรลนี้เข้าไปใน ToolBox ซึ่งสามารถกระทำได้โดยคลิกขวาที่ ToolBox แล้วเลือกเมนู Components ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เพิ่มคอมโพเนนต์ MSComm

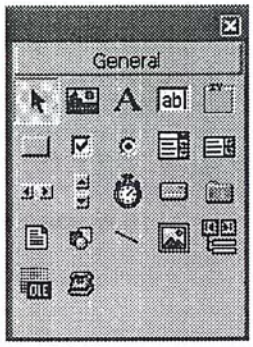
จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อก Components ขึ้นมา จากนั้นให้คลิกเลือกที่ Microsoft Comm control 6.0 แล้วคลิกปุ่ม OK ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เลือกที่รายการ MSComm

จากนั้นก็จะปรากฏภายใน ToolBox จะมีไอคอนรูปโทรศัพท์ ซึ่งเป็นไอคอนของคอนโทรล MSComm ปรากฏขึ้นมาให้เราเลือกใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 คอนโทรล MSComm พร้อมทำงาน

2.8.2 พร็อพเพอร์ตี้ที่สำคัญในการใช้งาน MSComm

CommPort ใช้ในการกำหนดหมายเลขของพอร์ทอนุกรมที่เราต้องการจะติดต่อ โดยมีรูปแบบของการใช้งานดังนี้

object.CommPort [= value]

ยกตัวอย่างเช่น เรากำหนดให้การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ท Comm1 จะเขียนเป็น

MSComm1.CommPort = 1

Setting ใช้ในการกำหนดอัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate) หรือความเร็วในการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที, พาริตี้, จำนวนของบิตข้อมูล, จำนวนของบิตปิดท้ายโดยมีรูปแบบของการใช้งานดังนี้

object.Settings [= value]

ยกตัวอย่างเช่น เรากำหนดให้มีการเขียนโปรแกรมใช้งานที่ Baud Rate = 9,600 บิตต่อวินาที ไม่มีพาริตี้ จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 8 บิต และมีบิตปิดท้าย 1 บิต

MSComm1.Settings = " 9600, N , 8, 1 "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PortOpen ใช้สำหรับเปิดและปิดการใช้งานพอร์ทอนุกรม โดยมีรูปแบบของการทำงานดังนี้

object.PortOpen [= value]

ยกตัวอย่างเช่น เราจะเปิดใช้งานพอร์ทอนุกรม ให้กำหนดค่า value เป็น True เขียนโค้ดได้ดังนี้

MSComm1.PortOpen = True

แต่ถ้าต้องการปิดพอร์ทอนุกรม ให้กำหนดค่า value เป็น False เช่น

MSComm1.PortOpen = False

InBuffersize เป็นการกำหนดขนาดของ Buffer ในการรับข้อมูลเข้ามา โดยมีรูปแบบการทำงานดังนี้

object.InBuffersize [= value]

OutBuffersize เป็นการกำหนดขนาดของ Bufferในการส่งข้อมูลออกไปโดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

object.OutBuffersize [= value]

Inputlen เป็นการกำหนดค่าของข้อมูลที่อ่านจาก Buffer ภาครับ โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

object.Inputlen [= value]

InputMode เป็นการกำหนดค่าชนิดของข้อมูลที่รับเข้ามา โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

object.InputMode [= value]

โดยที่เราสามารถเลือกชนิดของข้อมูลได้ 2 ประเภทคือ

comInputModeText ข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นข้อความปกติเราสามารถตั้งค่าให้อยู่ในโหมดนี้ได้โดยการกำหนด value ให้เป็น “0”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

comInputModeBinary ข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นข้อมูลไบนารี่เราสามารถตั้งค่าให้อยู่ในโหมดนี้ได้โดยการกำหนดค่า value ให้เป็น "1"

Input ใช้ในการอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ทอนุกรม โดยมีรูปแบบการอ่านค่าดังนี้

object.Input

ตัวอย่างเช่น เราอ่านค่าจาก Buffer ของพอร์ทอนุกรม แล้วนำมาเก็บไว้ในตัวแปรที่ชื่อว่า Data เราจะเขียนโค้ดดังนี้

Data = MSComm1.Input

Output ใช้ในการส่งข้อมูลออกไปจากพอร์ทอนุกรม โดยมีรูปแบบของการเขียนดังนี้

object.Output [= value]

EOFEnable เป็นการบอกว่าสิ้นสุดของไฟล์ End of File [EOF] โดยมีรูปแบบการใช้งานดังนี้

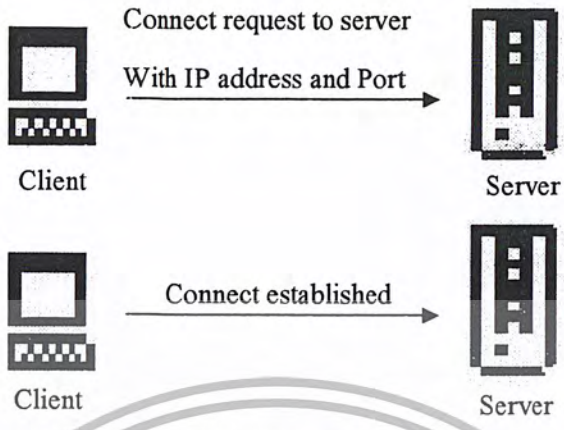
object.EOFEnable [= value]

2.8.2 Winsock

ในปัจจุบันการงานคอมพิวเตอร์ในการเชื่อมต่อกับเครือข่าย มีการใช้งานมากขึ้นเรื่อย ๆ แอพพลิเคชั่นที่พัฒนาขึ้นใหม่ มักจะมีความสามารถในการส่งข้อมูล หรือการใช้งานร่วมกันผ่านเครือข่าย โดยเฉพาะเครือข่ายที่ใช้โปรโตคอล TCP/IP ซึ่งในการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วย Visual Basic ก็มีคอนโทรลที่เอื้ออำนวยในการส่งข้อมูลถึงกันผ่านเครือข่ายเช่นกัน

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถส่งข้อมูลในเครือข่าย TCP/IP ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง คือ หมายเลขพอร์ท (Port) ที่ทำการเชื่อมต่อ โดยในการติดต่อจะอยู่ในรูปแบบของไคลเอนต์/เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์จะเป็นผู้รอรับการติดต่อ และเครื่องไคลเอนต์จะเป็นผู้ที่ทำการติดต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ด้วยหมายเลข IP และพอร์mของเซิร์ฟเวอร์

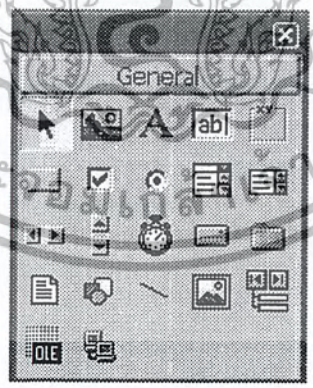
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อระหว่าง Client กับ Server

หลังจากเกิดการเชื่อมต่อขึ้นแล้ว เครื่องไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์จะสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกันได้

ในโปรแกรม Visual Basic คอนโทรลที่ใช้ในการเชื่อมต่อบนเครือข่าย TCP/IP คือ คอนโทรล Winsock ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ โดยใช้เมนู Project-> Components แล้วคลิกให้เกิดเครื่องหมาย ✓ หน้า Microsoft Winsock Control 6.0 (หมายเลขเวอร์ชันจะแตกต่างกัน) และจะเกิดคอนโทรลรูป 2.17 ขึ้นใน Toolbox



รูปที่ 2.17 การเพิ่มคอมโพเนนต์ Microsoft Winsock Control 6.0

คำสั่ง Winsock ที่ใช้งาน

Winsock.LocalPort	กำหนดพอร์ทที่เปิดรอรับการเชื่อมต่อ
Winsock.RemoteHostIP	แสดง IP ที่ทำการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Winsock.RemoteHost	กำหนด IP ปลายทางที่ต้องการเชื่อมต่อ
Winsock. RemotePort	กำหนดพอร์ทปลายทางที่ต้องการเชื่อมต่อ
Winsock.Accept	เซิร์ฟเวอร์ตอบรับการเชื่อมต่อ
Winsock.Close	ปิดการเชื่อมต่อ
Winsock.Connect	เชื่อมต่อกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์
Winsock.GetData	รอข้อมูลจากบัฟเฟอร์
Winsock.Listen	รอรับการเชื่อมต่อ
Winsock.SenData	ส่งข้อมูล (byte)
Winsock.State	สถานะการเชื่อมต่อ

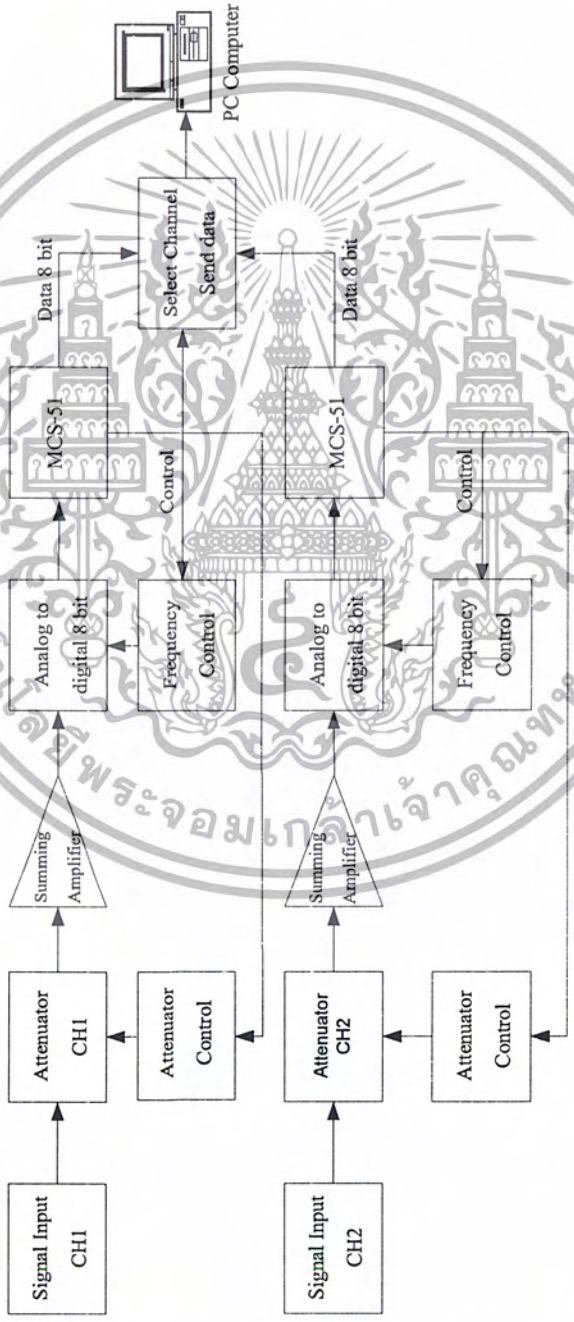
ตารางที่ 2.2 ค่าสถานะการเชื่อมต่อของ Winsock.State

Constant	Value	Description
sckClosed	0	ไม่มีการเชื่อมต่อ
sckOpen	1	มีการเชื่อมต่อ
sckListening	2	รอรับการเชื่อมต่อ
sckConnectionPensing	3	หยุดการเชื่อมต่อชั่วคราว
sckResolvingHost	4	กำลังหาค่า IP จากชื่อโดเมน
sckHostResolved	5	หาค่า IP จากชื่อโดเมนได้แล้ว
sckConnecting	6	กำลังทำการเชื่อมต่อ
sckConnected	7	เชื่อมต่อได้แล้ว
Sckclosed	8	อีกฝั่งหนึ่งปิดการเชื่อมต่อ
sckError	9	เกิดข้อผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์และออกแบบ

3.1 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลออสซิลโลสโคป



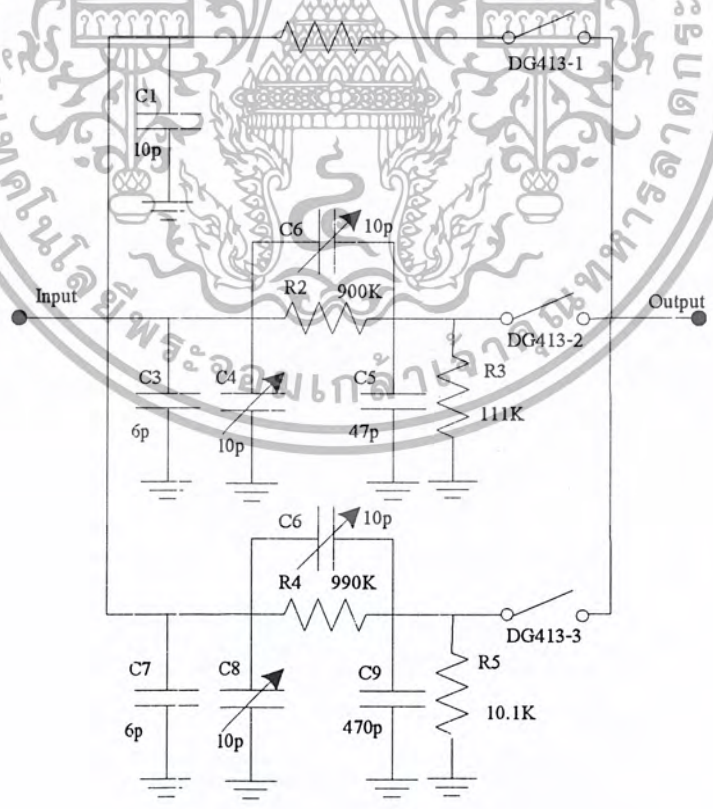
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรม สัญญาณอินพุทที่เข้ามาของแต่ละช่องจะถูกส่งเข้าไปที่วงจรลดทอน Attenuator โดยการเลือกระดับการลดทอนแรงดันใช้ MCS-51 รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของวงจรลดทอนสัญญาณ ให้มีค่าขนาดสัญญาณลดลงแล้วจึงส่งเข้าสู่วงจร Summing Amplifier เพื่อให้อยู่ในระดับสัญญาณที่ ไอซี TLC5540 สามารถทำงานได้คือ 0 ถึง 2 โวลต์ และข้อมูลที่ได้จากการ Converter จะนำไปเข้าไมโครคอนโทรเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ทอนุกรม

3.2 ภาควงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator)

สัญญาณที่เข้ามามีขนาดแตกต่างกันจึงต้องมีการปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะไปยังภาคอื่นต่อไป จะมีการลดทอนสัญญาณโดยใช้หลักการแบ่งแรงดัน(Voltage Divider) และเนื่องจากสัญญาณที่จะวัดมีแถบความถี่ (Bandwidth) กว้าง ดังนั้นการลดทอนสัญญาณอินพุทจะต้องเป็นอิสระต่อความถี่ ซึ่งต้องใช้วงจรลดทอนแบบชดเชยความถี่(Compensated Attenuator) ซึ่งเป็นวงจรอาซีโวลต์เตจดีไวเดอร์ (RC Voltage Divider) ในวงจรมีการลดทอนทั้งหมด 3 ระดับ คือ 1: 1, 1:10 และ 1:100 ซึ่งถูกคอนโทรลด้วยไอซี (IC เบอร์ DG413)



รูปที่ 3.2 วงจรวงจรลดทอนสัญญาณ

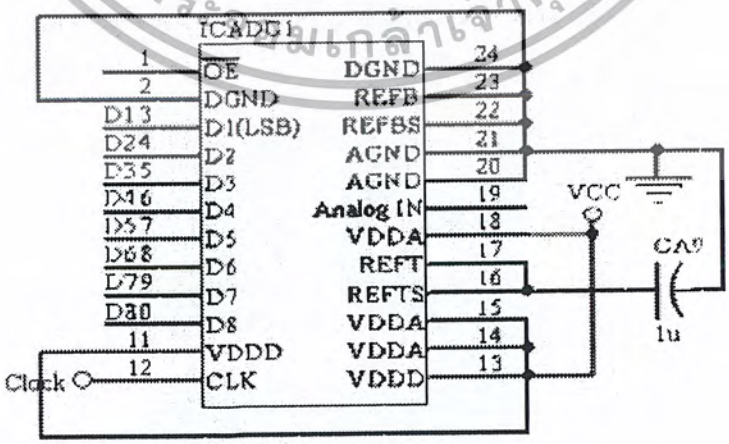
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การลดทอนและการขยายสัญญาณแนวตั้ง

VOLTS/DIV	การลดทอนสัญญาณ
10 mV	1
20 mV	1
50 mV	1
100 mV	10
200 mV	10
500 mV	10
1 V	100
2 V	100
5 V	100

3.3 ภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล(Analog to Digital Converter)

สัญญาณที่ผ่านวงจรลดทอนระดับสัญญาณเข้ามา จะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับการรองรับของไอซี TLC5540 ที่สามารถป้อนระดับสัญญาณด้านอินพุทที่มีขนาด ±1 โวลต์ ทำให้ต้องมีการลดทอนระดับสัญญาณที่เข้ามา โดยเลือกระดับจากสัญญาณด้านอินพุทไม่ให้มีขนาดสูงกว่าข้อกำหนดของไอซี TLC5540 โดยสัญญาณดิจิตอลที่ได้จะถูกส่งไปให้กับ MCS-51 เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมเข้าสู่คอมพิวเตอร์

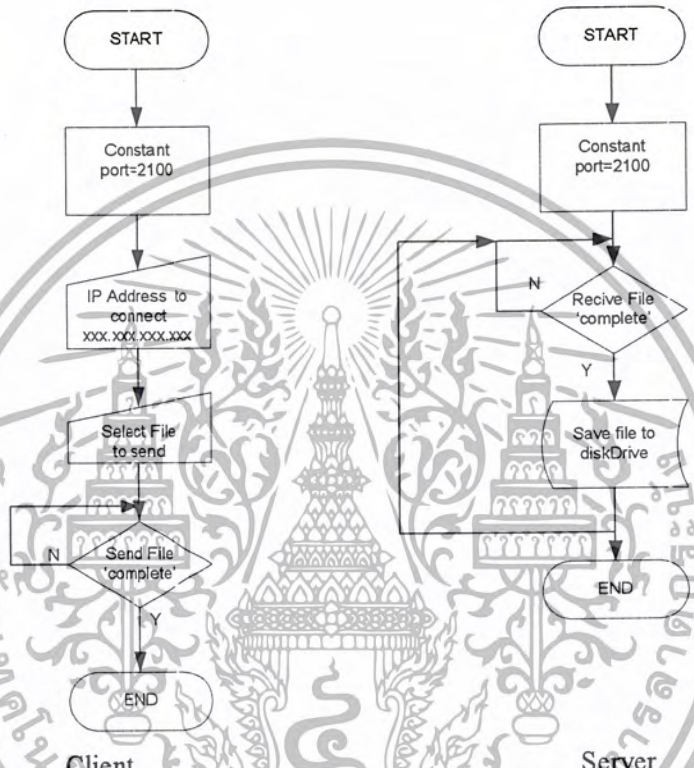


รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่โดยใช้ไอซีเบอร์ TLC5540 ซึ่งเป็นการแปลงสัญญาณแบบแฟลชมีความละเอียด 8 บิต

3.4 การออกแบบโปรแกรม



รูปที่ 3.4 แสดง flow chart ของโปรแกรมออสซิลโลสโคป

อธิบายการทำงานของโปรแกรม

- Client

โปรแกรมจะถูกกำหนดให้เชื่อมต่อไปยังพอร์ท 2100 ตาม IP Address ที่กำหนด เมื่อทำการเชื่อมต่อและได้รับการตอบรับการเชื่อมต่อแล้วจะมีสถานะการส่งข้อมูลได้ โดยการรับส่งข้อมูลนี้จะถูกกำหนดให้เป็นการส่งรูปภาพ โปรแกรมจะทำการวนลูปส่งไฟล์ ในขณะที่รับส่งไฟล์อยู่นั้นจะมีตัวกำหนดเวลารอคอยการตอบรับการส่งข้อมูล ถ้าหากส่งช้าหรือสูญหายจะทำให้เกิดการหน่วงเวลาการส่งจะทำให้ไฟล์ภาพที่ส่งส่งไม่สำเร็จ และเมื่อส่งไฟล์ข้อมูลเสร็จแล้วจะรอรับค่าแฟล็กที่มีการตอบรับว่ามีการรับส่งเสร็จสมบูรณ์ และโปรแกรมจะอยู่ในสภาวะพร้อมส่งข้อมูลต่อไปจนกว่าจะ disconnect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Server

โปรแกรมนี้จะถูกกำหนดพอร์ทในการเชื่อมต่อเป็น 2100 และทำการเปิดพอร์ท 2100 ในการรอรับการเชื่อมต่อโดยหากไม่มีการเชื่อมต่อเข้ามาโปรแกรมจะอยู่ในสถานะรอการเชื่อมต่อถ้าหากว่ามีการเชื่อมต่อเข้ามาแล้วโปรแกรมจะแสดง IP ของเครื่องที่ร้องขอที่จะติดต่อและสถานะของโปรแกรมคือพร้อมที่จะรับส่งข้อมูล โดยข้อมูลที่ส่งใช้ส่งเป็น Byte เมื่อมีการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้น โปรแกรมจะแสดงค่าความสำเร็จในการรับส่งข้อมูล รวมทั้งความเร็วที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล โปรแกรมจะวนรับข้อมูลจนครบ เมื่อครบแล้วจะมีการส่งรหัสกลับไปบอกเครื่องต้นทางว่าเสร็จเรียบร้อย และสถานะของโปรแกรมจะรอรับการส่งข้อมูลต่อไป จนกว่าต้นทางจะมีการ disconnect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อ RS-232 เข้าที่ตัวเครื่องทำการปิด และกดปุ่มรีเซตเพื่อเตรียมพร้อมการทำงาน

2. ป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุท

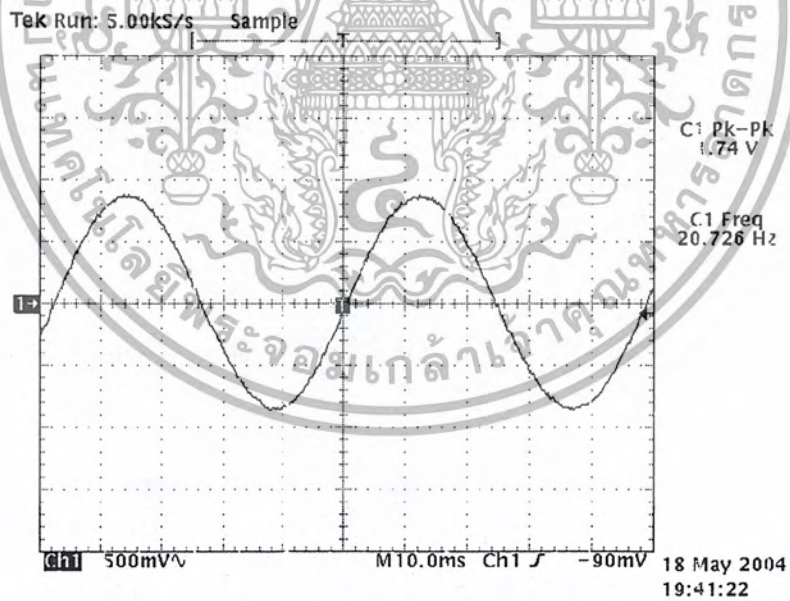
3. ทำการวัดสัญญาณรูปคลื่นที่ได้จากโปรแกรมออสซิลโลสโคปเทียบกับสัญญาณที่ได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป

4. ทดลองป้อนความถี่หลายๆ ความถี่

5. ทำการบันทึกรูปสัญญาณที่ได้

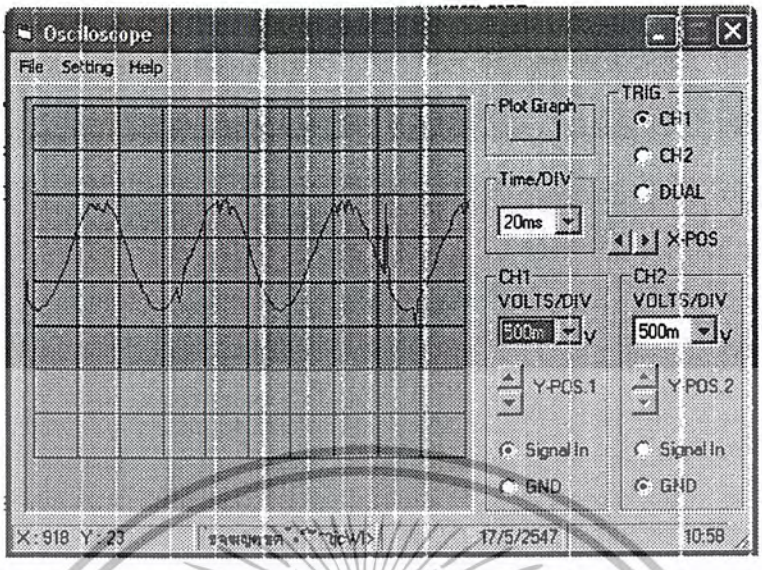
4.2 ผลทดลอง

4.2.1 ป้อนสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 20 Hz ขนาด 1.74 V



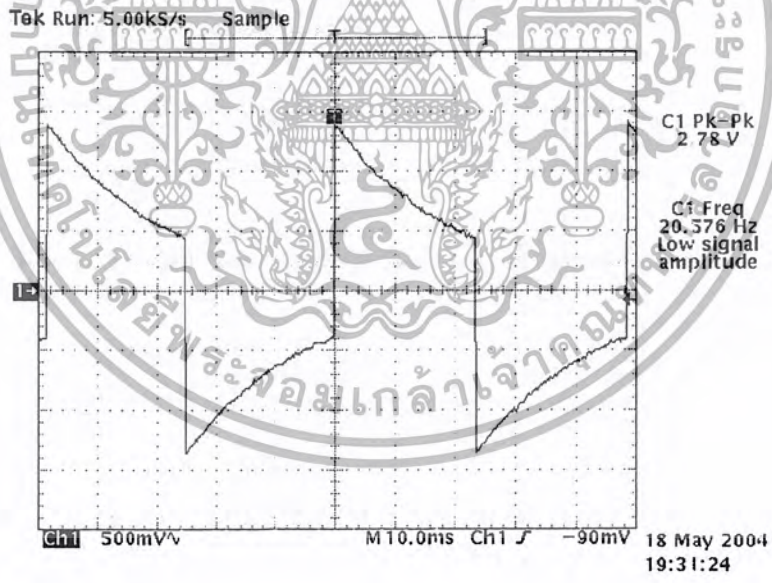
รูปที่ 4.1 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 20 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



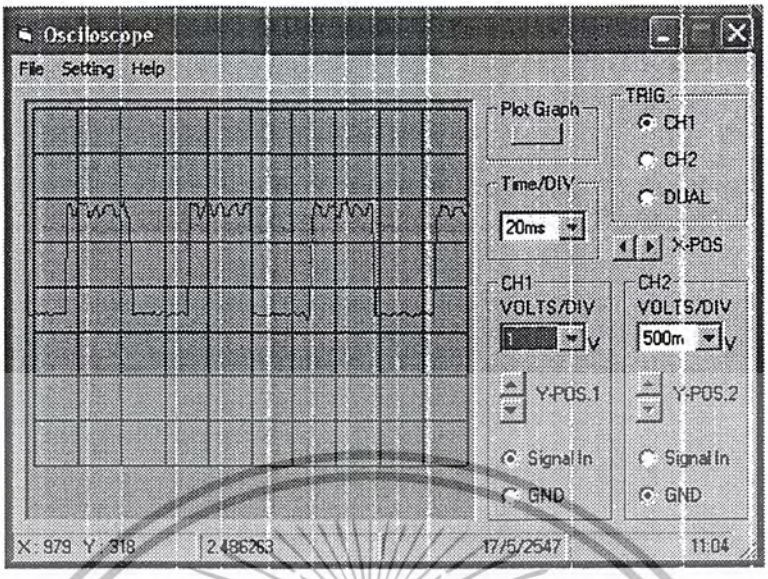
รูปที่ 4.2 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 20 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.2 ป้อนสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 20 Hz ขนาด 2.78 V



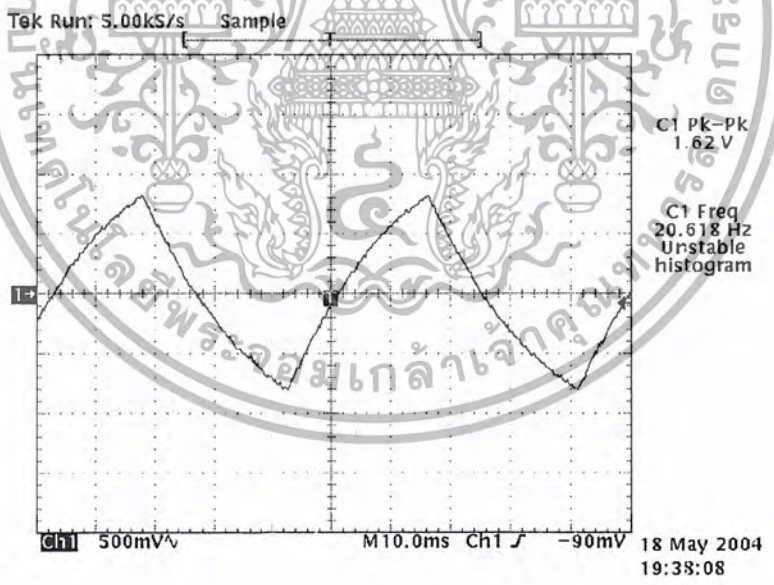
รูปที่ 4.3 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



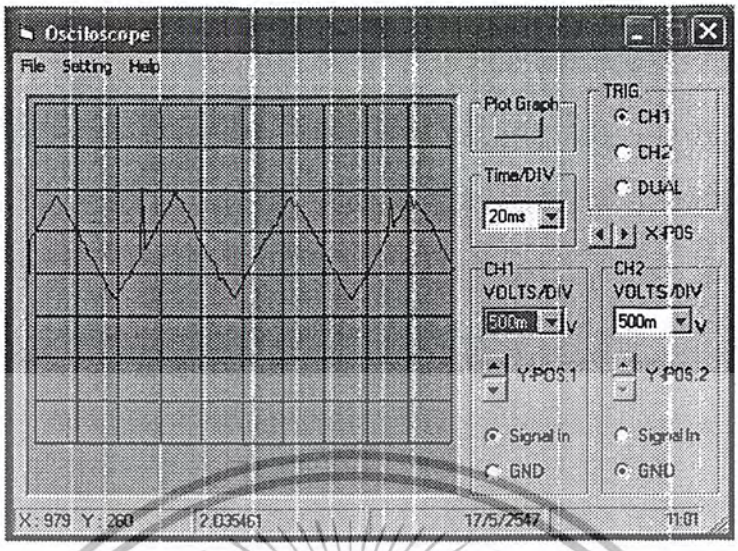
รูปที่ 4.4 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.3 ป้อนสัญญาณความถี่รูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ 20 Hz ขนาด 1.62 V



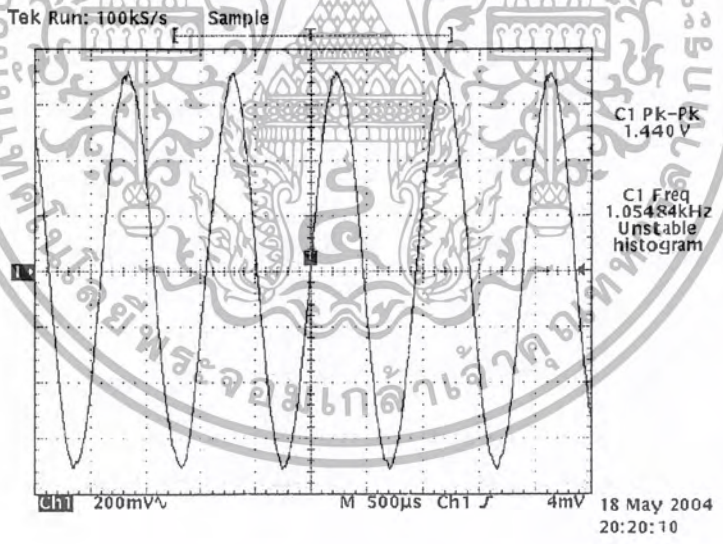
รูปที่ 4.5 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



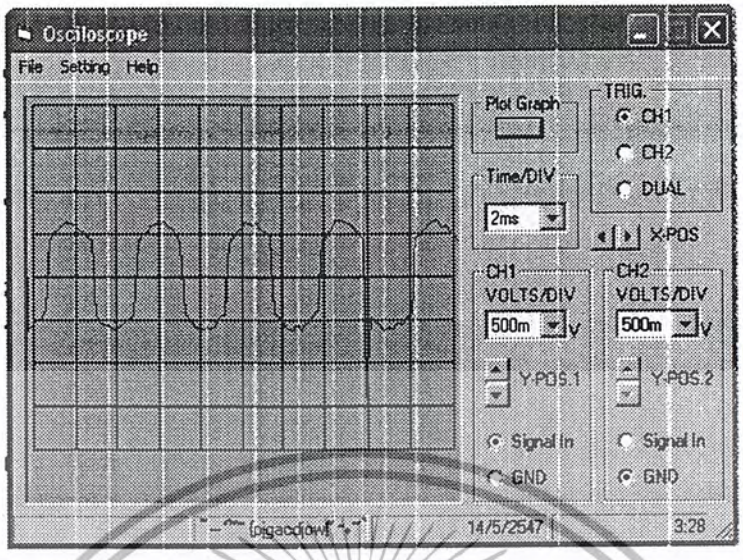
รูปที่ 4.6 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ 20 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.4 ป้อนสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 1000 Hz ขนาด 1.44 V



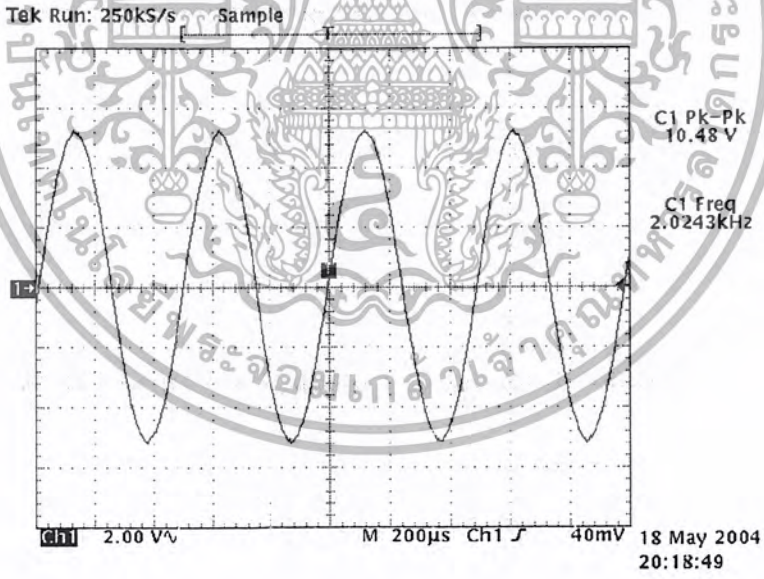
รูปที่ 4.7 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 1000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



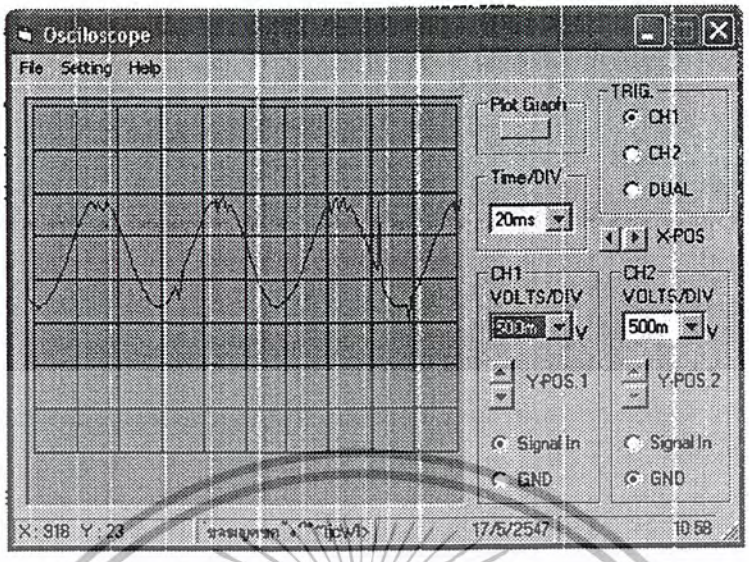
รูปที่ 4.8 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 1000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.5 ป้อนสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 2000 Hz ขนาด 10.48 V



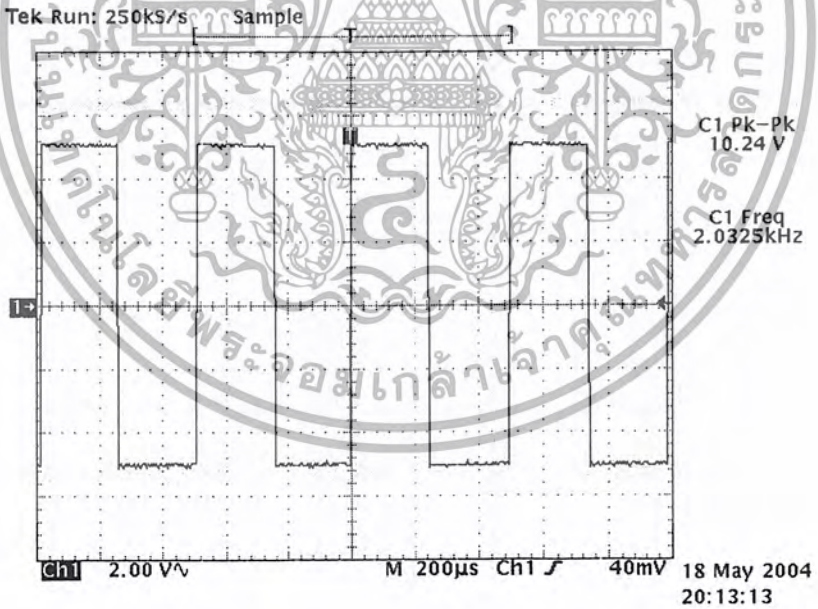
รูปที่ 4.9 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 2000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



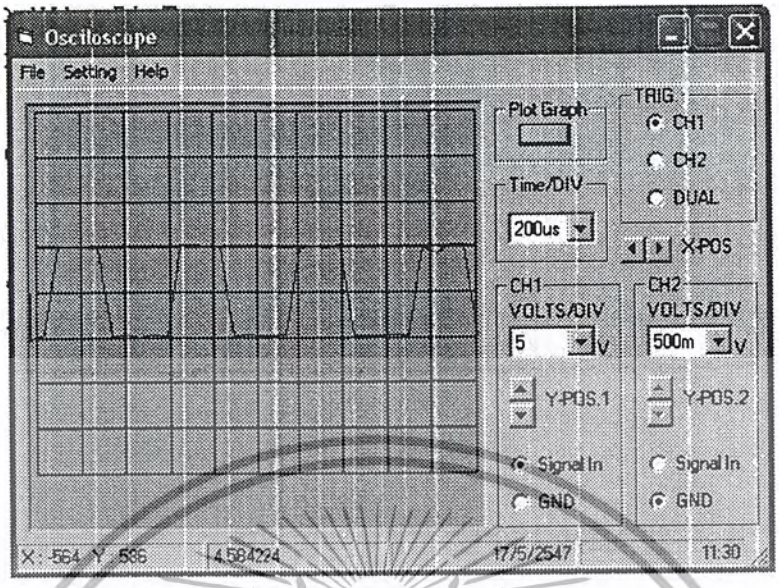
รูปที่ 4.10 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 2000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.6 ป้อนสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 2000 Hz ขนาด 10.24 V



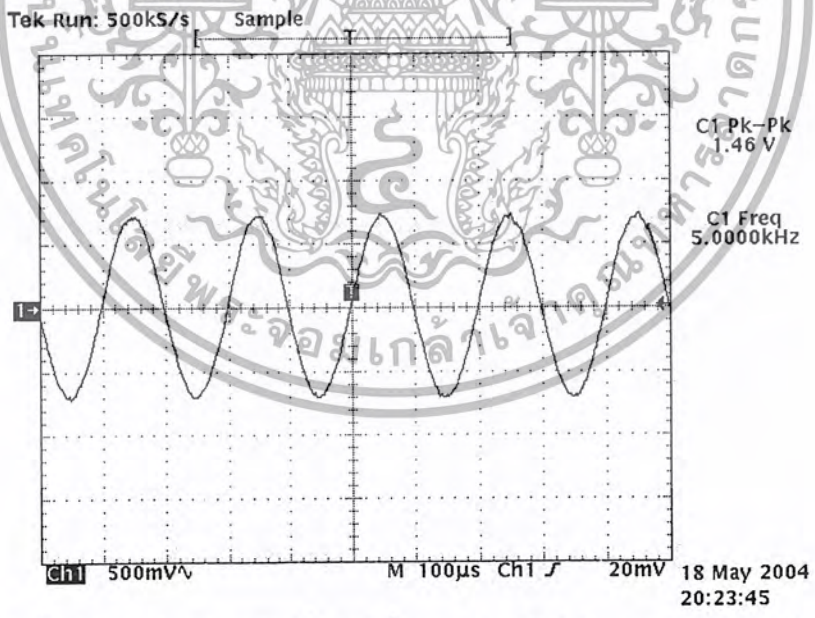
รูปที่ 4.11 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 2000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



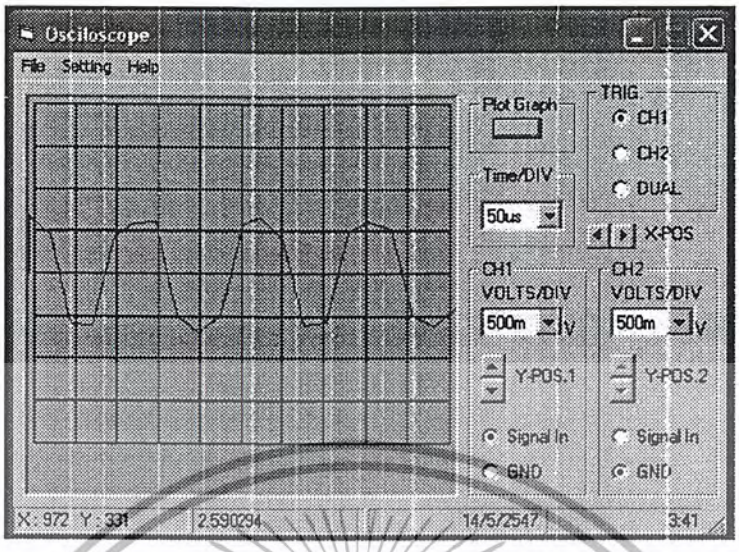
รูปที่ 4.12 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 2000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.7 ป้อนสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 5000 Hz ขนาด 1.46 V



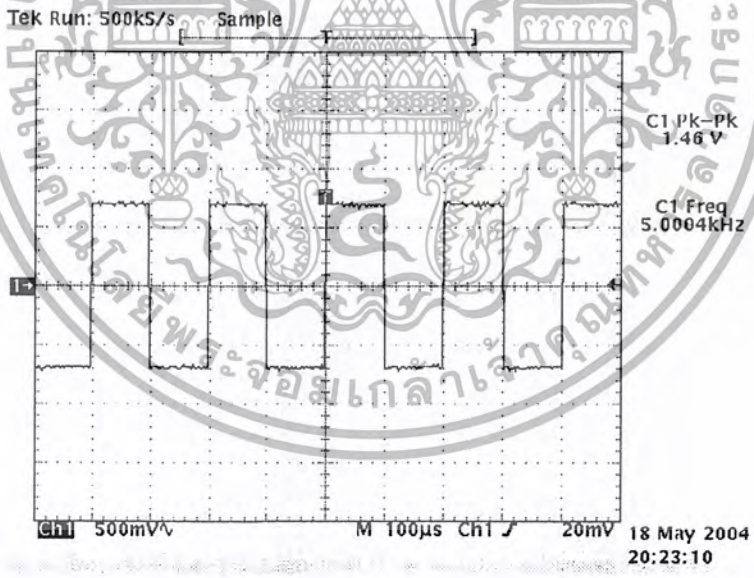
รูปที่ 4.13 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 5000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



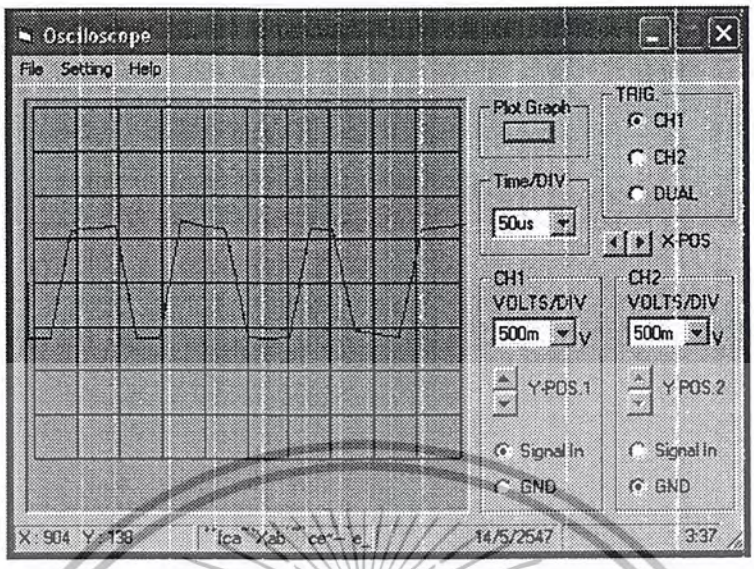
รูปที่ 4.14 วัดสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 5000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.8 ป้อนสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ขนาด 1.46 V



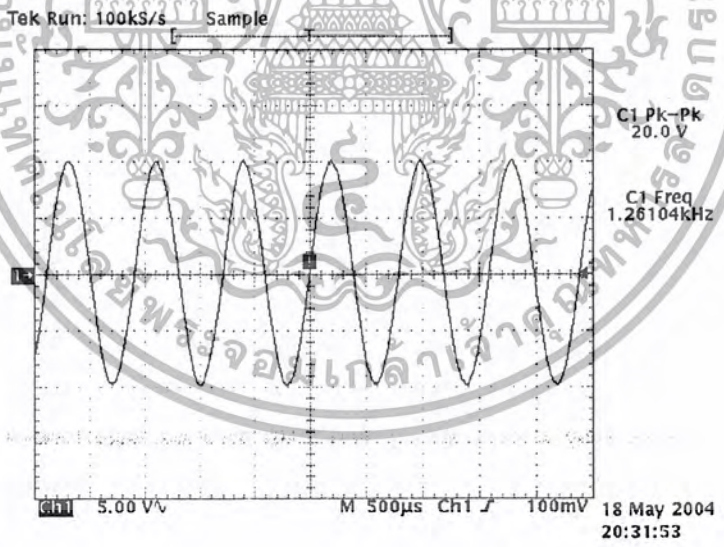
รูปที่ 4.15 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



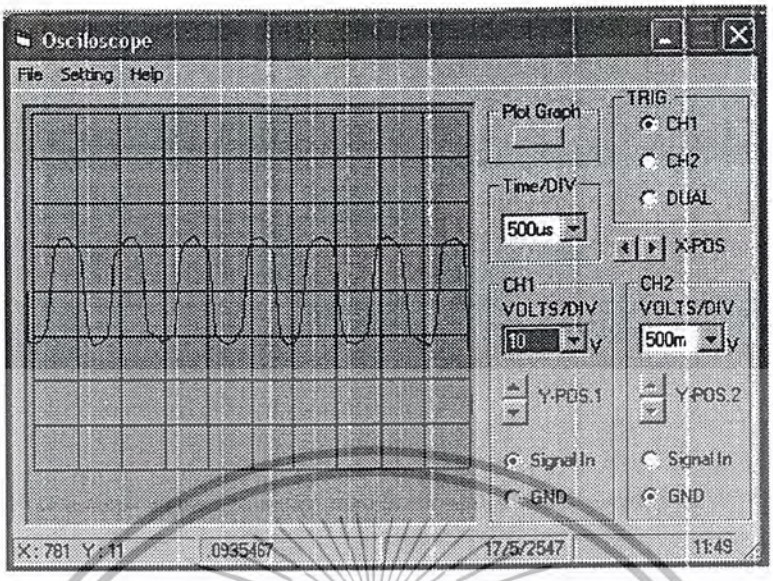
รูปที่ 4.16 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.9 ป้อนสัญญาณความถี่ซายน์ที่ 5000 Hz ขนาด 20 V



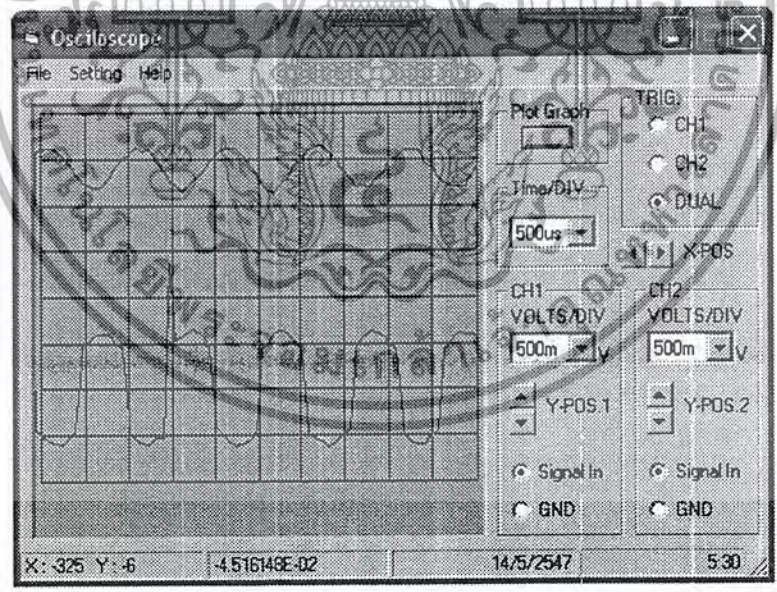
รูปที่ 4.17 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



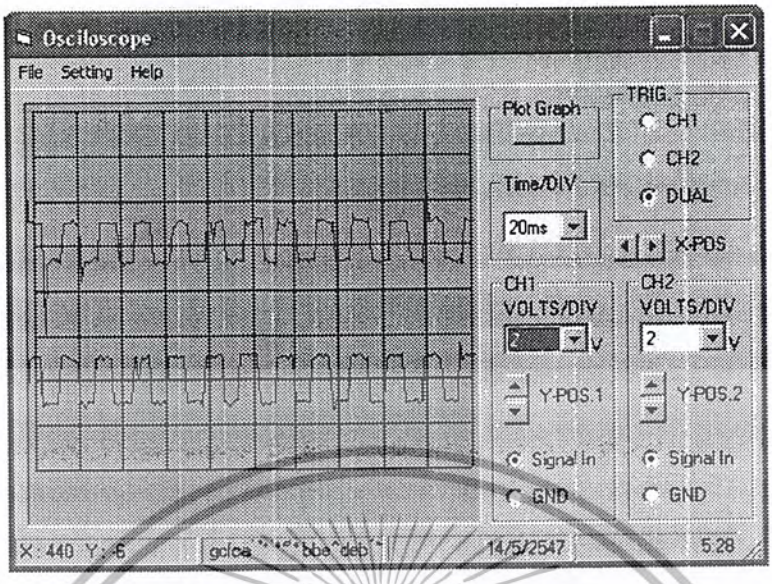
รูปที่ 4.18 วัดสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 5000 Hz ด้วยโปรแกรมออสซิลโลสโคป

4.2.10 การวัดสัญญาณพร้อมกัน 2 channel ที่ความถี่ 1000 Hz



รูปที่ 4.19 วัดสัญญาณซายน์ที่ความถี่ 1000 Hz 2 channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 วัดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1000 Hz 2 channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่ารูปสัญญาณที่ได้ออกมานั้นจะเกิดความผิดพลาดมากขึ้น เมื่อใช้วัดความถี่สูงกว่า 1 kHz เนื่องมาจากการใช้อัตราการแซมปลิ้งที่ไม่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้วัด และมีสัญญาณรบกวนจำนวนมาก ที่มาจากสัญญาณนาฬิกาที่ใช้อ้างอิงในการทำงานของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนทางด้านอินพุท ซึ่งมีผลการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลนั้นสัญญาณรบกวนถูกแซมปลิ้งออกมาด้วย เมื่อโปรแกรมรับสัญญาณเข้ามาแสดงผลจึงเกิดสัญญาณรบกวน ผลก็คือการแสดงผลจากโปรแกรมจะเกิดความผิดพลาดขึ้น ทำให้ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์เครื่องนี้มีความสามารถในการวัดความถี่สูงสุดได้แค่ 5 kHz ซึ่งในการใช้งานออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์จะเกิด delay ขึ้น ซึ่งเกิดจากการส่งข้อมูลที่ได้จากการแซมปลิ้งมีจำนวนมากแต่ถูกจำกัดด้วยความเร็วในการส่งข้อมูลของ RS-232 ทำให้ข้อมูลที่ได้ มีการสูญหายระหว่างการจัดเก็บข้อมูลเข้ามาประมวลผลในโปรแกรม และเกิดความล่าช้าในการการประมวลผลของโปรแกรมที่ต้องรอข้อมูลที่รับเข้ามา และทำการแปลงสัญญาณที่เข้ามาซึ่งอยู่ในรูปแบบของตัวอักษร จึงต้องทำการแปลงเป็นค่าฮัสแอสกี้ก่อนที่จะนำไปประมวลผลแสดงออกมาเป็นเส้นกราฟ

ส่วนการวัดระดับแรงดันไฟฟ้านั้น สามารถทำการวัดได้สูงสุด 20 โวลท์ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้โดยโปรแกรมออสซิลโลสโคปนั้นมีความผิดพลาด เนื่องมาจากอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ ที่มีการลดทอดแรงดันไฟฟ้า และมีการยกระดับสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์เพื่อให้ค่าระดับแรงดันอยู่ในช่วง 0 โวลต์ ถึง 2 โวลต์ ไม่ตอบสนองทุกช่วงความถี่ ทำให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, หลักการไฟฟ้า, สำนักพิมพ์แห่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2541

รศ.กฤษฎา วิศวธีรานนท์ และผศ.ประยูร เขี่ยววัฒนา, หลักการทำงานและเทคนิคการงานออสซิลโลสโคป, สำนักพิมพ์แห่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521

อภิชาติ ภู่พลับ, เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic, สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, 2546

อภิชาติ ภู่พลับ, สนุกกับการประยุกต์ใช้ Visual Basic, สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, 2546

Ian Hickman, Oscilloscopes : how to use them, how they work, 4th edition, Oxford : Heinemann Newnes, c1995

Stan Prentiss, Oscilloscopes, Reston, Vir. : Reston, c1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

Source code โปรแกรม Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim StrData, DataPlot, SelectCh1, SelectCh2, StrData1, StrData2 As String
Dim DataSend As String
Dim DataTrue, VolteDis As Single
Dim VolteD1, VolteD2, TimeD As Integer
Const VoltePoint As Double = 0.0078125

Private Sub CmdAutoSet_Click()
    Picture1.Cls
    StrData = ""
    DataPlot = ""
    If OptCh1.Value Then MSComm1.Output = SelectCh1
    If OptCh2.Value Then MSComm1.Output = SelectCh2
    If OptDual.Value Then
        MSComm1.Output = SelectCh1
        MSComm1.Output = DataSend
        Timer2.Interval = 10
    Else
        MSComm1.Output = DataSend
        Timer1.Interval = 10
    End If
End Sub

Private Sub Form_Initialize()
    '################## Set Serial Port ##############'####
    MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
    MSComm1.RThreshold = 1
    MSComm1.CommPort = 1
    MSComm1.PortOpen = True             'Open Serial Port
    MSComm1.InputMode = comInputModeText
    MSComm1.InputLen = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim StrData, DataPlot, SelectCh1, SelectCh2, StrData1, StrData2 As String
Dim DataSend As String
Dim DataTrue, VolteDis As Single
Dim VolteD1, VolteD2, TimeD As Integer
Const VoltePoint As Double = 0.0078125

Private Sub CmdAutoSet_Click()
    Picture1.Cls
    StrData = ""
    DataPlot = ""
    If OptCh1.Value Then MSComm1.Output = SelectCh1
    If OptCh2.Value Then MSComm1.Output = SelectCh2
    If OptDual.Value Then
        MSComm1.Output = SelectCh1
        MSComm1.Output = DataSend
        Timer2.Interval = 10
    Else
        MSComm1.Output = DataSend
        Timer1.Interval = 10
    End If
End Sub

Private Sub Form_Initialize()
    '################### Set Serial Port ##############'####
    MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
    MSComm1.RThreshold = 1
    MSComm1.CommPort = 1
    MSComm1.PortOpen = True             'Open Serial Port
    MSComm1.InputMode = comInputModeText
    MSComm1.InputLen = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'############## Set Menu ################
mnuCom1.Checked = True

Picture1.Scale (-1000, -8)-(1000, 589)
Picture1.CurrentX = HScroll1.Value - 100
Picture1.CurrentY = VScroll1.Value
Picture1.DrawWidth = 1
Picture1.ForeColor = vbRed

Opt1GND.Value = True
Opt2GND.Value = True
OptCh1.Value = True

VoltsDivCh1.Text = "500m"
VoltsDivCh2.Text = "500m"
TimesDiv.Text = "20ms"
TimeD = 12

'Timer1.Interval = 10
MSComm1.Output = "A"
MSComm1.Output = "D"

'###############
If OptCh1.Value Then
    VScroll1.Enabled = True
    VScroll2.Enabled = False
    DataSend = "["
    If Opt1GND.Value = True Then
        Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll1.Value)
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ElseIf OptCh2.Value Then
        VScroll1.Enabled = False
        VScroll2.Enabled = True
        DataSend = "Q"
        If Opt2GND.Value = True Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll2.Value)
        End If
    ElseIf OptDual.Value Then
        VScroll1.Enabled = True
        VScroll2.Enabled = True
    End If

    DataPlot = ""
    StrData = ""
End Sub

Private Sub HScroll1_Change()
    Picture1.Cls
    Picture1.CurrentX = HScroll1.Value - 100
    'Picture1.CurrentY = VScroll1.Value
    i = 1
    'StatusBar1.Panels.Item(2) = VScroll1.Value & "    " & HScroll1.Value
    For X = HScroll1.Value To HScroll1.Max Step TimeD
        If Opt1GND.Value Then
            Y = VScroll1.Value
            Picture1.Line -(X, Y), vbRed
        Else
            Y = Asc(Mid(StrData, i, 1))
            Y = VScroll1.Value + Y
            Picture1.Line -(X, Y), vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            End If
            If i < Len(StrData) Then
                  i = i + 1
            End If
      Next X
End Sub

Private Sub mnuAbout_Click()
      MsgBox "Help"
End Sub

Private Sub mnuCom1_Click()
      MSComm1.PortOpen = False
      mnuCom1.Checked = True
      mnuCom2.Checked = False
      MSComm1.CommPort = 1
      MSComm1.PortOpen = True
End Sub

Private Sub mnuCom2_Click()
      MSComm1.PortOpen = False
      mnuCom1.Checked = False
      mnuCom2.Checked = True
      MSComm1.CommPort = 2
      MSComm1.PortOpen = True
End Sub

Private Sub mnuExit_Click()          'Exit Program
      MSComm1.PortOpen = False
      End
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub mnuNew_Click()
    MSComm1.PortOpen = False
    Picture1.Cls
    Call Form_Initialize
End Sub

Private Sub mnuSave_Click()          'Menu Save Picture
    cdlMyDialog.Filter = "*.bmp"
    cdlMyDialog.FileName = ""
    cdlMyDialog.ShowSave
    If cdlMyDialog.FileTitle <> "" Then
        SavePicture Picture1.Image, cdlMyDialog.FileName
    End If
End Sub

Private Sub mnuSend_Click()  'Menu Send File
    Client.Show vbModal
End Sub

Private Sub Opt1SigIn_Click()
    If OptDual.Value = False Then
        MSComm1.Output = SelectCh1
        MSComm1.Output = DataSend
        Timer1.Interval = 10
    End If
End Sub

Private Sub Opt2Sigin_Click()
    If OptDual.Value = False Then
        MSComm1.Output = SelectCh2
        MSComm1.Output = DataSend
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Timer1.Interval = 10
    End If
End Sub

Private Sub OptCh1_Click()
    VScroll1.Enabled = True
    VScroll2.Enabled = False
    Picture1.Cls
    Call SelectVolteCh1
    DataSend = "I"
    If Opt1GND.Value Then
        Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max, VScroll1.Value)
    ElseIf Opt1SigIn.Value Then
        MSComm1.Output = SelectCh1
    End If
    StrData = ""
    DataPlot = ""
    Timer1.Interval = 10
End Sub

Private Sub OptCh2_Click()
    VScroll1.Enabled = False
    VScroll2.Enabled = True
    Picture1.Cls
    Call SelectVolteCh2
    DataSend = "Q"
    If Opt2GND.Value Then
        Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max, VScroll2.Value)
    ElseIf Opt2Sigin.Value Then
        MSComm1.Output = SelectCh2
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        StrData = ""
        DataPlot = ""
        Timer1.Interval = 10
    End Sub

    Private Sub OptDual_Click()
        VScroll1.Enabled = True
        VScroll2.Enabled = True
        Picture1.Cls
        If Opt1GND.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max, VScroll1.Value)
        End If
        If Opt2GND.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max, VScroll2.Value)
        End If

    End Sub

    Private Sub Picture1_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As
    Single)
        StatusBar1.Panels.Item(1) = "X : " & Int(X) & "  Y : " & Int(Y)
        VolteDis = VoltePoint * Y
        StatusBar1.Panels.Item(2) = VolteDis
    End Sub

    Private Sub Opt1GND_Click()
        Picture1.Cls
        Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max, VScroll1.Value)
    End Sub

    Private Sub Opt2GND_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If OptCh2.Value And OptDual.Value Then
        Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max, VScroll2.Value)
    End If
End Sub

Private Sub TimesDiv_Click()
    Picture1.Cls
    Select Case TimesDiv.Text
      Case "500ms"
          TimeD = 1
      Case "200ms"
          TimeD = 2
      Case "100ms"
          TimeD = 3
      Case "50ms"
          TimeD = 7
      Case "20ms"
          TimeD = 12
      Case "10ms"
          TimeD = 13
      Case "5ms"
          TimeD = 17
      Case "2ms"
          TimeD = 20
      Case "1ms"
          TimeD = 25
      Case "500us"
          TimeD = 30
      Case "200us"
          TimeD = 60
      Case "100us"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            TimeD = 70
        Case "50us"
            TimeD = 100
    End Select
    Call PlotGraph
End Sub

Private Sub VoltsDivCh1_Click()
    Call SelectVolteCh1
    If OptCh1.Value And Opt1SigIn.Value Then
        StrData = ""
        DataPlot = ""
        MSComm1.Output = SelectCh1
        MSComm1.Output = DataSend
        Picture1.Cls
        Timer1.Interval = 10
        'Call PlotGraph
    End If
End Sub

Private Sub VoltsDivCh2_Click()
    Call SelectVolteCh2
    If OptCh2.Value Then
        StrData = ""
        DataPlot = ""
        MSComm1.Output = SelectCh2
        MSComm1.Output = DataSend
        Picture1.Cls
        'Call PlotGraph
        Timer1.Interval = 10
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub VScroll1_Change()
    Picture1.Cls
    If OptCh1.Value Then
        If Opt1GND.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll1.Value)
        Else
            StatusBar1.Panels.Item(1) = VScroll1.Value & "    " & HScroll1.Value
            Call PlotGraph
        End If
    ElseIf OptDual.Value Then
        If Opt1GND.Value And Opt2GND.Value Then    '##
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll1.Value)
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll2.Value)
        ElseIf Opt1GND.Value And Opt2Sigin.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll1.Value)
            Call PlotGraph
        ElseIf Opt1SigIn.Value And Opt2GND.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll2.Value)
            Call PlotGraph
        End If
    End If
End Sub

Private Sub VScroll2_Change()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Picture1.Cls
    If OptCh2.Value Then
        If Opt2GND.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll2.Value)
        Else
            Call PlotGraph
        End If
    ElseIf OptDual.Value Then
        If Opt1GND.Value And Opt2GND.Value Then    '##
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll1.Value)
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll2.Value)
        ElseIf Opt1GND.Value And Opt2Sigin.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll1.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll1.Value)
            Call PlotGraph
        ElseIf Opt1SigIn.Value And Opt2GND.Value Then
            Picture1.Line (HScroll1.Value, VScroll2.Value)-(HScroll1.Max,
VScroll2.Value)
            Call PlotGraph
        End If
    End If
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    Picture1.Cls
    BufferData = MSComm1.Input
    StrData = StrData & BufferData
    If Len(StrData) > 3000 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MSComm1.Output = " "
        Timer1.Interval = 0
        Call PlotGraph
    Else
        MSComm1.Output = DataSend
    End If
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
    Picture1.Cls
    Do Until Len(StrData1) > 3000
        BufferData = MSComm1.Input
        StrData1 = StrData1 & BufferData
        MSComm1.Output = DataSend
    Loop
        MSComm1.Output = " "
        'Timer2.Interval = 0
        'Call PlotGraph
    MSComm1.Output = SelectCh2
    MSComm1.Output = "Q"
    'Timer2.Interval = 10
    Do Until Len(StrData2) > 3000
        BufferData = MSComm1.Input
        StrData2 = StrData2 & BufferData
        MSComm1.Output = DataSend
    Loop
        MSComm1.Output = " "
        Timer2.Interval = 0
        Call PlotGraph
End Sub
Sub PlotGraph()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Picture1.CurrentX = HScroll1.Value
Picture1.CurrentY = VScroll1.Value
If Opt1GND.Value = False And OptDual.Value = False Then
    StatusBar1.Panels.Item(2) = StrData
    i = 1
    For X = -1000 To 1000 Step TimeD
        Y = Asc(Mid(StrData, i, 1))
        If OptCh1.Value Then
            Y = Y + 128
            If Y < 256 Then
                Y = Abs(VolteD1 - Y)
            Else
                Y = Abs(VolteD1 + Y)
            End If
        ElseIf OptCh2.Value Then
            Y = Y + 128
            If Y < 256 Then
                Y = Abs(VolteD2 - Y)
            Else
                Y = Abs(VolteD2 + Y)
            End If
        End If
        Picture1.Line -(X, Y), vbRed
        If i < Len(StrData) Then
            i = i + 1
        End If
    Next X
ElseIf OptDual.Value Then
    Picture1.CurrentX = HScroll1.Value
    Picture1.CurrentY = 128
    i = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For X = -1000 To 1000 Step TimeD
    Y = Asc(Mid(StrData1, i, 1))
        If Y < 256 Then
            Y = Abs(VolteD1 - Y)
        Else
            Y = Abs(VolteD1 + Y)
        End If
    Picture1.Line -(X, Y), vbRed
    If i < Len(StrData1) Then
        i = i + 1
    End If
Next X
Picture1.CurrentX = HScroll1.Value
Picture1.CurrentY = 384
i = 1
For X = -1000 To 1000 Step TimeD
    Y = Asc(Mid(StrData2, i, 1))
        Y = Y + 256
        If Y < 384 Then
            Y = Abs(VolteD2 - Y)
        Else
            Y = Abs(VolteD2 + Y)
        End If
    Picture1.Line -(X, Y), vbRed
    If i < Len(StrData2) Then
        i = i + 1
    End If
Next X
End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Sub SelectVolteCh1()
    Select Case VoltsDivCh1.Text
        Case "20"
            SelectCh1 = "A"
            VolteD1 = 5
        Case "10"
            SelectCh1 = "A"
            VolteD1 = 10
        Case "5"
            SelectCh1 = "A"
            VolteD1 = 20
        Case 2
            SelectCh1 = "B"
            VolteD1 = 30
        Case "1"
            SelectCh1 = "B"
            VolteD1 = 40
        Case "500m"
            SelectCh1 = "B"
            VolteD1 = 50
        Case "200m"
            SelectCh1 = "B"
            VolteD1 = 60
        Case "100m"
            SelectCh1 = "B"
            VolteD1 = 100
        Case "50m"
            SelectCh1 = "B"
        Case "20m"
            SelectCh1 = "C"
        Case "10m"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            SelectCh1 = "C"
        Case "5m"
            SelectCh1 = "C"
        Case "2m"
            SelectCh1 = "C"
        Case "1m"
            SelectCh1 = "C"
    End Select
End Sub

Sub SelectVolteCh2()
    Select Case VoltsDivCh2.Text
        Case "20"
            SelectCh2 = "H"
            VolteD2 = 5
        Case "10"
            SelectCh2 = "H"
            VolteD2 = 10
        Case "5"
            SelectCh2 = "H"
            VolteD2 = 20
        Case 2
            SelectCh2 = "J"
            VolteD2 = 30
        Case "1"
            SelectCh2 = "J"
            VolteD2 = 40
        Case "500m"
            SelectCh2 = "J"
            VolteD2 = 50
        Case "200m"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            SelectCh2 = "J"
            VolteD2 = 60
        Case "100m"
            SelectCh2 = "J"
            VolteD2 = 100
        Case "50m"
            SelectCh2 = "J"
        Case "20m"
            SelectCh2 = "K"
        Case "10m"
            SelectCh2 = "K"
        Case "5m"
            SelectCh2 = "K"
        Case "2m"
            SelectCh2 = "K"
        Case "1m"
            SelectCh2 = "K"
    End Select
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง client

```
Option Explicit
Const ResponseTimeOut = 20
Const PaketSize = 2048
Dim Start&
Dim OkFlag As Boolean
Dim TimeOut As Boolean
Dim DisConnected As Boolean
Dim Exitprogram As Boolean

Private Sub CmdBrowse_Click()
Dialog1.Filter = "JPG Files (*.JPG)|*.jpg|GIF  Files (*.gif)|*.gif|All Files (*.*)|*.*"
Dialog1.DialogTitle = "Select File To Send ...."
Dialog1.ShowOpen
Label3.Caption = Dialog1.FileName
Label4.Caption = Int((FileLen(Label3.Caption) / 1024) * 10) / 10 & " kB"
End Sub

Private Sub CmdConnect_Click()
If CmdConnect.Caption = "Connect" Then
 Timer1.Enabled = False
  Timer1.Interval = 400
  Winsock1.RemotePort = 2100
  Winsock1.RemoteHost = Text1.Text
  Winsock1.Connect
  CmdConnect.Caption = "DisConnect"
  CmdSend.Enabled = True
  Label2.Caption = "Connection"
  ElseIf CmdConnect.Caption = "DisConnect" Then
  CmdSend.Enabled = False
  CmdConnect.Caption = "Connect"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Winsock1.SendData 7777
DisConnected = True
Label2.Caption = "DisConnection'
End If
End Sub
Private Sub CmdSend_Click()
Call SendFile(Label3.Caption)
End Sub

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Text3.Text = KeyAscii
If KeyAscii < 48 Or KeyAscii > 57 Then
  If KeyAscii <> 8 And KeyAscii <> 13 And KeyAscii <> 46 Then
   MsgBox ("Format Number 0-9")
   KeyAscii = 211
  End If
End If
If Len(Text1.Text) = 15 Then
Call Text1_LostFocus
End If
End Sub
Private Sub Text1_LostFocus()
Dim Posi1(1 To 3), P1 As Integer
Dim i As Integer
Dim exit1 As Boolean
exit1 = False
P1 = 1
For i = 1 To Len(Text1.Text) Step 1
      If Mid(Text1.Text, i, 1) = "." Then
      Posi1(P1) = i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        P1 = P1 + 1
        End If
Next i
    If Val(Mid(Text1.Text, 1, Posi1(1) - 1)) > 255 Then exit1 = True
    If Val(Mid(Text1.Text, Posi1(1) + 1, Posi1(2) - Posi1(1) - 1)) > 255 Then exit1 = True
    If Val(Mid(Text1.Text, Posi1(2) + 1, Posi1(3) - Posi1(2) - 1)) > 255 Then exit1 = True
    If Val(Right(Text1.Text, Len(Text1.Text) - Posi1(3))) > 255 Then exit1 = True
    If exit1 = True Then
    MsgBox ("Error IP Host Number")
    Text1.Text = ""
    exit1 = False
    End If

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
 If Timer - Start > ResponseTimeOut Then
   TimeOut = True
   OkFlag = False
 End If
End Sub
Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
 Dim Data() As Byte
   Winsock1.GetData Data, vbString
   If Data(0) = 77 Then
     OkFlag = False
   End If
End Sub

Private Sub SendFile(FileName$)
   Dim Data() As Byte
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim l&, AA$, BB$, X&, FN%, TM As Single

On Error Resume Next
 Call Disable
 l = FileLen(FileName)
 AA = Hex(l)
 Do While Len(AA) < 8
  AA = "0" & AA
 Loop

 BB = LastPath(FileName)
 BB = BB & Space$(257 - Len(BB))
 AA = "New Data|" & AA & BB
 ReDim Data(0 To Len(AA) - 1)
 For X = 1 To Len(AA)
  Data(X - 1) = Asc(Mid$(AA, X, 1))
 Next X

 Winsock1.SendData Data

 If WaitForResponse Then
  FN = FreeFile
  Open FileName For Binary As #FN
  ReDim Data(1 To PaketSize) As Byte

  Label2.Caption = "Now  send File "
  Label2.Refresh

  l = LOF(FN)
  TM = Timer
  For X = 1 To l \ PaketSize
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Get #FN, , Data
Winsock1.SendData Data
Call ProgressBar(X * PaketSize, 0, 1)
Label5.Caption = Int(X * PaketSize / 1024 / (Timer - TM) * _
        10) / 10 & " kB/Sec"

Label5.Refresh
If Not WaitForResponse Then
  Call ProgressBar(0, 0, 1)
  Label2.Caption = "Now Accept Connection"
  Call Enable
  Exit Sub
 End If
Next X

If 1 Mod PaketSize <> 0 Then
 ReDim Data(1 To 1 Mod PaketSize) As Byte
 Get #FN, , Data
 Winsock1.SendData Data
 Call ProgressBar(1, 0, 1)
 Label5.Caption = Int(X * PaketSize / 1024 / (Timer - TM) * _
        10) / 10 & " kB/Sec"

 Label5.Refresh
 If Not WaitForResponse Then
  MsgBox ("?bertragunsfehler")
  Call ProgressBar(0, 0, 1)
  Label2.Caption = "Now Accept Connection"
  Call Enable
  Exit Sub
 End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If

    Close FN
    Label2.Caption = "Now Accept Connection"
    Call ProgressBar(0, 0, 1)
  Else
    Label2.Caption = "Timeout"
    MsgBox ("Timeout")
  End If
  Call Enable
End Sub

Private Function WaitForResponse() As Boolean
 OkFlag = True
 TimeOut = False
 Start = Timer
 Timer1.Enabled = True
 Do While OkFlag
  DoEvents
 Loop
 If Not TimeOut Then WaitForResponse = True
 Timer1.Enabled = False
End Function

Private Sub ProgressBar(ByVal Prg&, ByVal Min&, ByVal Max&)
 Dim Fx&
 Static LastX
  If Prg < Min Or Prg > Max Or Max <= Min Then Exit Sub
  Prg = Int(100 / (Max - Min) * (Prg - Min))
  Label6.Caption = Prg & "%"
 End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Function LastPath(ByVal Path$) As String
  Dim AA$, BB$, X&
   For X = Len(Path) To 1 Step -1
    AA = Mid$(Path, X, 1)
    If AA = "/" Or AA = "\" Then
     Exit For
    Else
     BB = AA & BB
    End If
   Next X
   LastPath = BB
End Function

Private Sub Disable()
 Text1.Enabled = False
 CmdConnect.Enabled = False
 MousePointer = vbHourglass
End Sub

Private Sub Enable()
 Text1.Enabled = True
 CmdConnect.Enabled = True
 MousePointer = vbDefault
End Sub
Private Sub Winsock1_SendComplete()
If DisConnected = True Then
Winsock1.Close
End If
DisConnected = False
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง server

```
Option Explicit
Const ResponseTimeOut = 20
Dim Start&
Dim OkFlag As Boolean
Dim TimeOut As Boolean
Dim Awaiting As Boolean
Dim D1 As String
Private Sub Form_Load()
  Call New_Folder
  lblIP.Caption = ""
  lblName.Caption = ""
  lblFilelen.Caption = ""
  lblFolder.Caption = ""
  lbltranfering.Caption = ""
  Prg1.Caption = ""
 Timer1.Enabled = False
  Timer1.Interval = 400
  Winsock1.LocalPort = 2100
  Winsock1.Listen
  lblConnect.Caption = "Listennig Connecttion"
  End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
  If Timer - Start > ResponseTimeOut Then
    TimeOut = True
    OkFlag = False
  End If
End Sub
Private Sub Winsock1_ConnectionRequest(ByVal requestID As Long)
If Winsock1.State <> sckClosed Then Winsock1.Close
    Winsock1.Accept requestID
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 lblConnect.Caption = "Connected"
 lblIP.Caption = Winsock1.RemoteHostIP
 End Sub
Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
Dim Data() As Byte
Dim AA$, BB$, X&, d As Single
Static Rec As Boolean
Static TotalLen&
Static IsLen&
Static FN%
Static TM As Single

 Winsock1.GetData Data, vbString
 If Data(0) = 97 And Data(1) = 30 Then
  Winsock1.Close
  Call Form_Load
End If
  If Awaiting Then
   If Data(0) = 77 Then OkFlag = False
  Else
   If UBound(Data) = 273 And Not Rec Then
    For X = 0 To UBound(Data)
     AA = AA & Chr$(Data(X))
    Next X

    If Left$(AA, 9) = "New Data|" Then
     TotalLen = CLng("&H" & Mid$(AA, 10, 8))
     If TotalLen <> 0 Then
      BB = Trim$(Mid$(AA, 18))
      lblName.Caption = BB
      lblFilelen.Caption = Int(TotalLen / 1024) & " kB"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Call New_Folder
    lblFolder.Caption = Dir1.Path & "\" & BB
    TM = Timer
    Call Disable
   Else
    TotalLen = 0
   End If
  End If

  If TotalLen <> 0 Then
   Winsock1.SendData 77
   Rec = True
   FN = FreeFile
   IsLen = 0
   If Dir$(lblFolder.Caption) <> "" Then
    Kill lblFolder.Caption
   End If
   Open lblFolder.Caption For Binary As #FN
  End If
 ElseIf Rec Then
  Put #FN, , Data
  IsLen = IsLen + UBound(Data) + 1

  d = (Timer - TM)
 If d <> 0 Then lbltranfering.Caption = Int(IsLen / 1024 / d) & " kB/Sec"

  Call ProgressBar(IsLen, 0, TotalLen)
  If IsLen = TotalLen Then
   Close FN
   Call ProgressBar(0, 0, TotalLen)
   Rec = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Call Enable
        TotalLen = 0
        File1.Refresh
        BB = LastPath(lblFolder.Caption)
        If File1.ListCount > 0 Then
         For X = 0 To File1.ListCount - 1
          If File1.List(X) = BB Then
           File1.ListIndex = X
           Exit For
          End If
         Next X
        End If
       End If
       Winsock1.SendData 77
       End If
      End If
End Sub

Private Sub ProgressBar(ByVal Prg&, ByVal Min&, ByVal Max&)
 Dim Fx&
 Static LastX
  If Prg < Min Or Prg > Max Or Max <= Min Then Exit Sub
  Prg = Int(100 / (Max - Min) * (Prg - Min))
  Prg1.Caption = Prg & "%"
End Sub

Private Function WaitForResponse() As Boolean
 OkFlag = True
 TimeOut = False
 Start = Timer
 Timer1.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 Do While OkFlag
  DoEvents
 Loop
 If Not TimeOut Then WaitForResponse = True
 Timer1.Enabled = False
End Function

Private Function LastPath(ByVal Path$) As String
  Dim AA$, BB$, X&
   For X = Len(Path) To 1 Step -1
    AA = Mid$(Path, X, 1)
    If AA = "/" Or AA = "\" Then
     Exit For
    Else
     BB = AA & BB
    End If
   Next X
   LastPath = BB
End Function

Private Sub Disable()
 Dir1.Enabled = False
 MousePointer = vbHourglass
End Sub

Private Sub Enable()
 Dir1.Enabled = True
 MousePointer = vbDefault
End Sub

Private Sub New_Folder()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim a, b As Integer
Dim Makedir As Boolean
Dim Newfolder, D2 As String
D2 = Format(Date, "dd-mm-yyyy")
If D2 = D1 Then
Exit Sub
End If
D1 = Format(Date, "dd-mm-yyyy")
Newfolder = "W" & D1
 Dir1.Path = App.Path
  a = Dir1.ListCount
   For b = 0 To a Step 1
      If Dir1.List(b) = App.Path & "\" & "work" Then
         Makedir = True
         Exit For
      Else
         Makedir = False
      End If
   Next
 If Makedir = False Then
   MkDir "work"
 End If
 Dir1.Path = App.Path & "\" & "work"
 a = Dir1.ListCount
 For b = 0 To a Step 1
      If Dir1.List(b) = App.Path & "\" & "work" & "\" & Newfolder Then
         Makedir = True
         Exit For
      Else
         Makedir = False
      End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Next
    ChDir Dir1.Path
    If Makedir = False Then
     MkDir Newfolder
     End If
     ChDir Dir1.Path & "\" & Newfolder
     Dir1.Path = Dir1.Path & "\" & Newfolder
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

Source code โปรแกรม MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;#########################################################
;####                CONTROL MCS51 #1
;#########################################################
        ORG   0100H

MAIN:           MOV P1,#00000001B       ;CH1 : S1 S2 S3 S4 OE X X Ch1/Ch2

                MOV P2,#10000000B   ;CH2 :  2.01MHz 991kHz 500kHz 125kHz

; กำหนดตั้งค่าให้กับ Timer1 เพื่อใช้สร้าง Baud Rate ในการรับส่งข้อมูล
                MOV IE,#00000000B
                MOV TMOD,#00100000B
                MOV TL1,#0FDH
                MOV TH1,#0FDH

; กำหนดค่าให้กับ SCON Register โดยเลือกโหมด 1 และให้รับข้อมูล REN=1
                MOV SCON,#01010000B
                SETB TR1
                MOV P0,#00000000B  ; เซทค่าให้พอร์ตบนาน P0 เป็น 0 ทุกบิต
                MOV A,#00H

; รูทีนรับข้อมูลทาง Serial Port
GetData:        JNB RI,$
                CLR RI
                MOV A,SBUF
A1_100:         CJNE A,#01000001B,A1_10         ;001   1/100  A
                MOV P1,#00000001B

A1_10:      CJNE A,#01000010B,A1_1              ;002   1/10  B
                MOV P1,#01100001B

A1_1:           CJNE A,#01000011B,CH2           ;003   1/1   C
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV P1,#10100001B

CH2:            CJNE A,#01001000B,SENDDATA      ;008    H
                MOV P1,#00000000B

SENDDATA:       CJNE A,#01001001B,GetData       :008    I
                MOV R0,#32H
                JMP SENDDATA1
SENDDATA1:      MOV SBUF,P0 ;ส่ง Data เข้าคอมทาง Serial Port
                JNB TI,$
                CLR TI
                DJNZ R1,SENDDATA1
                DJNZ R0,SENDDATA1
                JMP  GetData
                END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;##################################################################
;####                    CONTROL MCS51 #1
;##################################################################
        ORG    0100H

MAIN:           MOV P1,#00000000B    ;CH1 : S1 S2 S3 S4 OE X X X
                MOV P2,#10000000B    ;CH2 :  2.01MHz 991kHz 500kHz 125kHz

; กำหนดตั้งค่าให้กับ Timer1 เพื่อใช้สร้าง Baud Rate ในการรับส่งข้อมูล
                MOV IE,#00000000B
                MOV TMOD,#00100000B
                MOV TL1,#0FDH
                MOV TH1,#0FDH

; กำหนดค่าให้กับ SCON Register โดยเลือกโหมด 1 และให้รับข้อมูล REN=1
                MOV SCON,#01010000B
                SETB TR1
                MOV P0,#00000000B  ; เซทค่าให้พอร์ตบนาน P0 เป็น 0 ทุกบิต
                MOV A,#00H

; รูทีนรับข้อมูลทาง Serial Port
GetData:        JNB RI,$
                CLR RI
                MOV A,SBUF
A1_100:         CJNE A,#01001000B,A1_10          ;001   1/100  H
                MOV P1,#00000000B

A1_10:          CJNE A,#01001010B,A1_1           ;002   1/10   J
                MOV P1,#01100000B

A1_1:           CJNE A,#01001011B,CH1            ;003   1/1    K
```

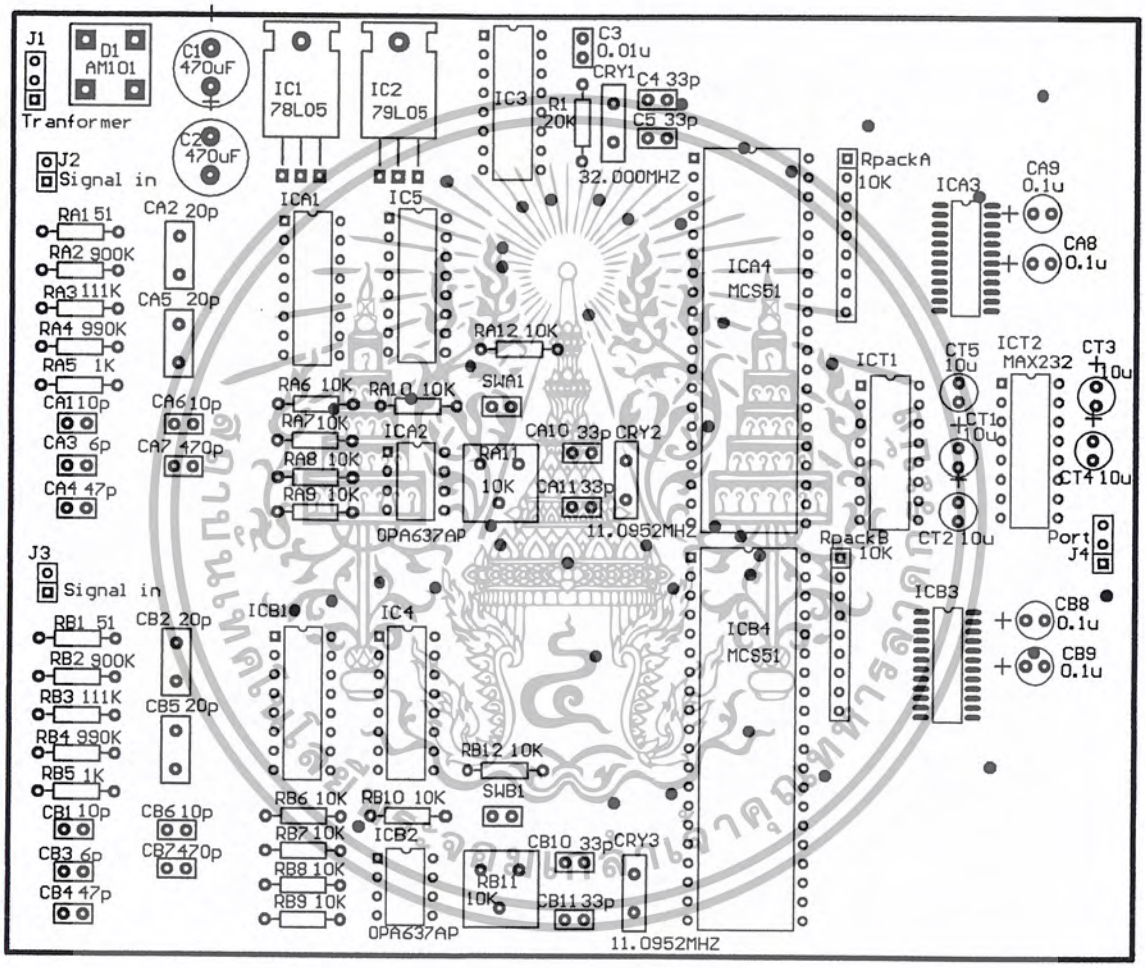
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV P1,#10100000B

CH1:            CJNE A,#01000001B,SENDDATA      ;001    A
                MOV P1,#00000001B

SENDDATA:       CJNE A,#01010001B,GetData       ;008    Q
                MOV R0,#32H
                JMP SENDDATA1

SENDDATA1:      MOV SBUF,P0 ;ส่ง Data เข้าคอมทาง Serial Port
                JNB TI,$
                CLR TI
                DJNZ R1,SENDDATA1
                DJNZ R0,SENDDATA1
                JMP GetData
                END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

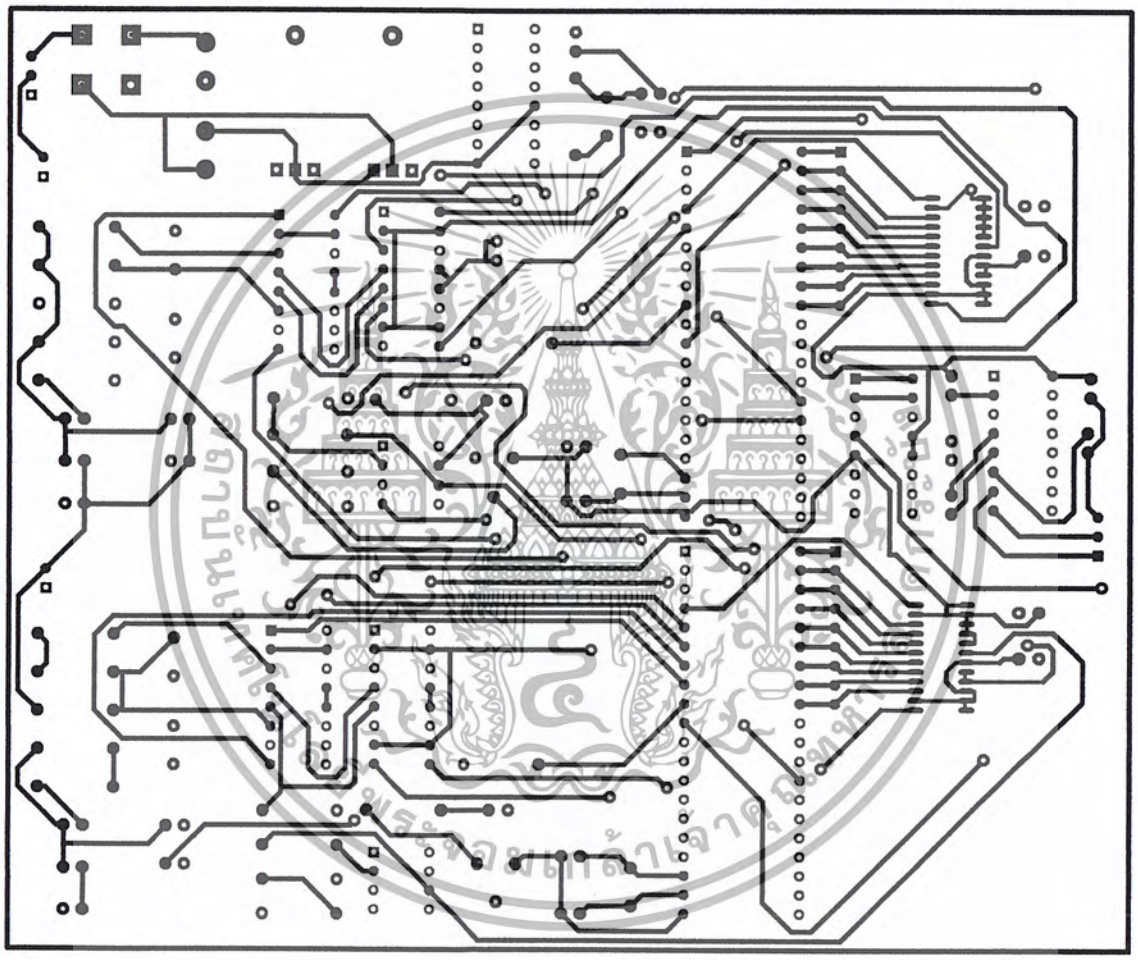
ภาคผนวก ค.
วงจรอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



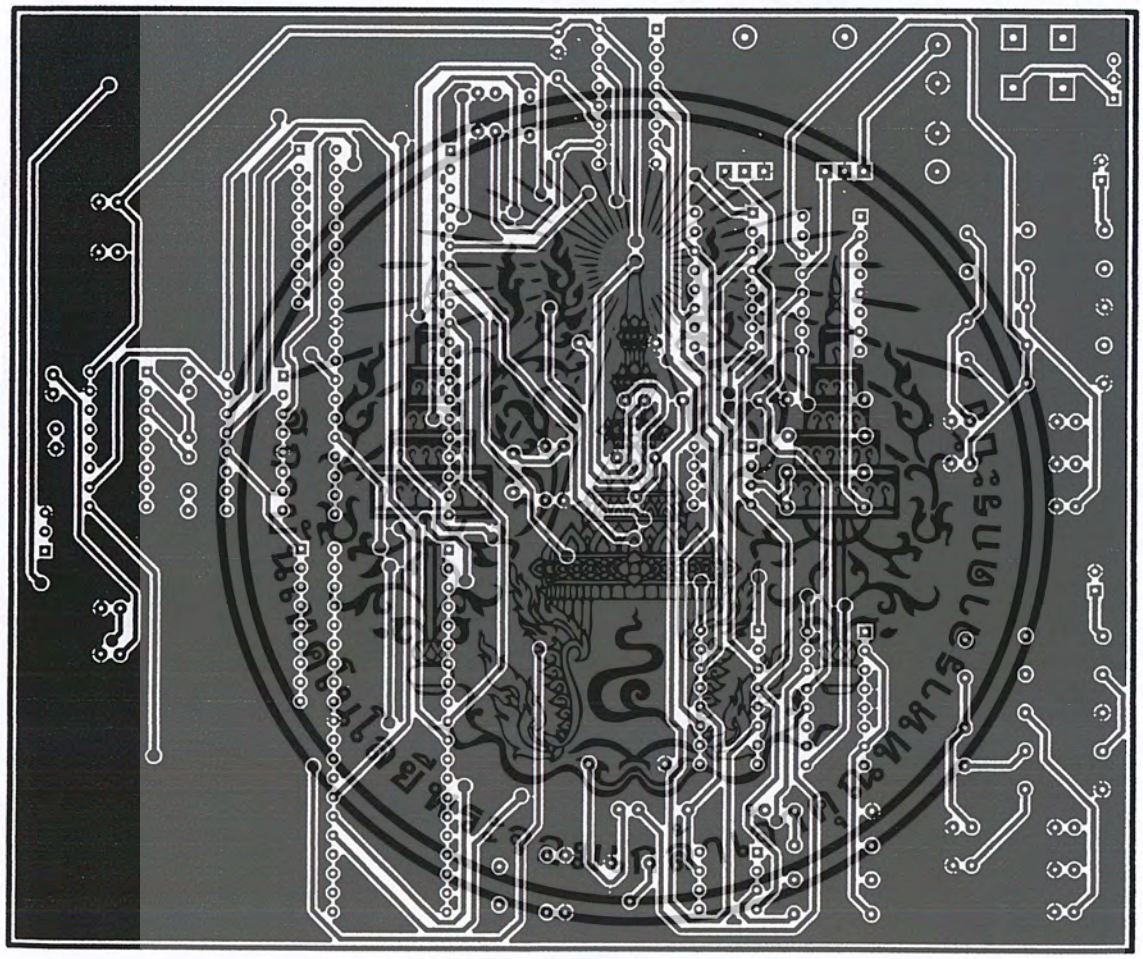
รูปที่ ค.1 การวางตัวอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



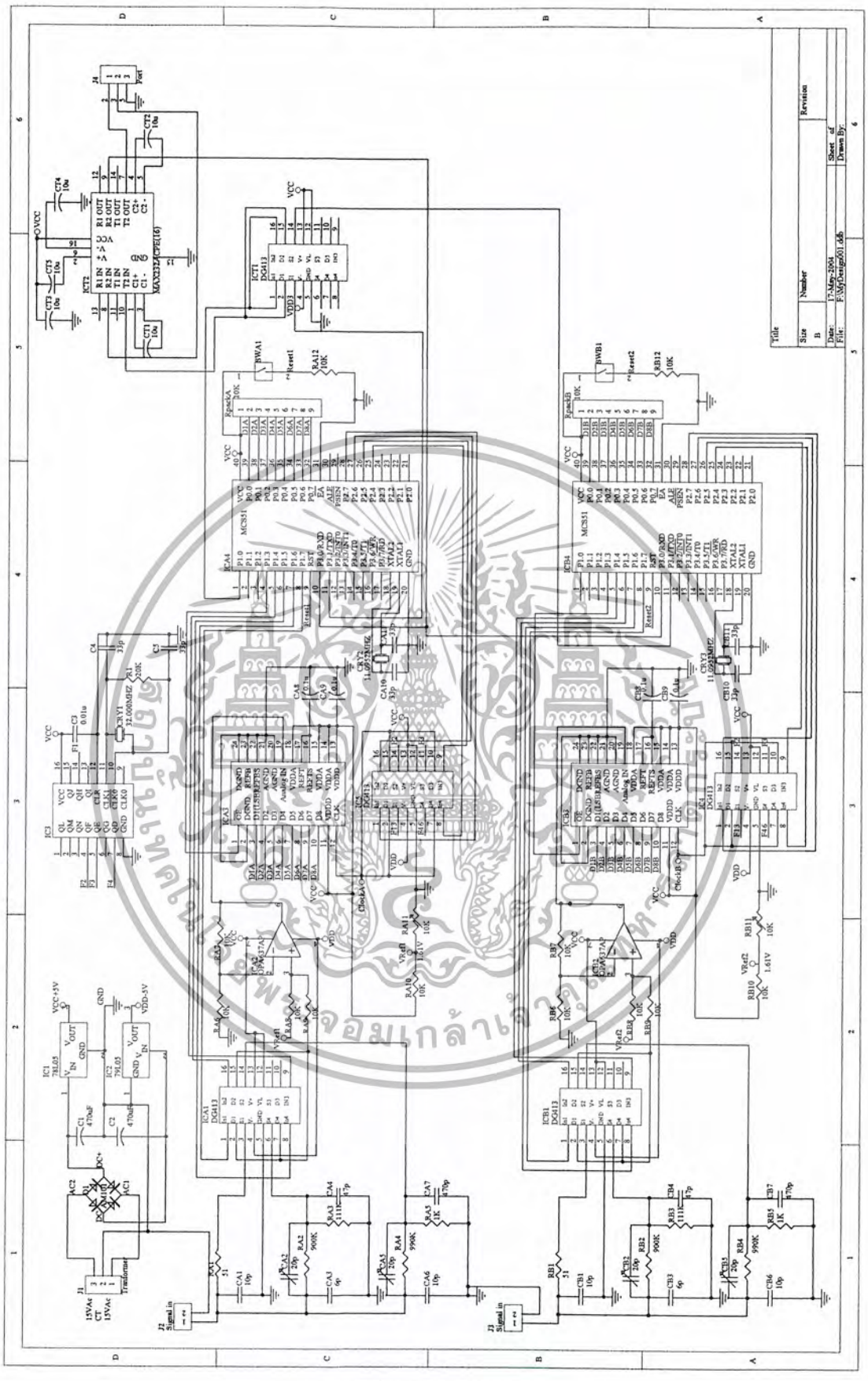
รูปที่ ค.2 รายทองแดงด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 รายทองแดงด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 รายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

Data sheet

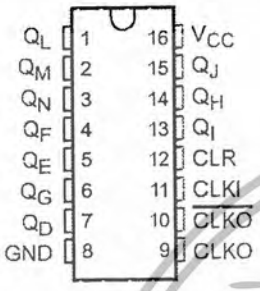
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54HC4060, SN74HC4060
14-STAGE ASYNCHRONOUS BINARY COUNTERS AND OSCILLATORS

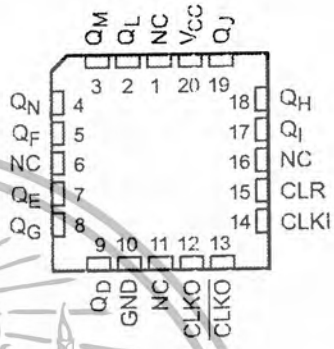
SCLS161D – DECEMBER 1982 – REVISED SEPTEMBER 2003

- Wide Operating Voltage Range of 2 V to 6 V
- Outputs Can Drive Up To 10 LSTTL Loads
- Low Power Consumption, 80-µA Max I_{CC}
- Typical t_{pd} = 14 ns
- ±4-mA Output Drive at 5 V
- Low Input Current of 1 µA Max
- Allow Design of Either RC- or Crystal-Oscillator Circuits

SN54HC4060 . . . J OR W PACKAGE
SN74HC4060 . . . D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54HC4060 . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

description/ordering information

The 'HC4060 devices consist of an oscillator section and 14 ripple-carry binary counter stages. The oscillator configuration allows design of either RC- or crystal-oscillator circuits. A high-to-low transition on the clock (CLKI) input increments the counter. A high level at the clear (CLR) input disables the oscillator ($\overline{CLKO}$ goes high and CLKO goes low) and resets the counter to zero (all Q outputs low).

ORDERING INFORMATION

T_A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
−40°C to 85°C	PDIP – N	Tube of 25	SN74HC4060N	SN74HC4060N
	SOIC – D	Tube of 40	SN74HC4060D	HC4060
		Reel of 2500	SN74HC4060DR	
		Reel of 250	SN74HC4060DT	
	SOP – NS	Reel of 2000	SN74HC4060NSR	HC4060
	SSOP – DB	Reel of 2000	SN74HC4060DBR	HC4060
	TSSOP – PW	Tube of 90	SN74HC4060PW	HC4060
		Reel of 2000	SN74HC4060PWR	
		Reel of 250	SN74HC4060PWT	
−55°C to 125°C	CDIP – J	Tube of 25	SNJ54HC4060J	SNJ54HC4060J
	CFP – W	Tube of 150	SNJ54HC4060W	SNJ54HC4060W
	LCCC – FK	Tube of 55	SNJ54HC4060FK	SNJ54HC4060FK

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

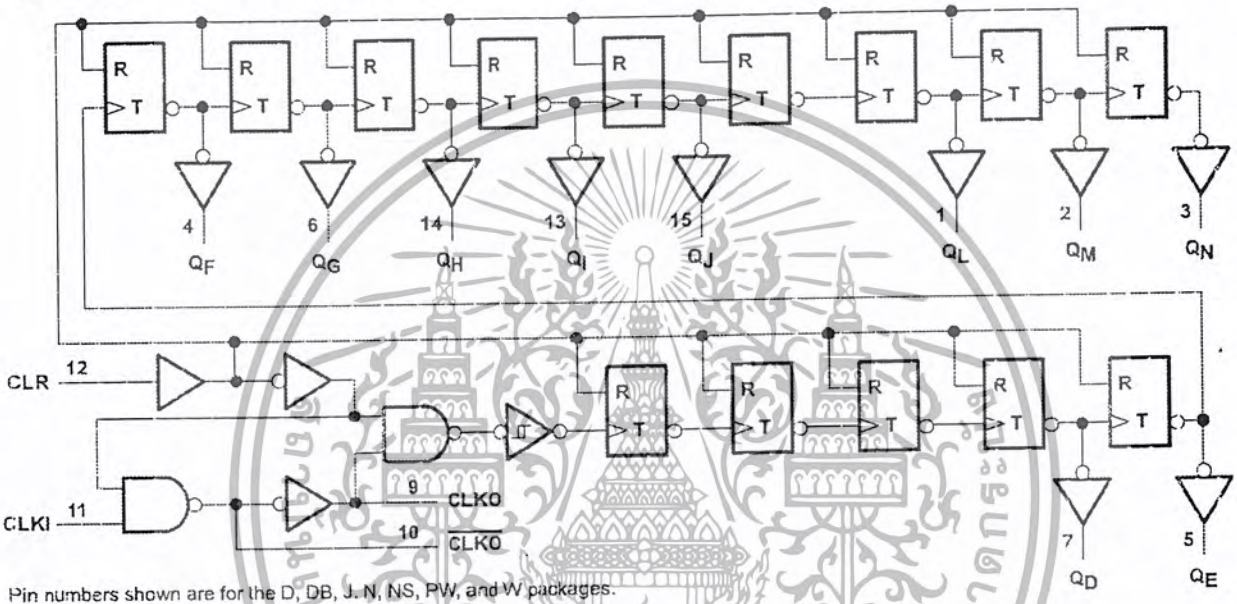
Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTION TABLE
(each buffer)

INPUTS		FUNCTION
CLK	CLR	
↑	L	No change
↓	L	Advance to next stage
X	H	All outputs L

logic diagram (positive logic)



Pin numbers shown are for the D, DB, J, N, NS, PW, and W packages.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage range, V_{CC} ..... −0.5 V to 7 V
Input clamp current, I_{IK} ($V_I < 0$ or $V_I > V_{CC}$) (see Note 1) ..... ±20 mA
Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$) (see Note 1) ..... ±20 mA
Continuous output current, I_O ($V_O = 0$ to V_{CC}) ..... ±25 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package ..... 73°C/W
DB package ..... 82°C/W
N package ..... 67°C/W
NS package ..... 64°C/W
PW package ..... 108°C/W
Storage temperature range, T_{stg} ..... −65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

recommended operating conditions (see Note 3)

			SN54HC4060			SN74HC4060			UNIT
			MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V_{CC}	Supply voltage		2	5	6	2	5	6	V
V_{IH}	High-level input voltage	V_{CC} = 2 V	1.5			1.5			V
		V_{CC} = 4.5 V	3.15			3.15			
		V_{CC} = 6 V	4.2			4.2			
V_{IL}	Low-level input voltage	V_{CC} = 2 V			0.5			0.5	V
		V_{CC} = 4.5 V			1.35			1.35	
		V_{CC} = 6 V			1.8			1.8	
V_I	Input voltage		0		V_{CC}	0		V_{CC}	V
V_O	Output voltage		0		V_{CC}	0		V_{CC}	V
$\Delta t/\Delta v$	Input transition rise/fall time	V_{CC} = 2 V			1000			1000	ns
		V_{CC} = 4.5 V			500			500	
		V_{CC} = 6 V			400			400	
T_A	Operating free-air temperature		−55		125	−40		85	°C

NOTE 3: All unused inputs of the device must be held at V_{CC} or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		V_{CC}	T_A = 25°C			SN54HC4060		SN74HC4060		UNIT
					MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
V_{OH}	All outputs	V_I = V_{IH} or V_{IL}	I_{OH} = −20 μA	2 V	1.9	1.998		1.9		1.9		V
				4.5 V	4.4	4.499		4.4		4.4		
				6 V	5.9	5.999		5.9		5.9		
	Q outputs	V_I = V_{IH} or V_{IL}	I_{OH} = −4 mA	4.5 V	3.98	4.3		3.7		3.84		
			I_{OH} = −5.2 mA	6 V	5.48	5.8		5.2		5.34		
V_{OL}	All outputs	V_I = V_{IH} or V_{IL}	I_{OL} = 20 μA	2 V		0.002	0.1		0.1		0.1	V
				4.5 V		0.001	0.1		0.1		0.1	
				6 V		0.001	0.1		0.1		0.1	
	Q outputs	V_I = V_{IH} or V_{IL}	I_{OL} = 4 mA	4.5 V		0.17	0.26		0.4		0.33	
			I_{OL} = 5.2 mA	6 V		0.15	0.26		0.4		0.33	
I_I		V_I = V_{CC} or 0		6 V			±0.1		±100		±1000	nA
I_{CC}		V_I = V_{CC} or 0,	I_O = 0	6 V			8		160		80	μA
C_i				2 V to 6 V		3	10		10		10	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

timing requirements over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		V_{CC}	T_A = 25°C		SN54HC4060		SN74HC4060		UNIT
			MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
f_{clock} Clock frequency		2 V		5.5		3.7		4.3	MHz
		4.5 V		28		19		22	
		6 V		33		22		25	
t_w Pulse duration	CLKI high or low	2 V	90		135		115		ns
		4.5 V	18		27		23		
		6 V	15		23		20		
	CLR high	2 V	90		135		115		
		4.5 V	18		27		23		
		6 V	15		23		20		
t_{su} Setup time, CLR inactive before CLKI↓		2 V	160		240		200		ns
		4.5 V	32		48		40		
		6 V	27		41		34		

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range, C_L = 50 pF (unless otherwise noted) (see Figure 1)

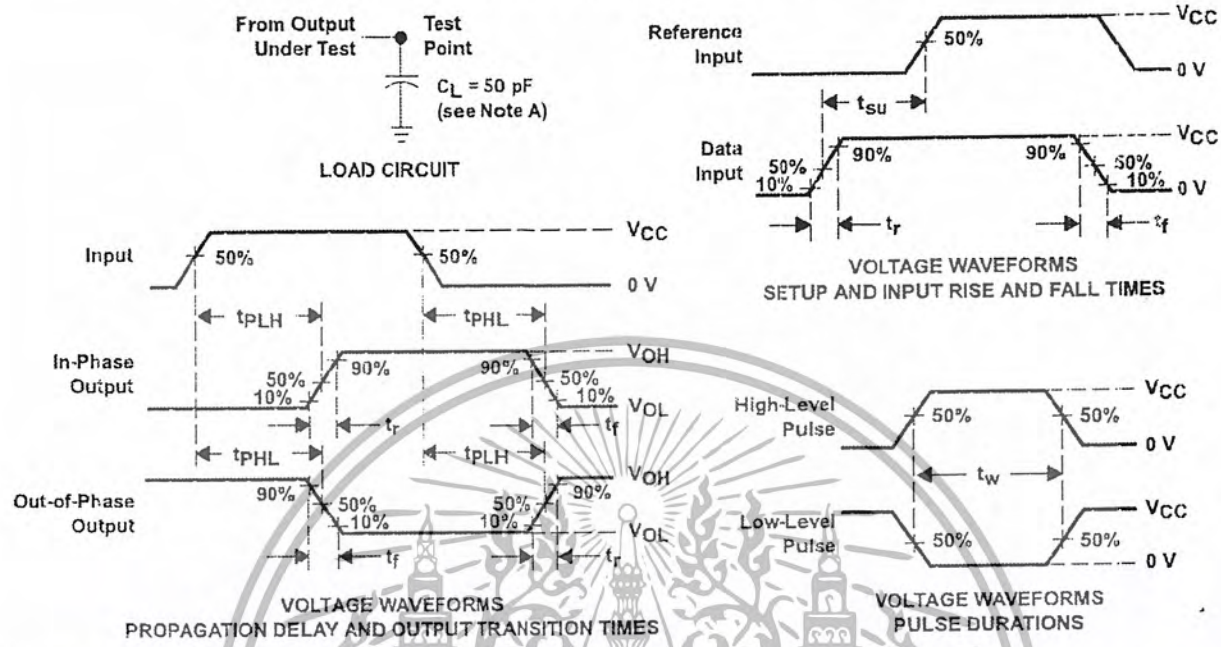
PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	V_{CC}	T_A = 25°C			SN54HC4060		SN74HC4060		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
f_{max}			2 V	5.5	10		3.7		4.3		MHz
			4.5 V	28	45		19		22		
			6 V	33	53		22		25		
t_{pd}	CLKI	Q_D	2 V		240	490		735		615	ns
			4.5 V		58	98		147		123	
			6 V		42	83		125		105	
t_{PHL}	CLR	Any Q	2 V		66	140		210		175	ns
			4.5 V		18	28		42		35	
			6 V		14	24		36		30	
t_t		Any	2 V		28	75		110		95	ns
			4.5 V		8	15		22		19	
			6 V		6	30		19		16	

operating characteristics, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
C_{pd}	Power dissipation capacitance	No load	88	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES: A. C_L includes probe and test-fixture capacitance.
B. Phase relationships between waveforms were chosen arbitrarily. All input pulses are supplied by generators having the following characteristics: PRR ≤ 1 MHz, Z_O = 50 Ω, t_r = 6 ns, t_f = 6 ns.
C. For clock inputs, f_{max} is measured when the input duty cycle is 50%.
D. The outputs are measured one at a time with one input transition per measurement.
E. t_{PLH} and t_{PHL} are the same as t_{pd}.

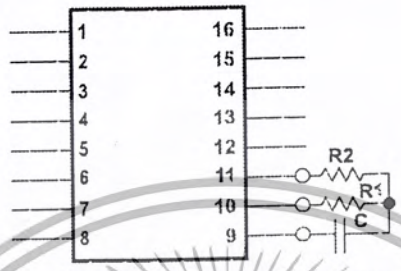
Figure 1. Load Circuit and Voltage Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONNECTING AN RC-OSCILLATOR CIRCUIT TO THE 'HC4060 DEVICES

The 'HC4060 devices consist of an oscillator section and 14 ripple-carry binary counter stages. The oscillator configuration allows design of either RC- or crystal-oscillator circuits.

When an RC-oscillator circuit is implemented, two resistors and a capacitor are required. The components are attached to the terminals as shown:



To determine the values of capacitance and resistance necessary to obtain a specific oscillator frequency (f), use this formula:

$$f = \frac{1}{2(R1)(C)\left(\frac{0.405\,R2}{R1+R2} + 0.693\right)}$$

If R2 > > R1 (i.e., R2 = 10R1), the above formula simplifies to:

$$f = \frac{0.455}{RC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-4728; Rev 3; 9/99

MAXIM

Improved, Quad, SPST Analog Switches

General Description

Maxim's redesigned DG411/DG412/DG413 analog switches now feature low on-resistance matching between switches (3Ω max) and guaranteed on-resistance flatness over the signal range (Δ4Ω max). These low on-resistance switches conduct equally well in either direction. They guarantee low charge injection, low power consumption, and an ESD tolerance of 2000V minimum per Method 3015.7. The new design offers lower off leakage current over temperature (less than 5nA at +85°C).

The DG411/DG412/DG413 are quad, single-pole/single-throw (SPST) analog switches. The DG411 is normally closed (NC), and the DG412 is normally open (NO). The DG413 has two NC switches and two NO switches. Switching times are less than 150ns max for t_{ON} and less than 100ns max for t_{OFF}. These devices operate from a single +10V to +30V supply, or bipolar ±4.5V to ±20V supplies. Maxim's improved DG411/DG412/DG413 are fabricated with a 44V silicon-gate process.

New Features

- **Plug-In Upgrade for Industry-Standard DG411/DG412/DG413**
- **Improved $r_{DS(ON)}$ Match Between Channels (3Ω max)**
- **Guaranteed $r_{FLAT(ON)}$ Over Signal Range (Δ4Ω)**
- **Improved Charge Injection (10pC max)**
- **Improved Off Leakage Current Over Temperature (<5nA at +85°C)**
- **Withstand Electrostatic Discharge (2000V min) per Method 3015.7**

Existing Features

- **Low $r_{DS(ON)}$ (35Ω max)**
- **Single-Supply Operation +10V to +30V**
- **Bipolar-Supply Operation ±4.5V to ±20V**
- **Low Power Consumption (35µW max)**
- **Rail-to-Rail Signal Handling**
- **TTL/CMOS-Logic Compatible**

Applications

- Sample-and-Hold Circuits
- Test Equipment
- Heads-Up Displays
- Guidance & Control Systems
- Military Radios
- Communication Systems
- Battery-Operated Systems
- PBX, PABX
- Audio Signal Routing

Ordering Information

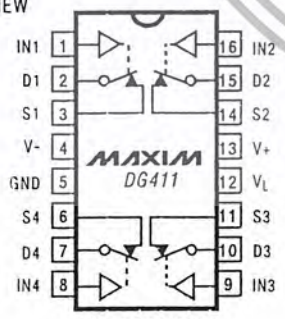
PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
DG411CJ	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
DG411CUE	0°C to +70°C	16 TSSOP
DG411CY	0°C to +70°C	16 Narrow SO
DG411C/D	0°C to +70°C	Dice*

Ordering Information continued at end of data sheet.

**Contact factory for dice specifications.*

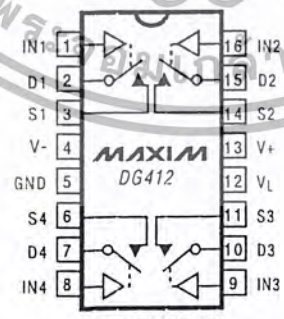
Pin Configurations/Functional Diagrams/Truth Tables

TOP VIEW



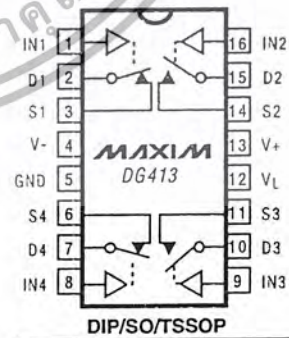
DIP/SO/TSSOP

DG411	
LOGIC	SWITCH
0	ON
1	OFF



DIP/SO/TSSOP

DG412	
LOGIC	SWITCH
0	OFF
1	ON



DIP/SO/TSSOP

DG413		
LOGIC	SWITCHES 1, 4	SWITCHES 2, 3
0	OFF	ON
1	ON	OFF

SWITCHES SHOWN FOR LOGIC "0" INPUT

For free samples & the latest literature: http://www.maxim-ic.com, or phone 1-800-998-8800. For small orders, phone 1-800-835-8769.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improved, Quad, SPST Analog Switches

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Referenced to V-
V+ 44V
GND 25V
V_L ..... (GND -0.3V) to (V+ +0.3V)
Digital Inputs, V_S, V_D (Note 1)..... (V- -2V) to (V+ +2V) or 30mA (whichever occurs first)
Continuous Current (any terminal) 30mA
Peak Current
(pulsed at 1ms, 10% duty cycle max) 100mA

Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C) .842mW
16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) ...696mW
16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)..... 800mW
16-Pin TSSOP (derate 6.7mW/°C above +70°C) 457mW
Operating Temperature Ranges
DG41_C_ ..... 0°C to +70°C
DG41_D_ ..... -40°C to +85°C
DG41_AK_ ..... -55°C to +125°C
Storage Temperature Range ..... -65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10sec) ..... +300°C

Note 1: Signals on S, D, or IN exceeding V+ or V- are clamped by internal diodes. Limit forward current to maximum current rating.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—Dual Supplies

(V+ = 15V, V- = -15V, V_L = 5V, GND = 0V, V_{INH} = 2.4V, V_{INL} = 0.8V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS			MIN	TYP (Note 2)	MAX	UNITS
SWITCH								
Analog Signal Range	V_{ANALOG}	(Note 3)			-15		15	V
Drain-Source On-Resistance	$r_{DS(ON)}$	V+ = 13.5V, V- = -13.5V, V_D = ±8.5V, I_S = -10mA	T_A = +25°C	C, D		17	45	Ω
				A		17	30	
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}				45	
On-Resistance Match Between Channels (Note 4)	$\Delta r_{DS(ON)}$	V+ = 15V, V- = -15V, V_D = ±10V, I_S = -10mA	T_A = +25°C				3	Ω
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}				5	
On-Resistance Flatness (Note 4)	$r_{FLAT(ON)}$	V+ = 15V, V- = -15V, V_D = ±5V, 0V, I_S = -10mA	T_A = +25°C				4	Ω
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}				6	
Source-Off Leakage Current (Note 7)	$I_{S(OFF)}$	V+ = 16.5V, V- = -16.5V, V_D = ±15.5V, V_S = ∓15.5V	T_A = +25°C	C, D, A	-0.25	-0.10	0.25	nA
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}	C, D	-5		5	
				A	-10		10	
Drain-Off Leakage Current (Note 7)	$I_{D(OFF)}$	V+ = 16.5V, V- = -16.5V, V_D = ±15.5V, V_S = ∓15.5V	T_A = +25°C	C, D, A	-0.25	-0.10	0.25	nA
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}	C, D	-5		5	
				A	-10		10	
Drain-On Leakage Current (Note 7)	$I_{D(ON)}$ + $I_{S(ON)}$	V+ = 16.5V, V- = -16.5V, V_D = ±15.5V, V_S = ∓15.5V	T_A = +25°C	C, D, A	-0.4	-0.1	0.4	nA
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}	C, D	-20		20	
				A	-40		40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—Dual Supplies (continued)

(V+ = 15V, V- = -15V, V_L = 5V, GND = 0V, V_{INH} = 2.4V, V_{INL} = 0.8V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP (Note 2)	MAX	UNITS
INPUT							
Input Current with Input Voltage High	I_{INH}	IN = 2.4V, all others = 0.8V		-0.500	0.005	0.500	µA
Input Current with Input Voltage Low	I_{INL}	IN = 0.8V, all others = 2.4V		-0.500	0.005	0.500	µA
SUPPLY							
Power-Supply Range				±4.5		±20.0	V
Positive Supply Current	I+	All channels on or off, V+ = 16.5V, V- = -16.5V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	0.0001	1	µA
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}	-5		5	
Negative Supply Current	I-	All channels on or off, V+ = 16.5V, V- = -16.5V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	-0.0001	1	µA
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}	-5		5	
Logic Supply Current	I_L	All channels on or off, V+ = 16.5V, V- = -16.5V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	0.0001	1	µA
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}	-5		5	
Ground Current	I_{GND}	All channels on or off, V+ = 16.5V, V- = -16.5V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	-0.0001	1	µA
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}	-5		5	
DYNAMIC							
Turn-On Time	t_{ON}	V_D = ±10V, Figure 2	T_A = +25°C		110	175	ns
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}			220	
Turn-Off Time	t_{OFF}	V_D = ±10V, Figure 2	T_A = +25°C		100	145	ns
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}			160	
Break-Before-Make Time Delay	t_D	DG413 only, R_L = 300Ω, C_L = 35pF, Figure 3	T_A = +25°C		25		ns
Charge Injection (Note 3)	Q	C_L = 1.0nF, V_{GEN} = 0V, R_{GEN} = 0Ω, Figure 4	T_A = +25°C		5	10	pC
Off Isolation (Note 5)	OIRR	R_L = 50Ω, C_L = 5pF, f = 1MHz, Figure 5	T_A = +25°C		68		dB
Crosstalk (Note 6)		R_L = 50Ω, C_L = 5pF, f = 1MHz, Figure 6	T_A = +25°C		85		dB
Source-Off Capacitance	$C_{S(OFF)}$	f = 1MHz, Figure 7	T_A = +25°C		9		pF
Drain-Off Capacitance	$C_{D(OFF)}$	f = 1MHz, Figure 7	T_A = +25°C		9		pF
Drain-On Capacitance	$C_{D(ON)}$ + $C_{S(ON)}$	f = 1MHz, Figure 8	T_A = +25°C		35		pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improved, Quad, SPST Analog Switches

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—Single Supply

(V+ = 12V, V- = 0V, V_L = 5V, GND = 0V, V_{INH} = 2.4V, V_{INL} = 0.8V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP (Note 2)	MAX	UNITS
SWITCH							
Analog Signal Range	V_{ANALOG}	(Note 3)		0		12	V
Drain-Source On Resistance	$r_{DS(ON)}$	V+ = 10.8V, V_D = 3.8V, I_S = -10mA	T_A = +25°C		40	80	Ω
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}			100	
SUPPLY							
Positive Supply Current	I+	All channels on or off, V+ = 13.2V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	0.0001	1	µA
			T_A = T_{MAX}	-5		5	
Negative Supply Current	I-	All channels on or off, V+ = 13.2V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	0.0001	1	µA
			T_A = T_{MAX}	-5		5	
Logic Supply Current	I_L	All channels on or off, V_L = 5.25V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	0.0001	1	µA
			T_A = T_{MAX}	-5		5	
Ground Current	I_{GND}	All channels on or off, V_L = 5.25V, V_{IN} = 0V or 5V	T_A = +25°C	-1	-0.0001	1	µA
			T_A = T_{MAX}	-5		5	
DYNAMIC							
Turn-On Time	t_{ON}	V_S = 8V, Figure 2	T_A = +25°C		175	250	ns
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}			315	
Turn-Off Time	t_{OFF}	V_S = 8V, Figure 2	T_A = +25°C		95	125	ns
			T_A = T_{MIN} to T_{MAX}			140	
Break-Before-Make Time Delay	t_D	DG413 only, R_L = 300Ω, C_L = 35pF, Figure 3	T_A = +25°C		25		ns
Charge Injection (Note 3)	Q	C_L = 1.0nF, V_{GEN} = 0V, R_{GEN} = 0V, Figure 4	T_A = +25°C		5	10	pC

Note 2: The algebraic convention, where the most negative value is a minimum and the most positive value a maximum, is used in this data sheet.

Note 3: Guaranteed by design.

Note 4: $\Delta R_{ON} = \Delta R_{ON}$ max - ΔR_{ON} min. On-resistance match between channels and flatness are guaranteed only with bipolar-supply operation. Flatness is defined as the difference between the maximum and minimum value of on resistance as measured at the extremes of the specified analog signal range.

Note 5: Off Isolation = 20 log (V_D/V_S), V_D = output, V_S = input to off switch. See Figure 5.

Note 6: Between any two switches. See Figure 6.

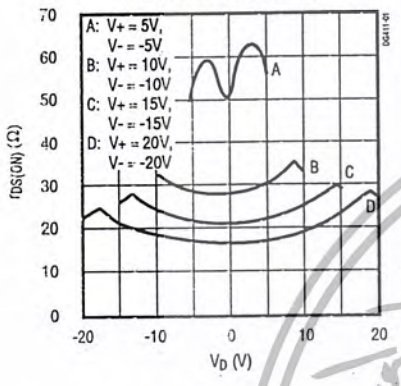
Note 7: Leakage parameters $I_{S(OFF)}$, $I_{D(OFF)}$, and $I_{D(ON)}$ are 100% tested at the maximum rated hot temperature and guaranteed by correlation at +25°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

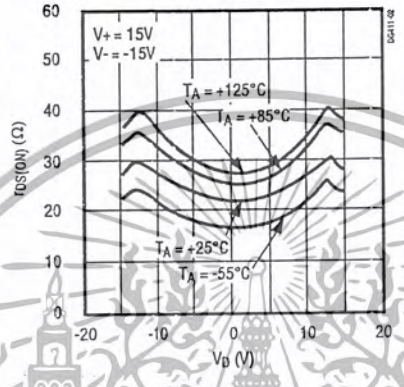
Typical Operating Characteristics

(T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

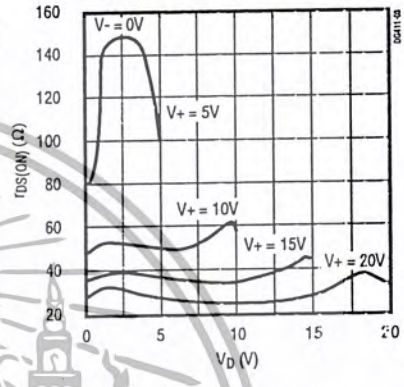
ON-RESISTANCE vs. V_D AND POWER-SUPPLY VOLTAGE



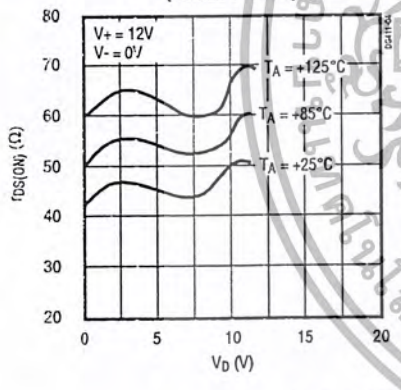
ON-RESISTANCE vs. V_D AND TEMPERATURE



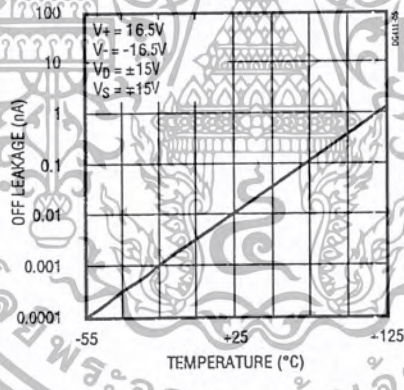
ON-RESISTANCE vs. V_D AND TEMPERATURE (SINGLE SUPPLY)



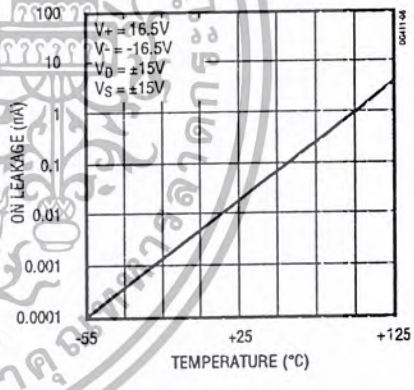
ON-RESISTANCE vs. V_D (SINGLE SUPPLY)



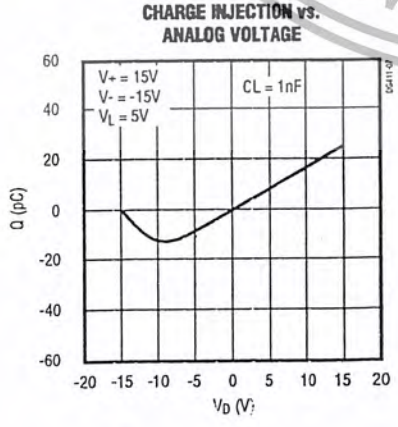
OFF LEAKAGE CURRENTS vs. TEMPERATURE



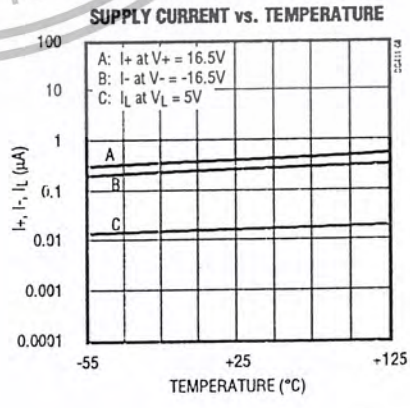
ON LEAKAGE CURRENTS vs. TEMPERATURE



CHARGE INJECTION vs. ANALOG VOLTAGE



SUPPLY CURRENT vs. TEMPERATURE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improved, Quad, SPST Analog Switches

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1, 16, 9, 8	IN1-IN4	Inputs
2, 15, 10, 7	D1-D4	Analog-Switch Drain Terminal
3, 14, 11, 6	S1-S4	Analog-Switch Source Terminal
4	V-	Negative Supply-Voltage Input
5	GND	Ground
12	V_L	Logic Supply Voltage
13	V+	Positive Supply-Voltage Input—connected to substrate

Applications Information

Operation with Supply Voltages Other Than 15V

Using supply voltages other than 15V will reduce the analog signal range. The DG411/DG412/DG413 switches operate with ±4.5V to ±20V bipolar supplies or with a +10V to +30V single supply; connect V- to 0V when operating with a single supply. Also, all device types can operate with unbalanced supplies such as +24V and -5V. V_L must be connected to +5V to be TTL compatible, or to V+ for CMOS-logic level inputs. The *Typical Operating Characteristics* graphs show typical on-resistance with ±15V, ±10V, and ±5V supplies. (Switching times increase by a factor of two or more for operation at ±5V.)

Overvoltage Protection

Proper power-supply sequencing is recommended for all CMOS devices. Do not exceed the absolute maximum ratings because stresses beyond the listed ratings may cause permanent damage to the devices. Always sequence V+ on first, followed by V_L, V-, and logic inputs. If power-supply sequencing is not possible, add two small, external signal diodes in series with supply pins for overvoltage protection (Figure 1). Adding diodes reduces the analog signal range to 1V below V+ and 1V below V-, without affecting low switch resistance and low leakage characteristics. Device operation is unchanged, and the difference between V+ and V- should not exceed +44V.

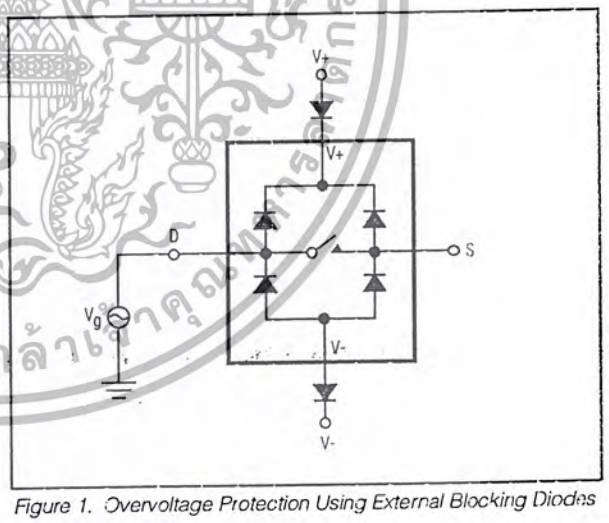


Figure 1. Overvoltage Protection Using External Blocking Diodes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagrams/Test Circuits

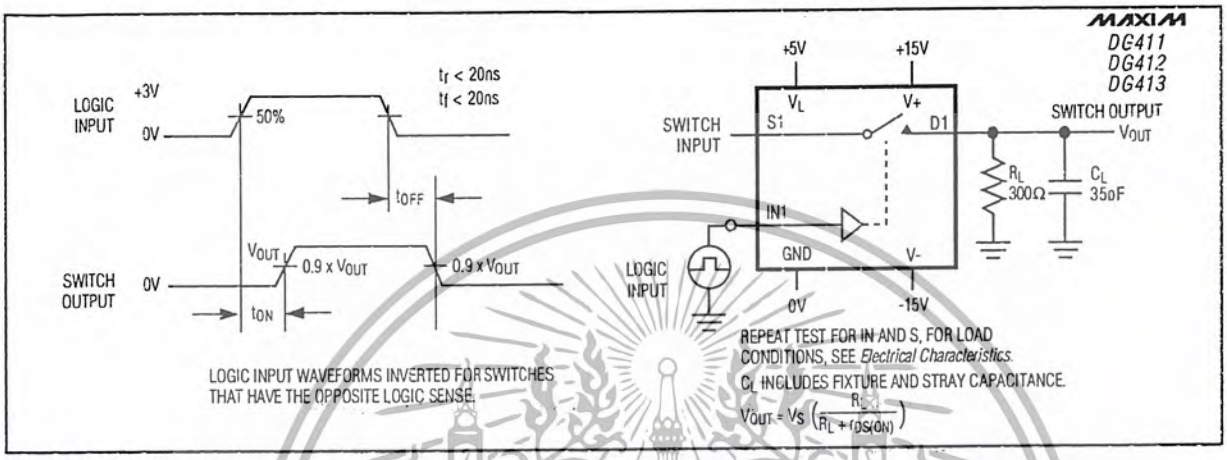


Figure 2. Switching-Time

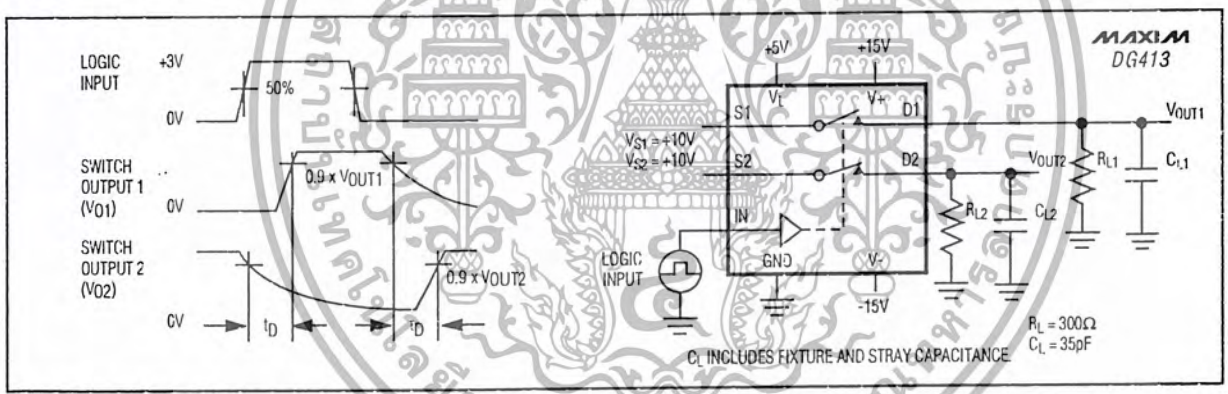


Figure 3. DG413 Break-Before-Make

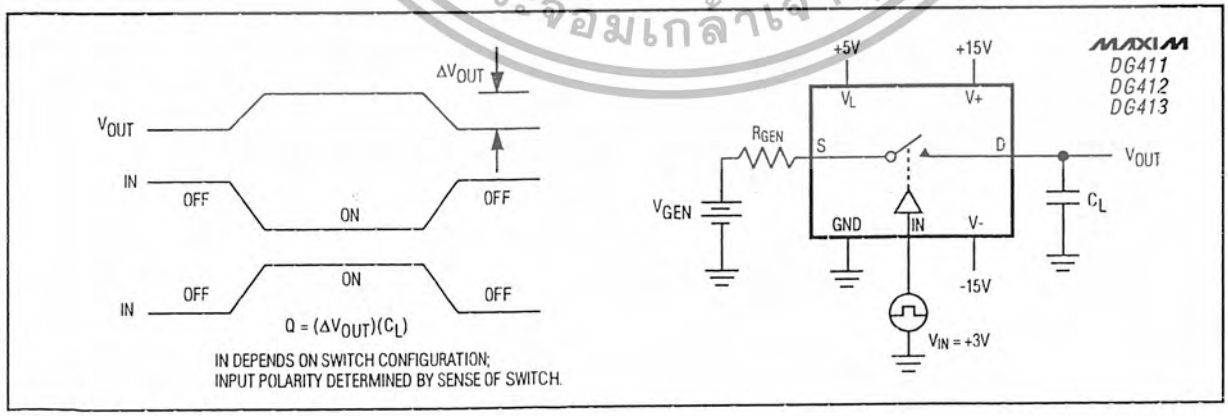


Figure 4. Charge-Injection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improved, Quad, SPST Analog Switches

Timing Diagrams/Test Circuits (continued)

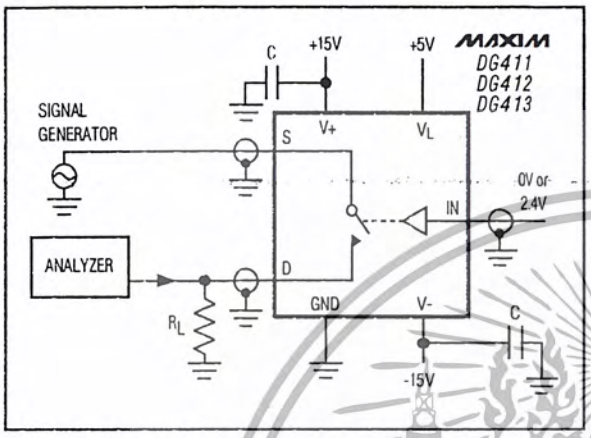


Figure 5. Off-Isolation

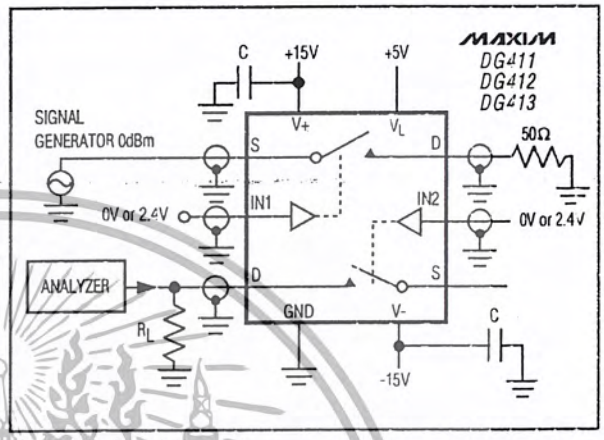


Figure 6. Crosstalk

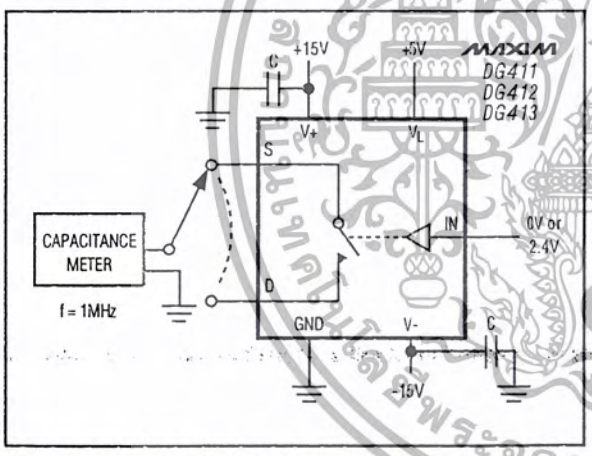


Figure 7. Channel-Off Capacitance

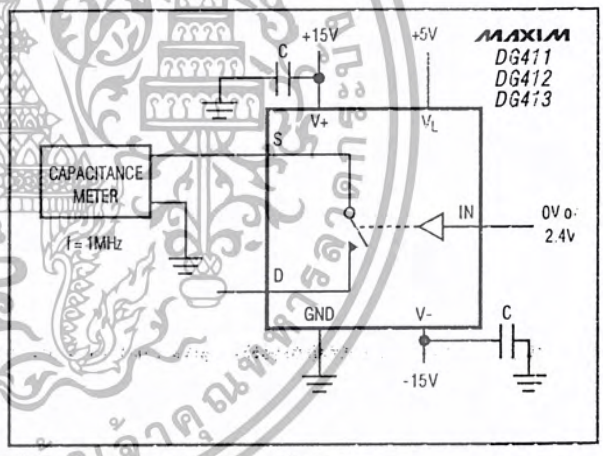


Figure 8. Channel-On Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-BIT HIGH-SPEED ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

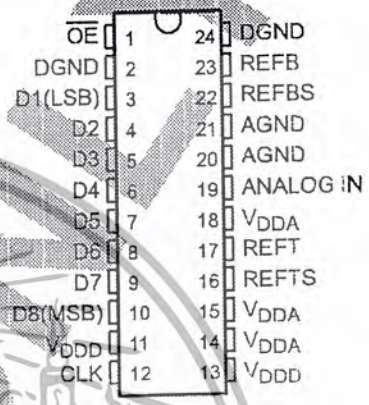
features

- 8-Bit Resolution
- Differential Linearity Error
  - ±0.3 LSB Typ, ±1 LSB Max (25°C)
  - ±1 LSB Max
- Integral Linearity Error
  - ±0.6 LSB, ±0.75 LSB Max (25°C)
  - ±1 LSB Max
- Maximum Conversion Rate of 40 Megasamples Per Second (MSPS) Max
- Internal Sample and Hold Function
- 5-V Single Supply Operation
- Low Power Consumption . . . 85 mW Typ
- Analog Input Bandwidth . . . ≥75 MHz Typ
- Internal Reference Voltage Generators

applications

- Quadrature Amplitude Modulation (QAM) and Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Demodulators
- Digital Television
- Charge-Coupled Device (CCD) Scanners
- Video Conferencing
- Digital Set-Top Box
- Digital Down Converters
- High-Speed Digital Signal Processor Front End

PW OR NS PACKAGE
(TOP VIEW)



AVAILABLE OPTIONS

T_A	PACKAGE	
	TSSOP (PW)	SOP (NS)
0°C to 70°C	TLC5540CPW	TLC5540CNSLE
–40°C to 85°C	TLC5540IPW	TLC5540INSLE

description

The TLC5540 is a high-speed, 8-bit analog-to-digital converter (ADC) that converts at sampling rates up to 40 megasamples per second (MSPS). Using a semiflash architecture and CMOS process, the TLC5540 is able to convert at high speeds while still maintaining low power consumption and cost. The analog input bandwidth of 75 MHz (typ) makes this device an excellent choice for undersampling applications. Internal resistors are provided to generate 2-V full-scale reference voltages from a 5-V supply, thereby reducing external components. The digital outputs can be placed in a high impedance mode. The TLC5540 requires only a single 5-V supply for operation.

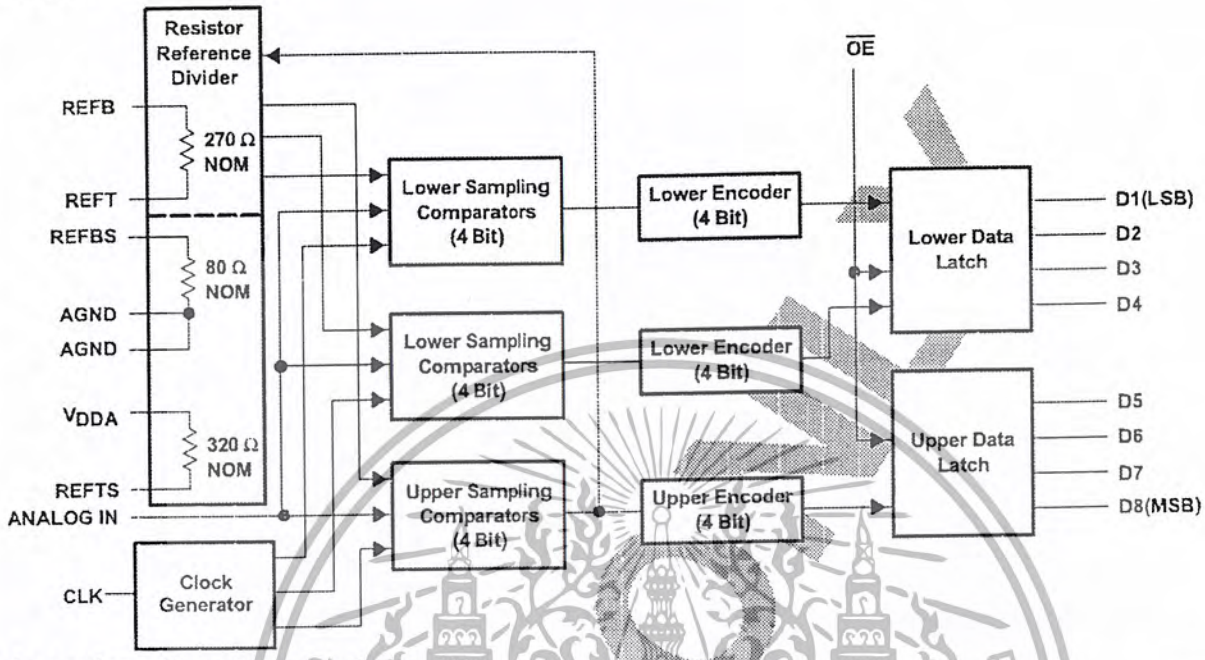
Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

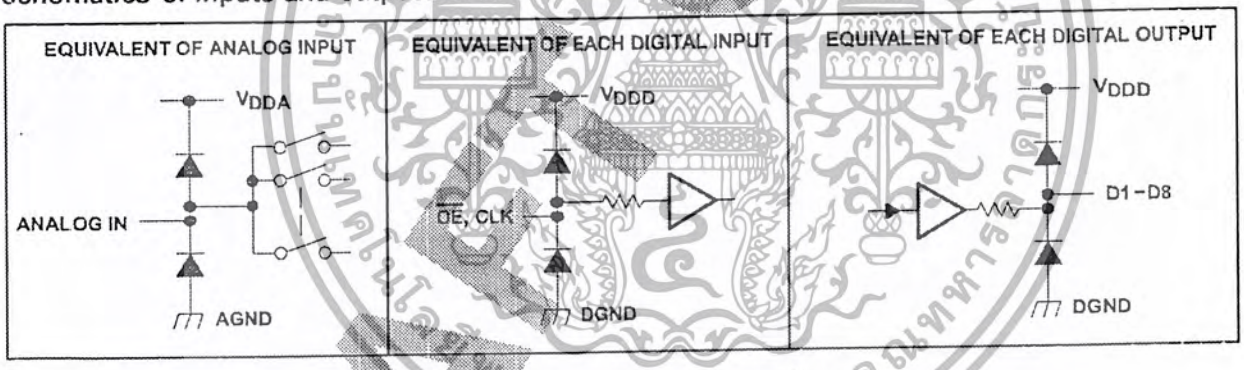
Copyright © 1995-2004, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

functional block diagram



schematics of inputs and outputs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terminal Functions

TERMINAL NAME	TERMINAL NO.	I/O	DESCRIPTION
AGND	20, 21		Analog ground
ANALOG IN	19	I	Analog input
CLK	12	I	Clock input
DGND	2, 24		Digital ground
D1–D8	3–10	O	Digital data out. D1:LSB, D8:MSB
$\overline{OE}$	1	I	Output enable. When $\overline{OE}$ = L, data is enabled. When $\overline{OE}$ = H, D1–D8 is high impedance.
V_{DDA}	14, 15, 18		Analog V_{DD}
V_{DDD}	11, 13		Digital V_{DD}
REFB	23	I	ADC reference voltage in (bottom)
REFBS	22		Reference voltage (bottom). When using the internal voltage divider to generate a nominal 2-V reference, the REFBS terminal is shorted to the REFB terminal and the REFTS terminal is shorted to the REFT terminal (see Figure 13 and Figure 14).
REFT	17	I	Reference voltage in (top)
REFTS	16		Reference voltage (top). When using the internal voltage divider to generate a nominal 2-V reference, the REFTS terminal is shorted to the REFT terminal and the REFBS terminal is shorted to the REFB terminal (see Figure 13 and Figure 14).

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{DDA}, V_{DDD} . . . . . 7 V
Reference voltage input range, $V_{I(REFT)}$, $V_{I(REFB)}$, $V_{I(REFBS)}$, $V_{I(REFTS)}$ . . . . . AGND to V_{DDA}
Analog input voltage range, $V_{I(ANLG)}$ . . . . . AGND to V_{DDA}
Digital input voltage range, $V_{I(DGTL)}$ . . . . . DGND to V_{DDD}
Digital output voltage range, $V_{O(DGTL)}$ . . . . . DGND to V_{DDD}
Operating free-air temperature range, T_A: TLC5540C . . . . . 0°C to 70°C
TLC5540I . . . . . −40°C to 85°C
Storage temperature range, T_{stg} . . . . . −55°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage	V_{DDA}–AGND	4.75	5	5.25	V
	V_{DDD}–AGND	4.75	5	5.25	
	AGND–DGND	−100	0	100	mV
Reference input voltage (top), $V_{I(REFT)}$		$V_{I(REFB)}$+1.8	$V_{I(REFB)}$+2	V_{DDA}	V
Reference input voltage (bottom), $V_{I(REFB)}$		0	0.6	$V_{I(REFT)}$−1.8	V
Analog input voltage range, $V_{I(ANLG)}$ (see Note 1)		$V_{I(REFB)}$		$V_{I(REFT)}$	V
Full scale voltage, $V_{I(REFT)} - V_{I(REFB)}$		1.8		5	V
High-level input voltage, V_{IH}		4			V
Low-level input voltage, V_{IL}				1	V
Pulse duration, clock high, $t_{w(H)}$		12.5			ns
Pulse duration, clock low, $t_{w(L)}$		12.5			ns
Operating free-air temperature, T_A	TLC5540C	0		70	°C
	TLC5540I	−40		85	°C

(1) $1.8\ V \le V_{I(REFT)} - V_{I(REFB)} < V_{DD}$

DRAFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at V_{DD} = 5 V, $V_{I(REFT)}$ = 2.6 V, $V_{I(REFB)}$ = 0.6 V, f_s = 40 MSPS, T_A = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		MIN	TYP	MAX	UNIT
E_L	Linearity error, integral	f_s = 40 MSPS, V_I = 0.6 V to 2.6 V	T_A = 25°C		±0.6	±1	LSB
			T_A = MIN to MAX			±1	
E_D	Linearity error, differential		T_A = 25°C		±0.3	±0.75	
			T_A = MIN to MAX			±1	
	Self bias (1), V_{RB}	Short REFB to REFBS	See Figure 13	0.57	0.61	0.65	V
	Self bias (1), V_{RT}	Short REFT to REFTS		2.47	2.63	2.80	
	Self bias (2), V_{RB}	Short REFB to AGND	See Figure 14		AGND		
	Self bias (2), V_{RT}	Short REFT to REFTS		2.18	2.29	2.4	
I_{ref}	Reference-voltage current	$V_{I(REFT)} - V_{I(REFB)}$ = 2 V		5.2	7.5	12	mA
R_{ref}	Reference-voltage resistor	Between REFT and REFB terminals		165	270	350	Ω
C_i	Analog input capacitance	$V_{I(ANLG)}$ = 1.5 V + 0.07 V_{rms}			4		pF
E_{ZS}	Zero-scale error	$V_{I(REFT)} - V_{I(REFB)}$ = 2 V		−18	−43	−68	mV
E_{FS}	Full-scale error			−25	0	25	
I_{IH}	High-level input current	V_{DD} = 5.25 V,	$V_{IH} = V_{DD}$			5	µA
I_{IL}	Low-level input current	V_{DD} = 5.25 V,	V_{IL} = 0			5	
I_{OH}	High-level output current	$\overline{OE}$ = GND,	V_{DD} = 4.75 V, $V_{OH} = V_{DD}$ − 0.5 V	−1.5			mA
I_{OL}	Low-level output current	$\overline{OE}$ = GND,	V_{DD} = 4.75 V, V_{OL} = 0.4 V	2.5			
$I_{OZH(lkg)}$	High-level high-impedance-state output leakage current	$\overline{OE} = V_{DD}$,	V_{DD} = 5.25, $V_{OH} = V_{DD}$			16	µA
$I_{OZL(lkg)}$	Low-level high-impedance-state output leakage current	$\overline{OE} = V_{DD}$,	V_{DD} = 4.75, V_{OL} = 0			16	
I_{DD}	Supply current	f_s = 40 MSPS, $C_L \leq$ 25 pF, NTSC‡ ramp wave input, See Note 1			17	27	mA

† Conditions marked MIN or MAX are as stated in recommended operating conditions.
‡ National Television System Committee
(1) Supply current specification does not include I_{ref}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

operating characteristics at V_{DD} = 5 V, V_{RT} = 2.6 V, V_{RB} = 0.6 V, f_S = 40 MSPS, T_A = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		MIN	TYP	MAX	UNIT
f_S	Maximum conversion rate	T_A = MIN to MAX		40			MSPS
f_S	Minimum conversion rate	T_A = MIN to MAX			5		MSPS
BW	Analog input full-power bandwidth	At – 3 dB, $V_{I(ANLG)}$ = 2 V_{pp}			75		MHz
t_{pd}	Delay time, digital output	C_L ≤ 10 pF (see Note 2)			9	15	ns
t_{PHZ}	Disable time, output high to Hi-Z	C_L ≤ 15 pF,	I_{OH} = –4.5 mA			20	ns
t_{PLZ}	Disable time, output low to Hi-Z	C_L ≤ 15 pF,	I_{OL} = 5 mA			20	ns
t_{PZH}	Enable time, Hi-Z to output high	C_L ≤ 15 pF,	I_{OH} = –4.5 mA			15	ns
t_{PZL}	Enable time, Hi-Z to output low	C_L ≤ 15 pF,	I_{OL} = 5 mA			15	ns
	Differential gain	NTSC 40 IRE‡ modulation wave,			1%		
	Differential phase	f_S = 14.3 MSPS			0.7		degrees
t_{AJ}	Aperture jitter time				30		ps
$t_{d(s)}$	Sampling delay time				4		ns
SNR	Signal-to-noise ratio	f_S = 20 MSPS	f_I = 1 MHz		47		dB
			f_I = 3 MHz	44	47		
			f_I = 6 MHz		46		
			f_I = 10 MHz		45		
		f_S = 40 MSPS	f_I = 3 MHz		45.2		
			f_I = 6 MHz	42	44		
			f_I = 10 MHz		42		
ENOB	Effective number of bits	f_S = 20 MSPS	f_I = 1 MHz		7.64		Bits
			f_I = 3 MHz		7.61		
			f_I = 6 MHz		7.47		
			f_I = 10 MHz		7.16		
		f_S = 40 MSPS	f_I = 3 MHz		7		
			f_I = 6 MHz		6.8		
THD	Total harmonic distortion	f_S = 20 MSPS	f_I = 1 MHz		43		dBc
			f_I = 3 MHz	35	42		
			f_I = 6 MHz		41		
			f_I = 10 MHz		38		
		f_S = 40 MSPS	f_I = 3 MHz		40		
			f_I = 6 MHz		38		
	Spurious-free dynamic range	f_S = 20 MSPS	f_I = 3 MHz	41	46		dBc
		f_S = 40 MSPS			42		

† Conditions marked MIN or MAX are as stated in recommended operating conditions.
‡ Institute of Radio Engineers
(2) C_L includes probe and jig capacitance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

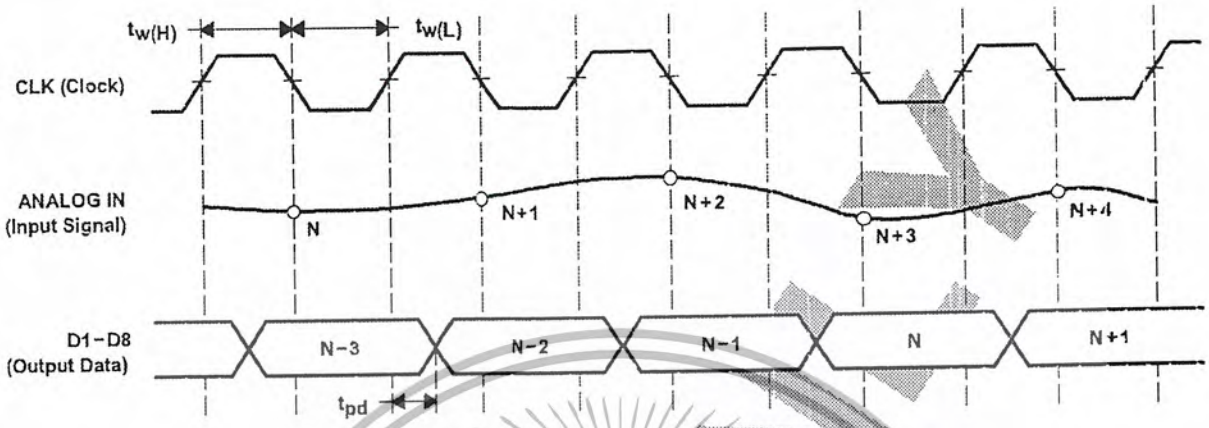


Figure 1. I/O Timing Diagram

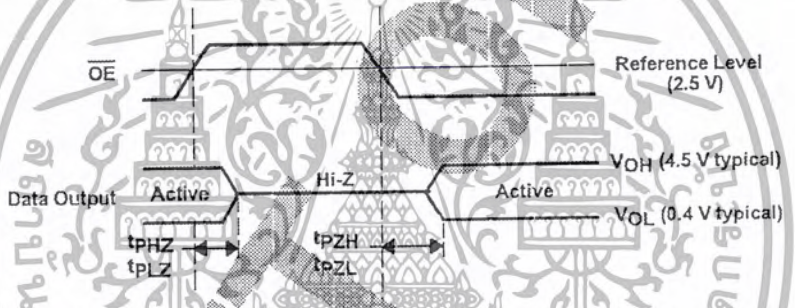


Figure 2. I/O Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

POWER DISSIPATION
vs
SAMPLING FREQUENCY

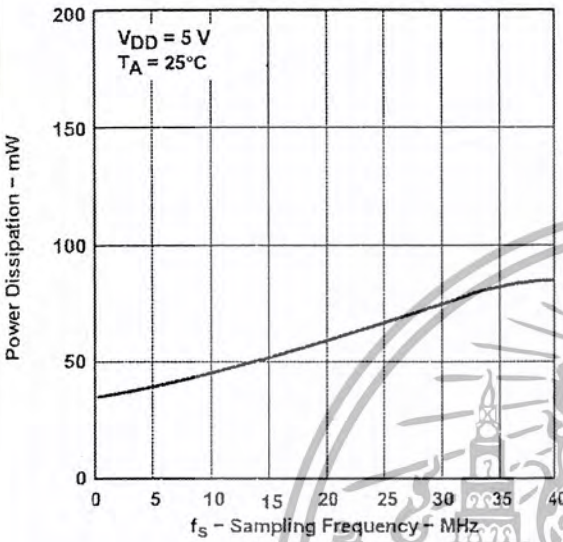


Figure 3

ANALOG INPUT BANDWIDTH

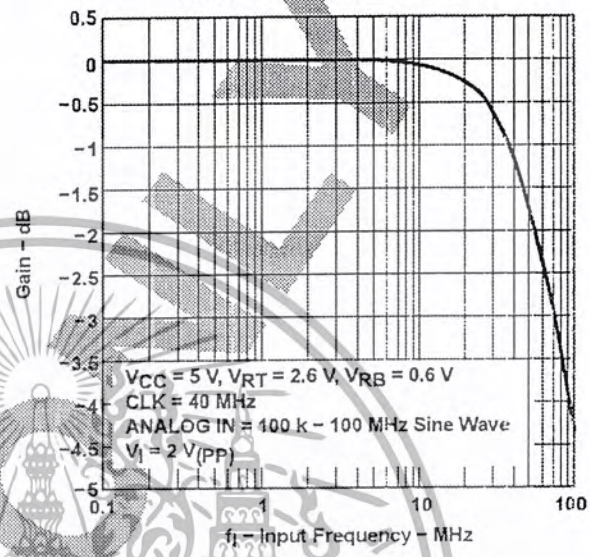


Figure 4

EFFECTIVE NUMBER OF BITS
vs
INPUT FREQUENCY

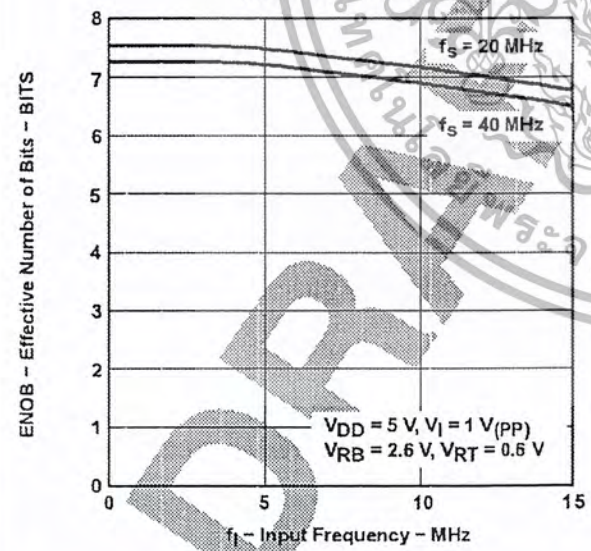


Figure 5

SIGNAL-TO-NOISE RATIO
vs
INPUT FREQUENCY

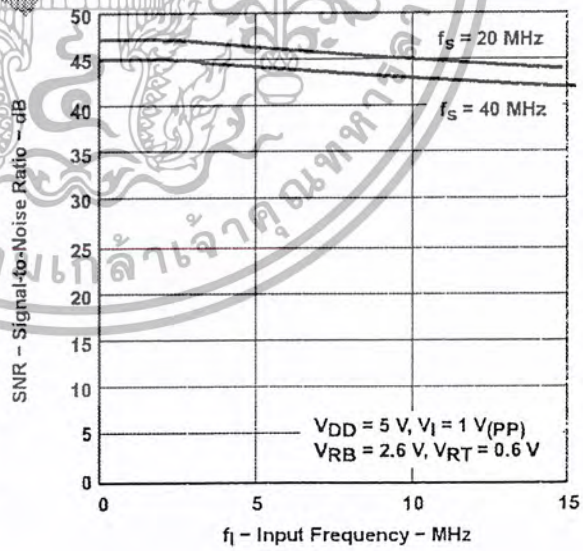


Figure 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

DIFFERENTIAL NONLINEARITY

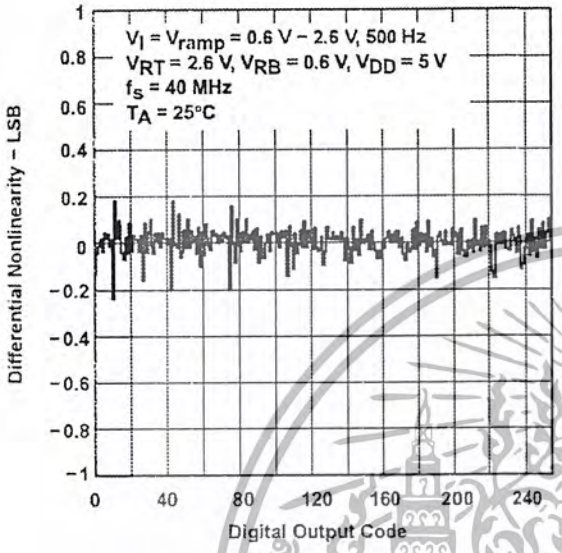


Figure 7

EFFECTIVE NUMBER OF BITS
vs
AMBIENT TEMPERATURE

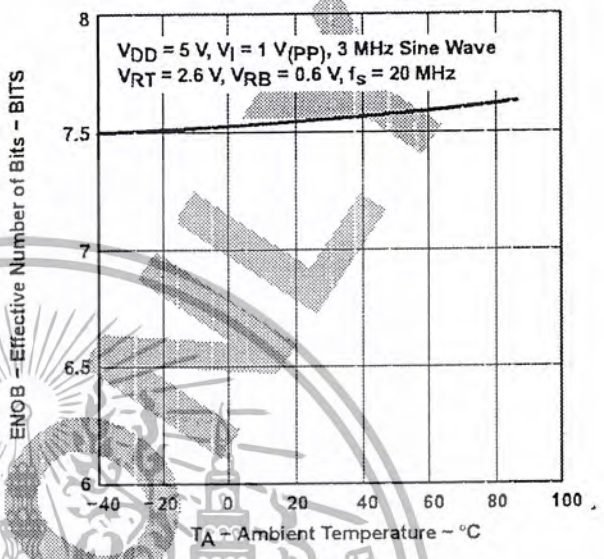


Figure 8

INTEGRAL NONLINEARITY

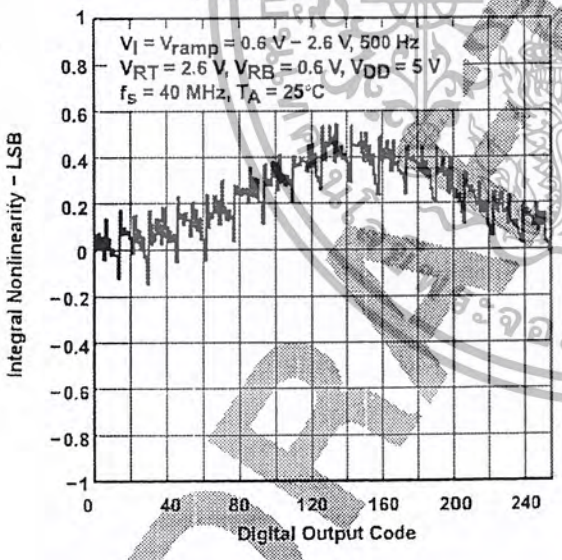


Figure 9

FFT SPECTRUM

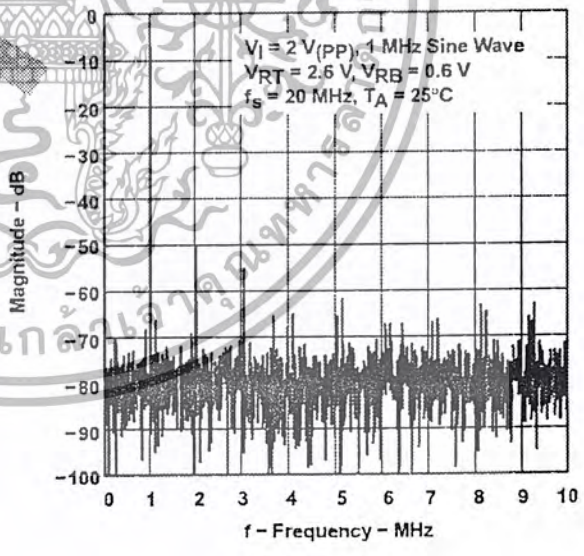


Figure 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

grounding and power supply considerations

A signal ground is a low-impedance path for current to return to the source. Inside the TLC5540 A/D converter, the analog ground and digital ground are connected to each other through the substrate, which has a very small resistance (~30 Ω) to prevent internal latch-up. For this reason, it is strongly recommended that a printed circuit board (PCB) of at least 4 layers be used with the TLC5540 and the converter DGND and AGND pins be connected directly to the analog ground plane to avoid a ground loop. Figure 11 shows the recommended decoupling and grounding scheme for laying out a multilayer PC board with the TLC5540. This scheme ensures that the impedance connection between AGND and DGND is minimized so that their potential difference is negligible and noise source caused by digital switching current is eliminated.

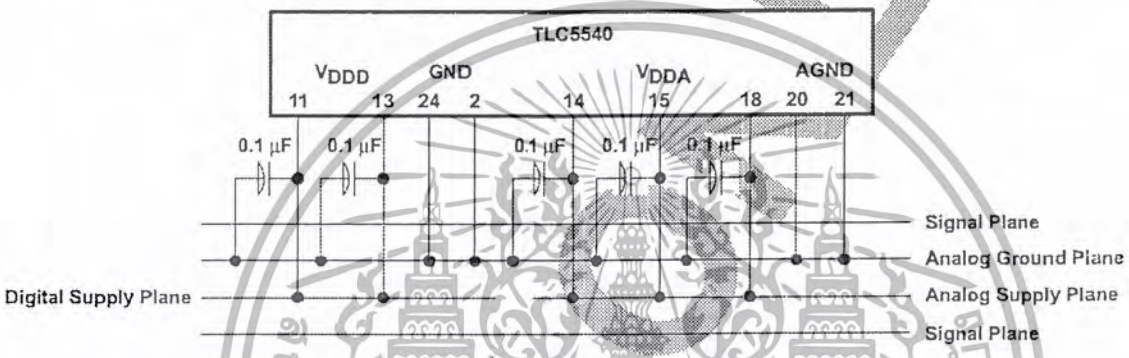


Figure 11. AV_{DD}, DV_{DD}, AGND, and DGND Connections

printed circuit board (PCB) layout considerations

When designing a circuit that includes high-speed digital and precision analog signals such as a high speed ADC, PCB layout is a key component to achieving the desired performance. The following recommendations should be considered during the prototyping and PCB design phase:

- Separate analog and digital circuitry physically to help eliminate capacitive coupling and crosstalk. When separate analog and digital ground planes are used, the digital ground and power planes should be several layers from the analog signals and power plane to avoid capacitive coupling.
- Full ground planes should be used. Do not use individual etches to return analog and digital currents or partial ground planes. For prototyping, breadboards should be constructed with copper clad boards to maximize ground plane.
- The conversion clock, CLK, should be terminated properly to reduce overshoot and ringing. Any jitter on the conversion clock degrades ADC performance. A high-speed CMOS buffer such as a 74ACT04 or 74AC04 positioned close to the CLK terminal can improve performance.
- Minimize all etch runs as much as possible by placing components very close together. It also proves beneficial to place the ADC in a corner of the PCB nearest to the I/O connector analog terminals.
- It is recommended to place the digital output data latch (if used) as close to the TLC5540 as possible to minimize capacitive loading. If D0 through D7 must drive large capacitive loads, internal ADC noise may be experienced.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRINCIPLES OF OPERATION

functional description

The TLC5540 uses a modified semiflash architecture as shown in the functional block diagram. The four most significant bits (MSBs) of every output conversion result are produced by the upper comparator block CB1. The four least significant bits (LSBs) of each alternate output conversion result are produced by the lower comparator blocks CB-A and CB-B in turn (see Figure 12).

The reference voltage that is applied to the lower comparator resistor string is one sixteenth of the amplitude of the refence applied to the upper comparator resistor string. The sampling comparators of the lower comparator block require more time to sample the lower voltages of the reference and residual input voltage. By applying the residual input voltage to alternate lower comparator blocks, each comparator block has twice as much time to sample and convert as would be the case if only one lower comparator block were used.

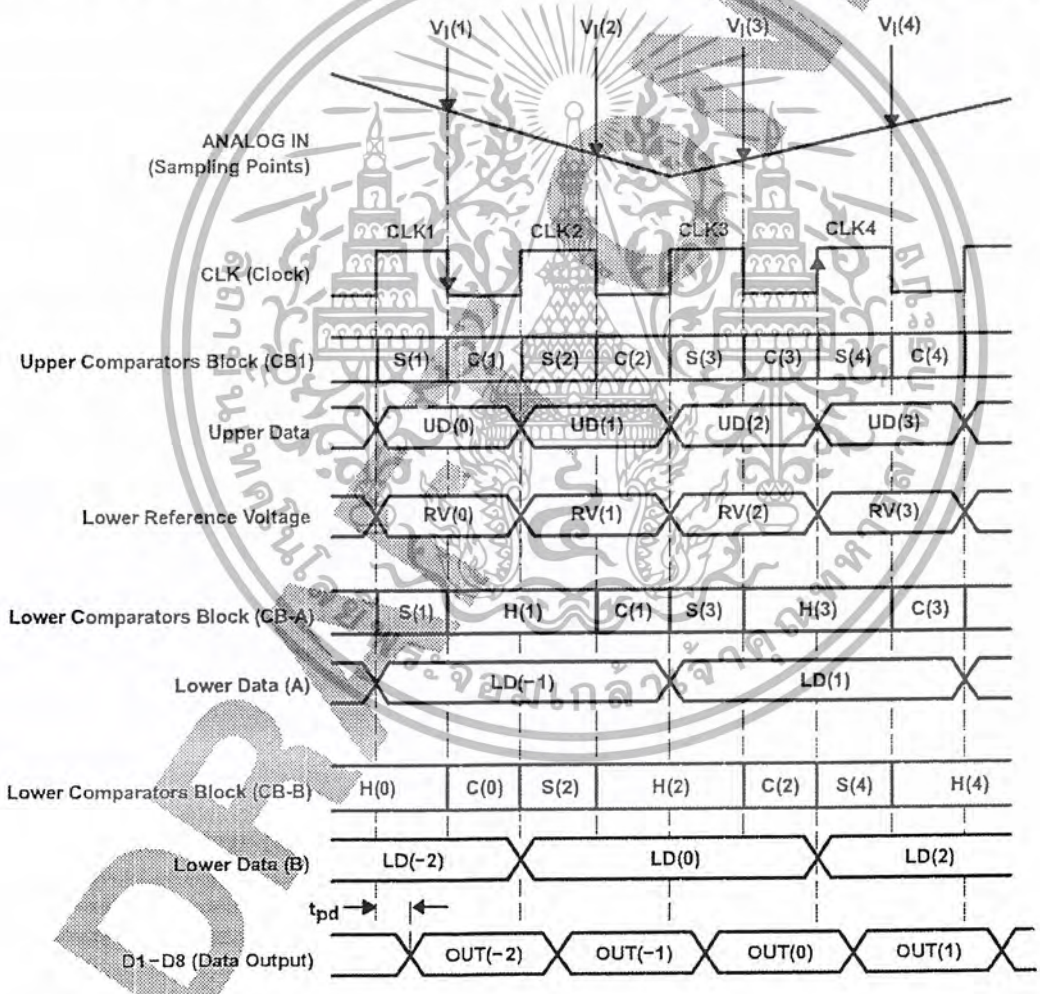


Figure 12. Internal Functional Timing Diagram

This conversion scheme, which reduces the required sampling comparators by 30 percent compared to standard semiflash architectures, achieves significantly higher sample rates than the conventional semiflash conversion method.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRINCIPLES OF OPERATION

functional description (continued)

The MSB comparator block converts on the falling edge of each applied clock cycle. The LSB comparator blocks CB-A and CB-B convert on the falling edges of the first and second following clock cycles, respectively. The timing diagram of the conversion algorithm is shown in Figure 12.

analog input operation

The analog input stage to the TLC5540 is a chopper-stabilized comparator and is equivalently shown below:

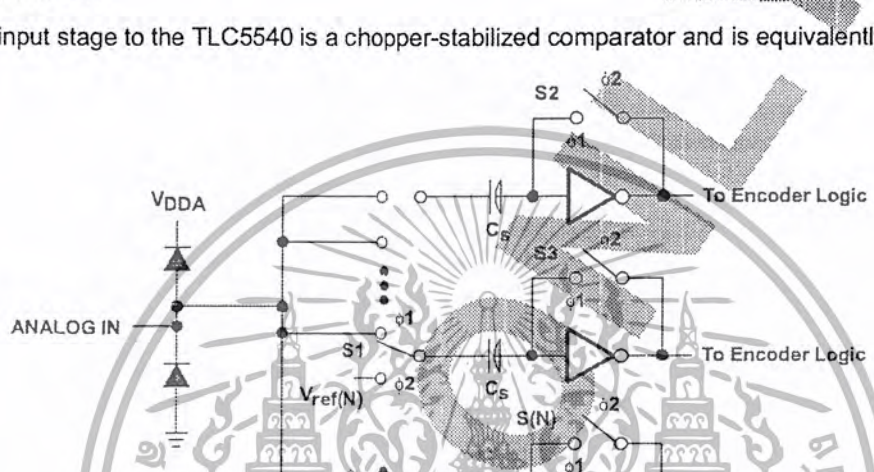


Figure 13. External Connections for Using the Internal Reference Resistor Divider

Figure 13 depicts the analog input for the TLC5540. The switches shown are controlled by two internal clocks, ϕ1 and ϕ2. These are nonoverlapping clocks that are generated from the CLK input. During the sampling period, ϕ1, S1 is closed and the input signal is applied to one side of the sampling capacitor, C_S. Also during the sampling period, S2 through S(N) are closed. This sets the comparator input to approximately 2.5 V. The delta voltage is developed across C_S. During the comparison phase, ϕ2, S1 is switched to the appropriate reference voltage for the bit value N. S2 is opened and $V_{ref(N)} - VC_S$ toggles the comparator output to the appropriate digital 1 or 0. The small resistance values for the switch, S1, and small value of the sampling capacitor combine to produce the wide analog input bandwidth of the TLC5540. The source impedance driving the analog input of the TLC5540 should be less than 100 Ω across the range of input frequency spectrum.

reference inputs – REFB, REFT, REFBS, REFTS

The range of analog inputs that can be converted are determined by REFB and REFT, REFT being the maximum reference voltage and REFB being the minimum reference voltage. The TLC5540 is tested with REFT = 2.6 V and REFB = 0.6 V producing a 2-V full-scale range. The TLC5540 can operate with REFT – REFB = 5 V, but the power dissipation in the reference resistor increases significantly (93 mW nominally). It is recommended that a 0.1 μF capacitor be attached to REFB and REFT whether using externally or internally generated voltages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRINCIPLES OF OPERATION

internal reference voltage conversion

Three internal resistors allow the device to generate an internal reference voltage. These resistors are brought out on terminals V_{DDA}, REFTS, REFT, REFB, REFBS, and AGND. Two different bias voltages are possible without the use of external resistors.

Internal resistors are provided to develop REFT = 2.6 V and REFB = 0.6 V (bias option one) with only two external connections. This is developed with a 3-resistor network connected to V_{DDA}. When using this feature, connect REFT to REFTS and connect REFB to REFBS. For applications where the variance associated with V_{DDA} is acceptable, this internal voltage reference saves space and cost (see Figure 14).

A second internal bias option (bias two option) is shown in Figure 15. Using this scheme REFB = AGND and REFT = 2.28 V nominal. These bias voltage options can be used to provide the values listed in the following table.

Table 1. Bias Voltage Options

BIAS OPTION	BIAS VOLTAGE		
	V_{RB}	V_{RT}	$V_{RT} - V_{RB}$
1	0.61	2.63	2.02
2	AGND	2.28	2.28

To use the internally-generated reference voltage, terminal connections should be made as shown in Figure 14 or Figure 15. The connections in Figure 14 provide the standard video 2-V reference.

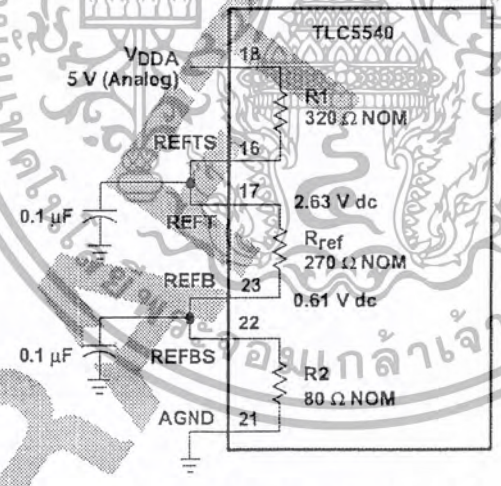


Figure 14. External Connections Using the Internal Bias One Option

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRINCIPLES OF OPERATION

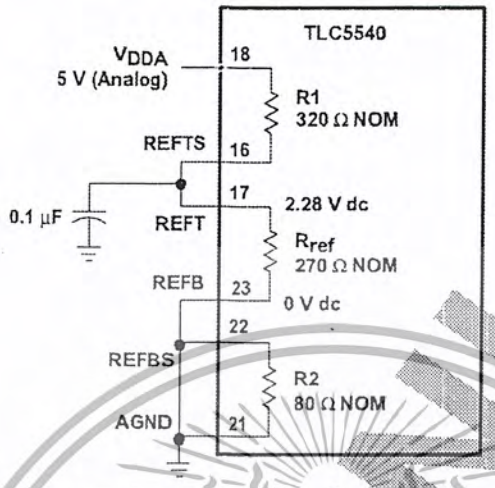


Figure 15. External Connections Using the Internal Bias Two Option

functional operation

Table 2 shows the TLC5540 functions.

Table 2. Functional Operation

INPUT SIGNAL VOLTAGE	STEP	DIGITAL OUTPUT CODE							
		MSB							LSB
$V_{ref(T)}$	255	1	1	1	1	1	1	1	1
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	128	1	0	0	0	0	0	0	0
•	127	0	1	1	1	1	1	1	1
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
$V_{ref(B)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

คู่มือและวิธีการใช้งานออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

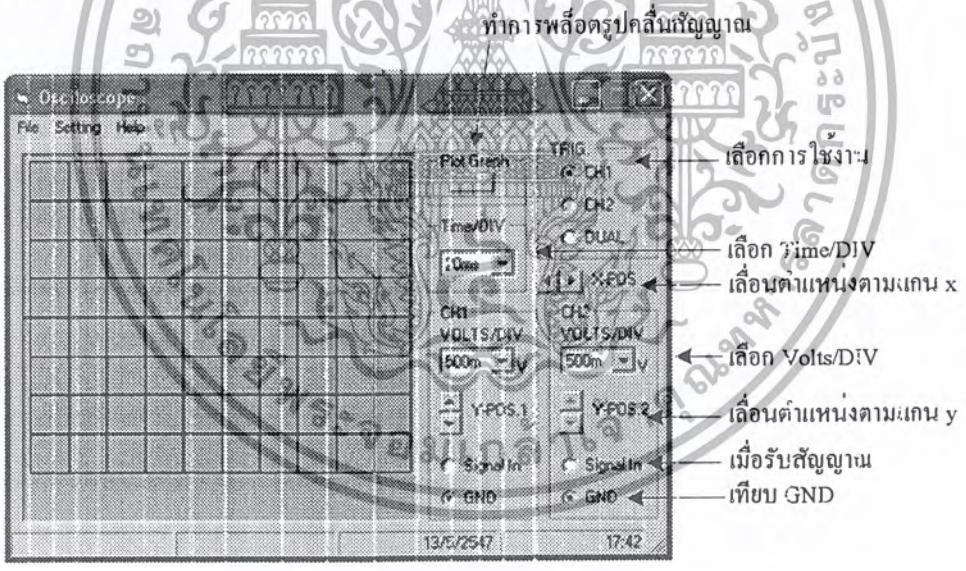
คุณสมบัติ

1. วัดความถี่ได้ 0-5 kHz
2. วัดแรงดันได้สูงสุด 20 V
3. สามารถวัดได้ 2 ช่องสัญญาณ
4. วัดสัญญาณคลื่นซายน์ คลื่นสี่เหลี่ยม และฟันเลื่อยได้
5. ส่งผลรูปสัญญาณผ่านระบบเครือข่ายได้

การใช้งาน

1. ใช้กับพอร์ตอนุกรม RS-232 ชนิด DB-9
2. ควรกดปุ่ม reset ก่อนทุกครั้ง เมื่อต้องการใช้งานเครื่องออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์
3. ในการใช้งานเราจะกำหนดค่าต่างได้โดยผ่านทางหน้าจออินเตอร์เฟส

ลักษณะหน้าจออินเตอร์เฟส

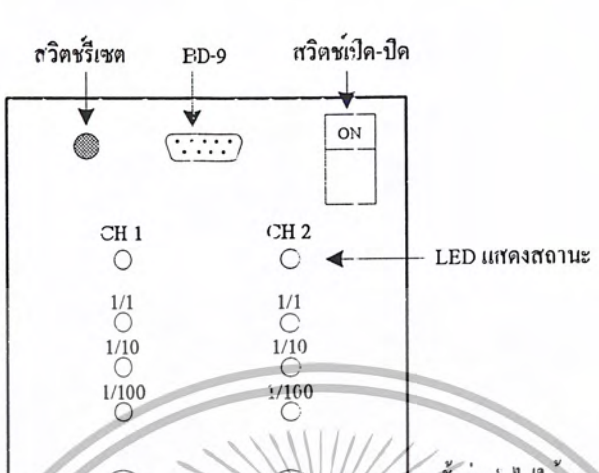


รูปที่ จ.1 หน้าจออินเตอร์เฟส

เริ่มต้นการใช้งานหน้าจออินเตอร์เฟสจะกำหนดให้อยู่ที่ GND ก่อน ให้ทำการเลือก CH. ที่ต้องการใช้ แล้วทำการเลือก Sign In เพื่อทำการรับสัญญาณ และกดปุ่ม Plot Graph เพื่อทำการพล็อตรูปคลื่นสัญญาณ ถ้าหากต้องการปรับสเกลต่างๆ สามารถทำได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะกล่องออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์



รูปที่ จ.2 ตัวกล่องออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

เมื่อเริ่มต้นการทำงานทุกครั้งให้ทำการกดปุ่มรีเซตทุกครั้ง ในการใช้งานที่ตัวเครื่อง LED จะเป็นตัวแสดงสถานะการทำงาน โดยถ้าเลือก CH1 ที่หน้าจออินเตอร์เฟส LED ตรง CH1จะสว่าง ถ้าเลือก CH2 หน้าจออินเตอร์เฟส LED ตรง CH2 จะสว่าง ในส่วนของ 1/1, 1/10, 1/100 เป็นการแสดงสถานะของวงจรลดทอน ถ้าสัญญาณมีระดับไม่สูงนักจะอยู่ที่ 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้