



เครื่องแสดงผลการสั่นสะเทือน
VIBRATION MONITOR



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เครื่องแสดงผลการสั่นสะเทือน
VIBRATION MONITOR



โดย
นาย รัชชัย วรญาณศรี 40013051
นาย ภูริทัต โพธิ์แก้ว 40013064

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ สมเกียรติ ฤกษ์วัลลภ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องแสดงผลการสั่นสะเทือน

VIBRATION MONITOR

ผู้จัดทำ

1. นาย ธวัชชัย วรญาณศรี 40013051
2. นาย ภูริทัต โพธิ์แก้ว 40013064


อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ สมเกียรติ ฤกษ์วัลย์บุญ)



เครื่องแสดงผลการสั่นสะเทือน

VIBRATION MONITOR

โดย นาย ชวิชัย วรญาณศรี 40013051
นาย ภูริทัต โพธิ์แก้ว 40013064

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะศึกษาหลักการทำงานและเก็บรวบรวมข้อมูลของการสั่นสะเทือน โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน ตรวจจับการสั่นสะเทือนต่าง ๆ เช่น ตรวจจับการสั่นสะเทือนของรถยนต์ ตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นต้น แล้วนำลักษณะของสัญญาณที่ได้้นั้นมาทำการขยายแล้วส่งต่อไปยังวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อนำสัญญาณที่ต้องการไปแปลงจากสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยมีภาคคอนโทรลควบคุมการตรวจจับสัญญาณ แล้วส่งต่อไปแสดงผลหน้าจอกอมพิวเตอร์

ในภาคการศึกษาที่ 1 ได้ทำการศึกษาหลักการทำงานและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของวงจรขยายสัญญาณ, วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้และวงจรไปใช้งานในการทำโครงการในภาคการศึกษาที่ 2

ในภาคการศึกษาที่ 2 ได้ทำการศึกษาหลักการทำงานและรวบรวมข้อมูลอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน, วงจรควบคุม, ส่วนแสดงผล และอุปกรณ์โดยรวมทั้งหมด

ABSTRACT

The purpose of this project is to study the vehicle vibration principles and also collecting the concerned data. In the data collection phase, the vibration sensor is the device for monitoring the vibrant frequencies sampled from the car or the engine. After that, the vibrant signal will be amplified by amplifier and filtered by low-pass filter consecutively. Next we'll convert the signal that still be analog signal to be digital signal with A/D converter. Finally the digital controller will control and monitor the signal with monitoring device.

In the first semester , we'll begin the project with the study of vibration measurement principle and gathering the necessary information of amplifier, low-pass filter and A/D converter.

The information and data from this study period will be use and applied to phase II of this project .

In the second semester , is the period of study of the principle of operation and necessary data for the signal generator, control circuit, Indicator and result display, and performance of the project.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การสั้นสะเทือน	2
2.2 อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ	4
2.3 วงจรขยายคิฟเฟอเรนเชียล	6
2.4 วงจรขยายสัญญาณ	9
2.5 ฟิเตอร์	11
2.6 A/D คอนเวอร์เตอร์	17
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์	21
2.8 ส่วนแสดงผล	31
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	39
3.1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั้นสะเทือน	40
3.2 ภาคปริแอมพลิไฟเออร์	41
3.3 ภาคแอมพลิไฟเออร์	42
3.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรระดับสัญญาณ	43
3.5 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	46
3.6 วงจรควบคุม	48
3.7 ส่วนแสดงผล	50
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	51
4.1 การทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั้นสะเทือน	51
4.2 การทดลองภาคขยายส่วนปริแอมพลิไฟเออร์	55
4.3 การทดลองในส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	60
4.4 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	71
4.5 การทดลองในส่วนของวงจรควบคุม	80
4.6 การทดลองส่วนแสดงผล	83
4.7 การทดลองชิ้นงานรวมกันทั้งหมด	88

เรื่อง

หน้า

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

94

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนแบบเสรี	2
รูปที่ 2.2 แสดงรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนแบบบังคับ	3
รูปที่ 2.3 แสดงกลไกของเครื่องกำเนิดสัญญาณ	4
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ	5
รูปที่ 2.5 แสดงพื้นฐานของวงจรดีฟเฟอเรนเชียล	6
รูปที่ 2.6 อัตรายขยายแรงดันแบบคอมมอนโหมด	7
รูปที่ 2.7 แสดงแรงดันสัญญาณรบกวน	8
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรดีฟเฟอเรนเชียลทำให้สัญญาณรบกวนเป็น แบบคอมมอนโหมด	9
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรขยายไม่กลับเฟส	9
รูปที่ 2.10 การตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์	11
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์	12
รูปที่ 2.12 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีค่า -20 เดซิเบล	13
รูปที่ 2.13 แสดงบัตเตอร์เวิร์ทฟิลเตอร์	16
รูปที่ 2.14 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ชนิดบัตเตอร์เวิร์ท	16
รูปที่ 2.15 แสดงการสุมหลายๆช่วงจากสัญญาณอินพุทอะนาล็อก จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณดั้งเดิม เมื่อมีการสร้างสัญญาณ ขึ้นมาใหม่จาก DAC	18
รูปที่ 2.16 Successive Approximation Register (SAR) เป็นตัวเร่งความเร็ว ของกระบวนการแปลงสัญญาณอะนาล็อก ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล	20
รูปที่ 2.17 แสดงการจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิป MCS-51	23
รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51	27
รูปที่ 2.19 แสดงส่วนต่าง ๆ ของวิซวลเบสิก	32
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ	39
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือน	40

รูปที่ 3.3 แสดงวงจรปริแอมพลิไฟเออร์ต่อร่วมกับวงจรแอมพลิไฟเออร์	41
รูปที่ 3.4 รูปแสดงวงจรส่วนแอมพลิไฟเออร์	42
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เกณฑ์การขยาย 2 เท่า	43
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรยกระดับสัญญาณ	45
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	46
รูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ADC0804 และ MAX232	48
รูปที่ 3.9 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	49
รูปที่ 3.10 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวิซวลเบสิก	50
รูปที่ 4.1 รูปแสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อถูกแรงกระทำหนึ่งครั้ง	51
รูปที่ 4.2 รูปแสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อถูกแรงกระทำหนึ่งครั้ง	52
รูปที่ 4.3 รูปแสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อถูกแรงกระทำสองครั้ง	53
รูปที่ 4.4 รูปแสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อถูกแรงกระทำสองครั้ง	54
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าภาคปริแอมป์และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากภาคแอมป์	59
รูปที่ 4.6 แสดงรูปกราฟจากรางความถี่ที่ 1KHz ได้จากการทดลอง	62
รูปที่ 4.7 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ 1KHz ได้จากการซิมูเลท	62
รูปที่ 4.8 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ 1KHz ที่ได้จากการทดลอง	65
รูปที่ 4.9 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ 1KHz ที่ได้จากการซิมูเลท	65
รูปที่ 4.10 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ 10KHz ที่ได้จากการทดลอง	67
รูปที่ 4.11 แสดงรูปกราฟที่ได้จากการซิมูเลท	68
รูปที่ 4.12 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ 10KHz ที่ได้จากการทดลอง	70
รูปที่ 4.13 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ 10KHz ที่ได้จากการซิมูเลท	71
รูปที่ 4.14 การทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	80
รูปที่ 4.15 แสดงการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อส่งสัญญาณ L และ R	81
รูปที่ 4.16 แสดงการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อส่งสัญญาณ L และ R และสัญญาณอื่นๆ	82
รูปที่ 4.17 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุต	83
รูปที่ 4.18 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อมีอินพุตต่ำสุดไปจนสูงสุด	84

รูปที่ 4.19 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อมีอินพุทสูงสุดจนต่ำสุด	85
รูปที่ 4.20 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อปรับค่าสัญญาณอินพุท อิสระ 1 ข้าง	86
รูปที่ 4.21 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อปรับค่าสัญญาณอินพุท อิสระ 2 ข้าง	87
รูปที่ 4.22 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีสัญญาณสั้นสะท้อน	88
รูปที่ 4.23 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เกิดการสั้นสะท้อนข้างเดียวแบบต่อเนื่อง	89
รูปที่ 4.24 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เกิดการสั้นสะท้อน 2 ข้างพร้อมกันครั้งเดียว	90
รูปที่ 4.25 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เกิดการสั้นสะท้อน 2 ข้างพร้อมกันแบบต่อเนื่อง	91
รูปที่ 4.26 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เกิดการสั้นสะท้อนข้างเดียว 2 ครั้ง	92
รูปที่ 4.27 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เกิดการสั้นสะท้อน 2 ข้าง 2 ครั้ง	93

สารบัญรูปตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงถึงขนาดและเฟสที่เปลี่ยนไปเมื่อความถี่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง $0.1\omega_c$ ถึง $10\omega_c$	15
ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	22
ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของวิซวลเบสิก	31
ตารางที่ 2.4 แสดงประเภทข้อมูลของวิซวลเบสิก	35
ตารางที่ 2.5 แสดงกลุ่มคำสั่ง Conditional	38
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการถอดรหัสจาก LED ของ ADC0804	47
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อความถี่คงที่ แรงดันที่ป้อนเข้าเปลี่ยนแปลง	55
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อแรงดันคงที่ ความถี่ที่ป้อนเข้าเปลี่ยนแปลง	57
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อแรงดันคงที่ ความถี่เปลี่ยนแปลง	60
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อแรงดันคงที่ ความถี่คัทออฟ 1KHz	63
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดลองเมื่อแรงดันคงที่ 100 mV ความถี่คัทออฟ 10 KHz	66
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองแรงดันคงที่ 1V ความถี่คัทออฟ 10KHz	68
ตารางที่ 4.7 แสดงรหัสสัญญาณไบนารีตามระดับแรงดันอินพุท	71

บทที่ 1

บทนำ

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือ การสั่นแกว่งไปมา (Oscillation) ซึ่งปริมาณ (Quantity) ของการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ระบุการเคลื่อนที่ของระบบเชิงกล (Mechanical system)

จุดประสงค์ของโครงการนี้คือ ศึกษาการสั่นสะเทือนต่าง ๆ เช่น การสั่นสะเทือนของรถยนต์ หรือการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นต้น โดยเก็บรวบรวมข้อมูลของรูปคลื่นสัญญาณและนำมาแสดงผลออกที่จอคอมพิวเตอร์ในลักษณะของกราฟเส้น ในการทำงานโครงการนี้มีการแบ่งส่วนภาคการทำงานต่างๆ ประกอบด้วย 7 ส่วน คือ

- อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน (Sensor)
- วงจรปริแอมพลิไฟเออร์ (Preamplifier)
- วงจรแอมพลิไฟเออร์ (Amplifier)
- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อก (Analog to digital converter)
- วงจรควบคุม (Controller)
- ส่วนแสดงผล (Computer monitor)

ในส่วนของภาคการศึกษาที่ 1 (Project 1) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลในการนำเสนอโครงการ, การขออนุมัติโครงการ และการทดลองในส่วนของ วงจรปริแอมพลิไฟเออร์, วงจรแอมพลิไฟเออร์, วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และ วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อก

ในส่วนของภาคการศึกษาที่ 2 (Project 2) ได้ทำการทดลองในส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน, วงจรควบคุม, ส่วนแสดงผล และทำการทดลองอุปกรณ์ทั้งหมด

บทที่ 2

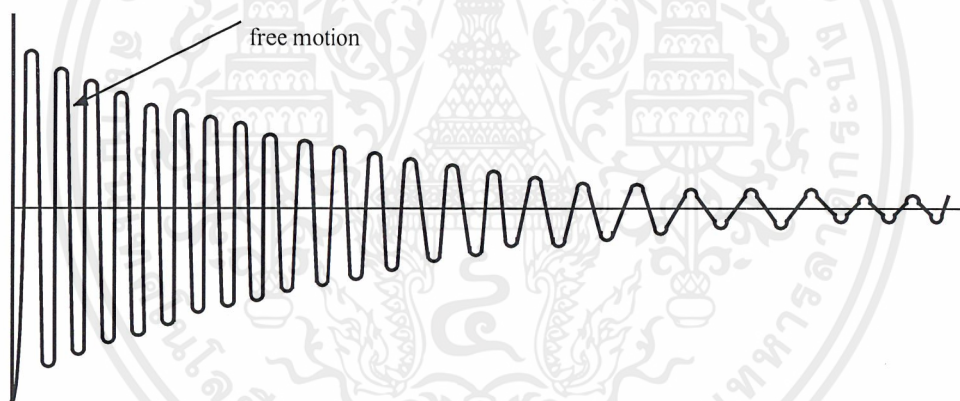
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การสั่นสะเทือน

ธรรมชาติของการสั่นสะเทือน

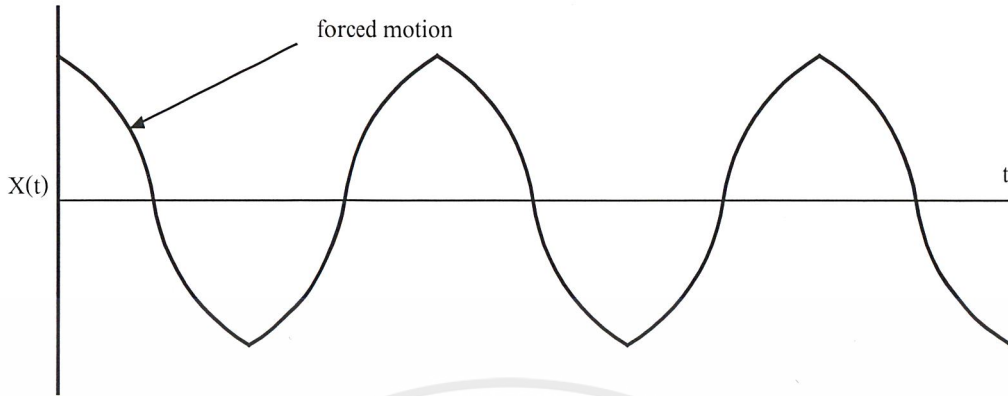
การเคลื่อนที่ไป - มาของระบบ จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน การเคลื่อนที่ดังกล่าวอาจมีลักษณะรูปร่างที่แน่นอน (Regular form) หรืออาจจะไม่แน่นอน (Irregular or random) โดยทั่วไปจะแบ่งการสั่นสะเทือนออกเป็นสองกรณีคือ การสั่นสะเทือนแบบเสรี (Free vibration) และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced vibration)

การสั่นสะเทือนแบบเสรี จะเกิดขึ้นในขณะที่ระบบเคลื่อนที่ไป - มา โดยที่ไม่มีแรงกระทำที่ระบบ ความถี่ของการเคลื่อนที่ไป - มา หรือการสั่นสะเทือนดังกล่าว จะเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ซึ่งอาจจะมีค่าเดียว หรือหลายค่าถี่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.1 แสดงรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนแบบเสรี

การสั่นสะเทือนแบบบังคับ คือการเคลื่อนที่ในขณะที่มีแรงภายนอกกระทำที่ระบบและทำให้ระบบเคลื่อนที่ไป - มา เช่นเดียวกับแรงที่กระทำ หรือมีความถี่เท่ากับความถี่ของแรง ถ้าความถี่ของแรงที่กระทำมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ เราจะเรียกว่าระบบอยู่ในสภาพการสั่นพ้อง (Resonance) คือจะมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงและเป็นอันตรายต่อระบบอย่างมาก การชำรุดเสียหายของโครงสร้าง เช่น ปีกเครื่องบิน, สะพาน หรืออาคาร อาจจะมีสาเหตุมาจากการสั่นพ้อง



รูปที่ 2.2 แสดงรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนแบบบังคับ

การสั่นสะเทือนของรถยนต์

เมื่อมวลซึ่งถูกรองรับด้วยสปริง เช่น แซชชีสของรถยนต์มีแรงกระแทก (Impulse) กระทำมันจะเกิดการเคลื่อนที่แบบสั่นและจะยังคงสั่นต่อไปจนกว่าพลังงานของการกระแทกจะสลายหายไปด้วยแรงหน่วง (Damping force) ที่มาเอาชนะ

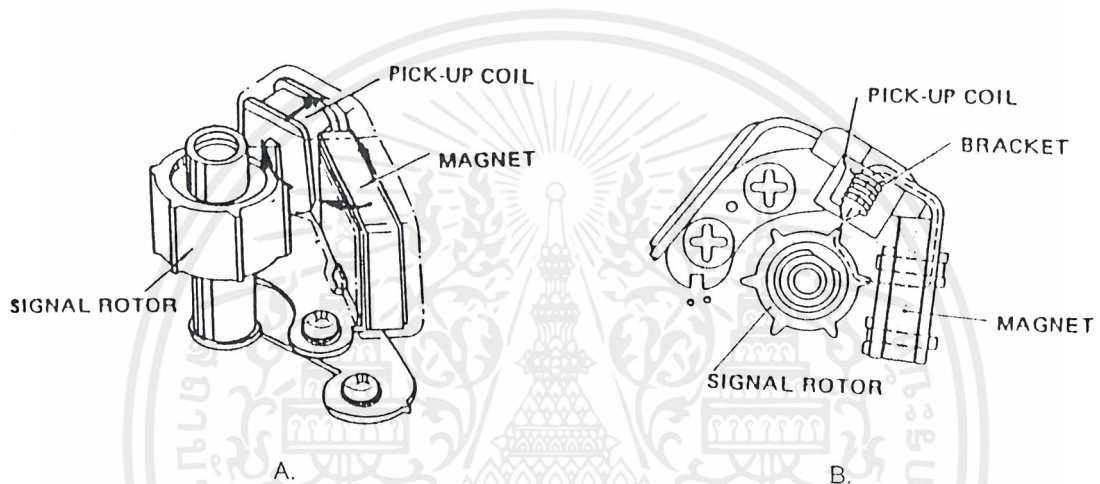
สาเหตุที่เกิดการสั่นสะเทือนของรถยนต์อาจเกิดจาก

- ความขรุขระของผิวถนน
- การไม่สมดุลย์ของเครื่องยนต์ (เครื่องยนต์สั่น)
- การแกว่งของเพลลา
- การกระตุกเป็นจังหวะเนื่องจากการหมุน

การสั่นสะเทือนเนื่องจากสาเหตุเหล่านี้ อาจจะเป็นแบบ การสั่นสะเทือนแบบเสรี หรือการสั่นสะเทือนแบบบังคับก็ได้ การสั่นสะเทือนแบบเสรีอาจเกิดขึ้นเมื่อรถยนต์วิ่งผ่านไปบนผิวถนนที่ขรุขระเป็นหลุม ซึ่งจะสลายพลังงานให้หายไปด้วยแรงหน่วง และการสั่นสะเทือนแบบบังคับอาจเกิดขึ้นเมื่อรถยนต์วิ่งผ่านไปบนสิ่งกีดขวางจำนวนมากบนผิวถนน ในกรณีนี้แม้ว่าจะมีแรงหน่วงแต่การสั่นสะเทือนอาจยังคงมีอยู่และมีสูงมากจนถึงระดับที่ไม่พอใจได้

2.2 อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ

กลไกของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ประกอบไปด้วยขดลวดกำเนิดสัญญาณ (Pick-up coil), แม่เหล็ก (Magnet), และ โรเตอร์ (Signal Rotor) ดังรูปที่ 2.3A และ 2.3B ขดลวดกำเนิดสัญญาณและแม่เหล็ก ประกอบอยู่เป็นชุดเดียวกันโดยติดตั้งอยู่บนแผ่นเหล็กอ่อน ส่วนโรเตอร์จะมีฟันยื่นออกมา 4 ซี่ ฟันของโรเตอร์จะเป็นตัวเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กให้ไหลผ่านขดลวดกำเนิดสัญญาณ เพื่อผลิตสัญญาณออกมา

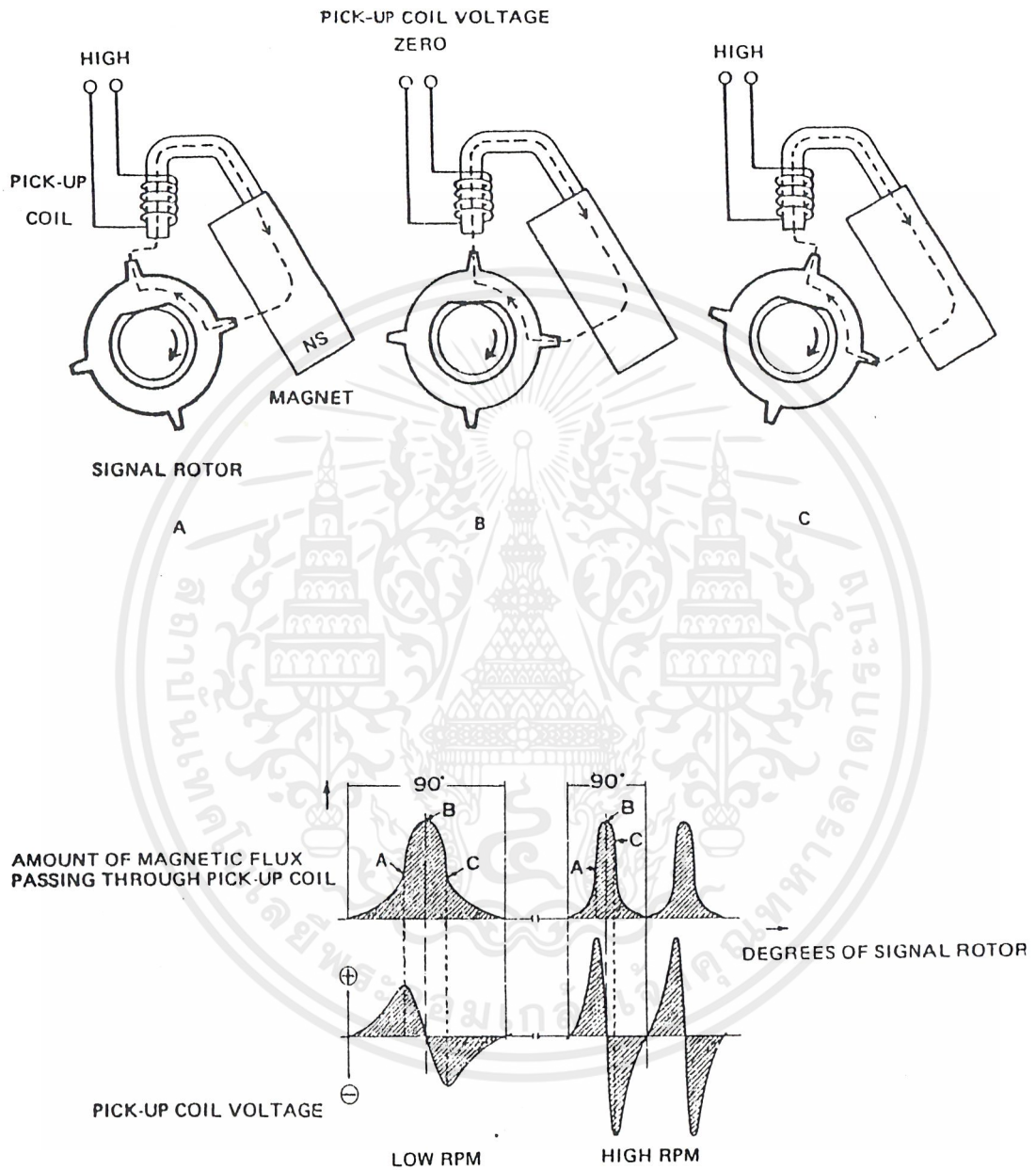


รูปที่ 2.3 แสดงกลไกของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

การทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ในขณะที่โรเตอร์ยังไม่หมุน จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กยังไม่มีเปลี่ยนแปลงหรือยังไม่มีเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในขดลวดกำเนิดสัญญาณ เมื่อโรเตอร์เริ่มหมุน ระยะห่างระหว่างฟันของโรเตอร์กับขดลวดกำเนิดสัญญาณก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ปลายทั้งสองข้างของขดลวดกำเนิดสัญญาณ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงมากจะทำให้การผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้น

เมื่อฟันของโรเตอร์หมุนไปตรงกับขดลวดกำเนิดสัญญาณ ดังรูปที่ 2.4 B เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงไม่มีแรงดันไฟฟ้าผลิตออกมา แรงดันไฟฟ้าจะผลิตออกมาได้มากที่สุด ในตำแหน่งที่ฟันของโรเตอร์หมุนมาเกือบจะตรงกับขดลวดกำเนิดสัญญาณ และหมุนเลยขดลวดกำเนิด สัญญาณไปเล็กน้อย ดังในรูปที่ 2.4 A และ 2.4 C แต่ช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากสองตำแหน่งนี้ จะกลับตรงกันข้าม แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมานี้จะสูงขึ้นตามความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ที่เพิ่มขึ้น



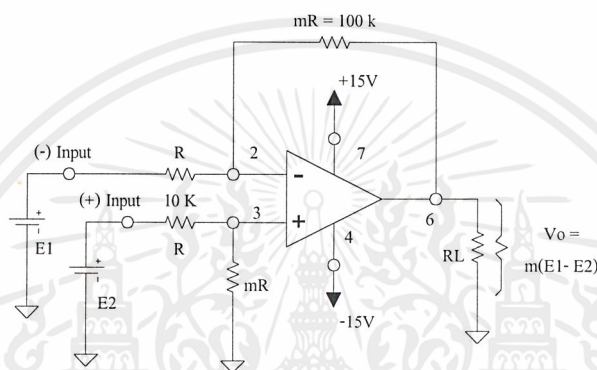
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

2.3 วงจรขยายชนิดดิฟเฟอเรนเชียล (Differential amplifier circuit)

พื้นฐานของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

วงจรดิฟเฟอเรนเชียลสามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดก็ได้ หรือนำมาใช้ขยายสัญญาณขนาดเล็กก็ได้ โดยสัญญาณขนาดเล็กนี้หมายถึงสัญญาณแรงดันที่มีขนาดน้อยกว่า 10 มิลลิโวลต์ลงไป

การทำงานของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล



รูปที่ 2.5 แสดงพื้นฐานของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

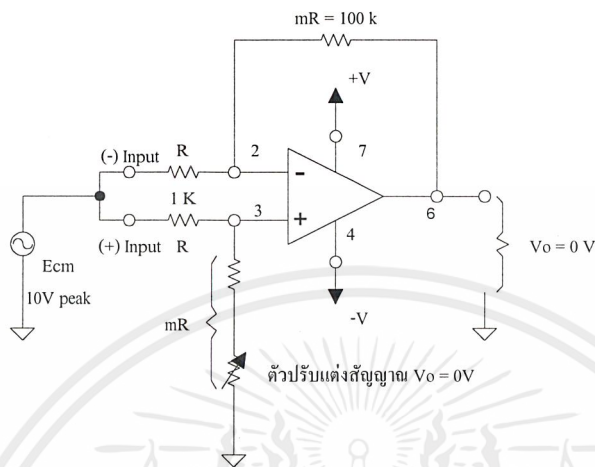
ตัวต้านทานที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยมากต่อเข้ากับออปแอมป์ เพื่อทำเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลหรือวงจรขยายค่าแตกต่างของแรงดัน ถ้า E_1 ถูกแทนด้วยการลัดวงจร วงจรจะเป็นวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งซึ่งจะให้ค่าขยายเท่ากับ $-m$ เท่าของแรงดัน E_2 หรือ $-mE_2$ แต่ในกรณีที่ E_2 ถูกแทนด้วยการลัดวงจร แรงดัน E_1 จะถูกแบ่งโดย R และ mR จนเหลือเพียง $E_1 \cdot m(1+m)$ ที่ขาบวกของ ออปแอมป์ เมื่อมองวงจรเป็นวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง จะได้ค่าขยายเท่ากับ $(m+1)$ เท่าของแรงดัน E_1 หรือประมาณเท่ากับ mE_1 ดังนั้นถ้าทั้ง E_1 และ E_2 ปรากฏอยู่ที่ขาทั้งสองของออปแอมป์ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับ $V_o = mE_1 - mE_2$ หรือเป็นดังสมการ

$$V_o = m E_1 - m E_2 = m(E_1 - E_2) \quad (2-1)$$

จากสมการ (2-1) ทำให้สรุปได้ว่า แรงดันเอาต์พุตสำหรับวงจรดิฟเฟอเรนเชียล หรือ V_o จะเป็นค่าแรงดันแตกต่างที่ป้อนเข้าที่ขาบวกและขาลบของออปแอมป์ คูณกับค่าอัตราขยาย (Differential gain) ซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดยตัวต้านทาน

จากสมการ (2-1) จะพบว่าเมื่อแรงดันอินพุตทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันดิฟเฟอเรนเชียลหรือแรงดันค่าแตกต่างนี้มีค่าเป็นศูนย์

แรงดันแบบคอมมอน โหมด (Common-mode input voltage)

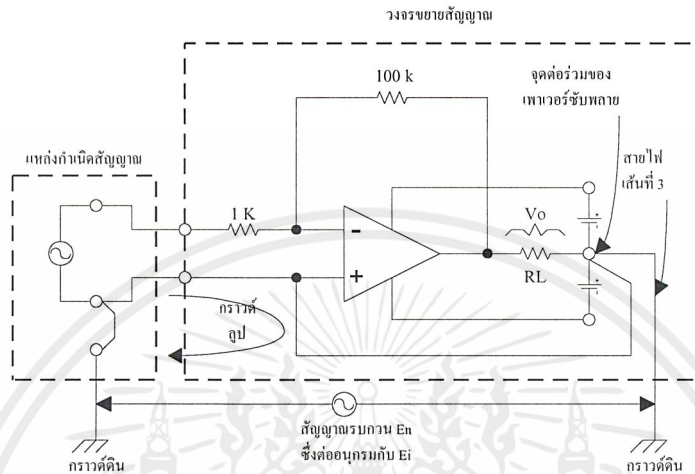


รูปที่ 2.6 อัตรายายแรงดันแบบคอมมอนโหมด

แรงดันเอาต์พุทของออปแอมป์ควรจะเป็น 0 โวลต์เมื่อ $E_1 = E_2$ วิธีการที่จะทำให้แรงดันอินพุททั้งสองเท่ากันได้ง่ายที่สุดคือ การรวบปลายอินพุททั้งสองเข้าด้วยกัน โดยแรงดันอินพุทนี้เราจะเรียกว่า E_{CM} หรือแรงดันอินพุทแบบคอมมอนโหมด ดังนั้นแรงดัน V_0 ควรจะมีค่าเป็นศูนย์ถ้าอัตราส่วนระหว่างตัวต้านทานเท่ากัน ซึ่งผลดังกล่าวทำให้เกิดอัตราขยายแรงดันแบบคอมมอนโหมด หรือ Common-mode voltage gain (V_0/E_{CM}) มีค่าเท่ากับศูนย์ ในทางปฏิบัติเพื่อที่จะให้ได้ค่าที่ถูกต้องสัดส่วนของตัวต้านทานทั้งสองชุดนี้ควรจะต้องเท่ากัน ซึ่งเป็นการยากที่จะทราบค่าที่แท้จริงได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้หนึ่งตัว ณ ตำแหน่ง mR เพื่อใช้ในการปรับค่าจนกว่าจะได้ค่า V_0 เท่ากับศูนย์โวลต์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวงจรคิเฟอเรนเชียลที่ดี และทำให้สามารถตรวจจับผลแตกต่างของสัญญาณแรงดันที่มีค่าน้อยๆ มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ได้

วงจรถ่ายเฟอเรนเชียลเทียบกับวงจรถ่ายทั่วไป

การตรวจจับสัญญาณที่มาจากแหล่งสัญญาณเดียว



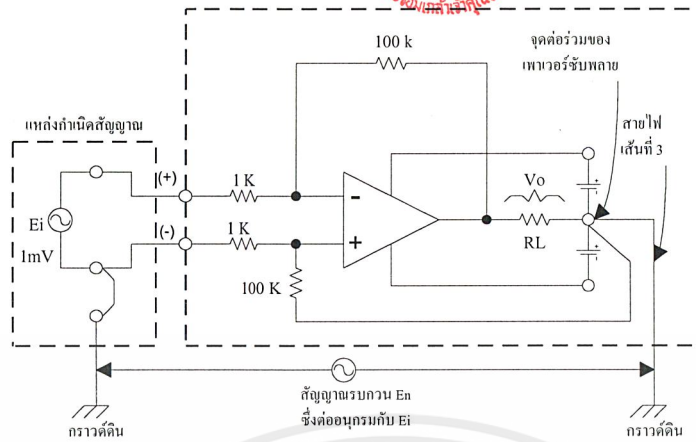
รูปที่ 2.7 แสดงแรงดันสัญญาณรบกวน

การต่อวงจรถ่ายอินเวอร์ตอย่างง่ายที่สุดจะเป็นไปดังรูปที่ 2.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะมีการป้อนเข้าตรงกลางตัวออปแอมป์ โดยที่ปลาย R_L จะเป็นการต่อกราวด์ลงดินและที่ตัวถังของแหล่งจ่ายสัญญาณ (Signal source) ต่อกราวด์ลงดินด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าที่แหล่งจ่ายสัญญาณจะมีการลงกราวด์ก็เป็นไปได้ที่จะมีการรั่วของตัวต้านทานหรือตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์ของแหล่งจ่ายสัญญาณเอง ทำให้เกิดกราวด์ลูป (Ground loop) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งทำให้เกิดกระแสและแรงดันรบกวน (Noise) ค่าหนึ่งโดยในรูปเราจะแทนด้วยค่า E_N

ค่า E_N นี้จะต่ออนุกรมกับค่า E_i ซึ่งแรงดันทั้งสองนี้จะถูกขยายด้วย -100 เท่า ซึ่งเป็นไปได้ที่ค่าของ E_N จะมีค่ามากกว่าค่าของ E_i

การตรวจวัดด้วยวงจรถ่ายเฟอเรนเชียล

การใช้วงจรถ่ายทั่วไปในการตรวจจับสัญญาณขนาดเล็กเป็นเรื่องที่ไม่เหมาะสม วิธีแก้ปัญหาคือการต่อวงจรถ่ายดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนกลายเป็นแรงดันคอมมอนโหมด แรงดันรบกวนที่ปรากฏที่ขาบวกของออปแอมป์ ก็จะปรากฏที่ขาลบของออปแอมป์ด้วย และจะไม่ถูกนำไปขยาย ดังนั้นเฉพาะแรงดัน E_i เท่านั้นที่ถูกขยาย

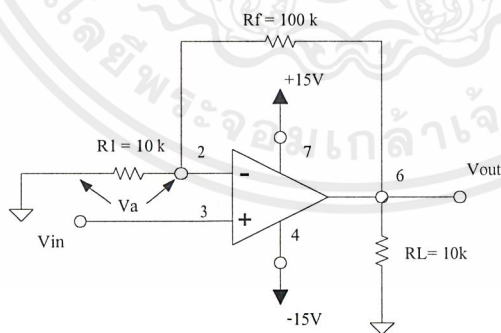


รูปที่ 2.8 แสดงวงจรดิฟเฟอเรนเชียลทำให้สัญญาณรบกวนเป็นแบบคอมมอนโมด

2.4 วงจรขยายสัญญาณ

วงจขยายไม่กลับเฟส (Non - inverting amplifier)

วงจขยายไม่กลับเฟสจะแตกต่างกับวงจขยายกลับเฟสในแง่ของอัตราขยายและเฟสของเอาต์พุท อย่างไรก็ตามอัตราขยายแรงดันของวงจจะถูกควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอก



รูปที่ 2.9 แสดงวงจขยายไม่กลับเฟส

จากรูปที่ 2.9 แรงดันอินพุทจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วบวก และมีแรงดัน V_A ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของเอาต์พุทตลอดตัวต้านทาน R_1 จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า สัปดาห์ที่ขั้วอินพุทลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้สัปดาห์ที่ขั้วอินพุทบวกเสมอ จะได้ว่า

$$V_{in} = V_A$$

ดังนั้นสามารถเขียนค่าขยายแรงดัน A_V ได้เท่ากับ

$$A_V = V_{out} / V_A$$

และเนื่องจาก V_A เกิดจากการแบ่งแรงดันของ V_{out} จะได้

$$V_A = \frac{R_{in}}{R_f + R_{in}} V_{out}$$

เมื่อจัดสมการใหม่ จะได้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_f + R_{in}}{R_{in}}$$

หรือ

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_A} = \frac{R_f}{R_{in}} + 1$$

นั่นคือ

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_{in}} + 1 \right) V_{in}$$

2.5 ฟิลเตอร์

ฟิลเตอร์คือ วงจรที่ใช้สำหรับกรองสัญญาณให้ความถี่เฉพาะที่ต้องการใช้ผ่านออกมาได้เท่านั้น ส่วนความถี่อื่นๆ ที่ไม่ต้องการผ่านจะถูกลดทอน (Attenuate) จนหมดไป วงจรฟิลเตอร์ที่ใช้งานมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

วงจรแบบพาสซีฟ (Passive) จะใช้เพียงอุปกรณ์ประเภทความต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น

วงจรแบบแอคทีฟ (Active) จะรวมถึงทรานซิสเตอร์ และออปแอมป์ด้วย

เมื่อแบ่งหน้าที่การทำงานของวงจรฟิลเตอร์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดด้วยกันคือ

แบบกรองความถี่ต่ำผ่าน

แบบกรองความถี่สูงผ่าน

แบบกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง

แบบกันไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะช่วง

ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบกรองความถี่ต่ำผ่านเท่านั้น

วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter circuit)

วงจรกรองความถี่ต่ำจะยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงตั้งแต่สัญญาณที่เป็นแรงดัน DC ไปจนถึงความถี่คัตออฟ (Cut-off frequency) แทนด้วยเครื่องหมาย f_c ความถี่คัตออฟคือ ความถี่ ณ. ขณะที่อัตราขยายของวงจรมีค่าลดลงเป็น 0.707 เท่าของอัตราขยายปกติ (-3 เดซิเบล) บางครั้งอาจเรียกความถี่นี้ได้ว่าความถี่มุม (Corner frequency) ถ้ามีความถี่สูงที่เกิน f_c ผ่านวงจรจะลดทอนขนาดความถี่นั้นจนมีค่าน้อยมากๆ จากรูปที่ 2.10 เส้นทึบแสดงถึงผลในอุดมคติ ส่วนเส้นประแสดงถึงผลของวงจรในความเป็นจริง ในช่วงที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้เรียกว่า ช่วงผ่าน (Pass band) และช่วงที่ไม่ยอมให้ความถี่ผ่านเรียกว่าช่วงลดทอน (Stop band)



รูปที่ 2.10 การตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์

ในรูปที่ 2.11 เป็นวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์กรองสัญญาณความถี่ต่ำแบบที่ใช้งานกันโดยทั่วไป วงจรประกอบด้วยอุปกรณ์ R, C และออปแอมป์ ซึ่งจากวงจรมีอัตราขยาย 1 เท่า กำหนดให้ R_f มีค่าเท่ากับ R และแรงดันออฟเซตมีค่าเป็น 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันที่ขา 2 เท่ากับแรงดันที่ขา 3 สำหรับแรงดันที่ขา 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ V_o นั้น จะทำให้แรงดันคร่อม C มีค่าเป็น V_o ด้วยเช่นกัน ถ้าพิจารณาในส่วนของ R และ C ที่ต่อกับ E_i จะได้สมการเป็น

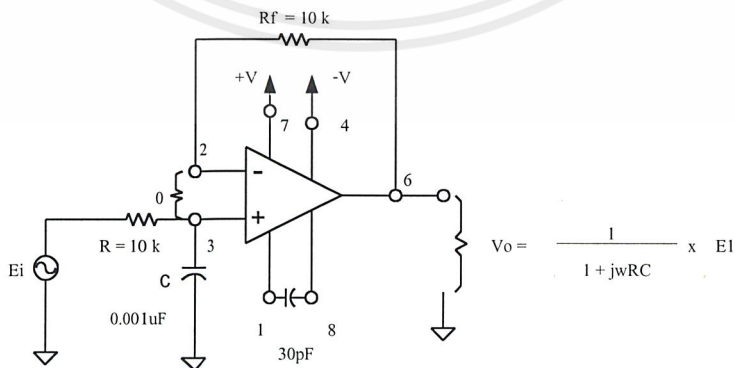
$$V_o = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} \times E_i \tag{2-2}$$

เมื่อ

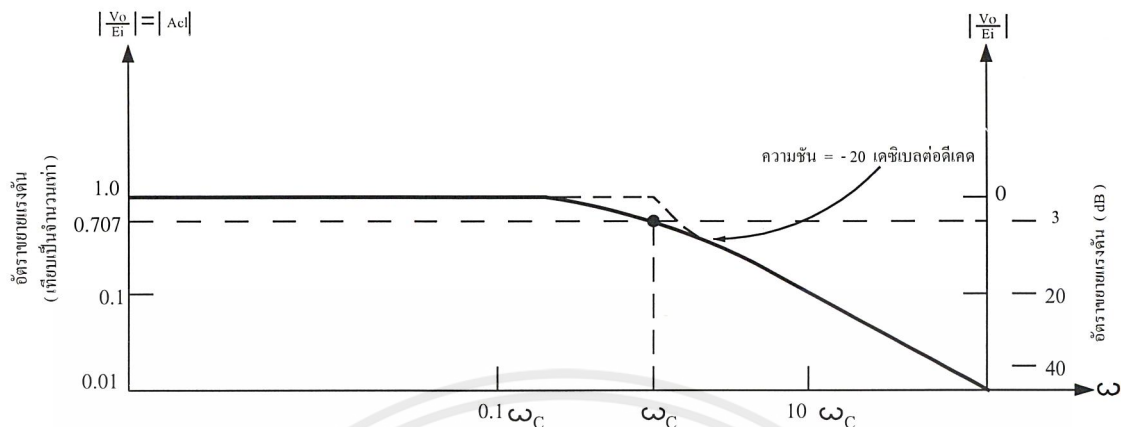
ω คือ ความถี่เชิงมุมของ E_i มีหน่วยเป็น เรเดียน / วินาที
 j มีค่าเป็น $(\sqrt{-1})$ ค่ารีแอกแตนซ์ของ C มีค่าเป็น $1/j\omega C$ จาก

สมการที่ (2-2) นำมาเขียนใหม่เป็นค่าของอัตราขยายแบบปิดลูปได้คือ

$$ACL = \frac{V_o}{E_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \tag{2-3}$$



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์



รูปที่ 2.12 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีค่า -20 เดซิเบลต่อดีเคด

ในรูปที่ 2.11 เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และจากสมการที่ (2-3) แสดงถึงค่าของอัตราขยายแบบบิโคลูป A_{CL} ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ ถ้าพิจารณาที่ความถี่ต่ำ ω มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ($\omega = 0$) นำไปแทนในสมการจะได้ขนาดของ $A_{CL} = 1$ และที่ความถี่สูง ω มีค่าเข้าใกล้อินฟินิตี้ ($\omega = \infty$) ขนาดของ $A_{CL} = 0$ (ขนาดของ A_{CL} สามารถเขียนแทนได้ด้วยเครื่องหมาย $|A_{CL}|$)

ในรูปที่ 2.12 เป็นกราฟที่แสดงขนาดของ A_{CL} เปรียบเทียบกับ ω แสดงให้เห็นว่าที่ความถี่สูงกว่าความถี่คัตออฟ ω_c ขนาดของ A_{CL} จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 20 เดซิเบลต่อดีเคด ดังนั้นจะสรุปได้ว่าเฉพาะช่วงที่ความถี่สูงกว่า ω_c อัตราการขยายแรงดันจะมีค่าลดลง 20 เท่า เมื่อความถี่มีค่าเพิ่มขึ้น 10 เท่าเช่นกัน

การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านก็คือ ค่าความถี่คัตออฟ ω_c ที่ต้องการใช้งาน ที่ค่าความถี่นี้ อัตราการขยายจะมีค่าเป็น 0.707 ของอัตราขยายที่ความถี่ต่ำ ความถี่คัตออฟหาได้จากสมการ

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c \tag{2-4}$$

โดยที่

ω_c	มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)
f_c	มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)
R	มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)
C	มีหน่วยเป็น ฟาร์ด (F)

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (2-4) เมื่อกำหนด ω_c ไว้แล้ว ต้องการจะหาค่า R ก็จะได้เป็น

$$R = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{2\pi f_c C} \quad (2-5)$$

ขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

จะเลือกออกแบบตามรูปที่ 2.12 ขั้นตอนในการออกแบบคือ

- 1.เลือกความถี่คัตออฟ (เลือก ω_c หรือ f)
- 2.เลือกค่าตัวเก็บประจุ C ปกติควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.1 ไมโครฟาร์ด
- 3.คำนวณค่าความต้านทาน R จากสมการที่ (2-5)

ผลตอบสนองของฟิลเตอร์

ค่าของ A_{CL} ที่ ω_c นั้น จะพบว่าเป็นค่าของความถี่ที่ $\omega_c R \times C = 1$ จากค่านี้เมื่อนำไปแทนในสมการที่ (2-3) จะได้เป็น

$$A_{CL} = \frac{1}{1+1j} = \frac{1}{\sqrt{2}\angle 45^\circ} = 0.707\angle -45^\circ$$

ถ้าพิจารณาเฉพาะขนาดของ A_{CL} ที่ ω_c จะได้เป็น

$$|A_{CL}| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 = -3dB$$

และมีมุมของเอาต์พุตเทียบกับอินพุตเลื่อนไป - 45 องศา

เส้นทึบในรูปที่ 2.12 แสดงถึงขนาดของผลตอบสนองทางความถี่ในการใช้งานจริง ช่วงความถี่ใช้งานคือ จาก $\omega = 0$ ไปจนถึง $\omega = \omega_c$ ที่ความถี่ $\omega = 0.1 \omega_c$ นั้น ได้ $|A_{CL}| = 1(0dB)$ และที่ $\omega = 10 \omega_c$ จะได้ $|A_{CL}| = 0.1(-20dB)$

ω$	|A_{CL}|$	มุมเฟส(deg)
$0.1\omega_c$	1.0	-6
$0.25\omega_c$	0.97	-14
$0.5\omega_c$	0.89	-27
ω_c	0.707	-45
$2\omega_c$	0.445	-63
$4\omega_c$	0.25	-76
$10\omega_c$	0.1	-84

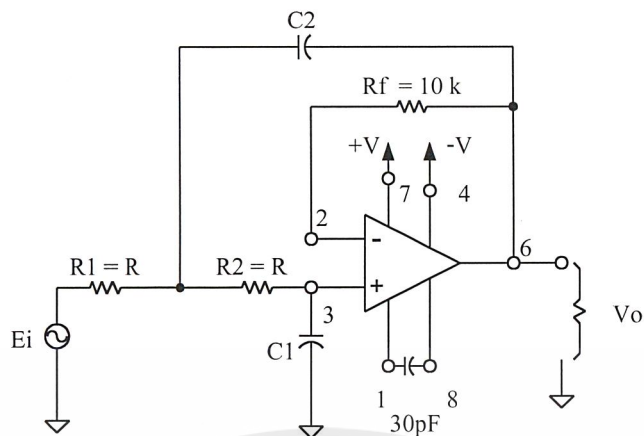
ตารางที่ 2.1 แสดงถึงขนาดและเฟสที่เปลี่ยนไปเมื่อความถี่มีการเปลี่ยนแปลง ในช่วง $0.1\omega_c$ ถึง $10\omega_c$

ในการใช้งานวงจรฟิลเตอร์ บางครั้งจำเป็นที่จะต้องให้เส้นกราฟในช่วงความถี่คัตออฟมีความชันสูงมากๆ เพื่อให้ความถี่ที่สูงกว่า f_c ถูกกรองให้หมดไปอย่างแท้จริง สำหรับวงจรที่มีคุณสมบัติดังกล่าวและนิยมใช้กันมากวงจรหนึ่งคือ วงจรบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth filter)

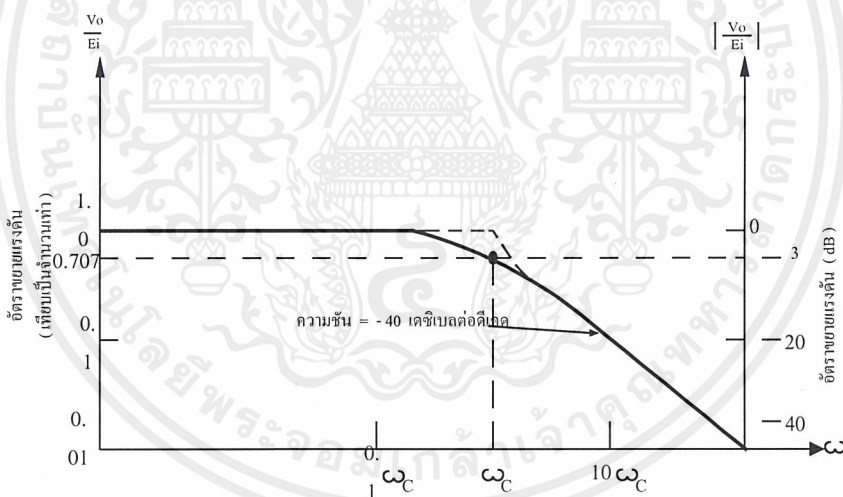
บัตเตอร์เวิร์ทฟิลเตอร์

ในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำนั้น นอกจากจะต้องให้ได้จุดคัตออฟที่ถูกต้องแล้วยังต้องทำให้อัตราการขยายแบบปิดลูปมีค่าเท่ากับ 1 ในช่วงผ่าน บัตเตอร์เวิร์ทฟิลเตอร์เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของอัตราการขยายของวงจร โดยจะให้ค่า A_{CL} ที่คงที่ตลอดในสัญญาณช่วงผ่าน บางครั้งจึงเรียกววงจรแบบนี้ว่า Maximally flat หรือ flat-flat filter

ในรูปที่ 2.14 แสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ เส้นทึบแสดงถึงผลทางอุดมคติ ส่วนเส้นประแสดงถึงผลในทางความเป็นจริง ที่ค่าความชันในการลดลงแตกต่างกัน 3 แบบ คือ -20 เดซิเบลต่อดีเคด - 40 เดซิเบลต่อดีเคด และ -60 เดซิเบลต่อดีเคด



รูปที่ 2.13 แสดงบัตเตอร์เวิร์ทฟิลเตอร์



รูปที่ 2.14 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านชนิดบัตเตอร์เวิร์ท

วงจรในรูปที่ 2.13 ในช่วงความถี่สูงกว่า ω_c มีความชันของ $|A_{CL}|$ เป็น -20 เดซิเบลต่อดีเคด ถ้านำเอาวงจรนี้ 2 วงจรมาต่อรวมกัน จะทำให้ความชันเป็น -40 เดซิเบลต่อดีเคด แต่จะเป็นการสิ้นเปลืองและไม่สะดวก เนื่องจากต้องใช้โอปแอมป์ถึงสองตัว

การนำวงจรบัตเตอร์เวิร์ทไปใช้งาน มักจะเป็นการออกแบบวงจรที่ไม่ต้องการค่านิ่งถึงเฟสที่เลื่อนไปอันเนื่องมาจากความถี่มากขึ้น ทั้งนี้เพราะ ณ ตำแหน่งที่ความถี่คัตออฟ ω_c วงจรจะเกิดการเลื่อนเฟสไปมีค่าคงที่เสมอ ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่มีอัตราการลดลงของ $|A_{CL}|$ เป็น -20 เดซิเบลต่อดีเคด จะมีเฟสเลื่อนไป -45 องศาที่ $\omega = \omega_c$
 วงจรที่มีอัตราการลดลงของ $|A_{CL}|$ เป็น -40 เดซิเบลต่อดีเคด จะมีเฟสเลื่อนไป -90 องศาที่ $\omega = \omega_c$
 วงจรที่มีอัตราการลดลงของ $|A_{CL}|$ เป็น -60 เดซิเบลต่อดีเคด จะมีเฟสเลื่อนไป -135 องศาที่ $\omega = \omega_c$
 จากทั้งหมดนี้จากกล่าวได้ว่า การเพิ่มขึ้นของความชันทุกๆ -20 เดซิเบลต่อดีเคด จะทำให้มีมุมเลื่อนไป -45 องศา ที่ $\omega = \omega_c$ เสมอ

2.6 A/D คอนเวอร์เตอร์ (Analog-to-digital converters)

A/D คอนเวอร์เตอร์ หรือ ADC ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณที่เป็นอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ผลลัพธ์ที่ได้จะกลายเป็นรหัสเลขฐานสองที่แทนระดับแต่ละระดับของสัญญาณอนาล็อก

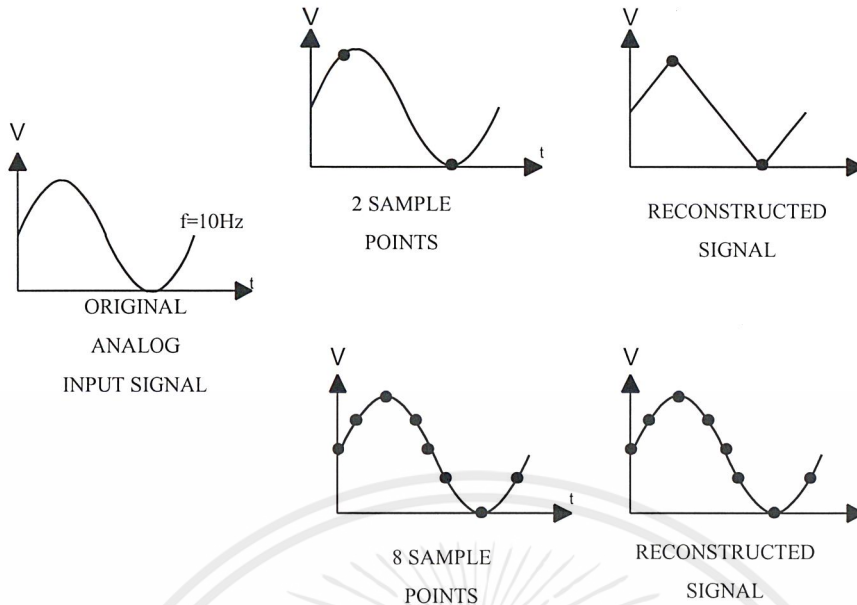
ค่าเวลาการแปลงผัน (Conversion time)

เป็นเกณฑ์ที่สำคัญของ A/D คอนเวอร์เตอร์ การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้กลายเป็นสัญญาณทางดิจิทัลไม่ได้เกิดขึ้นโดยทันทีทันใดแต่ต้องมีกระบวนการต่างๆ ด้วยเหตุที่ผลลัพธ์ที่ได้ ต้องใช้เวลาขณะหนึ่งที่จะทำการสุ่ม (Sample) สัญญาณอินพุต ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่เป็นรหัสไบนารีออกมาที่เอาท์พุต ดังนั้น ค่าเวลาการแปลงผัน คือ ช่วงเวลาที่ต้องการกระบวนการให้เสร็จสิ้น ซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ μs สำหรับ A/D คอนเวอร์เตอร์ ที่มีความเร็วสูง และเป็น ms สำหรับ A/D คอนเวอร์เตอร์ แบบธรรมดา เนื่องจากการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นต้องการกระบวนการซิงโครไนส์ที่แน่นอนและแม่นยำ จึงจำเป็นต้องมีแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาในวงจร

ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sample theory)

เนื่องจาก A/D คอนเวอร์เตอร์ ต้องการค่าเวลาขณะหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ช่วงเวลาช่วงหนึ่งจะใช้สำหรับการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ของสัญญาณ อัตราการเปลี่ยนสัญญาณสูงสุดมีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าเวลาการเปลี่ยน

$$\text{Conversion rate} = 1/\text{Conversion time}$$



รูปที่ 2.15 แสดงการสุ่มหลายช่วงจากสัญญาณอินพุตอะนาล็อกจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณดั้งเดิม เมื่อมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จาก DAC

ตัว A/D คอนเวอร์เตอร์จะสุ่มตัวอย่างของสัญญาณด้วยอัตราต่ำสุดเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตที่เข้ามา อัตราการสุ่มนี้เรียกว่า ไนควิสต์ เรต (Nyquist rate)

พิจารณาสัญญาณอะนาล็อกที่เป็นคลื่นรูปไซน์ 10 Hz จ่ายให้กับตัวคอนเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 2.15 อัตราต่ำสุดของการสุ่มตัวอย่างจะเป็น $2f$ หรือ 20 Hz ซึ่งจะให้ข้อมูลดิจิทัลขนาด 2 บิต ออกมาในแต่ละไซเคิล เมื่อข้อมูลดิจิทัลถูกนำมาสร้างเป็นสัญญาณอะนาล็อกขึ้นมาใหม่มีลักษณะคล้ายคลึงกับสัญญาณเดิม ถ้าความถี่ 10 Hz เป็นความถี่สูงสุดที่เข้ามายังตัว A/D คอนเวอร์เตอร์ ค่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณสูงสุดเป็น $1/20$ Hz หรือ 500 mS

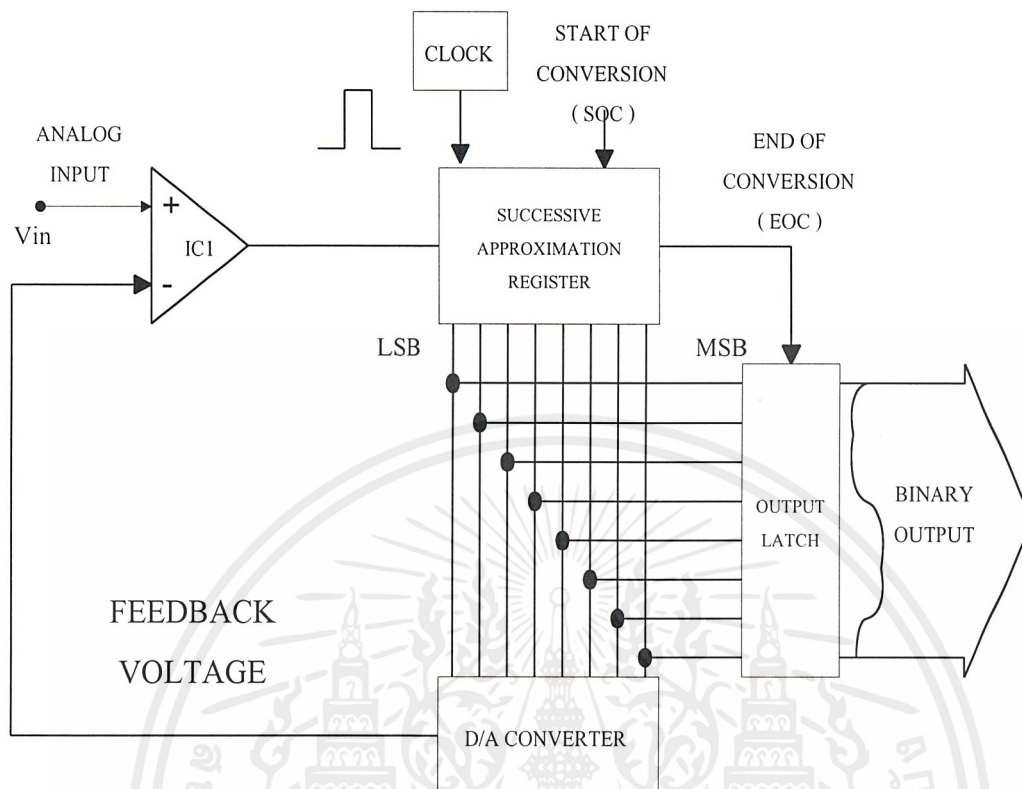
การปรับปรุงประสิทธิภาพของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ในแง่ความเหมือนจริงของสัญญาณการแปลงให้อยู่ในรูปของดิจิทัลจะต้องเพิ่มอัตราการสุ่มขึ้นในขณะที่คาบเวลาเท่าเดิม อัตราการสุ่ม 8 จุดต่อไซเคิล ต้องการอัตราการสุ่มของส่วนประกอบความถี่สูงสุด 8 ครั้ง เช่น ความถี่อินพุต 10 Hz จะต้องสุ่มตัวอย่างที่ 80 Hz ดังนั้นตัวคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าเวลาในการเปลี่ยนเป็น $1/80$ หรือ 12.5 mS ถ้าตัว A/D คอนเวอร์เตอร์ ไม่สามารถสุ่มตัวอย่างได้เร็วพอต่อสัญญาณอินพุตที่เปลี่ยนแปลงไปข่าวสารข้อมูลที่บรรจุอยู่ในสัญญาณอะนาล็อกทางอินพุตจะสูญหายไป

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ทางอินพุต, ค่าเวลาในการเปลี่ยนสัญญาณและอัตราการสุ่ม เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของ A/D คอนเวอร์เตอร์ มีวิธีการหลายๆ วิธีที่จะทำการแปลงสัญญาณอะนาล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เช่น Flash techniques, Single slope techniques, Double slope techniques, Single counter techniques, Tracking counter techniques และ Successive approximation techniques เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธี Successive approximation techniques ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ใน A/D คอนเวอร์เตอร์ เบอร์ ADC0804

เทคนิคแบบการประเมินค่าหลายๆ ครั้ง (Successive approximation techniques)

เทคนิคแบบการประเมินค่าหลายๆ ครั้ง มีชื่อย่อว่า SA ซึ่งย่อมาจากคำว่า Successive approximation เป็นเทคนิคที่มีความละเอียดพอสมควร และเป็น A/D คอนเวอร์เตอร์ ที่มีความเร็วสูง เทคนิคแบบการประเมินค่าหลายๆ ครั้งเป็นเทคนิคที่มีความสามารถสูงและใช้งานได้ดี ซึ่งสามารถใช้แปลงสัญญาณอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ หัวใจของ SA คอนเวอร์เตอร์ คืออุปกรณ์ที่เรียกว่า Successive approximation register (SAR) ดังรูปที่ 2.15

วัฏจักรการแปลงผัน เริ่มต้นเมื่อสัญญาณอะนาล็อกถูกป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์ และพัลส์การแปลงเริ่มต้น (Start conversion pulse : SOC) ถูกป้อนให้กับตัว SAR พัลส์สัญญาณนาฬิกาถูกแรกที่ป้อนให้กับตัว SAR จะ ON เอาท์พุทของบิตนัยสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นการปรับให้อาท์พุทของ DAC เป็น 50 % ของแรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ตัว SAR จะมองไปยังเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบว่า เอาท์พุทของ DAC มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอะนาล็อกทางอินพุท ถ้าแรงดันของ DAC มีค่ามากกว่าวงจรเปรียบเทียบ จะยังคงอยู่ในสถานะ OFF ดังนั้นตัว SAR จะ OFF บิตนัยสูงสุดลงและให้ชื่อว่าสถานะ 0 ถ้าแรงดันของ DAC มีค่าน้อยกว่าสัญญาณอะนาล็อกทางอินพุท วงจรเปรียบเทียบจะยังคงทำงานอยู่ ดังนั้นตัว SAR จะยังคงปล่อยให้บิตนัยสูงสุด ON อยู่ และเราเรียกสถานะนี้ว่า 1 ซึ่งสถานะ 1 หรือ 0 นี้ จะกระทำภายในพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียงพัลส์เดียว บนสัญญาณนาฬิกาถัดไปตัว SAR จะ ON บิตนัยสูงสุดอันดับ 2 และทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้อีกครั้งหนึ่งจากวงจรเปรียบเทียบถ้าสัญญาณจาก DAC ครั้งใหม่นี้มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุท เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบยังจะไม่มี ดังนั้นตัว SAR จะ OFF บิตนัยสูงสุดอันดับ 2 นี้ และเรียกมันว่า 0 แต่ถ้าสัญญาณจาก DAC มีค่าน้อยกว่าวงจรเปรียบเทียบจะยังคงทำงานและตัว SAR จะปล่อยให้บิตนัยสูงสุดอันดับ 2 นี้ ON



รูปที่ 2.16 Successive Approximation Register (SAR) เป็นตัวเร่งความเร็วของกระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อก ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

ตัว SAR จะพิจารณาแต่ละบิตด้วยวิธีเดียวกัน (บิตนัยสูงสุดถึงบิตนัยต่ำสุด)จนกระทั่งทุกๆ บิตถูกพิจารณาหมด เนื่องจาก 1 บิต ถูกหาค่าภายใน 1 พัลส์ ADC ขนาด 8 บิต จึงใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 8 พัลส์ ก็สามารถทำการแปลงได้จนจบกระบวนการ เมื่อบิตนัยต่ำสุดถูกพิจารณาเสร็จสิ้นแล้ว ตัว SAR จะส่งสัญญาณสิ้นสุดการแปลงผัน (End of conversion : EOC) ไปทำการค้างผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งเป็นเลขฐานสองทางเอาต์พุทไว้

SA คอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาก และสามารถทำการแปลงสัญญาณได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งมีความละเอียดสูงอีกด้วย คอนเวอร์เตอร์หลายตัวที่ใช้เทคนิคแบบนี้สามารถทำการแปลง A/D ขนาด 12 บิต ได้โดยใช้เวลาน้อยกว่า 10 μ S

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

ตระกูล MCS-51 ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมมาตรฐานขนาด 8 บิตไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้มีความสามารถในการทำงานควบคุมประยุกต์ใช้งานในเรื่อง sequential real time control, close loop control และ data control และมีส่วนคล้ายกับ MCS-48 แต่จะทำงานได้เร็วกว่าเป็น 2 ถึง 5 เท่า รวมทั้งอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นตามลักษณะหลักต่างๆ ไปต่อไปนี้

1. ใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยีในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5V. เพียงแหล่งเดียว
2. ซีพียูมีขนาดคำ 8 บิต
3. มีวงจรรอสซิงเคลเตอร์ และวงจรรนาพิกานชิป
4. ชุดแบงก์ (BANK) รีจิสเตอร์มี 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจิสเตอร์ 8 บิต ทำงานเช่นเดียวกับ MCS-48
5. มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2 ชุด และสำหรับเบอร์ 8032/8052 มี 3 ชุด
6. มีพอร์ตไอโอแบบขนานสองทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น แต่จะเหลือเพียง 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 ใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรสและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะกินเวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการ ใช้คริสตอล 12 เม็กกะเฮิร์ตซ์
9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาด ไบต์หรือบิตได้โดยตรง
12. มีซอฟต์แวร์บิตแฟลคสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
13. โครงสร้างอินเตอร์รัพต์จะติดตั้งได้ถึง 5 แหล่ง และ 6 แหล่ง สำหรับ 8032/8052 พร้อมด้วยการจัดไพรออริตี้ (Priority) ได้ 2 ระดับ
14. ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้ สำหรับการ ใช้กับกระบวนการงานควบคุม
15. มีคำสั่งคูณ และหารทางฮาร์ดแวร์ที่ทำใ้ภายใน 4 ไมโครวินาที
16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ทั้งระบบไบนารี และเดซิมีอล
17. การใช้พื้นที่สแตกสำหรับโปรแกรมย่อยต่างๆ ทำใ้กว้างกว่า MCS-48
18. ชุดคำสั่งของ MCS-51 จะมีความสามารถสูงกว่าคำสั่งของ MCS-48

ตระกูล MCS-51 จะมีทั้งแบบมี ROM ในตัว หรือไม่มี ROM หรือมี EPROM บนชิปเดียวกันและจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกัน ตารางที่ 2.2 แสดงถึงตารางรายละเอียดของเบอร์ต่างๆในตระกูล MCS-51

เบอร์	หน่วยความจำภายใน		ตัวจับเวลา/ ตัวนับจำนวน	อินเตอร์รัพต์
	โปรแกรม	ข้อมูล		
8052 AH	8K x 8 ROM	256 x 8 RAM	3 x 16 BIT	6
8051 AH	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8051	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8053 AH	NO ROM	256 x 8 RAM	3 x 16 BIT	6
8031 AH	NO ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8031	NO ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8751 H	4 K x EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8752	4 K x EPROM	256 x 8 RAM	3 x 16 BIT	6

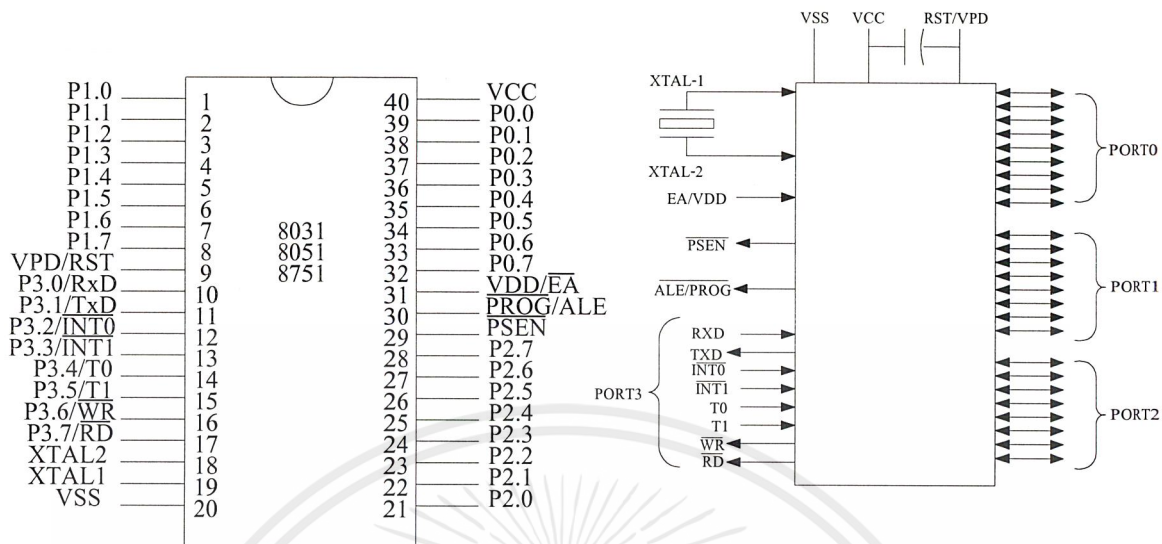
ตารางที่ 2.2 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS-51

8751 H อยู่ในกลุ่มรุ่นเดียวกับ 8051AH ที่เราสามารถโปรแกรมได้ด้วยระบบไฟสามารถลบโปรแกรมออกได้ด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต นอกเหนือจากไอซีที่แสดงในตารางข้างบนที่ใช้เทคโนโลยี HMOS แล้วยังมีตระกูลอื่นที่ใช้เทคโนโลยี CHMOS ที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่า 4 เท่าของ HMOS ที่มีจำหน่ายขณะนี้คือ เบอร์ 80C51, 80C31 และ 87C51

การจัดขาลักษณะภายนอกของ MCS-51

รูปที่ 2.17 แสดงการจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิป MCS-51 ซึ่งจะมีการแบ่งกลุ่มการจัดขาตามสถาปัตยกรรมของ MCS-51 อยู่ 4 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มขาจับแหล่งจ่ายไฟฟ้าและระบบสัญญาณนาฬิกา
2. กลุ่มขาแอดเดรสและข้อมูล
3. กลุ่มขาควบคุม
4. กลุ่มขาพอร์ตแบบขนานและอนุกรม



รูปที่ 2.17 แสดงการจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิป MCS-51

ขาบางขาจะทำหน้าที่ได้สองหน้าที่ขึ้นอยู่กับการทำงานที่ติดตั้งด้วยซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ เช่น ขาที่ 32-39 จะทำหน้าที่ได้เป็นกลุ่มขาแอดเดรสและข้อมูลหรือจะทำหน้าที่เป็นกลุ่มขาพอร์ตแบบขนานเป็นต้น รายละเอียดหน้าที่ขาแต่ละขามีดังนี้

- ขา VSS (ขา 20) เป็นขาสำหรับต่อลงดิน
- ขา Vcc (ขา 40) เป็นขาที่ต่อแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 5V. และใช้สำหรับการโปรแกรม
- ขา PORT 0 (PO.0 – PO.7/ AD0 – AD7) (ขา 32-39) ทำหน้าที่เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional สามารถที่จะรับโหลดที่ที่แอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า “1” ไปที่พอร์ตนี จะเป็นการปล่อยลอย (Float) ขาของพอร์ตนี ทำให้มันทำงานเป็นอินพุท มีสถานะอิมพีแดนซ์สูง ในการให้พอร์ตนีบริการแบบไอโอและอีกหน้าที่หนึ่งของพอร์ต 0 จะทำงานเป็นมัลติเพลกซ์ ด้วยสัญญาณแอดเดรสไบต์ค่ากับบัสข้อมูล สำหรับการใช้งานด้านหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานแบบนี้จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูล์ออฟนอกจากหน้าที่หลัก 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้งานพิเศษเป็นตัวส่งข้อมูลออกทางพอร์ตนี เมื่อใช้บริการทางด้านตรวจสอบโปรแกรม ROM ภายใน และการโปรแกรม ตัว EPROM ภายใน ถ้าใช้งานในลักษณะนี้การพูล์ออฟจากภายนอกจะต้องต่อด้วยค่า 10 กิโลโอมห์
- ขา PORT 1 (P1.0 – P1.7) (ขา 1 – 8) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional พร้อมด้วยการพูล์ออฟภายใน ถ้าเป็นพอร์ตเอาต์พุท บัฟเฟอร์สามารถขับโหลดที่ที่แอลตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัว พอร์ต 1 เมื่อถูกเขียนค่า “1” ด้วยโปรแกรม มันจะมีสถานะด้วยการพูล์ออฟภายใน การให้สถานะเช่นนี้ จะเป็นการ Initial ใช้งานพอร์ตนีให้เป็นอินพุท ขณะที่พอร์ตนี

เป็นอินพุท การให้สัญญาณลงต่ำจะเป็นการจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัฟภายใน

ในเบอร์ 8052 ขา P1.0 และ P1.7 จะใช้งานเป็น T2 และ T2EX โดยขา T2 จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกให้ตัวจับเวลา 2 ทำงาน และขา T2EX จะเป็นอินพุตผ่านเข้าตัวจับเวลา 2 ถูกกระตุ้นให้ทำงานแบบปกติตามโปรแกรมที่ติดตั้งไว้ หรือ เค็ปเจอร์ (Capture)

ขา PORT 2 เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional ด้วยการพูลอัฟภายใน พอร์ต 2 ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุตสามารถจ่ายโหลดที่ที่แอลตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัว อีกหน้าที่หนึ่งของพอร์ตจะถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูงด้วย เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิต ด้วยการใช้งานแบบนี้มันจะมีพูลอัฟภายในที่ช่วยการส่งค่า “1” ได้ระดับที่แน่นอนนอกจากการใช้งานสำหรับแอดเดรสอันดับสูงยังใช้เป็นขาควบคุมในการใช้งานตรวจสอบ และเขียนโปรแกรมเบอร์ 8751 และตรวจสอบโปรแกรมภายใน 8051

ขา PORT 3 เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบพูลอัฟภายใน นอกจากทำเป็นพอร์ตไอโอที่สามารถรับโหลดที่ที่แอลพวตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัวแล้วยังมีอีกหน้าที่หนึ่งของตระกูล MCS-51 ตามรายการข้างล่างนี้ด้วย

ขาพอร์ต ขา การทำงานตามฟังก์ชันพิเศษ

P3.0	10	RxD	พอร์ตอนุกรมอินพุท
P3.1	11	TxD	พอร์ตอนุกรมเอาต์พุท
P3.2	12	INT0	อินเทอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 1
P3.3	13	INT1	อินเทอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 2
P3.4	14	T0	T0 สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0
P3.5	15	T1	T1 สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1
P3.6	16	WR	สัญญาณควบคุมการเขียน
P3.7	17	RD	สัญญาณควบคุมการอ่าน

การที่จะให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบนได้ จะต้องติดตั้งโปรแกรมด้วยการส่งค่า “1” ไปแลตซ์ไว้ก่อนที่ให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน

ขา RST ต้องคงสถานะค่าสูงเป็นเวลาประมาณอย่างน้อยสองวัฏจักรระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ทำงานขณะที่ต้องการรีเซ็ตทั้งระบบงาน โดยจะต่อรีซิสเตอร์พูลดาวน์ (8.2 กิโลโอมห์) จากขา RST ไปลงดิน และเพื่อให้ตัวชิปรีเซ็ตได้โดยอัตโนมัติ ขณะเปิดไฟจะใช้คาปาซิเตอร์ (10 ไมโครฟารัด) ต่อคร่อมระหว่างขา RST กับ ขา Vcc

ขา ALE/PROG เป็นขาแอดเดรสแลตซ์อื่นาเบิ้ลด้วยการส่งพัลส์ออกไปใช้สำหรับแลตซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำจากพอร์ต 0 ในระหว่างการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยความจำภายใน ALE จะถูก

ส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความเร็วคงที่ ที่ $1/8$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ตลอดเวลาแม้ว่าบางช่วงจังหวะจะไม่มี การเข้าถึงข้อมูลจากภายใน ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้สัญญาณจากขานี้เป็นตัวจับเวลาภายนอกหรือเป็นความถี่สัญญาณนาฬิกา แต่อย่างไรก็ตามความถี่สัญญาณนี้จะลดความถี่ช้าลงไปเท่าหนึ่งระหว่างการทำงานแบบการเข้าถึงของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขา นี้ยังจะใช้เป็นสัญญาณพัลส์เข้า สำหรับการควบคุมการโปรแกรม EPROM ภายในชิป

- ขา PSEN (ขา 29) Program Storage Enable เป็นสโตรบอ่านข้อมูลจากโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมภายนอก ขา PSEN จะสร้างสโตรบต่ำสองครั้งภายในแต่ละวัฏจักรเมซซีนสัญญาณจะมีสถานะสูง หรือพัลส์ต่ำทั้งสองจะถูกจะหายไปเมื่อทำงานในช่วงการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอกและ PSEN จะไม่มีพัลส์ส่งออกถ้าชิปทำงานด้วยโปรแกรมหน่วยความจำภายใน
- ขา EA/Vpp (ขา 31) มีสถานะสูง ตัวซีพียูในชิปจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายใน (โดยที่โปรแกรมจะต้องไม่ยาวกว่า 4 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 AH และ 8 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 AH) การทำให้ EA มีสถานะต่ำจะเป็นการควบคุมให้ซีพียูทำงานตามโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก ซึ่งขยายโปรแกรมได้ยาวถึง 64 กิโลไบต์ ในตัว 8031 AH และ 8032 AH ขา EA จะต้องต่อลงดินเช่นกันแม้ว่าจะไม่มี ROM อยู่ภายในก็ตาม ในตัว 8751 H จะใช้ขา นี้จ่ายแรงดันขนาด 21 V. ขณะทำการเขียนโปรแกรมเข้า EPROM ของชิป 8751 H ตัวนี้
- ขา XTAL1 (ขา 19) ใช้เป็นตัวอินพุตเข้าสู่ตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert
- ขา XTAL2 (ขา 18) ใช้เป็นตัวเอาต์พุตจากตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert

ตามตารางที่ 2.2 MCS-51 ทั้งสามกลุ่ม คือ กลุ่มที่มี ROM ไม่มี ROM และพวก EPROM จะมีขาใช้งานเหมือนกันหมด ยกเว้นขา 1 จะใช้งานเป็น T2 และขา 2 เป็น T2EX ในเบอร์ 8032/8052 ตลอดถึงจังหวะเวลา (Timing Diagram) และคุณสมบัติทางไฟฟ้าทั้งสามจะแตกต่างกันเฉพาะการโปรแกรมบนชิป MCS-51 เท่านั้น ซึ่งแต่ละแบบจัดไปตามความต้องการของผู้ใช้เช่น 8751 จะมี 4 กิโลไบต์ของ Ultraviolet Erasable Programmable Read Only Memory (EPROM) เหมาะสำหรับการพัฒนาเครื่องต้นแบบ และการผลิตอุปกรณ์ที่มีจำนวนจำกัด เมื่อต้องการจะเขียนโปรแกรมเข้า EPROM จะมีตัวเขียนโปรแกรมพิเศษสำหรับเขียนโปรแกรมที่ผู้ออกแบบเขียนขึ้นมาได้ ถ้าโปรแกรมมีบั๊กหรือส่วนผิดพลาดที่ต้องการจะแก้ไข ก็สามารถแก้ไขได้โดยการนำตัว 8751 นี้ไปล้างโปรแกรมเดิมออกด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต และอัดข้อมูลโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วเข้าไปใหม่ ทำเช่นนี้จนกระทั่งได้โปรแกรมสมบูรณ์ และเมื่อต้องการผลิตจำนวนมากก็สามารถที่จะใช้ MCS-51 เบอร์ 8051 ที่มี 4 กิโลไบต์ของ ROM ซึ่งจะถูกอัดข้อมูลโปรแกรมตามความ

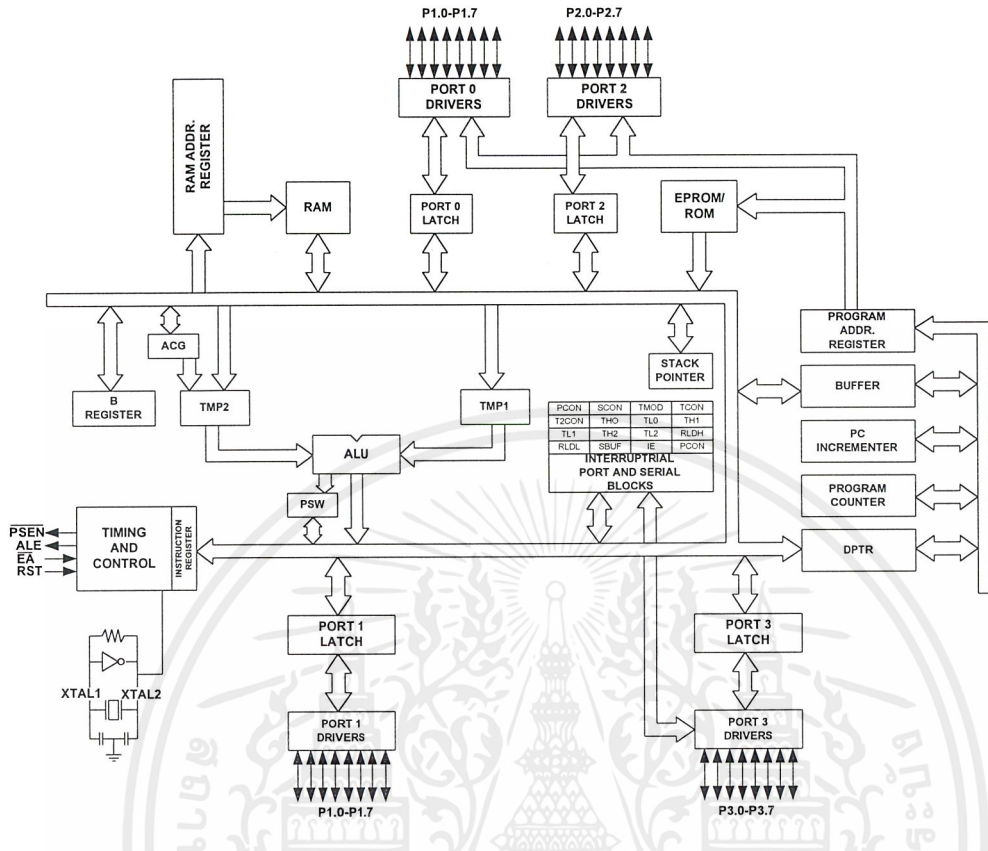
ต้องการของผู้ออกแบบโดยโรงงานผู้ผลิตชิปเบอร์นี้การผลิตลักษณะนี้จะถูกกว่าการใช้เบอร์ 8751 แต่โปรแกรมภายในจะไม่สามารถลบ และโปรแกรมใหม่ได้หลังการผลิตไปแล้ว

การจัดการทางสถาปัตยกรรม

รูปที่ 2.18 เป็นบล็อกไดอะแกรมที่แบ่งตามลักษณะงานทางสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51 โดยซึ่งเกิดชิปแต่ละตัวของตระกูลนี้จะประกอบด้วยหน่วยศูนย์กลางประมวลผลหน่วยความจำสองชนิดคือ แบบ RAM กับ ROM หรือ EPROM พอร์ตเอาต์พุตอินพุต โหมดรีจิสเตอร์สถานะและข้อมูล ส่วนวงจรตรรกในการแรนดอม (RANDOM) ที่จำเป็นสำหรับตัวแปรของฟังก์ชันการต่อพ่วงส่วนต่างๆ ที่กล่าวนี้ จะติดต่อกันด้วยบัสข้อมูลขนาด 8 บิต และจะมีบัฟเฟอร์สำหรับการติดต่อกับภายนอกผ่านพอร์ตไอโอ เมื่อต้องการขยายหน่วยความจำหรือพอร์ตไอโอ

หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือซีพียู

ซีพียูเป็นมันสมองของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การอ่านโปรแกรม และทำงานตามคำสั่งโปรแกรมจะกระทำที่ส่วนนี้ โดยการใช้ส่วนคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ A, B, PSW (Program Status Word), SP (Stack Pointer) ตัวนับโปรแกรม (PC: Program Counter) ขนาด 16 บิต และตัวชี้ตำแหน่งข้อมูล (DPTR: Data Pointer) ส่วนคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ (ALU: Arithmetic Logic Unit) ALU นี้ทำงานในฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ด้วยตัวแปรต่างๆ ขนาด 8 บิต ที่มีลักษณะการทำงานทางคณิตศาสตร์เป็น บวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งทางคณิตศาสตร์ เช่น AND OR XOR รวมทั้งการเลื่อนและวนรอบบิต การเคลียร์ค่าและกลับค่า (Complement) เป็นต้น ALU ยังสามารถที่จะตัดสินใจในการให้กระโดดไปทำคำสั่งของโปรแกรมในส่วนอื่นๆ ตามเงื่อนไขที่ตั้งขึ้นและยังแบ่งรีจิสเตอร์ชั่วคราวไว้สำหรับเป็นทางผ่านชั่วคราวของข้อมูลในการถ่ายเทภายในระบบคำสั่งอื่นที่มี



รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51

การใช้ ALU ยังมีความสามารถที่จะเพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ในลักษณะการบวกด้วยหนึ่ง (Increment) หรือ คำนวณเลขที่อยู่ของข้อมูลที่จะนำไปเก็บ หรือการลดค่าลงครั้งละหนึ่ง ในลักษณะการลบด้วยค่าหนึ่ง (Decrement) โดยอัตโนมัติ หรือใช้ในการเปรียบเทียบค่าของตัวแปรทั้งสอง

สิ่งสำคัญในการทำงานทางสถาปัตยกรรมของ MCS-51 คือ ความสามารถในการทำงานสำหรับข้อมูลขนาด 8 บิต และ 1 บิต การใช้งานในระดับบิตในการเซต เคลียร์ หรือกลับค่า การเคลื่อนย้าย การทดสอบ และใช้ในการคำนวณทางตรรกขนาด 1 บิต ความสามารถเช่นนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานควบคุมของสัญญาณเข้าและออกที่มีการคิดและออกแบบทางตรรกด้วยพีชคณิตบูลีน ซึ่งโดยปกติทำได้ลำบากสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วๆ ไป งานในลักษณะเช่นนี้จึงได้ชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า ตัวประมวลผลบูลีน (Boolean Processor)

แอกคูมิเลเตอร์ (Accumulator : ACC)

MCS-51 ก็เช่นเดียวกับ MCS-48 ที่ใช้ ACC ที่มีขนาด 8 บิต เป็นแอกคูมิเลเตอร์คำสั่งส่วนใหญ่จะอ้างถึงตัวรีจิสเตอร์นี้ โดยถือค่าภายในเป็นค่าตัวตั้ง และรับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากคำสั่งทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร เข้ามาเก็บไว้ ตัว ACC ยังสามารถใช้เป็นตัวแหล่งกระทำหรือถูกกระทำในการทำงานทางตรรก และใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทข้อมูลในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกไอโอ และหน่วยความจำภายนอก รวมถึงการตรวจสอบตารางข้อมูล

รีจิสเตอร์ B

เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้งานสำหรับคำสั่งของการคูณและหาร โดยใช้เป็นที่เก็บตัวคูณหรือตัวหาร และเป็นที่เก็บผลลัพธ์ตัวที่สองหลังการคูณและเศษหลังการหาร

รีจิสเตอร์ คำแสดงสถานะ โปรแกรม (Program Status Word : PSW)

รีจิสเตอร์PSW เป็นรีจิสเตอร์ ที่แสดงผลที่ได้หลังจากการใช้คำสั่งต่างๆ และใช้เป็นตัวเลือกกลุ่มการทำงานของรีจิสเตอร์กลุ่มต่างๆ

ตัวชี้สแตก (Stack Pointer : SP)

MCS-51 จะใช้ RAM ภายในเป็นบริเวณสแตกทางฮาร์ดแวร์สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมหลัก สแตกการผ่านพารามิเตอร์ระหว่างงานในแต่ละส่วน โปรแกรมและสแตกเก็บตัวแปรข้อมูลชั่วคราว หรือสแตกการเก็บสถานะระหว่างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ภายในชิป โดยที่ SP จะมีขนาด 8 บิต จะเพิ่มค่าขึ้นโดยอัตโนมัติก่อนที่ข้อมูลจะนำมาเก็บในหน่วยความจำระหว่างการใส่คำสั่ง PUSH และ Call และจะลดค่าของ SP ลงหลังจากที่ได้ถ่ายเทข้อมูลออกไปแล้วในคำสั่ง POP หรือ RETURN โดยทฤษฎีทางสถาปัตยกรรม MCS-51 สามารถใช้สแตกให้มีเนื้อที่ถึง 128 ไบต์ แต่ในทางปฏิบัติสำหรับโปรแกรมทั่วไป จะใช้น้อยกว่านี้ SP จะเริ่มที่ตำแหน่ง 07H ดังนั้นสแตกจะเริ่มบรรจุข้อมูลที่ตำแหน่ง 08H MCS-51 สามารถเปลี่ยนแปลงค่าใน SP ได้ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งสแตกไปยังที่ใดๆ ของ RAM ภายในชิป

ตัวชี้ข้อมูล (Data Pointer : DPTR)

DPTR รีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ประกอบด้วยไบต์สูง (DPH) และ ไบต์ต่ำ (DPL) ที่สามารถเลือกแบ่งออกเป็น รีจิสเตอร์ 8 บิตสองตัวที่ใช้ได้อย่างอิสระ หรือจะใช้รวมกันทั้ง 16 บิต ก็ได้ ในการ Increment หรือ Decrement เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นฐานของเลขที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ในการกระโดดทางอ้อมในการใส่คำสั่งเกี่ยวกับตารางข้อมูลและชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก

พอร์ต 0 ถึง 3

รีจิสเตอร์P0,P1,P2 และ P3 ของกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR) จะ

เป็นตัวรีจิสเตอร์ที่เลขค่าของพอร์ต 0,1,2 และ 3 ตามลำดับในขณะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นรีจิสเตอร์สองตัว ตัวหนึ่งเป็นบัฟเฟอร์การส่งและอีกตัวเป็นบัฟเฟอร์การรับ เมื่อข้อมูลถ่ายเทเข้า SBUF มันจะถ่ายเข้าบัฟเฟอร์ส่งซึ่งเป็นตัวจัดการส่งข้อมูลอนุกรม วิธีการเคลื่อนย้ายเข้า SBUF ขึ้นอยู่กับการติดตั้ง โปรแกรม (Initial) การส่งเมื่อข้อมูลย้ายออกจาก SBUF จะเป็นการรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ตัวรับ

รีจิสเตอร์ควบคุม (Control Register)

กลุ่ม SFR ที่เป็น IP, IE, TMOD, TCON, T2CON, SCON และ PCON จะประกอบด้วยบิตที่ใช้ในการควบคุม และแสดงสถานะของการทำงานในระบบอินเทอร์รัพต์ ตัวจับเวลา/ตัวนับและพอร์ตอนุกรม

การจัดการหน่วยความจำ

ตัว MCS-51 จะแยกแอดเดรสสำหรับหน่วยความจำของโปรแกรม และหน่วยความจำของข้อมูลออกจากกัน หน่วยความจำของโปรแกรมขยายได้ถึง 64 กิโลไบต์ และจำนวนไบต์ต่ำ 4 กิโลไบต์จะอยู่ใน 8051 หน่วยความจำของข้อมูลภายในมี 128 ไบต์ (256 ไบต์สำหรับ 8032/8052) บนชิป และอีก 128 ไบต์ใช้สำหรับรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR) และเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้อีก 64 กิโลไบต์

ออสซิลเลเตอร์และวงจรรนาฬิกา

วงจรรออสซิลเลเตอร์ที่อยู่ในชิปแบบ HMOS ของตระกูล MCS-51 จะเป็น Single Linear Invertor เพื่อใช้คริสตอลควบคุมเป็นออสซิลเลเตอร์แบบรีแอกทีฟบวก

โครงสร้างพอร์ตและการทำงาน

ใน MCS-51 มีพอร์ตทั้งสี่พอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง แต่ละพอร์ตจะประกอบด้วยเลขที่ P0 ถึง P3 ของ SFR จะมีตัวจับเอาท์พุทและบัฟเฟอร์อินพุทตัวบัฟเฟอร์เอาท์พุทของพอร์ต 0 และ 2 และบัฟเฟอร์อินพุทของพอร์ต 0 จะใช้งานสำหรับการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานลักษณะนี้เอาท์พุทพอร์ต 0 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดไบต์ต่ำของแอดเดรสหน่วยความจำภายนอก โดยที่ค่าแอดเดรส และค่าข้อมูลจะถูกมัลติเพล็กซ์ด้วยช่วงจังหวะการแพทช์และการอ่านหรือเขียนข้อมูล ส่วนเอาท์พุทพอร์ต 2 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดส่งไบต์สูงของแอดเดรสในการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอกบางขาของตัวจับเอาท์พุทและบัฟเฟอร์อินพุทของขา 1.0, 1.1 และ พอร์ต 3 ทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานเป็นแบบหลายฟังก์ชัน (Multifunction) ได้ดังนี้

ขาพอร์ต	การใช้งานตามฟังก์ชัน
*P1.0	T2 (Timer/Counter2 สัญญาณอินพุตจากภายนอก)
*P1.1	T2RST (Timer/Counter2 สัญญาณอินพุตการรีเซ็ตภายนอก)
P3.0	RxD (พอร์ตรับข้อมูลอนุกรม)
P3.1	TxD (พอร์ตส่งข้อมูลอนุกรม)
P3.2	INT0 (การใช้อินเทอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 1)
P3.3	INT1 (การใช้อินเทอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 2)
P3.4	T0 (Timer/Counter 0 สัญญาณอินพุตภายนอก)
P3.5	T1 (Timer/Counter 1 สัญญาณอินพุตภายนอก)
P3.6	WR (สไตรบการเขียนหน่วยความจำภายนอก)
P3.7	RD (สไตรบการอ่านหน่วยความจำภายนอก)

ตัวขับเคลื่อนพัลส์ในกรณีที่การทำงานจะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการเซตค่า “1” เก็บในแลตช์ก่อนเครื่องหมาย * แสดงถึงการใช้ตัว Timer/Counter 2 ซึ่งมีเฉพาะในเบอร์ 8032/8052 เท่านั้น ทั้งโหมดตัวจับเวลาหรือตัวนับ การโหลดใหม่แบบอัตโนมัติของ Timer/Counter 2 ที่รีจิสเตอร์ RLDH และ RLDL จะเกิดขึ้นถ้าการโหลดใหม่แบบอัตโนมัติถูกเลือกใช้งานด้วยการกำหนดในบิต CP/RL2 = 0

การเข้าถึงของหน่วยความจำภายนอก

ลักษณะการเข้าถึงของหน่วยความจำภายนอกมี 2 แบบ คือ การเข้าถึงของหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก กับ ของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก การเข้าถึงของหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะใช้สัญญาณ PSEN (Program Store Enable) แยกที่พินเป็นสไตรบควบคุมการอ่านและการเข้าถึงของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก จะใช้ขา RD หรือ WR แยกที่พินเป็นสัญญาณสไตรบควบคุมหน่วยความจำ

การแฟลชโปรแกรมภายนอกจะใช้ขาแอดเดรส 16 บิตเสมอ ส่วนการเข้าถึงของหน่วยความจำข้อมูลสามารถที่จะใช้กำหนดเลขที่อยู่ได้ทั้ง 16 บิตแอดเดรส เช่น MOVX @DPTR หรือ 8 บิตแอดเดรส เช่น MOVX @Ri

เมื่อไรที่ใช้ 16 บิตแอดเดรส ไบต์สูงของค่าแอดเดรสจะส่งออกที่พอร์ต 2 และจะคงสถานะค่านั้นตลอดในช่วงวัฏจักรการอ่านและเขียน ระหว่างช่วงเวลานี้ ตัวแลตช์ของพอร์ต 2 ใน SFR จะไม่จำเป็นต้องประกอบด้วยค่า “1” และค่าข้อมูลใน SFR จะไม่มีการเซตค่าช่วงวัฏจักรการใช้หน่วยความจำภายนอกไม่มีการเข้าถึงข้อมูลในวัฏจักรต่อมา ค่าใน SFR ของพอร์ต 2 จะปรากฏค่าเดิมกลับมาใหม่ในวัฏจักรตัวต่อมาถ้าใช้เป็น 8 บิตแอดเดรส ค่าใน SFR ของพอร์ตจะยังคงค่าเดิมที่ขาพอร์ต 2 ตลอดช่วงวัฏจักรการใช้ความจำภายนอก ในกรณีใช้แอดเดรสไบต์ต่ำเป็นช่วงเวลามัลติเพล็กซ์กับข้อมูลของพอร์ต 0 ขาสัญญาณแอดเดรส/ข้อมูล จะขับ FET ทั้ง 2 ตัวในพอร์ต 0 เป็นบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลออก ดังนั้นในการใช้งานพอร์ต 0 จะไม่มีการรับกระแสเข้า จึงไม่จำเป็นต้องพูลออฟจากภายนอก

2.8 ส่วนแสดงผล

วิชวลเบสิก (Visual BASIC)

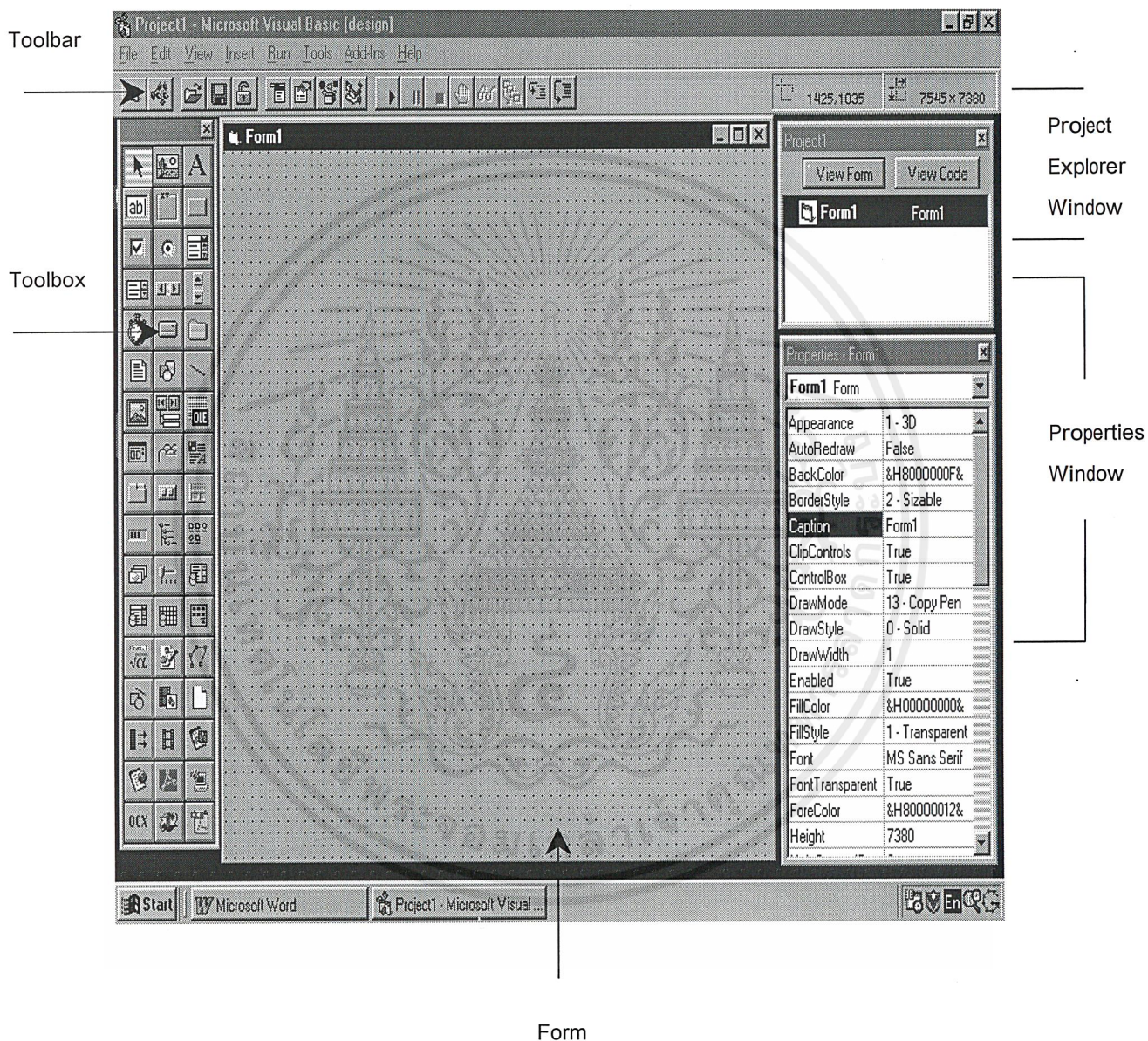
วิชวลเบสิก สามารถสร้างโปรแกรมบนวินโดวส์ (Windows) โดยอาศัยการออกแบบโปรแกรมในลักษณะ วิชวลไลซ์ (Visualize) ซึ่งใช้การกำหนดตำแหน่งของออปเจกต์ (Object) ลงบนจอภาพเพื่อติดต่อกับผู้ใช้โดยตรง ออปเจกต์เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเหตุการณ์ (Event) ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น การเลื่อนเมาส์หรือการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ในการกำหนดขั้นตอนการทำงานให้กับออปเจกต์ภายใต้เหตุการณ์ใดๆ จะใช้ภาษาเบสิก (BASIC) เข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรม การพัฒนาโปรแกรมบนวินโดวส์โดยใช้วิชวลเบสิกมีความง่ายและสะดวกในการใช้งานรวมทั้งมีขั้นตอนน้อยเพียงแค่เลือกฟอร์ม (Form) และ คอนโทรล (Control) ที่เหมาะสมแล้ววางลงบนจอภาพเพื่อใช้ติดต่อกับผู้ใช้ จากนั้นจึงทำการเขียนภาษาเบสิกเพื่อสร้างโปรแกรม

ส่วนต่าง ๆ ของวิชวลเบสิก

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมวิชวลเบสิกจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
Form	เป็นจอภาพสำหรับพัฒนาโปรแกรม
Toolbox	ประกอบด้วย Icon ต่าง ๆ เรียกว่า คอนโทรล
Toolbar	ประกอบด้วย Icon ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมในการพัฒนาโปรแกรม
Project Explorer Windows	ใช้เรียกฟอร์มต่าง ๆ ขึ้นมาแก้ไข
Properties Windows	ใช้กำหนดคุณสมบัติให้กับฟอร์มและออปเจกต์ต่าง ๆ ที่อยู่บนฟอร์ม
Form Layout Windows	ใช้บอกตำแหน่งของฟอร์มบนจอ

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของวิชวลเบสิก



รูปที่ 2.19 แสดงส่วนต่างๆ ของวิซวลเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรม ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 สร้างจอภาพของโปรแกรม

ขั้นตอนนี้จะทำการออกแบบฟอร์มเพื่อใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ หรือเรียกว่าการออกแบบยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ (User Interface) โดยการนำเอาคอนโทรลต่าง ๆ ในทูลบ็อกซ์ (Toolbox) มาวางไว้บนฟอร์ม

ขั้นตอนที่ 2 การเขียนโปรแกรม

เมื่อทำการวางคอนโทรลต่าง ๆ ลงบนฟอร์มเรียบร้อยแล้ว (คอนโทรลต่าง ๆ เมื่อวางไว้บนฟอร์มแล้วเรียกว่า ออฟเจค) ขั้นตอนนี้คือ การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานให้กับแต่ละออฟเจคภายใต้เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นกับจอภาพนั้น ๆ

คอนโทรล ของวิซวลเบสิก

คอนโทรลต่าง ๆ ในทูลบ็อกซ์ ใช้ในการวาดจอภาพซึ่งแต่ละคอนโทรลจะมีชื่อเรียกและการทำงานที่แตกต่างกันออกไป การเลือกคอนโทรลใดมาทำงานนั้นขึ้นอยู่กับจอภาพและต้องมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น Label ใช้สำหรับการเขียนข้อความ, TextBox ใช้สำหรับการกำหนดพื้นที่เพื่อป้อนข้อมูล เป็นต้น

การกำหนดคุณสมบัติ (Property) ให้กับออฟเจค

การกำหนดคุณสมบัติให้กับแต่ละออฟเจคที่อยู่บนฟอร์มโดยออฟเจคหนึ่ง ๆ จะมีคุณสมบัติบางอย่างที่เป็นส่วนตัวไม่ซ้ำกับออฟเจคอื่น แต่ก็ยังมีบางคุณสมบัติที่เหมือนกับออฟเจคอื่น เช่น คุณสมบัติที่เกี่ยวกับ ความยาว ความสูง ชื่อ เป็นต้น การกำหนดคุณสมบัติ ให้กับออฟเจคสามารถทำได้ตั้งแต่เริ่มต้นวาดออฟเจคลงบนฟอร์มหรือสามารถเปลี่ยนแปลงโดยการเขียนโปรแกรม

หน้าที่ของแต่ละคอนโทรลและคุณสมบัติ ที่เกี่ยวข้อง

Label

เป็นคอนโทรลที่ใช้สำหรับเขียนข้อความบนจอภาพ มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- | | |
|-------------|--|
| - Caption | ใช้สำหรับกำหนดข้อความบนจอภาพ |
| - Font | ใช้สำหรับกำหนดรูปแบบตัวอักษร |
| - ForeColor | ใช้สำหรับกำหนดสีของตัวอักษร |
| - Alignment | ใช้สำหรับกำหนดรูปแบบการแสดงผลของข้อความที่กำหนดใน Property Caption |
| - BackColor | ใช้สำหรับกำหนดสีฉากหลังของออฟเจค |

TextBox

เป็นคอนโทรลที่ใช้สำหรับรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- Text ใช้สำหรับรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดและแสดงผล
- Width ใช้สำหรับกำหนดความยาวของออฟเจก
- Height ใช้สำหรับกำหนดความสูงของออฟเจก
- Left ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของออฟเจก
ในแนวแกน X
- Top ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของออฟเจก
ในแนวแกน Y
- MaxLength ใช้สำหรับกำหนดจำนวนตัวอักษรสูงสุดที่จะ
รับได้

Commandbutton

ใช้เป็นปุ่มต่าง ๆ บนฟอร์มมี Property ต่าง ๆ ดังนี้

- Enable ถ้ามีค่าเป็น True จะทำให้ออฟเจกนั้นใช้งานได้
- Default ถ้ามีค่าเป็น True จะทำให้ปุ่มนั้นเป็นปุ่มที่ถูก
เลือก โดยจะปรากฏกรอบสี่เหลี่ยมรอบปุ่มนั้น
- ToolTipText ใช้แสดงข้อความอธิบายออฟเจกใด ๆ เมื่อนำ
เมาส์ไปชี้ยังออฟเจกนั้น
- Picture ใช้สำหรับแสดงรูปภาพบนปุ่ม
- Style ใช้สำหรับกำหนดรูปแบบของปุ่ม มี 2 แบบ คือ
0 – Standard เป็นปุ่มที่มีเฉพาะข้อความบนปุ่ม
เท่านั้น
1 – Graphical เป็นปุ่มที่มีภาพและข้อความบน
ปุ่ม
- TabIndex ใช้สำหรับกำหนดลำดับในการทำงานของ
ออฟเจกบนฟอร์ม

OptionButton

ใช้สำหรับกำหนดข้อความที่เป็นทางเลือก โดยบังคับให้เลือกตัวเลือกใดตัวเลือกหนึ่ง

Frame

ใช้สำหรับวาดกรอบบนฟอร์ม ใช้เพื่อแบ่งกลุ่มของ OptionButton ที่ต่างกันออกจากกัน

PictureBox

เป็นคอนโทรลที่ใช้อ่านไฟล์รูปภาพมาแสดงบนฟอร์ม

Line

เป็นคอนโทรลที่ใช้วาดเส้น โดยกำหนดรูปแบบของเส้นผ่านทางกรกำหนดคุณสมบัติ

ประเภทของข้อมูล (Data Type)

ในวิชวลเบสิก จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 7 ประเภท ดังตารางที่ 2.4

ประเภทตัวแปร	สัญลักษณ์	เนื้อที่ที่ใช้	ขอบเขตของค่าที่รับได้
String	\$	ความยาวของ String + 4	ใช้ได้ถึง 65,535 ตัวอักษร
Integer	%	2 Bytes	-32,768 ถึง + 32,767
Long	&	4 Bytes	-2,147,483,648 ถึง + 2,147,483,647
Single	!	4 Bytes	-3.402823E+38 ถึง -1.401298E + 45 และ + 1.401298E - 45 ถึง 3.402823E+38
Double	#	8 Bytes	1.797693134862315D+308 ถึง -4.94066D-324 และ+4.94066D-324 ถึง +1.797693134862315D+308
Currency	@	8 Bytes	-922337203685477.5808 ถึง +922337203685477.5807
Variant	(None)	Varies	Any of the other data types

ตารางที่ 2.4 แสดงประเภทข้อมูลของวิชวลเบสิก

String	ใช้เก็บข้อความต่าง ๆ
Integer และ Long	ใช้เก็บค่าของเลขจำนวนเต็ม ซึ่ง Long จะใช้กับเลขจำนวนที่มีขนาดใหญ่
Single และ Double	ใช้เก็บค่าของเลขจำนวนจริง ซึ่ง Double จะใช้กับเลขจำนวนที่มีขนาดใหญ่
Currency	ใช้เก็บค่าที่เป็นจำนวนเงิน
Variant	ใช้เก็บค่าประเภทใดก็ได้ใน 6 ประเภทข้างต้น โดยจะแปรเปลี่ยนไปตามข้อมูลที่มันจัดเก็บ

ตัวแปรอีกประเภทหนึ่งต่างจากตัวแปรทั้ง 7 ประเภทข้างต้น ก็คือ ค่าคงที่ (Constant) ซึ่งใช้เก็บค่าใดค่าหนึ่งตลอดการใช้ใน โปรแกรม โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า

ตัวแปรประเภท String มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ String ในแบบที่ไม่จำกัดความยาว (Variable Length) และ แบบจำกัดความยาว (Fixed Length) ซึ่ง String แบบ Variable length นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงความยาว หรือจำนวนตัวอักษรได้ ขึ้นอยู่กับความยาวของข้อมูลที่มันเก็บอยู่ ส่วน String กับ Fixed Length จะตรงข้ามกับแบบแรกคือความยาวของ String จะมีค่าสูงสุดตามที่ได้กำหนดไว้ ถ้านำ String ชนิดนี้ไปเก็บข้อมูลที่มีความยาวเกินกว่าที่กำหนดไว้ตัวอักษรที่เกินจะถูกทำการตัดค่าทิ้งไป

กฎในการตั้งชื่อตัวแปร

- ชื่อของตัวแปรจะยาวได้ไม่เกิน 40 ตัวอักษร
- ตัวอักษรตัวแรกของชื่อจะต้องเป็นตัวอักษร A-Z
- ตัวอักษรตัวถัดไปจะเป็นตัวอักษร A-Z ตัวเลข 9-0 หรือ (-)
- ตัวอักษรตัวสุดท้ายอาจเป็นเครื่องหมายที่ใช้แสดงถึงประเภทของตัวแปร ได้แก่ %, &, \$, #, !, @ หรือ อาจไม่มีเครื่องหมายใด ๆ ก็ได้ ในกรณีทำการ Declare ตัวแปรด้วยคำสั่ง Dim
- ชื่อของตัวแปรจะต้องไม่ซ้ำกันกับคำเฉพาะ (Reserved Word)
- ตัวอักษรในชื่อสามารถเป็นได้ทั้งตัวอักษรตัวใหญ่และตัวเล็ก

การ Declare ค่าตัวแปร

การ Declare ค่าตัวแปรในวิชวลเบสิก

ทำได้ 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 Explicit Declaration การกำหนดประเภทของตัวแปรโดยคำสั่ง

Dim <ชื่อตัวแปร > As <ประเภทตัวแปร>

การกำหนดในลักษณะนี้จะกำหนดไว้ในส่วน General หรือกำหนดไว้ต้นโปรแกรมของแต่ละ Procedure ก็ได้ แต่ทั้ง 2 วิธี จะมีข้อแตกต่างกันคือตัวแปรที่ Declare ไว้ในส่วน General จะเป็นตัวแปรส่วนกลางที่ Procedure ต่าง ๆ ภายในฟอร์มเดียวกัน สามารถเรียกใช้งานได้ แต่ถ้าทำการ Declare ไว้ใน Procedure หนึ่งก็จะใช้ได้เพียงใน Procedure นั้นเท่านั้น จะไม่สามารถเรียกใช้งาน Procedure อื่นได้โดยจะถือว่าเป็นตัวแปรคนละตัวกัน ถึงแม้จะมีชื่อเดียวกันก็ตาม

วิธีที่ 2 Implicit Declaration : การกำหนดประเภทของตัวแปรจะทำอยู่ในรูป

ชื่อตัวแปร<Type Identifier>

การกำหนดประเภทตัวแปรลักษณะนี้ ตัวแปรนั้นจะต้องเขียนในลักษณะนี้ตลอดการใช้งานใน Procedure นั้น และจะถือว่าเป็นตัวแปร ที่ถูกกำหนดให้ใช้งานเฉพาะใน Procedure นั้นเท่านั้น สำหรับการกำหนดค่าตัวแปร Constant ให้ใช้ประโยคคำสั่ง

Const <ชื่อตัวแปร> = <ค่าของตัวแปร>

ส่วนควบคุมการทำงานและทิศทางของโปรแกรม (Process Control)

ส่วนที่ใช้ควบคุมลำดับการทำงานและทิศทางของ โปรแกรม ประกอบไปด้วยกลุ่มคำสั่ง 3 กลุ่มด้วยกันคือกลุ่มคำสั่ง Branching, Iteration และ Conditional

กลุ่มคำสั่ง Branching

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการกระโดดข้ามการทำงานจากคำสั่งหนึ่งไปอีกคำสั่งหนึ่ง แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มคำสั่งที่เมื่อกระโดดข้ามไปยังอีกคำสั่งหนึ่งแล้วจะไม่กลับมาทำงานยังคำสั่งที่อยู่ถัดจากคำสั่งที่กระโดดไป และกลุ่มที่สองเมื่อกระโดดไปทำงานยังคำสั่งอีกส่วนหนึ่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะกลับมาทำงานยังคำสั่ง จากคำสั่งที่กระโดดไปต่อไป

กลุ่มคำสั่ง Iteration

เป็นกลุ่มคำสั่งที่มีลักษณะการทำงานซ้ำ บ่อยครั้งที่ โปรแกรมจะมีลักษณะการทำงานที่ซ้ำคำสั่งเดิมเป็นจำนวนครั้งภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

กลุ่มคำสั่ง Conditional

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการตัดสินใจในการทำงานตามเงื่อนไขต่าง ๆ ภายในโปรแกรม
กลุ่มคำสั่งทั้ง 3 กลุ่ม จะประกอบไปด้วยคำสั่งต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.5

ชื่อ	ประเภท	ใช้สำหรับ
Do...Loop	คำสั่ง	ทำซ้ำคำสั่งจนกระทั่งเงื่อนไขเป็นเท็จ
Exit	คำสั่ง	เลิกการทำซ้ำ
For ... Next	คำสั่ง	ทำซ้ำตามจำนวนครั้งที่กำหนด
Gosub...Return	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยัง Subroutine แล้วกลับไปยังโปรแกรมที่ทำการ Call เมื่อทำเสร็จ
Goto	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยังบรรทัดใด ๆ ในโปรแกรม
If...Then..Else...	เงื่อนไข	กำหนดเงื่อนไขในการทำงานแบบทางเลือกเดียว
If...Then..Elseif...	เงื่อนไข	กำหนดเงื่อนไขในการทำงานแบบมีหลายทางเลือก
On ... Gosub	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยัง Subroutine ตามเงื่อนไข (เสร็จแล้วจะกลับมาที่เดิม)
On... Goto	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยังบรรทัดใด ๆ ตามเงื่อนไข (ไม่กลับมาที่เดิมอีก)
Select Case....	คำสั่ง	กำหนดเงื่อนไขในการทำงานโดยมีหลายทางเลือก
Stop	คำสั่ง	หยุดการทำงานในการทำ Debugging
While...Wend	คำสั่ง	ทำซ้ำการทำงานในขณะที่เงื่อนไขเป็นจริง

ตารางที่ 2.5 แสดงกลุ่มคำสั่ง Conditional

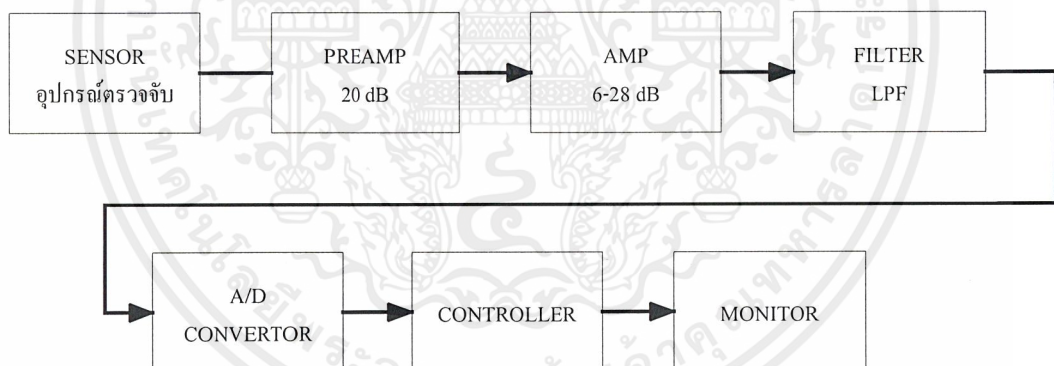
บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

หลักการการทำงานของเครื่องแสดงผลการสั่นสะเทือนแบ่งออกเป็น 7 ภาค ดังรูปบล็อกไดอะแกรม โดยที่ตัวตรวจจับการสั่นสะเทือนจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์หรือเครื่องจักรมาส่งต่อให้ภาคขยายผลต่างแรงดัน และส่งต่อมายังที่ภาคต่อมา สัญญาณที่ขยายแรงพอแล้วจะถูกส่งเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นจึงจะทำการแปลงสัญญาณอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่ A/D คอนเวอร์เตอร์ โดยมีส่วนของคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมในการส่งผ่านข้อมูล ไปให้คอมพิวเตอร์ แสดงผลออกมาที่หน้าจอ

ในภาคการศึกษาที่ 1 (Project 1) ได้ทำการสร้างในส่วนของ วงจรปรีแอมพลิฟายเออร์, วงจรแอมพลิฟายเออร์, วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจร A/D คอนเวอร์เตอร์

ในภาคการศึกษาที่ 2 (Project 2) ได้ทำการสร้างในส่วนของอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณการสั่นสะเทือน, วงจรควบคุม และ ส่วนแสดงผล



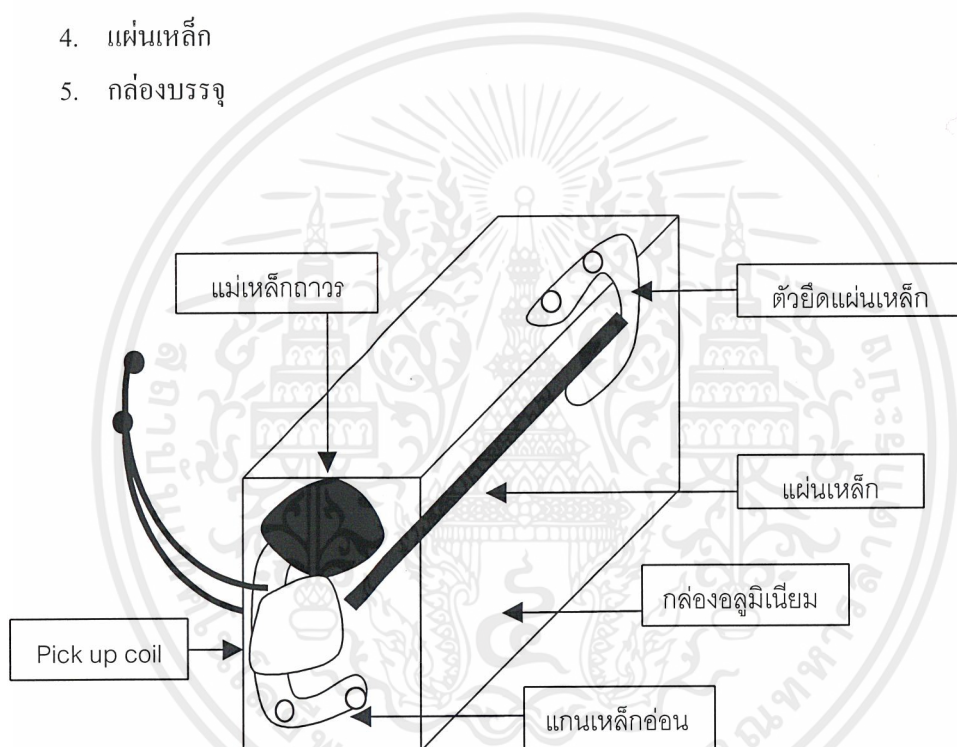
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ

3.1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั้นสะพาน

อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั้นสะพาน ใช้หลักการของตัวกำเนิดสัญญาณของวงจรจรระเบิดในรถยนต์ และนำชิ้นส่วนกำเนิดสัญญาณของวงจรนี้มาใช้ในการสร้างอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ ซึ่งสามารถออกแบบได้ดังรูปที่ 3.2

ส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ ประกอบด้วย

1. แม่เหล็กถาวร
2. แกนเหล็กอ่อน
3. ขดลวดกำเนิดสัญญาณ
4. แผ่นเหล็ก
5. ก่อ้งบรรจุ



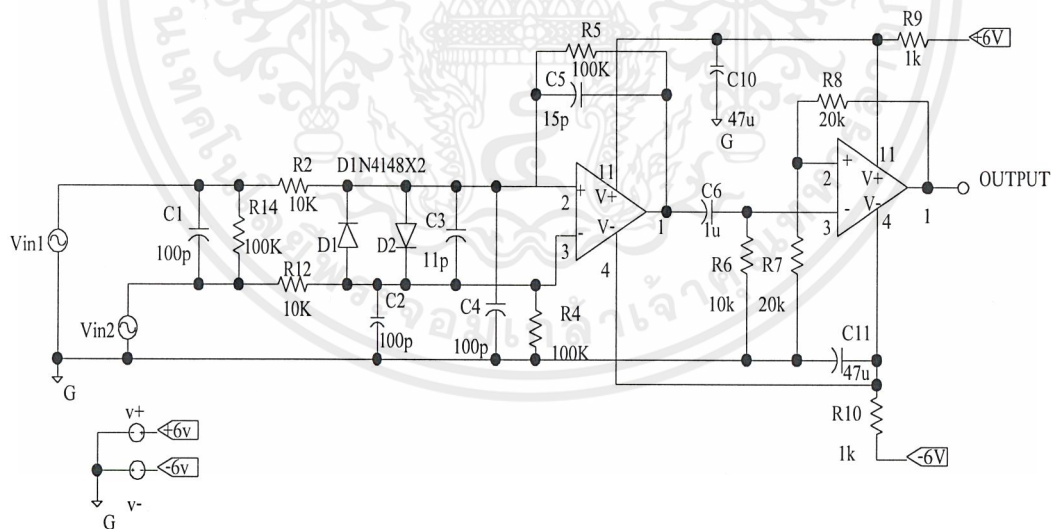
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั้นสะพาน

การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ อาศัยหลักการการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก โดยการนำแกนเหล็กอ่อนมาวางไว้ใกล้แม่เหล็กถาวร ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรจะทำให้แกนเหล็กอ่อนมีสภาพกลายเป็นแม่เหล็ก ที่แกนเหล็กอ่อนจะมีขดลวดกำเนิดสัญญาณพันอยู่ เมื่อมีแผ่นเหล็กมาทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่แกนเหล็กอ่อนเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วของขดลวดกำเนิดสัญญาณ

ในขณะที่แผ่นเหล็กยังไม่เคลื่อนที่จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง เป็นผลทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในขดลวดกำเนิดสัญญาณ เมื่อแผ่นเหล็กเคลื่อนที่เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลผ่านขดลวดและมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าผันแปรไปในลักษณะเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ปลายทั้งสองข้างของขดลวดกำเนิดสัญญาณ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงมากจะทำให้การผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้น

3.2 ภาคปริแอมพลิไฟเออร์

ภาคปริแอมพลิไฟเออร์ ใช้วงจรถ่ายผลต่างแรงดันโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LM4250 ทำการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรปริแอมพลิไฟเออร์ต่อกับวงจรแอมพลิไฟเออร์

การคำนวณ

ในรูปที่ 3.3 อัตราการขยายคิเฟอเรนเชียล (A) เป็นดังนี้

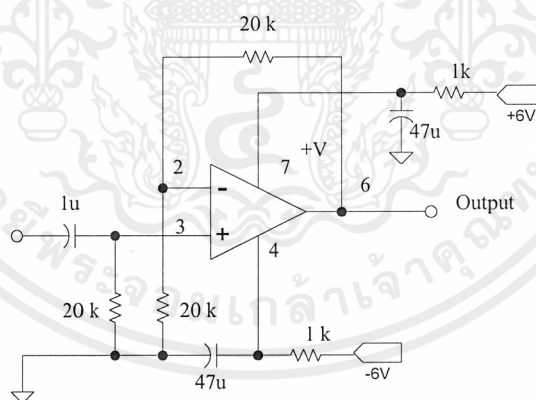
$$A = 100\text{K}/10\text{K} = 10$$

ดังนั้นอัตราการขยายของวงจรคิเฟอเรนเชียลเท่ากับ 10 เท่า

$$\begin{aligned}\text{อัตราการขยาย(dB)} &= 20 \log A \\ &= 20 \log 10 \\ &= 20 \text{ dB}\end{aligned}$$

3.3 ภาคแอมพลิไฟเออร์

ภาคแอมพลิไฟเออร์ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีความแรงเพิ่มขึ้น โดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LM4250 ต่อวงจรแบบนอนอินเวอร์ที่ต้ง แอมพลิไฟเออร์ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแสดงวงจรส่วนแอมพลิไฟเออร์

การคำนวณ

ในรูปที่ 3.4 อัตราการขยายวงจรแอมพลิไฟเออร์ เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}A &= 1+(R_f/R_i) \\ &= 1+(20\text{K}/20\text{K})\end{aligned}$$

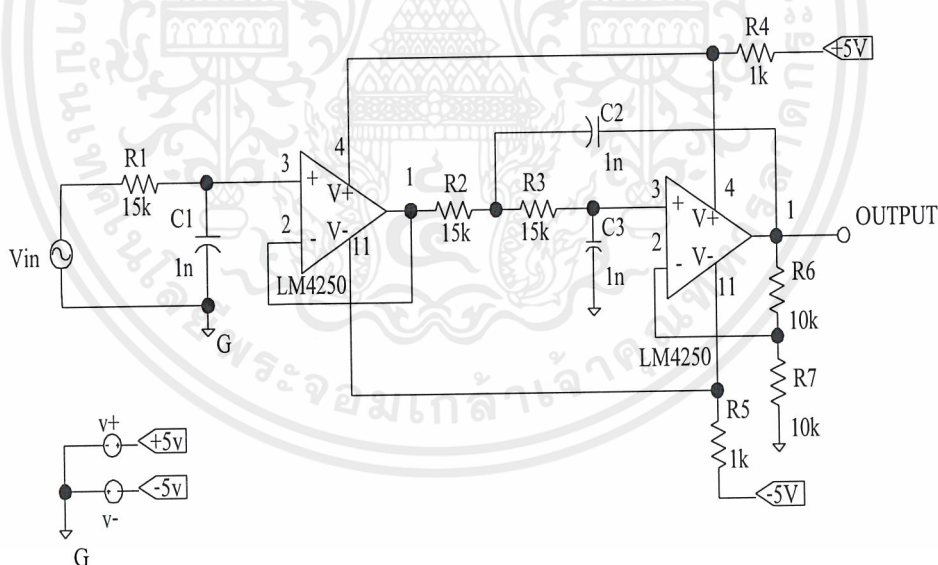
$$= 2$$

ดังนั้นอัตราขยายของวงจรแอมพลิไฟเออร์ เท่ากับ 2 เท่า

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยาย(dB)} &= 20 \log A \\ &= 20 \log 2 \\ &= 6 \text{ dB} \end{aligned}$$

3.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจรระดับสัญญาณ

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เป็นวงจรแบบแอกทิฟฟิลเตอร์ ใช้โอปแอมป์เบอร์ LM4250 ต่อวงจร โดยจัดให้มีความถี่คัตออฟสองค่าคือ 1 KHz และ 10 KHz ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เกณฑ์การขยาย 2 เท่า

การคำนวณหาค่า R และ C ในวงจร

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

ความถี่คัตออฟ 1 KHz

$$1 \text{ KHz} = \frac{1}{2\pi RC}$$

กำหนดค่า C = 15 nF

$$1 \times 10^3 = \frac{1}{2\pi R \times 15 \times 10^{-9}}$$

$$R = \frac{1}{2\pi \times 15 \times 10^{-6}}$$

$$= 10.6 \text{ K}\Omega$$

ความถี่คัตออฟ 10 KHz

$$10 \text{ kHz} = \frac{1}{2\pi RC}$$

กำหนดค่า C = 1 nF

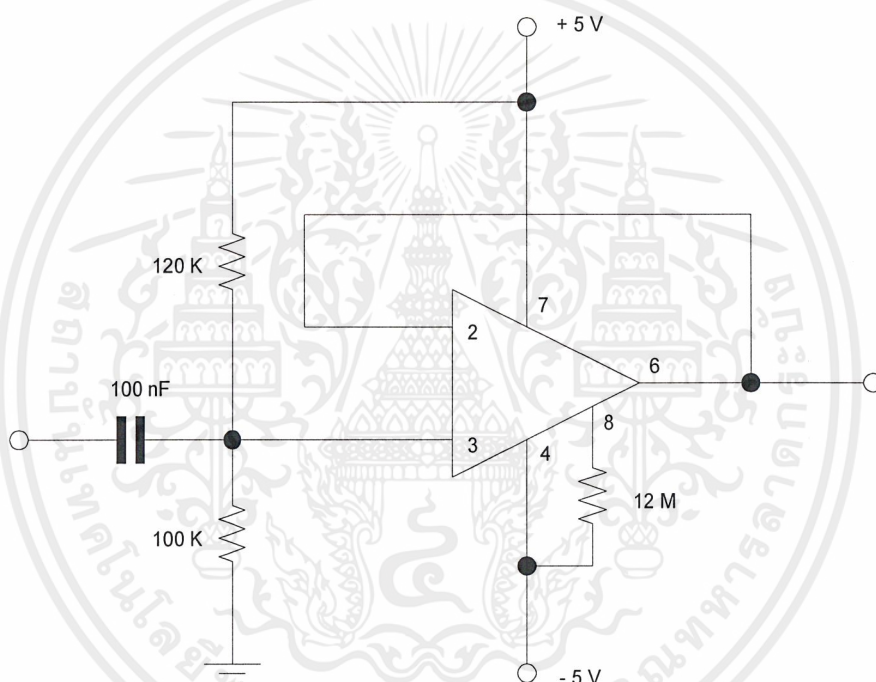
$$10 \times 10^3 = \frac{1}{2\pi R \times 1 \times 10^{-9}}$$

$$R = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^{-5}}$$

$$= 15.69 \text{ K}\Omega$$

วงจรรักษาระดับสัญญาณ

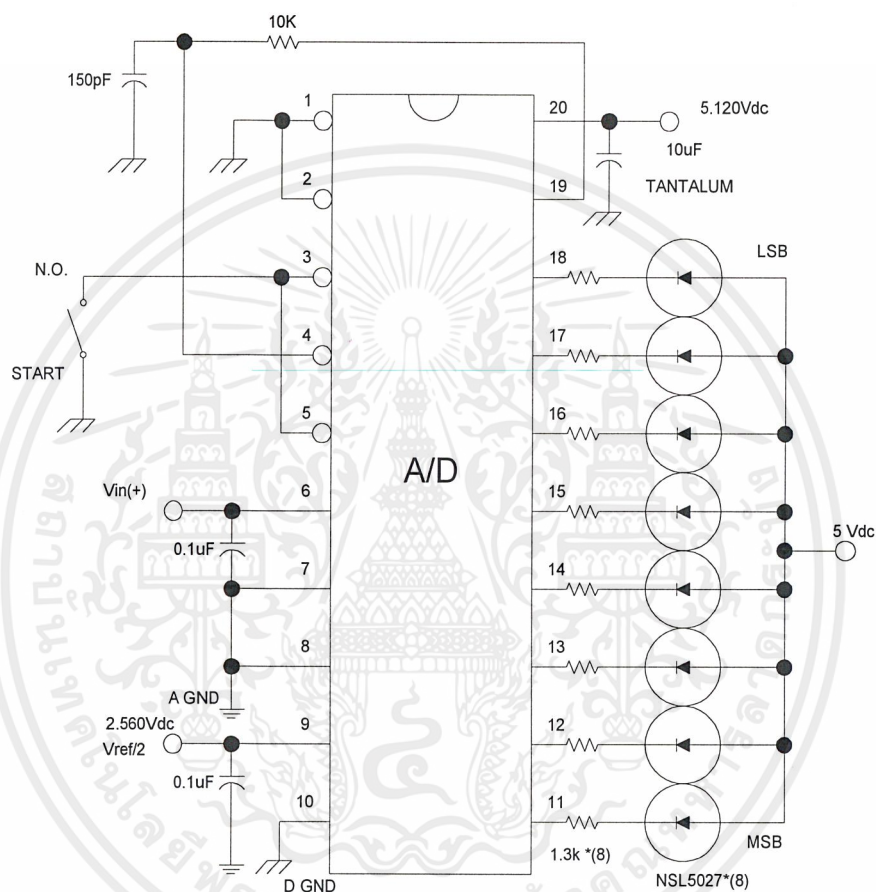
เนื่องจาก A/D คอนเวอร์เตอร์ ทำงานในช่วงบวกตั้งแต่ 0V – 5V แต่สัญญาณที่ได้จากภาคขยายมีทั้งด้านบวกและลบ จึงต้องใช้วงจรรักษาระดับสัญญาณให้อยู่ในช่วงบวกโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LM4250 เพื่อให้ A/D คอนเวอร์เตอร์ สามารถทำการแปลงสัญญาณได้เต็มรูปคลื่น



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรรักษาระดับสัญญาณ

3.5 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ IC เบอร์ ADC0804 เป็นขนาด 8 บิต ใช้เทคนิคแบบการประเมินค่าหลายๆ ครั้ง ต่อวงจรทดลอง ดังรูปที่ 3.7



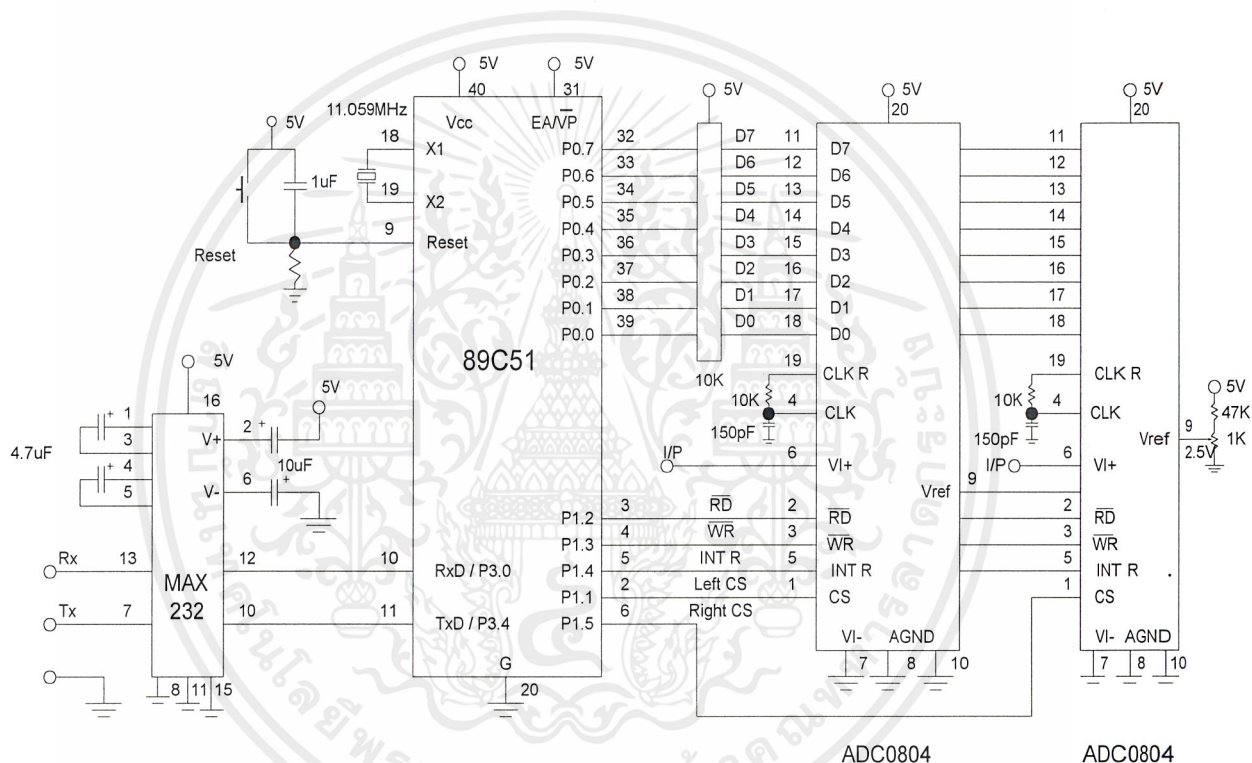
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการถอดรหัสจาก LED ของ ADC0804

HEX	BINARY	FRACTIONAL BINARY VALUE FOR		OUTPUT VOLTAGE CENTER VALUES WITH $V_{ref}/2 = 2.560V_{dc}$	
		MS GROUP	LS GROUP	VMS GROUP*	VLS GROUP*
F	1 1 1 1	15/16	15/256	4.800	0.300
E	1 1 1 0	7/8	7/128	4.480	0.280
D	1 1 0 1	13/16	13/256	4.160	0.260
C	1 1 0 0	3/4	3/64	3.840	0.240
B	1 0 1 1	11/16	11/256	3.520	0.220
A	1 0 1 0	5/8	5/128	3.200	0.200
9	1 0 0 1	9/16	9/256	2/880	0.180
8	1 0 0 0	1/2	1/32	2/560	0.160
7	0 1 1 1	7/16	7/256	2.240	0.140
6	0 1 1 0	3/8	3/128	1.920	0.120
5	0 1 0 1	5/16	2/256	1.600	0.100
4	0 1 0 0	1/4	1/64	1/280	0.080
3	0 0 1 1	3/16	3/256	0.960	0.060
2	0 0 1 0	1/8	1/128	0.640	0.040
1	0 0 0 1	1/16	1/256	0.320	0.020
0	0 0 0 0	0	0	0	0

3.6 วงจรควบคุม

วงจรควบคุม เป็นการออกแบบส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ กับวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่วนของการเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม ในการออกแบบวงจรเราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 มีการใช้คำสั่งที่เหมือนกันแต่ 89C51 สามารถโปรแกรมคำสั่งและลบคำสั่งได้ โดยที่เราใช้ 89C51 ในการดึงข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ที่ใช้ IC ADC0804 แล้วส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมี IC MAX232 เป็นตัวเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 3.8

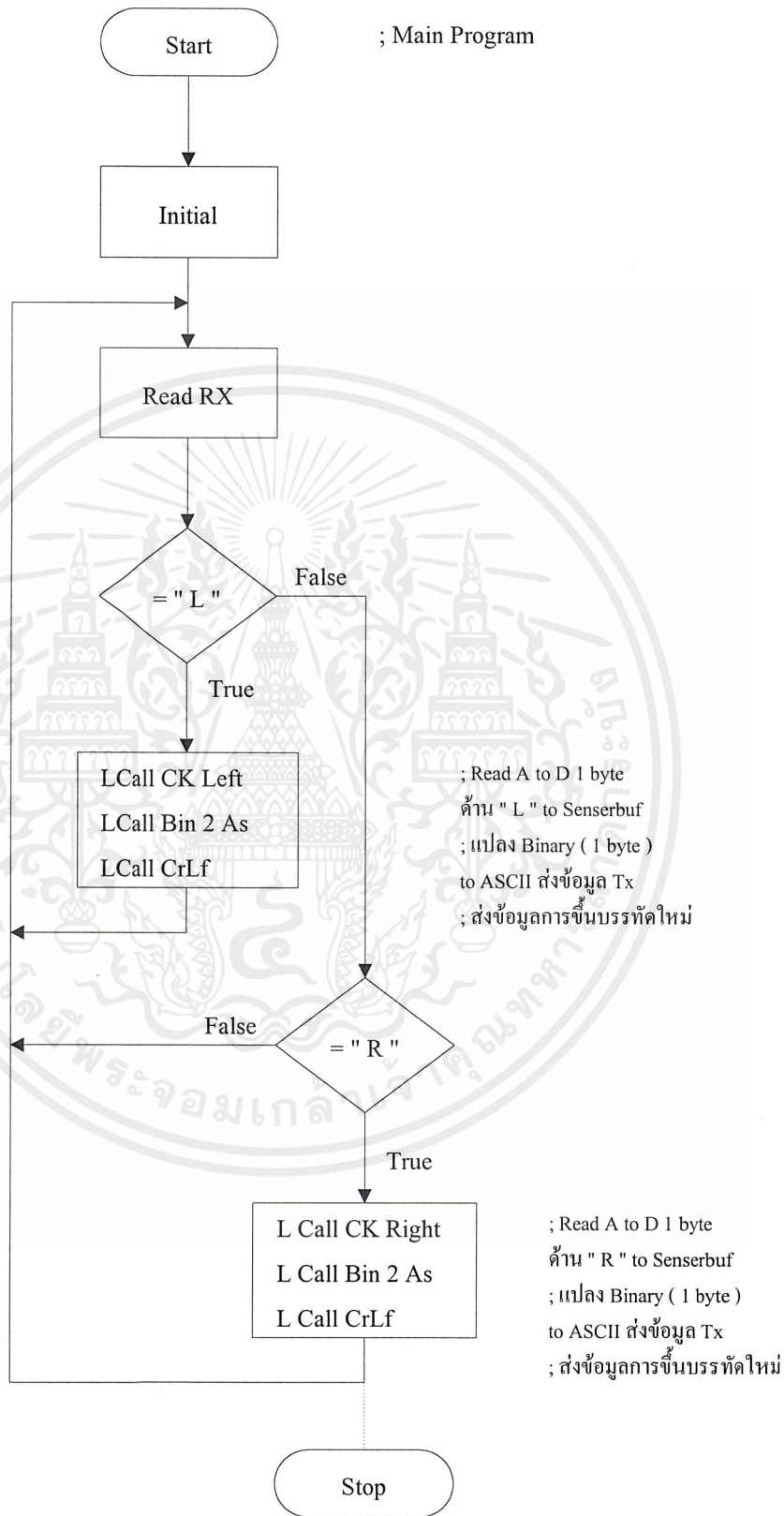


รูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ADC0804 และ MAX232

การเขียนโปรแกรมคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51

เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับสัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วส่งผ่านพอร์ตอนุกรม 232 เพื่อแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในการควบคุมและเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ลำดับขั้นตอนการทำงาน (Flow chart)

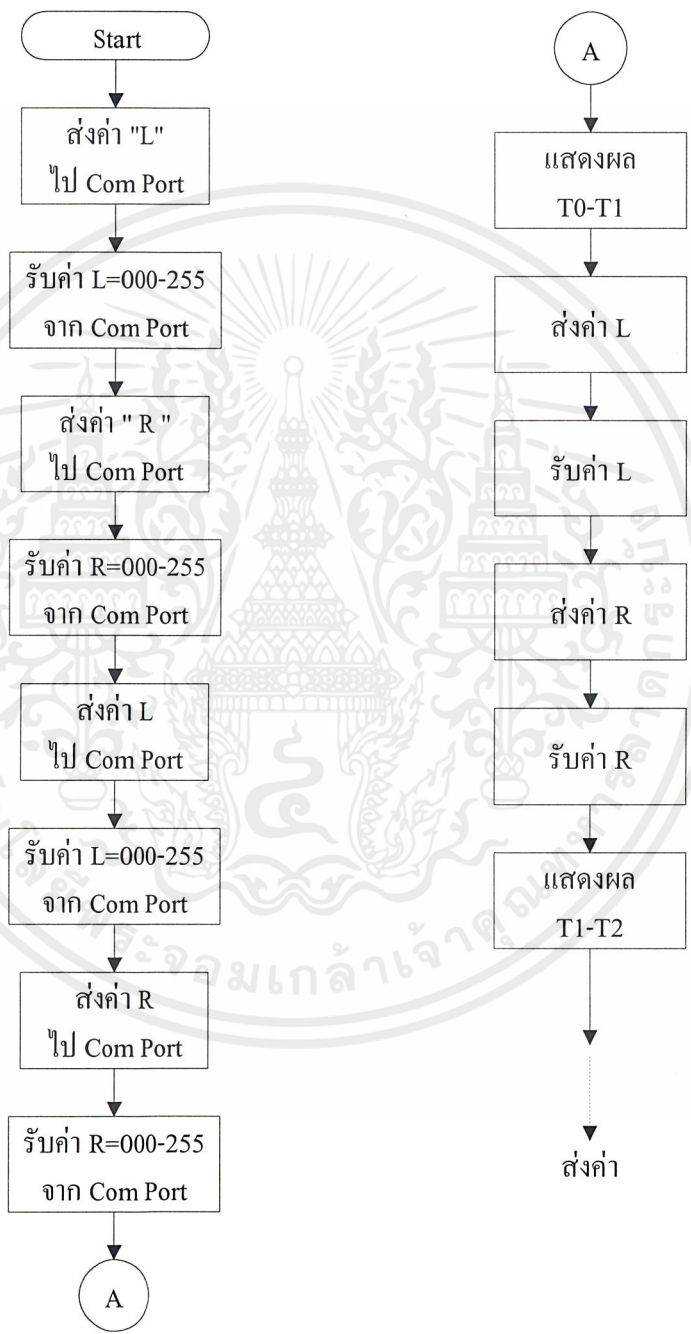


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.9 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ส่วนแสดงผล

ส่วนแสดงผล เป็นการนำข้อมูลจากภาควงจรควบคุมมาแสดงผล โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก เป็นตัวส่งสัญญาณร้องขอข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อได้ข้อมูลแล้วจะนำข้อมูลไปประมวลผล และแสดงระดับสัญญาณของข้อมูลในรูปของกราฟเส้น โดยโปรแกรมมีลำดับขั้นตอนการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 3.10 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวิซวลเบสิก

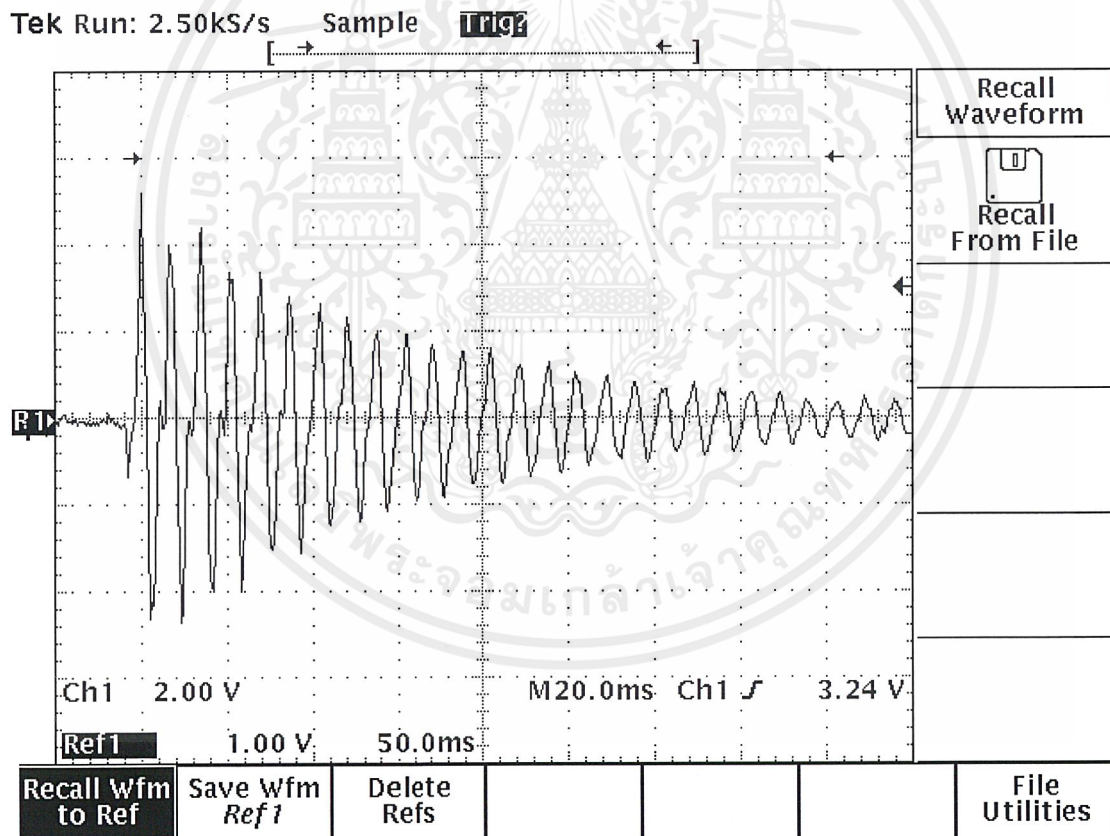
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

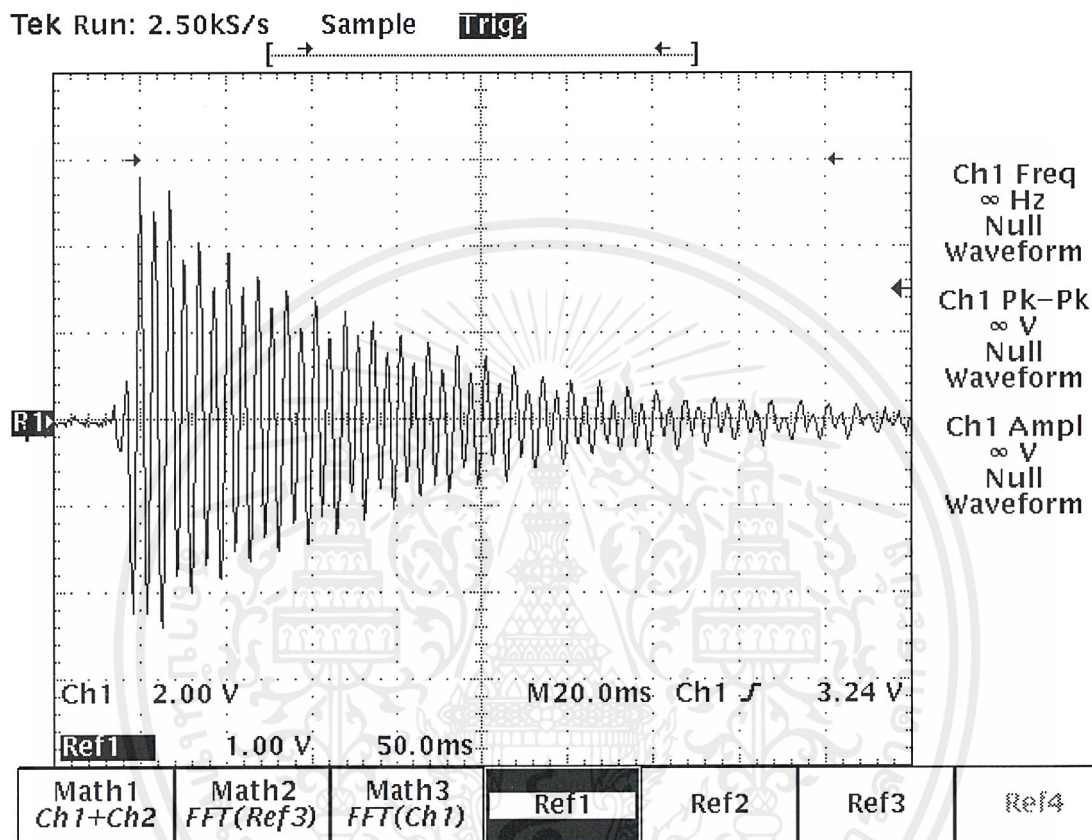
4.1 การทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือน

การทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือน ได้ทำการทดลองโดยการใช้แรงเข้าไปกระทำให้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือนเกิดความสั่นสะเทือน และวัดคลื่นสัญญาณโดยออสซิโลสโคป (Oscilloscope) ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองโดยใช้แรงเข้าไปกระทำ 1 ครั้ง จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

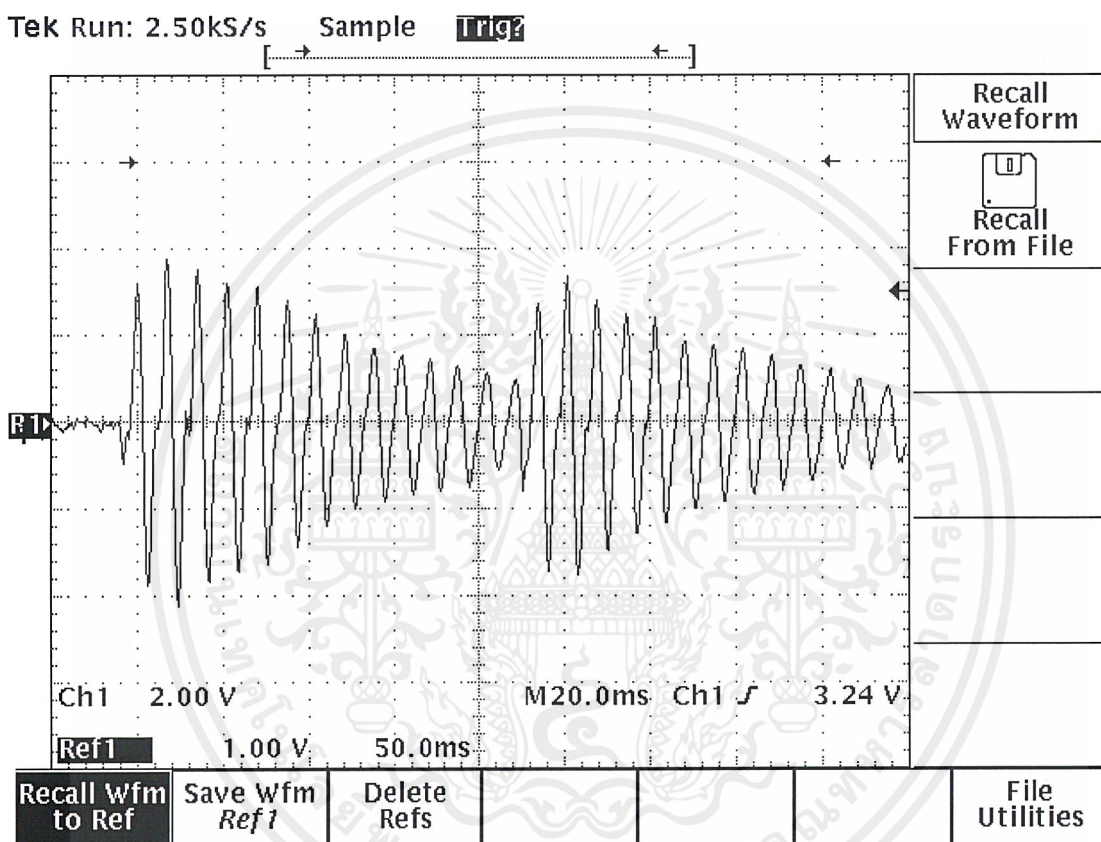


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อถูกแรงกระทำหนึ่งครั้ง

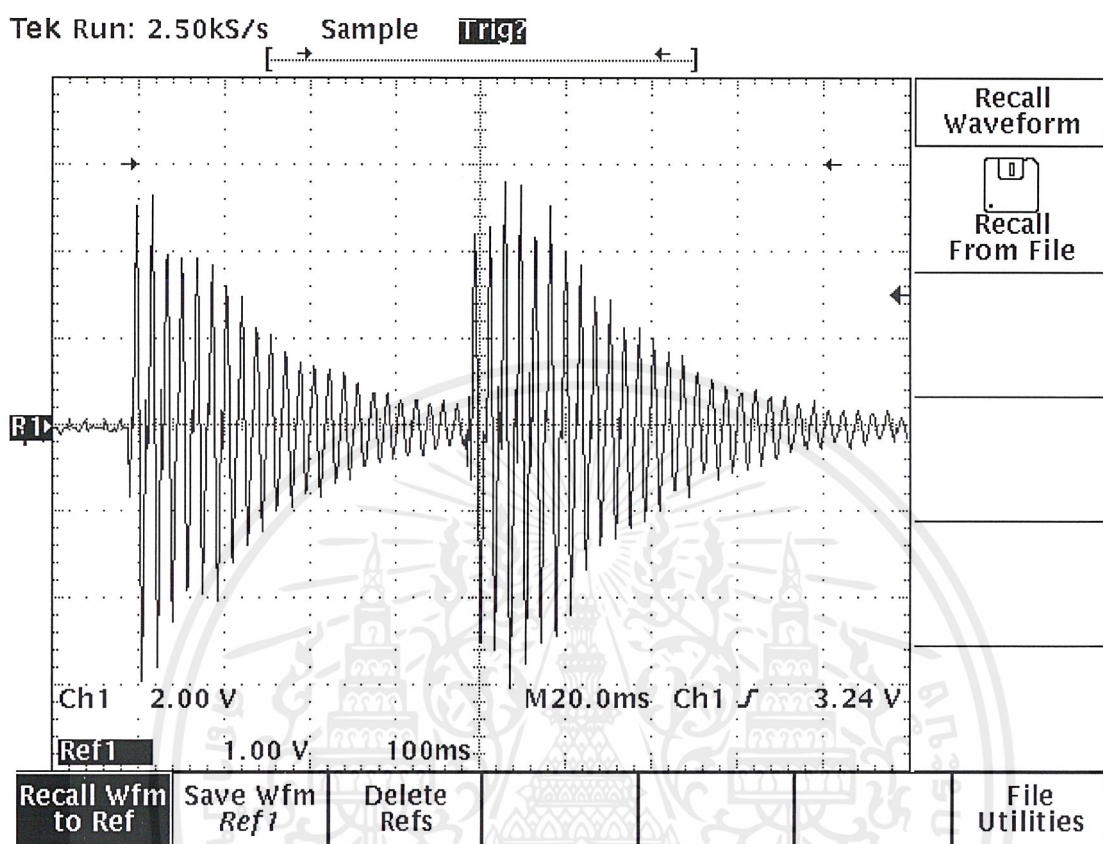


รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั้นสะท้อนเมื่อถูกแรงกระทำหนึ่งครั้ง

การทดลองโดยใช้แรงเข้าไปกระทำ 2 ครั้ง จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะท้อนเมื่อถูกแรงกระทำสองครั้ง



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อถูกแรงกระทำสองครั้ง

4.2 การทดลองภาคขยายส่วนปริมาตรไฟฟ้า

การทดลองภาคขยายส่วนปริมาตรไฟฟ้า โดยการป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดความถี่ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและความถี่ได้จากตารางผลการทดลอง โดยใช้ลักษณะการต่อวงจรแบบดิฟเฟอเรนเชียล จะได้ผลการทดลองตามตาราง โดยดูผลที่ V_{o1} และทำการทดลองภาคขยายแอมพลิไฟเออร์แบบวงจรขยายไม่กลับขั้ว โดยดูผลที่ V_{o2}

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อความถี่คงที่ แรงดันที่ป้อนเข้าเปลี่ยนแปลง

Frequency (Hz)	Vin (mV)	Vo1 (mV)	Vo2 (mV)
500	10	24.3	40
500	20	40.6	43.7
500	30	54.3	104.3
500	40	75	142
500	50	92.1	175
500	60	110.9	214
500	70	125.4	248
500	80	143	282
500	90	162.5	315
500	100	193.7	362
500	150	271.8	521.8
500	200	362	706
500	250	456.2	868.7
500	300	531.2	1.037
500	350	631.2	1.237
500	400	706.2	1.381
500	450	812.5	1.640
500	500	887.5	1.765
500	550	987.5	1.890
500	600	1.068	2.171
500	650	1.137	2.312
500	700	1.243	2.437
500	750	1.393	2.687

500	800	1.331	2.812
500	850	1.468	3.093
500	900	1.578	3.093
500	950	1.718	3.343
500	1	1.781	3.593
500	1.25	2.25	4.25
500	1.5	2.562	5.375
500	1.75	3.062	6.062
500	2	3.625	7
500	2.25	4	7.875
500	2.5	4.625	9.0
500	2.6	4.625	9.062
500	2.65	4.875	9.25
500	2.7	4.875	9.25
500	2.75	4.875	9.25
500	3	5.437	9.25
500	3.25	5.81	9.25
500	3.5	6.125	9.25
500	3.75	6.625	9.25
500	4	7.25	9.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อแรงดันคงที่ ความถี่ที่ป้อนเข้าเปลี่ยนแปลง

Vin (mV)	Frequency (Hz)	Vo1 (mV)	Vo2 (mV)
100	5	-	-
100	10	25.6	34.3
100	20	42.5	72.5
100	30	54.3	104.3
100	40	71.2	132.8
100	50	87.5	160.3
100	60	93.7	187.2
100	70	110	204.6
100	80	118.7	225
100	90	122	242
100	100	136	256
100	110	138	268
100	120	143	276
100	130	148	287
100	140	151	295
100	150	156	303
100	175	162	313
100	200	164	322
100	250	173	337
100	300	176	341
100	400	178	346
100	500	178	353
100	600	181	362
100	700	182	368
100	800	182	368
100	900	184	371
100	1000	185	375
100	2000	218	423

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

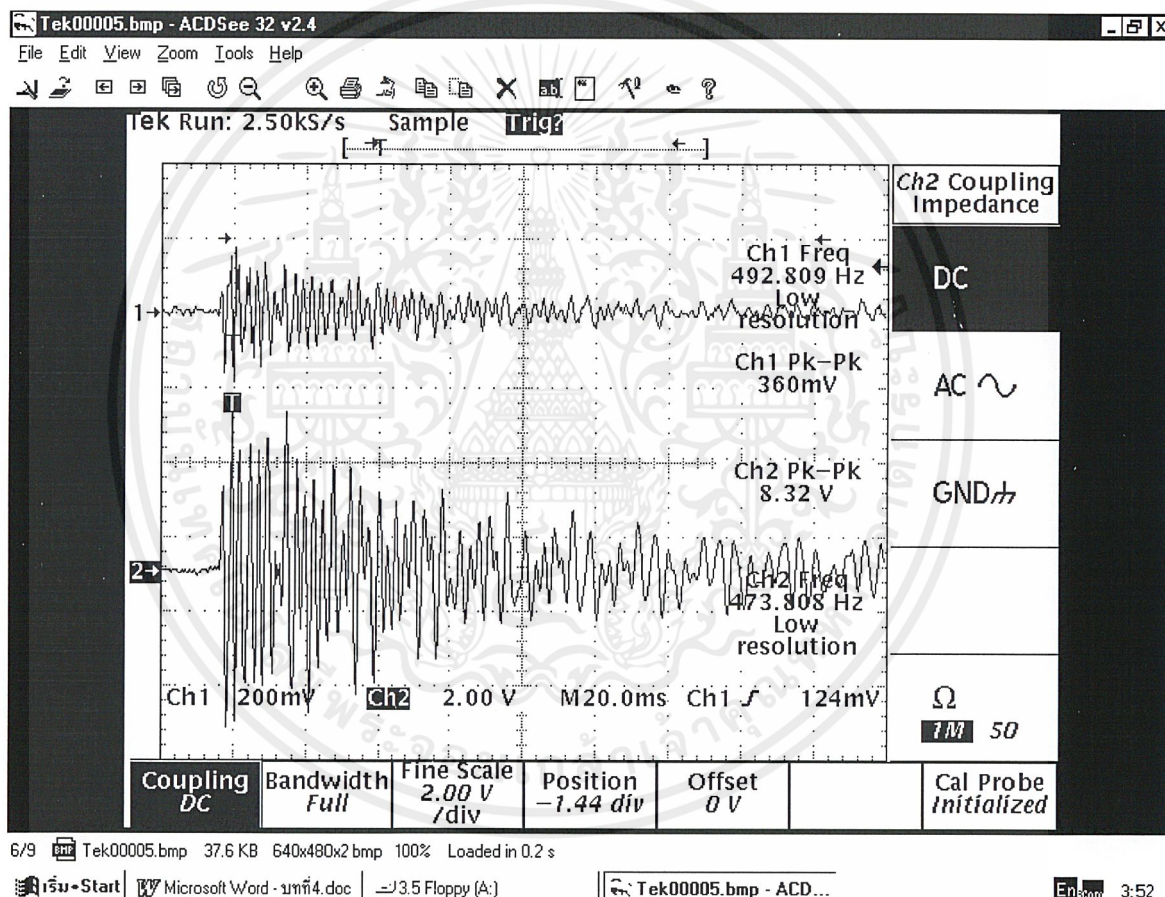
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100	3000	265	512
100	4000	337	662
100	5000	348	684
100	6000	107	193
100	7000	36	62
100	8000	54	102
100	9000	68	129
100	10000	83	144



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือนต่อทดลองร่วมกับภาคขยายจะได้ผลดังรูปที่ 4.5 โดยที่สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน (อินพุท) แสดงผลที่ Ch1 และ สัญญาณที่ออกจากภาคขยาย (เอาต์พุท) แสดงผลที่ Ch2



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณอินพุทที่ป้อนเข้าภาคปริแอมป์และสัญญาณเอาต์พุทที่ออกมาจากภาคแอมป์

4.3 การทดลองในส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

4.3.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านโดยมีความถี่คัตออฟ 1 KHz ทำการป้อนสัญญาณคลื่นรูปซายน์ ค่าตั้งแต่ 1 Hz ถึง 5 KHz โดยใช้แรงดัน 100 mV จะได้ค่าดังตาราง

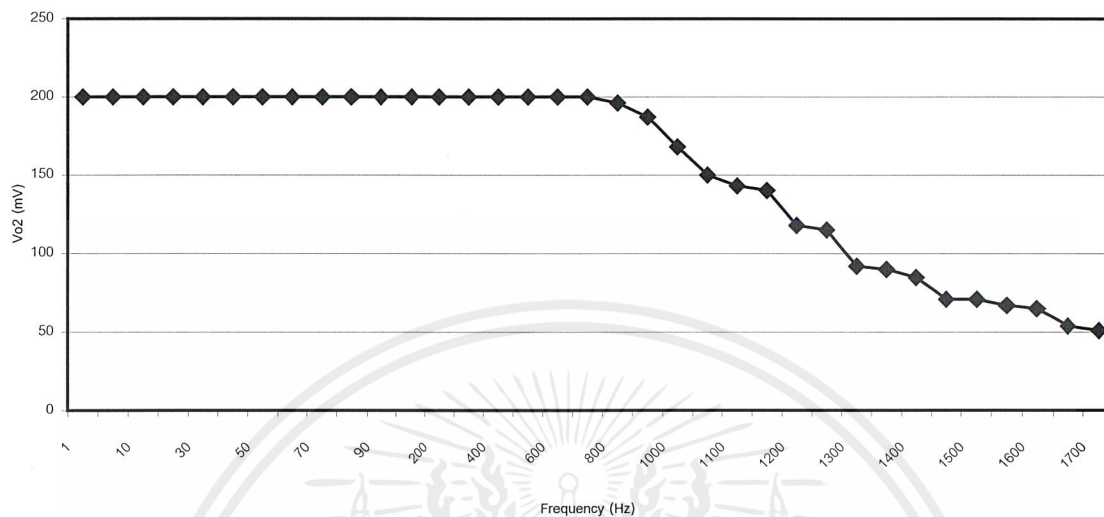
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อแรงดันคงที่ ความถี่เปลี่ยนแปลง

Frequency (Hz)	Vin (mV)	Vo1 (mV)	Vo2 (mV)
1	100	100	200
5	100	100	200
10	100	100	200
20	100	100	200
30	100	100	200
40	100	100	200
50	100	100	200
60	100	100	200
70	100	100	200
80	100	100	200
90	100	100	200
100	100	100	200
200	100	100	200
300	100	100	200
400	100	96	200
500	100	90	200
600	100	89	200
700	100	87	200
800	100	78	196
900	100	75	187
1 KHz	100	75	168
1.05 KHz	100	73	150
1.1 KHz	100	71	143
1.15 KHz	100	68	140

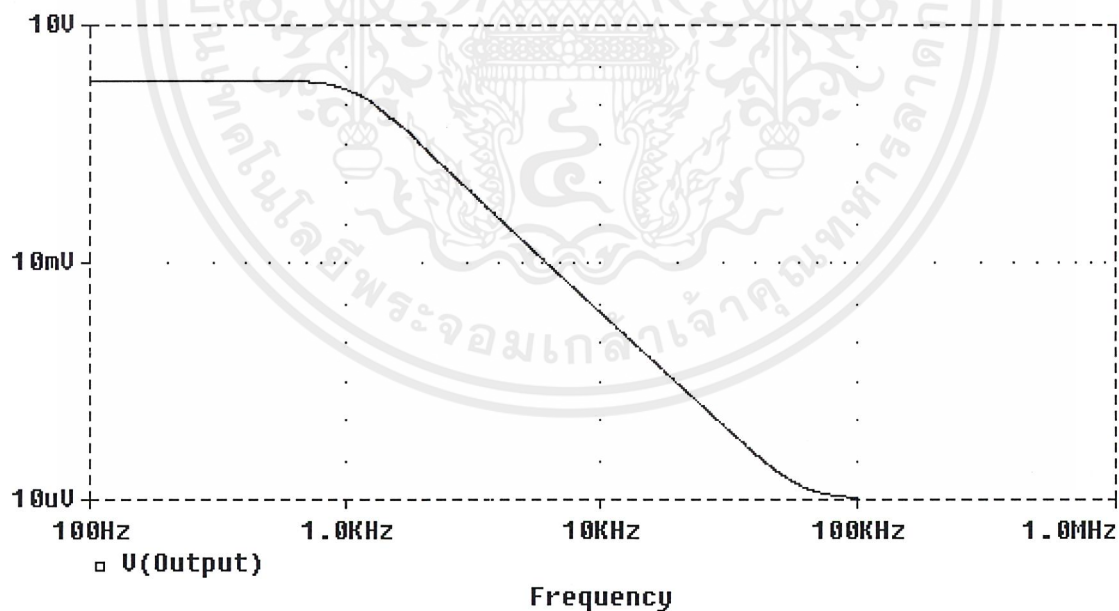
1.2 KHz	100	68	118
1.25 KHz	100	64	115
1.3 KHz	100	64	92
1.35 KHz	100	62	90
1.4 KHz	100	62	85
1.45 KHz	100	62	71
1.5 KHz	100	62	71
1.55 KHz	100	62	67
1.6 KHz	100	62	65
1.65 KHz	100	60	54
1.7 KHz	100	60	51
1.75 KHz	100	55	46
1.8 KHz	100	55	45
1.85 KHz	100	49	40
1.9 KHz	100	49	39
1.95 KHz	100	49	38
2 KHz	100	49	36
2.05 KHz	100	49	33
2.1 KHz	100	49	33
2.15 KHz	100	49	33
2.2 KHz	100	49	28
2.25 KHz	100	49	28
2.3 KHz	100	47	28
2.35 KHz	100	45	26
2.4 KHz	100	41	26
2.45 KHz	100	39	25
2.5 KHz	100	39	25
3 KHz	100	35	14
3.5 KHz	100	35	14
4 KHz	100	33	12
4.5 KHz	100	26	10
5 KHz	100	20	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงรูปกราฟจากตารางความถี่ที่ 1KHz ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.7 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ 1KHz ได้จากการซิมูเลท

4.3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านโดยมีความถี่คutoff 1 KHz ทำการป้อนสัญญาณคลื่นรูปซายน์ ค่าตั้งแต่ 1 Hz ถึง 10 KHz โดยใช้แรงดัน 1 V จะได้ค่าดังตาราง

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อแรงดันคงที่ ความถี่คutoff 1KHz

Frequency (Hz)	Vin (V)	Vo1 (mV)	Vo2 (V)
1	1	1000	2
5	1	987	1.953
10	1	987	1.953
20	1	987	1.953
30	1	987	1.953
40	1	987	1.953
50	1	987	1.953
60	1	987	1.953
70	1	987	1.953
80	1	987	1.953
90	1	987	1.953
100	1	987	1.953
200	1	981	1.953
300	1	937	1.953
400	1	937	1.953
500	1	887	1.953
600	1	862	1.953
700	1	831	1.953
800	1	787	1.890
900	1	762	1.734
1 KHz	1	731	1.59
1.05 KHz	1	718	1.453
1.1 KHz	1	681	1.390
1.15 KHz	1	681	1.250
1.2 KHz	1	650	1.140
1.25 KHz	1	650	1.010

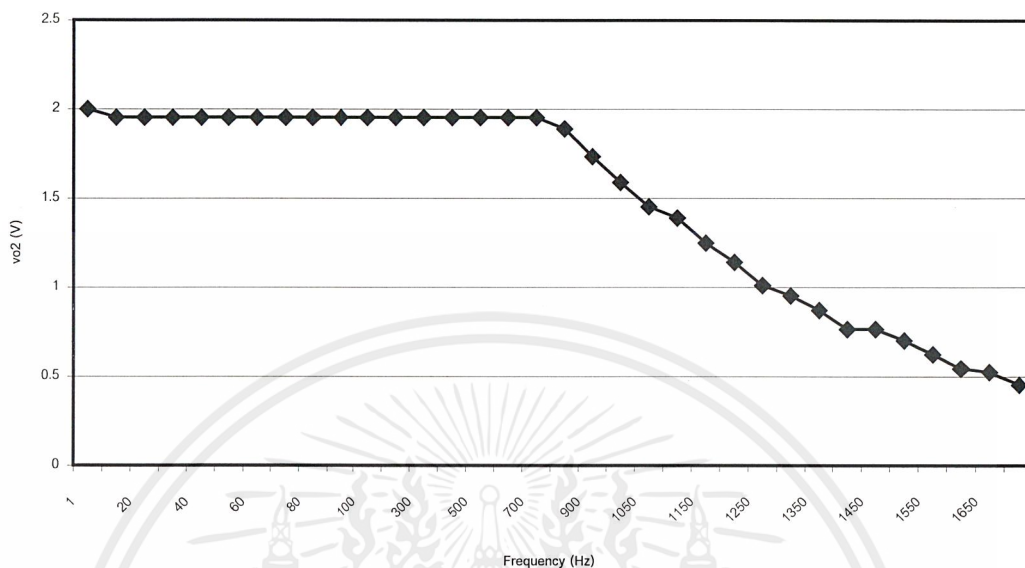
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรมการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

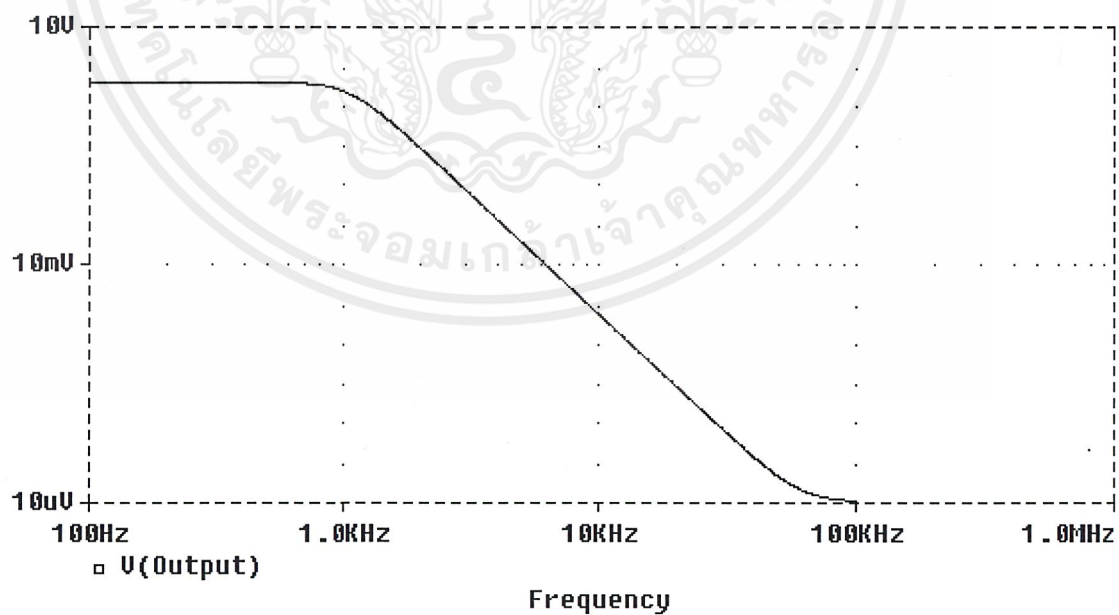
1.3 KHz	1	625	0.953
1.35 KHz	1	625	0.872
1.4 KHz	1	618	0.765
1.45 KHz	1	581	0.765
1.5 KHz	1	581	0.703
1.55 KHz	1	581	0.625
1.6 KHz	1	525	0.546
1.65 KHz	1	528	0.526
1.7 KHz	1	528	0.453
1.75 KHz	1	515	0.434
1.8 KHz	1	509	0.396
1.85 KHz	1	503	0.362
1.9 KHz	1	490	0.334
1.95 KHz	1	478	0.315
2 KHz	1	478	0.296
2.05 KHz	1	450	0.271
2.1 KHz	1	450	0.240
2.15 KHz	1	450	0.231
2.2 KHz	1	440	0.221
2.25 KHz	1	428	0.200
2.3 KHz	1	428	0.196
2.35 KHz	1	409	0.179
2.4 KHz	1	409	0.165
2.45 KHz	1	396	0.164
2.5 KHz	1	387	0.150
2.75 KHz	1	359	0.110
3 KHz	1	334	0.087
3.5 KHz	1	296	0.061
4 KHz	1	259	0.042
4.5 KHz	1	228	0.048
5 KHz	1	210	0.022
10 KHz	1	110	0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงรูปกราฟความถี่คัทออฟที่ 1KHz ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.9 แสดงรูปกราฟความถี่คัทออฟ 1KHz ที่ได้จากการซิมูเลต

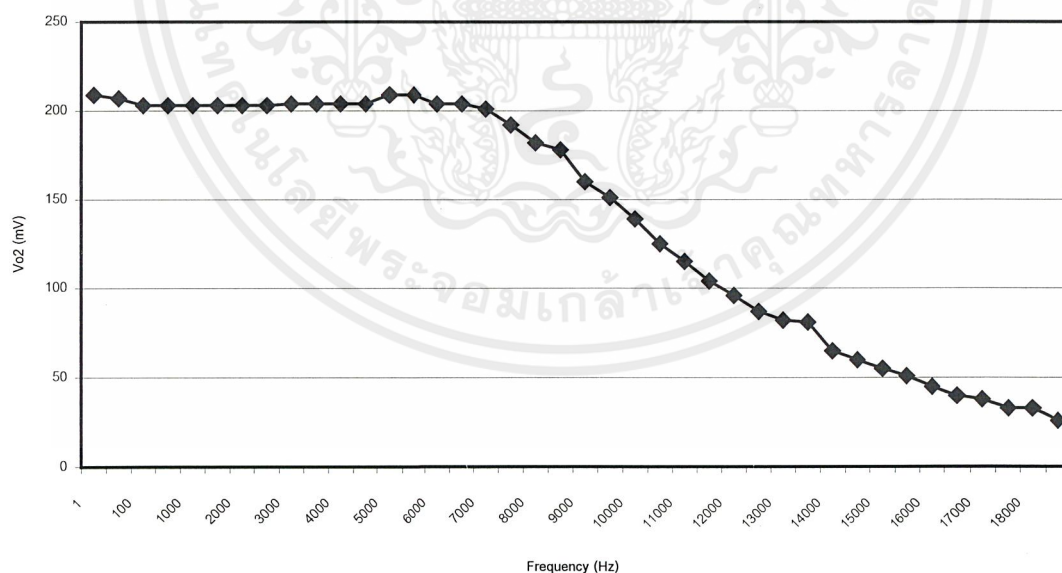
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านโดยมีความถี่คัตออฟ 10 KHz ทำการป้อนสัญญาณคลื่นรูปซายน์ ค่าตั้งแต่ 1 Hz ถึง 20 KHz ค่าแรงดัน 100 mV จะได้ค่าดังตาราง

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดลองเมื่อแรงดันคั้งที่ 100 mV ความถี่คัตออฟ 10 KHz

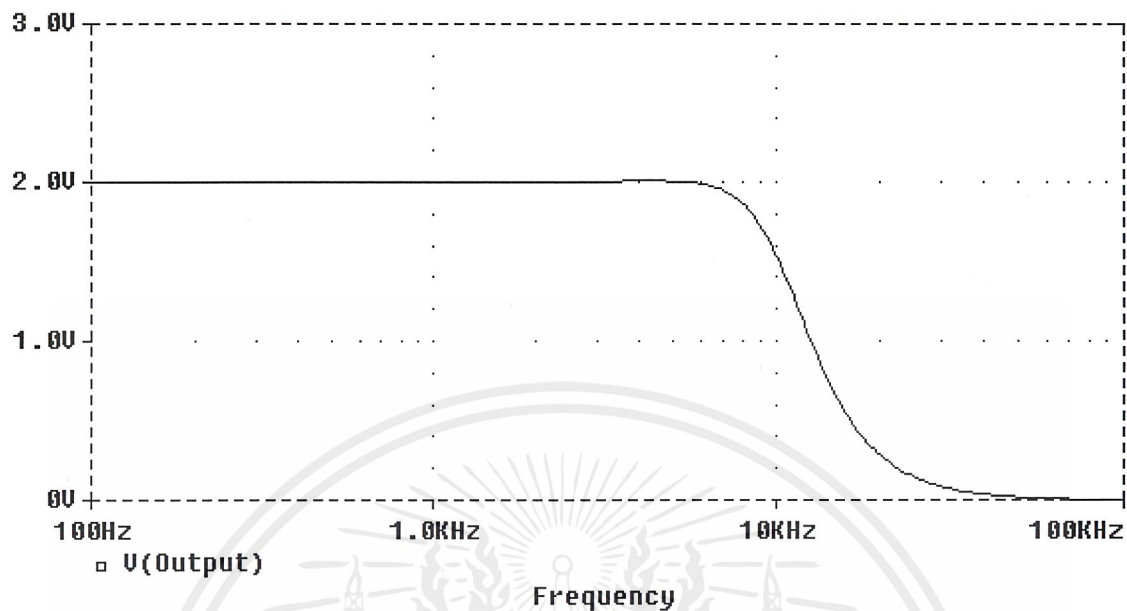
Frequency (Hz)	Vin (mV)	Vo1 (mV)	Vo2 (mV)
1	100	100	209
50	100	100	207
100	100	98	203
500	100	98	203
1	100	98	203
1.5	100	98	203
2	100	98	203
2.5	100	98	203
3	100	98	204
3.5	100	98	204
4	100	98	204
4.5	100	95	204
5	100	95	209
5.5	100	92	209
6	100	90	204
6.5	100	89	204
7	100	89	201
7.5	100	85	192
8	100	81	182
8.5	100	80	178
9	100	76	160
9.5	100	76	151
10	100	76	139
10.5	100	74	125
11	100	74	115
11.5	100	68	104

12	100	68	96
12.5	100	68	87
13	100	66	82
13.5	100	66	81
14 KHz	100	60	65
14.5 KHz	100	60	60
15 KHz	100	60	55
15.5 KHz	100	60	51
16 KHz	100	58	45
16.5 KHz	100	56	40
17 KHz	100	52	38
17.5 KHz	100	48	33
18 KHz	100	48	33
20 KHz	100	48	26



รูปที่ 4.10 แสดงรูปกราฟความถี่คัทออฟ 10KHz ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงรูปกราฟที่ได้จากการซิมมูลาท

4.3.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านโดยมีความถี่คัตออฟ 10 KHz ทำการป้อนสัญญาณคลื่นรูปซายน์ ค่าตั้งแต่ 1 Hz ถึง 50 KHz ค่าแรงดัน 1V จะได้ค่าดังตาราง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองแรงดันคงที่ 1V ความถี่คัตออฟ 10KHz

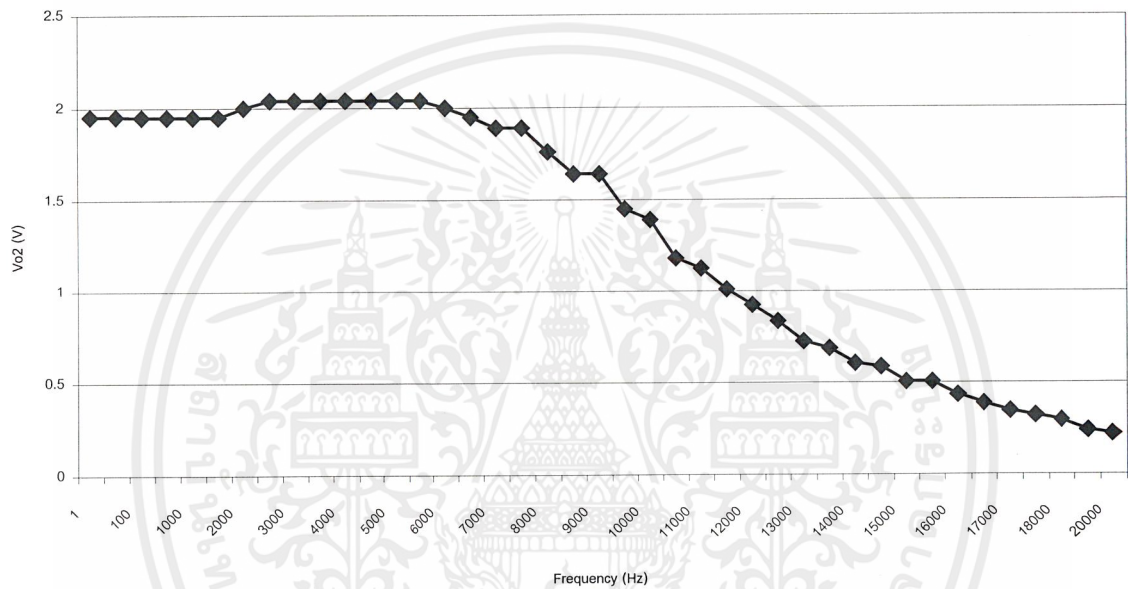
Frequency (Hz)	Vin (V)	Vo1 (V)	Vo2 (V)
1	1.00	1.00	1.953
50	1.00	1.00	1.953
100	1.00	1.00	1.95
1 KHz	1.00	1.00	1.95
1.5 KHz	1.00	1.00	1.95
2 KHz	1.00	1.00	2.00
2.5 KHz	1.00	1.00	2.04
3 KHz	1.00	1.00	2.04
3.5 KHz	1.00	1.00	2.04

4 KHz	1.00	1.00	2.04
4.5 KHz	1.00	1.00	2.04
5 KHz	1.00	0.984	2.04
5.5 KHz	1.00	0.890	2.04
6 KHz	1.00	0.890	2.04
6.5 KHz	1.00	0.890	2.00
7 KHz	1.00	0.890	1.95
7.5 KHz	1.00	0.837	1.89
8 KHz	1.00	0.818	1.89
8.5 KHz	1.00	0.787	1.76
9 KHz	1.00	0.756	1.64
9.5 KHz	1.00	0.725	1.64
10 KHz	1.00	0.725	1.45
10.5 KHz	1.00	0.700	1.39
11 KHz	1.00	0.687	1.18
11.5 KHz	1.00	0.687	1.125
12 KHz	1.00	0.625	1.01
12.5 KHz	1.00	0.625	0.925
13 KHz	1.00	0.625	0.837
13.5 KHz	1.00	0.625	0.725
14 KHz	1.00	0.600	0.687
14.5 KHz	1.00	0.600	0.606
15 KHz	1.00	0.581	0.587
15.5 KHz	1.00	0.565	0.506
16 KHz	1.00	0.565	0.506
16.5 KHz	1.00	0.543	0.434
17 KHz	1.00	0.543	0.387
17.5 KHz	1.00	0.515	0.346
18 KHz	1.00	0.515	0.321
18.5 KHz	1.00	0.493	0.296
19 KHz	1.00	0.493	0.240
20 KHz	1.00	0.465	0.221
30 KHz	1.00	0.315	0.680

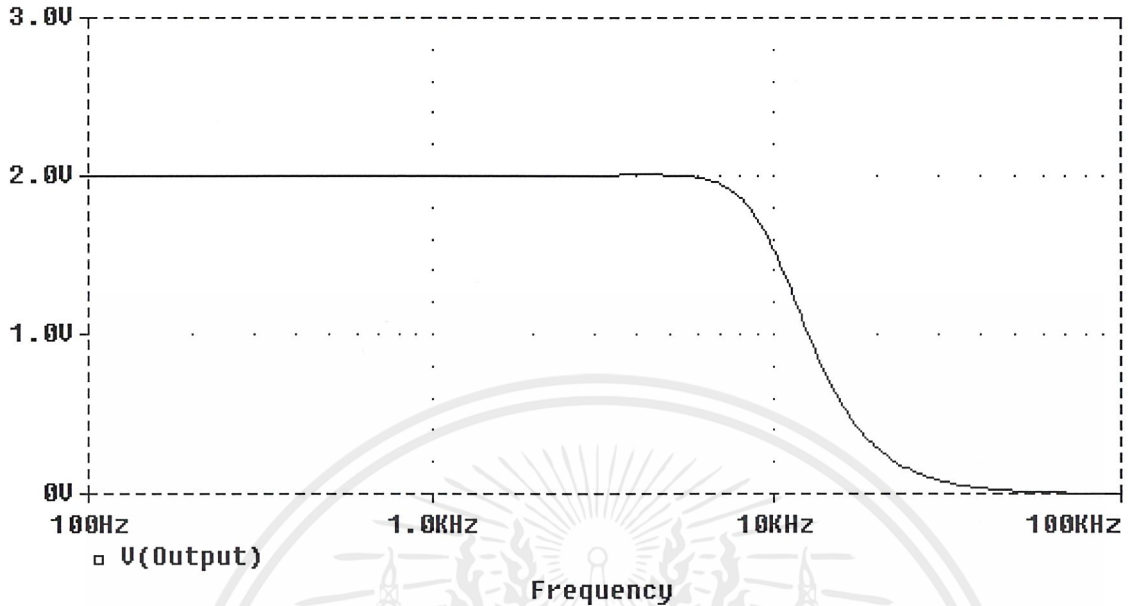
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35 KHz	1.00	0.281	0.360
40 KHz	1.00	0.243	0.340
50 KHz	1.00	0.190	0.320



รูปที่ 4.12 แสดงรูปกราฟความถี่ที่ออฟ 10KHz ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.13 แสดงรูปกราฟความถี่คัทออฟ 10KHz ที่ได้จากการชิมมูเลท

4.4 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ทำการทดลองโดยการป้อนแรงดันไฟกระแสตรงที่อินพุทขา 6 ของ ADC 0804 ปรับค่าแรงดันตั้งแต่ 0 V-5.1V จะได้เอาต์พุทออกมาเป็นรหัสไบนารี 8 บิตโดยดูจากการแสดงผลที่ LED ค่าที่ได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงรหัสสัญญาณไบนารีตามระดับแรงดันอินพุท

Vin (DC) (Volt)	OUTPUT	
	MSB	LSB
0	0000	0000
0.016	0000	0001
0.035	0000	0010
0.056	0000	0011
0.075	0000	0100
0.098	0000	0101
0.115	0000	0110
0.134	0000	0111
0.154	0000	1000
0.179	0000	1001

0.196	0000	1010
0.225	0000	1011
0.245	0000	1100
0.261	0000	1101
0.283	0000	1110
0.295	0000	1111
0.325	0001	0000
0.336	0001	0001
0.359	0001	0010
0.379	0001	0011
0.390	0001	0100
0.410	0001	0101
0.432	0001	0110
0.453	0001	0111
0.473	0001	1000
0.492	0001	1001
0.520	0001	1010
0.532	0001	1011
0.554	0001	1100
0.576	0001	1101
0.591	0001	1110
0.612	0001	1111
0.632	0010	0000
0.655	0010	0001
0.678	0010	0010
0.694	0010	0011
0.713	0010	0100
0.738	0010	0101
0.751	0010	0110
0.778	0010	0111
0.795	0010	1000
0.814	0010	1001
0.834	0010	1010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.851	0010	1011
0.871	0010	1100
0.891	0010	1101
0.912	0010	1110
0.933	0010	1111
0.953	0011	0000
0.973	0011	0001
0.993	0011	0010
1.012	0011	0011
1.030	0011	0100
1.050	0011	0101
1.071	0011	0110
1.091	0011	0111
1.111	0011	1000
1.132	0011	1001
1.150	0011	1010
1.172	0011	1011
1.192	0011	1100
1.212	0011	1101
1.232	0011	1110
1.252	0011	1111
1.271	0100	0000
1.291	0100	0001
1.311	0100	0010
1.331	0100	0011
1.359	0100	0100
1.375	0100	0101
1.392	0100	0110
1.412	0100	0111
1.434	0100	1000
1.458	0100	1001
1.479	0100	1010
1.491	0100	1011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.520	0100	1100
1.539	0100	1101
1.562	0100	1110
1.580	0100	1111
1.600	0101	0000
1.622	0101	0001
1.642	0101	0010
1.660	0101	0011
1.681	0101	0100
1.701	0101	0101
1.721	0101	0110
1.742	0101	0111
1.761	0101	1000
1.782	0101	1001
1.800	0101	1010
1.821	0101	1011
1.842	0101	1100
1.860	0101	1101
1.881	0101	1110
1.902	0101	1111
1.922	0110	0000
1.940	0110	0001
1.961	0110	0010
1.980	0110	0011
2.000	0110	0100
2.020	0110	0101
2.040	0110	0110
2.060	0110	0110
2.080	0110	1000
2.101	0110	1001
2.120	0110	1010
2.141	0110	1011
2.160	0110	1100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.181	0110	1101
2.200	0110	1110
2.220	0110	1111
2.240	0111	0000
2.260	0111	0001
2.280	0111	0010
2.300	0111	0011
2.320	0111	0100
2.340	0111	0101
2.360	0111	0110
2.380	0111	0111
2.400	0111	1000
2.420	0111	1001
2.440	0111	1010
2.460	0111	1011
2.480	0111	1100
2.500	0111	1101
2.520	0111	1110
2.541	0111	1111
2.561	1000	0000
2.581	1000	0001
2.601	1000	0010
2.621	1000	0011
2.641	1000	0100
2.661	1000	0101
2.681	1000	0110
2.702	1000	0111
2.722	1000	1000
2.741	1000	1001
2.761	1000	1010
2.780	1000	1011
2.801	1000	1100
2.821	1000	1101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.841	1000	1110
2.860	1000	1111
2.881	1001	0000
2.901	1001	0001
2.920	1001	0010
2.941	1001	0011
2.961	1001	0100
2.981	1001	0101
3.001	1001	0110
3.023	1001	0111
3.042	1001	1000
3.062	1001	1001
3.080	1001	1010
3.101	1001	1011
3.121	1001	1100
3.140	1001	1101
3.160	1001	1110
3.179	1001	1111
3.201	1010	0000
3.221	1010	0001
3.241	1010	0010
3.261	1010	0011
3.280	1010	0100
3.300	1010	0101
3.321	1010	0110
3.341	1010	0111
3.361	1010	1000
3.381	1010	1001
3.401	1010	1010
3.420	1010	1011
3.441	1010	1100
3.461	1010	1101
3.480	1010	1110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.498	1010	1111
3.520	1011	0000
3.540	1011	0001
3.561	1011	0010
3.581	1011	0011
3.600	1011	0100
3.620	1011	0101
3.640	1011	0110
3.660	1011	0111
3.679	1011	1000
3.700	1011	1001
3.720	1011	1010
3.740	1011	1011
3.760	1011	1100
3.780	1011	1101
3.800	1011	1110
3.820	1011	1111
3.840	1100	0000
3.860	1100	0001
3.880	1100	0010
3.900	1100	0011
3.920	1100	0100
3.940	1100	0101
3.960	1100	0110
3.980	1100	0111
3.998	1100	1000
4.02	1100	1001
4.040	1100	1010
4.060	1100	1011
4.080	1100	1100
4.100	1100	1101
4.120	1100	1110
4.140	1100	1111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.160	1101	0000
4.180	1101	0001
4.200	1101	0010
4.220	1101	0011
4.240	1101	0100
4.260	1101	0101
4.280	1101	0110
4.300	1101	0111
4.320	1101	1000
4.340	1101	1001
4.360	1101	1010
4.380	1101	1011
4.400	1101	1100
4.420	1101	1101
4.440	1101	1110
4.460	1101	1111
4.480	1110	0000
4.500	1110	0001
4.520	1110	0010
4.540	1110	0011
4.560	1110	0100
4.580	1110	0101
4.600	1110	0110
4.620	1110	0111
4.640	1110	1000
4.660	1110	1001
4.680	1110	1010
4.700	1110	1011
4.720	1110	1100
4.740	1110	1101
4.760	1110	1110
4.780	1110	1111
4.800	1111	0000

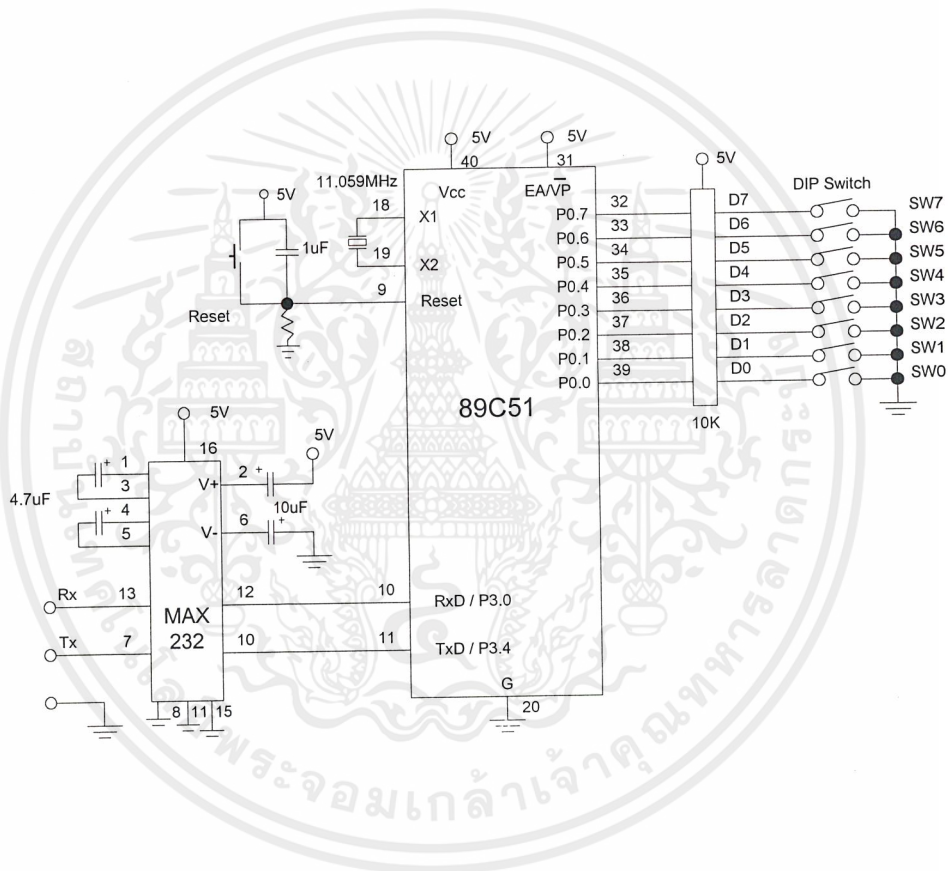
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

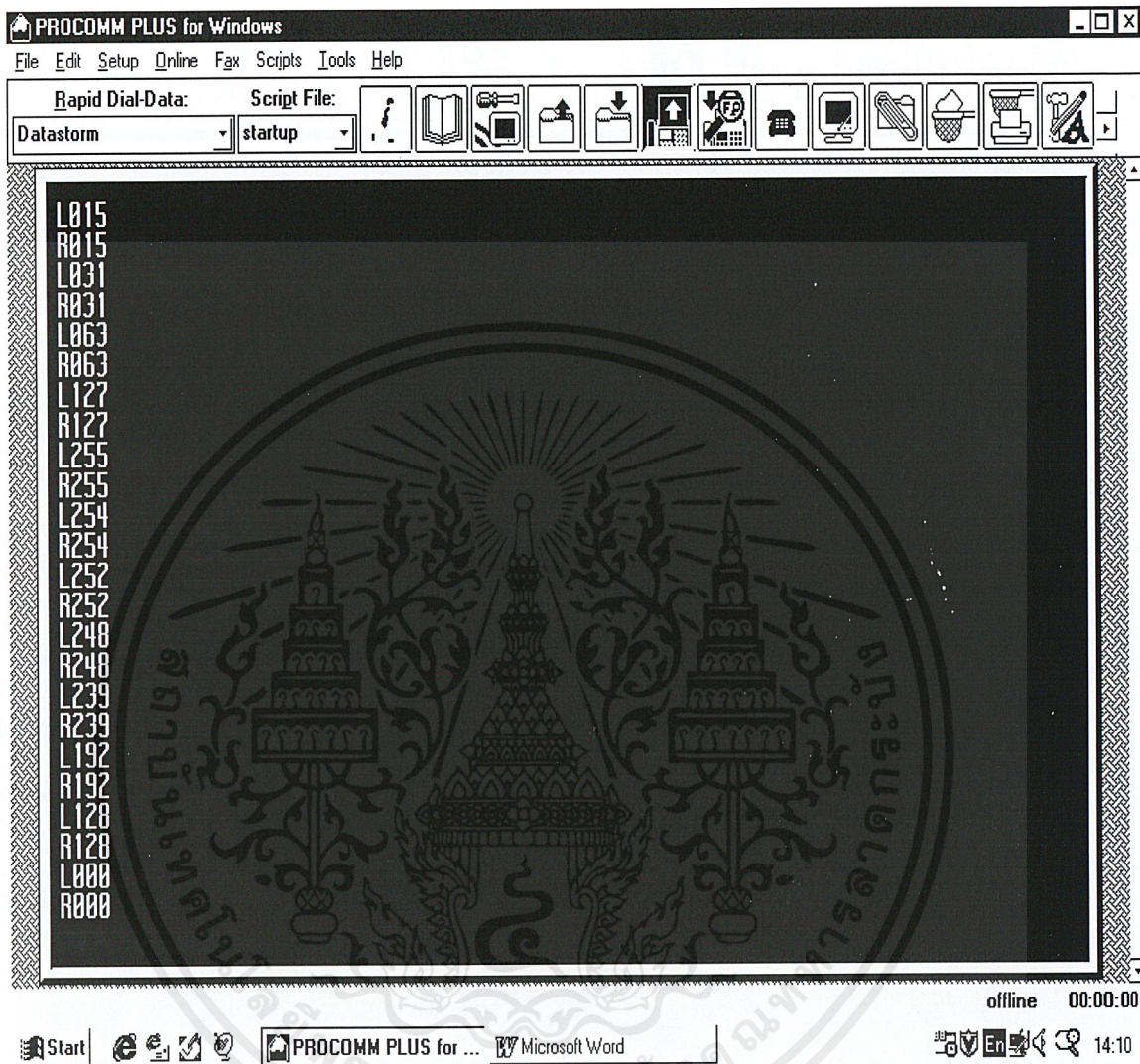
4.820	1111	0001
4.840	1111	0010
4.860	1111	0011
4.880	1111	0100
4.900	1111	0101
4.920	1111	0110
4.940	1111	0111
4.960	1111	1000
4.980	1111	1001
5.000	1111	1010
5.020	1111	1011
5.040	1111	1100
5.060	1111	1101
5.080	1111	1110
5.100	1111	1111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

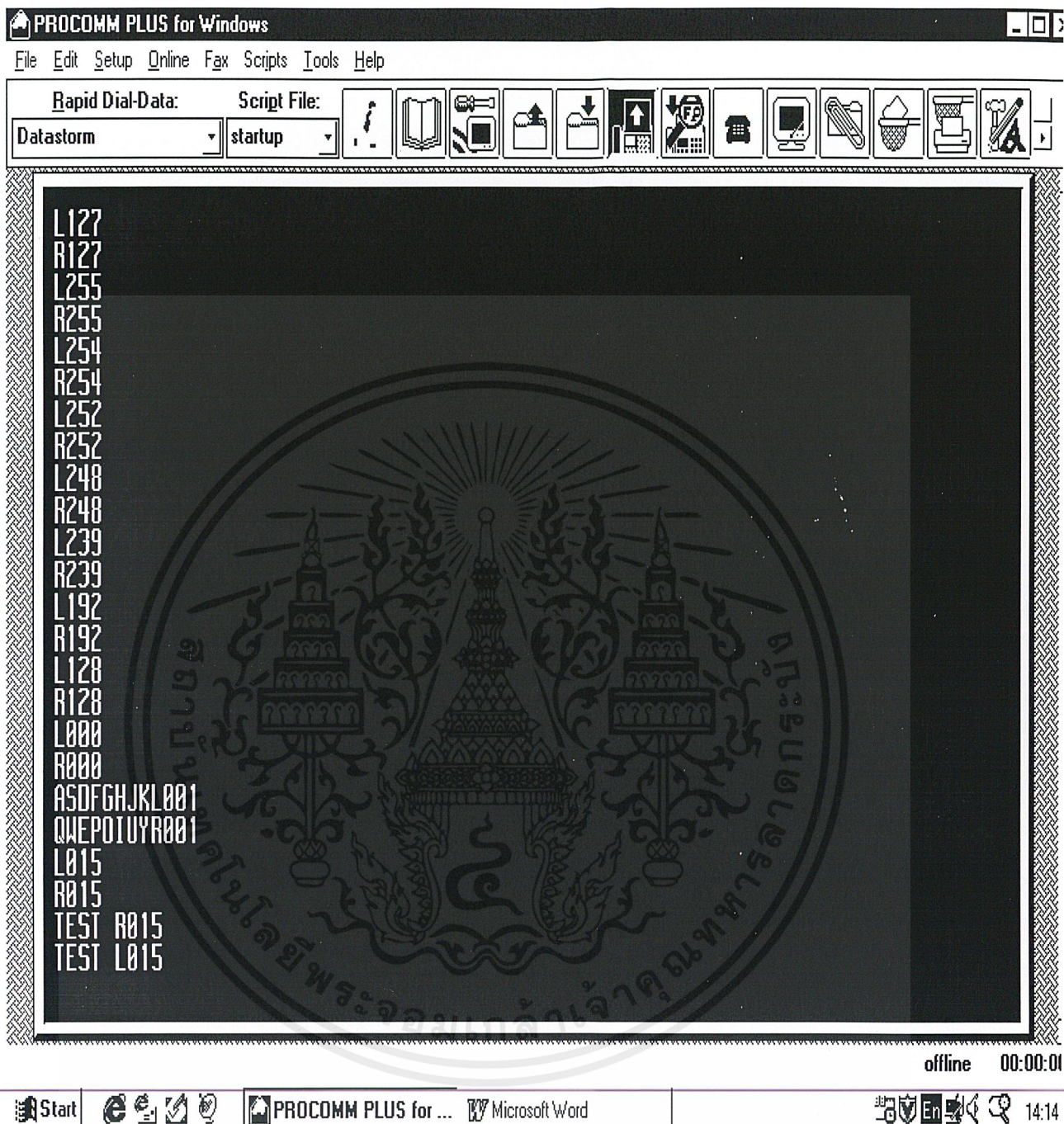
4.5 การทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเขียนโปรแกรมส่วนควบคุมได้แล้ว ทำการบันทึกโปรแกรมลงบนชิป 89C51 นำมาทำการทดลองโปรแกรม โดยการต่อลงบอร์ดตามวงจรรูปที่ 4.14 ทำการทดลองโดยการเลื่อนปรับค่าของ DIP สวิตช์ ซึ่งใช้เป็นส่วนของอินพุทแทนข้อมูลที่จะส่งมาจาก A/D คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้โปรแกรม PROCOM PLUS ลักษณะการทดลองเมื่อส่ง L และ R จาก PROCOM PLUS มายัง 89C51 89C51 ก็จะส่งค่าที่รับมาจาก DIP สวิตช์ ออกไปให้กับ PROCOM PLUS และถ้าส่งตัวอักษรอื่นมา 89C51 จะไม่ส่งค่าอะไรออกไป เป็นไปตามเงื่อนไขของโปรแกรม ดังผลการทดลองตามรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.14 การทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์



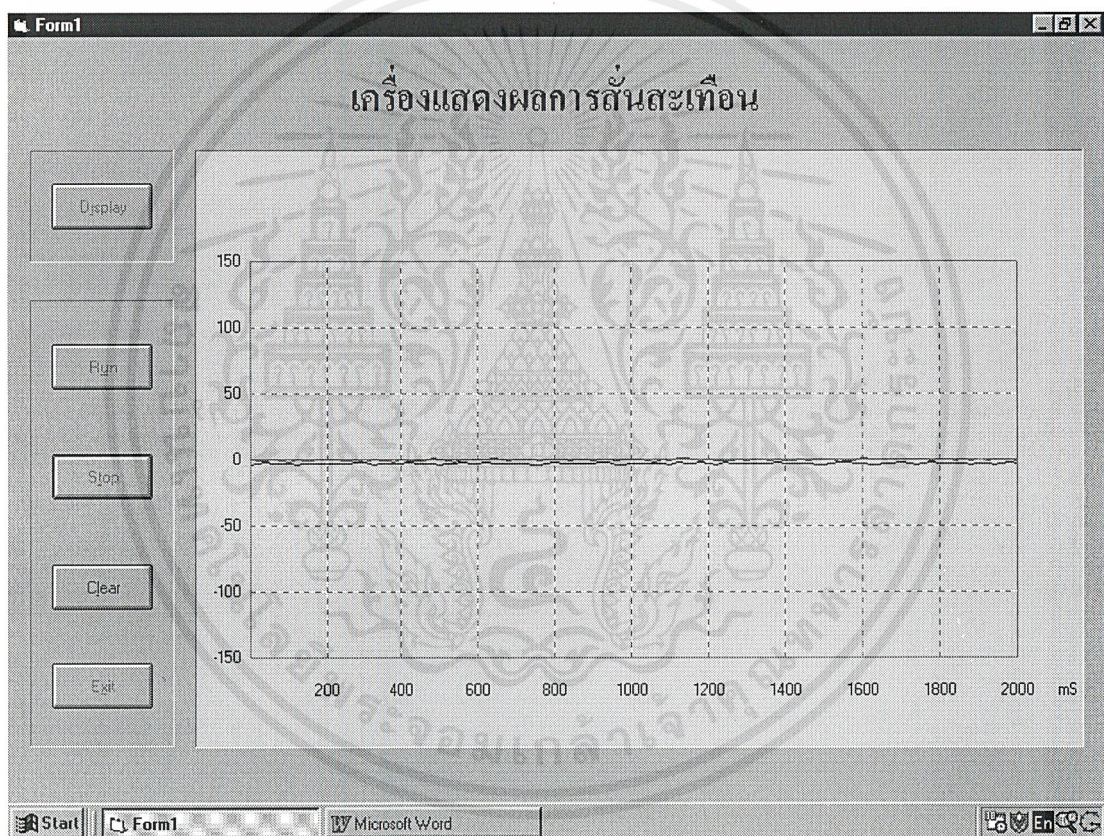
รูปที่ 4.15 แสดงการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อส่งสัญญาณ L และ R



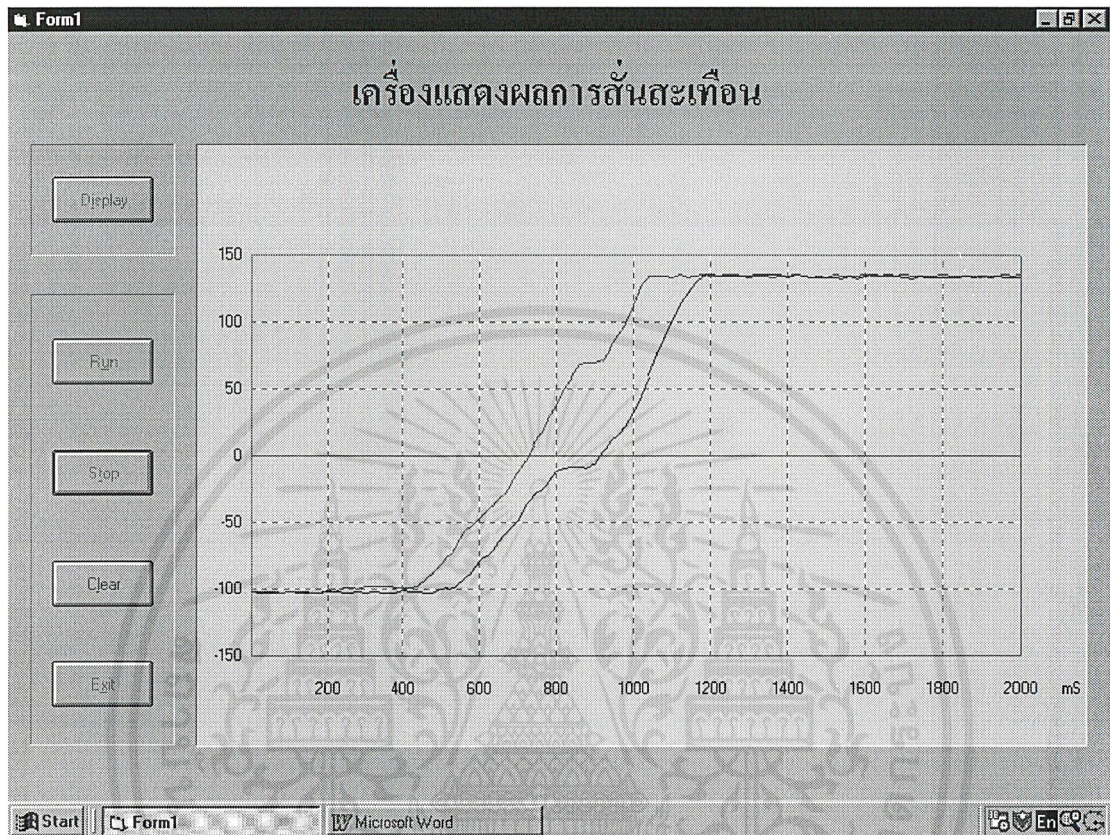
รูปที่ 4.16 แสดงการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อส่งสัญญาณ L และ R และสัญญาณอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

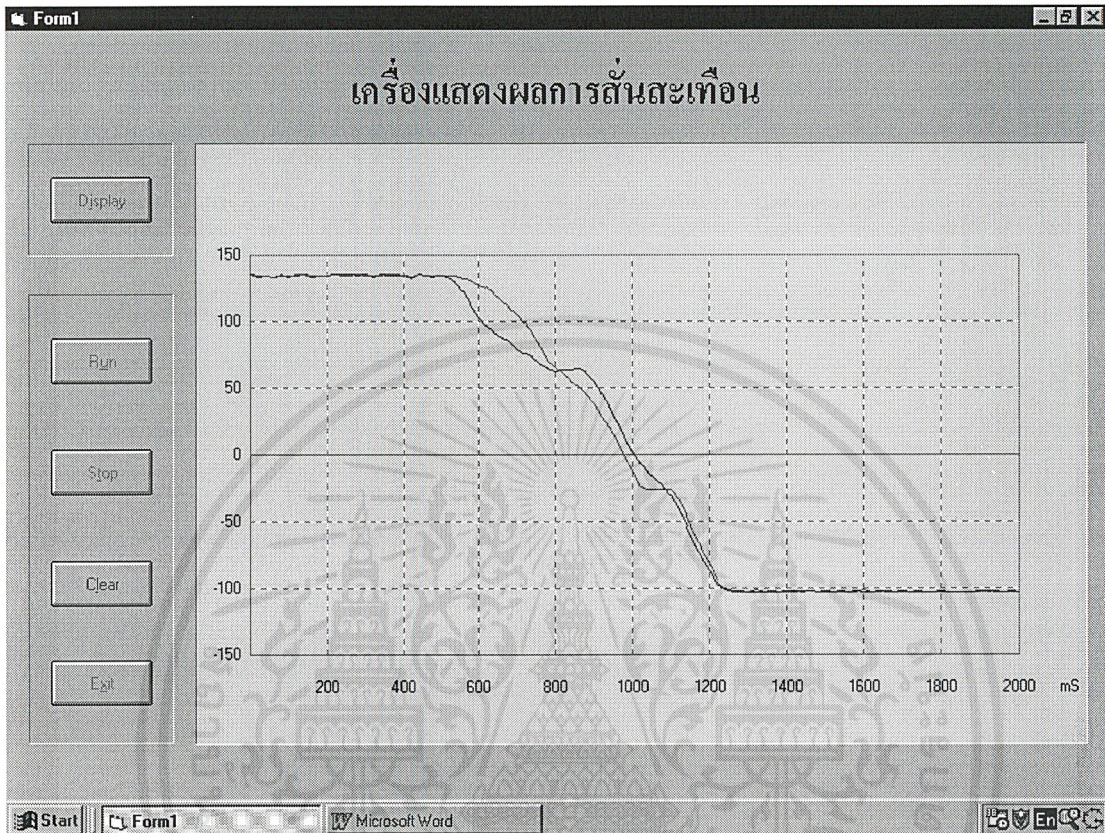
4.6 การทดลองส่วนแสดงผล เมื่อเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิกแล้วทำการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ ส่วนคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ทอนุกรมการต่อวงจรตามรูปที่ 4.17 ที่ขา Rx และ Tx ของ MAX232 ทำการ ทดลองโดยป้อนแรงดัน DC ซึ่งใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวปรับแรงดัน DC อินพุทให้กับ A/D คอน เเวอร์เตอร์ และถูกส่งผ่านโดยส่วนของคอนโทรลเลอร์เมื่อได้รับสัญญาณ L และ R เรียกว่า เมื่อโปรแกรม ส่วนแสดงผลได้รับค่าที่ส่งมาจากคอนโทรลเลอร์ก็จะนำค่าที่ได้ไปแสดงเป็นระดับของแรงดัน -128 ถึง +128 ในรูปกราฟเส้นต่อไป ลักษณะการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 4.17 ถึง 4.21



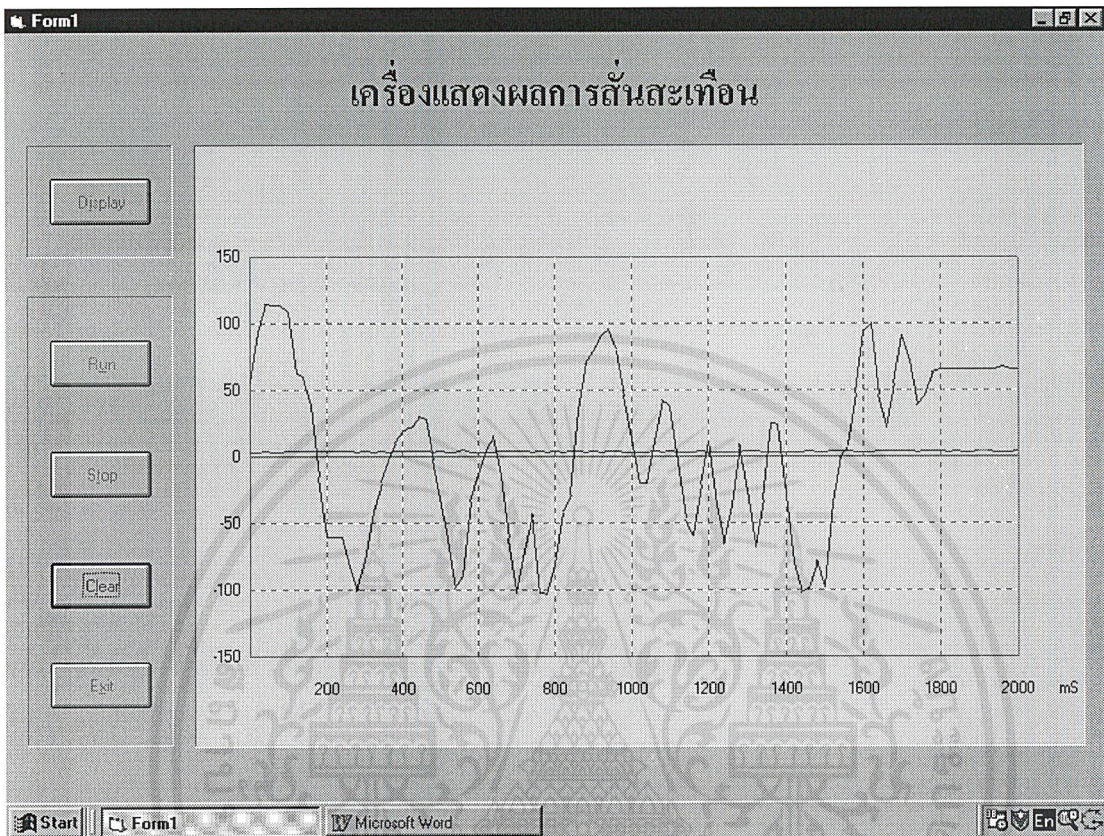
รูปที่ 4.17 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุท



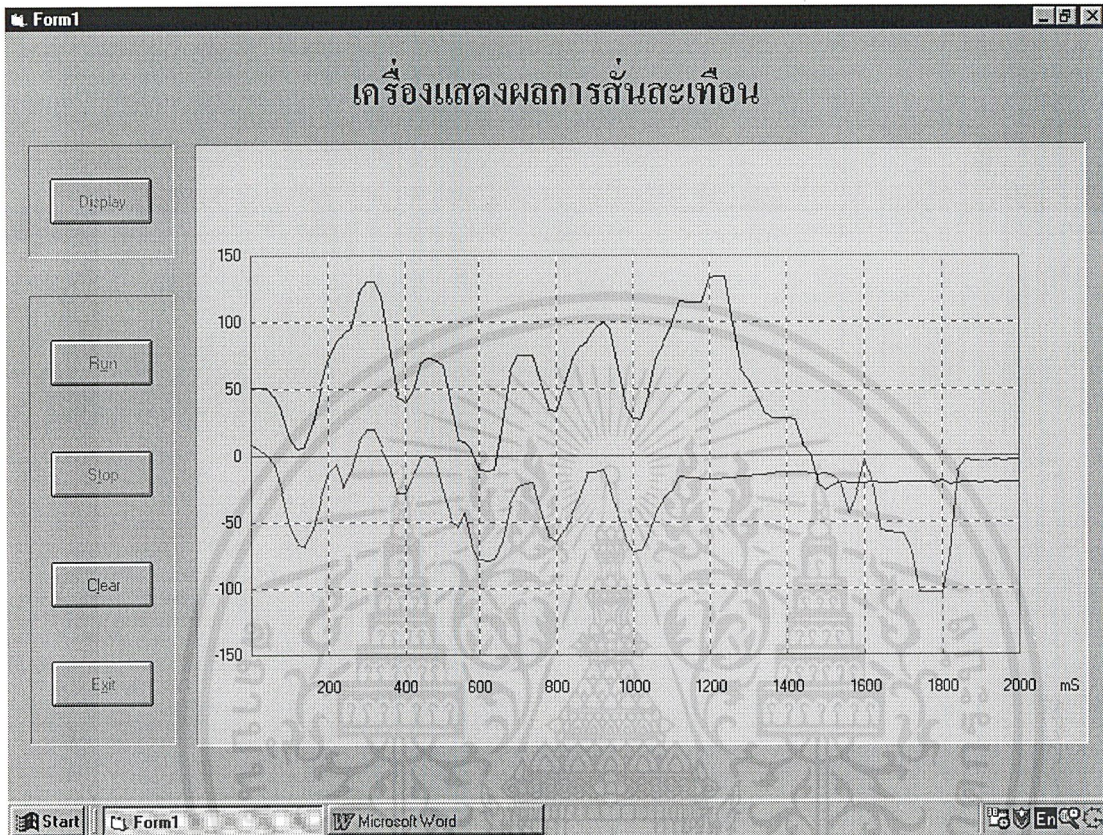
รูปที่ 4.18 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุตต่ำสุดไปจนสูงสุด



รูปที่ 4.19 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุตสูงสุดไปต่ำสุด



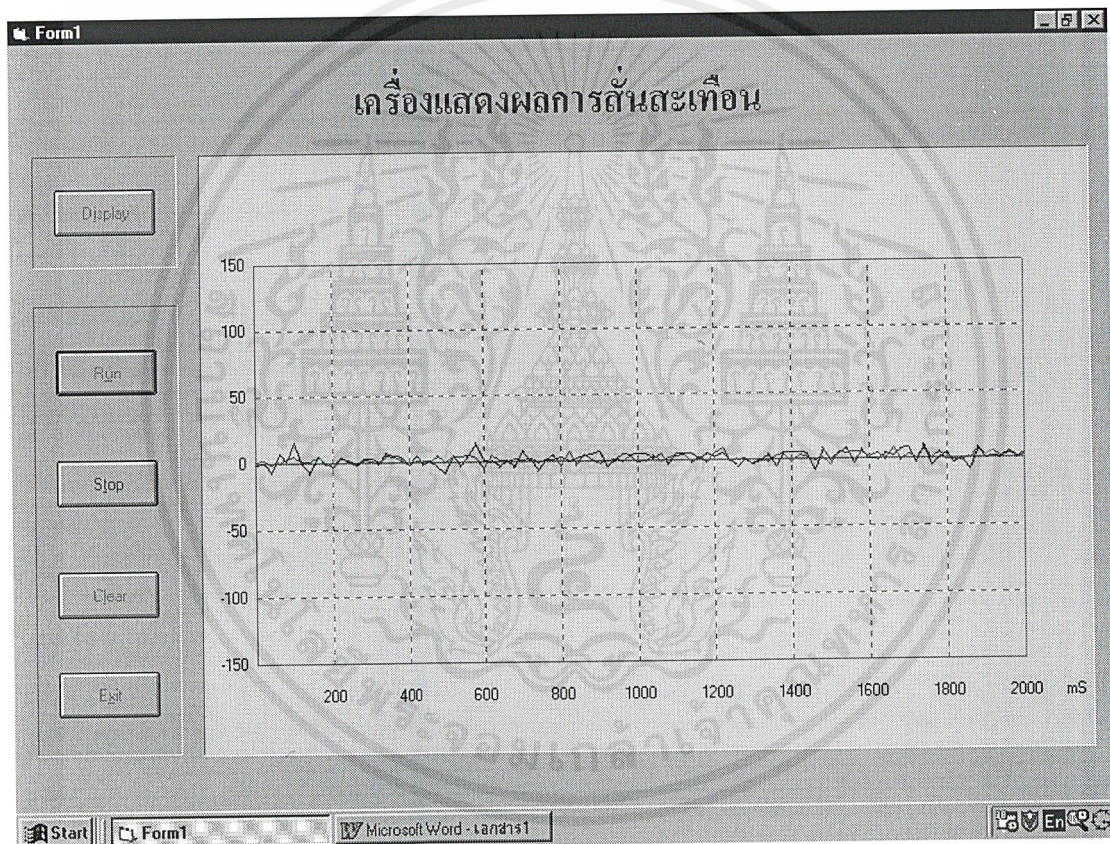
รูปที่ 4.20 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อปรับค่าสัญญาณอินพุตอิสระ 1 ช้าง



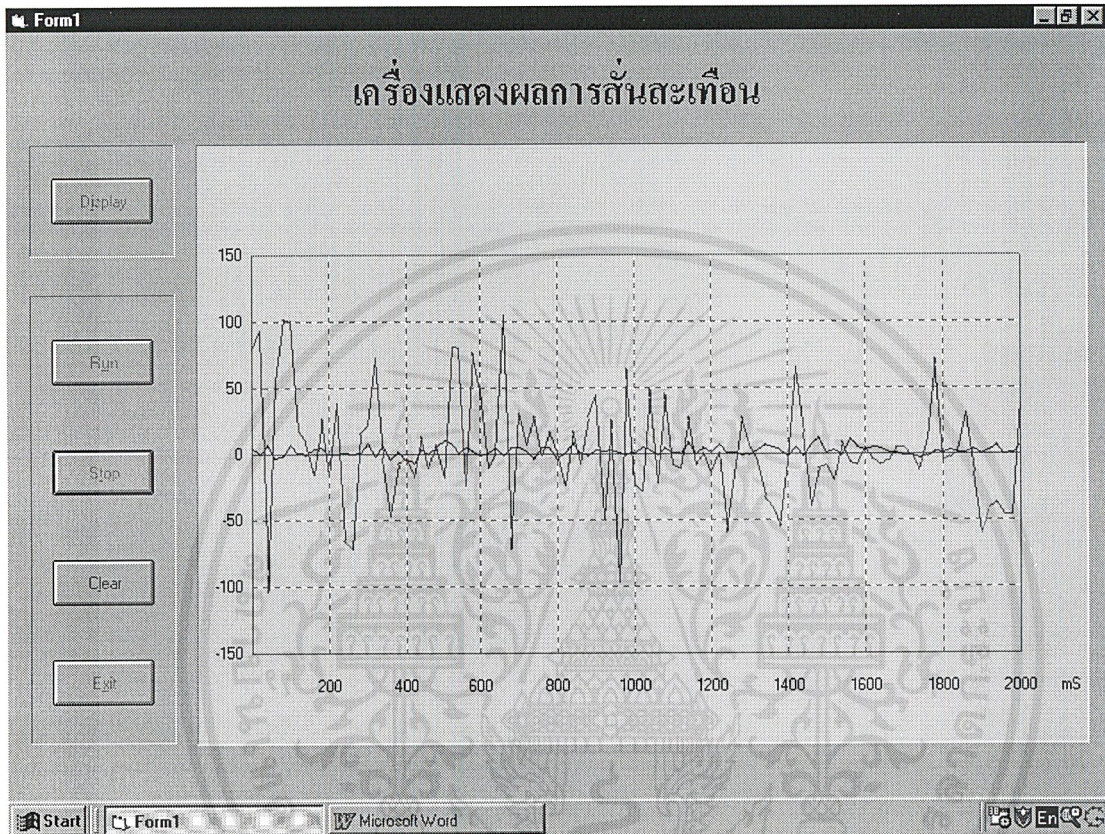
รูปที่ 4.21 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อปรับค่าสัญญาณอินพุตอิสระ 2 ข้าง

4.7 การทดลองชิ้นงานรวมกันทั้งหมด โดยการนำอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนต่อเข้าสู่วงจรมัลติเพล็กซ์ และวงจรมัลติเพล็กซ์ ส่งต่อเป็นอินพุตให้กับภาค A/D คอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งต่อกับคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมวิซวลเบสิกเป็นตัวควบคุมการแสดงผล

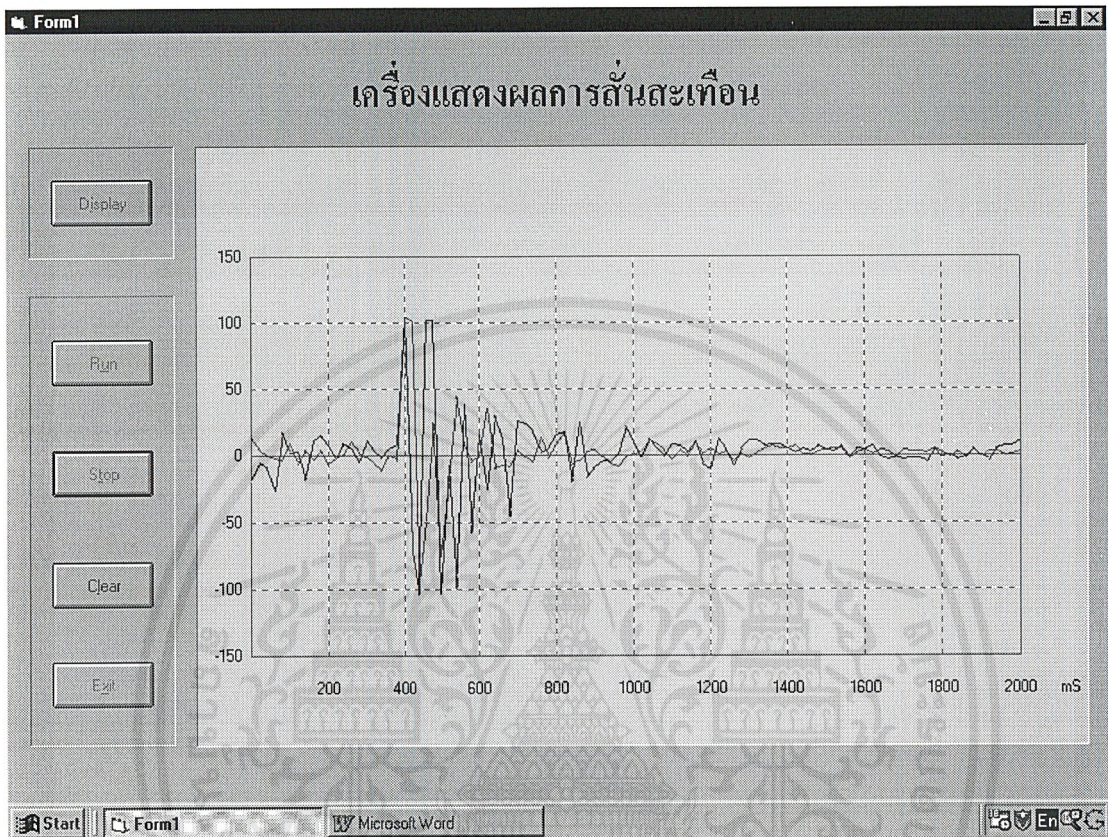
เมื่อทำให้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนเกิดการสั่นสะเทือน จะมีรูปภาพเส้นแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังรูปผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.22 ถึง 4.27



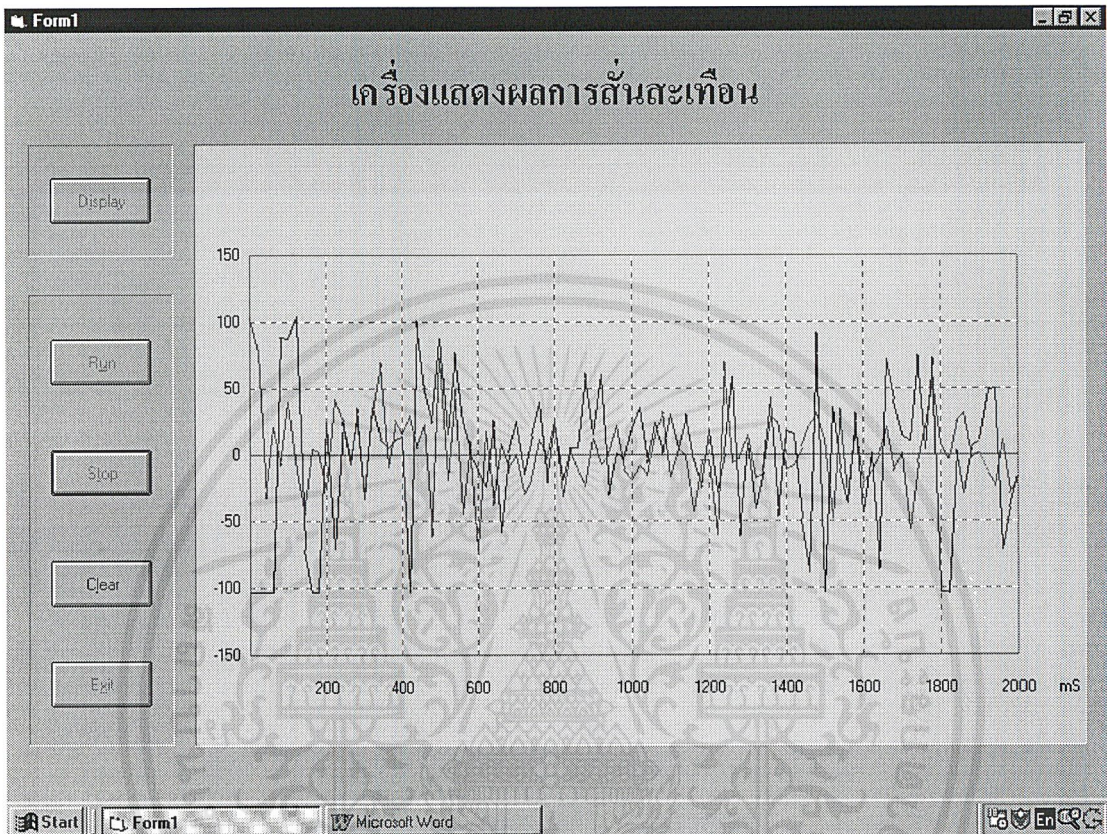
รูปที่ 4.22 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีการสั่นสะเทือน



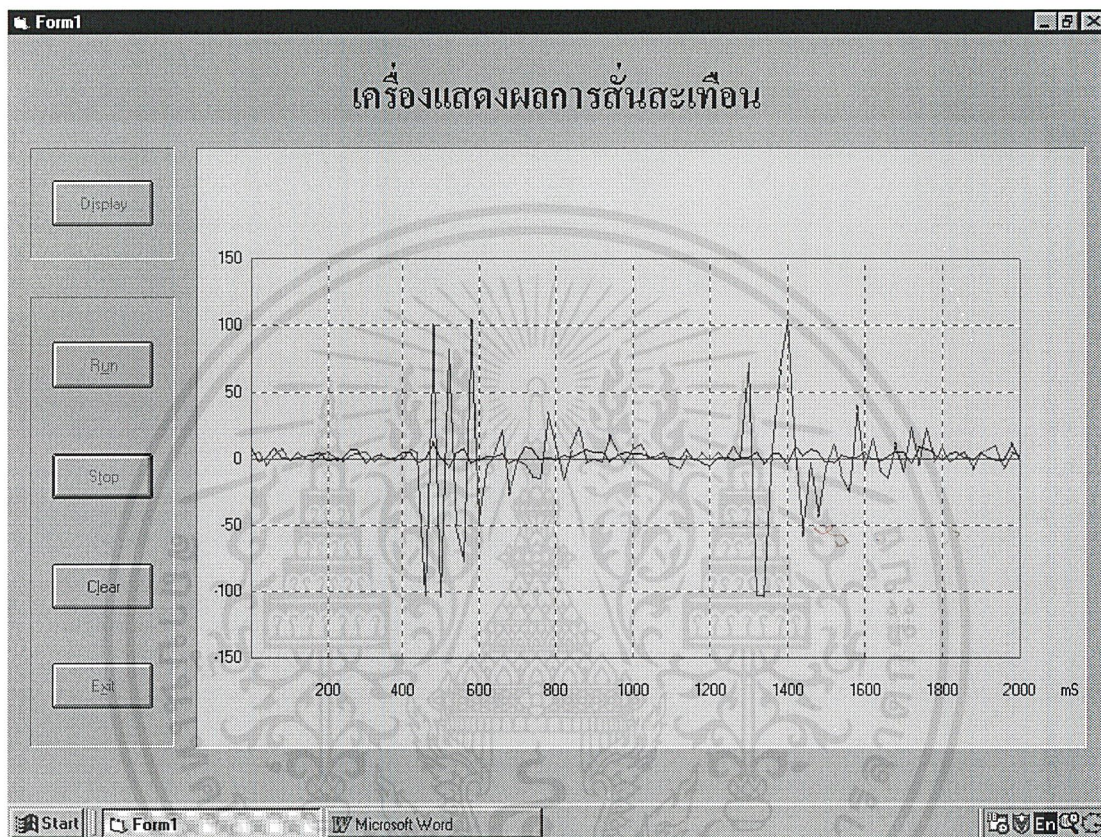
รูปที่ 4.23 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือน
เกิดการสั่นสะเทือนข้างเดียวแบบต่อเนื่อง



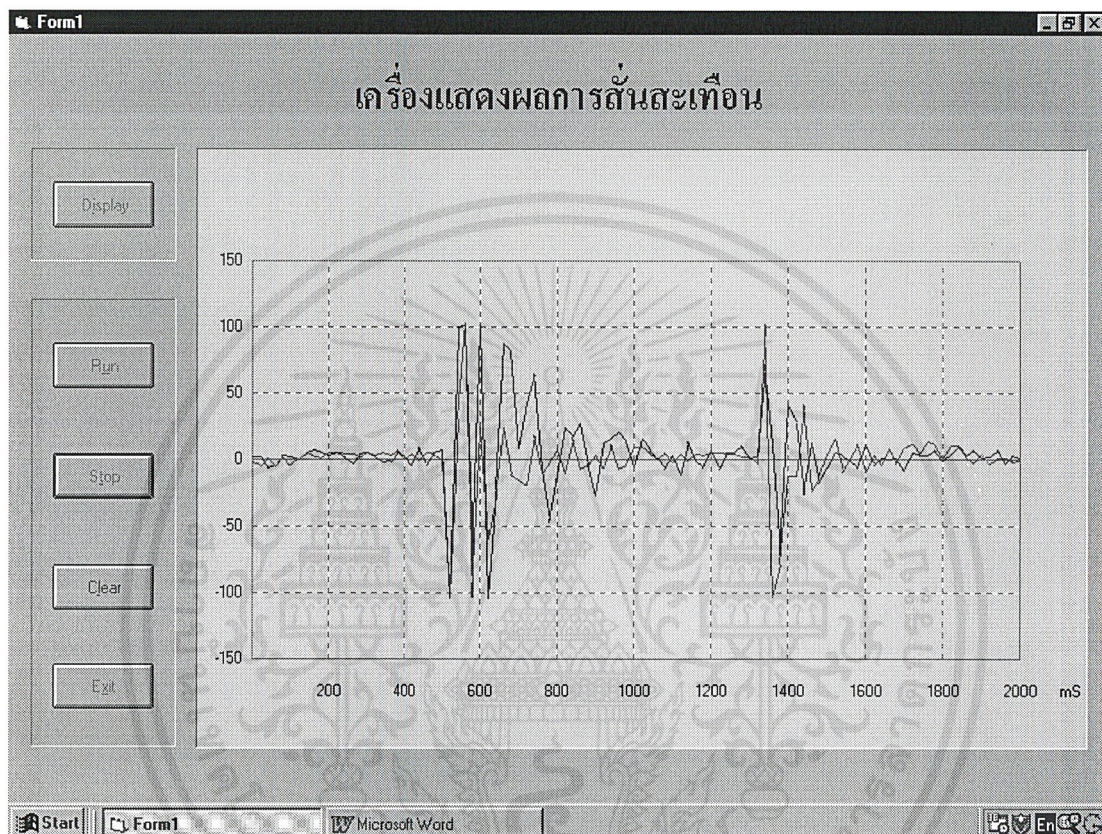
รูปที่ 4.24 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนเกิด
การสั่นสะเทือนทั้งสองข้างพร้อมกันครั้งเดียว



รูปที่ 4.25 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนเกิด
การสั่นสะเทือนทั้งสองข้างพร้อมกันแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 4.26 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนเกิด
การสั่นสะเทือนข้างเดียวสองครั้ง



รูปที่ 4.27 การทดลองส่วนแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนเกิดการสั่นสะเทือนสองข้างสองครั้ง

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

จากภาคการศึกษาที่ 1 วงจรภาคปริแอมพลิไฟเออร์ และ แอมพลิไฟเออร์ มีการขยายตามค่าที่กำหนด คูได้จากการซิมมูลเทจจร และการทดลองส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน มีลักษณะของกราฟที่คล้ายกันของรูปที่ได้จากการทดลองกับรูปที่ได้จากการซิมมูลเตจจากโปรแกรม P Spice ส่วนภาค A/D คอนเวอร์เตอร์ ก็ได้ค่าของแรงดันอินพุทที่แปลงเป็นรหัสไบนารีทางด้านเอาต์พุทครบทั้ง 256 ระดับ ซึ่งใกล้เคียงกับคุณลักษณะของ IC ADC 0804

ในภาคการศึกษาที่ 2 นี้ ได้ทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนได้รูปคลื่นที่มีลักษณะตรงตามลักษณะของคลื่นรูปไซน์ที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือน ส่วนในภาคคอนโทรลเลอร์ มีการเขียนโปรแกรมควบคุม สามารถใช้ดึงข้อมูลจาก A/D คอนเวอร์เตอร์ส่งผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ให้กับส่วนแสดงผลโดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในการแสดงข้อมูลออกมาเป็นกราฟเส้นที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ซึ่งมีค่าระดับแรงดันตั้งแต่ -128 ถึง +128 ตามค่าที่ได้จากการส่งผ่านมาของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ที่มีค่า 256 ระดับ ซึ่งรับค่านี้จากวงจรส่วนหน้าที่ตรวจจับสัญญาณจากการสั่นสะเทือน

จากผลการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเมื่อนำส่วนของภาคการทำงานต่างๆ มารวมกันจะได้ชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์ สามารถนำข้อมูลและแนวความคิดรวมทั้งชิ้นงาน โครงการเครื่องแสดงผลการสั่นสะเทือน ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดโปรแกรมคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์

```
*****
;
;Filename      : CAR.ASM      *
;Description   :              *
;Hardware      :              *
;Assembler     : SXA51       *
;Engineer     :              *
;Start Date   :              *
;Company      :              *
*****
;***** VARIABLE *****
Data          EQU          P0
LeftCS        EQU          P1.1
RightCS       EQU          P1.5
RdAtOD        EQU          P1.2
WrAtOD        EQU          P1.3
INTR          EQU          P1.4

;***** INTERNAL RAM *****
ORG           0
DS            8 ;REGISTOR BANK-0
SYSSTK:      DS            24
SensorBuf:   DS            1

;***** Reset *****
ORG           0H
RES:         MOV          R2,#40H ;POWER UP DELAY
RES1:        MOV          R3,#0
              DJNZ        R3,$
              DJNZ        R2,RES1
              MOV         SP,#SYSSTK ;SET SYSTEM STACK

              MOV         R0,#8 ;CLEAR INT-RAM
              MOV         R2,#80H-8
RES2:        MOV         @R0,#0
              INC         R0
              DJNZ        R2,RES2

;***** Initial *****
Init:        MOV          SCON,#52H ;Serial 8 bit USART
              MOV          TMOD,#20H
              MOV          TH1,#0DDH
              SETB         TR1 ;Timer ON

              SETB         LeftCS
              SETB         RightCS
              SETB         RdAtOD
              SETB         WrAtOD

;***** Main *****
Main:        LCALL        RByte
Left:        CJNE        A,#04CH,Right ;L=Left?
```

```

                LCALL    CkLeft
                LCALL    Bin2AS
                LCALL    CrLf
                LJMP     Main

Right:         CJNE     A,#052H,Main           ;R = Right ?
                LCALL    CkRight
                LCALL    Bin2AS
                LCALL    CrLf
                LJMP     Main

```

```

;***** Binary to ASCII Converter *****
;Decimal Max. = 000 - 255

```

```

Bin2AS:        CLR      C
                MOV      A,SensorBuf
                CJNE     A,#200,Bin2AS1       ;200 ?
                MOV      R1,#032H           ;"2"
                MOV      R2,#030H           ;"0"
                MOV      R3,#030H           ;"0"
                LCALL    SendData
                RET

Bin2AS1:       CJNE     A,#100,Bin2AS2       ;100 ?
                MOV      R1,#031H           ;"1"
                MOV      R2,#030H           ;"0"
                MOV      R3,#030H           ;"0"
                LCALL    SendData
                RET

Bin2AS2:       CJNE     A,#90,Bin2AS3        ;90 ?
                MOV      R1,#030H           ;"0"
                MOV      R2,#039H           ;"9"
                MOV      R3,#030H           ;"0"
                LCALL    SendData
                RET

Bin2AS3:       CJNE     A,#80,Bin2AS4        ;80 ?
                MOV      R1,#030H           ;"0"
                MOV      R2,#038H           ;"8"
                MOV      R3,#030H           ;"0"
                LCALL    SendData
                RET

Bin2AS4:       CJNE     A,#70,Bin2AS5        ;70 ?
                MOV      R1,#030H           ;"0"
                MOV      R2,#037H           ;"7"
                MOV      R3,#030H           ;"0"
                LCALL    SendData
                RET

Bin2AS5:       CJNE     A,#60,Bin2AS6        ;60 ?
                MOV      R1,#030H           ;"0"
                MOV      R2,#036H           ;"6"
                MOV      R3,#030H           ;"0"
                LCALL    SendData
                RET

Bin2AS6:       CJNE     A,#50,Bin2AS7        ;50 ?
                MOV      R1,#030H           ;"0"
                MOV      R2,#035H           ;"5"
                MOV      R3,#030H           ;"0"
                LCALL    SendData
                RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ LCALL ส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลกลาง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้าฉบับให้ถือเป็นเอกสารและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Bin2AS7:  CJNE    A,#40,Bin2AS8      ;40 ?
          MOV     R1,#030H          ;"0"
          MOV     R2,#034H          ;"4"
          MOV     R3,#030H          ;"0"
          LCALL   SendData
          RET

Bin2AS8:  CJNE    A,#30,Bin2AS9      ;30 ?
          MOV     R1,#030H          ;"0"
          MOV     R2,#033H          ;"3"
          MOV     R3,#030H          ;"0"
          LCALL   SendData
          RET

Bin2AS9:  CJNE    A,#20,Bin2AS10     ;20 ?
          MOV     R1,#030H          ;"0"
          MOV     R2,#032H          ;"2"
          MOV     R3,#030H          ;"0"
          LCALL   SendData
          RET

Bin2AS10: CJNE    A,#10,Bin2AS11     ;10 ?
          MOV     R1,#030H          ;"0"
          MOV     R2,#031H          ;"1"
          MOV     R3,#030H          ;"0"
          LCALL   SendData
          RET

Bin2AS11: CLR     C
          MOV     B,SensorBuf
          MOV     A,#200
          SUBB    A,B
          JNC     BinAS12           ;>200 ?
          MOV     A,SensorBuf
          SUBB    A,#199
          MOV     SensorBuf,A
          MOV     A,#032H          ;"2"
          LCALL   SByte
          LJMP    BinAS14

BinAS12:  CLR     C
          MOV     B,SensorBuf
          MOV     A,#100
          SUBB    A,B
          JNC     BinAS13           ;>100 ?
          MOV     A,SensorBuf
          SUBB    A,#99
          MOV     SensorBuf,A
          MOV     A,#031H          ;"1"
          LCALL   SByte
          LJMP    BinAS14

BinAS13:  MOV     A,#30H            ;"0"
          LCALL   SByte

BinAS14:  CLR     C
          MOV     B,SensorBuf
          MOV     A,#90
          SUBB    A,B
          JNC     BinAS15           ;>90 ?
          MOV     A,SensorBuf
          MOV     B,A
          MOV     A,#030H          ;"0"
          LCALL   SByte
          LJMP    BinAS14

```

```

SUBB    A,#89
MOV     SensorBuf,A
MOV     A,#039H           ;"9"
LCALL  SByte
LJMP   BinAS24
BinAS15: MOV     B,SensorBuf
MOV     A,#80
SUBB    A,B
JNC     BinAS16           ;>80 ?
MOV     A,SensorBuf
SUBB    A,#79
MOV     SensorBuf,A
MOV     A,#038H           ;"8"
LCALL  SByte
LJMP   BinAS24
BinAS16: MOV     B,SensorBuf
MOV     A,#70
SUBB    A,B
JNC     BinAS17           ;>70 ?
MOV     A,SensorBuf
SUBB    A,#69
MOV     SensorBuf,A
MOV     A,#037H           ;"7"
LCALL  SByte
LJMP   BinAS24
BinAS17: MOV     B,SensorBuf
MOV     A,#60
SUBB    A,B
JNC     BinAS18           ;>60 ?
MOV     A,SensorBuf
SUBB    A,#59
MOV     SensorBuf,A
MOV     A,#036H           ;"6"
LCALL  SByte
LJMP   BinAS24
BinAS18: MOV     B,SensorBuf
MOV     A,#50
SUBB    A,B
JNC     BinAS19           ;>50 ?
MOV     A,SensorBuf
SUBB    A,#49
MOV     SensorBuf,A
MOV     A,#035H           ;"5"
LCALL  SByte
LJMP   BinAS24
BinAS19: MOV     B,SensorBuf
MOV     A,#40
SUBB    A,B
JNC     BinAS20           ;>40 ?
MOV     A,SensorBuf
SUBB    A,#39
MOV     SensorBuf,A
MOV     A,#034H           ;"4"
LCALL  SByte
LJMP   BinAS24
BinAS20: MOV     B,SensorBuf

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ MOV ใช้งาน A,#30 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อเรื่องและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JNC BinAS21 ;>30 ?
MOV A, SensorBuf
SUBB A, #29
MOV SensorBuf, A
MOV A, #033H ;"3"
LCALL SByte
LJMP BinAS24
BinAS21: MOV B, SensorBuf
MOV A, #20
SUBB A, B
JNC BinAS22 ;>20 ?
MOV A, SensorBuf
SUBB A, #19
MOV SensorBuf, A
MOV A, #032H ;"2"
LCALL SByte
LJMP BinAS24
BinAS22: MOV B, SensorBuf
MOV A, #10
SUBB A, B
JNC BinAS23 ;>10 ?
MOV A, SensorBuf
SUBB A, #9
MOV SensorBuf, A
MOV A, #031H ;"1"
LCALL SByte
LJMP BinAS24
BinAS23: MOV A, #30H ;"0"
LCALL SByte
BinAS24: MOV A, SensorBuf
ORL A, #00110000B
LCALL SByte
RET
SendData: MOV A, R3
LCALL SByte
MOV A, R4
LCALL SByte
MOV A, R5
LCALL SByte
RET

;***** Left/Right Checking *****
CkLeft: MOV P0, #0FFH
SETB Intr
CLR LeftCS
JNB Intr, $
CLR RdAtOD
MOV SensorBuf, P0
SETB RdAtOD
SETB LeftCS
SETB RightCS
SETB WrAtOD
RET

```

```

CkRight:    MOV     P0,#0FFH
            SETB   Intr
            CLR    RightCS
            JNB   Intr,$
            CLR    RdAtOD
            MOV   SensorBuf,P0
            SETB   RdAtOD
            SETB   LeftCS
            SETB   RightCS
            SETB   WrAtOD
            RET

;*** Carriage Return and Line Feed **
CrLf:      MOV     A,#0AH
            LCALL  SByte
            MOV     A,#0DH
            LCALL  SByte
            RET

;***** Send Byte *****
;Send Byte to Serial Port
;OUT = A
;REG = A

SByte:     JNB    TI,$           ;Wait for Send
            CLR    TI
            MOV    SBUF,A
            RET

;***** Receive Byte *****
;Receive Byte from Serial Port
;IN = A
;REG = A

RByte:     JNB    RI,RByte      ;Wait for Receive
            CLR    RI
            MOV    A,SBUF
            RET

;***** Delay *****
DellmS:    MOV     R2,#0H
            MOV     R3,#1H
DmSEC:     MOV     R4,#230
DmSEC1:    NOP
            NOP
            DJNZ   R4,DmSEC1
            DJNZ   R3,DmSEC
            MOV    A,R2
            CJNE   A,#0,DmSEC2
            RET
DmSEC2:    DEC     R2
            SJMP   DmSEC

            END

```

โปรแกรมวิชาเบสิกที่ใช้ในส่วนแสดงผล มีดังนี้

```
Dim St%
Dim Delay%
Dim Status$
Dim Top1%
Dim Top2%
Dim I%
Dim FL1%
Dim FL2%
Dim FR1%
Dim FR2%
Dim FLTime%(11)
Dim FRTime%(11)

Dim T0%
Dim T1%
Dim T2%
Dim T3%
Dim T4%
Dim T5%
Dim T6%
Dim T7%
Dim T8%
Dim T9%
Dim T10%

Sub Convert()
    Var% = Label4.Caption
    Top1% = 5880 - (14.4 * Var%)
    Var% = Label5.Caption
    Top2% = 5880 - (14.4 * Var%)
End Sub

Sub TxRxCommPort()
    MSComm1.CommPort = 2
    MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
    MSComm1.InputLen = 0
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = "L"
    Do
        Data$ = MSComm1.Input
        Label4.Caption = Data$
        MSComm1.Output = "R"
    Do
        Data$ = MSComm1.Input
        Label5.Caption = Data$
    MSComm1.Output = Chr$(10) + Chr$(13)
    MSComm1.PortOpen = False
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อลดความเสี่ยงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Sub DispLine(I%, X1%, X2%, FL0%, FL1%, FR0%, FR1%)
```

```
Line1(I).Visible = True  
Line2(I).Visible = True
```

```
Line1(I).X1 = X1  
Line1(I).X2 = X2  
Line1(I).Y1 = FL0  
Line1(I).Y2 = FL1
```

```
Line2(I).X1 = X1  
Line2(I).X2 = X2  
Line2(I).Y1 = FR0  
Line2(I).Y2 = FR1
```

```
End Sub
```

```
Sub Pause(millisecond)
```

```
EndofPause# = Timer + millisecond / 1000
```

```
Do
```

```
X% = DoEvents()
```

```
Loop While Timer < EndofPause#
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
St = 0
```

```
Delay = 0.001
```

```
T0% = 960
```

```
T1% = 1800
```

```
T2% = 2640
```

```
T3% = 3480
```

```
T4% = 4320
```

```
T5% = 5160
```

```
T6% = 6000
```

```
T7% = 6840
```

```
T8% = 7680
```

```
T9% = 8520
```

```
T10% = 9360
```

```
For I = 0 To 17
```

```
Label1(I).Visible = False
```

```
Next I
```

```
For I = 0 To 18
```

```
Line10(I).Visible = False
```

```
Next I
```

```
For I = 0 To 1
```

```
SSPanel1(I).Visible = False
```

```
Next I
```

```
For I = 0 To 9
Line1(I).Visible = False
Next I
```

```
For I = 0 To 9
Line2(I).Visible = False
Next I
```

```
For I = 0 To 9
Line3(I).Visible = False
Next I
```

```
For I = 0 To 9
Line4(I).Visible = False
Next I
```

```
Label3.Visible = False
Label4.Visible = False
Label5.Visible = False
```

```
Picture1.Visible = True
```

```
SSCommand2.Enabled = True
SSCommand4.Enabled = False
SSCommand5.Enabled = False
SSCommand6.Enabled = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SSCommand2_Click()
```

```
***** Line Graph *****
```

```
Label3.Caption = "LineGraph"
```

```
For I = 0 To 17
Label1(I).Visible = True
Next I
```

```
For I = 0 To 18
Line10(I).Visible = True
Next I
```

```
For I = 0 To 1
SSPanel1(I).Visible = True
Next I
```

```
Label1(7).Caption = "T1"
Label1(8).Caption = "T2"
Label1(9).Caption = "T3"
Label1(10).Caption = "T4"
Label1(11).Caption = "T5"
Label1(12).Caption = "T6"
Label1(13).Caption = "T7"
Label1(14).Caption = "T8"
```

```
Label1(15).Caption = "T9"  
Label1(16).Caption = "T10"
```

```
SSPanel1(0).Top = 240  
SSPanel1(0).Left = 6060  
SSPanel1(0).Width = 1455  
SSPanel1(0).BackColor = &HFF  
SSPanel1(0).ForeColor = &HFFFFFF  
SSPanel1(0).BevelOuter = 1  
SSPanel1(1).Top = 240  
SSPanel1(1).Left = 7920  
SSPanel1(1).Width = 1455  
SSPanel1(1).BackColor = &HFF0000  
SSPanel1(1).ForeColor = &HFFFFFF  
SSPanel1(1).BevelOuter = 1  
Picture1.Visible = False
```

```
SSCommand2.Enabled = False  
SSCommand4.Enabled = True  
SSCommand5.Enabled = False  
SSCommand6.Enabled = False  
SSCommand7.Enabled = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SSCommand4_Click()
```

```
!***** Run *****
```

```
St = 0  
MSComm1.CommPort = 2  
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"  
SSCommand2.Enabled = False  
SSCommand4.Enabled = False  
SSCommand5.Enabled = True  
SSCommand6.Enabled = False
```

```
!***** T0-T1 *****
```

```
TxRxCommPort  
Convert
```

```
FLTime(0) = Top1 'Red  
FRTime(0) = Top2 'Blue
```

```
TxRxCommPort  
Convert
```

```
FLTime(1) = Top1 'Red  
FRTime(1) = Top2 'Blue
```

```
DispLine 0, 960, 1800, FLTime(0), FLTime(1), FRTime(0), FRTime(1)
```

```
Pause Delay
```

```
If St = 1 Then
```

```
GoTo AA
```

```
Else
```

```
End If
```

```

***** T1-T2 *****
      TxRxCommPort
      Convert
      FLTime(2) = Top1      'Red
      FRTime(2) = Top2      'Blue

DispLine 1, 1800, 2640, FLTime(1), FLTime(2), FRTime(1), FRTime(2)
      Pause Delay

      If St = 1 Then
      GoTo AA
      Else
      End If

***** T2-T3 *****
      TxRxCommPort
      Convert
      FLTime(3) = Top1      'Red
      FRTime(3) = Top2      'Blue

DispLine 2, 2640, 3480, FLTime(2), FLTime(3), FRTime(2), FRTime(3)
      Pause Delay

      If St = 1 Then
      GoTo AA
      Else
      End If

***** T3-T4 *****
      TxRxCommPort
      Convert
      FLTime(4) = Top1      'Red
      FRTime(4) = Top2      'Blue

DispLine 3, 3480, 4320, FLTime(3), FLTime(4), FRTime(3), FRTime(4)
      Pause Delay

      If St = 1 Then
      GoTo AA
      Else
      End If

***** T4-T5 *****
      TxRxCommPort
      Convert
      FLTime(5) = Top1      'Red
      FRTime(5) = Top2      'Blue

DispLine 4, 4320, 5160, FLTime(4), FLTime(5), FRTime(4), FRTime(5)
      Pause Delay

      If St = 1 Then
      GoTo AA
      Else
      End If

```

```
'***** T5-T6 *****  
TxRxCommPort  
Convert  
FLTime(6) = Top1      'Red  
FRTime(6) = Top2      'Blue
```

```
DispLine 5, 5160, 6000, FLTime(5), FLTime(6), FRTime(5), FRTime(6)  
Pause Delay
```

```
If St = 1 Then  
GoTo AA  
Else  
End If
```

```
'***** T6-T7 *****  
TxRxCommPort  
Convert  
FLTime(7) = Top1      'Red  
FRTime(7) = Top2      'Blue
```

```
DispLine 6, 6000, 6840, FLTime(6), FLTime(7), FRTime(6), FRTime(7)  
Pause Delay
```

```
If St = 1 Then  
GoTo AA  
Else  
End If
```

```
'***** T7-T8 *****  
TxRxCommPort  
Convert  
FLTime(8) = Top1      'Red  
FRTime(8) = Top2      'Blue
```

```
DispLine 7, 6840, 7680, FLTime(7), FLTime(8), FRTime(7), FRTime(8)  
Pause Delay
```

```
If St = 1 Then  
GoTo AA  
Else  
End If
```

```
'***** T8-T9 *****  
TxRxCommPort  
Convert  
FLTime(9) = Top1      'Red  
FRTime(9) = Top2      'Blue
```

```
DispLine 8, 7680, 8520, FLTime(8), FLTime(9), FRTime(8), FRTime(9)  
Pause Delay
```

```
If St = 1 Then  
GoTo AA  
Else  
End If
```

```

***** T9-T10 *****
      TxRxCommPort
      Convert
      FLTime(10) = Top1      'Red
      FRTime(10) = Top2      'Blue

DispLine 9, 8520, 9360, FLTime(9), FLTime(10), FRTime(9), FRTime(10)
      Pause Delay
      If St = 1 Then
          GoTo AA
      Else
          End If

```

Shift:

```

      TxRxCommPort
      Convert
      For I = 0 To 10
          FLTime(I) = FLTime(I + 1)
          FRTime(I) = FRTime(I + 1)
      Next I
      X% = 960
      For I = 0 To 8
DispLine 1, X%, (X% + 840), FLTime(I), FLTime(I + 1), FRTime(I),
          FRTime(I + 1)
          X% = X% + 840
      Next I
      FLTime(10) = Top1      'Red
      FRTime(10) = Top2      'Blue

DispLine 9, 8520, 9360, FLTime(9), FLTime(10), FRTime(9), FRTime(10)
      Pause Delay
      If St = 1 Then
          GoTo AA
      Else
          End If
      GoTo Shift
      AA:
      End Sub

```

Private Sub SSCommand5_Click()

```

***** Stop *****
      St = 1
      SSCommand2.Enabled = False
      SSCommand4.Enabled = False
      SSCommand5.Enabled = False
      SSCommand6.Enabled = True
      SSCommand7.Enabled = False

```

End Sub

```

Private Sub SSCommand6_Click()

    '***** Clear *****
        For I = 0 To 9
            Line1(I).Visible = False
        Next I
        For I = 0 To 9
            Line2(I).Visible = False
        Next I
        For I = 0 To 9
            Line3(I).Visible = False
        Next I
        For I = 0 To 9
            Line4(I).Visible = False
        Next I
        Picture1.Visible = True
        For I = 0 To 17
            Label1(I).Visible = False
        Next I
        For I = 0 To 18
            Line10(I).Visible = False
        Next I
        For I = 0 To 1
            SSPanel1(I).Visible = False
        Next I
        For I = 7 To 16
            Label1(I).Visible = False
        Next I

        SSCommand2.Enabled = True
        SSCommand4.Enabled = False
        SSCommand5.Enabled = False
        SSCommand6.Enabled = False
        SSCommand7.Enabled = True
        St = 0

    End Sub

Private Sub SSCommand7_Click()

    '***** Exit *****
    MsgStr$ = "คุณต้องการออกจากโปรแกรมใช่หรือไม่ "
        Options = 4
        Title$ = "คำเตือน"
    Response = MsgBox(MsgStr$, Options + 48, Title$)
    Select Case Response
        Case 6 'Yes
            Unload Me
        Case 7 'No
    End Select

    End Sub

```



ภาคผนวก ข. คำคำชี้แจง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM**+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers****General Description**

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than $5\mu W$. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multi-Drop RS-232 Networks

Features**Superior to Bipolar**

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μF)	SHDN & Three-State	Rx Active In SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	4.7/10	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

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.

MAX220-MAX249

ไม่ว่าคุณคือ... ที่สั่ง... ก็ทั้งหมัดให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V _{CC})	.....-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C) ...440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) ...696mW
T _{IN}	.....-0.3V to (V _{CC} - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....762mW
R _{IN} (Except MAX220)	.....±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....762mW
R _{IN} (MAX220)	.....±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)....800mW
T _{OUT} (Except MAX220) (Note 1)	.....±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C) .....640mW
T _{OUT} (MAX220)	.....±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)....800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)....842mW
T _{OUT}	.....±15V	Operating Temperature Ranges
R _{OUT}	.....-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX2_ _AC_ _ , MAX2_ _C_ _0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	.....Continuous	MAX2_ _AE_ _ , MAX2_ _E_ _-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX2_ _AM_ _ , MAX2_ _M_ _-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)....842mW		Storage Temperature Range .....-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)....889mW		Lead Temperature (soldering, 10sec) .....+300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, \overline{SHDN} or V_{CC} = 0V.
Note 2: For the MAX220, V+ and V- can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

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—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V_{CC} = +5V ± 10%, C1-C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2-C4 = 0.33µF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND		±5	±8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High			2	1.4		V
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation			5	40	µA
	\overline{SHDN} = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220			±0.01	±1	
Output Leakage Current	V _{CC} = 5.5V, \overline{SHDN} = 0V, V _{OUT} = ±15V, MAX222/242			±0.01	±10	µA
	V _{CC} = \overline{SHDN} = 0V, V _{OUT} = ±15V			±0.01	±10	
Data Rate	All except MAX220, normal operation			200	116	kbits/ sec
	MAX220			22	20	
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V+ = V- = 0V, V _{OUT} = ±2V		300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V		±7	±22		mA
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R2 _{IN}	0.8	1.3		V
		MAX243 R2 _{IN} (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R2 _{IN}		1.8	2.4	V
		MAX243 R2 _{IN} (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V _{CC} = 5V, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance			3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA		3.5	V _{CC} - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND		-2	-10		mA
	Shrinking V _{OUT} = V _{CC}		10	30		

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V_{CC} = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1μF, MAX220, C1 = 0.047μF, C2-C4 = 0.33μF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

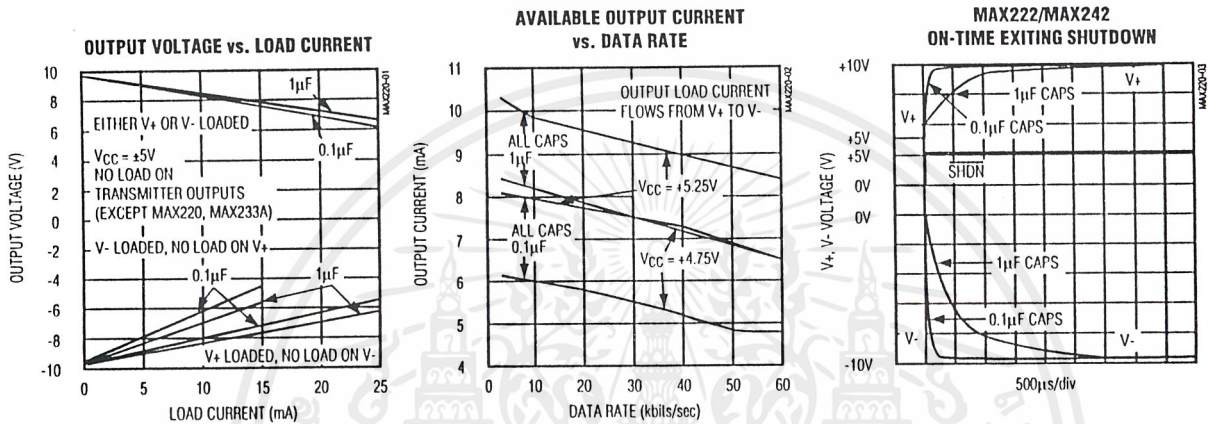
PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = V _{CC} or EN = V _{CC} (SHDN = 0V for MAX222), 0V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}			±0.05	±10	μA
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current (SHDN = V _{CC}), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T _A = +25°C		0.1	10	μA
		T _A = 0°C to +70°C		2	50	
		T _A = -40°C to +85°C		2	50	
		T _A = -55°C to +125°C		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				±1	μA
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C _L = 50pF to 2500pF, R _L = 3kΩ to 7kΩ, V _{CC} = 5V, T _A = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/μs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t _{PHLT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	μs
		MAX220		4	10	
	t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t _{PHLR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	μs
		MAX220		0.6	3	
	t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t _{PHLS}	MAX242		0.5	10	μs
	t _{PLHS}	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t _{ER}	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t _{DR}	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t _{ET}	MAX222/242, 0.1μF caps (includes charge-pump start-up)		250		μs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t _{DT}	MAX222/242, 0.1μF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLT} - t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLR} - t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

Note 3: MAX243 R2_{OUT} is guaranteed to be low when R2_{IN} is ≥ 0V or is floating.

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Typical Operating Characteristics

MAX220/MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243



+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

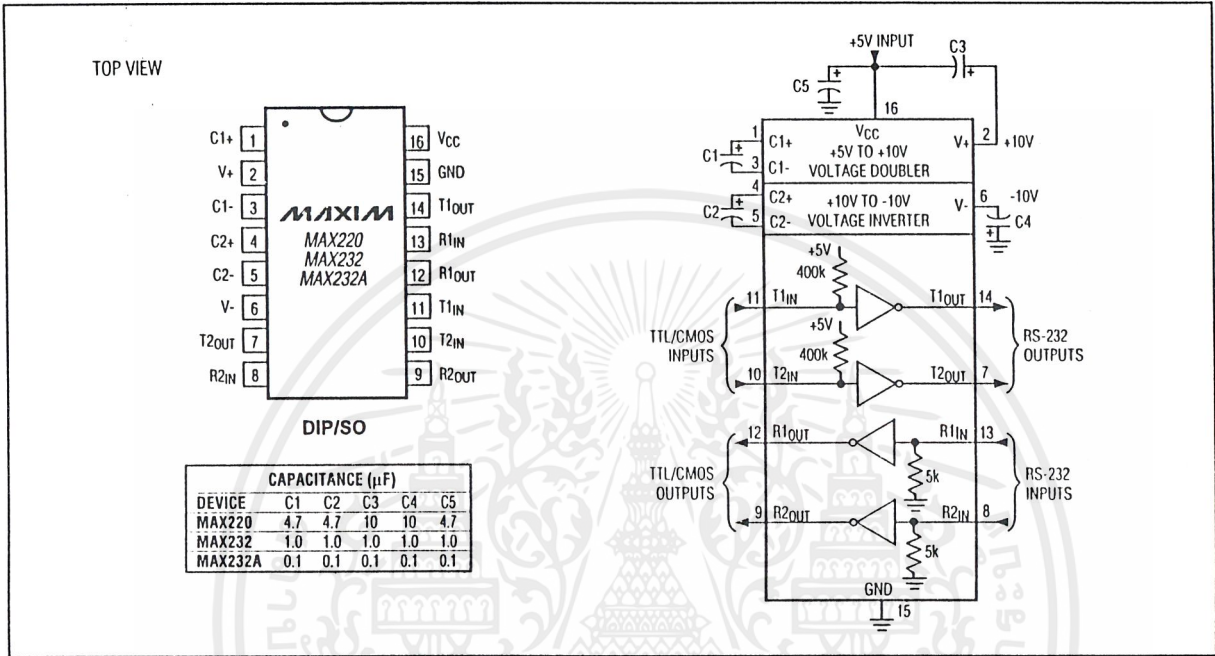


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

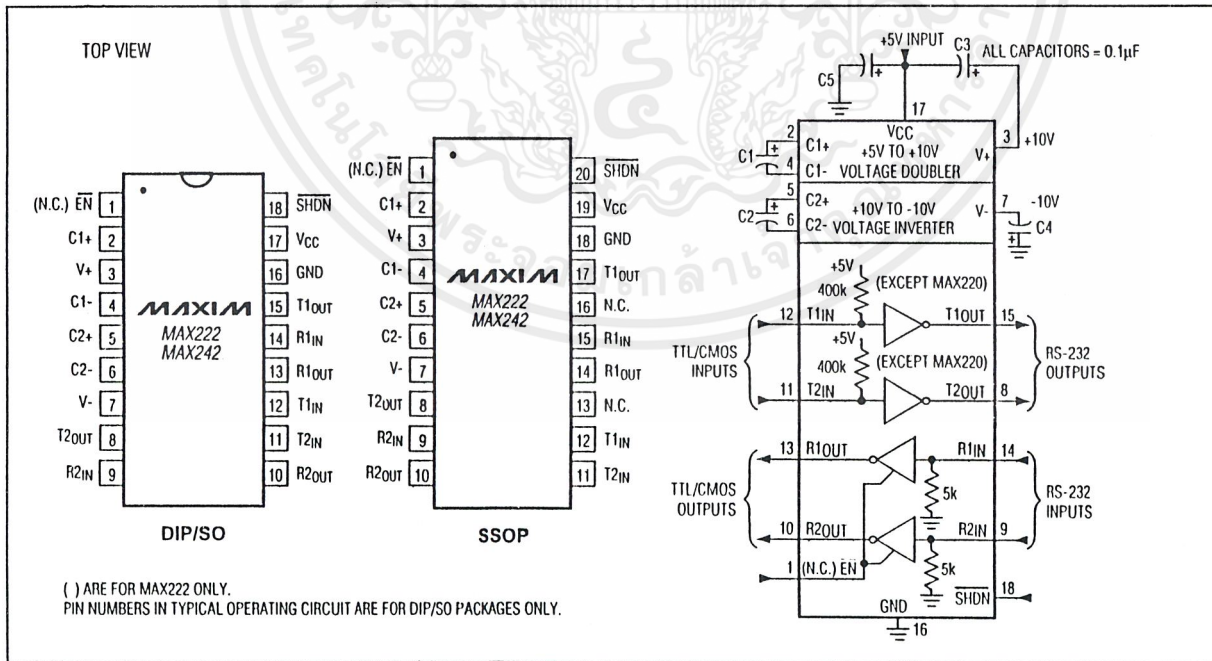


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังนี้
อาจารย์ สมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ
นาย สมพล พาชิตกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในด้าน โปรแกรม
นาย สุจินต์ ยืนองอาจ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำปริญญาานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล ,จำลอง ทรูอุตสาหะ , “วิซวลเบสิก 5 ฉบับโปรแกรมเมอร์” บริษัทดวงกมลสมัย จำกัด
เดช พุทธเจริญทอง รศ. ดร. , “การวิเคราะห์การสั้นสะเทือน” ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ
บัญชา กังตระกุล , ปานเพชร ชินินทร , ยงยศ จินารักษ์ “กลศาสตร์ยานยนต์” บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
(มหาชน)

พิพัฒน์ เลาหสงคราม ผศ. , “ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51” คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิสุทธิ อัสวณทวงศ์ “พื้นฐาน A/D และ D/A คอนเวอร์เตอร์” วารสารคิมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ,
ฉบับที่ 135 หน้า 105 – 111

วิโรจน์ อัสวรังสี , ชัชวาล แต้มฤทธิวงศ์ , กรชูลี ใจสถิตย์, “การใช้งานอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี”
บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)

สมยศ จุณณปิยะ รศ., “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51” คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุจิตต์ สนองคุณ , มนตรี ชันกสิกรรม , พิศาล ขำคม, “ไฟฟ้ารถยนต์” มณีรัตน์การพิมพ์