สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

COMPUTER OSCILLOSCOPE

โดย

นายพิชิต วัฒนศิลป์ เลขประจำตัว 40010508

นายพิทยา อึงพินิจพงศ์ เลขประจำตัว 40010510

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....42722
วัน, เดือน, ปี.....- 7 มิ.ย. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM014582

ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์
COMPUTER OSCILLOSCOPE

โดย

นายพิชิต วัฒนศิลป์ เลขประจำตัว 40010508

นายพิทยา อึงพินิจพงศ์ เลขประจำตัว 40010510

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

ปริญญานิพนธ์นี้สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2543

ภาควิชา อิเล็คทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ 2 คน

1. นายพิชิต วัฒนศิลป์ เลขประจำตัว 40010508
2. นายพิทยา อึงพินิจพงศ์ เลขประจำตัว 40010510

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานภาษาไทย ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

ชื่อโครงงานภาษาอังกฤษ COMPUTER OSCILLOSCOPE

ชื่อนักศึกษาและเลขประจำตัว

1. นายพิชิต วัฒนศิลป์ 40010508
2. นายพิทยา อึงพินิจพงศ์ 40010510

โครงงานได้รับการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้

.....

(ผศ. ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

นายพิชิต วัฒนศิลป์
นายพิทยา อึงพินิจพงศ์
ผศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

คอมพิวเตอร์ออสซิลโลสโคปที่นำเสนอในโครงงานนี้ เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานแทนออสซิลโลสโคปซึ่งใช้วัดและบันทึกรูปสัญญาณต่าง ๆ ในการนำสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์จะใช้ตัวกลางซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน จากนั้นจึงนำสัญญาณดิจิตอลที่ได้ไปทำการแสดงผลออกทางจอภาพ การทำงานของวงจรออสซิลโลสโคปจะถูกควบคุมจากผู้ใช้ผ่านหน้าจอโดยใช้เมาส์ ซึ่งใช้ภาษา Delphi ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTER OSCILLOSCOPE

Mr.Pichit Wattanasilp

Mr.Phittaya Ungpinitpong

Dr.Surapan Airpaiboon Adviser

2nd Semestor Education 2000

ABSTRACT

An input signal is transmitted to a computer and converted from analog to digital signal . This converted signal is then displayed on the computer . By using Delphi program , this allows us to adjust parameters that might be required

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การรับและการแปลงข้อมูล (Data Acquisiton and Conversion)	2
2.1 การรับและการแปลงข้อมูล (Data Acquisition and Conversion)	2
2.2 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง Sampling	3
2.2.1 Sample and Hold และ Aperture error	4
2.2.2 Frequency folding and Aliasing	5
2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter)	6
บทที่ 3 หลักการของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป	8
3.1 การทำงานของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (DSO)	8
3.2 ขอบเขตการวัด	10
3.3 การสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป	15
3.3.1 การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริง (Real Time or One-shot)	15
3.3.2 การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาสมือน (Equivalent Time)	15
3.4 ขั้นตอนหลังการสุ่มตัวอย่าง	18
3.5 การเก็บข้อมูลของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป	19
3.6 ปัญหาพื้นฐานของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป	19
3.7 ความละเอียดถูกต้องแม่นยำ	20
3.8 สัญญาณชั่วขณะ (Transient capture)	21
3.9 แบนวิดธ์และอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Bandwidth and Sample rate)	24
3.10 ประโยชน์ของหน่วยความจำที่ยาวในดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป	25
3.10.1 การเก็บรายละเอียด	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.10.2 การจับสัญญาณกลิทช์ฉาวร 27

3.10.3 การแก้ปัญหาเรื่องความถี่เวลา 27

3.10.4 ความเชื่อถือได้ในการจับสัญญาณที่ไม่สามารถทำนายได้ 27

3.10.5 ไม่มีการสูญเสียเวลาระหว่างการรับข้อมูล 27

บทที่ 4 หลักการออกแบบวงจร 29

4.1 วงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator) 30

4.2 วงจรขยายสัญญาณแนวตั้ง (Vertical Amplifier) 31

4.3 วงจรยกระดับสัญญาณ (DC Adjust) 32

4.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล 33

(Analog to Digital Converter)

4.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาหลายความถี่ 33

(Multi Frequency Clock Generator)

4.6 วงจอินเตอร์เฟสและวงจรเชื่อมต่อโดยใช้ MCS-51 36

4.7 วงจรนับตำแหน่งหน่วยความจำ 37

4.8 วงจรหน่วยความจำ 38

บทที่ 5 ส่วนควบคุมของออสซิลโลสโคปบนไมโครคอมพิวเตอร์ 39

5.1 การควบคุมการทำงานของวงจรเพื่อปรับค่า TIME/DIV 39

5.2 การควบคุมการทำงานของวงจรเพื่อปรับค่า VOLT/DIV 39

และการคับปลิ้งสัญญาณ

5.2.1 การปรับอัตราขยายของวงจรขยาย 39

5.2.2 การปรับอัตราลดทอนของวงจรลดทอน 39

5.2.3 การเลือกการคับปลิ้งสัญญาณ 39

5.3 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแสดงข้อมูลในแนวแกนตั้ง 40

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง 41

บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง 47

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมที่มีการประมวลข้อมูลทางดิจิตอล 2

รูปที่ 2.2 วิธีการพื้นฐานของ ADC 3

รูปที่ 2.3 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของคอมพาราเตอร์ 3

รูปที่ 2.4 แสดงความผิดพลาดจากการวัดใน Aperture Time 4

รูปที่ 2.5 แสดง Spectrum ของสัญญาณอนาลอกที่จะถูกสุ่ม 5

รูปที่ 2.6 หลังจากการสุ่มเกิด Frequency folding 5

รูปที่ 2.7 การเกิด Alias Frequency folding จากการสุ่มด้วยความถี่ต่ำกว่า 2 เท่า ของสัญญาณอนาลอก 6

รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (DSO) 9

รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของการเกิดเอเลียสซิ่ง 11

รูปที่ 3.3 ทฤษฎีการสอดแทรก 12

รูปที่ 3.4 แสดงการจัดช่วงขอบขาขึ้นซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการสุ่มตัวอย่าง 14

รูปที่ 3.5 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบต่าง ๆ ของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป 16

รูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงผลที่ออกมาจากการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอินพุทแบบเป็นลำดับ 17

รูปที่ 3.7 การควอนไตซ์ซิ่งโดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล คอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนแรงดันอนาลอกเป็นเลขฐานสองที่ระดับต่างๆ 18

รูปที่ 3.8 บล็อคไดอะแกรมของ RIS ดิจิไตเซอร์ 22

รูปที่ 3.9 ความกว้างพัลส์ 5 นาโนวินาที 22

รูปที่ 3.10 บล็อคไดอะแกรมของดิจิไตเซอร์การสุ่มตัวอย่าง 23

รูปที่ 3.11 การลดทอนในแถบผ่าน 23

รูปที่ 3.12 สัญญาณซายน์ที่มี 25 ตัวอย่างต่อลูกคลื่นและการสอดแทรกแบบเส้นตรง 25

รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป 29

รูปที่ 4.2 วงจรลดทอนสัญญาณ 30

รูปที่ 4.3 วงจรขยายสัญญาณ 31

รูปที่ 4.4 วงจรยกระดับสัญญาณกระแสตรง 32

รูปที่ 4.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.6 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาหลายความถี่ 34
รูปที่ 4.7 วงจรอินเตอร์เฟสโดยใช้ MCS-51 ผ่านพอร์ทอนุกรม 36
รูปที่ 4.8 วงจรเชื่อมต่อ MCS-51 กับวงจรต่างๆ 36
รูปที่ 4.9 วงจรนับตำแหน่งหน่วยความจำ 37
รูปที่ 4.10 วงจรหน่วยความจำ 38
รูปที่ 6.1 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1 kHz ขนาด 0.1 V_{PP} 41
รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1 kHz ขนาด 1 V_{PP} 41
รูปที่ 6.3 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1 kHz ขนาด 5 V_{PP} 42
รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 0.1 V_{PP} 42
รูปที่ 6.5 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 1 V_{PP} 43
รูปที่ 6.6 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 5 V_{PP} 43
รูปที่ 6.7 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 0.1 V_{PP} 44
รูปที่ 6.8 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 1 V_{PP} 44
รูปที่ 6.9 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 5 V_{PP} 45
รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100 kHz ขนาด 0.1 V_{PP} 45
รูปที่ 6.11 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100 kHz ขนาด 1 V_{PP} 46
รูปที่ 6.12 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 0kHz ขนาด 5 V_{PP} 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทที่เป็นอนาลอกกับเอาท์พุทที่เป็นดิจิตอล	7
ตารางที่ 4.1 การลดทอนและการขยายสัญญาณแนวตั้ง	31
ตารางที่ 4.2 ความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณ	35
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าที่ใช้ควบคุมค่า TIME/DIV และการคับปลิ้งสำหรับหนึ่งช่องสัญญาณ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

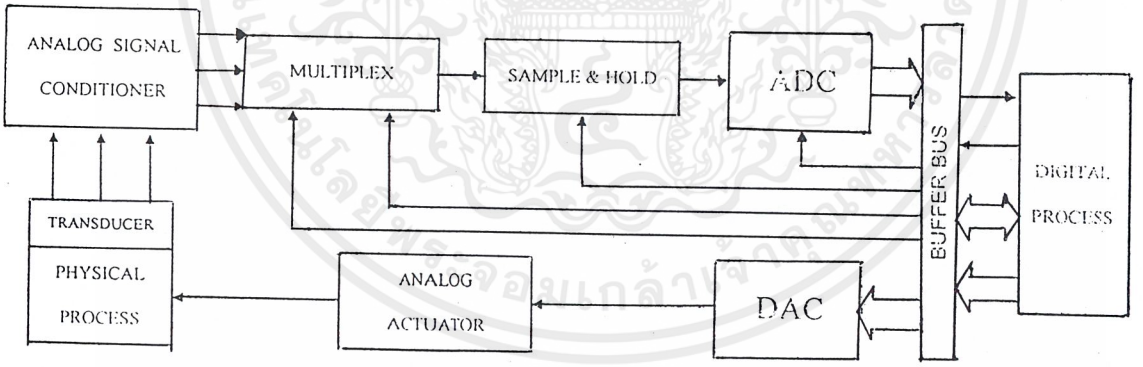
ปัจจุบันเครื่อง Oscilloscope ได้แพร่หลายในวงการอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์งานซ่อม หรือ การเก็บข้อมูลบางอย่างไว้อ้างอิง จะยังมีอื่นๆ อีกมากมายในปัจจุบันเครื่อง Oscilloscope รุ่นใหม่ที่เก็บสัญญาณหรือบันทึกข้อมูล พร้อมกับยังมี Function พิเศษต่าง ๆ มากมายซึ่งก็จะมีค่าสูงมากและในโรงงานอุตสาหกรรมได้นำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมเครื่องจักรเพื่อลดการผิดพลาด ลดเวลาการสูญเสียต่าง ๆและยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้สูงขึ้น จากข้อดีของ Oscilloscope และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้สูงขึ้น จากข้อดีของ Oscilloscope และ คอมพิวเตอร์นั้น จึงเป็นที่เริ่มของโครงงานนี้ที่จะสร้างวงจรใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ให้เป็น Oscilloscope แสดงผลหน้าจอที่ คอมพิวเตอร์โดยได้ตัดบาง Function ของ Oscilloscope ออกไป เพราะบาง Function ไม่ได้ถูกใช้งานนำไปบันทึกสัญญาณและวิเคราะห์ เช่น นำไปบันทึกสัญญาณของเครื่องตรวจสอบ IC โดยการตรวจสอบสัญญาณบางสัญญาณว่าเครื่องตรวจสอบ IC สามารถผลิตสัญญาณโดยที่ยังอยู่ในสเปค เพื่อที่จะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพหรือป้องกันของเสีย หรือนำไปใช้ SPC (statistic Process Control) ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้คอมพิวเตอร์ ส่วนเครื่อง Oscilloscope ก็นำไปใช้อย่างอื่น ๆ ซึ่งก็จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการที่จะซื้อ Oscilloscope หลายตัวมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การรับและการแปลงข้อมูล (Data Acquisiton and Conversion)

2.1 การรับและการแปลงข้อมูล (Data Acquisition and Conversion)

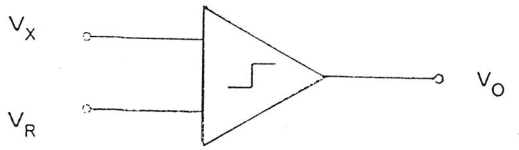
รูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่เราพบเห็นและคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน จะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่ต่อเนื่องกันหรือเรียกว่าสัญญาณอนาลอก ซึ่งแต่เดิมการนำเอาสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวมาประมวล (Process) ใช้ในรูปแบบที่มีประโยชน์จะกระทำในแบบอนาลอกนั่นเอง แต่เมื่อเทคนิคการประมวลสัญญาณทางดิจิตอลได้รับการพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากพบว่าในรูปแบบของดิจิตอล การประมวลผล,เก็บ,สื่อสาร และแสดง การะทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากกว่า ดังนั้นการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณ (CONVERTSION) จึงได้มีความจำเป็นขึ้น จากสัญญาณอนาลอกที่มีอยู่ตามธรรมชาติถูกเปลี่ยนมาเป็นสัญญาณดิจิตอลโดย Analog to Digital converters (ADC) และประมวลผลโดยตัวประมวลผลทางดิจิตอล (Digital Processors) เช่น คอมพิวเตอร์ จากนั้นจะถูกนำมาแสดงผลหรือถูกเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปอนาลอก และใช้งานได้ง่ายกว่าโดยใช้ Digital to Analog converters (DAC) รูปที่ 2.1 แสดงระบบควบคุมโดยการประมวลผลข้อมูลในระบบดิจิตอล



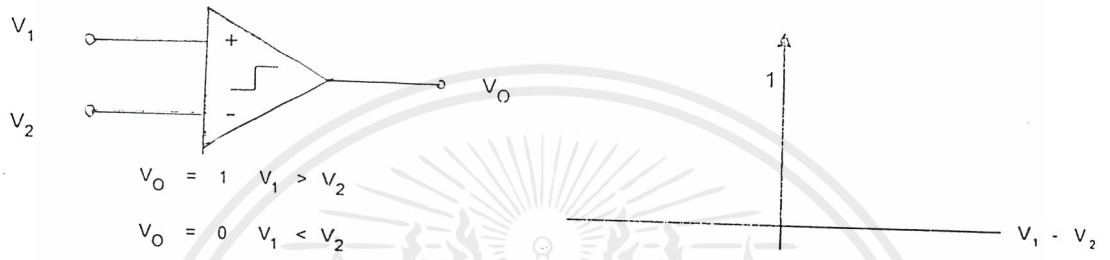
รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมที่มีการประมวลข้อมูลทางดิจิตอล

วิธีการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบง่ายๆดังแสดงในรูป 2.2 โดยใช้หลักการของวงจรคอมพาราเตอร์ แรงดันอินพุทที่ไม่ทราบค่า V_x จะต่อเข้ากับขาอินพุทขาหนึ่งของอนาลอกคอมพาราเตอร์ และแรงดันอ้างอิงที่ขนาดแปรตามเวลา V_R ต่อเข้ากับอีกอินพุทของคอมพาราเตอร์ ลักษณะของทรานเฟอร์ฟังก์ชันของคอมพาราเตอร์ แสดงในรูป 2.3 ถ้าแรงดันอินพุท V_1 มากกว่าอินพุท V_2 แล้วแรงดันเอาท์พุทจะเป็น "1" ถ้าอินพุท V_1 มากกว่า V_2 เอาท์พุทจะเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วิธีการพื้นฐานของ ADC



รูปที่ 2.3 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของคอมพาราเตอร์

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) ที่ใช้งานทั่วๆไปมีหลายชนิดเช่น Counter type ADC , Integrating ADC, Sucessive Appoximation ADC หรือ Parallel (Flash) ADC เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง Sampling

ในการแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิตอลนั้น วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะต้องเป็นสัญญาณดิจิตอลจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจัดการ ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรเช่น

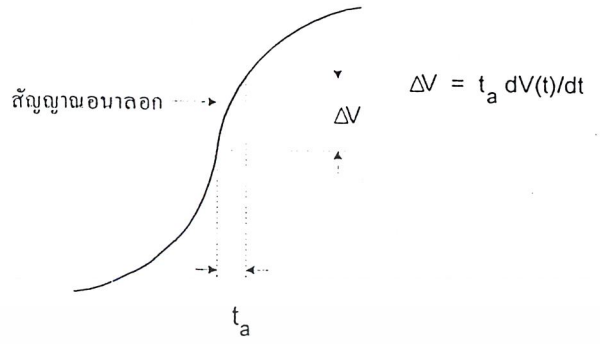
1. ความละเอียดของการเปลี่ยนสัญญาณ
2. เทคนิคของการแปลงสัญญาณ
3. ความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ร่วมอื่นๆ ความเร็วของการแปลงสัญญาณนี้จำเป็นสำหรับการใช้งานเฉพาะอย่างและความแม่นยำที่ต้องการ

Aperture Time: คือช่วงเวลาในการแปลงสัญญาณ ซึ่งคำว่า Aperture Time โดยทั่วไปหมายถึงช่วงเวลาที่เกิดความไม่แน่นอนในการวัดและผลก็คือเกิดความผิดพลาด (Error) ต่อค่าที่วัดได้

ในรูปที่ 2.4 สัญญาณอนาลอก V(t) มีอัตราการเปลี่ยน dV/dt ช่วง Aperture Time t_a ดังนั้นช่วงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกจะเท่ากับ V โดย

$$\Delta V = t_a \, dV(t)/dt \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 แสดงความผิดพลาดจากการวัดใน Aperture Time

ดังนั้นหากเวลาที่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณในเวลา t_a นี้รหัสของสัญญาณดิจิตอลที่ได้อาจจะตรงกับขนาดของสัญญาณอนาลอกค่าใดค่าหนึ่งในช่วงนี้ และส่วนอื่นๆที่เหลือคือความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งแน่นอนในบางครั้งเป็นไปได้ที่รหัสของสัญญาณดิจิตอลจะตรงกับค่าของสัญญาณอนาลอกที่ถูกต้อง

2.2.1 Sample and Hold และ Aperture error

วงจร Sample and Hold จะทำการสุ่มสัญญาณอินพุท และนำสัญญาณนั้นมาเก็บ(Hold) ไว้ในเวลาหนึ่งได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้การประจุแรงดันนั้นในตัวเก็บประจุที่รั่วไหลค่า ดังนั้นในเมื่อแรงดันอินพุทสามารถคงอยู่ได้นานพอ ทำให้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ไม่จำเป็นต้องมีเวลาในการแปลง (Conversion Time) อย่างรวดเร็วนัก Aperture Time ของ Sample and Hold คือเวลาตั้งแต่เริ่มสุ่มสัญญาณจนตัวเก็บประจุมีค่าแรงดันจนถึงค่าที่สุ่มซึ่งสำหรับ Sample and Hold แล้ว Aperture Time ขึ้นอยู่กับ Bandwidth และ Switching Time ของอุปกรณ์แอคทีฟที่ใช้ในวงจรซึ่งหาและสร้างได้ง่ายและราคาถูกกว่าการสร้างวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลความเร็วสูง

มีปัญหาว่าอัตราการสุ่มสัญญาณนั้นควรจะมีค่าเท่าใดที่จะไม่ทำให้ข้อมูลสูญเสียไปเมื่อสัญญาณนั้นถูกเปลี่ยนกลับมาเช่นเดิมอันนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณอนาลอก และทฤษฎีการสุ่มที่กล่าวไว้ว่า

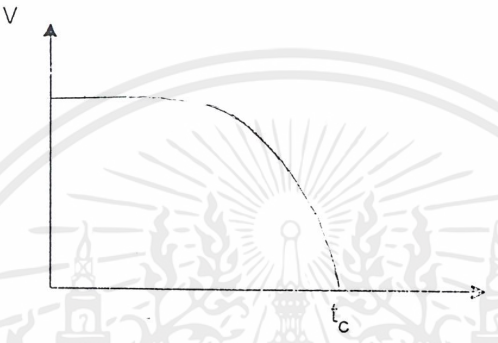
" ถ้าสัญญาณต่อเนื่องซึ่งมีความถี่และฮาร์โมนิคส์ ไม่เกิน f_c แล้วสัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนกลับมาได้อย่างเดิมโดยไม่สูญเสียรายละเอียดหรือเพี้ยนไปถ้าอัตราการสุ่มไม่น้อยกว่า $2f_c$ ต่อวินาที "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

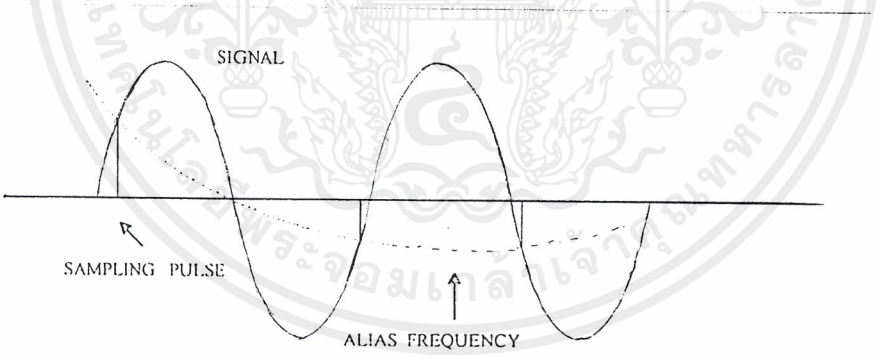
2.2.2 Frequency folding and Aliasing

จากทฤษฎีการสุ่มสามารถอธิบายลักษณะรูปสเปคตรัม (Spectum) ของสัญญาณในรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นสเปคตรัมของสัญญาณที่ถูกสุ่มซึ่งแบนวิดธ์ไม่เกินกว่า f_c ในขณะที่สัญญาณนี้จะถูกสุ่มด้วยความถี่ f_s ขบวนการมอดูเลชั่น (Modulatoin) จะทำให้แถบ

สเปคตรัมของสัญญาณสุ่มขยายกว้างออกจาก f_s เป็น $2f_s$,$3f_s$,.... ได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดง Spectrum ของสัญญาณอนาลอกที่จะถูกสุ่ม



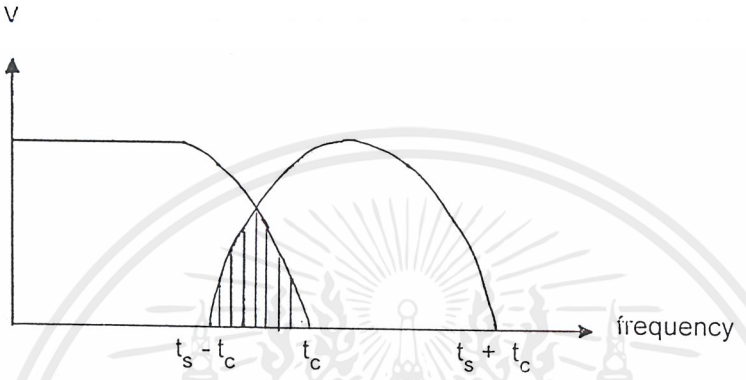
รูปที่ 2.6 หลังจากการสุ่มเกิด Frequency folding

ถ้าความถี่ของสัญญาณสุ่ม f_s ไม่สูงพอหลังจากการสุ่มสเปคตรัมบางส่วนของ f_s จะมาซ้อนทับกับสเปคตรัมของสัญญาณ ซึ่งเรียกว่า Frequency folding หากเป็นเช่นนี้ก็จะทำให้เกิดความเพี้ยนแก่สัญญาณอนาลอกจากการซ้อนกันของสเปคตรัม เมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนกลับให้อยู่ในรูปเดิม และถ้าเลื่อนความถี่ของการสุ่มสูงขึ้นจนโอกาสการซ้อนกันของสเปคตรัมหมดไป $(f_s-f_c) = f_c$ จะทำให้การเปลี่ยนกลับของสัญญาณหลังจากถูกสุ่มก็ยังคงเหมือนเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาแสดงการสนับสนุนทฤษฎีการสุ่มที่ว่าให้ $f_s < 2f_c$ นั้นคือการกำจัดการซ้อนกันของสเปคตรัมได้สองวิธีคือ

1. ใช้อัตราการสุ่มที่สูงพอ
2. การทำการกรองความถี่ของสัญญาณอนาลอกก่อนการสุ่มเพื่อให้ Bandwidth ไม่เกินไปกว่า $f_s/2$



รูป 2.7 การเกิด Alias Frequency folding จากการสุ่มด้วยความถี่ต่ำกว่า 2 เท่าของสัญญาณอนาลอก

ในทางปฏิบัติแล้วจะยังคงเกิด Frequency folding ได้เสมอจากส่วนฮาร์โมนิคส์ ของสัญญาณ รวมทั้งสเปคตรัมของสัญญาณรบกวนที่ยังคงอยู่แม้ว่าจะทำการกรองความถี่ก่อนหน้ามาแล้วก็ตามการกำจัดการซ้อนกันของสเปคตรัมนี้ วิธีที่ได้ผลคือพยายามให้การสุ่มสัญญาณเป็นไปอย่างรวดเร็วมากที่สุด

ผลของการใช้อัตราการสุ่มที่ไม่เหมาะสมอีกประการหนึ่งเกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.7 เรียกว่า Alias Freqiency ซึ่งเกิดกับสัญญาณที่เปลี่ยนกลับมาเช่นเดิมหลังจากถูกสุ่มแล้ว

2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter)

ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างระบบอนาลอกและระบบดิจิตอลนี้เป็นไปไม่ได้เลยที่จะให้สัญญาณอนาลอกเข้ามาทำงานในระบบดิจิตอล ดังนั้น จึงต้องมีการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอล ส่วนที่ทำหน้าที่ดังกล่าวนี้เราเรียกว่า "วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล" (ADC = Analog to Digital Converter) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบใช้วงจรเปรียบเทียบหรือแบบ "แฟลช"

สำหรับการแหล่งสัญญาณที่ต้องการความรวดเร็วสูงมากๆ เช่นการแปลงสัญญาณภาพโทรทัศน์, เรดาห์ จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบพิเศษ ที่เรียกว่า Flash (Parallel) ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากมีความเร็วในการทำงานสูงมาก จะเห็นว่าการทำงานของแบบนี้จะประกอบไปด้วยตัวต้านทานต่อเป็นตัวแบ่งแรงดัน มีออปแอมป์ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และมีวงจรถอดรหัส ซึ่งเป็นตัวกำหนดจำนวนของตัวเลขฐานสองที่จะใช้เป็นเอาต์พุทในรูปจะให้เอาต์พุทออกมาเพียง 4 บิตเท่านั้น

หลักการทำงานก็คือ จะใช้คอมพาราเตอร์ทำการเปรียบเทียบสัญญาณอนาลอกอินพุทกับแรงดันอ้างอิงที่แบ่งแรงดันให้สอดคล้องกับรหัสดิจิตอล โดยใช้ตัวต้านทาน และแปลงเอาท์พุทจากคอมพาราเตอร์ให้ตรงกับรหัสดิจิตอล ซึ่งจะเห็นว่าอุปสรรคทางด้านความเร็วจะถูกจำกัดเพียง Propagation time ของคอมพาราเตอร์เท่านั้น แต่อุปสรรคที่สำคัญต่อการพัฒนาวงจรบนชิพไอซี คือ วงจรนี้ต้องการคอมพาราเตอร์ $2^n - 1$ ตัวซึ่งเป็นจำนวนที่มากพอสมควร

ตารางที่ 2.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทที่เป็นอนาลอกกับเอาท์พุทที่เป็นดิจิตอล

แรงดันอินพุท V_{in} (โวลท์)	เอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบ			เอาต์พุทเลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D2
0 - 1	0	0	0	0	0
1 - 2	1	0	0	0	1
2 - 3	1	0	1	1	0
3 – 4	1	1	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (Digital Storage Oscilloscope) หรือเรียกเป็นชื่อย่อว่า DSO ได้รับการออกแบบให้มีขีดความสามารถในการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งไม่สามารถทำได้ในอนาลอกสโคปแบบเดิม ๆ ที่มีอยู่ อาทิเช่น การเก็บข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ เพื่อการนำมาวิเคราะห์ในภายหลัง การวิเคราะห์รูปคลื่นอย่างละเอียดโดยการซูมรูปคลื่นส่วนที่ต้องการ การจับสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะหนึ่ง การทำปรีทริกเกอร์ (Pre–Trigger) และการตรวจจับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางความถี่อย่างรวดเร็วหรือช้าเกินไป ซึ่งไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยอนาลอกสโคปแบบปกติ

จุดสำคัญของสโคปแบบนี้อยู่ที่วิธีการในการเก็บข้อมูลและวิธีการทางดิจิตอลที่นำมาใช้ โดยปกติแล้วข้อมูลที่ถูกเก็บเอาไว้นั้นสามารถนำไปใช้บันทึกลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้และยังสามารถต่อพ่วงพล็อตเตอร์หรือพริเตอร์ได้ด้วย

3.1 การทำงานของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (DSO)

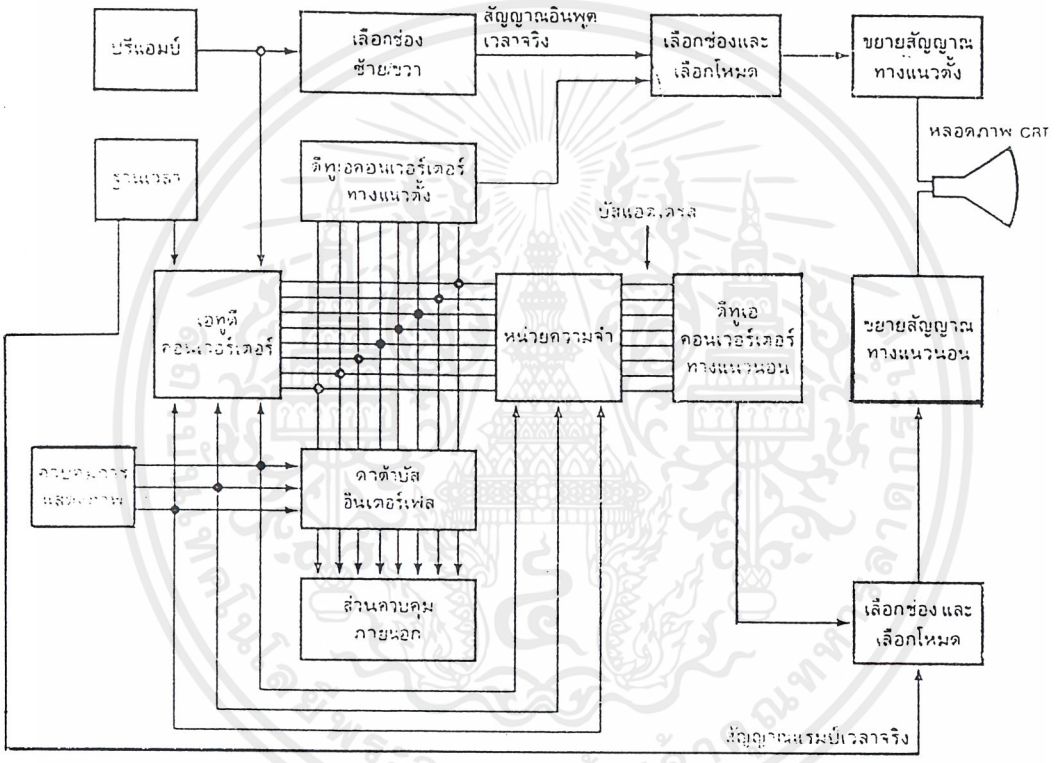
สัญญาณอนาลอกและสัญญาณดิจิตอลนั้นมีการนำมาเปรียบเทียบกันอยู่เสมอ ในเรื่องของสโคปก็เช่นเดียวกันสตอเรจสโคปนั้นได้ถูกประดิษฐ์คิดขึ้นมาทั้งแบบอนาลอกและแบบดิจิตอล สำหรับอนาลอกสตอเรจสโคปนั้นจะมีวิธีการเก็บบันทึกรูปคลื่นแบบอนาลอก นั่นคือ การใช้หลอดสตอเรจ (storage CRT) ซึ่งหลอดที่ว่านี้มีความสามารถทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะแสดงผลบนจอได้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือมากกว่า โดยวิธีการในการควบคุมแรงไฟและอิเล็กตรอนภายในหลอด แต่การใช้หลอดดังกล่าวจะมีอายุการใช้งานเพียง 1,000 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งหากนำไปใช้แสดงผลตามปกติก็จะใช้งานได้ยาวนานกว่า

ส่วน DSO จะมีวิธีการเก็บบันทึกรูปคลื่นด้วยระบบดิจิตอลข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำแบบดิจิตอล ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเทียบกับอนาลอกแล้ว แบบอนาลอกจะเก็บรูปคลื่นด้วยอุปกรณ์แต่แบบดิจิตอลจะเก็บรูปคลื่นด้วยวงจร นี้คือสิ่งที่แตกต่างกัน

สำหรับ DSO จะมีขบวนการในการทำงานอยู่ด้วยกัน 3 ช่วงใหญ่ ๆ คือ ช่วงของการสุ่มตัวอย่างและการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล, ช่วงของการเก็บข้อมูล และสุดท้ายคือ ช่วงของการแสดงผลค่าต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นด้วยการสุ่มตัวอย่างสัญญาณที่เข้ามาเพื่อให้ได้จำนวนของจุดบนสัญญาณเหล่านี้จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการนำค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) ซึ่งหากเป็นวงจรที่ใช้สัญญาณดิจิตอล 8 บิตก็จะได้ระดับของสัญญาณที่แปลงออกมา 2^8 หรือ 256 ระดับ



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (DSO)

ขั้นตอนที่กล่าวมาจะถูกควบคุมความเร็วในการทำงานด้วยฐานเวลา (time base) เดียวกันซึ่งเป็นฐานเวลาแบบดิจิตอลที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก และจะใช้เป็นเวลาอ้างอิงในการทำงานของวงจร ซึ่งโดยปกติแล้วค่าฐานเวลาจะมีหน่วยเป็น MS/s หรือจำนวนจุดต่อวินาที ค่าที่แปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการแสดงผลของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป จะอาศัยการทำงานแบบอนาลอก ดังนั้นในช่วงของการแสดงผลจึงต้องแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอกเสียก่อน เพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมลำอิเล็กตรอนทางแนวตั้งและแนวนอน ในรูปที่ 3.1 จะเป็นรายละเอียดพื้นฐานของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

3.2 ขอบเขตการวัด

สำหรับดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปนั้น ขอบเขตการวัดนอกจากสามารถบอกเป็นค่าความถี่สูงสุดที่เครื่องสามารถทำการวัดได้แล้ว ยังต้องบอกค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูลควบคู่ไปด้วย โดยปกติแล้วจะมีค่าเป็นล้านครั้งต่อวินาที (MS/s)

เริ่มด้วยค่าอัตรการสุ่มตัวอย่างข้อมูลจะชี้ให้เห็นถึงความละเอียดและคุณภาพของภาพที่ปรากฏบนจอ ซึ่งประกอบขึ้นมาจากจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างบนรูปคลื่นที่วัด ถ้าจำนวนจุดที่ได้มีจำนวนมากภาพที่ได้ก็จะมีความถูกต้องสมบูรณ์มาก การสูญเสียจุดจากการสุ่มตัวอย่างไปเพียงเล็กน้อยในบางรูปคลื่นก็อาจเป็นการสูญเสียรายละเอียดของรูปคลื่นนั้นไปได้ ถ้าอัตราการสุ่มตัวอย่างมีค่ามาก นั่นคือ ดิจิตอลสตอเรจออสซิโลสโคปจะมีความละเอียดของรูปคลื่นมากด้วยส่วนความถี่ที่บอกมานั้นก็ยังคงเป็นขอบเขตการวัดความถี่สูงสุดของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ในลักษณะเดียวกับอนาลอกสโคป

ถ้าหากเราต้องการจะรู้ว่ารูปคลื่นที่ปรากฏบนจอนั้นมีความละเอียดแค่ไหน ก็สามารถทำได้ด้วยการคำนวณแบบง่าย ๆ ตามสูตรที่ว่า

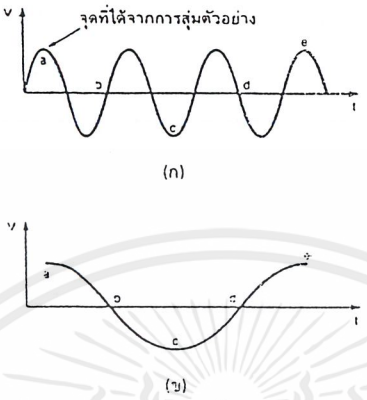
$$\text{จำนวนจุดต่อหนึ่งรูปคลื่น} = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป}}{\text{ค่าความถี่ที่ทำการวัด}} \qquad (3.1)$$

ตัวอย่างเช่น ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 50MS/s ใช้วัดสัญญาณที่มีความถี่ 500 kHz ดังนั้นจะได้ว่า

จำนวนจุดต่อหนึ่งรูปคลื่น = (50MS/s)/(500 kHz) = 100

จะเห็นว่าภาพที่แสดงผลบนจอนั้นในหนึ่งรูปคลื่นจะเกิดจากการเรียงกันของจุดจำนวน 100 จุด แต่ถ้าหากความถี่ที่ใช้วัดเปลี่ยนเป็น 10 MHz ที่อัตราการสุ่มตัวอย่างเดิม ความละเอียดของภาพในหนึ่งรูปคลื่นจะมีเพียง 5 จุด ต่อรูปคลื่นเท่านั้น ซึ่งจากทั้ง 2 กรณี ทำให้เราสรุปได้ว่า เมื่อนำมาวัดค่าสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ ๆ จะให้ความละเอียดของภาพสูง แต่เมื่อนำมาวัดสัญญาณที่มีความถี่สูง ๆ แล้วจะให้ภาพที่มีความละเอียดชัดเจนได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของการเกิดเอเลียสซิ่ง
(ก) สัญญาณอินพุทเมื่อมีการสุ่มตัวอย่างต่ำเกินไป
(ข) เมื่อแสดงผลเกิดเป็นสัญญาณเอเลียส

ปัญหาอย่างหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นกับดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป คือ การที่สัญญาณที่จะทำการวัดมีความถี่สูงมาก ๆ เมื่อมีการสุ่มตัวอย่างสัญญาณดังกล่าว แล้วนำมาสร้างให้ปรากฏบนจออีกครั้ง ผลที่ได้บนจอจะเป็นภาพที่ต่างไปจากสัญญาณที่วัดจริง เรียกว่า สัญญาณเอเลียส (alias signsl) อันเกิดจากอัตราการสุ่มต่ำกว่าความถี่สัญญาณที่วัด โดยดูได้จาก ตัวอย่างในรูปที่ 3.2 ในการใช้งานควรจะพยายามหลีกเลี่ยงอย่าให้เกิดสัญญาณเอเลียสขึ้น เพราะว่าสัญญาณเอเลียสเป็นรูปคลื่นที่มีความถี่ต่างไปจากรูปคลื่นจริงอย่างมาก ซึ่งไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้

การทำให้รูปคลื่นที่ปรากฏบนจอมีความสมบูรณ์ถูกต้องนั้น จำนวนจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างต้องมีมากกว่า 2 เท่าของความถี่ที่วัดนั้นใน 1 รูปคลื่น และเมื่อทำการตรวจวัดขอบขาขึ้นและขอบขาลงของพัลส์จะต้องได้จำนวนครั้งที่สุ่มตัวอย่างมากกว่า 10 ครั้งต่อ 1 รูปคลื่น นอกจากการสุ่มตัวอย่างที่ต้องการความเร็วในการทำงานพอสมควรแล้วยังต้องพิจารณาอีกด้วยว่าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล นั้นสามารถทำงานได้ด้วยความเร็วขนาดไหนซึ่งเราจะพิจารณากันในหัวข้อต่อไป

สิ่งที่จะทำให้เรารู้ถึงขอบเขตการวัดของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป อีกอย่างหนึ่งก็คือค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป สามารถทำการเก็บข้อมูลได้ ซึ่งเราเรียกว่าค่า USB (Useful Storage Bandwidth) USB นี้จะมีค่าเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ด้วย ซึ่งค่า USB สามารถหาได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

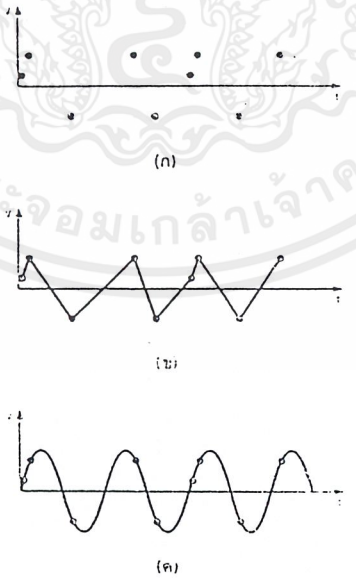
$$USB = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด (MS/s)}}{25} \qquad (3.2)$$

ตัวเลข 25 เป็นจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างภาพบนจอใน 1 รูปคลื่น ซึ่งเป็นค่าที่ใช้โดยทั่วไป

เนื่องจากดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ไม่สามารถแสดงรายละเอียดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าขีดจำกัดได้มากพอ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณโดยการสร้างสัญญาณสุ่มตัวอย่างสอดแทรกลงไปในการสุ่มตัวอย่างแบบปกติ ผลที่ได้คือจะมีจุดเสริมเข้าไปในรูปคลื่นเดิมภาพที่ได้จะมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอมากขึ้นและเรียกวิธีการนี้ว่า "ทฤษฎีการสอดแทรก" (interpolation methods) ซึ่งแสดงตัวอย่างการสอดแทรกสัญญาณในรูปที่ 3.3

ในรูปที่ 3.3 (ก) จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงการสร้างภาพให้ปรากฏบนจอโดยการเรียงจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างโดยปกติจะได้ประมาณ 25 จุดต่อรูปคลื่น ส่วนรูปที่ 3.3(ข) เป็นการลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุดที่ได้มา ทำให้ได้ภาพที่เป็นเส้นตรงที่เชื่อมต่อกัน 10 เส้นต่อรูปคลื่น ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า การสอดแทรกแบบลิเนียร์ (linear interpolation) หรือ การแสดงผลแบบเวกเตอร์ (vecter display) ดังนั้นเมื่อเป็นการแสดงผลของรูปคลื่นซายน์ ค่า USB จะเป็น

$$USB = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด (MS/s)}}{10} \qquad (3.3)$$



รูปที่ 3.3 ทฤษฎีการสอดแทรก

(ก) การแสดงผลแบบจุด

(ข) การสอดแทรกด้วยวิธีเวกเตอร์

(ค) การสอดแทรกแบบซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปที่ 3.3 (ค) เป็นการสอดแทรก โดยการนำเอาฟังก์ชั่นซายน์มาคำนวณลากเส้นเชื่อมต่อ ระหว่างจุด (sinc interpolation) ซึ่งวิธีการนี้จะใช้จุดเพียง 2.5 จุดต่อรูปคลื่นเท่านั้น ในการแสดงผล ดังนั้นค่า USB จะเป็น

$$\text{USB} = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด (MS/s)}}{2.5} \qquad (3.4)$$

ซึ่งทำให้ค่า USB มีค่ามากนั้นเท่ากับว่าขอบเขตของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ก็ถูกขยายมากไปด้วย

หากเราจะพูดกันถึงรูปคลื่นพัลส์แล้ว ส่วนที่มีความสำคัญมากต่อรูปคลื่นชนิดนี้ก็คือ ช่วงเวลาขอบขาขึ้นและขอบขาลงของพัลส์ ดังนั้นเครื่องมือที่จะใช้วัดรูปคลื่นเหล่านี้จะต้องสามารถวัดช่วงขอบขาขึ้นและของขาลงได้โดยมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด ในอนาลอกสโคปสามารถคำนวณหาช่วงเวลาขอบขาขึ้น (t_r : rise time) ของพัลส์ได้ดังนี้

$$t_r\,(\text{ns}) = \frac{0.35}{\text{แบนด์วิดธ์ (MHz)}} \qquad (3.5)$$

จากสูตรดังกล่าวหากอนาลอกสโคปมีย่านการวัด 100 MHz เราจะได้ช่วงเวลาขอบขาขึ้นของพัลส์เท่ากับ 3.5 ns ($0.35/100/10^6$) นี่คือวิธีการของอนาลอกสโคป ส่วนในดิจิตอลสโคปช่วงเวลาขอบขาขึ้นที่วัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.6 เท่าของช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง หากเราคิดเอาช่วงเวลาขอบขาขึ้นเป็น 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแอมปลิจูดของพัลส์ จะได้

$t_r = 0.8 * 2$ (ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง)

หรือ $t_r = 1.6/$ (อัตราการสุ่มตัวอย่าง)

เพื่อให้การคำนวณมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง สูตรการหาช่วงเวลาขอบขาขึ้นที่นำไปใช้งานจริง (Ut_r = Useful Rise Time) จึงใช้ค่า 1.6 ตลอดดังนี้

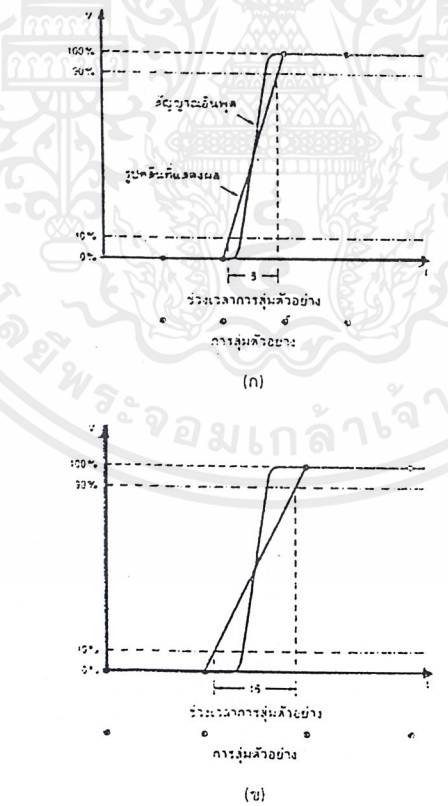
$Ut_r = 1.6 /$ (อัตราการสุ่มตัวอย่าง)

หรือ $Ut_r =$ (ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่างต่ำสุด) * 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป แล้วในการหาช่วงขอบขาขึ้นที่สามารถจะวัดได้จะมีการคำนวณเช่นเดียวกับดิจิตอลสโคป เช่นถ้า มีอัตราการสุ่มตัวอย่างเป็น 100 MS/s ก็จะมีช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.01 μs และ t_rDSO = 0.01*1.6 =16ns นั่นคือ ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปเครื่องนี้จะสามารถแสดงผลช่วงขอบขึ้นในการวัดได้ภายในเวลา 16 ns เมื่อคิดช่วงขอบขาขึ้นเป็น 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแอมปลิจูด

จะเห็นได้ว่าความสามารถในการแสดงผลรูปคลื่นพัลส์นั้นจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปเอง รูปที่ 3.4(ก) จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาขอบขาขึ้นที่อยู่ระหว่างช่วงการสุ่มตัวอย่าง โดยรูปคลื่นที่แสดงผลจะอยู่ในช่วง 0.8 * (ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง) รูปคลื่นที่แสดงผลออกมาจะมีความชันของขอบขาขึ้นต่างจากรูปคลื่นจริงอยู่บ้างพอสมควร และเมื่อดูรูปสัญญาณอินพุทเดียวกัน แต่มีช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างต่างกัน ตามรูปที่ 3.4 (ข) ภาพที่ได้จากการแสดงผลช่วงขอบขาขึ้นจะอยู่ในช่วง 1.6 *(ช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง) ซึ่งถ้าเปรียบกับรูปที่ 3.4 (ก) แล้ว ความชันของขอบขาขึ้นตามรูปที่ 3.4 (ข) จะแตกต่างจากรูปสัญญาณอินพุทจริงค่อนข้างมากทีเดียว



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดช่วงขอบขาขึ้นซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการสุ่มตัวอย่าง

(ก) ช่วงขอบขาขึ้นอยู่ระหว่าง 0.8

(ข) ช่วงขอบขาขึ้นอยู่ระหว่าง 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ทราบในตอนต้นว่า การจัดช่วงขอบขาขึ้นและขอบขาลงของพัลส์จะต้องทำการสุ่มตัวอย่างมากกว่า 10 ครั้ง ดังนั้น เราสามารถหาช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการวัดขอบขาขึ้นได้ โดยหารอัตราการสุ่มตัวอย่าง ด้วย 10 แล้วกลับเศษเป็นส่วนดังนี้

$$\text{Res(resolution)} = \frac{1}{(\text{อัตราการสุ่มตัวอย่าง}) / 10} \qquad (3.6)$$

ถ้าเป็นดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ที่มีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 100 MS/s จะมีการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 10 ns (1/100MS/s) และจะใช้การทำงานกับขอบขาขึ้นเป็นเวลา 100 ns แล้วถ้าหากว่าพัลส์ที่เข้ามาความถี่สูงมาก เราก็ย่อมต้องการดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ที่มีความเร็วในการสุ่มตัวอย่างสูงขึ้นด้วย เช่น 500 MS/s ซึ่งจะมีการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 2 ns และสามารถวัดช่วงขอบขาขึ้นที่อยู่ระหว่างช่วงการสุ่มตัวอย่างโดยใช้เวลา 1.17 ns

จะเห็นว่าดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ตอบสนองการวัดรูปคลื่นพัลส์ได้ไม่ค่อยจะดีเท่ากับอนาลอกสโคป และเราไม่สามารถนำค่า Ut_r ที่วัดได้จากดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ไปคำนวณเปรียบเทียบกับรูปคลื่นจริงได้มากพอดังนั้นเราจะถือว่าค่า Ut_r เป็นค่าซึ่งแสดงถึงขอบเขตจำกัดของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปก็ได้

3.3 การสุ่มตัวอย่างของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

3.3.1 การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริง (Real Time or One-Shot)

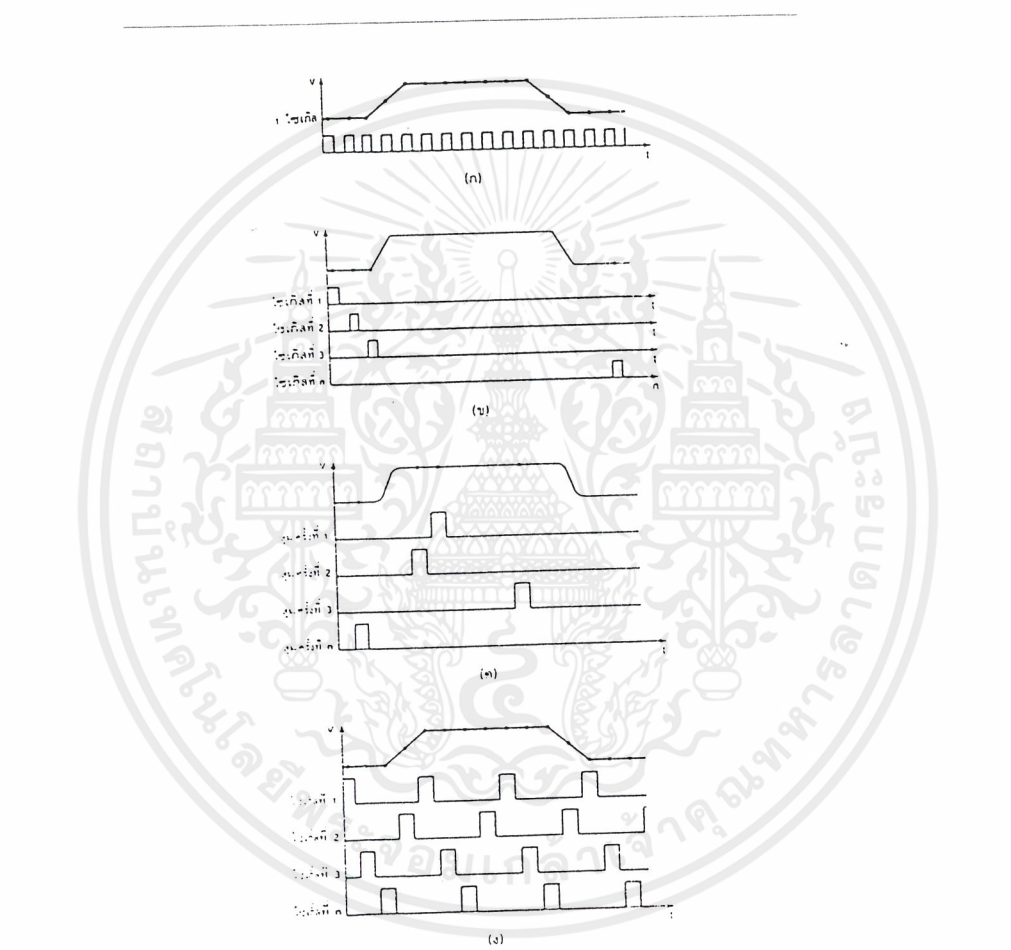
จะเกิดการสุ่มตัวอย่างขึ้นทันทีที่มีการจัดสัญญาณอินพุทได้ โดยผลที่ได้จะมาจากรูปคลื่นจริง ๆ และจะมีความเหมือนกับรูปคลื่นจริงมาก ส่วนมากจะใช้กับสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะหรือใช้ในการสุ่มตัวอย่างบางส่วนของสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์เป็นพิเศษ ดังนั้นความเร็วของการสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริงนี้จึงต้องสูงพอที่จะทำงานในกรณีดังกล่าวได้ การสุ่มตัวอย่างแบบนี้จะทำงานแบบผ่านครั้งเดียวคือ จะมีการสุ่มตัวอย่างจุดเดียวในแต่ละครั้งของการทำงาน จึงสามารถนำไปตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะ เช่น แรงไฟกระชาก , สัญญาณควบคุมเครื่องกล , สัญญาณในลักษณะทางชีววิทยา ฯลฯ ซึ่งจะปรากฏให้สามารถวัดได้ในระยะเวลาที่สั้นมาก การจะใช้วิธีสุ่มตัวอย่างจึงต้องใช้แบบเวลาจริงที่ใช้ในการวัดรูปคลื่นพัลส์หนึ่งลูก

3.3.2 การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือน (Equivalent Time)

การสุ่มตัวอย่างแบบนี้โดยมากจะใช้กับสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันหรือใช้ตรวจจับบางส่วนของสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ กัน การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อย ๆ อีกคือ การสุ่มชนิดเป็นลำดับ (Sequential Sampling) และการสุ่มชนิดไม่เป็นลำดับ (Random Sampling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสุ่มตัวอย่างชนิดลำดับจะเป็นดังรูปที่ 3.5 (ข) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างชนิดนี้ในการทำงานหนึ่งครั้งหรือหนึ่งไซเคิลจะต้องได้จุดบนรูปคลื่น 1 จุดแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ จนกระทั่งหน่วยความจำเต็มเมื่อนำไปแสดงผลก็จะเป็นไปตามรูปที่ 3.6 ส่วนการสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือนชนิดไม่เป็นลำดับนั้นจะเป็นดังรูปที่ 3.5 (ค) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบนี้จะใช้เมื่อมีการทำปรีทริกเกอร์ (pre-trigger) เพื่อดูรูปคลื่นที่อยู่หลังจุดทริก ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นลำดับจะไม่สามารถทำได้



รูปที่ 3.5 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบต่าง ๆ ของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

(ก) การสุ่มแบบเวลาจริง

(ข) การสุ่มแบบเวลาเสมือนชนิดเป็นลำดับ

(ค) การสุ่มแบบเวลาเสมือนชนิดไม่เป็นลำดับโดยใช้จุดเดียวในการทำงานหนึ่งครั้ง

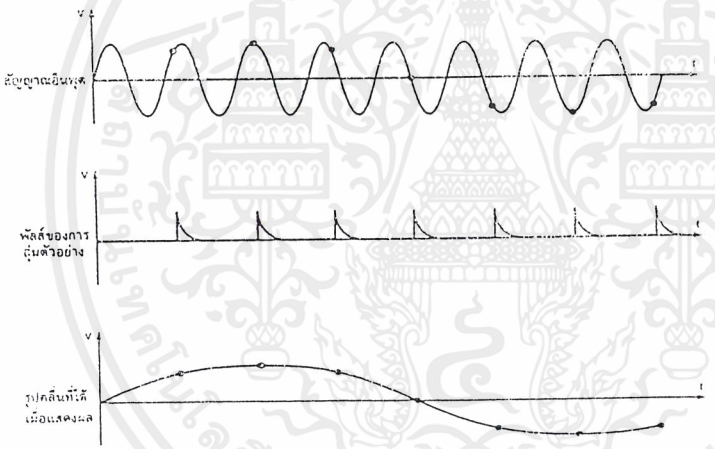
(ง) การสุ่มแบบเวลาเสมือนชนิดไม่เป็นลำดับโดยใช้หลายจุดในการทำงานหนึ่งครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ในการทำงานหนึ่งไซเคิลจะได้จุดบนรูปคลื่น 1 จุดเช่นกัน แต่จะเป็นจุดตรงส่วนใดของรูปคลื่นก็ได้ โดยจะทำไปเรื่อย ๆ จนหน่วยความจำเต็ม

ในรูปที่ 3.5 (ง) จะเป็นการสุ่มตัวอย่างแบบไม่เป็นลำดับเช่นกัน แต่จะต่างกันตรงที่ในการทำงานหนึ่งไซเคิลนั้นจะได้จุดหลายจุดบนรูปคลื่น และในการทำงานครั้งต่อไปก็จะได้จุดหลายจะแต่จะเป็นจุดที่ไม่ซ้ำจุดเดิม (จุดใดก็ได้) การสุ่มตัวอย่างในรูปนี้จะนำไปใช้ประโยชน์เมื่อมีการวิเคราะห์รูปคลื่น โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบนี้มาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์รูปคลื่นในส่วนที่เป็นการทริกในลักษณะต่าง ๆกัน



รูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงผลที่ออกมาจากการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอินพุทแบบเป็นลำดับ

สำหรับดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ที่มีการใช้การแสดงผลแบบอนาลอก ซึ่งระบุความสามารถในการวัดไว้ เช่น 100 MHz ความหมายของ 100 MHz นี้ก็คือ ความสามารถในการวัดสัญญาณความถี่ 100MHz แล้วดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปจะแสดงผลในแบบอนาลอกได้ทันที 100 MHz เฉพาะสำหรับสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ กัน แต่หากเป็นสัญญาณชั่วขณะเกิดขึ้นแล้วใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริง แล้วดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปนี้จะสามารถวัดสัญญาณชั่วขณะได้เพียง 10 MHz เท่านั้น

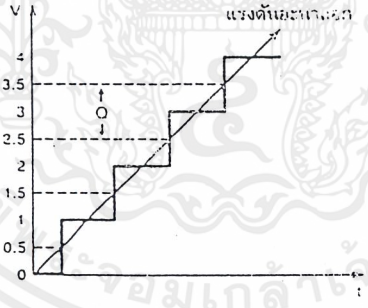
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42722

เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราส่วนระหว่างการทำงานกับสัญญาณปกติและการทำงานกับสัญญาณชั่วขณะของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ก็จะได้เป็น 10:1 และสามารถเพิ่มเป็น 5:1 หรือ 2.5:1 ได้ ซึ่งหมายถึงดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปจะต้องมีการใช้วิธีการสอดแทรกอย่างมากเลยทีเดียว สาเหตุที่เกิดกรณีดังกล่าวขึ้นนั้นมาจากการที่ความสามารถในการสุ่มตัวอย่างถูกกำหนดด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน แต่สัญญาณที่เข้ามาวัดจะเป็นการทำงานแสดงผลแบบอนาลอก ซึ่งขอบเขตของความถี่จะกว้างมากนี่คือการนำข้อดีของอนาลอกมาใช้

3.4 ขั้นตอนหลังการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อเราได้ทำการสุ่มตัวอย่างไปแล้ว ค่าที่ได้จะไม่ทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลในทันที ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่มาจากการสุ่มตัวอย่างนั้นเป็นค่าที่มีระดับแตกต่างกันอย่างมากมาย ในทางปฏิบัติเราจะไม่สามารถแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลได้มากขนาดนั้น จึงจำเป็นต้องแบ่งค่าที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่ม ๆ เราเรียกว่า ควอนไตซิ่ง (quantizing) ซึ่งการควอนไตซิ่งนี้จะเป็นการนำค่ามาจากการสุ่มตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงกันมากอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ต่อจากนั้นจะนำค่าตัวเลขมาใช้แทนกลุ่มสัญญาณดังกล่าว



รูปที่ 3.7 การควอนไตซิ่งโดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนแรงดันอนาลอกเป็นเลขฐานสองที่ระดับต่าง ๆ

การแบ่งกลุ่มสัญญาณจะมีลักษณะเป็นขั้นบันได ตามรูปที่ 3.7 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,ระดับ2.5 แทนกลุ่ม 2-3 และระดับ 3.5 แทนกลุ่ม 3-4 ค่า 0.5,1.5,2.5 และ 3.5 จะนำไปใช้ในADC อีกครั้งเพื่อทำเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวิธีการควอนไตซึ่งดังกล่าวมีโอกาสที่จะเกิดค่าคลาดเคลื่อนได้ อันเนื่องมาจากสัญญาณที่จะเกิดค่าคลาดเคลื่อนได้ อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบทำให้ค่าที่ได้ในการจัดกลุ่มผิดไปจากความเป็นจริงด้วย และเนื่องจากการควอนไตซึ่งนั้นประกอบจากวงจรดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้จึงเกิดความไม่แน่นอนของผลที่ได้อยู่บ้าง โดยความไม่แน่นอนเหล่านี้จะแสดงค่าบวก ลบ ของบิตสุดท้าย

เมื่อผ่าน ADC แล้ว นอกจากบิตสุดท้ายจะเป็นค่าความไม่แน่นอนแล้ว บิตอื่น ๆ ก็ยังเป็นค่าผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนได้ด้วยเหมือนกันแต่สัญญาณดิจิตอลที่ได้ส่วนใหญ่ก็ยังคงมีความเที่ยงตรงอยู่มาก

3.5 การเก็บข้อมูลของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

ความสามารถของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งก็คือ ความสามารถในการเก็บข้อมูล ซึ่งสำหรับดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป แล้วหน่วยความจำที่สามารถรองรับข้อมูลได้นั้นก็มีมากมายเช่นเดียวกับบรรดาคอมพิวเตอร์ทั้งหลาย ดังนั้น จึงเป็นที่แน่นอนว่าหน่วยความจำที่ใช้ก็ย่อมมี 2 แบบ คือ RAM และ ROM

สำหรับ RAM สามารถเก็บข้อมูลที่เป็นปัจจุบันได้อยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ ROM นั้นจะเป็นหน่วยความจำแบบถาวร ไม่สามารถบันทึกข้อมูลเพิ่มเติมได้ ส่วนมากจะใช้ในการแสดงคุณสมบัติอุปกรณ์หรือวงจรต่าง ๆ รวมทั้งการแก้ไขปัญหาในลักษณะต่าง ๆ กัน

การเก็บข้อมูลนั้นยังสามารถบันทึกลงบนแผ่นดิสเก็ตต์ , เทปแม่เหล็ก หรือแม้แต่การพ่วงเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อโอนถ่ายข้อมูลได้ด้วย

สำหรับการเก็บข้อมูลแบบ RAM นั้นโดยปกติจะมีทั้งแบบ CMOS และ NMOS หรือแม้แต่ ECL (Emitter Coupled bipolar Logic) ซึ่งแบบต่างๆ เหล่านี้นั้นเป็นหน่วยความจำ RAM ซึ่งอยู่ภายในดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป และมีขนาดหน่วยความจำที่จำกัด สำหรับหน่วยความจำขนาดใหญ่และมีความยาวข้อมูลมาก ๆ นั้นก็จะต้องมีการแก้ไขปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลาด้วยและขนาดหน่วยความจำที่ดิจิตอลสตอเรจออสซิโลสโคป ใช้จะอยู่ในช่วง 4 k ถึง 32 k นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีหน่วยความจำแบบแผ่นการ์ด (RAM card) อีกด้วย

3.6 ปัญหาพื้นฐานของดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นบ่อย ๆ กับอนาลอกสโคปและดิจิตอลสโคปแบบเก่า ๆ ก็คือ การสั่นไหวของภาพทางแนวนอน (horizontal jitter) อาการดังกล่าวจะทำให้ภาพที่ได้จากการวัดเกิดอาการพร่ามัว เนื่องจากมีการสั่นของภาพ และจะเกิดขึ้นกับรูปคลื่นซายน์ไปจนถึงรูปคลื่นพัลส์ด้วย เราจึงคำนวณให้มีค่าเป็น $\pm \frac{1}{2}$ ของช่วงเวลาระหว่างการสุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดีปัญหานี้ก็อาจจะเกิดขึ้นได้อีกอันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก อย่างเช่นการที่สัญญาณอนาลอกที่ทำการวัดมีระดับแรงดันที่ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งแรงดันดังกล่าวจะเข้าไปเกี่ยวพันกับการทริกของสโคปโดยตรงด้วย สรุปแล้วถ้าทุกอย่างภายนอกเป็นปกติปัญหานี้ก็จะไม่เกิดขึ้นมาอีกอย่างแน่นอนสำหรับดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

3.7 ความละเอียดถูกต้องแม่นยำ

ความละเอียดและความถูกต้องแม่นยำเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก ๆ สำหรับเครื่องวัดทุกชนิ DSO ก็เช่นเดียวกัน เมื่อพูดถึงความละเอียดทางด้านแนวตั้งย่อมจะหมายถึง ความสามารถในการแยกแยะระหว่างสัญญาณซึ่งอยู่ติด ๆ กัน

โดยปกติแล้วความละเอียดทางด้ายแนวตั้งของดิจิตอลสตอเรจออสซิโลสโคปจะถูกกำหนดด้วยจำนวนเลขฐานสองที่เป็นเอาต์พุทของ ADC ตัวอย่างเช่น ADC ให้เอาต์พุทออกมา 8 บิตก็จะมีความละเอียดได้ถึง 256 ตำแหน่ง หรือคิดเป็น 0.391 % (1/256) เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้นนอกจากเราต้องรู้จำนวนบิตของ ADC แล้วเราจะต้องรู้อีกว่าถ้าเราตั้งค่าโวลต์ต่อช่องไว้ที่ค่าหนึ่งแล้วเราสามารถอ่านค่าความละเอียดออกมาเป็นเท่าไร ตัวอย่างเช่น ถ้าเราตั้งค่าโวลต์ต่อช่องไว้ที่ 50 mV/div เมื่ออ่านค่าเดิมหน้าจอซึ่งมี 8 ช่อง ก็จะอ่านค่าได้ทั้ง 40 mV และถ้า ADC ใช้ 8 บิต เราก็จะได้ความละเอียดของแนวตั้งทั้งสิ้น 256 ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละช่วงระหว่างตำแหน่งจะมีค่าเป็น

$$400/1000/256 = 1.5625 \text{ mV}$$

นั่นคือ 1 ตำแหน่งจะแทนเป็นระดับแรงดันได้ 1.5625 mV ในทำนองเดียวกันหาก ADC ให้เอาต์พุทออกมา 4 บิต ความละเอียดทางแนวตั้งก็จะได้ 16 ตำแหน่งและตั้งโวลต์ต่อช่องไว้ที่ค่าเดิมดังนั้นสำหรับ 1 ตำแหน่งก็จะมีค่าเป็น 25 mV (0.4/16)

ดังนั้นจำนวนบิตของ ADC และมาตรส่วนทางแนวตั้งที่ตั้งค่าไว้จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดต่าง ๆ ของรูปคลื่น เมื่อรายละเอียดต่าง ๆ ของการแสดงผลมีความสมบูรณ์นั้นย่อมหมายความไปถึงว่าจะไม่มีเครื่องมือวัดที่จะมีความถูกต้องแม่นยำกว่า

ต่อไปเราจะมาพิจารณาถึงความละเอียดทางด้านแนวนอนกันบ้างสำหรับความละเอียดทางด้านแนวนอนนั้นเป็นค่าที่เกี่ยวพันกับคาบเวลาที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบดิจิตอล หากสัญญาณถูกเก็บไว้ภายในข้อมูล 1024 เวิร์ด ก็จะได้ค่าความละเอียดของด้ายแนวนอนเป็น 1/1024 หรือคิดเป็น 0.098%

เราลองมาเปรียบเทียบกันดูดีกว่าสำหรับหัวข้อนี้นั้นอนาลอกกับดิจิตอลเป็นอย่างไร ถ้าเป็นอนาลอกสโคปความละเอียดของภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวด้านหน้าจอ CRT และขนาดรูปร่างของลำอิเล็กตรอนที่ใช้ในการเขียน รวมไปถึงความสามารถในการทำงานของวงจรขยายสัญญาณทางแนวตั้งและแนวนอนซึ่งกลายเป็นปัจจัยอันหนึ่งที่กลายเป็นขีดจำกัดอย่างมากสำหรับอนาลอกสโคปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สำหรับดิจิตอลสโคปความละเอียดทางแนวตั้งจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ ADC ใช้ และในเรื่องของความถูกต้องแม่นยำ อนาลอกจะคล้ายกับดิจิตอลในบางกรณี ซึ่งโดยปกติค่าความคลาดเคลื่อนทางแนวตั้งจะไม่เกิน ±2-4% และทางแนวนอนจะไม่เกิน ± 1-3%

อย่างไรก็ดีดิจิตอลสโคปมีข้อได้เปรียบเรื่องความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ด้วยลักษณะของภาพที่เรียกว่า frozen ที่ปรากฏบนจอ CRT และโดยการใช้ตัวชี้ค่าที่เราเรียกกันว่า cursors ซึ่งมีการชี้ค่าได้แม่นยำมากทีเดียว สิ่งที่เสริมเข้ามานี้ทำให้ดิจิตอลสโคปสามารถลบจุดด้อยด้านความแม่นยำบางเรื่องลงไปได้มากทีเดียว

สำหรับเรื่องของฐานเวลานั้นดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปจะไม่ใช้วงจรกำเนิดฐานเวลาแบบลิเนียร์สวีพ (linear sweep) แต่จะใช้วงจรกำเนิดฐานเวลาแบบคริสตอลแทนเนื่องจากฐานเวลาที่ได้จากแบบคริสตอลจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ± 0.01%

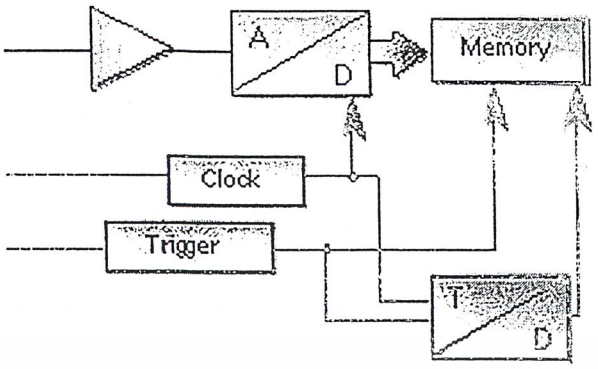
เมื่อมาถึงจุดนี้เราจะเห็นว่าความแม่นยำด้านแนวนอนจะเกี่ยวพันกับสัญญาณนาฬิกา , ขนาดของหน่วยความจำ , และตัวชี้ค่า จะเห็นว่าความแม่นยำด้านแนวนอนจะต้องอาศัยองค์ประกอบเยอะมากทีเดียว ดังนั้นเพื่อให้เกิดค่าความแม่นยำด้านแนวนอนสูงสุดสำหรับดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป เราจึงต้องทำการวัดสัญญาณนั้น ๆ ซ้ำ ๆ กันและต้องลดทอนค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเลิกใช้ตัวชี้ค่าไม่เหมาะสมลงด้วย

3.8 สัญญาณชั่วขณะ (Transient capture)

สโคปแบบอนาลอกส่วนใหญ่ไม่สามารถแสดงสัญญาณชั่วขณะที่เกิดขึ้นได้ ในทางตรงข้ามสโคปแบบดิจิตอลถูกออกแบบเพื่อจับสัญญาณชั่วขณะ โดยมีโครงสร้างของดิจิไตเซอร์ 3 แบบ สำหรับทรานเชี้ยนดิจิไตเซอร์และ RIS (Random Interleaved Sampling) สามารถจับสัญญาณชั่วขณะและบันทึกข้อมูลรูปคลื่นปรีทริกเกอร์(Pre-trigger)ได้ ในขณะที่แซมปลิ้งดิจิไตเซอร์ไม่สามารถทำได้ดิจิไตเซอร์ทั้ง 3 ชนิดสามารถบันทึกสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำๆ หลายครั้งได้

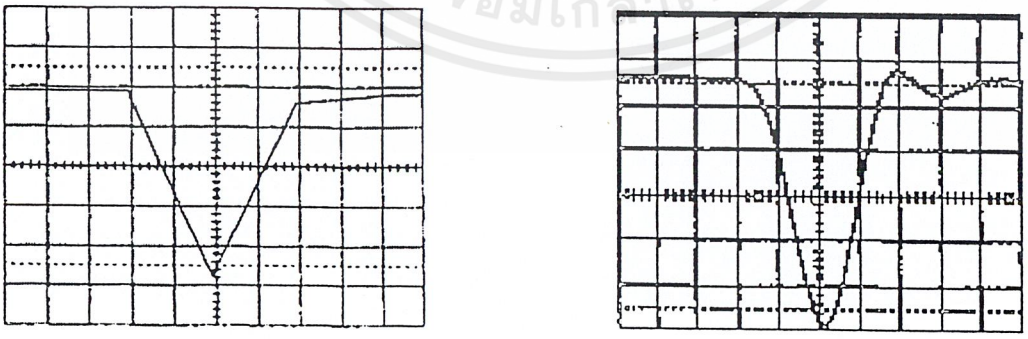
ในทรานเชี้ยนดิจิไตเซอร์ มีอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) และหน่วยความจำรูปคลื่น อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะเปลี่ยนสัญญาณต่อเนื่องให้อยู่ในรูปตัวเลข และส่งสัญญาณที่สุ่มได้ไปยังหน่วยความจำแบบ circular addressing หลังจากใช้หน่วยความจำตำแหน่งสุดท้ายระบบจะเขียนข้อมูลทับอันเดิม โดยเริ่มเขียนทับที่หน่วยความจำเริ่มต้น หลังจากทริกเกอร์ถูกผลิตขึ้น หน่วยความจำจะยังคงทำงานต่อไปโดยเป็นค่าที่ถูกเลือกใช้ของตัวอย่างโพสทริกเกอร์ หลังจากนั้นอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะหยุดป้อนข้อมูลสู่หน่วยความจำ ถ้าผู้ใช้เลือกใช้ข้อมูลปรีทริกเกอร์ 100% แล้วอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะหยุดส่งข้อมูลทันทีที่ทริกเกอร์มาถึง ถ้าผู้ใช้เลือกโพสทริกเกอร์ 100 % ระบบจะเติมข้อมูลทุกแอดเดรสของหน่วยความจำมากกว่า 1 ครั้งแล้วหยุดหน่วยความจำจะมีข้อมูลรูปคลื่นที่เกิดขึ้นหลังทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 บล็อคไดอะแกรมของ RIS ดิจิไตเซอร์

RIS ดิจิไตเซอร์ ประกอบด้วยทรานเชี้ยนดิจิไตเซอร์ที่เพิ่มโหมดการสอดแทรกสำหรับทริกเกอร์แต่ละอัน RIS ดิจิไตเซอร์จะบันทึกชุดของจุดตัวอย่างรูปคลื่น จุดตัวอย่างในดิจิไตเซอร์มาจากการได้มาของการเพิ่มทริกเกอร์ เพื่อสร้างรายละเอียดของรูปร่างสัญญาณต้นกำเนิด เนื่องจากดิจิไตเซอร์ไม่มีทางรู้ว่ามีสัญญาณทริกเกอร์แล้ว สัญญาณนาฬิกาและจุดทริกเกอร์จึงไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นเวลาระหว่างทริกเกอร์และทุก ๆ สัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนแปลงอย่างสุ่มจากรูปคลื่นที่ได้มาโครงสร้างของ RIS ใช้ TDC ในการวัดความสัมพันธ์และความแม่นยำของการได้มาของรูปคลื่นTDC มีการแก้ปัญหาเรื่องเวลามากกว่าการเว้นช่วงของเวลาของตัวอย่างดังนี้ RIS จะช่วยแสดงผลให้เห็นรายละเอียดที่ทรานเชี้ยนดิจิไตเซอร์อย่างเดียวพลาดไป RIS สามารถเลือกการบันทึกปรีทริกเกอร์เช่นเดียวกับทรานเชี้ยนดิจิไตเซอร์



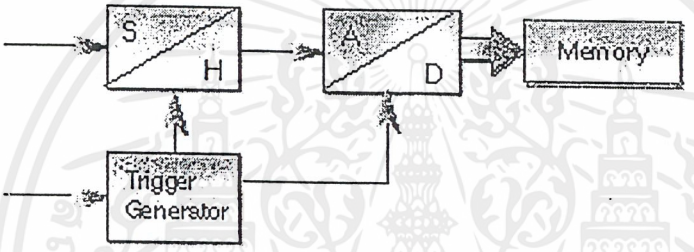
(A) (B)

รูปที่ 3.9 (A) 199 MS/s ความกว้างพัลส์ 5 นาโนวินาที

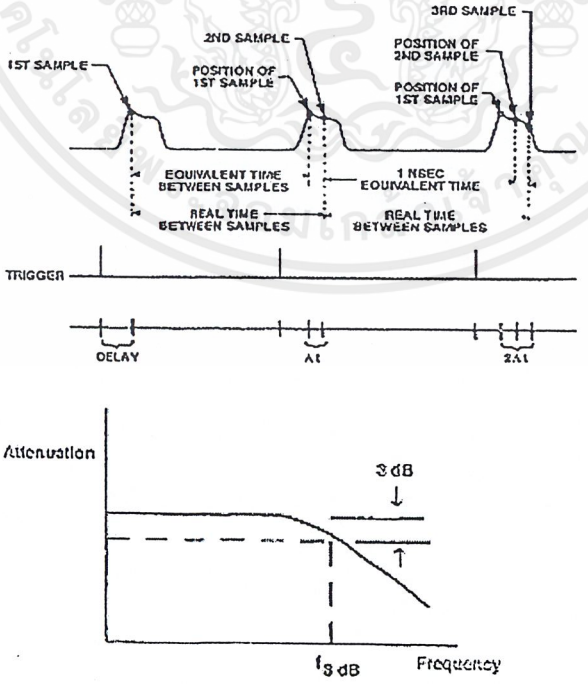
(B) 5 GS/s ความกว้างพัลส์ 5 นาโนวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิไตเซอร์การสุ่มตัวอย่าง (Sampling digitizer) ที่มีประสิทธิภาพประกอบด้วยส่วนหัวของการสุ่มตัวอย่าง , อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) ,หน่วยความจำรูปคลื่นและวงจรสัญญาณเวลา ส่วนหัวของการสุ่มตัวอย่างจะเก็บค่าศักดาไฟฟ้าและคงค่าไว้ ขณะที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลทำการแปลงเป็นตัวเลข ดิจิไตเซอร์การสุ่มตัวอย่างจะได้ 1 ตัวอย่างต่อทริกเกอร์ สำหรับแต่ละทริกเกอร์ตามลำดับ วงจรสัญญาณเวลาจะหน่วงเวลาจากทริกเกอร์ถึงจุดตัวอย่าง เช่น สำหรับอัตราการสุ่ม 1 GS/s จุดตัวอย่างแรกจะอยู่ที่จุดทริกเกอร์ จุดที่ 2 หน่วงไป 1 นาโนวินาที จุดที่ 3 หน่วงไป 2 นาโนวินาที เนื่องจากจุดตัวอย่างถูกหน่วงจากจุดทริกเกอร์ ดังนั้นดิจิไตเซอร์การสุ่มตัวอย่างไม่สามารถบันทึกข้อมูลที่มีก่อนทริกเกอร์ได้



รูปที่ 3.10 บล็อคไดอะแกรมของดิจิไตเซอร์การสุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 3.11 การลดทอนในแถบผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 แบนวิดธ์และอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Bandwidth and Sample rate)

แบนวิดธ์เป็นส่วนสำคัญที่ต้องระบุสำหรับดิจิไตเซอร์เช่นเดียวกับสโคปแบบอนาลอก การขยายข้อมูลที่ป้อนเข้าของดิจิไตเซอร์และการกรองเป็นตัวตัดสินกำหนดแบนวิดธ์ ขอบสัญญาณพัลส์ที่เร็วและจุดยอดของรูปคลื่นที่ฉับพลัน ประกอบด้วยส่วนประกอบสัญญาณความถี่สูงเพื่อที่จะบันทึกยอดและขอบของสัญญาณได้ถูกต้องแม่นยำ ดิจิไตเซอร์ต้องมีแบนวิดธ์เพียงพอเพื่อจะผ่านสัญญาณความถี่สูงที่มีการลดทอนต่ำ

ต้องมีแบนวิดธ์เท่าใด เพื่อแสดงการขยายจุดยอดสัญญาณอย่างถูกต้องแม่นยำ แบนวิดธ์ของดิจิไตเซอร์ควรจะมีมากกว่าของแบนวิดธ์ของสัญญาณ ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาแบนวิดธ์ของสัญญาณโดยการประเมินค่าเวลาที่เพิ่มขึ้นเร็วกว่า สมมติผลตอบสนองต่อระบบมีโพลเดียวแบนวิดธ์ของสัญญาณจะเป็นดังนี้

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

แบนวิดธ์ของดิจิไตเซอร์แสดงความถี่ซึ่งถูกลดทอนลง 3 dB การลดทอนนี้เกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป เริ่มจากความถี่ต่ำกว่าดังนั้นต้องเลือกดิจิไตเซอร์ซึ่งมีแบนวิดธ์สูงกว่าของสัญญาณผลกระทบต่ออัตราการสุ่มตัวอย่างของแบนวิดธ์ที่ใช้

อัตราการสุ่มตัวอย่างของดิจิไตเซอร์สามารถลดแบนวิดธ์ที่ใช้ เพื่อให้แน่ใจว่าการสุ่มตัวอย่างที่ใช้เพียงพอ เรารับมา 4 ตัวอย่างต่อรอบกับการแทรก sin x/x หรือ 10 ตัวอย่างต่อรอบกับการแทรกเส้นตรง ถ้าเป็นสัญญาณทรานเชี้ยนพิจารณารายละเอียดอัตราการสุ่มตัวอย่าง ซิงเกิลชอท (Single Shot) ถ้าเกิดซ้ำ ๆ หลายครั้งสามารถใช้อัตราการสุ่มที่เท่า ๆ กันอย่างรวดเร็ว

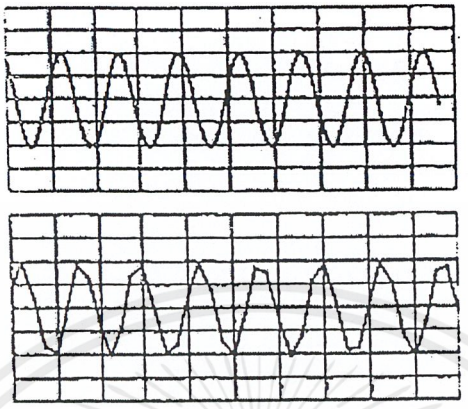
ดิจิไตเซอร์ในอุดมคติที่ไม่มีสัญญาณรบกวนและให้สัญญาณจำกัด หลักการไนควิสต์ (Nyquist Theorem) ต้องได้อย่างน้อย 2 ตัวอย่างต่อแต่ละลูกคลื่นอาจกล่าวอีกอย่างได้ว่าความถี่ข้อมูลป้อนเข้าที่สูงที่สุดห้ามเกินครึ่งหนึ่งของอัตรากรสุ่มตัวอย่าง ขั้นตอนการสอดแทรก sin x/x สามารถจำลองสัญญาณข้อมูลป้อนเข้าในดิจิไตเซอร์อย่างแม่นยำถูกต้องเหมาะสม ขั้นตอน sin x/x เหมาะกับส่วนโค้งระหว่างจุดตัวอย่างเพื่อแสดงรูปคลื่นที่เรียบ มีข้อเสียการสอดแทรก sin x/x สามารถขยายสัญญาณรบกวน เนื่องจากสัญญาณรบกวนมีอยู่ในสัญญาณจริงและในดิจิไตเซอร์ดังนั้น sin x/x ควรจะใช้อย่างระมัดระวังโดยเฉพาะการสุ่มตัวอย่างเพียง 2 ตัวอย่างต่อลูกคลื่น

ขั้นตอน sin x/x จะสร้างโอเวอร์ชู้ทและพรีชู้ทบนขอบที่ไม่เป็นที่ต้องการด้วย ดังนั้นจึงต้องการตัวอย่างข้อมูลอย่างน้อย 2 อันบนขอบของสัญญาณ ผู้ใช้สามารถตรวจสอบจุดข้อมูลดิบที่ได้มาในสโคปโดยใช้แสดง sin x/x

สำหรับการแทนรูปคลื่นที่แม่นยำกว่า ดิจิไตเซอร์ควรบันทึกอย่างน้อย 4 จุดตัวอย่างต่อลูกคลื่นของส่วนประกอบของคลื่นซายน์ที่มีความถี่สูงสุด สุดตัวอย่างที่เพิ่มเติมเพิ่มอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน สำหรับการสอดแทรก sin x/x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสอดแทรกเส้นตรงสามารถแสดงรูปคลื่นที่ถูกต้องแม่นยำโดยปราศจากการขยายสัญญาณรบกวนเพื่อผลที่ดีจะต้องการอย่างน้อย 10 ตัวอย่างต่อลูกคลื่น

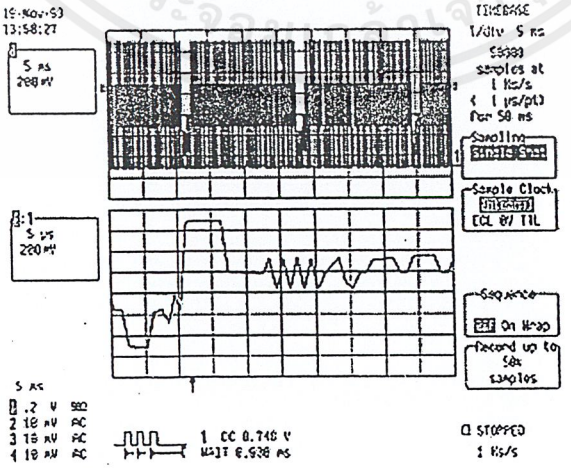


รูปที่ 3.12 สัญญาณซายน์ที่มี 25 ตัวอย่างต่อลูกคลื่นและการสอดแทรกแบบเส้นตรง

3.10 ประโยชน์ของหน่วยความจำที่ยาวในดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป

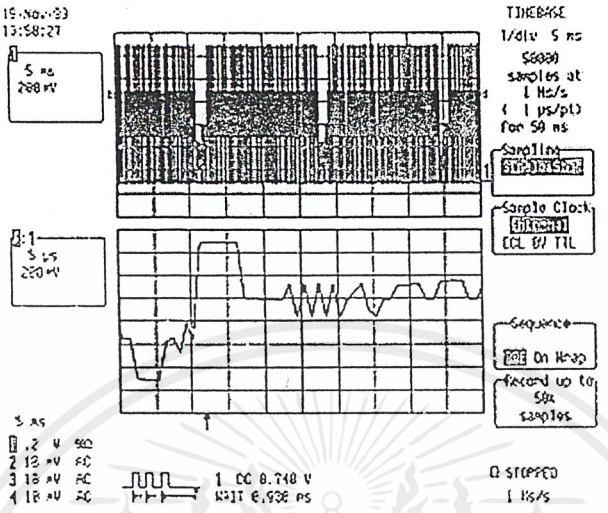
การเพิ่มความยาวของหน่วยความจำใน DSO นำมาซึ่งข้อได้เปรียบหลายอย่าง

1. ไม่สูญเสียข้อมูลของรูปคลื่นเนื่องจากอัตราการสุ่มลูกคลื่นที่มีประสิทธิภาพสูง
2. จับสัญญาณกลิทช์ได้โดยไม่ทำให้รูปคลื่นผิดรูปหรือบิดเบือนไป
3. ความละเอียดเรื่องความถี่และเวลาที่ดีกว่า
4. การจับที่เชื่อถือได้ของเหตุการณ์ซึ่งไม่สามารถทำนายได้ในเวลานั้น
5. ไม่เสียเวลาระหว่างเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์ที่ได้รับ



รูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14

3.10.1 การเก็บรายละเอียด

รูปที่ 3.13 และ 3.14 แสดงรูปคลื่นเดียวกันโดยสโคปที่ต่างกัน อันแรกมีหน่วยความจำ 2.5 M และอันที่สอง 50 k การตัดสินใจที่ดีกว่าของสโคปที่มีหน่วยความจำมากกว่าสามารถเห็นได้จากการเปรียบเทียบส่วนขยายของรูปคลื่นในรูปที่ 3.13 กับการขยายในรูปที่ 3.14 ของสโคปที่มีหน่วยความจำน้อยกว่า สโคปที่มีหน่วยความจำมากกว่าจะแสดงรูปคลื่นที่ไม่บิดเบือน โดยตัวอย่างที่ชัดเจน

จากตัวอย่างแสดงให้เห็นผลของความยาวที่บันทึกบนอัตราการสุ่มตัวอย่าง สโคปทั้งสองแสดง 50 msec ของข้อมูล ดังนั้น 50k สโคปจะมีความเร็ว 1MS/s และ 2.5 M สโคปจะมีความเร็ว 50 MS/s

ดังนั้นอัตราการสุ่มตัวอย่างเป็นหน้าที่โดยตรงของความยาวของหน่วยความจำ (จะเป็นจริงถึงขีดจำกัดของอัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุดของสโคป) ดังนั้นหน่วยความจำที่ยาวกว่าจะรักษาแบนวิดธ์ไว้มากกว่าการตั้งเวลาต่อช่วงโดยปราศจากอะไรที่ครึ่ง ๆ กลาง ๆ กับอัตราการสุ่มตัวอย่างที่ต่ำกว่า ถ้าสโคป 2 อันมีความสามารถอัตราการสุ่มตัวอย่างเหมือนกัน สำหรับรูปคลื่นสั้น ๆ ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปที่มีหน่วยความจำยาวกว่าสามารถเก็บข้อมูลรูปคลื่นได้มากกว่าและให้แบนวิดธ์มากกว่าสำหรับสัญญาณที่ยาวกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.2 การจับสัญญาณกลิทช์ถาวร

สโคปแสดงข้อมูลโดยวิธีที่ต่างกัน บางอันแสดงเฉพาะส่วนเล็ก ๆ ของหน่วยความจำบนจอ หรือเลื่อนตำแหน่งบนจอเพื่อแสดงข้อมูลที่เหลือ การแสดงจุดที่วัดทั้งหมดบนจอโดยวิธีที่รูปคลื่นที่สามารถแสดงร่วมกัน นี่เป็นการใช้วิธีทำให้รวมกันและรับรองกลิทช์ การแสดงเป็นส่วนน้อย 1/8000000 ของรูปคลื่นที่แสดงจะถูกจับอย่างแม่นยำสม่ำเสมอ และแสดงผลเปรียบเทียบกับสโคป ซึ่งเชื่อใจได้ในการค้นพบจุดยอดเพื่อจับกลิทช์ ข้อมูลการค้นพบจุดยอดอาจจะมีประโยชน์ในการพิจารณา แต่มันจะให้ผลที่ไม่แน่นอนเพราะตลอดเวลาข้อมูลจะมีการเบี้ยง

ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคปบางอันจะมีส่วนสำหรับการค้นหาจุดยอดซึ่งอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล จะมีอัตราการสุ่มตัวอย่างเฉพาะจุดสูงสุดและต่ำสุดของค่าสัญญาณ และจะถูกนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำเราไม่สามารถรู้เวลาที่เกิดจุดยอด

3.10.3 การแก้ปัญหาเรื่องความถี่และเวลา

เปรียบเทียบสโคปในรูป 3.13 และ 3.14 สโคปอันแรกจะมีจุดตามแนวขวางมากกว่า 50 ครั้ง นั่นคือมีแฟคเตอร์ 50:1 การแก้ปัญหาทางแกน X ที่ดีจะปรับปรุงความแม่นยำถูกต้องของการวัดความสัมพันธ์ที่เวลาขณะใด ๆ และผลนี้ก็จะช่วยปรับปรุงการแสดงทางด้านความถี่ด้วย เพราะว่าจำนวนของจุดที่แสดงตามแบบ FFT จะเท่ากับจำนวนจุดที่บันทึกต้นแบบ

3.10.4 ความเชื่อถือได้ในการจับสัญญาณที่ไม่สามารถทำนายได้

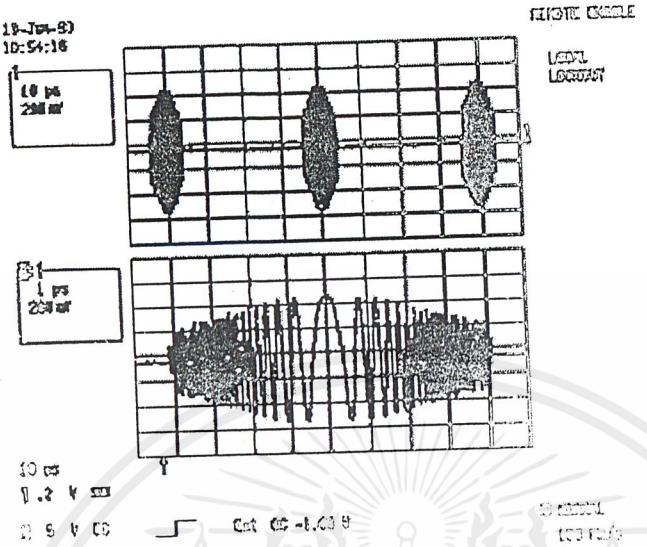
เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบางเหตุการณ์อาจไม่สามารถทำนายได้ซึ่งเป็นการยากที่จะทริกเกอร์ได้ วิธีที่ง่ายคือใช้สโคปที่มีหน่วยความจำยาว ขบวนพัลส์จะถูกจับและขยาย มีการทำความเข้าใจกับความผิดพลาดที่เกิดและได้ใช้สมาร์ททริกเกอร์กับเหตุการณ์เฉพาะที่เกิดขึ้นนี้

3.10.5 ไม่มีการสูญเสียเวลาระหว่างการรับข้อมูล

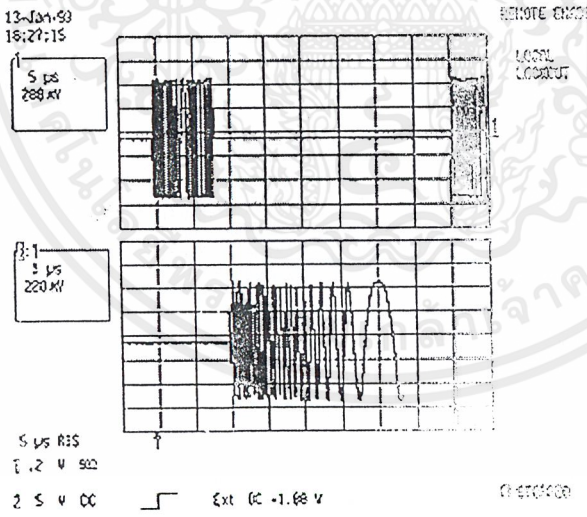
ช่วงเวลาระหว่างการได้มาจะมีช่วงเวลาที่แน่นอนระหว่างช่วงเวลานี้สโคปมีหลายขบวนการที่แสดงเป็นปกติเวลานี้ทำให้เกิดปัญหาเมื่อได้รับเหตุการณ์ต่อเนื่องเข้ามา จากตัวอย่างเป็นสัญญาณเบิร์สต่อเนื่องตามรูปที่ 3.15 เพื่อความแม่นยำในการแสดงผลที่ต้องการอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณสูงสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลา

รูปที่ 3.16 แสดงสัญญาณที่มีช่วงเวลาระหว่างสัญญาณเบิร์สที่ยาวกว่า ซึ่งจะใช้วิธีแบ่งหน่วยความจำออกเป็นส่วนย่อย ๆ ทำให้สามารถลดเวลาเหลือน้อยกว่า 100 ไมโครวินาที ดังนั้นสัญญาณเบิร์สที่แสดงถูกเก็บเป็น 50 ส่วน ๆ ละ 1 กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15

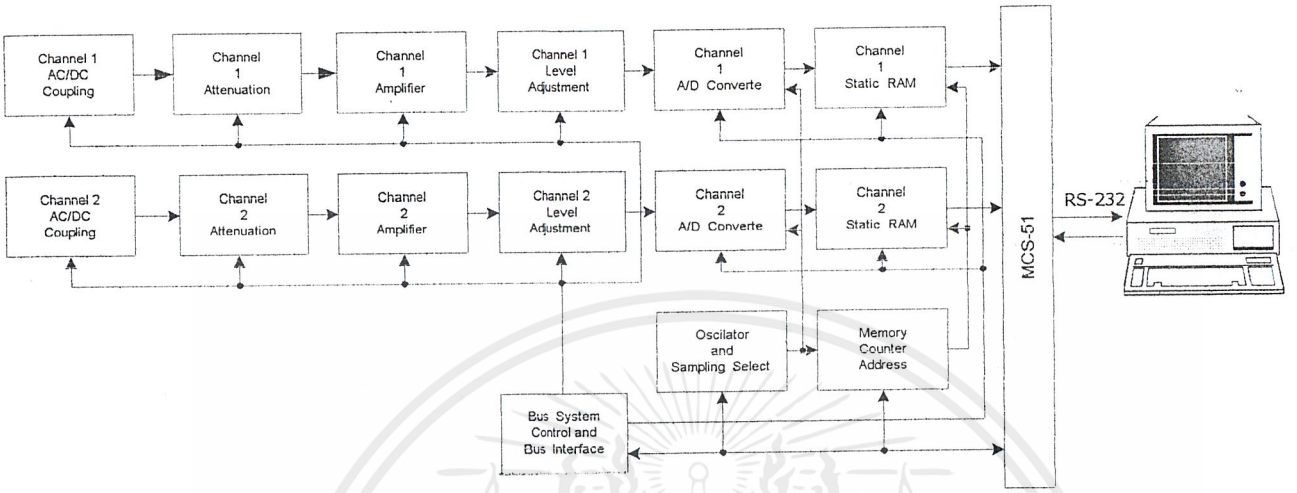


รูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการออกแบบวงจร



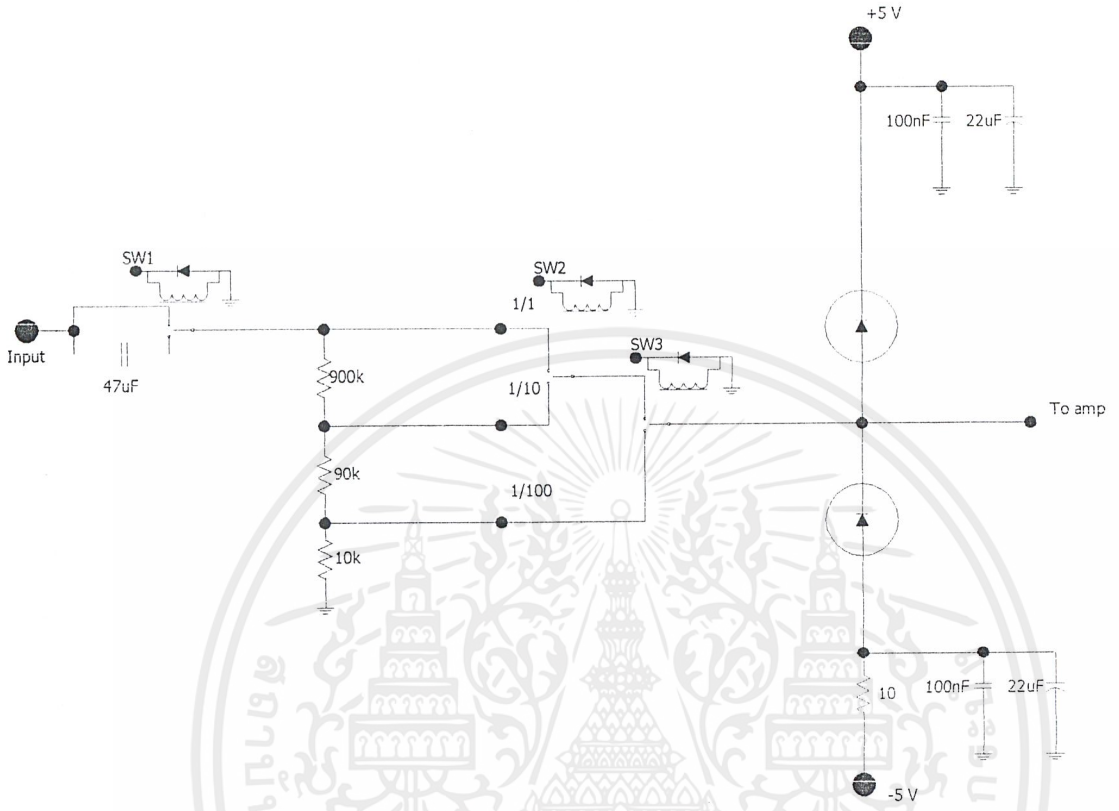
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์

จากบล็อกไดอะแกรม สัญญาณอินพุทที่เข้ามาของแต่ละช่อง จะถูกส่งเข้าสู่วงจร วงจร Select Mode จะทำการเลือกว่าจะทำการวัดใน Mode AC หรือ DC สัญญาณที่ผ่านการ Select Mode จะถูกส่งเข้าไปให้วงจร Attenuator เพื่อลดทอนแรงดันสูง ๆ ให้มีค่าขนาดสัญญาณลดลง แล้วจึงส่งเข้าสู่วงจร Amplifier แล้วก็จะถูกส่งเข้าสู่วงจร A/D Converter ข้อมูลที่ได้จากการ Converter จะถูกส่งเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ

ส่วนบล็อกไดอะแกรม Oscillator and sampling จะทำหนาที่ผลิตความถี่ และเลือกความถี่ที่จะใช้ในการ sampling ส่วน Counter Address Memory จะนำความถี่ที่ใช้ในการ sampling มาเป็น Counter ให้แก่แอดเดรสของ SRAM ส่วน Bus System Control & Bus Interface จะทำหน้าที่ควบคุมส่วนต่างๆ และเชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรเลอร์ (MCS51) แล้ว ไมโครคอนโทรเลอร์ จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับ คอมพิวเตอร์ ผ่านทางพอร์ตอนุกรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator)

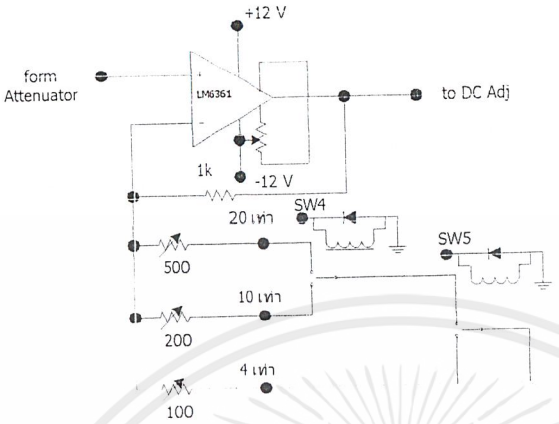


รูปที่ 4.2 วงจรลดทอนสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามามีขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะต้องปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะส่งไปยังภาคอื่น ๆ ต่อ ซึ่งการลดทอนสัญญาณจะใช้หลักการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และการลดทอนสัญญาณจะต้องเป็นอิสระกับความถี่ ในวงจรมีการลดทอนทั้งหมด 3 ระดับ คือ 1/1 , 1/10 และ 1/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรขยายสัญญาณแนวตั้ง (Vertical Amplifier)



รูปที่ 4.3 วงจรขยายสัญญาณ

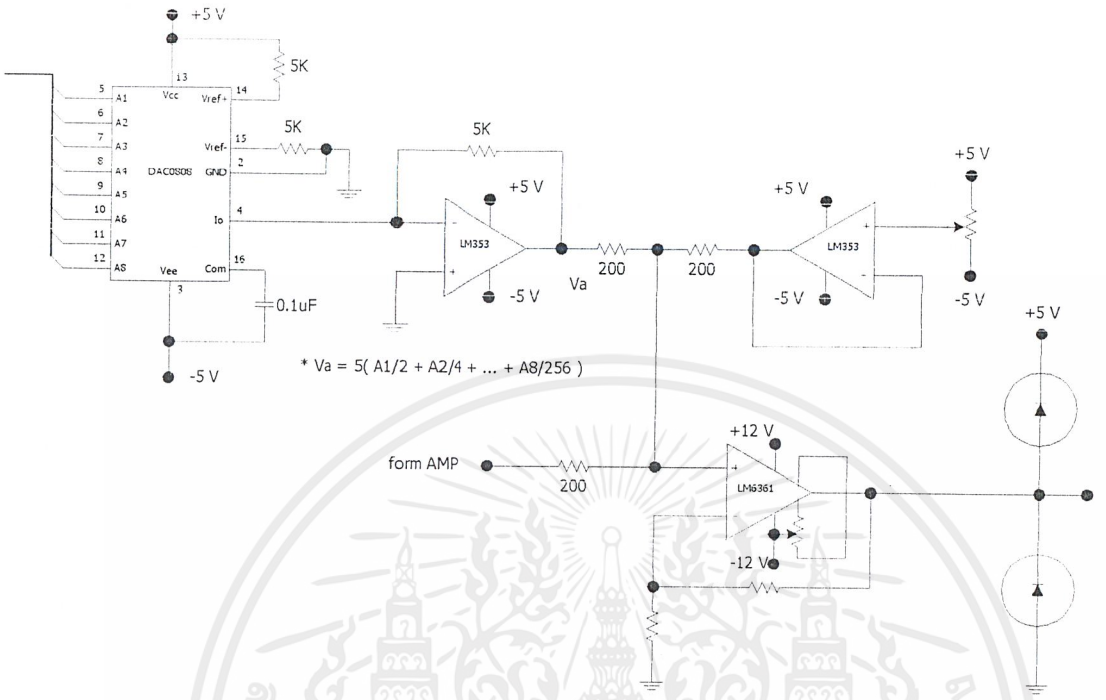
การขยายสัญญาณจะมีการขยายสัญญาณทั้งหมด 3 ระดับคือ คูณ 4 คูณ 10 และคูณ 20 โดยใช้วงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟส (non-Inverting Amplifier) ในการเลือกอัตราขยายนั้นจะใช้รีเลย์ ในการเลือกค่าความต้านทานตามอัตราขยายที่ต้องการจากการลดทอนและการขยายสัญญาณแนวตั้งจะได้ VOLT/DIV ตามตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 การลดทอนและการขยายสัญญาณแนวตั้ง

VOLS/DIV	การลดทอนสัญญาณ	อัตราขยาย
10mV	1	20
20mV	1	10
50mV	1	4
100mV	10	20
200mV	10	10
500mV	10	4
1V	100	20
2V	100	10
5V	100	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรยกระดับสัญญาณ (DC Adjust)

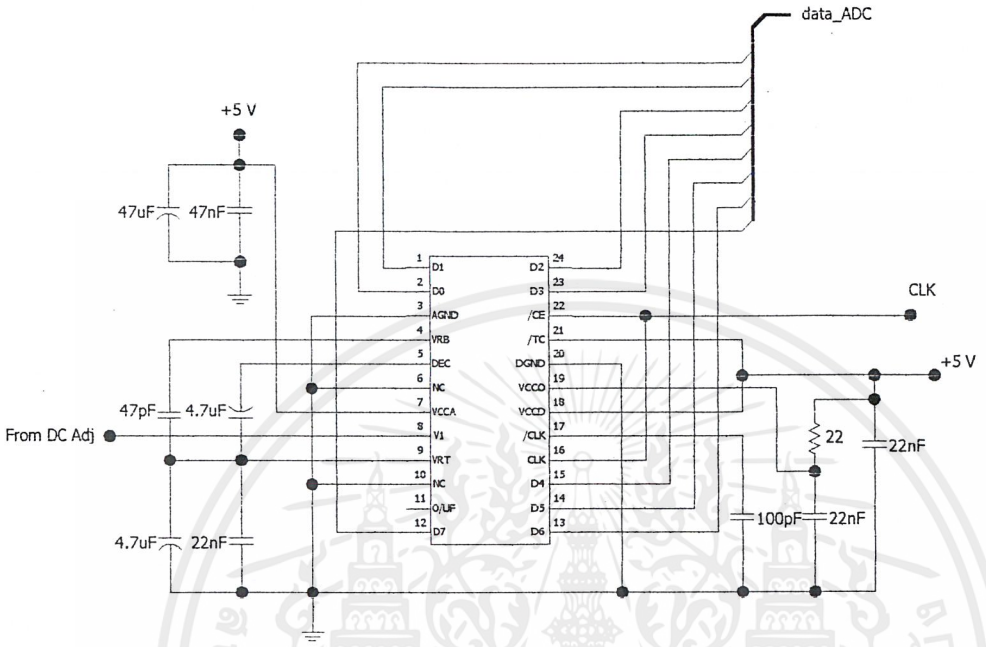


รูปที่ 4.4 วงจรยกระดับสัญญาณกระแสตรง

การปรับระดับสัญญาณ ใช้วงจรขยายรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Nvo-Inverting Summing Amplifier) ซึ่งมีอินพุท 3 ชนิด คือ 1.สัญญาณที่มาจากภาคขยายสัญญาณแนวตั้ง 2.แรงดันกระแสตรงขนาด 1.7 โวลต์ 3.แรงดันกระแสตรงที่มาจากดีทูเอ (D/A Converter) ใช้ในการปรับระดับสัญญาณแรงดันกระแสตรงในแนวตั้ง (Y-Position) จากซอฟต์แวร์ เอาต์พุทที่ออกจากออปแอมป์จะเข้าไดโอดซึ่งมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้สัญญาณที่มีขนาดต่ำกว่า 0 โวลต์ หรือมากกว่า 5 โวลต์ไหลผ่านเข้าสู่วงจรเอทูดี (A/D Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter)



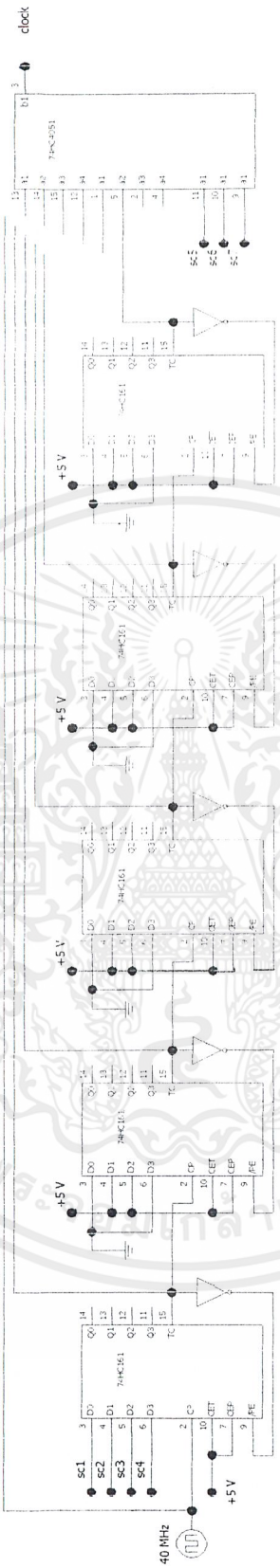
รูปที่ 4.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จะใช้ไอซีเบอร์ TDA 8703 ซึ่งเป็นแบบแฟลชมีความละเอียด 8 บิต และมีอัตราการสุ่มสูงสุดที 40 MHz

4.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาหลายความถี่ (Multi Frequency Clock Generator)

วงจรนี้ทำหน้าที่ใการสร้างสัญญาณาฬิกาสำหรับใช้ในการทำงานของวงจรทั้งหมดในวงจรนี้จะประกอบด้วยออสซิเลเตอร์ความถี่ 40 MHz วงจรนับใช้ไอซีเบอร์ 74HC161 4 ตัวใช้เป็นวงจรหารความถี่เพื่อให้เกิดความถี่ต่าง ๆ ซึ่งในวงจรนี้จะได้ความถี่ 16 ความถี่ด้วยกัน ดังตารางและใช้ไอซีเบอร์ 74HC150 ในการเลือกความถี่ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาหลายความถี่

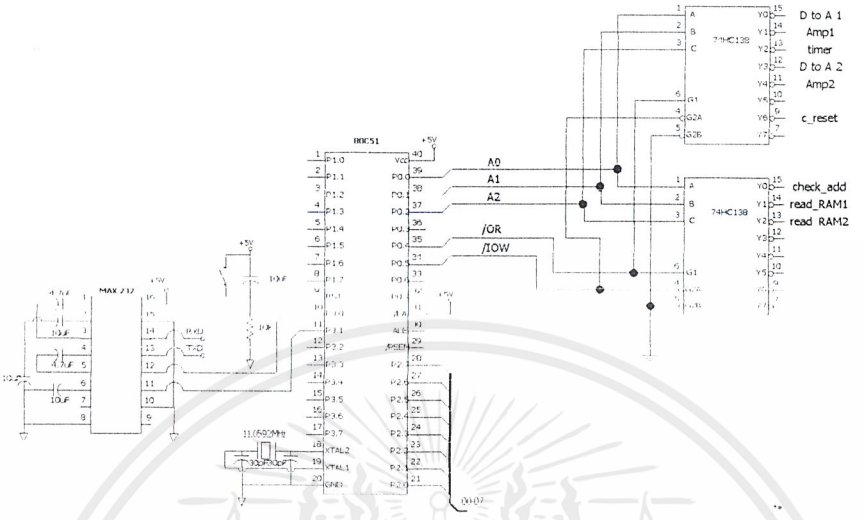
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณ

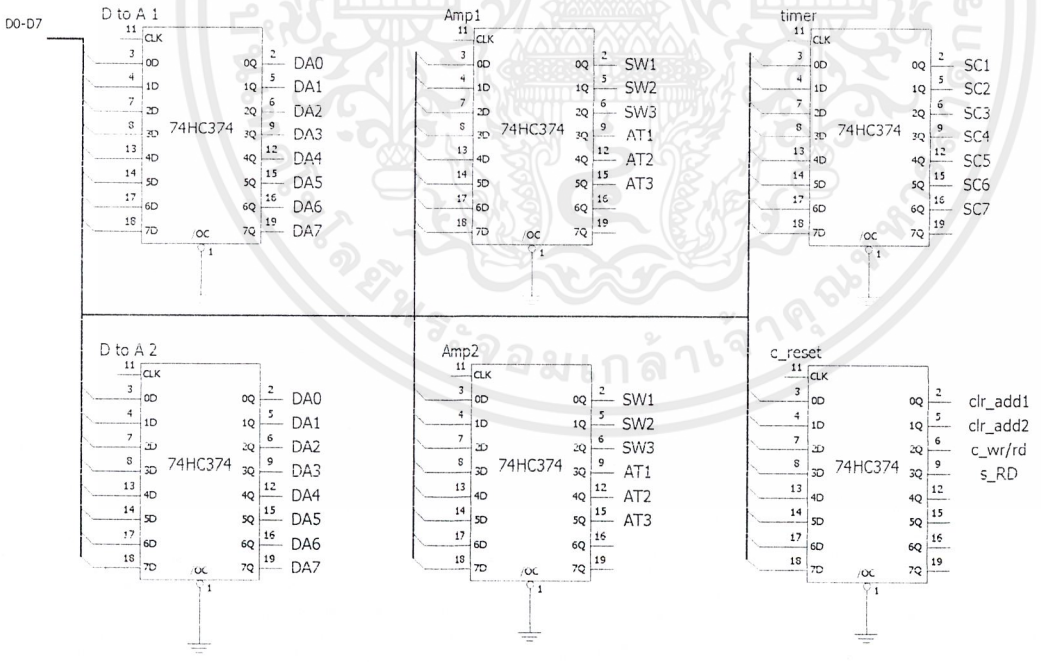
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	ความถี่ (Hz)
X	X	X	X	0	0	0	40M
0	1	1	1	1	0	0	20M
1	1	0	1	1	0	0	10M
0	1	1	0	1	0	0	4M
0	1	1	1	0	1	0	2M
1	1	0	1	0	1	0	1M
0	1	1	0	0	1	0	0.4M
0	1	1	1	1	1	0	0.2M
1	1	0	1	1	1	0	0.1M
0	1	1	0	1	1	0	40K
0	1	1	1	0	0	1	20K
1	1	0	1	0	0	1	10K
0	1	1	0	0	0	1	4K
0	1	1	1	1	0	1	2K
1	1	0	1	1	0	1	1K
0	1	1	0	1	0	1	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 วงจรอินเตอร์เฟสและวงจรเชื่อมต่อโดยใช้ MCS-51



รูปที่ 4.7 วงจรอินเตอร์เฟสโดยใช้ MCS-51 ผ่านพอร์ทอนุกรม

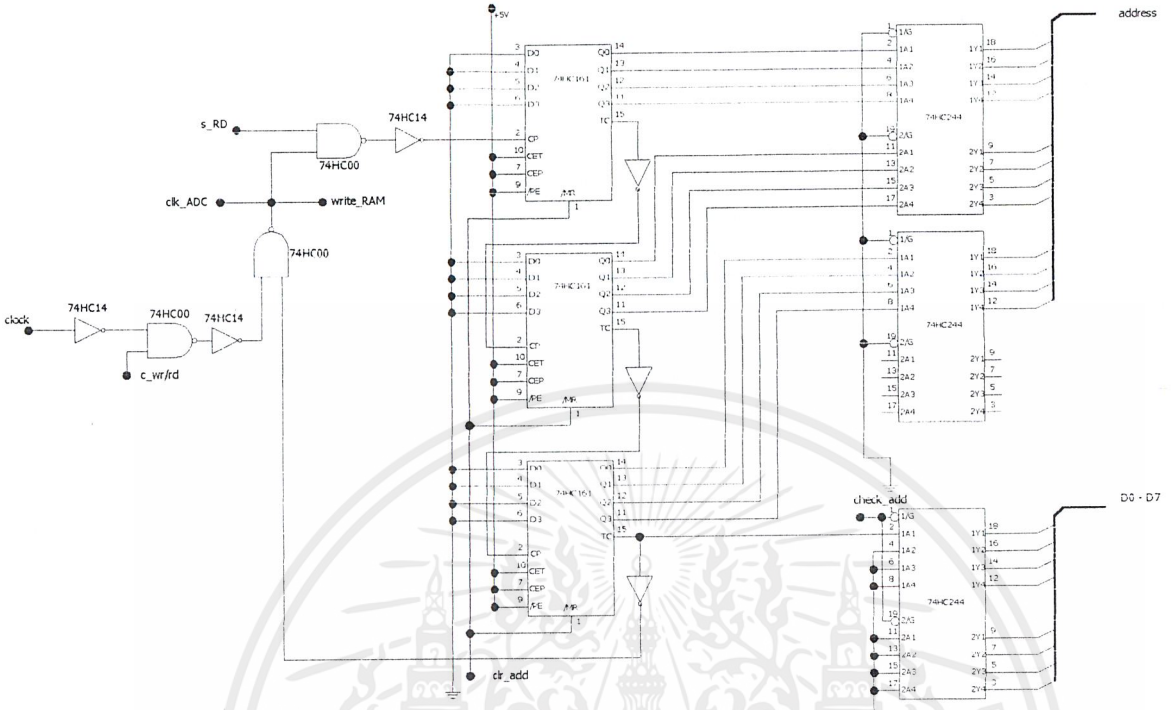


รูปที่ 4.8 วงจรเชื่อมต่อ MCS-51 กับวงจรต่างๆ

เป็นวงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรเลอร์กับวงจรต่างๆของโดยจะมีการส่งค่าควบคุมออกมาให้ D-flipflop เพื่อทำการค้างค่าเอาไว้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 วงจรนับตำแหน่งหน่วยความจำ

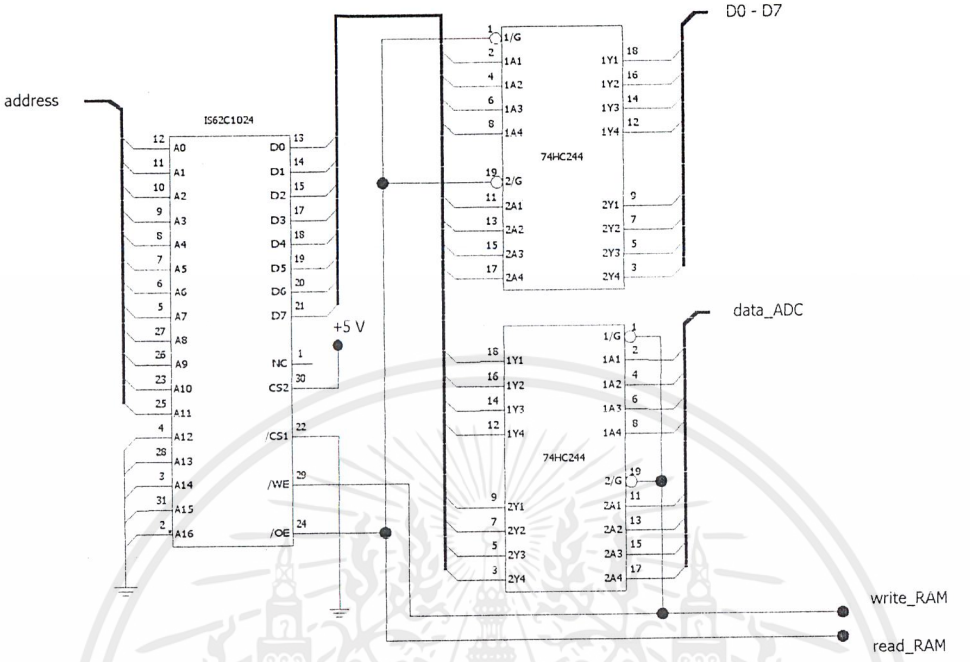


รูปที่ 4.9 วงจรนับตำแหน่งหน่วยความจำ

เป็นวงจรนับตำแหน่งหน่วยความจำ โดยที่เราสามารถเลือกได้ว่าจะใช้หน่วยความจำเท่าไหร่ในการเก็บข้อมูล ในการนับจะใช้ไอซีเบอร์ 74HC161 เป็นตัวนับซึ่งจะนับได้สูงสุด 2k ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 วงจรหน่วยความจำ



รูปที่ 4.10 วงจรหน่วยความจำ

วงจรหน่วยความจำจะใช้ในการเก็บข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แล้วนำมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งหน่วยความจำในวงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ IS62C1024 ซึ่งเป็น SDRAM ขนาด 128k ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ส่วนควบคุมของออสซิลโลสโคปบนไมโครคอมพิวเตอร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมการทำงานของวงจรเพื่อให้สามารถนำมาใช้งานเป็นออสซิลโลสโคปได้

5.1 การควบคุมการทำงานของวงจรเพื่อปรับค่า TIME/DIV

ค่า TIME/DIV ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสัญญาณจำนวนข้อมูลที่นำไปพลอตใน 1 DIV (จำนวนข้อมูลที่ใช้เท่ากับ 40จุด/ DIV)

การควบคุมความถี่ของสัญญาณนาฬิกาทำได้โดยการเปลี่ยนแปลง รีจิสเตอร์ของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาซึ่งรีจิสเตอร์ดังกล่าวสามารถตั้งค่าโดยส่งค่าผ่าน MCS-51 ให้ค้างค่าที่ D-Flipflop timer (รูปที่4.8)

5.2 การควบคุมการทำงานของวงจรเพื่อปรับค่า VOLT/DIV และการคับปลิ้งสัญญาณ

ค่า VOLT/DIV ขึ้นอยู่กับช่วงแรงดันใช้งานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ไอซีเบอร์ TDA8703) อัตราขยายของวงจรขยาย อัตราการลดทอนของวงจรลดทอนค่าที่เราสามารถปรับได้คืออัตราขยายของวงจรขยาย อัตราลดทอนของวงจรลดทอน

5.2.1 การปรับอัตราขยายของวงจรขยาย

การควบคุมอัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณ ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าในรีจิสเตอร์ของวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งรีจิสเตอร์ดังกล่าวสามารถตั้งค่าโดยส่งค่าผ่าน MCS-51 ให้ค้างค่าที่ D-Flipflop Amp1 และ Amp2 (รูปที่4.8) สำหรับช่องสัญญาณที่ 1 ใช้บิตที่ 3,4 ของ D-Flipflop Amp1 และสำหรับช่องสัญญาณที่ 2 ใช้บิตที่ 3,4 ของ D-Flipflop Amp2

5.2.2 การปรับอัตราลดทอนของวงจรลดทอน

การควบคุมอัตราลดทอนของวงจรลดทอนสัญญาณ ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าในรีจิสเตอร์ของวงจรลดทอนสัญญาณ ซึ่งรีจิสเตอร์ ดังกล่าวสามารถตั้งค่าค่าโดยส่งค่าผ่าน MCS-51 ให้ค้างค่าที่ D-Flipflop Amp1 และ Amp2 (รูปที่4.8) สำหรับช่องสัญญาณที่ 1 ใช้บิตที่ 1,2 ของ D-Flipflop Amp1 และสำหรับช่องสัญญาณที่ 2 ใช้บิตที่ 1,2 ของ D-Flipflop Amp2

5.2.3 การเลือกการคับปลิ้งสัญญาณ

การเลือกการคับปลิ้งสัญญาณให้เป็นแบบกระแสตรงหรือกระแสสลับ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าที่เก็บในรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมรีเลย์ ซึ่งทำหน้าที่เลือกการคับปลิ้งของสัญญาณที่ทางเข้า โดยส่งค่าผ่าน MCS-51 ให้ค้างค่าที่ D-Flipflop Amp1 และ Amp2 (รูปที่4.8) สำหรับช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ 1 ใช้บิตที่ 0 ของ D-Flipflop Amp1 และสำหรับช่องสัญญาณที่ 2 ใช้บิตที่ 0 ของ D-Flipflop Amp2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าที่ใช้ควบคุมค่า TIME/DIV และการคับปลิ้งสำหรับหนึ่งช่องสัญญาณ

VOLTS/DIV	การลดทอนสัญญาณ	อัตราขยาย	ค่าที่เก็บในรีจิสเตอร์
10mV	1	20	XX01X11C
20mV	1	10	XX00011C
50mV	1	4	XX00111C
100mV	10	20	XX01X10C
200mV	10	10	XX00010C
500mV	10	4	XX00110C
1V	100	20	XX01X0XC
2V	100	10	XX0000XC
5V	100	4	XX0001XC

X = Don't Care : C = [0(AC Coupling), 1(DC Coupling)]

5.3 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแสดงข้อมูลในแนวแกนตั้ง

การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแสดงข้อมูลในแนวแกนตั้งทำได้โดยเพิ่มหรือลดแรงดันไฟตรงกับสัญญาณที่ทางเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ด้วยวงจรปรับระดับแรงดันกระแสตรง สำหรับวงจรดังกล่าวทำได้โดยป้อนค่าให้กับรีจิสเตอร์ของวงจร โดยส่งค่าผ่าน MCS-51 ให้ค้างค่าที่ D-Flipflop D to A1 และ D to A 2 (รูปที่4.8) โดยช่องสัญญาณ1 จะปรับจากค่าที่ D-Flipflop D to A1 และช่องสัญญาณ2 จะปรับจากค่าที่ D-Flipflop D to A2

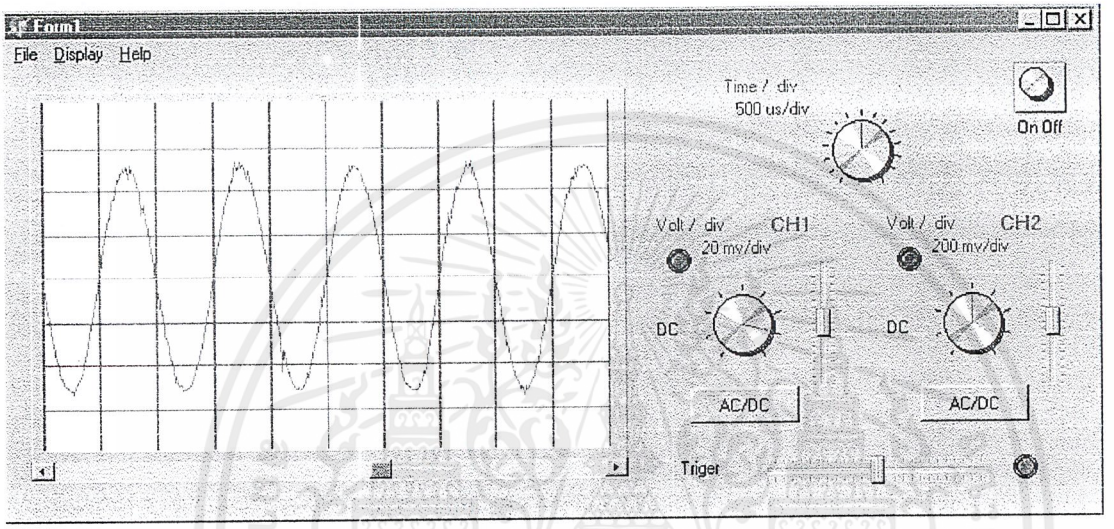
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

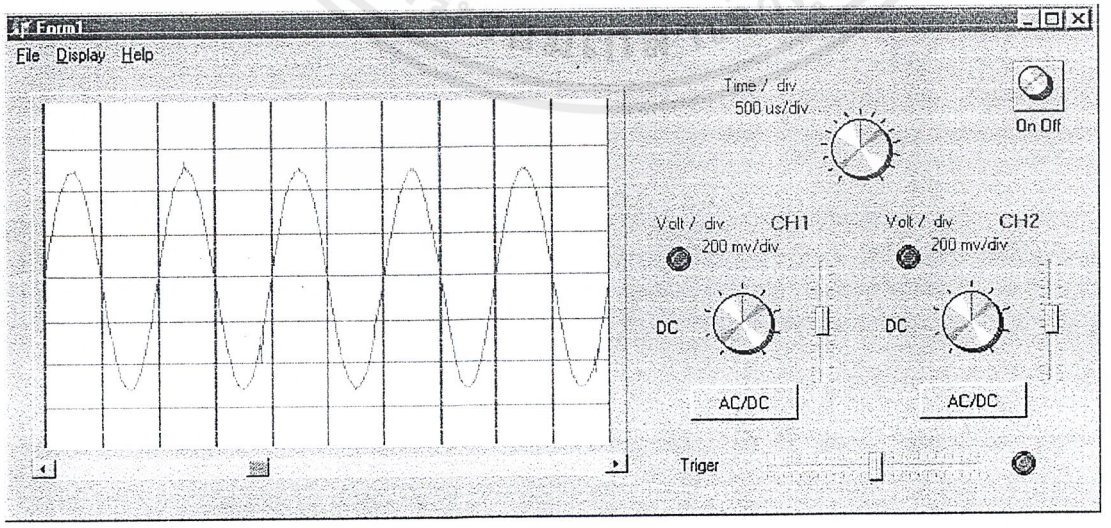
การทดสอบการทำงานของสโคป

1 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1 kHz ขนาด 0.1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1 kHz ขนาด 0.1 V_{PP}

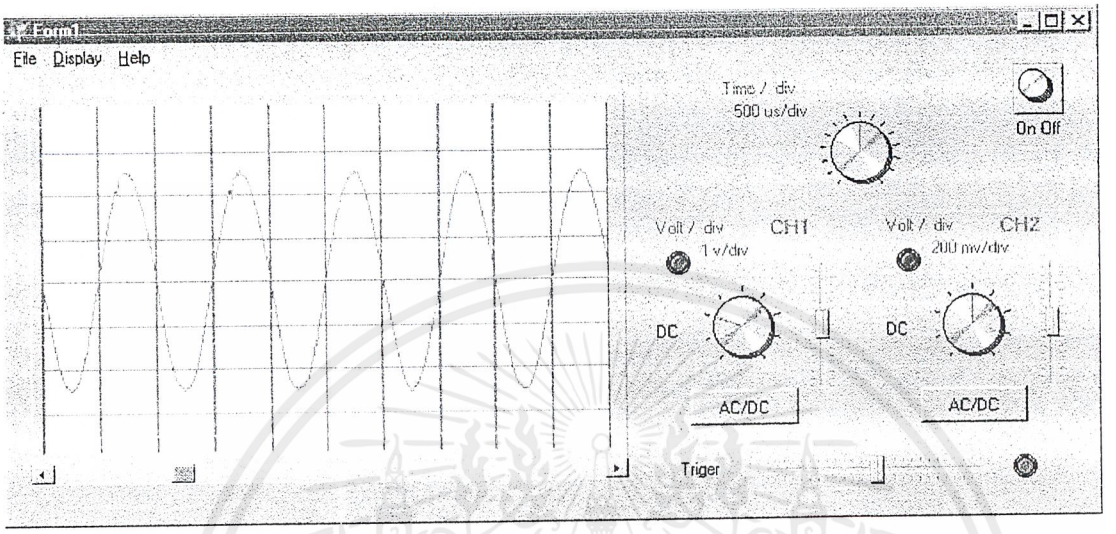
2 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1kHz ขนาด 1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1kHz ขนาด 1 V_{PP}

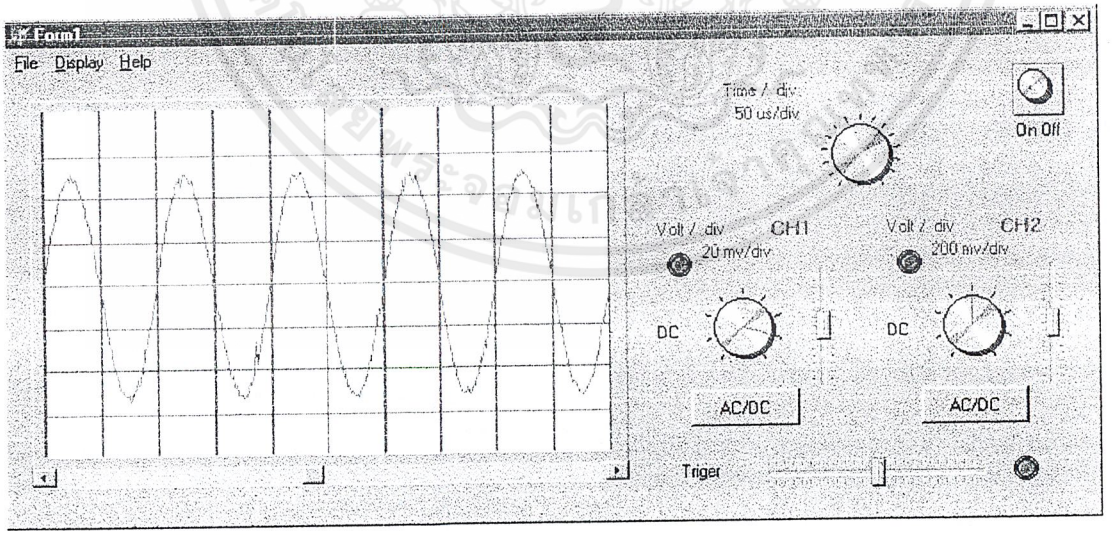
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1KHz ขนาด 5 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 1KHz ขนาด 5 V_{PP}

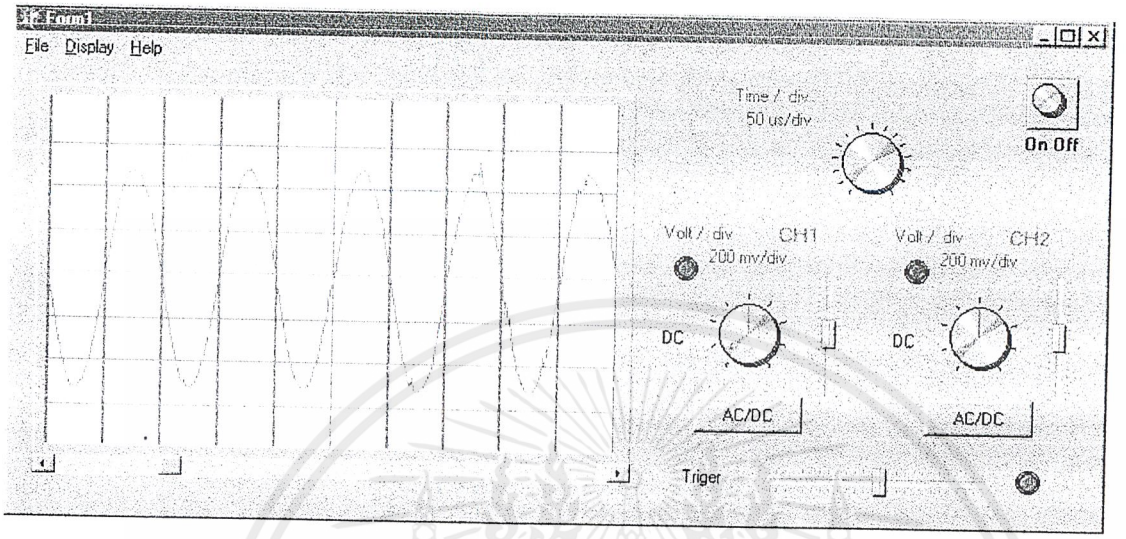
4 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 0.1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 0.1 V_{PP}

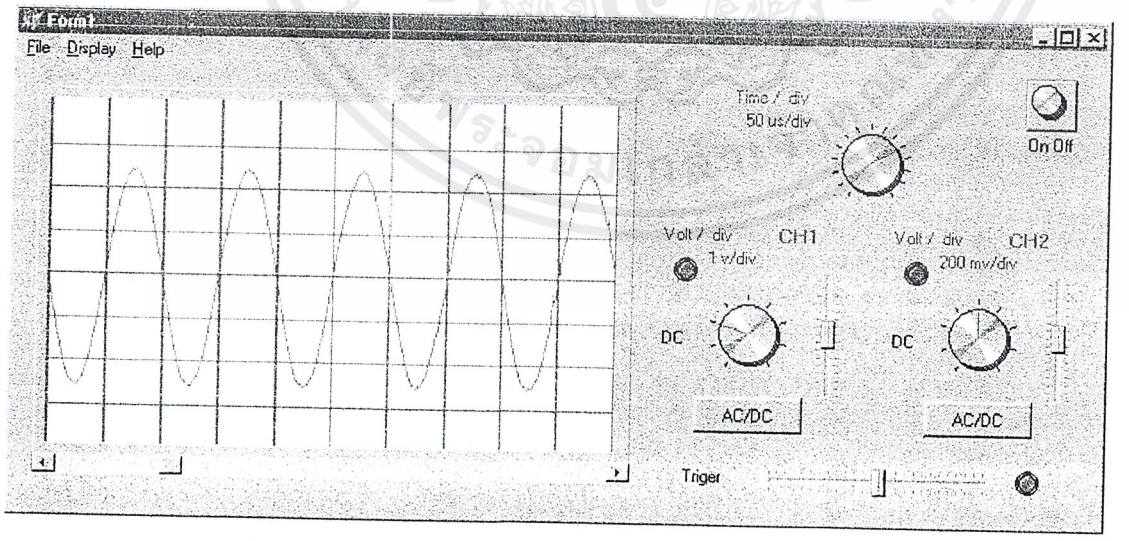
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.5 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 1 V_{PP}

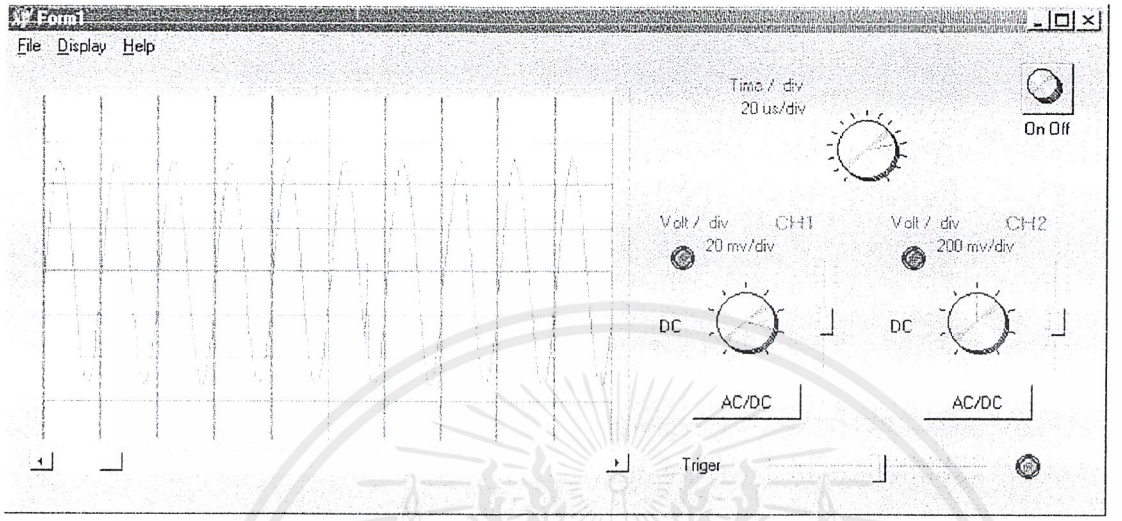
6 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 5V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 10 kHz ขนาด 5 V_{PP}

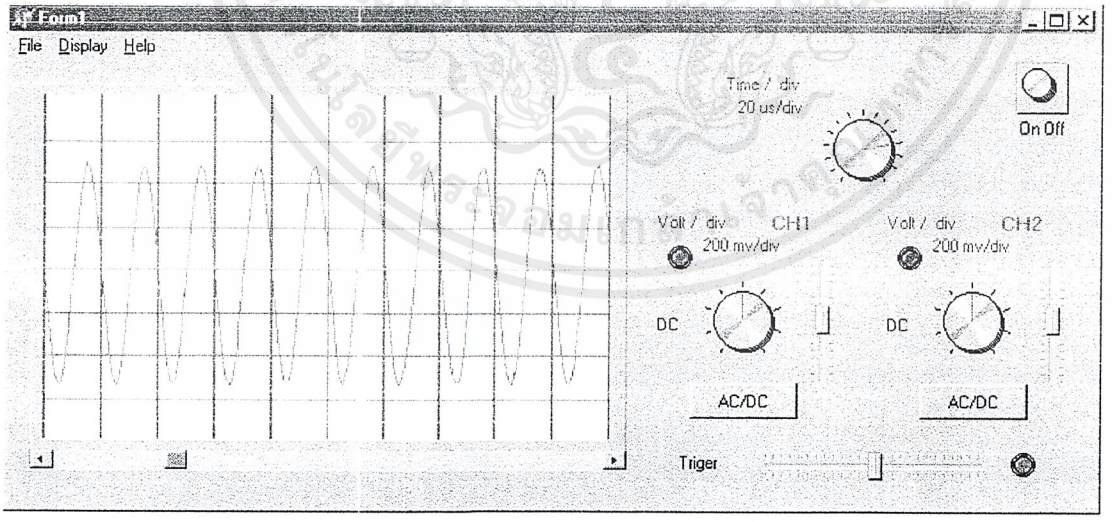
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 0.1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 0.1 V_{PP}

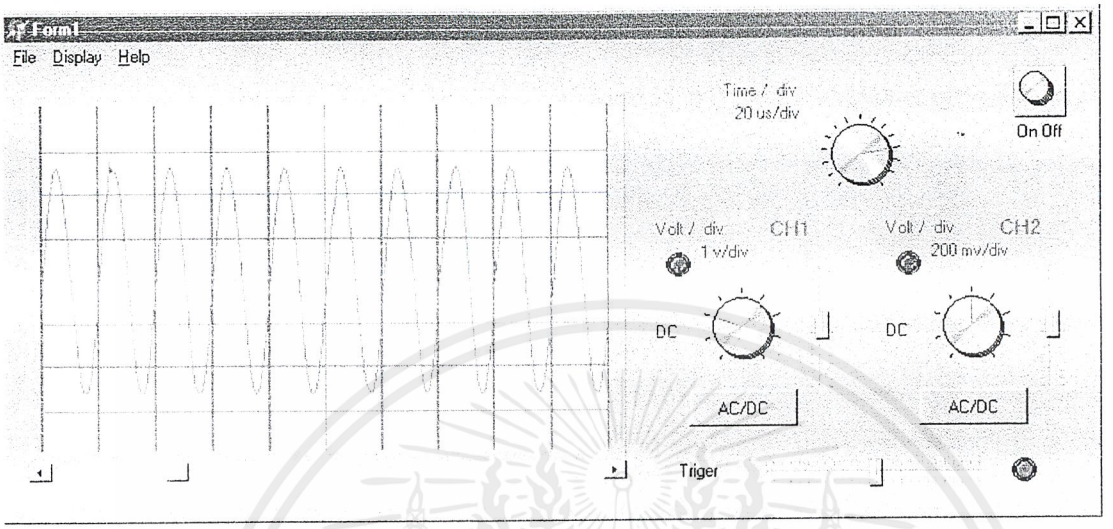
8 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 1 V_{PP}

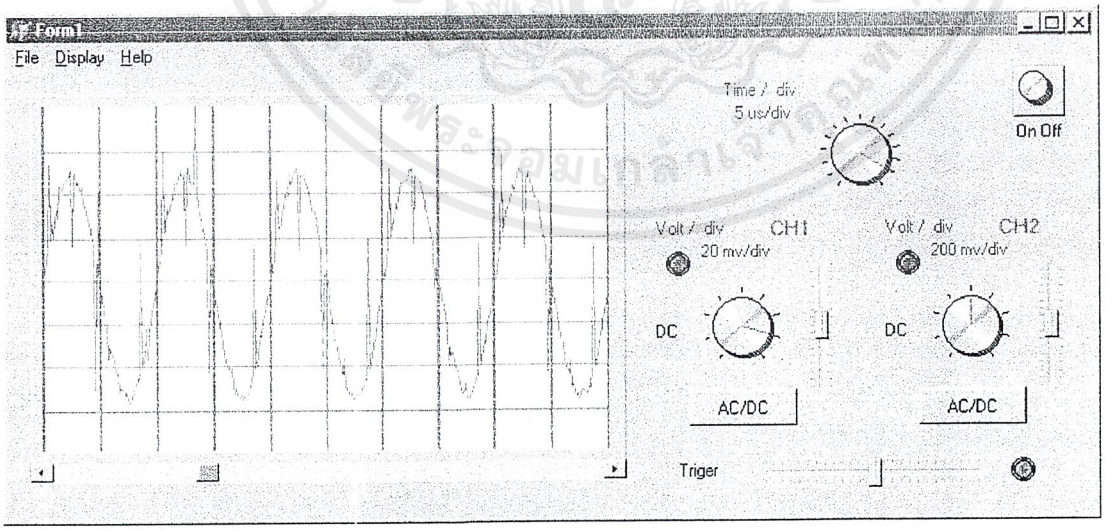
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 5 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 50 kHz ขนาด 5 V_{PP}

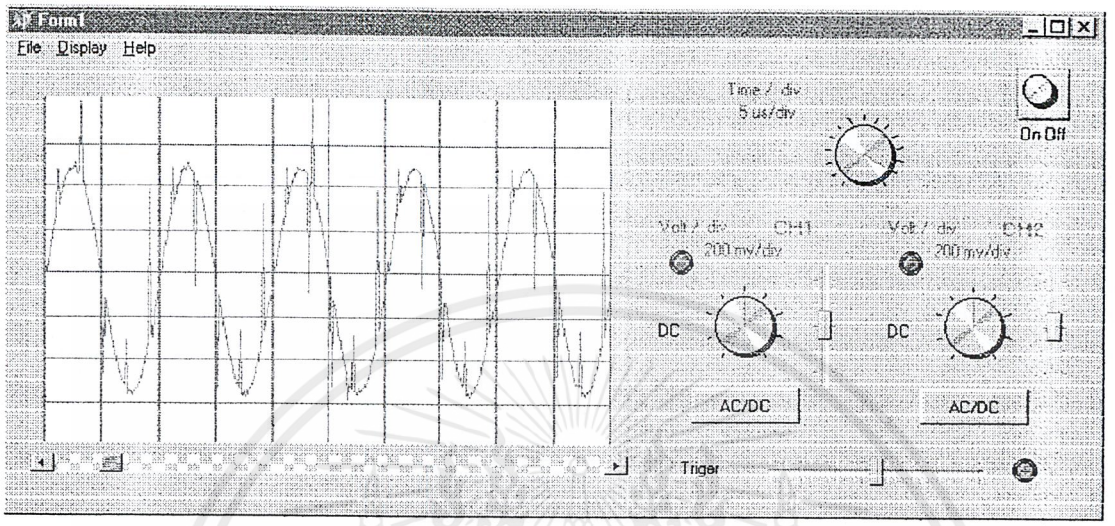
10 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100kHz ขนาด 0.1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100 kHz ขนาด 0.1 V_{PP}

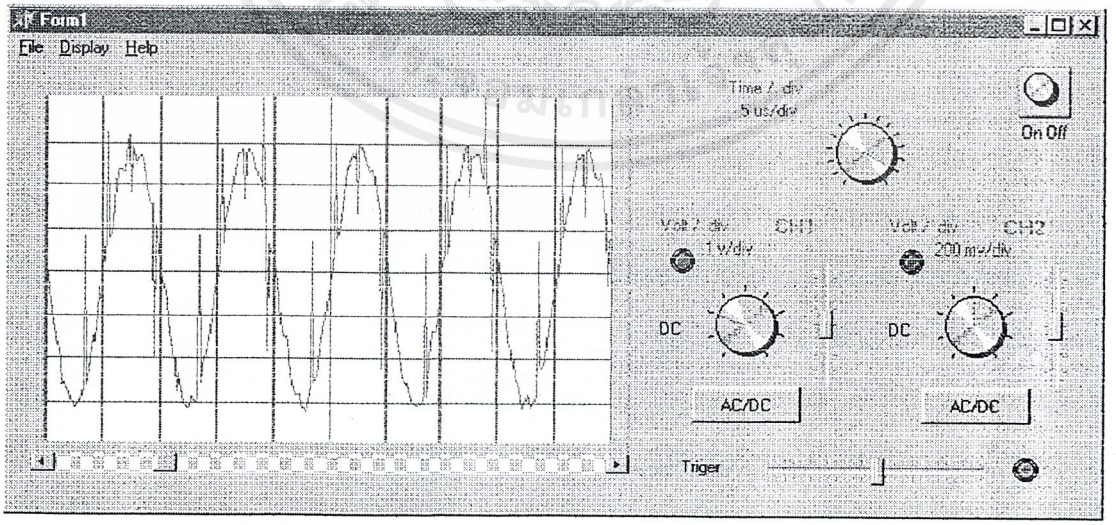
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100 kHz ขนาด 1 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100 kHz ขนาด 1 V_{PP}

12 ป้อนสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100 kHz ขนาด 5 V_{PP} แล้วทำการวัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 แสดงสัญญาณอินพุทรูปซายน์ ความถี่ 100 kHz ขนาด 5 V_{PP}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง จะพบว่าสัญญาณที่วัดได้ จะสามารถปรับระดับให้เหมาะสมกับขนาดและความถี่ของสัญญาณอินพุทโดยทำการปรับVolt/DIV และปรับ Time/DIV ซึ่งค่า Volt/DIV จะสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 10mV/DIV จนถึง 5V/DIV ส่วน Time/DIV จะสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 2 us/DIV จนถึง 100 ms/DIV และยังพบว่าถ้าทำการปรับค่า Time/DIV ให้มีค่าน้อยกว่า 5 us/DIV จะทำให้สัญญาณที่วัดได้มีความผิดเพี้ยน อันเนื่องมาจากเป็นการสุ่มสัญญาณที่ความถี่สูง ทำให้มีสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานนี้ประสบความสำเร็จได้ เนื่องจากได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ (อาจารย์ที่ปรึกษา) จึงขอขอบพระคุณอาจารย์มา ณ. โอกาสนี้ด้วยรวมไปถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ให้คำปรึกษาเพิ่มเติมในการโครงงาน และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์ในการสร้างโครงงาน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1 Ian Hickman . "Oscilloscope How To Use How They Work", 4th Ed. Butterworth Heinemann NY. Pp.115-204

2 Stan Prentiss, "Pscilloscopes" Prentice-Hall Company Reston, Virginra pp.70-80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้