



เครื่องวัดความสั่นสะเทือน

THE VIBRATION INSTRUMENT



โดย
นายคชา ศรีสุรินทร์
นายอนันต์ ศศิธรชัยเดช

วัน เดือน ปี.....-1 ค.ศ. 2539
เลขทะเบียน..... 038401
เลขเรียกหนังสือ..... T99421 ค.11 ค.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038401

เครื่องวัดความสั่นสะเทือน
THE VIBRATION INSTRUMENT



โดย
นายคชา ศรีสุรินทร์ 37013189
นายอนันต์ ศศิธรชัยเดช 37013226

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ กิติพล ชิตสกุล

ปริญญานิพนธ์สำหรับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2539 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

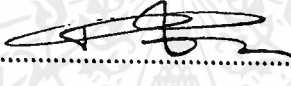
ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2539

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องวัดความต้านสะเทือน

ผู้จัดทำ

1. นายคชา ศรีสุรินทร์ 37013189
2. นายอนันต์ ศศิธรชัยเดช 37013226


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์กิตติพล ชิตสกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความสั่นสะเทือน

THE VIBRATION INSTRUMENT

นายคชา ศรีสุรินทร์ 37013189

นายอนันต์ ศศิธรชัยเดช 37013226

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความดันสะท้อน

คชา ศรีสุรินทร์

อนันต์ ศศิธรชัยเดช

อ. กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

โครงการเครื่องวัดความดันสะท้อน มีจุดประสงค์ที่จะใช้งานทางการแพทย์ ในการตรวจับอาการต้นของอวัยวะ เช่น มือ ในผู้ป่วยที่มีอาการแอลกอฮอล์ติดซึม ตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในโครงการนี้คือ สเตรนเกจส์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนค่าความต้านทานเมื่อมีการโค้งงอของตัวมันเกิดขึ้น โดยในการนำไปใช้งานร่วมกับวงจรวิคท์ส โคนบรีดจ์ แล้วนำแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่ได้ไปทำการขยายเพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลต่อไป สำหรับรายละเอียดในเรื่องต่างๆ ได้กล่าวไว้ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

THE VIBRATION INSTRUMENT

Kacha Srisurin

Anan Sasithonchaiyadech

Kitipol Chitsakul Advisor

1996

ABSTRACT

The major aim of this project is to develop an instrument for detecting the vibration of an organ such as the hand in an alcoholic patient. The vibration sensor, an important part of this project, is developed from a strain gauge by using its property of variation of resistance when its body is bend. As a part of Wheatstone 's bridge, the change of resistance when it vibrates, provokes the potential different across the bridge. In order to obtain large enough amplitude of vibrating signal for counting and display a conditioning amplifier is used. Some results and details of the project are also presented in this thesis.

คำนำ

เทคโนโลยีในโลกยุคปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาไปในทางที่จะทำให้มนุษย์ได้รับความสะดวกสบายเพิ่มขึ้น จึงได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านต่างๆอย่างมากมาย เช่น ทางด้านการศึกษา, การคมนาคม, การแพทย์ เป็นต้น สำหรับทางด้านทางการแพทย์ ได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือ เครื่องวัดต่างๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ทางด้านการตรวจรักษาผู้ป่วยขึ้นมามากมาย ปรริญญาณิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอเครื่องวัดความสั่นสะเทือนเพื่อนำไปใช้ในการตรวจอาการสั่นของร่างกายผู้ป่วยที่มีอาการแอลกอฮอล์ลิซึมเป็นต้น เครื่องวัดความสั่นสะเทือนเครื่องนี้ได้นำตัวสเตรนเกจส์ซึ่งนิยมใช้กับงานทางด้านการวัดทางอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์ในโครงงานนี้ สำหรับรายละเอียดต่างๆได้กล่าวไว้ในปรริญญาณิพนธ์ในฉบับนี้แล้ว

นายคชา ศรีสุรินทร์

นายอนันต์ ศศิธรชัยเดช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
คำนำ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 สเตรนเกจส์ และวงจรวัด	2
2.1 สเตรนเกจส์	2
2.2 วงจรวัด	4
2.3 Interfacing Resistive transducers	6
บทที่ 3 การขยายสัญญาณไฟฟ้าโดยอินตูดูเมนต์เตชั่น แอมพลิไฟเออร์	9
3.1 คุณสมบัติของอินตูดูเมนต์เตชั่น แอมพลิไฟเออร์	9
บทที่ 4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดย RS 232C	11
4.1 รูปแบบการติดต่อการสื่อสารแบบอนุกรม	11
4.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส	13
4.3 มาตรฐาน RS232C	14
4.4 ลักษณะของสัญญาณ RS 232C	14
4.5 การกำหนดขาสัญญาณขาต่างๆ ของ RS 232C	15
บทที่ 5 การทำงานของวงจรวัด	17
5.1 วงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่	17
5.2 วิตช์สโตนบรีดจ์	17
5.3 วงจรวัดอินตูดูเมนต์เตชั่น แอมพลิไฟเออร์	18
5.4 วงจรวัดขยาย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5	วงจรงรองความถี่ต่ำผ่าน	20
5.6	วงจรแหล่งจ่ายไฟ	20
5.7	วงจรมับความถี่	21
5.8	วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลสำหรับคอมพิวเตอร์	25
บทที่ 6	การทดลองและผลการทดลอง	28
6.1	การหาช่วงความถี่ของสเตรนเกจส์	28
6.2	การทดลองหาขนาดแรงดันจากวงจรวิทท์ส โคนบริดจ์	33
6.3	การทดสอบวงจรมับความถี่	33
6.4	การทดลองหาช่วงความถี่ของเครื่องวัดความถี่อิสระ	34
6.5	การใช้วงจรมแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลติดต่อกับคอมพิวเตอร์	34
6.6	การทดลองโปรแกรมประมวลสัญญาณความถี่อิสระ	35
บทที่ 7	บทสรุป	42
	หนังสืออ้างอิง	
	กิตติกรรมประกาศ	
	ภาคผนวก	

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1.1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดความต้านสะเทือน	1
รูป 2.1 ลักษณะทั่วไปของสเตรนเกจส์	2
รูป 2.2 การต่อสเตรนเกจส์ใช้งาน	4
รูป 2.3 แสดงรูปร่างของวงจรถิบรีค	5
รูป 2.4 วงจรถิบรีคที่ต่อใช้งานโดยสามารถปรับค่า R_1 ได้	6
รูป 2.5 วงจรถิบรีคที่ต่อใช้งานทั่วไป	7
รูป 2.6 วงจรแหล่งจ่ายกระแสสำหรับวงจรถิบรีค	7
รูป 2.7 วงจรถิบรีคที่เพิ่มทรานส์ควิเซอร์เป็น 2 ตัว	8
รูป 4.1 รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม	11
รูป 4.2 ระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมาน โดยใช้ระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	12
รูป 4.3 การแชมป์ลิ่งที่ความถี่มีค่ามากกว่าความถี่ของสัญญาณ 10 เท่า	13
รูป 4.4 พอร์แทบิลิตี้การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส	13
รูป 4.5 การใช้ RS 232C เชื่อมต่ออุปกรณ์	14
รูป 4.6 ย่านของแรงดันไฟฟ้าสัญญาณ RS 232C	15
รูป 4.7 แสดงขาพอร์ตอนุกรมแบบ DB-25 และ DB-9	15
รูป 5.1 วงจร Constant Current Source และวงจรถิบรีค Wheatstone Bridge	17
รูป 5.2 วงจร Instrumentation Amplifier	18
รูป 5.3 วงจรขยายสัญญาณ	19
รูป 5.4 วงจรกรองความถี่ต่ำ	20
รูป 5.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	20
รูป 5.6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรมับความถี่	21
รูป 5.7 วงจรสมบรูณ์ของเครื่องวัดความถี่ต่ำ	24
รูป 5.8 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	26
รูป 5.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	27
รูป 6.1 แสดงการต่อวงจรทดลอง	28
รูป 6.2 กราฟการทดลองจากตาราง 6.1	30
รูป 6.3 กราฟการทดลองจากตาราง 6.2	32

รูป 6.4 วงจรที่ต่อเข้าส่วนอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล	35
รูป 6.5 หน้าจอของโปรแกรมประมวลสัญญาณความถี่ต่อเนื่อง	35
รูป 6.6 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 1	36
รูป 6.7 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 2	36
รูป 6.8 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 3	37
รูป 6.9 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 4	37
รูป 6.10 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 5	38
รูป 6.11 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 6	38
รูป 6.12 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 7	39
รูป 6.13 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 8	39
รูป 6.14 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 9	40
รูป 6.15 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่ม F5	40

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 4.1 กำหนดมาตรฐานแรงดันไฟฟ้า	14
ตาราง 6.1 $V_{in} 0.2V_{p-p}$ ปรับค่าความถี่ขึ้นเรื่อยๆ	29
ตาราง 6.2 ค่าความถี่เท่าตาราง 6.1 เปลี่ยนค่าของสัญญาณอินพุทให้มีค่าลดลง	31
ตาราง 6.3 แสดงค่าต่ำสุดสูงสุดที่เอาต์พุทของวงจรวิคท์ส ไคโนบริดจ์	33
ตาราง 6.4 เปรียบเทียบความถี่ที่ได้จากสโคปกับคิสเพลย์ของวงจรมับความถี่	33



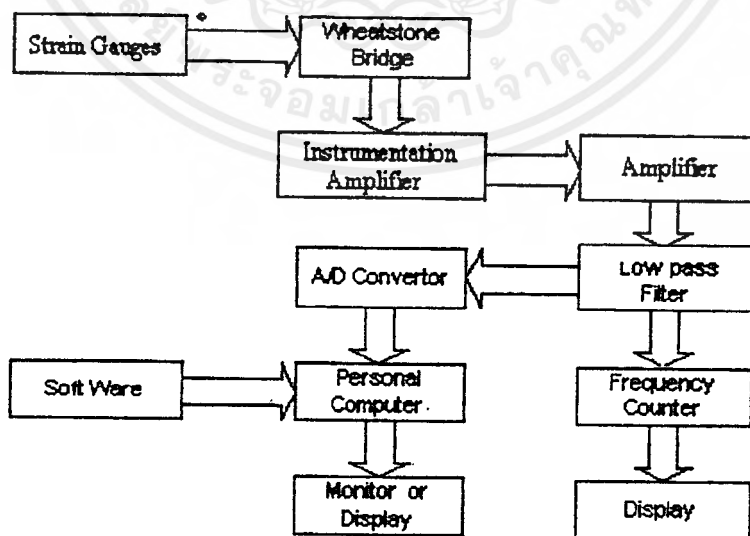
บทที่ 1

บทนำ

การแพทย์ในปัจจุบันนี้ ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ทางการตรวจรักษาผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้มีการประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องวัดต่างๆ มาช่วยในการตรวจรักษามากมาย

สำหรับเครื่องวัดความตึงเครียดนี้ มีจุดประสงค์ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ทางการตรวจวัดอาการตึงของร่างกายของผู้ป่วย เช่น ผู้ป่วยที่มีอาการของแอตทอกฮอสต์ลิสซึม โดยการตรวจจับทางมือของผู้ป่วย ตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในเครื่องวัดความตึงเครียดนี้คือ ตัวสเตรนเกจส์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนค่าความต้านทาน เมื่อมีการโค้งงอของตัวมันเกิดขึ้นค่าความต้านทานที่เปลี่ยนค่าไปนี้มีค่าน้อยมากๆในการนำมาไปใช้งานจึงต้องต่อตัวสเตรนเกจส์เข้ากับวงจรวัดสโตนบริดจ์ แล้วนำเอาค่าแรงดันที่ได้ไปทำการขยาย เพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลจากวงจรนับความถี่ อีกส่วนหนึ่งนำไปเข้าวงจร A/D CONVERTOR เพื่อแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์อีกส่วนหนึ่งด้วย

การทำงานของเครื่องวัดความตึงเครียด สามารถแยกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังรูป 1.1



รูป 1.1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดความตึงเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีแรงกระทำในทิศทางของความยาว สามารถอธิบายได้ว่า เสมือนว่าความเค้นจะทำให้ลวด มีความยาวมากขึ้นเป็นผลทำให้ความต้านทานมีค่าเพิ่มมากขึ้น ตัวสเตรนเกจทั้งแบบลวดและแบบ foil โดยทั่วไปมีความต้านทานในขณะที่ไม่มีแรงเค้นเกิดขึ้น มีค่าประมาณ 120 โอห์ม และ 350 โอห์ม และความยาวปกติของเส้นลวดมีความยาวตั้งแต่ 0.2 cm ถึง 10 cm

การทำงานของสเตรนเกจ จะนำการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัด A และความยาว L เมื่อมีแรงกระทำต่อตัวสเตรนเกจ เพื่อให้ตัวสเตรนเกจเกิดการเปลี่ยนค่าความต้านทาน เช่นมีแรงดึงมาทำให้ L เพิ่มขึ้น และทำให้ A ลดลง สิ่งที่ได้ก็คือความยาวจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากมีแรงมากทำให้ L ลดลง และ A เพิ่มขึ้น ผลที่ได้ก็คือความต้านทานจะลดลงเราสามารถหาค่าความต้านทานได้โดยใช้สูตร

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

เมื่อ R = ความต้านทานของตัวสเตรนเกจ

ρ = ค่า Resistivity ของวัตถุ

L = ความยาวของตัวนำ

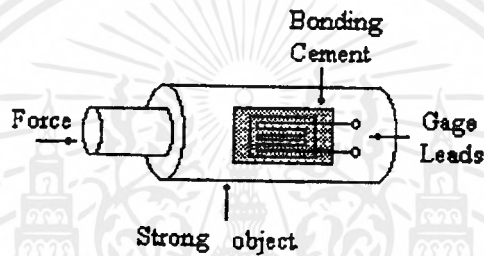
A = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ

ในทางอุดมคติสเตรนเกจจะให้ความต้านทานที่เปลี่ยนค่าความต้านทานที่เป็นแบบ linear และมีค่าความต้านทานที่สูงเมื่อมีความเค้นเกิดขึ้น การวัดค่าความไวของตัวสเตรนเกจทำได้โดยเมื่อมีแรงเค้นเกิดขึ้น ค่าเกจ แฟกเตอร์ (Gauge factor) หรือความไว จะหาได้จากอัตราส่วนของความต้านทานที่เปลี่ยนไปเล็กน้อย ($\Delta R/R$) กับค่าความยาวที่เปลี่ยนไปเล็กน้อย ($\Delta L/L$) เช่นกัน โดยทั่วไปค่าเกจ แฟกเตอร์จะมีค่าระหว่าง 2 ถึง 5 การหาค่าของเกจ แฟกเตอร์หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Gauge factor} = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$

สำหรับตัวสเตรนเกจ ที่เป็นที่นิยมอีกชนิดหนึ่งคือแบบเซมิคอนดักเตอร์สเตรนเกจ (Semiconductor Strain gauge) โดยเซมิคอนดักเตอร์สเตรนเกจ นี้จะมีค่าความไวที่สูงกว่าแบบขลวดและแบบ foil การทำงานของเซมิคอนดักเตอร์สเตรนเกจ จะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดเกิดขึ้นกับวัตถุที่เป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งมีผลต่อความต้านทานตัวสเตรนเกจชนิดนี้จะนำแผ่น Diaphragm ที่แกะออกจาก chip IC มาใช้เป็นตัวเซนเซอร์ เมื่อเกิดแรงขึ้น แผ่น Diaphragm จะ

ผลึกกระแสไฟฟ้าออกมา ค่า GF มีค่ามากกว่า 65 ซึ่งมีค่ามากกว่าแบบขดลวดและแบบ foil มาก ข้อเสียของเซมิคอนดักเตอร์สเตรนเกจส์ คือมีความไวต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเร็วมาก ซึ่งมีผลต่อการทำงานของวงจร รูปร่างของการใช้งานของตัวสเตรนเกจส์แสดงดัง รูป 2.2 โดยการใช้งานอาจใช้ตัวสเตรนเกจส์ มากกว่าหนึ่งตัวก็ได้ติดอยู่บนคานหรือโลหะ



รูป 2.2 การต่อสเตรนเกจส์ใช้งาน

ตัวสเตรนเกจส์ ก็จะทำหน้าที่ขยายความแตกต่างออกไป โดยส่วนมากสเตรนเกจส์ จะต่อการใช้งานร่วมกับวงจรบริดจ์

2.2 วงจรบริดจ์

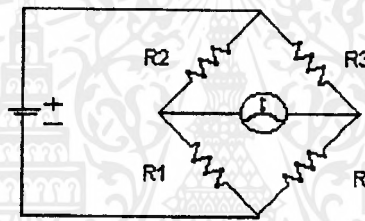
วงจรบริดจ์คืออุปกรณ์วัดสำหรับการสร้างระบบการวัดด้วยการเปรียบเทียบ วงจรบริดจ์ ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ในการวัดค่าความต้านทาน, ค่าความเหนียวหนา, ค่าการเก็บประจุไฟฟ้า, และค่าอิมพีแดนซ์ วงจรบริดจ์จะมี 4 ส่วนหรือที่เรียกกันว่ามี 4 แขนมาต่อกัน แบบอนุกรมในลักษณะคล้ายเพชร มีแหล่งจ่ายไฟแรงดันแบบกระแสสลับหรือแบบกระแสตรงต่อคร่อมอยู่ระหว่างคู่จุดที่ตรงข้ามกัน และมีมิเตอร์หรือวงจรไฟฟ้าเอาท์พุทต่ออยู่ระหว่างคู่จุดที่อยู่ตรงข้ามกันอีกคู่หนึ่ง

วงจรบริดจ์ทำงานด้วยหลักการพื้นฐานการหักล้างกัน (Nullindication) เมื่อวงจรบริดจ์ สมดุลจะให้เอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นการแสดงผลจึงไม่ต้องมีค่าปรับแต่ง (Calibrate) อุปกรณ์แสดงผล ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบวัดที่มีความแม่นยำสูงถูกสร้างด้วยวงจรบริดจ์ และวงจรบริดจ์ ยังสามารถควบคุมวงจรไฟฟ้าอื่นๆ ได้อีกด้วย โดยเพิ่มอุปกรณ์ที่มีความต้านทานที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเช่นอุณหภูมิหรือความดันลงไปบนแขนหนึ่งของวงจร

2.2.1 วิทท์สโตนบริดจ์

วิทท์สโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) เป็นวงจรบริดจ์ที่รู้จักกันมากที่สุด และใช้เป็นหลัก สูตรทางการเรียนค่านิเสธทรอนิกส์ที่ใช้เรียนและสอนกันอย่างกว้างขวางที่สุด วงจรบริดจ์นี้จะมีตัวต้านทานต่อขนานกัน 2 สาขา โดยแต่ละสาขาจะมีตัวต้านทานต่ออนุกรมกัน 2 ตัว แหล่งจ่ายไฟแรงดันกระแสตรงต่อคร่อมในวงจรที่มีรูปร่างเหมือนเพชร เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจร null detector คือกัลวานอมิเตอร์พื้นฐานแบบง่าย ๆ ซึ่งต่ออยู่ระหว่างสาขาที่ขนานกันเพื่อตรวจจับสถานะสมดุล

วงจรไฟฟ้าดังรูป 2.3 ได้ถูกคิดค้นในปี พ.ศ. 2377 อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่รู้จักและแพร่หลายเท่าไร จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2391 Sir Charles Wheatstone ได้แสดงให้เห็นว่าวงจรสามารถทำให้ระบบการวัดไฟฟ้ามีความถูกต้องยิ่งขึ้น



รูป 2.3 แสดงรูปร่างของวงจรบริดจ์

วิทท์สโตนบริดจ์ได้ถูกนำมาใช้งานเป็นระยะเวลานานกว่าวงจรที่ใช้วัดทางไฟฟ้าอื่นๆ แม้ว่าจะเป็นวงจรที่มีความแม่นยำในการวัดถึง 0.1% ซึ่งนับว่ามีความถูกต้องสูง แต่ก็ไม่ความสะดวกต่อการใช้งานเท่าคิจิตอลมิเตอร์สมัยใหม่

เมื่อสร้างระบบการวัดด้วยวงจรบริดจ์ เพื่อหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่า (R_x) ซึ่งเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่งในวงจรบริดจ์จะถูกปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานจนกระทั่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลใน null detector มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือวงจรบริดจ์อยู่ในสถานะสมดุล หมายความว่าความต้านทานที่ตกคร่อม R_2 มีค่าเท่ากับความต้านทานตัวที่ไม่ทราบค่า R_x และตัวต้านทาน R_1 และ R_3 มีค่าแรงดันตกคร่อมเท่ากัน ผลที่ได้รับคือ

$$I_2 \times R_1 = I_x \times R_x$$

ที่สถานะสมดุลแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_2 และ R_3 ค่าเท่ากันดังนั้น

$$I_2 \times R_2 = I_3 \times R_3$$

ผลที่ได้คือ

$$I1 = I2$$

$$I3 = Ix$$

แทนค่า I_1 ด้วย I_2 และ I_3 ด้วย I_x ลงในสมการที่ 1 จะได้สมการตามข้างล่างดังนี้

$$I2 \times R1 = I3 \times Rx$$

นำสมการ $I2 \times R2 = I3 \times R3$ หารด้วยสมการ $I2 \times R1 = I3 \times Rx$ จะได้สมการข้างล่างดังนี้

$$\frac{R2}{R1} = \frac{R3}{Rx}$$

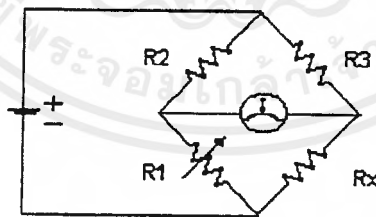
หรือเขียนอธิบายสูตรว่า

$$R2 \times Rx = R1 \times R3$$

ให้หารสมการด้วย R_2 ทั้งสองข้างจะได้สมการที่พบเห็นทั่วๆ ไปดังนี้

$$Rx = \frac{R1 \times R3}{R2}$$

สมการสุดท้ายนี้เป็นสมการที่ใช้หาค่าของ R_x หรือความต้านทานที่ไม่ทราบค่า (Unknow Resistanc) โดยใช้ความต้านทานมาตรฐาน R_1 , R_2 และ R_3 ช่วยต่อเป็นวงจรบริดจ์ร่วมกับ R_x ในทางปฏิบัติจะให้ R_2 และ R_3 เป็นตัวต้านทานมาตรฐานและให้ R_1 เป็นตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้ เมื่อต่อวงจรเสร็จแล้วจะได้ทำการปรับค่า R_1 เพื่อให้วงจรบริดจ์เกิดสถานะสมดุล ไม่สามารถมีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ได้เร็วที่สุดนั่นเอง



รูป 2.4 วงจรบริดจ์ที่ต่อใช้งานโดยสามารถปรับค่า R_1 ได้

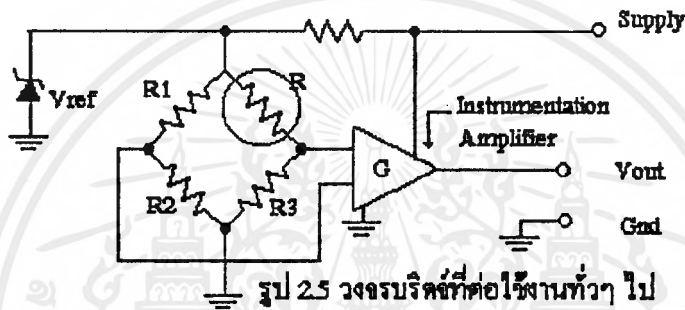
2.3 Interfacing Resistive transducers

ในการใช้ตัวสเตรนเกจส์ หรืออุปกรณ์ประเภทเซ็นเซอร์อุณหภูมิมักมีปัญหาในเรื่องของความต้านทานที่เปลี่ยนค่าไปเพียงเล็กน้อย มิเตอร์ที่ใช้อ่านค่าที่เปลี่ยนแปลงนั้นแทบจะมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างมาก ซึ่งสามารถคิดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ถึงร้อยละ 0.385% เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลง 1 องศา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

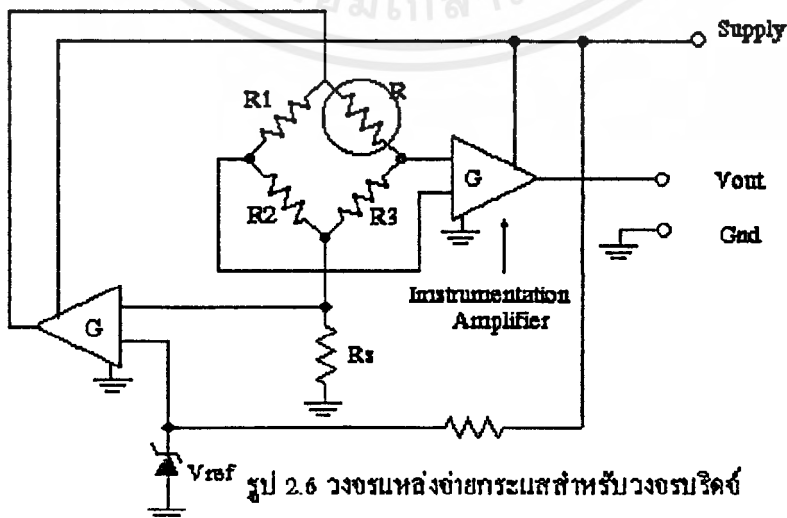
การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยใช้วงจรบริดจ์ซึ่งได้อธิบายการทำงานไปแล้วข้างต้น และยังมีอีก
 หนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพคือใช้ Interfacing Resistive transducers ตามรูป 2.5 โดยในขั้นตอนแรกที่
 เออร์ทรมีค่าเป็นแรงดันเท่ากับ 0 โวลต์ เสมือนกับว่าที่เออร์ทรมีค่า 0 องศาด้วย การปรับให้
 เออร์ทรมีค่า 0 โวลต์ ทำได้โดยปรับ R_1 , R_2 และ R_3 และก็จะได้คุณสมบัติที่ต้องการด้วย

โดยแรงดันที่เออร์ทรมีสอดคล้องนี้
$$E_0 = \frac{GV_{ref} \left(\frac{\Delta R}{R} \right)}{4 \left(1 + \frac{\Delta R}{2R} \right)}$$



ถ้าที่วงจรเกิดไม่เป็นเชิงเส้นเพราะว่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน (ΔR) วิธีแก้ไข
 โดยการเพิ่มวงจรจ่ายกระแสเข้าดังรูป 2.6 และแรงดันที่เออร์ทรมีสอดคล้องใหม่ดังนี้

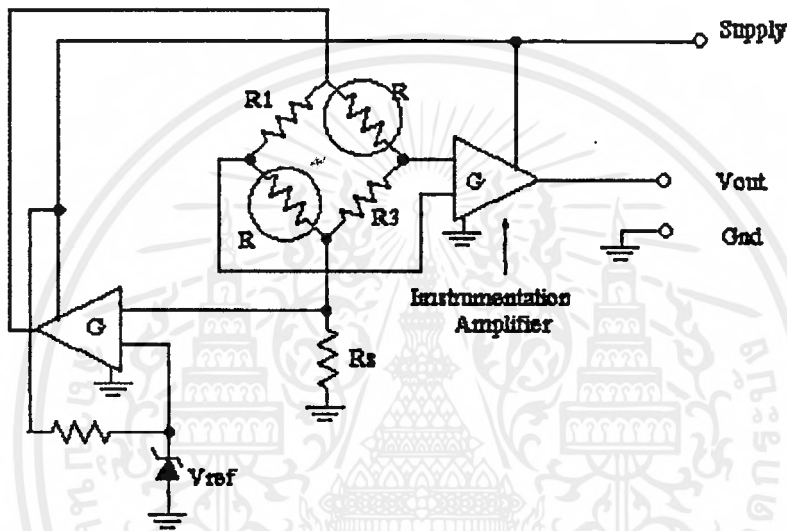
$$E_0 = \frac{GV_{ref}(\Delta R)}{R_s 4 \left(1 + \frac{\Delta R}{4R} \right)}$$



จากการเปลี่ยนแปลงวงจรจะเพิ่มความเป็นเชิงเส้นให้วงจรดียิ่งขึ้นเพราะจากสมการ ในเทอมตัวหารที่เป็น ΔR นั้นเปลี่ยนค่าจาก $2R$ มาเป็น $4R$ จึงเป็นผลทำให้ effect มีค่าลดลง

ถ้าหากว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ไม่มีผลต่อตัวอุปกรณ์มากนักอาจต่อใช้อุปกรณ์ทรานซ์ดิวเซอร์ เพิ่มเข้าไปอีกตัว ดังรูป 2.7 ก็ได้ โดยมีสูตรแรงดันเอาต์พุตดังนี้

$$E_o = GV_{ref} \left(\frac{\Delta R}{2R_s} \right)$$



รูป 2.7 วงจรบริดจ์ที่เพิ่มทรานซ์ดิวเซอร์เป็น 2 ตัว

บทที่ 3

การขยายสัญญาณไฟฟ้าโดย อินสตรูเมนต์เดชั่น แอมพลิไฟเออร์

สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากวงจรวัดสโตมบรีจนั้นเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องนำสัญญาณที่มีขนาดเล็กมากๆ นั้นมาทำการขยายให้มีความสามารถที่จะนำไปแสดงผลได้ โดยวงจรที่จะนำมาขยายนั้นมีมากมาย แต่วงจรที่มีความเหมาะสมกับโครงงานนี้มากคือวงจร อินสตรูเมนต์เดชั่น แอมพลิไฟเออร์ (Instrumentation Amplifier) ที่มีคุณสมบัติที่สามารถขจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ต่างๆ ได้อย่างดี

3.1 คุณสมบัติวงจร อินสตรูเมนต์เดชั่น แอมพลิไฟเออร์

3.1.1 อัตราการขยายสูง

การที่ศักดาไฟฟ้าที่ได้จากสเตรนเกจนั้นมีค่าต่ำมากประมาณ 0.1 - 0.9 มิลลิโวลต์ และยังอยู่ในช่วงความถี่ 1- 5 Hz จึงต้องใช้อัตราขยายที่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำนั้นด้วย เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความแรงพอเพื่อแสดงผลการวัดออกมาโดยไม่มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ซึ่งในการสร้างวงจรขยายที่มีอัตราขยายสูงมากๆ นี้ จะมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นโดยเฉพาะสัญญาณรบกวนที่เกิดจากไฟบ้าน ซึ่งมีความถี่ 50 Hz ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Amplifier) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญคือจะขยายเฉพาะสัญญาณที่เป็น Differential Mode ส่วนสัญญาณที่เป็น Common Mode จะไม่ถูกขยายให้ออกที่เออร์พุท และเนื่องจากสัญญาณรบกวนส่วนมากจะเข้าไปในวงจรขยายที่เป็น Common Mode ดังนั้นสัญญาณรบกวนจึงไม่เกิดขึ้นที่เออร์พุท

3.1.2 ค่า CMRR (Common Mode Rejection Ratio)

Common Mode Rejection Ratio คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังขยายของสัญญาณที่เป็น Differential Mode ต่อกำลังขยายของสัญญาณที่เป็น Common Mode โดยค่า CMRR นี้ เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวงจรขยายความแตกต่าง ที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ คือต้องมีอัตราขยายของสัญญาณ Differential Mode สูง และอัตราขยายของสัญญาณ Common Mode ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ต้องการขยายจะเข้าไปอินพุทในลักษณะของสัญญาณ Differential Mode ส่วนสัญญาณรบกวนไฟบ้าน 50 Hz จะเข้าไปอินพุทในลักษณะของสัญญาณ Common Mode ดังนั้นค่า CMRR ที่มีค่าสูงๆ นั้นย่อมหมายความว่าสัญญาณรบกวนจะมีโอกาสไปปรากฏที่เออร์พุทได้น้อยมาก

3.1.3 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สูง (High input Impedance)

อินพุทของวงจรรขยายแบบอินสตูเมนต์เดจัน แอมพลิไฟเออร์สร้างจาก FET op-amp ซึ่งทำงานเป็น Voltage Followers ดังนั้น อินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจรรขยายแบบอินสตูเมนต์เดจัน แอมพลิไฟเออร์ มีค่าประมาณ $1 \times 10^{15} \Omega$ ค่านี้สูงมากพอที่จะมั่นใจได้ว่าจะไม่มีการโหลดสัญญาณจากเอาต์พุทของตัวสแตนด์เกจต์ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มค่า CMRR ให้วงจรรได้อีกด้วย จึงเป็นการป้องกันการเสียดุลของวงจรร ซึ่งเกิดจากการที่สัญญาณรบกวนที่เข้ามายังส่วนอินพุท ในลักษณะของสัญญาณ Common Mode ไม่สามารถกำจัดออกไปได้และในการวัดค่า CMRR นั้น จะต้องวัดรวมทั้งขั้วสายไฟฟ้าด้วย และค่าความต้านทานของสายขั้วไฟฟ้าแต่ละเส้นมีโอกาสเท่ากัน ได้ยากมาก ถ้าค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจรรมีค่าสูงมากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานของสายขั้วไฟฟ้าโดยค่าความแตกต่างของความต้านทานของในสายขั้วไฟฟ้าจะก็มีผลต่อวงจรรน้อยลง

3.1.4 การตอบสนองต่อความถี่ต่ำได้ดี

เนื่องจากค่าความถี่จากเอาต์พุทของวงจรรบริคค์ที่ต่อกับตัวสแตนด์เกจต์นั้นมีค่าน้อยมาก อยู่ในช่วง 1-5 Hz ดังนั้นวงจรรขยายจะต้องขยายสัญญาณในช่วงความถี่นี้ได้ดี โดยสัญญาณไม่ผิดเพี้ยน วงจรรที่ใช้จึงต้องเป็นวงจรรขยายไฟฟ้า คี. ซี . (D.C. Amplifier) เท่านั้น

บทที่ 4

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดย RS 232C

4.1 รูปแบบการติดต่อการสื่อสารแบบอนุกรม

รูปแบบการติดต่อการสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งตามลักษณะการส่งได้ 3 แบบ ตามรูป 4.1 ได้ดังนี้

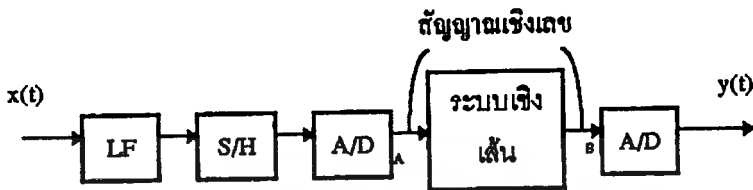
1. แบบซิมเพิล็กซ์ (Simplex) ข้อมูลส่งได้ในทางเดียวเท่านั้น หรืออาจเรียกว่าการส่งในแบบทิศทางเดียว (Unidirectional data bus)
2. แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half duplex) ข้อมูลส่งได้ทั้งสองสถานี แต่ต้องส่งแบบผลัดกันรับผลัดกันส่ง จะไม่สามารถส่งพร้อมกันได้
3. แบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full duplex) ทั้งสองสถานีสามารถส่งพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน



รูป 4.1 รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมมีหน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที (bps) หน่วยของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที เรียกว่าบอดเรต (baud rate) หรือ อัตราบอด อาจกล่าวได้ว่า สัญญาณในธรรมชาติส่วนมาก เช่นสัญญาณเสียง สัญญาณการสั่นสะเทือนของพื้นโลก คลื่นหัวใจ หรือการแปรค่าไปของอุณหภูมิ เหล่านี้เป็นไปในลักษณะแบบต่อเนื่องกับพิสัยเวลา หรือกล่าวได้ว่าเป็นสัญญาณเชิงอุปมาน การนำสัญญาณเหล่านี้ไปประมวลผลในลักษณะการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Discrete Signal Processing) ได้นั้นจะต้องใช้ระบบการประมวลผลตามรูป 4.2 ซึ่ง ตามรูป วงจร S/H เป็นวงจรสุ่มและคงค่า สัญญาณไว้เพื่อให้วงจรแปลงอะนาลอก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น คิจิตตอ ทำการแปลงเป็นตัวเลขอีกทีหนึ่งสังเกตว่า ระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่อยู่ระหว่างจุด A และ B โดยที่สัญญาณที่จุดนี้เป็นสัญญาณที่ถูกแปลงเป็นตัวเลขแล้ว



รูป 4.2 ระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข โดยที่ใช้ระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนสัญญาณเชิงเลขมาเป็นสัญญาณเชิงเลขนั้น ในเบื้องต้นต้องมีการสุ่มตัวอย่างก่อน ซึ่งความถี่ในการสุ่มตัวอย่างโดยไม่ทำให้สัญญาณสูญเสียข้อมูลสำคัญไปนั้น ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theory) ของ แชนนอน (Shannon) กล่าวไว้ว่า

ถ้าหากเรามีสัญญาณเชิงเลข $x(t)$ ที่ค่าการแปลงฟูเรียร์ หรือสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum) ของมันมีแถบความถี่ปฏิบัติงานเท่ากับ f_0 แล้วเราสามารถทำการสุ่มตัวอย่างโดยที่สัญญาณที่ได้ไม่สูญเสียเนื้อหาสำคัญ ก็ต่อเมื่อความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง f_s มีค่ามากกว่าหรือ เท่ากับสองเท่าของความถี่ f_0 หรือ

$$f_s \geq 2f_0$$

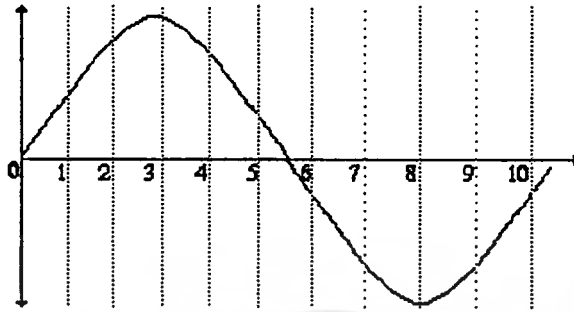
โดยทั่วไปเราอาจสุ่มตัวอย่างด้วยค่าความถี่ $f_{SN} = 2f_0$ พอดี ค่าความถี่นี้มีชื่อเรียกว่า ความถี่ไนควิสต์ (Nyquist Frequency) และคาบเวลา $T_N = 1/(2f_0)$ นี้เรียกว่า ช่วงเวลาสุ่มตัวอย่างไนควิสต์ (Interval)

ในทางปฏิบัติเพื่อหลีกเลี่ยงผลของการไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinearity) ที่อาจเกิดจากการสุ่มตัวอย่าง เรามักใช้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง $2f_s$ มากกว่าค่าความถี่ไนควิสต์หรือ f_{SN} ขึ้นไป ส่วนจะมีค่ามากกว่าเท่าใดนั้นขึ้นกับลักษณะงานไม่ได้มีการกำหนดค่าที่แน่นอน ซึ่ง อาจใช้ เป็น $2.5f_0$ หรือ $5f_0$ หรือ $10f_0$ ก็ได้

ตามทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างของ แชนนอน นั้นเห็นได้ว่าการจะสุ่มตัวอย่างสัญญาณได้ถูกต้องก็ต่อเมื่อต้องรู้ค่า แถบความถี่ปฏิบัติงานของสัญญาณ หรือพูดอีกนัยหนึ่ง สัญญาณต้องมีแถบความถี่ปฏิบัติงานจึงจะทำการสุ่มตัวอย่างได้ ดังนั้นในบางครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าสัญญาณที่ทำการประมวลผลถูกประมวลผลอย่างถูกต้อง ในภาคแรกของระบบประมวลผลเชิงเพิ่มหน่วยและเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงอาจมีวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) ไว้เป็นตัวกำหนดแถบความถี่ปฏิบัติงานของ สัญญาณ ดังแสดงในรูป 4.3



รูป 4.3 การแซมปลิงที่ความถี่มีค่ามากกว่าความถี่ของสัญญาณ 10 เท่า

4.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

การส่งแบบอะซิงโครนัสนี้ มีลักษณะของสัญญาณดังรูป 4.4 จะเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นสัญญาณอะซิงโครนัสจะประกอบด้วยบิตเริ่มต้นหรือบิตสตาร์ท (start bit) และบิตจบหรือบิตสต็อป (stop bit)



รูป 4.4 ฟอ์แมตการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

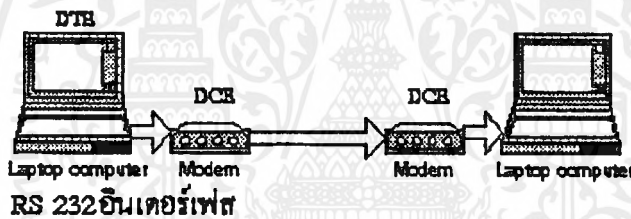
ขณะที่สถานะการส่งเป็นแบบว่าง (idle) คือ ยังไม่มีการส่งออก จะมีสัญญาณหรือแรงดันตลอดเวลา เพื่อความแน่ใจว่าฝ่ายรับยังติดต่อกับฝ่ายส่ง เมื่อเริ่มมีการส่งข้อมูลสัญญาณของอะซิงโครนัสจะเป็น 0 ในช่วงเวลาหนึ่งบิตนี้เรียกว่าสตาร์ทบิต ตามหลังของสตาร์ทบิตนี้จะประกอบไปด้วยขนาดข้อมูล 1 ตัวอักษรซึ่งมีจำนวน 5 บิต ถึง 8 บิต โดยบิตที่มีน้อยที่สุด (LSB) จะถูกส่งออกมาก่อนไล่ไปจนถึงบิตที่มีค่ามากที่สุด (MSB) การเข้ารหัสอักษรแบบนี้นิยมใช้รหัสการส่งแบบรหัส ASCII หลังจากการบิตที่มีค่ามากที่สุดถูกส่งออกมาแล้ว ต่อไปพาริตีบิตซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของการส่งข้อมูลที่ได้รับจะถูกส่งออกไป พาริตีบิตอาจจะเป็นแบบคู่ (even) หรือแบบคี่ (odd) ก็ได้ถ้าเป็นแบบคู่ จำนวนบิตที่เป็น 1 ในช่วงบิตข้อมูลกับบิตพาริตีเมื่อรวมกันแล้วต้องเป็นคู่ จึงจะถือว่าเป็นการส่งที่ถูกต้อง หลังจากพาริตีบิตแล้วจะต้องมีสต็อปบิต ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของสต็อบบิทจะมีขนาด 1 , 1.5 หรือเป็น 2 เท่าของพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นในการใช้พอร์ตอนุกรมจะต้องตั้งค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

1. ความเร็วในการส่ง
2. ความยาวรหัส 1 ตัวอักษร
3. บิตตรวจสอบ
4. ความกว้างของสต็อบบิท

4.3 มาตรฐาน RS232C

สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้กำหนดมาตรฐาน RS232C ไว้ว่า RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 เป็นตัวเลขมาตรฐานของตัวนี้ C เป็นหมายเลขตัวสุดท้ายของมาตรฐาน



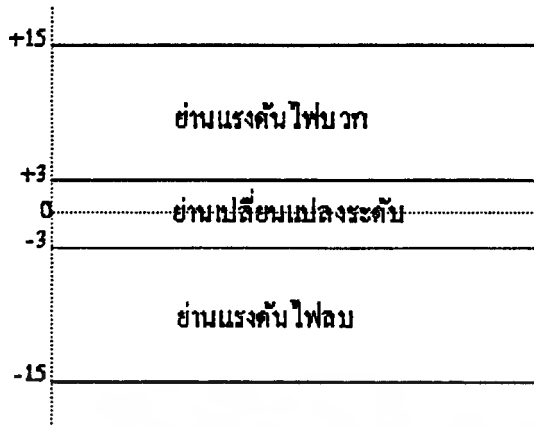
รูป 4.5 การใช้ RS 232C เชื่อมต่ออุปกรณ์

จากรูป 4.5 สามารถอธิบายได้ว่า DTE (Data Terminal Equipment) คือสายต่ออุปกรณ์สำหรับส่วนเอร์พท และ DCE (Data Communication Equipment) คือสายต่ออุปกรณ์สำหรับส่วนอินพุท ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลสามารถส่งได้ตั้งแต่ 0 ถึง 20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีอัตราบอดตั้งแต่ 110 ถึง 9600 บอด ส่วนความยาวสายจำกัดไว้ที่ 50 ฟุต

4.4 ลักษณะของสัญญาณ RS232C

เพื่อเป็นหลักประกันในการส่งข้อมูลว่ามีความถูกต้องและอุปกรณ์ถูกควบคุมถูกต้องจำเป็นต้องมีข้อตกลงในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ มาตรฐาน RS232C กำหนดแรงดันไฟฟ้าไว้ดังนี้ แรงดันไฟบวก (สถานะ SPACE) อยู่ระหว่าง +5 ถึง +15 โวลต์ สำหรับเอร์พท และ ระหว่าง +3 ถึง +15 โวลต์ สำหรับอินพุท แรงดันไฟลบ (สถานะ MARK) อยู่ระหว่าง -5 ถึง -15 โวลต์ สำหรับเอร์พท และ ระหว่าง -3 ถึง -15 โวลต์ สำหรับอินพุท

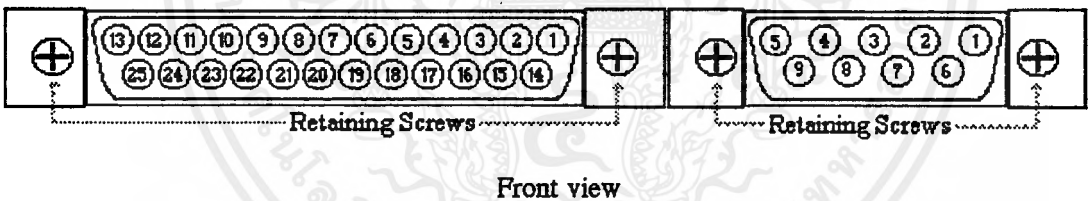
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.6 ย่านของแรงดันไฟฟ้าสัญญาณ RS 232C

4.5 การกำหนดขาสัญญาณขาต่างๆ ของ RS 232C

ตามมาตรฐานแล้ว RS 232C มีข้อต่อแบบ DB-25 หรือแบบ DB-9 ก็ได้ ในส่วนมากจะใช้ข้อต่อ DB-25 แต่บางที่จะเปลี่ยนมาใช้ DB-9 แทนได้เพราะว่าขาบางขาไม่จำเป็นต้องใช้งาน โดยการใช้งานแทนกันดังต่อไปนี้



รูป 4.7 แสดงขาพอร์ตอนุกรมแบบ DB-25 และ DB-9

- | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| ขา 1 DCD (หรือขา 8) | ขา 4 TR (หรือขา 20) | ขา 7 RTS (หรือขา 4) |
| ขา 2 RD (หรือขา 3) | ขา 5 SG (หรือขา 7) | ขา 8 CTS (หรือขา 5) |
| ขา 3 TD (หรือขา 2) | ขา 6 DSR (หรือขา 6) | ขา 9 RI (หรือขา 22) |

4.5.1 อธิบายหน้าที่ของขาสัญญาณที่ขาต่างๆ ของการใช้งานแบบ DB-25

Transmit Data (TD ขาที่ 2)

เป็นสัญญาณที่ส่งออกจาก DTE ไป DCE เมื่อไม่มีการส่งออกสถานะภาพสัญญาณจะเป็นลอจิก “1” หรือเทียบเท่าสตีอปิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Receive Data (RD ขาที่ 3)

เป็นทางเข้าของสัญญาณที่ส่งเข้า มีทิศทางจาก DCE ไป DTE เมื่อไม่มีการส่งออก สถานภาพสัญญาณจะเป็นลอจิก “1”

Request To Send (RTS ขาที่ 4)

ใช้สำหรับการส่งสัญญาณออกไปยังอุปกรณ์ภายนอก เป็นการเรียกร้องที่จะส่งสัญญาณของขา TD โดยขา RTS นั้นจะใช้คู่กับขา CTS (Clear to Send) อุปกรณ์ตัวรับหากได้สัญญาณ RTS ก็จะมีการตรวจสอบตัวเองว่าพร้อมที่จะรับก็จะทำการส่งสัญญาณออกไปที่สาย CTS

Clear To Send (CTS ขาที่ 5)

คั้งที่ได้อธิบายไว้แล้วในขา RTS เมื่อสัญญาณนี้อยู่ในสถานะออฟมีสถานะเป็น “1” หมาย-ความว่า อุปกรณ์พร้อมที่จะทำงานรับข้อมูลแล้ว

Data Set Ready (DSR ขาที่ 6)

เมื่อสัญญาณนี้อยู่ในสถานะลอจิก 0 เป็นการบอกฝ่ายส่งว่าโมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้ว โมเด็มที่มีการหมุนโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วก็จะส่งสัญญาณไปบอกให้คอมพิวเตอร์พร้อมที่จะทำงาน

Signal Ground (SG ขาที่ 7)

SG ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับทุกๆ สายของสัญญาณ จะมีแรงดันเป็น 0 เมื่อเทียบกับสัญญาณขาอื่นๆ

Carrier Detect (CD ขาที่ 8)

เป็นขาที่ใช้แจ้งการคงอยู่ของสัญญาณพาหะให้คอมพิวเตอร์รับรู้ โดยคอมพิวเตอร์จะได้รับสัญญาณลอจิก “0”

Data Terminal Ready (DTR ขาที่ 20)

คอมพิวเตอร์จะเปิดสัญญาณนี้ให้ออน (ลอจิก “0”) เมื่อพร้อมที่จะติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

Ring Indication (RI ขาที่ 22)

สัญญาณนี้ใช้ในโมเด็มที่เป็นระบบอัตโนมัติ (Auto answer) สัญญาณนั้นจะออนเมื่อมีสัญญาณกระดิ่งมา และออฟระหว่างเสียงคังของกระดิ่ง

บทที่ 5

การทำงานของวงจร

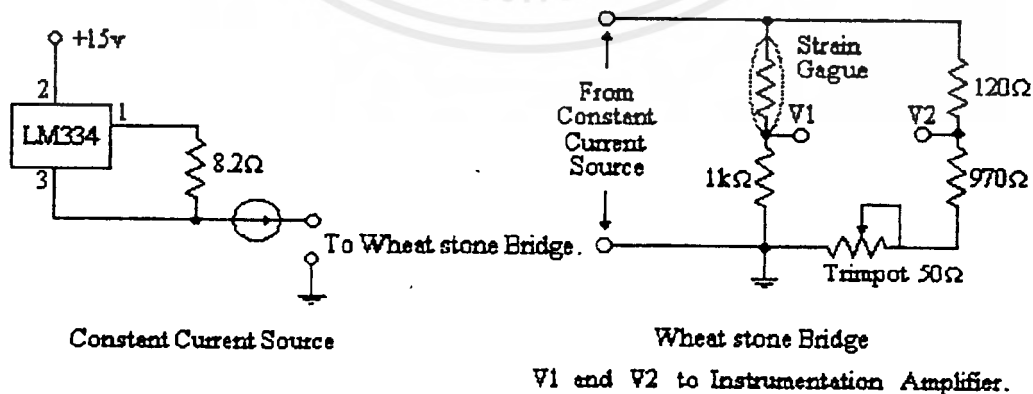
5.1 วงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่

วงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant Current Source) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรวัดทอร์สโตนบรีดจ์ โดยใช้ไอซี เบอร์ LM334 ต่อกับตัวต้านทานเพียงตัวเดียวก็สามารถจ่ายกระแสได้ตามที่ต้องการได้ สำหรับค่ากระแสที่ได้จากวงจรนี้มีค่าประมาณ 8mA สามารถคำนวณค่ากระแสได้จาก

$$I_{set} = \frac{0.0677}{R_{set}}$$

5.2 วงจรวัดทอร์สโตนบรีดจ์

วงจรวัดทอร์สโตนบรีดจ์ ทำหน้าที่ตรวจจับค่าความต้านทานในวงจรบรีดจ์ว่าอยู่ในสภาวะสมดุลหรือไม่ โดยถ้าบรีดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล คือ อัตราส่วนค่าความต้านทานของตัวต้านทานทั้ง 2 ข้างมีค่าเท่ากัน เอาท์พุทของวงจรที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ แต่เมื่อบรีดจ์อยู่ในสภาวะไม่สมดุล จะเกิดแรงดันขึ้นที่เอาท์พุทของวงจร สำหรับความสมดุลของวงจรบรีดจ์นั้น จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวสเตรนเกจส์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเซ็นเซอร์วัดความสั้นสะเทือน ความต้านทานของตัวสเตรนเกจส์ในสภาวะปกติมีค่าประมาณ 120 โอห์ม และเมื่อมีการสั้นสะเทือนเกิดขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานของตัวสเตรนเกจส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง สำหรับทริมพอร์ต 50 โอห์ม ทำหน้าที่ช่วยในการปรับวงจรบรีดจ์ให้อยู่ในสภาวะสมดุล ขณะที่ไม่มีการสั้นสะเทือน



รูป 5.1 วงจร Constant Current Source และวงจร Wheatstone Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

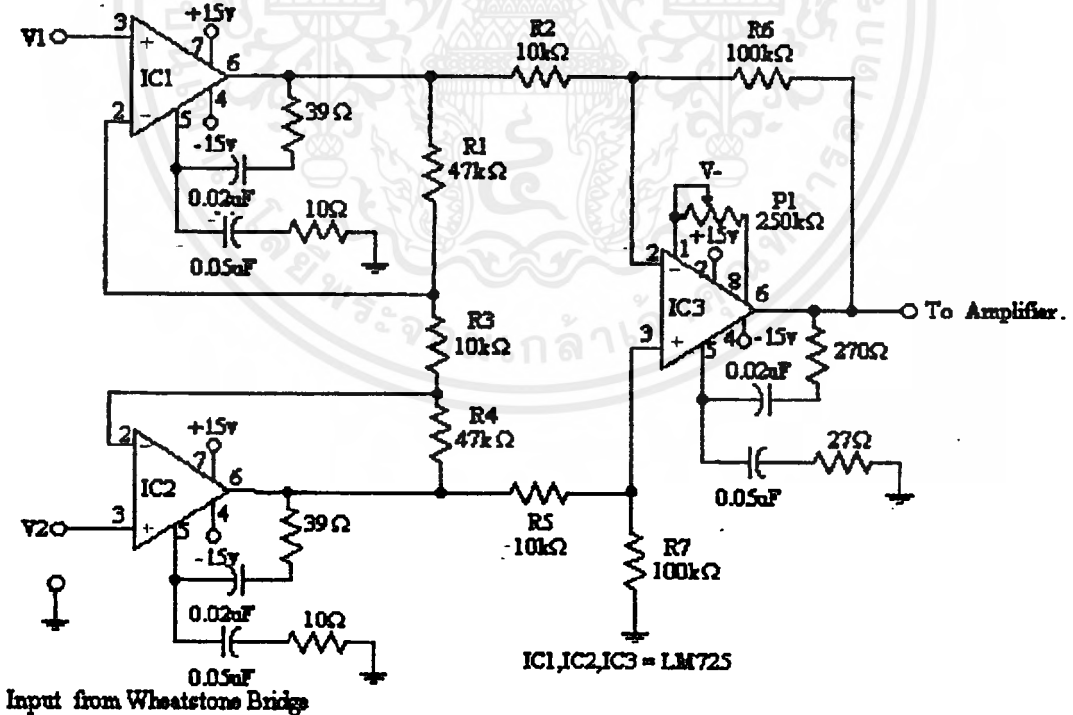
5.3 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์นี้เป็นวงจรภาคแรกที่ทำการขยายสัญญาณที่ได้จากเทอร์พทของวงจรบริดจ์ซึ่งมีขนาดของสัญญาณเล็กมากให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยประกอบไปด้วย op-amp 3 ตัว คือ IC1 , IC2 และ IC3 โดย IC1 และ IC2 ถือเป็นวงจรถ่ายบัพเฟอร์ (Buffer Amplifier) ซึ่งมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก ส่วน IC3 ถือเป็นวงจรถ่ายความแตกต่าง ดังนั้นอัตราการขยายศักดาไฟฟ้าของวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์จะเป็น 2 ส่วน คือ อัตราขยายของวงจรถ่ายบัพเฟอร์ (A_v) และอัตราขยายของวงจรถ่ายความแตกต่าง(A_m) โดยสามารถคำนวณอัตราการขยายได้ดังนี้

$$A_i = 1 + 2 \frac{R1}{R3}$$

$$A_{ii} = \frac{R6}{R2}$$

$$A = A_i \times A_{ii} = \left(1 + 2 \frac{R1}{R2}\right) \times \left(\frac{R6}{R2}\right)$$



รูป 5.2 วงจร Instrumentation Amplifier



5.3.1 ไอซีเบอร์ LM725

และเนื่องจากวงจรอินสตุเมนต์เซ็น แอมพลิฟิเออร์นี้ ที่ต้องการจะต้องเป็นวงจรที่มีคุณสมบัติที่สามารถลดค่าสัญญาณรบกวนอินพุตให้มีค่าน้อยที่สุด และไอซีเบอร์ LM 725 มีคุณสมบัติตามที่ต้องการต่อไปนี้ คือ

1. สัญญาณรบกวนอินพุตต่ำเพียงแค่ $0.15 \text{ pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ที่ 1.0 kHz
2. มีอัตราขยายสูงเมื่อทำการเปิดลูปรวงจรกำหนดไว้ 3,000,000
3. มีกระแสออฟเซทอินพุตต่ำเพียงแค่ 2.0 nA
4. ค่า CMRR มีค่าถึง 120 dB
5. แรงดันอินพุตสามารถจ่ายให้วงจรอยู่ในช่วง ± 14 โวลต์
6. แหล่งจ่ายที่จ่ายให้วงจรอยู่ในช่วงตั้งแต่ ± 3 โวลต์ ถึง ± 22 โวลต์
7. สามารถทนอุณหภูมิได้ -65°C ถึง $+150^\circ\text{C}$
8. ค่าแรงดันระหว่าง แรงดัน Offset Null กับค่า แรงดันค่าบวกอยู่ที่ ± 0.5 โวลต์

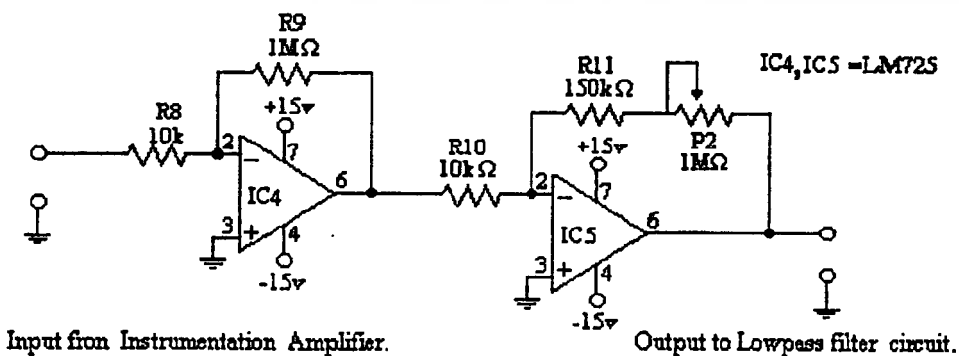
5.4 วงจรขยาย

วงจร (Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่มาจากวงจรอินสตุเมนต์เซ็น แอมพลิฟิเออร์ มาทำการขยายให้มีขนาดของสัญญาณเหมาะสมที่จะนำไปใช้แสดงผลต่อไป โดยวงจรขยายสัญญาณ ประกอบไปด้วย IC4 และ IC5 ต่อเป็นวงจรขยายชนิดกลับเฟสที่ต่อ cascade กันอยู่ เพื่อให้มีอัตราขยายที่สูงพอ โดยสามารถคำนวณอัตราขยายได้ดังนี้

$$Av_{IC4} = -\frac{R9}{R8}$$

$$Av_{IC5} = -\frac{(R11 + P2)}{R10}$$

$$Av_{Total} = Av_{IC4} \times Av_{IC5} = \frac{R9}{R8} \times \frac{(R11 + P2)}{R10}$$

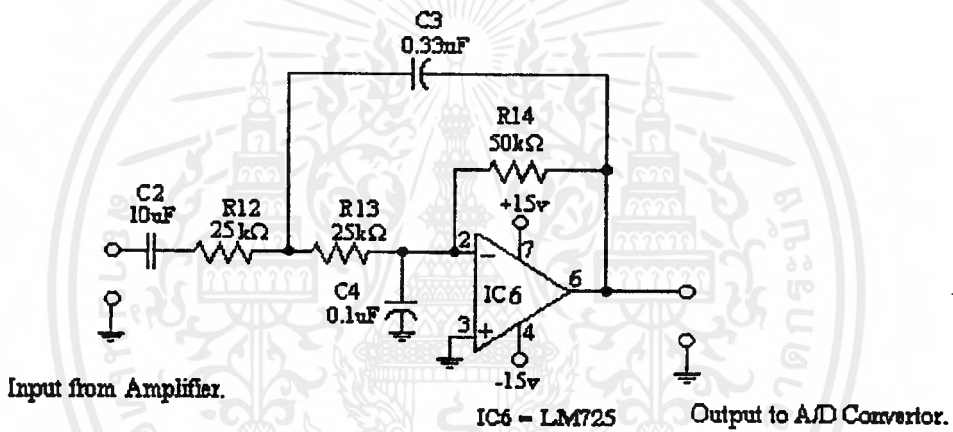


รูป 5.3 วงจรขยายสัญญาณ

5.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

ถึงแม้ว่าวงจรขยายในภาคแรกเป็นวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ก็ตาม แต่ถ้าเกิดความไม่สมดุลย์ของวงจรขึ้นมา สัญญาณรบกวนส่วนใหญ่เป็นความถี่ 50 Hz ก็สามารถผ่านไปได้ แต่เนื่องจากเครื่องวัดความถี่สัญญาณนี้มีความถี่ในการวัดอยู่ในช่วงความถี่ 1- 10 Hz จึงใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass Filter) นี้ทำหน้าที่กรองความถี่สูงที่ไม่ต้องการทิ้งไป วงจรกรองความถี่ต่ำนี้ประกอบไปด้วย IC6 LM725 และใช้ C₃, C₄, R₁₂ และ R₁₃ โดยวงจรกรองความถี่ต่ำมีจุดคัทออฟ 35 Hz และอัตราขยายวงจรเท่ากับ 1 ในการกำหนดจุดคัทออฟ สามารถคำนวณจุดคัทออฟ ได้ดังนี้

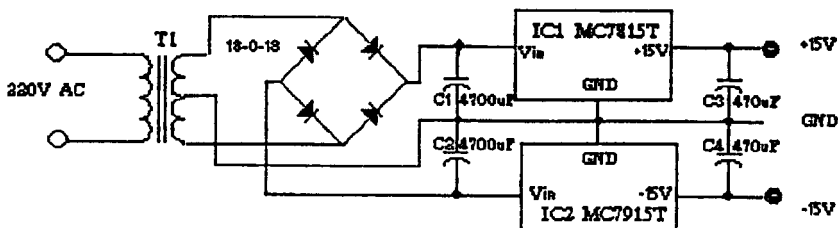
$$F_c \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{12} \times R_{13} \times C_3 \times C_4}}$$



รูป 5.4 วงจรกรองความถี่ต่ำ

5.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เป็นภาคจ่ายไฟให้กับระบบของโครงการ ซึ่งใช้ DC Voltage ±15 V โดย Transformer T1 ป้อนค่า AC Voltage 18-0-18 V ให้กับวงจร Rectifier โดยมี C₁ และ C₂ ทำหน้าที่เป็นฟิลเตอร์ลดค่าแรงดันริบเบิ้ล IC 7815 และ 7915 เป็น IC แปลงแรงดันเป็น DC Voltage ขนาด +15 V และ -15 V ตามลำดับ โดยมี C₃ และ C₄ ฟิลเตอร์ทางค่านเอาท์พุท



รูป 5.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

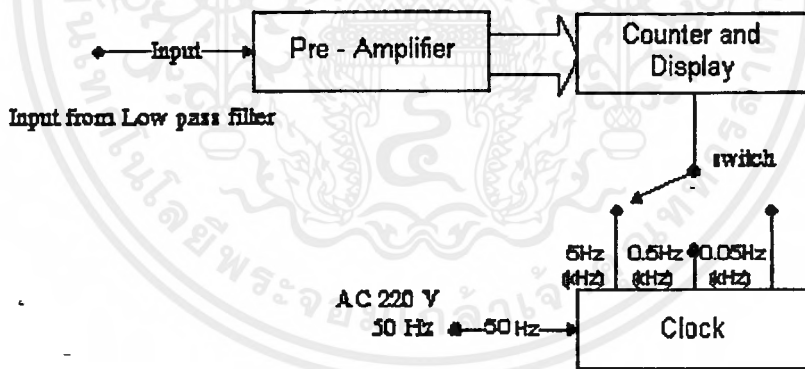
5.7 วงจรนับความถี่

เครื่องวัดความถี่ต่ำที่นำมาเสนอนี้สามารถนำไปใช้วัดความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าใดๆ ที่มีลักษณะซ้ำตัวเองอยู่เสมอได้ทุกชนิด โดยเฉพาะเหมาะสำหรับภาคปริแอมพลิไฟเออร์เอาท์พุท ตลอดจนย่านความถี่ต่ำได้ดี โดยการออกแบบภาคแสดงผลที่เป็นแบบตัวเลขดิจิทัล ที่สามารถอ่านได้ง่าย มีย่านวัด 3 ย่าน คือ 0-999.9 Hz, 0-9.999kHz และ 0-99.99kHz และมีความไวอินพุท 10 mV ที่สามารถวัดค่าอินพุทได้สูงถึง 100 V มีอินพุทอิมพีแดนซ์ 1 M Ω

5.7.1 การทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมรูป 5.6 สัญญาณอินพุทจะป้อนเข้าภาคปริแอมพลิไฟเออร์เพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงยิ่งขึ้นเพื่อส่งไปภาคนับและภาคแสดงผลภาคนับและภาคแสดงผลจะต่อเข้าภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกาต่างๆ โดยมีสวิตช์เป็นตัวเลือกค่าเวลาต่างๆ

ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz มาเป็นอินพุทในการสร้าง การทำงานแต่ละภาคมีการทำงานดังนี้



รูป 5.6 บล็อก ไดอะแกรมการทำงานของวงจรมับความถี่

5.7.2 ภาคกำเนิดสัญญาณฐานเวลา

จากรูป 5.7 ที่เป็นวงจรสมมูลย์ของเครื่องวัดความถี่ต่ำ ในส่วนของภาคกำเนิดสัญญาณฐานเวลามีการทำงานดังนี้ ที่ไดโอด D_1 ทำหน้าที่เรกติไฟเออร์ใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อให้ได้สัญญาณไฟฟ้าซีกบวกที่ยังมีความถี่ 50 Hz อยู่ นำไปผ่านวงจรดีไวเดอร์ลดระดับของสัญญาณและป้อนให้วงจรหาร 10 หาร 100 และหาร 1000 โดยใช้ IC_2 , IC_3 และ IC_4 ได้ความถี่ 5 Hz, 0.5 Hz และ 0.05 Hz ออกมาตามลำดับ

5.7.3 ภาคปริแอมพลิฟิเออร์

ภาคนี้เก็บสัญญาณอินพุตต่ำสุด 10 mV และสูงสุด 100 V. โดยตัวเก็บประจุ C_3 เป็นตัวคัปปลิงสัญญาณและป้องกันไฟลิตจี้จากอินพุต ตัวต้านทาน R_4 และไดโอด D_4, D_5 ทำหน้าที่กำจัดแรงดันที่ป้อนให้กับ Q_1 ให้เหลือเพียงค่าไบอัสตรงของ D_4 และ D_5 มีค่าประมาณ 700 mV แม้ว่าอินพุตจะมีมากถึง 100 V ก็ตาม Q_1 ใช้ FET เบอร์ BF245C ทำหน้าที่บัฟเฟอร์และเป็นตัวทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ทางอินพุตมีค่าสูง เพื่อสามารถวัดค่าสัญญาณขนาดเล็กๆ ได้ และทำให้กระแสในวงจรไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเพื่อให้การวัดเที่ยงตรง

เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่ามากกว่า 600 mV จะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับค่าของ R_3 คือ 1M Ω และเมื่อค่าสัญญาณอินพุตมีค่าสูงขึ้น ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าลดลง เพราะ D_4 และ D_5 เริ่มทำงานเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ 1V ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่า 400k Ω และสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ 2V จะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เพียง 150 k Ω แต่เนื่องจากค่าความจุภายในที่เกิดขึ้นระหว่างจังก์ชันไดโอดและเฟต ทำให้ความไวในการวัดลดลงกว่า 14 dB สัญญาณจะถูกส่งผ่าน C_4 เข้าขาเบสของ Q_2 ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณ สัญญาณที่ถูกขยายจะถูกป้อนให้กับ C_6 และต่อไปยังขาเบสของ Q_3 โดย Q_2 และ Q_3 ทำหน้าที่เป็นสมิตทริกเกอร์ ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR_1 ต่อเข้ากับขาเบสของ Q_3 เพื่อทำหน้าที่ปรับค่าแรงดันให้มีค่าพอเหมาะที่จะทำให้ Q_3 ทำงานได้ ดังนั้นเอาร์พุทของภาคปริแอมพลิฟิเออร์จึงสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ตามค่าของสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา และจะส่งค่าความถี่ต่อเข้าไปยังภาคแสดงผลต่อไป

5.7.4 ภาคนับและภาคแสดงสัญญาณ

การทำงานของวงจรมับและแสดงผล IC₁ ใช้เบอร์ 74C925 ซึ่งเป็นไอซีชนิดซีมอส ซึ่งภายในประกอบด้วยวงจรมับสิบ (0-9) จำนวน 4 ชุด, วงจรเก็บข้อมูล, วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์และวงจรถอดรหัสสัญญาณสำหรับตัวเลข 7 ส่วน (Seven Segment) จำนวน 4 หลัก

เมื่อมีสัญญาณอินพุตผ่าน C_5 เพื่อทำการกรองสัญญาณส่งผ่านขาเบส Q_2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรมับเฟออร์ การนับของไอซี 74C925 จะทำการนับในช่วงสัญญาณนาฬิกาเป็นลอจิก "1" เท่านั้น การนับแต่ละครั้งจะต้องมีการเก็บข้อมูลชั่วคราว (latch) ในช่วงเวลาที่มีสัญญาณที่เป็นลอจิก "0" ผ่านเข้ามา จะต้องมีการรีเซต (reset) ข้อมูลทุกครั้งก่อนจะเริ่มนับใหม่ โดยสัญญาณควบคุมนี้ได้จาก IC₆₁ และ IC₆₂ ซึ่งใช้เบอร์ 74S221 ผลิตพลัสเพื่อทริก IC₁ ให้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราว และทำหน้าที่รีเซตข้อมูล IC₆₁ และ IC₆₂ จะต้องวงจรในแบบโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อสัญญาณเวลาในช่วงขอบขาของเข้ามาทางขา \bar{A} ของ IC₆₁ ที่เอาร์พุทของขา Q ของ IC₆₁ จะเกิดพัลส์ขึ้นมา 1 ลูกมีขนาด 7 μ s ดังกล่าวต่อมาทางขา \bar{A} ของ IC₆₂ ด้วยหันไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นช่วงขอบขาของพัลส์ 7 μs นี้จะทำให้เกิดพัลส์ขึ้นมาอีก 1 ลูก ขนาด 7 μs เช่นเดียวกัน และสัญญาณจะไปรีเซตให้ IC₅ เพื่อให้ IC₅ เริ่มต้นนับจาก 0 ใหม่ทุกครั้ง C₅ จะแสดงผลตัวเลขออกทางขา 1,2,3,4,14 และ 15 สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณตัวเลข 7 ส่วน ทั้ง 4 หลัก ซึ่งถูกมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกัน โดยผ่าน R₂₄-R₃₀ เพื่อควบคุมกระแสที่ผ่าน LED ภายในตัวเลข 7 ส่วนทรานซิสเตอร์ Q₆-Q₉ ทำหน้าที่ขับตัวเลข 7 ส่วน แต่ละตัว โดยขณะที่ IC₅ กำลังส่งตัวเลขหลัก 1 ออกมา ขา DIG1 ก็เป็นลอจิก "1" ทำให้ Q₆ ทำงาน

เมื่อ IC₅ ส่งข้อมูลส่วนออกมา ตัวเลข 7 ส่วน หลักที่ 1 ก็แสดงผลและเมื่อ IC₅ ส่งข้อมูลตัวเลขหลักที่ 2 ออกมา เมื่อ Q₆ ก็จะได้รับลอจิก "0" ทำให้ Q₆ หยุดทำงาน และ IC₅ ก็ส่งสัญญาณลอจิก "1" ออกทางขา DIG2 ส่งผลให้ Q₇ ทำงาน เมื่อ IC₅ ส่งข้อมูลออกมา ทำให้ตัวเลขหลักที่ 2 ก็แสดงผล และในทำนองเดียวกัน IC₅ จะส่งสัญญาณตัวเลขหลักที่ 3 และ หลักที่ 4 ก็ส่งสัญญาณลอจิก "1" ไปที่ Q₈ และ Q₉ ตามลำดับ เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ขับข้อมูลแสดงผลออกมา การทำงานดังกล่าวจะทำงานด้วยความเร็วสูง ทำให้ตาเรามองเห็นข้อมูลตัวเลขตลอดเวลา ส่วน Q₁₀ ทำหน้าที่ขับจุดทศนิยมของตัวเลข 7 ส่วน โดยทำงานร่วมกับ Q₆-Q₈ โดยสวิตช์ S_{2,2} เพื่อเลือกว่าจะแสดงผลที่จุดใดของตำแหน่งเลขทั้ง 4 หลัก ซึ่งทำงานสัมพันธ์กับ IC₅

สัญญาณเวลาอีกส่วนหนึ่งจะส่งผ่าน R₂₀ เข้าที่ขาเบสของ Q₁₁ เพื่อขับสัญญาณฐานเวลาหรือสัญญาณเปิดเกตให้ LED₁ ติดสว่าง เพื่อแสดงฐานเวลาของลอจิกที่ป้อนเข้ามา

5.8 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลสำหรับคอมพิวเตอร์

ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกสามารถที่จะใช้สายเพียงสองเส้นต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์เท่านั้น ก็สามารถติดต่อก็ได้แล้ว ถึงแม้ว่าเรื่องความเร็วของการส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรมจะช้ากว่าพอร์ตนานแต่ก็เพียงพอกับการส่งข้อมูลของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิตได้ ถ้าตั้งค่าพอร์ตอนุกรมให้มีความเร็วในการส่งไว้ 9600 บิตต่อวินาที ภายใน 1 เฟรมของข้อมูลจะประกอบด้วยขนาด 8 บิตรวมบิตเริ่มต้น 1 บิตและบิตจบอีก 1 บิต เพราะฉะนั้นใน 1 เฟรมจะต้องส่งข้อมูลขนาด 10 บิต ดังนั้นพอร์ตอนุกรมสามารถส่งข้อมูลได้ 960 ไบต์ต่อวินาที (9600/10) ซึ่งก็เพียงพอต่อการส่งข้อมูลของโครงการนี้

5.8.1 การทำงานของวงจร

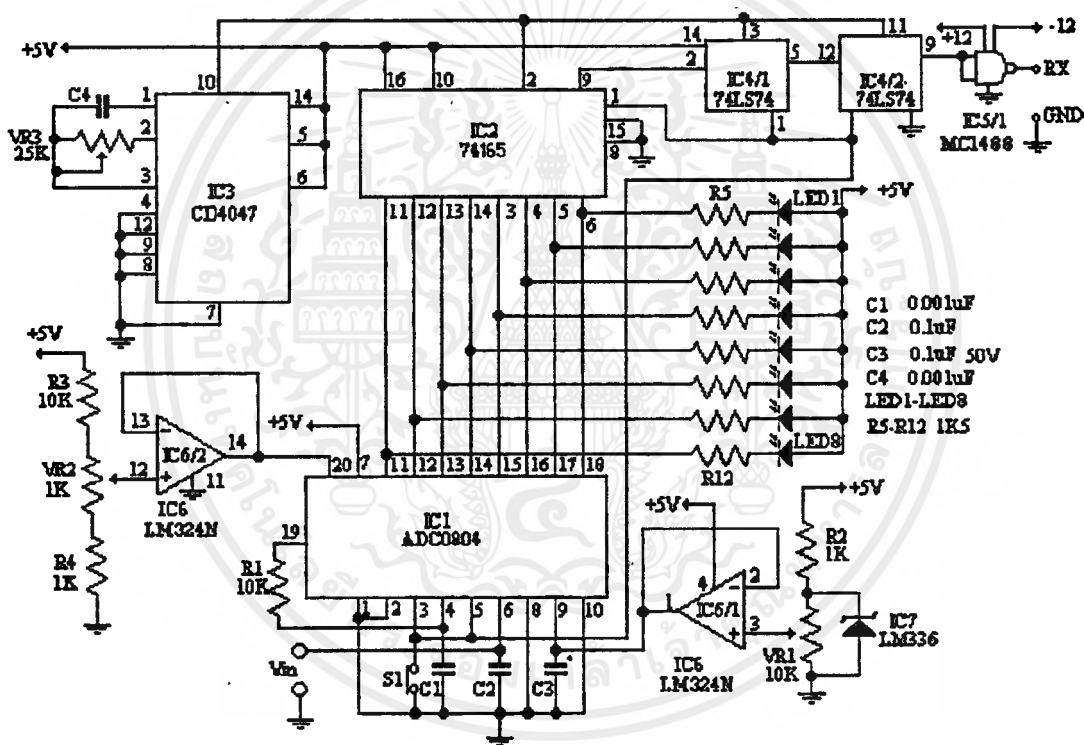
การทำงานของวงจรเริ่มจาก IC1 เบอร์ ADC0804 เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลตามแบบ CMOS ขนาด 8 บิต ซึ่งจะทำงานแบบ Successive Approximation สามารถทำงานได้ในตัวมันเองประกอบไปด้วยวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและกำหนดค่าความถี่ได้จาก R_1 และ C_1 สัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ใช้กับ IC1 คือ 640 kHz ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาการแปลง 100 μ Sec โดยมีอัตราการแซมปลิง(Sampling) ที่ 10 kHz แต่การใช้งานจริงจะไม่ใช้ค่าเวลาสูงสุดเพราะจะทำให้การส่งข้อมูลมีค่าเกิน 960 แซมปลิงต่อวินาที ที่ขา Read (ขา2) กับค่า Chip-Select (ขา1) ของ IC1 จะต่อลงกราวด์ ส่วนขา Interrupt Output (ขา5) จะต่อไปยังขา Write Data Input (ขา3) เพื่อให้การแปลงและการส่งข้อมูลภายนอกเป็นไปอย่างอัตโนมัติ

สวิตช์ S_1 เป็นสวิตช์กดคิดปดอยคั้บที่ต่อเอาไว้เพื่อทำหน้าที่รีเซ็ตเมื่อให้ทำงานครั้งแรก แรงดันอ้างอิงที่ใช้กับ IC1 ($V_{ref}/2$) จะถูกสร้างขึ้นจาก IC7 เบอร์ LM336 ซึ่งจะสร้างแรงดันอ้างอิงขึ้นมา 2.5 โวลต์ผ่าน IC6/1 เบอร์ LM324 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ โดยมี VR_1 คอยปรับย่านแรงดันอีกที่หนึ่ง สำหรับขา $-V_{in}$ จะใช้ปรับแรงดันสูง ซึ่งกำหนดจาก R_3 , R_4 และ VR_2 ซึ่งต่ออยู่ในลักษณะของวงจรแบ่งแรงดันผ่านมายัง IC6/2 เป็นออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ก่อนจะส่งเข้าขา $-V_{in}$ สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าขา $+V_{in}$ จะถูกแปลงเป็นข้อมูลขนาด 8 บิต ออกทางขา 11 ถึงขา 18 ค่าของแรงดันในการตรวจวัดอยู่ที่ย่าน 0-5 โวลต์ สามารถปรับแรงดันเป็นข้อมูลดิจิทัลได้ 256 ระดับ จากค่า 00000000 ถึง 11111111 ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณจะอยู่ที่ 19.53 มิลลิโวลต์ หรือ 5 โวลต์/256 ระดับ

ข้อมูลดิจิทัลที่ถูกแปลงออกมาแล้วจะป้อนให้กับ IC2 เบอร์ 74165 เป็นชิพตรีจิสเตอร์ทำการเลื่อนข้อมูลขนาด 8 บิต ส่งออกเฮอร์ทุกเป็นแบบขนาด 8 บิต ส่งออกเฮอร์ทุกเป็นแบบอนุกรมตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกา โดยการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสจะต้องส่งบิตเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และบิตจบออกไปยังข้อมูลด้วย โดยบิตเริ่มต้นจะถูกกำหนดจาก IC4/1 เบอร์ 7474 ส่วนบิตจบก็ถูกกำหนดโดย IC4/2 ขา Serial Input ของ IC2 จะถูกต่อเป็นลอจิก "1" ดังนั้นค่าที่ไม่มีการส่งข้อมูลจาก IC1 แล้ว ข้อมูลจากขา Serial Input จะถูกส่งออกไปยังเออาร์พุทเปรียบเสมือนว่าเป็นการส่งบิตจบออกไปนั่นเอง เมื่อ IC1 ทำการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเรียบร้อยแล้วก็ จะส่งสัญญาณ INTR ออกไปให้กับขา WR IC1 ก็จะส่งสัญญาณเออาร์พุทขนาด 8 บิต ออกไปยัง IC2 โดยอัตราโนมิต และสัญญาณ INTR นี้จะถูกส่งออกไปที่ขา LOAD ของ IC2 เพื่อให้ IC2 รับข้อมูลเข้ามาที่ชิพตรีจิสเตอร์ และสัญญาณ INTR ก็ยังส่งไปเป็นสัญญาณ CLR และ SET ให้กับ IC4/1 และ IC4/2 ตามลำดับ เมื่อกำหนดบิตเริ่มต้นและบิตจบให้กับการส่งข้อมูล



รูป 5.8 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

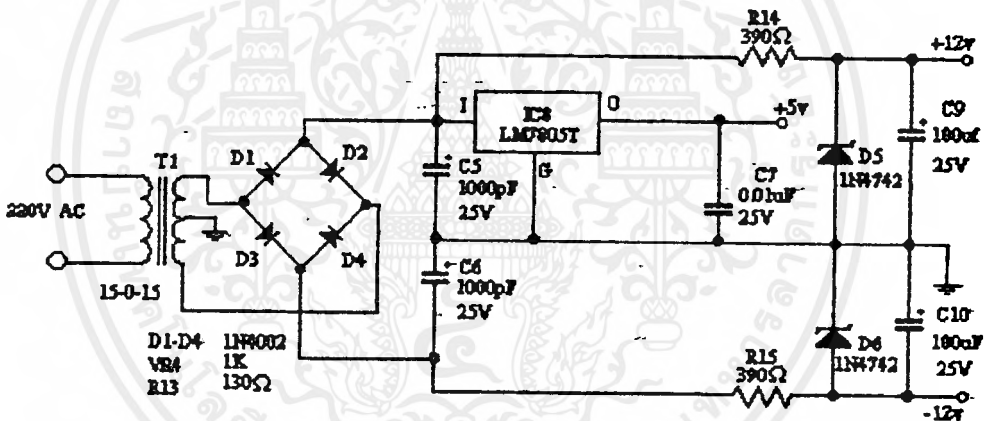
สำหรับการกำหนดค่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลเพื่อให้ได้เป็นมาตรฐานเดียวกับคอมพิวเตอร์นั้น จะใช้ IC3 เบอร์ 4047 ทำงานในลักษณะของวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ออกแบบเพื่อให้ใช้ได้กับชิพตรีจิสเตอร์ขนาด 10 ช่อง ตัวเก็บประจุ C_4 และ VR_3 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับความถี่ของสัญญาณนาฬิกา แต่วงจรนี้จะปรับความถี่ไว้ที่ 9600 Hz เนื่องจาก IC3 ใช้ R และ C เป็นตัวสร้างความถี่ซึ่งทำให้ความถี่ที่ได้มีเสถียรภาพไม่คืนึกเนื่องจากอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม การสร้างความถี่แบบนี้ก็พอจะใช้กับวงจรนี้ได้ เพราะว่าการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ

อะซิงโครนัสที่วงจรใช้สามารถที่จะยอมรับความผิดพลาดได้ในช่วง ± 10 เปอร์เซ็นต์

และค่านับก็สามารถรับข้อมูลจากภาคส่งได้อยู่แล้ว ดังนั้นเราสามารถกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกา ได้ 9600 Hz ก็สามารปรับค่าความถี่ผลตลในช่วง 100 Hz ซึ่งก็เพียงพอสำหรับการส่งข้อมูล

IC5/1 เบอร์ MC1488 จะเป็นตัวแปลงระดับสัญญาณในแบบของ TTL ให้เป็นมาตรฐานแบบ RS-232 ซึ่งจะเป็นมาตรฐานที่ใช้ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ และเนื่องจากคอมพิวเตอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากตัวบอร์ดเท่านั้นจึงใช้สายเพียงสองเส้นเท่านั้น คือสายสัญญาณเอิร์ทท์กับกราวด์ สำหรับ LED แสดงผลทั้ง 8 ตัวจะใช้เป็นตัวแสดงผลการทำงานของข้อมูลที่แปลงได้จาก IC1. และจะเป็นตัวช่วยตรวจสอบของวงจรได้อีกด้วยซึ่งจะช่วยปรับย่านต่ำสุดและสูงสุดในการวัดเต็มสเกลของอุปกรณ์ตรวจจับที่จะนำมาต่อใช้งานทางด้านอินพุท.

สำหรับส่วนของวงจรแหล่งจ่ายไฟแสดงในรูป 5.9 ประกอบด้วยแรงดัน 3 ส่วนคือแรงดัน ± 12 โวลต์สำหรับมาตรฐาน RS-232 และแรงดัน 5 โวลต์สำหรับเป็นแรงดันให้กับวงจรส่วนใหญ่



รูป 5.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

บทที่ 6.

การทดลองและผลการทดลอง

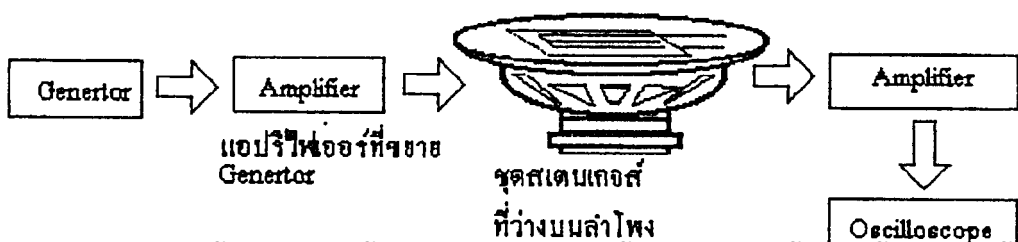
6.1 การหาช่วงความถี่ของ สตูดิโอ

6.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Oscilloscope
2. Function Generator
3. Amplifier
4. Speaker

6.1.2 ลำดับการทดลอง

1. ประกอบชุดวงจรแอมป์รีไฟเออร์เข้ากับลำโพง แล้วนำตัว Sensor ที่ใช้วัดค่าความถี่ สะท้อนไปวางไว้บนตัวลำโพง โดยที่อินพุทของแอมป์รีไฟเออร์ได้มาจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
2. ป้อนสัญญาณ Sine Wave ขนาด 0.2 V_{p-p} ที่ความถี่ที่ต่ำที่สุดที่ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ป้อนเข้าไปได้เป็นอินพุทของแอมป์รีไฟเออร์ ที่ต่อกับลำโพงเรียบร้อย ทำการปรับ Volume พอเหมาะ นำออสซิลอสโคปต่อเข้ากับเอาต์พุท V_{out} ที่ภาค เอาต์พุทของภาคขยายของเครื่องวัด ความถี่สะท้อน
3. ทำการปรับความถี่อินพุทให้มีค่าสูงขึ้นโดยให้ V_{in} มีค่าคงที่ตามความเหมาะสม แล้ววัด V_{out} ที่ภาคเอาต์พุท ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่า V_{out} ที่ได้มีค่าต่ำมากหรือมีค่าคงที่ บันทึกค่า ลงในตาราง 6.1
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-3 อีกครั้งหนึ่ง แต่ทำเปลี่ยนขนาดของ V_{in} ให้มีค่าเพิ่มขึ้นตาม ความเหมาะสม และให้ความถี่ที่ป้อนให้อินพุทของแอมป์รีไฟเออร์ มีค่าเท่ากับการทดลองข้อ 3 สังเกตจากการสั่นของลำโพง ให้ความแรงของการสั่นสะท้อนใกล้เคียงกับการสั่นของมือคนมากที่สุด บันทึกค่าที่ได้ลงในตาราง 6.2
5. นำค่าที่ได้ไปพล็อตลงในกระดาษกราฟ



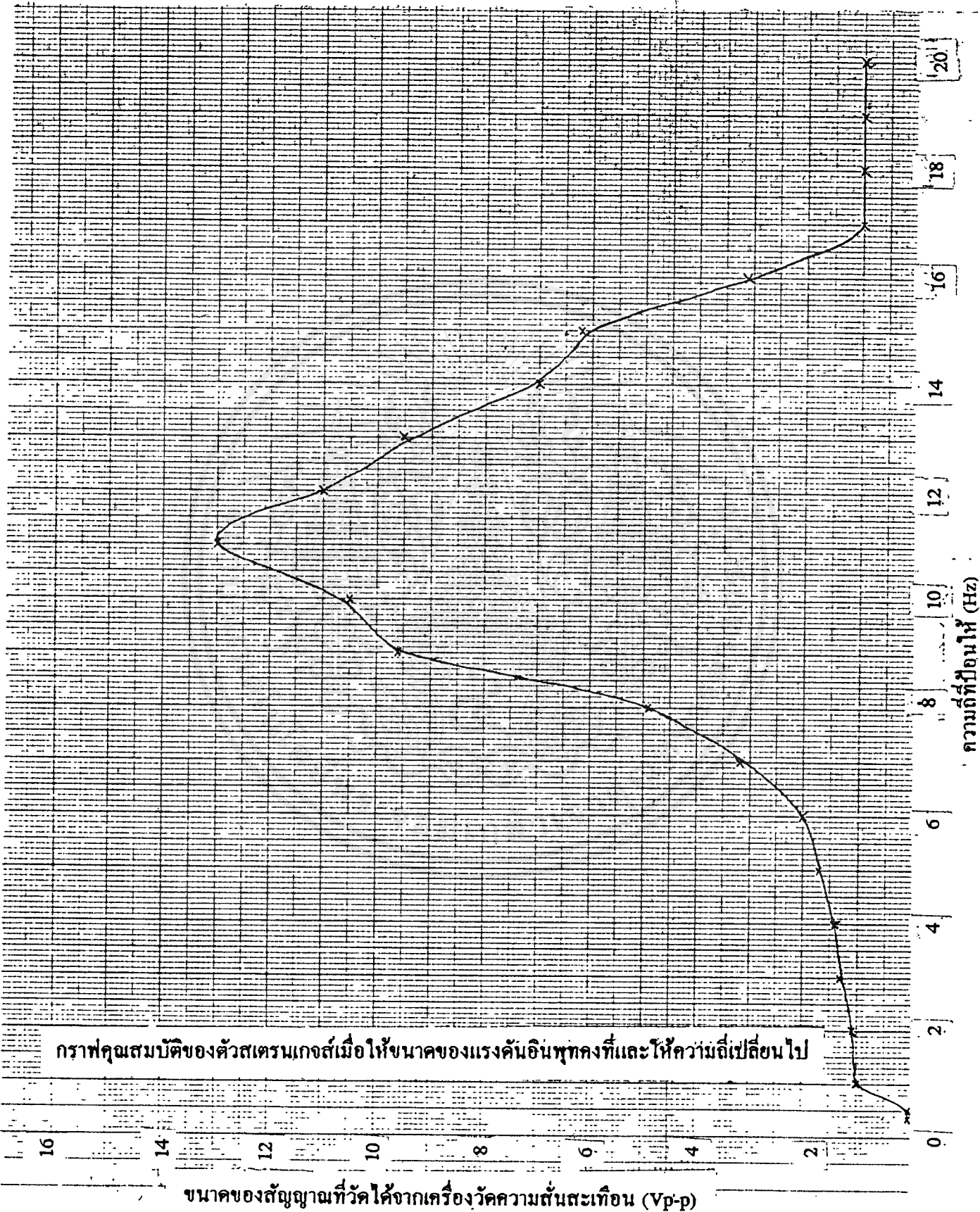
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 6.1 แสดงการต่อวงจรทดลอง

ตาราง 6.1 V_{in} 0.2Vp-p ปรับค่าความถี่ขึ้นเรื่อยๆ

ความถี่ที่ป้อนให้กับ Amp (Hz)	ขนาดของสัญญาณอินพุต (Vp-p)	V_{out} ที่ได้จากเครื่องวัดความ สั่นสะเทือน (Vp-p)
0.35	0.2	0.07
0.5	0.2	0.07
1	0.2	1
2	0.2	1
3	0.2	1.1
4	0.2	1.3
5	0.2	1.4
6	0.2	1.73
7	0.2	2.0
8	0.2	3.2
9	0.2	4.9
10	0.2	9.6
11	0.2	10.5
12	0.2	13
13	0.2	11
14	0.2	9.5
15	0.2	7.0
16	0.2	6.2
17	0.2	3.1
18	0.2	1
19	0.2	1
20	0.2	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟคุณสมบัติของตัวสเตรนเกจส์เมื่อให้ขนาดของแรงดันอินพุตคงที่และให้ความถี่เปลี่ยนไป

ขนาดของสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องวัดความถี่ (Vp-p)

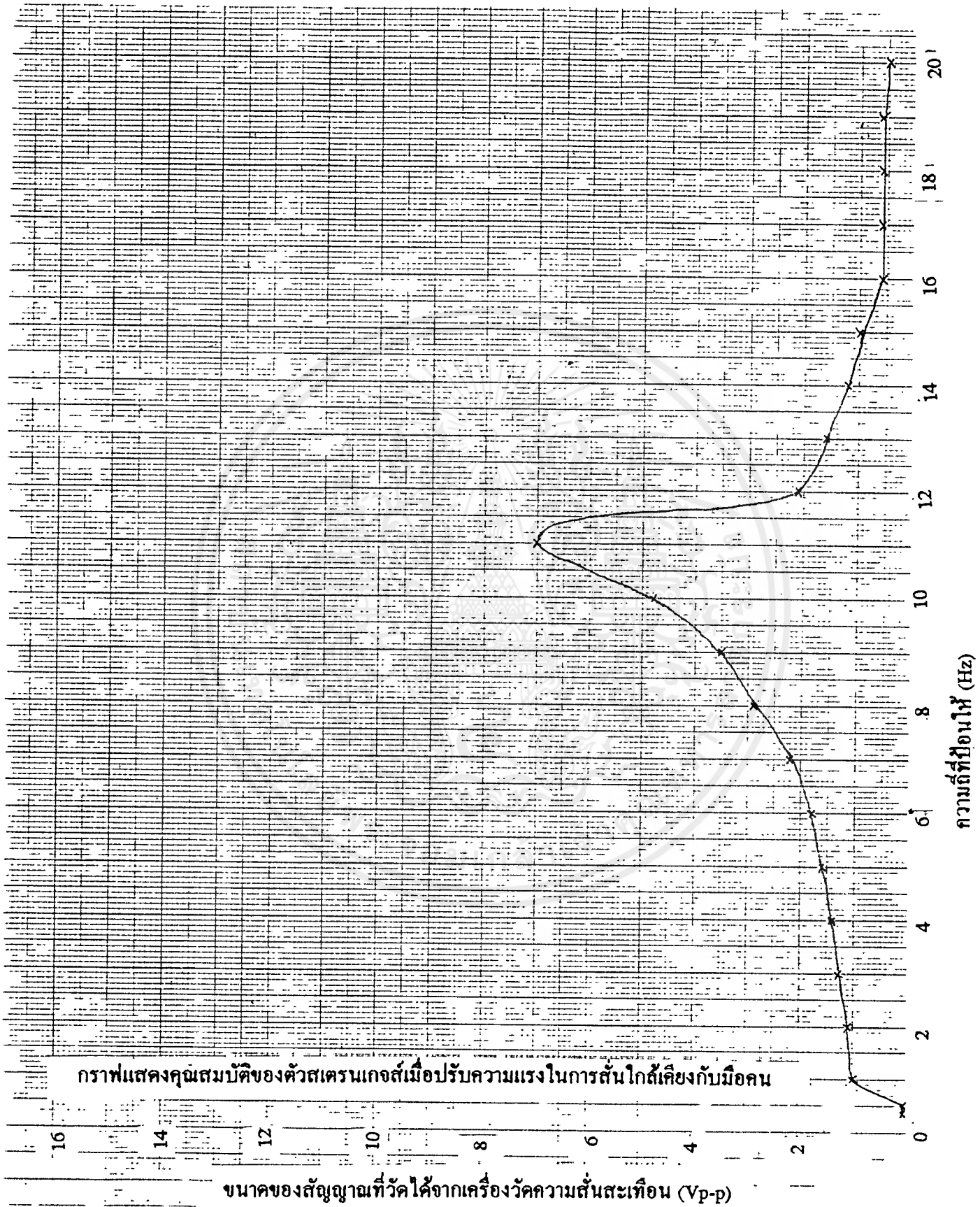
ความถี่ที่ป้อนไฟ (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูป 6.2 กราฟการทดลองจากตาราง 6.1
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.2 ค่าความถี่เท่าตาราง 6.1 เปลี่ยนค่าของสัญญาณอินพุทให้มีค่าลดลง

ความถี่ที่ป้อนให้กับ Amp (Hz)	ขนาดของสัญญาณอินพุท (Vp-p)	Vout ที่ได้จากเครื่องวัดความ สั่นสะเทือน (Vp-p)
0.35	0.2	0.07
0.5	0.2	0.07
1	0.2	1
2	0.2	1.1
3	0.2	1.3
4	0.2	1.4
5	0.08	1.6
6	0.08	1.8
7	0.08	2.2
8	0.06	2.9
9	0.05	3.5
10	0.05	4.8
11	0.05	7
12	0.04	2.1
13	0.04	1.6
14	0.04	1.2
15	0.03	1.0
16	0.03	0.6
17	0.03	0.6
18	0.03	0.6
19	0.03	0.6
20	0.03	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.3 กราฟการทดลองจากตาราง 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การทดลองหาขนาดแรงดันอินพุตของวงจรวีทส์โตนบรีดจ์

ทำการทดลองสั้นตัวเซ็นเซอร์ที่ต่อกับวงจรขยายที่มีอัตราขยายประมาณ 20,000 เท่า แล้วนำสโตนโคปมาจับที่เอาต์พุตของวงจรวีทส์โตนบรีดจ์และวงจรแอมป์รีไฟเออร์ สามารถวัดค่าเอาต์พุตได้ดังนี้

	V_{out} (Wheastone bridge)	V_{out} (Amplifier)
ค่า minimum	3.5uV	0.07V
ค่า maximum	0.65mV	13V

ตาราง 6.3 แสดงค่าต่ำสุดสูงสุดที่เอาต์พุตของวงจรวีทส์โตนบรีดจ์

6.3 การทดสอบวงจรนับความถี่

ทำการทดสอบวงจรโดยป้อนความถี่ค่าต่างๆ เข้าที่อินพุตของวงจรนับความถี่แล้วนำสโตนโคปมาจับที่เอาต์พุต ทำการอ่านค่าจากสโตนโคปเทียบกับคิสเพลย์ของวงจรนับความถี่

ค่าความถี่ที่อ่านได้จากสโตนโคป (Hz)	ค่าความถี่อ่านที่ได้คิสเพลย์ (Hz)
10	9.8
15	14.9
20	19.8
25	25
30	29.8
35	34.9
40	40
45	44.9
50	50

ตาราง 6.4 เปรียบเทียบความถี่ที่ได้จากสโตนโคปกับคิสเพลย์ของวงจรนับความถี่

6.4 การทดลองหาร่วงความถี่ของเครื่องวัดความถี่สะเทือน

ทำการทดลองโดยทำการสั่นตัวเซ็นเซอร์โดยใช้มือเขย่า แล้วอ่านค่าความถี่จากการเขย่าเบาๆ และค่อยๆ เพิ่มความแรงในการเขย่าขึ้นเรื่อยๆ บันทึกค่าความถี่จากคิสเพลย์ของวงจรมับความถี่

ค่าความถี่ต่ำสุดที่สามารถอ่านได้ ≈ 0.4 Hz

ค่าความถี่สูงสุดที่สามารถอ่านได้ ≈ 7 Hz

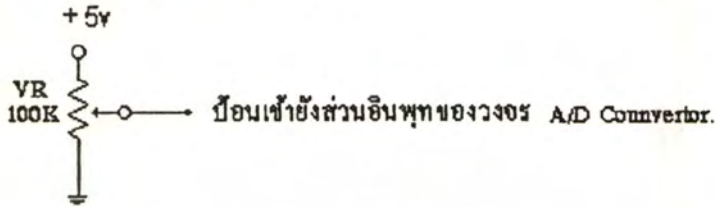
6.5 การใช้วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลติดต่อกับคอมพิวเตอร์

การทดลองนี้สามารถใช้โปรแกรมตรวจสอบและปรับแต่งวงจรโดยการเขียนโปรแกรมในภาษา Quick Basic เวอร์ชัน 4.5 อ่านค่าจากวงจรและทำการแสดงผลที่อ่านได้ดังโปรแกรมข้างล่างนี้

```
REM ***OPERATION CHECK PROGRAM***
REM IF YOUR PROJECT IS CONNETED TO COM2 CHANGE COM1 TO COM2
REM AND CHANGE INP(1013) TO INP(760)
REM *****
OPEN "COM2:9600,N,8,1,CD0,OP0,RS" FOR INPUT AS #1
CLS
PRINT "*****"
PRINT " 8 BIT"
PRINT "OPERATE"
PRINT "PRESS <ESC> TO EXIT"
LOCATE 14, 20: PRINT ""
DO
DAT = INP(760)
LOCATE
LOCATE 15, 41: PRINT DAT
LOOP UNTIL INKEY$ = CHR$(27)
CLOSE #1
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากต้องการติดต่อกับพอร์ต COM2 ให้ทำการเปลี่ยนคำสั่ง DAT = INP(1016) เป็น DAT = INP(760) แทน เพราะการติดต่อกับพอร์ต COM1 ใช้คำสั่ง DAT = INP(1016) และให้ต่อวงจรตามรูป 6.4 เข้าที่ส่วนอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลหลังจากนั้นให้กดปุ่มรีเซทเพื่อให้วงจรพร้อมที่จะทำงาน

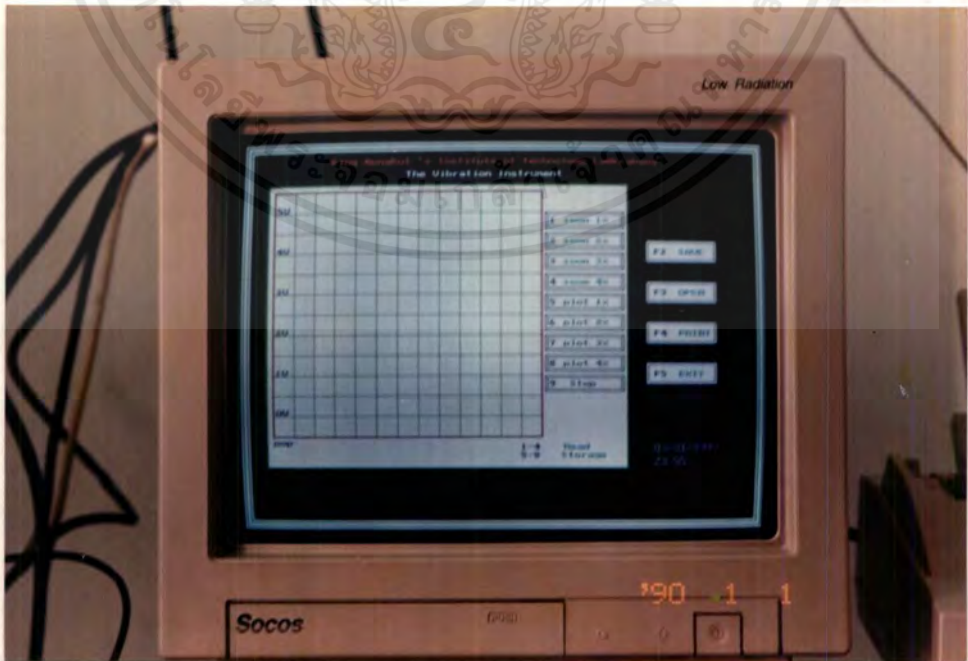


รูป 6.4 วงจรที่ต่อเข้าส่วนอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

เมื่อต่อแรงดันอินพุทลงกราวด์ผลการทดลองที่ได้คือ LED ทุกดวงจะต้องติดหมคมและค่าที่อ่านได้จากการรันโปรแกรมคือ 0 และเมื่อต่อแรงดันอินพุทเข้ากับ +5 V ผลการทดลองที่ได้คือ LED ทุกดวงจะต้องดับหมคมและค่าที่อ่านได้จากการรันโปรแกรมคือ 255

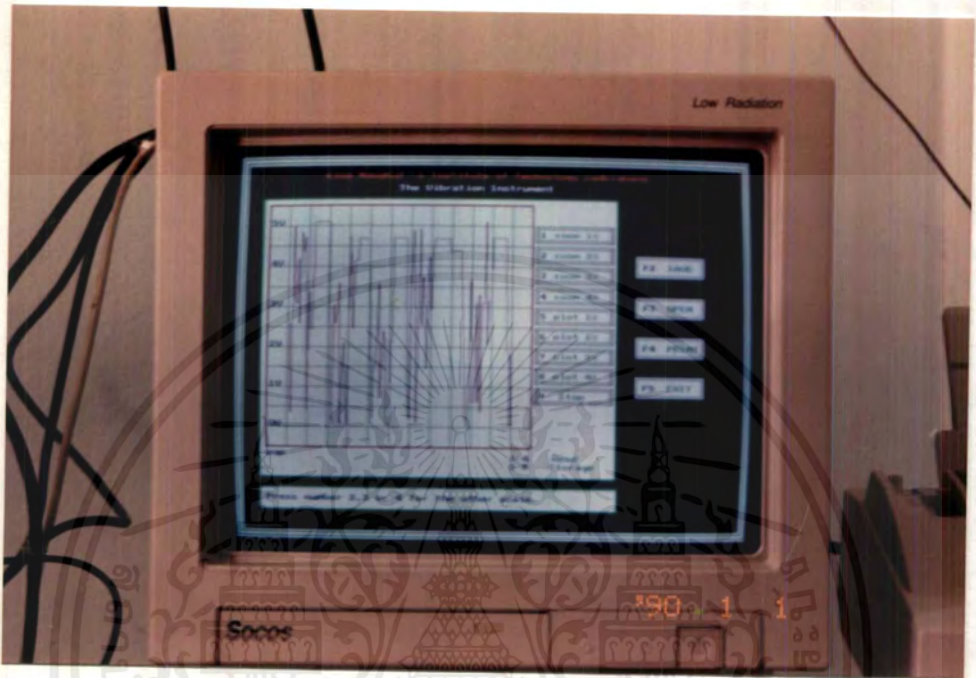
6. 6 การทดลองโปรแกรมประมวลสัญญาณความสั่นสะเทือน

1. ทำการต่อฮาร์ดแวร์เข้ากับพอร์ต COM2 ของคอมพิวเตอร์ และทำการรันโปรแกรม



รูป 6.5 หน้าจอของโปรแกรมประมวลสัญญาณความสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

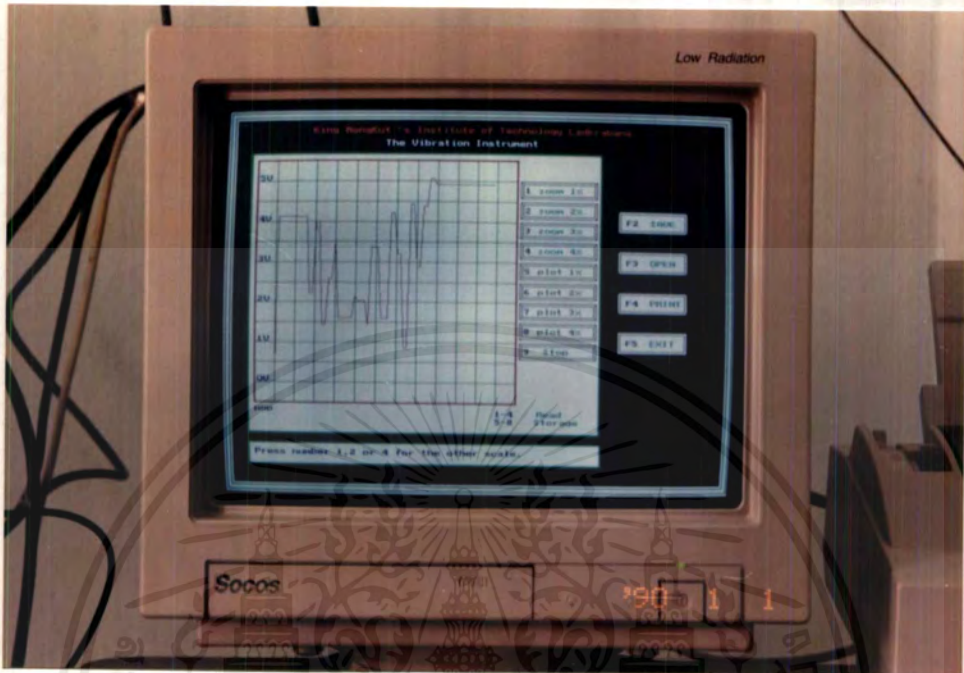


รูป 6.6 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกลุ่มหมายเลข 1

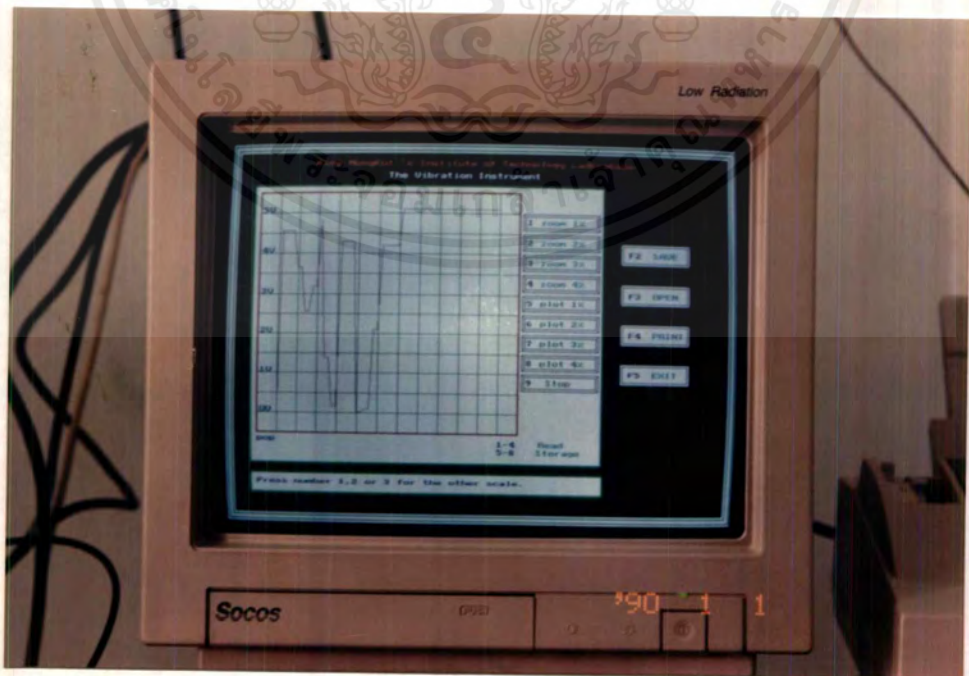


รูป 6.7 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกลุ่มหมายเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

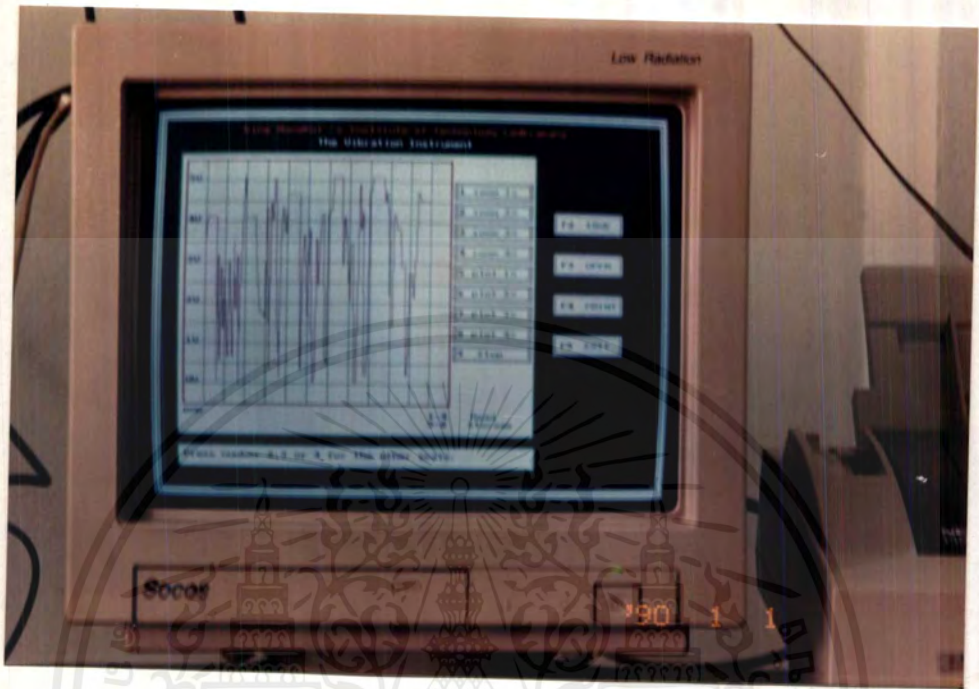


รูป 6.8 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกลุ่มหมายเลข 3

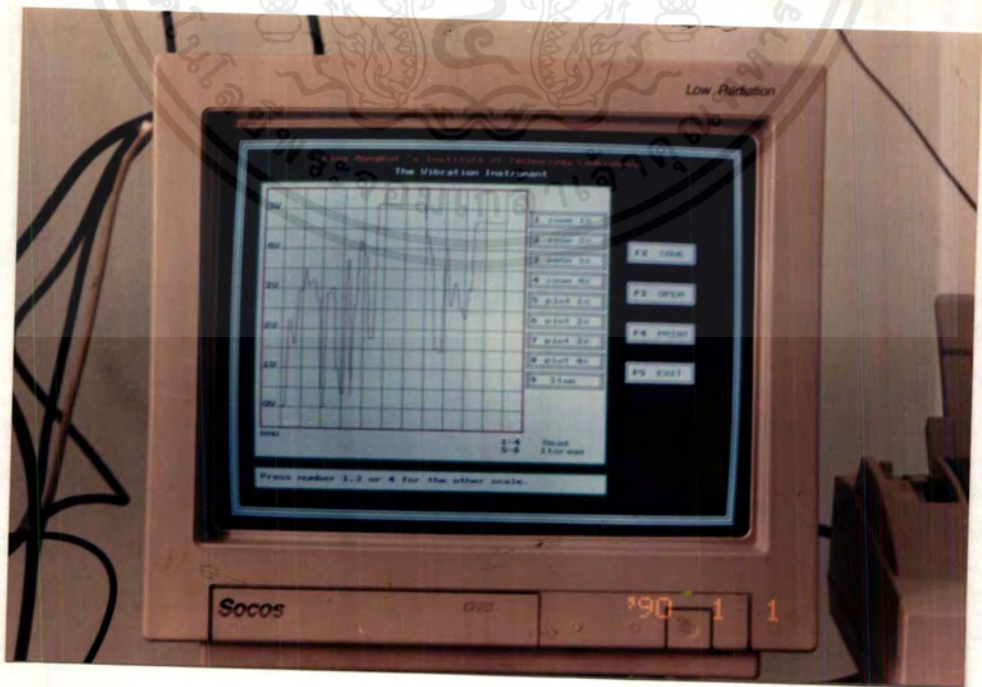


รูป 6.9 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกลุ่มหมายเลข 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

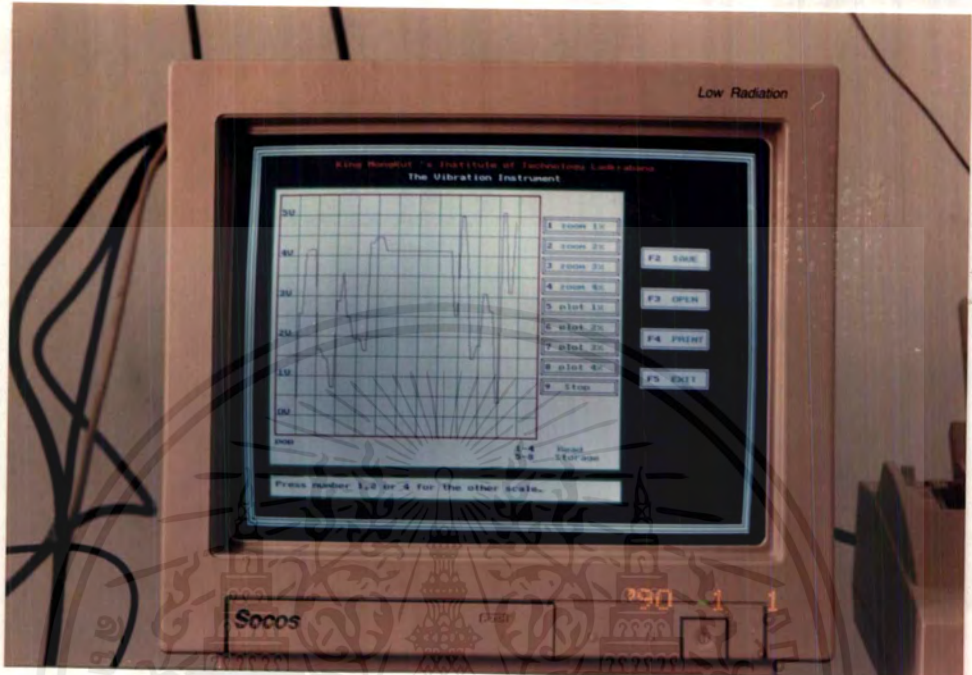


รูป 6.10 ผลการรัน โปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 5

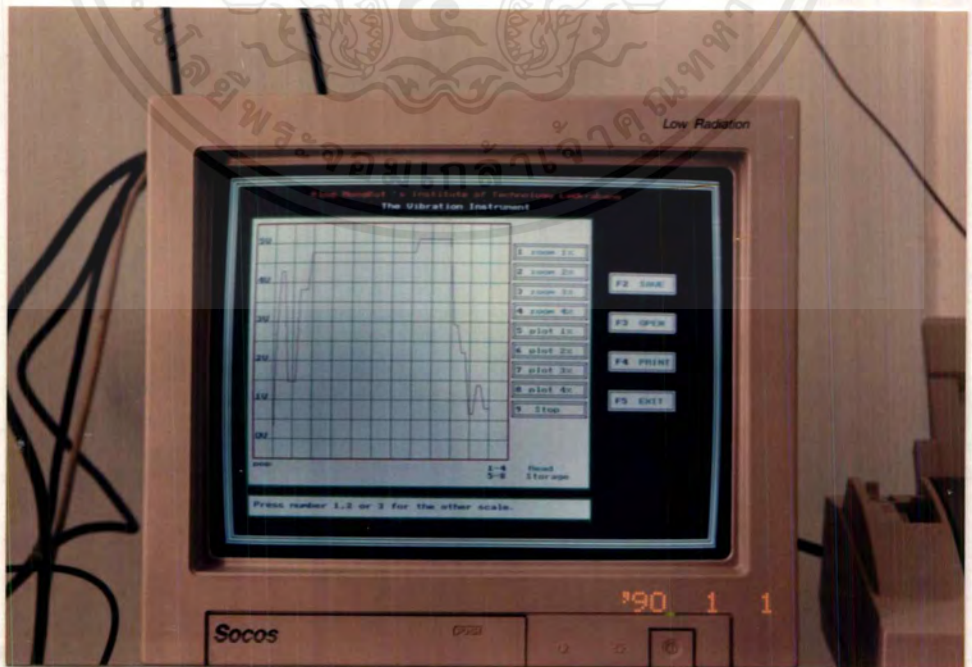


รูป 6.11 ผลการรัน โปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

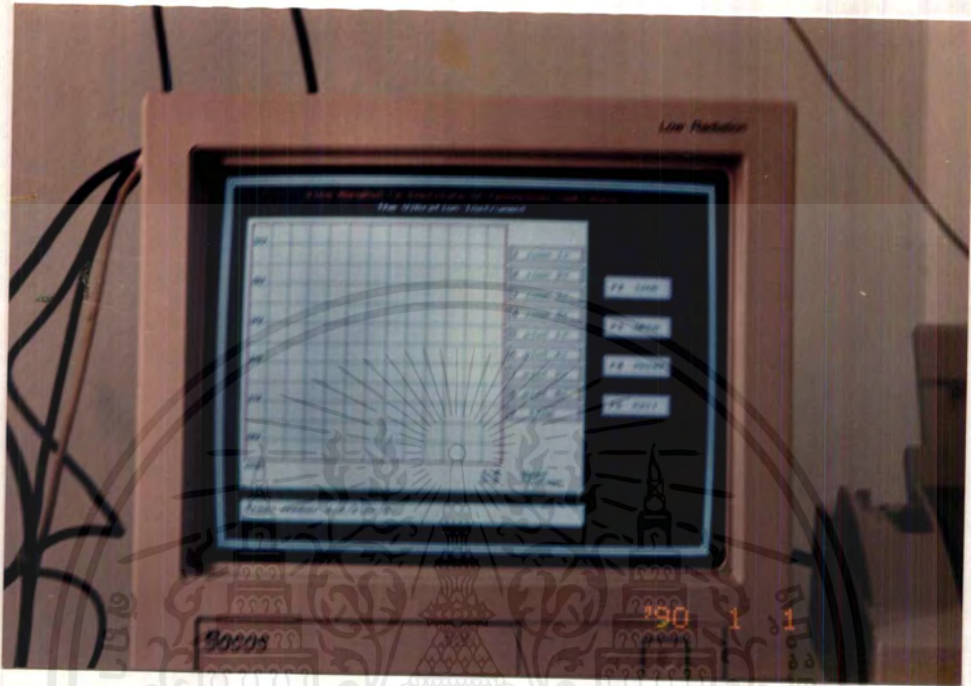


รูป 6.12 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 7

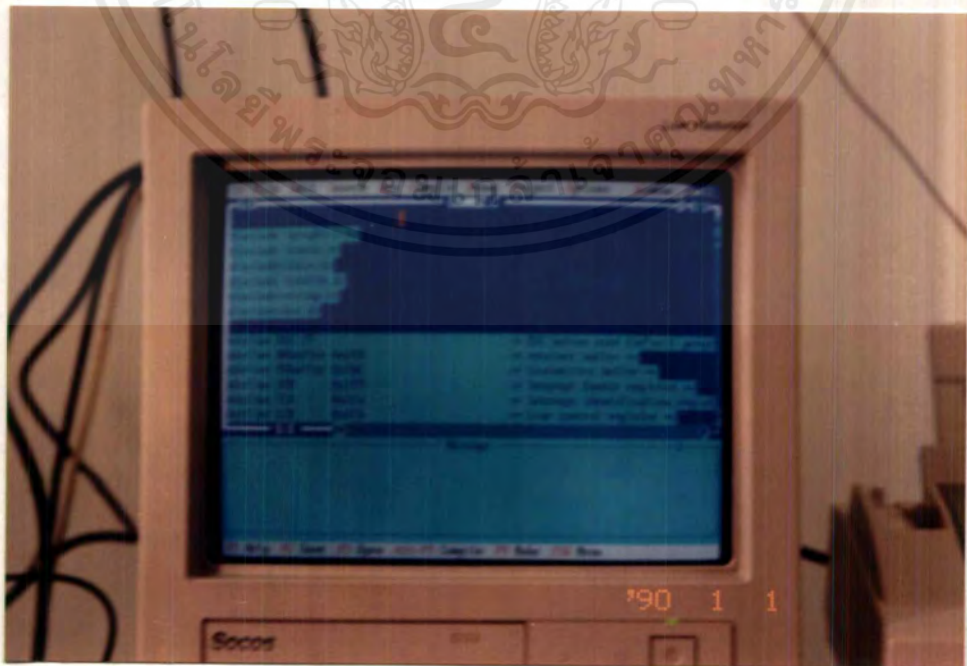


รูป 6.13 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในกรณีฉุกเฉินเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.14 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่มหมายเลข 9

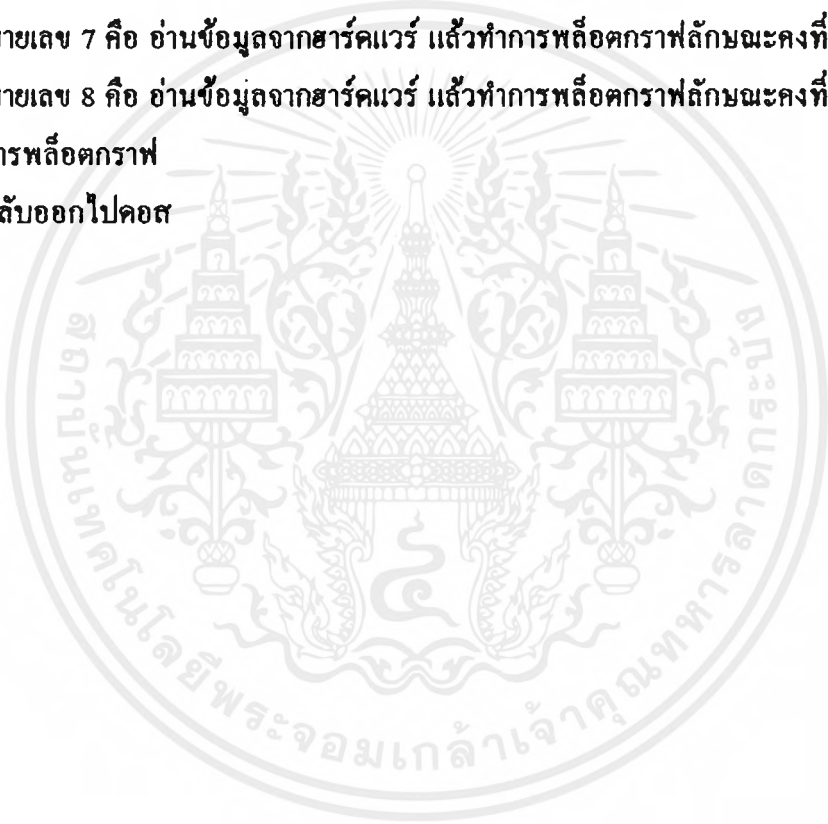


รูป 6.15 ผลการรันโปรแกรมเมื่อกดปุ่ม F5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของปุ่มหมายเลขต่างๆ

1. ปุ่มหมายเลข 1 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรีตลอดเวลา
2. ปุ่มหมายเลข 2 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรีตลอดเวลา
3. ปุ่มหมายเลข 3 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรีตลอดเวลา
4. ปุ่มหมายเลข 4 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรีตลอดเวลา
5. ปุ่มหมายเลข 5 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรี
6. ปุ่มหมายเลข 6 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรี
7. ปุ่มหมายเลข 7 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรี
8. ปุ่มหมายเลข 8 คือ อ่านข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ แล้วทำการพล็อตกราฟลักษณะวงรี
9. หยุดการพล็อตกราฟ
10. F5 กลับออกไปคอศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุป

ในการออกแบบวงจรครั้งแรกนั้นได้ใช้วงจรขยายแบบคิฟเฟอร์เรนเซียลแอมป์ในส่วนของ วงจรขยายสัญญาณในภาคแรกพบว่ามีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นมากจึงได้เปลี่ยนวงจรขยายสัญญาณ ในภาคแรกจากคิฟเฟอร์เรนเซียลแอมป์ มาเป็นวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน แอมป์รีไฟเออร์ แทน เนื่องจากวงจรอินสตรูเมนเตชัน แอมป์รีไฟเออร์มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ อินพุทอิมพีแดนซ์ ของวงจรมีค่าสูงมาก และอัตราขยายแบบคอมมอนโมดมีค่าต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการ ที่จะกำจัดสัญญาณรบกวน ผลการทดลองเมื่อใช้วงจรอินสตรูเมนเตชัน แอมป์รีไฟเออร์พบว่า สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนให้หมดไปได้

สำหรับขอบเขตของการทำงานของเครื่องวัดความสั่นสะเทือนนี้ จากการทดสอบโดยใช้มือคน ในการทดสอบพบว่า สามารถวัดอาการสั่นของคนปกติหรือการสั่นที่เบามากๆ ได้ โดยอัตราขยาย ที่ใช้ขยายสัญญาณจากการสั่นนี้ ประมาณ 500,000 เท่า จากการทดสอบพบว่าความถี่ที่สามารถ ตรวจวัดได้จากการสั่นที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนนั้นจะอยู่ระหว่าง 0.5 - 5 Hz

ในส่วนของปัญหาที่พบในการใช้งานเครื่องวัดความสั่นสะเทือนนี้คือ ต้องทำการปรับให้ วงจรบริคจ์บาลานซ์อยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากขาของตัวสเตรนเกจส์ที่นำมาใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์นั้นเป็น เส้นลวด ดังนั้นเมื่อมีการสั่นเกิดขึ้นก็จะมีผลให้ขาของตัวสเตรนเกจส์เคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมได้ ซึ่งจะมีผลให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เป็นผลให้วงจรบริคจ์เกิดการไม่สมดุลย์ขึ้น สำหรับผลจากการที่วงจรบริคจ์ไม่สมดุลย์ก็คือ จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น เป็นผลให้คิสเพลย์ของ วงจรนับความถี่ไม่เป็นศูนย์เมื่อไม่มีการสั่นเกิดขึ้น

การแสดงผลทางจอกอมพิวเตอร์นั้น จะแสดงสัญญาณที่ตรวจจับได้ออกมาเป็นกราฟดังรูป ที่แสดงในการทดลองในบทที่ 6 โดยแกน Y นั้นจะแสดงถึงความแรงในการสั่น และแกน X แสดง ความถี่ในการสั่น ปัญหาที่พบทางด้านซอฟต์แวร์ คือ เมื่อยังไม่มีการสั่นของตัวเซ็นเซอร์ จะเกิด สัญญาณรบกวนขึ้นที่หน้าจอกอมพิวเตอร์มีขนาดประมาณ 1 โวลต์

หนังสืออ้างอิง

1. ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด, “เครื่องวัดความถี่ต่ำย่านออกซิโอ”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 117, 2535, หน้า 23-28 .
2. กฤดา โจเย็น, “เครื่องแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 156, 2539, หน้า 27-35.
3. ธันวาท ศรีประโมง, “การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม”, โครงการตำราวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 739 หน้า, 2537.
4. มัชฌิมา ปราการสมุทร, “การเขียนชุดคำสั่งภาษาซี”, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 345 หน้า, 2534
5. วิริ พงษ์แจ้ง, กิตติ องค์คุณารักษ์, “เทคนิคการจัดการแอดวานซ์ด้วยภาษาซี”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 478 หน้า, 2538
6. Kyowa Measuring Instrument, “Strain Gauges”, บริษัท ไฟฟ้าอุตสาหกรรม จำกัด, กรุงเทพฯ.
7. B.Zschocke, A. Arnold, “Convertisseur RS-232-A/N”, Elektor, no.164, Publitronic, France.p.62-69, Fevrier,1992.
8. Intersil, Inc. “ICL 7109”, Intersil Databook, California.

กิติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการเครื่องวัดความสั่นสะเทือนจนสำเร็จลุส่งไปได้ด้วยดีนี้ ทางผู้จัดทำ
ต้องขอกราบขอบพระคุณ อ. กิตติพล ชิตสกุล เป็นอย่างสูง ในการที่ท่านให้ความอนุเคราะห์จัดหา
อุปกรณ์พร้อมทั้งวงจร ช่วยเหลือเป็นที่ปรึกษาปัญหาต่างๆ จนสำเร็จไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำขอให้
คุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายจงบันดาลให้ท่านมีความสุข และมีความสำเร็จใน
หน้าที่การงานตลอดไปด้วยเทอญ

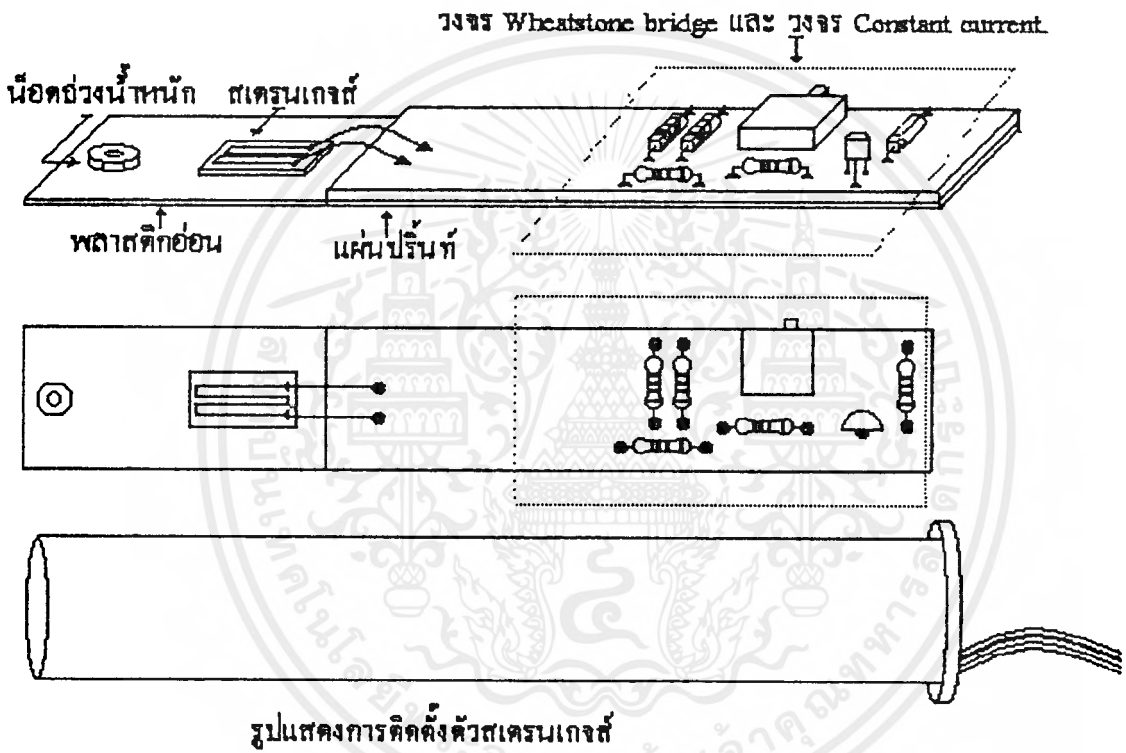
กชา ศรีสุรินทร์
อนันต์ ศศิธรชัยเดช



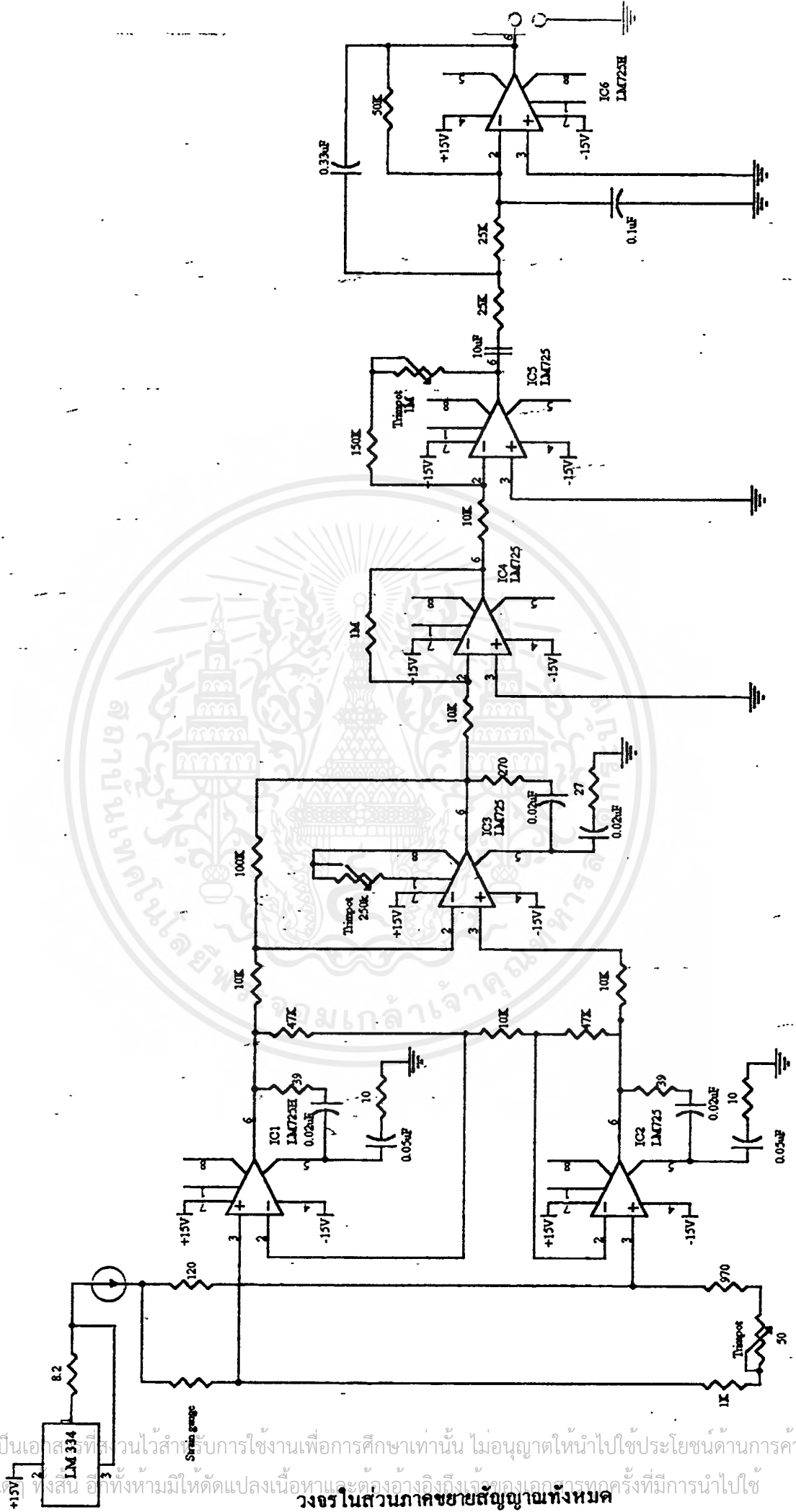
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

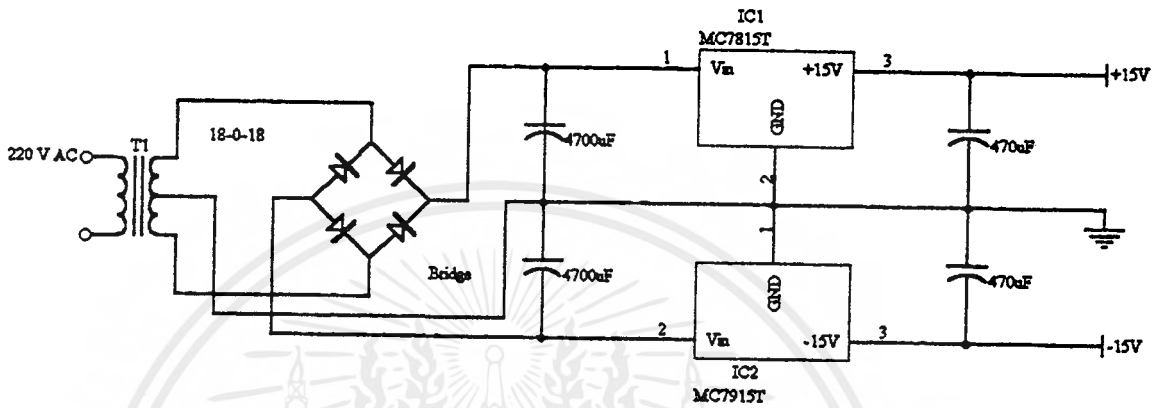


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



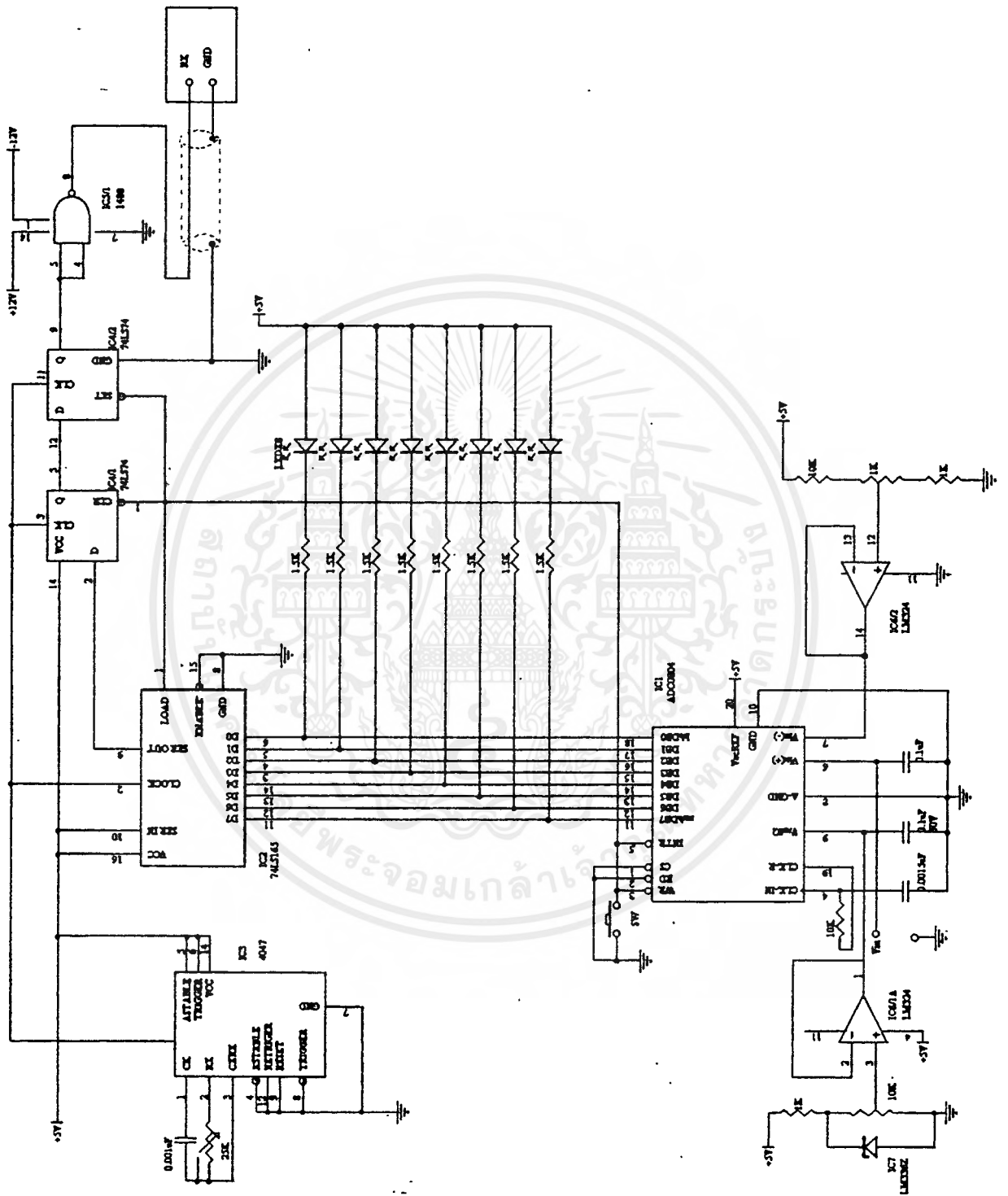
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่วนวิศวกรรมใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในส่วนภาคขยายสัญญาณทั้งหมด



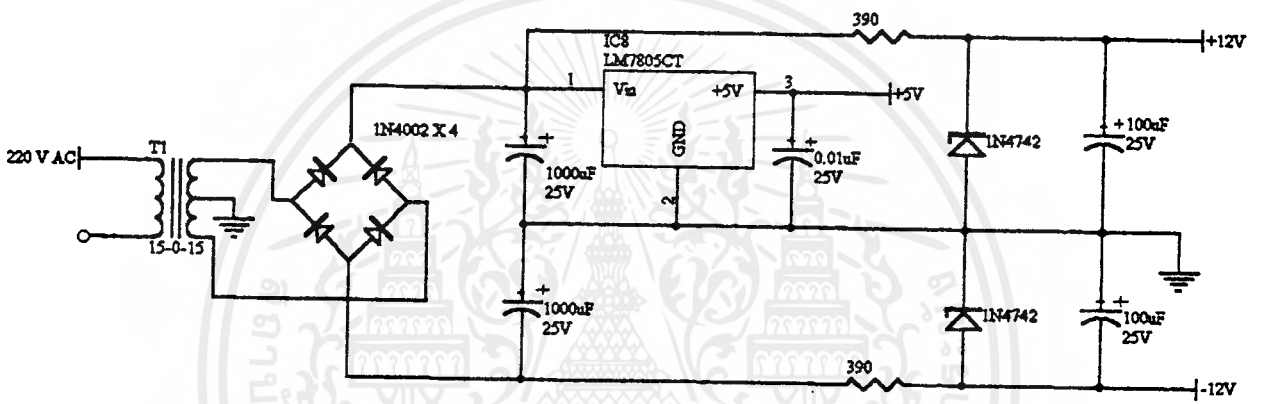
วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรรากขยายสัญญาณทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



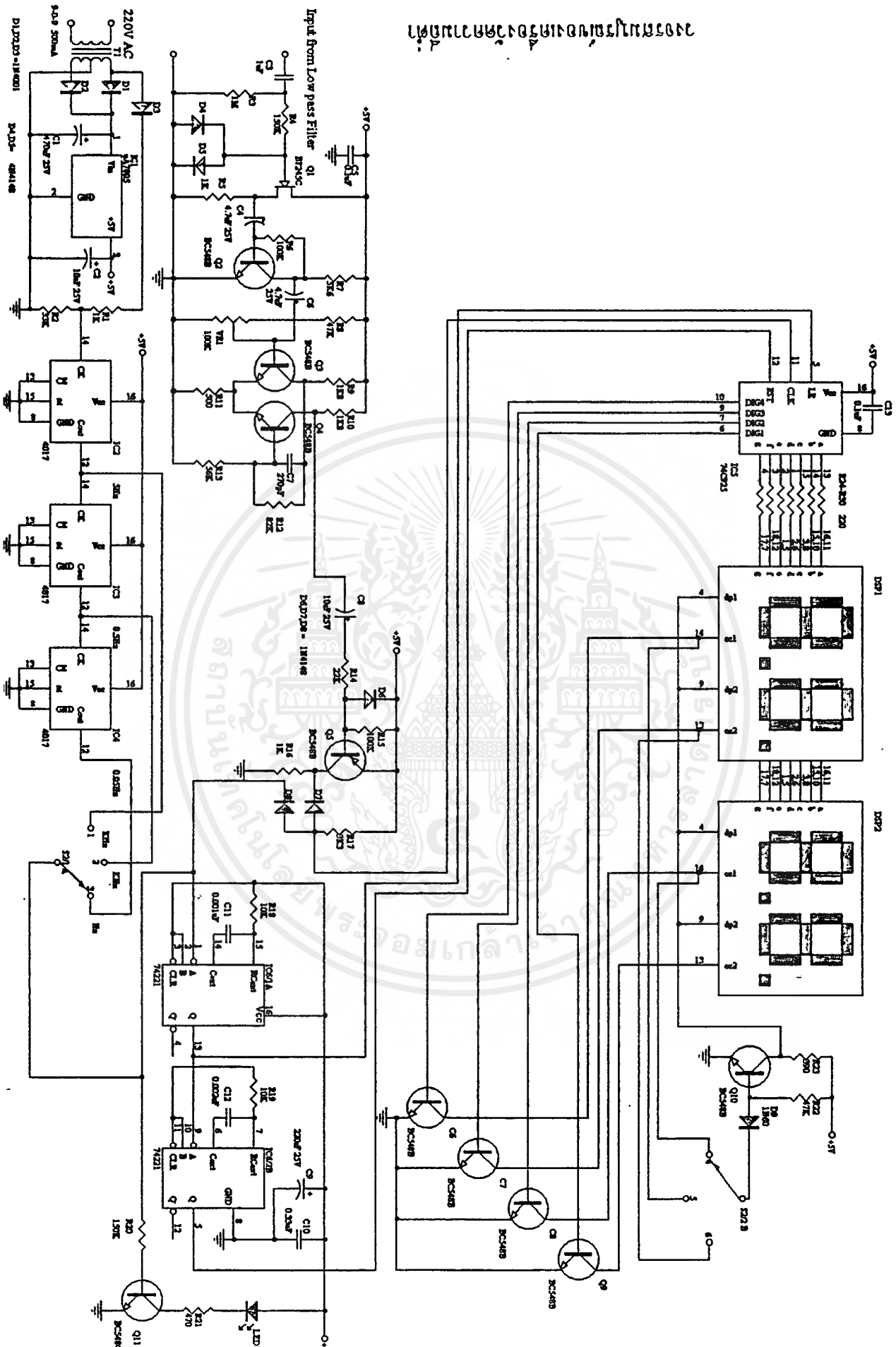
วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD

A Schlumberger Company

μ A725 Instrumentation Operational Amplifier

Linear Division Operational Amplifiers

Description

The μ A725 is a monolithic instrumentation operational amplifier constructed using the Fairchild Planar Epitaxial process. It is intended for precise, low level signal amplification applications where low noise, low drift, and accurate closed loop gain are required. The offset null capability, low power consumption, very high voltage gain as well as wide power supply voltage range provide superior performance for a wide range of instrumentation applications. The μ A725 is lead compatible with the popular μ A741 operational amplifier.

- Low Input Noise Current — 0.15 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ At 1.0 kHz Typically
- High Open Loop Gain — 3,000,000 Typically
- Low Input Offset Current — 2.0 nA Typically
- Low Input Voltage Drift — 0.6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ Typically
- High Common Mode Rejection — 120 dB
- High Input Voltage Range — ± 14 V Typically
- Wide Power Supply Range — ± 3.0 V To ± 22 V
- Offset Null Capability

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature Range

Metal Can	-65°C to +175°C
Molded DIP	-65°C to +150°C

Operating Temperature Range

Extended (μ A725AM, μ A725M)	-55°C to +125°C
Commercial (μ A725EC, μ A725C)	0°C to +70°C

Lead Temperature

Metal Can (soldering, 60 s)	300°C
Molded DIP (soldering, 10 s)	265°C

Internal Power Dissipation^{1, 2}

8L-Metal Can	1.00 W
8L-Molded DIP	0.93 W

Supply Voltage

± 22 V

Differential Input Voltage

± 5.0 V

Input Voltage³

± 22 V

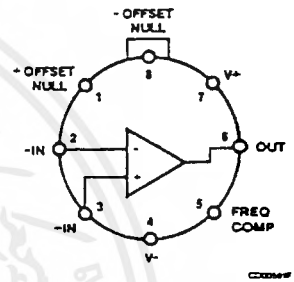
Voltage Between Offset Null and V+

± 0.5 V

Notes

1. $T_J \text{ Max} = 150^\circ\text{C}$ for the Molded DIP, and 175°C for the Metal Can.
2. Ratings apply to ambient temperature at 25°C . Above this temperature, derate the 8L-Metal Can at $6.7 \text{ mW}/^\circ\text{C}$, and the 8L-Molded DIP at $7.5 \text{ mW}/^\circ\text{C}$.
3. For supply voltages less than ± 22 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Connection Diagram 8-Lead Metal Package (Top View)

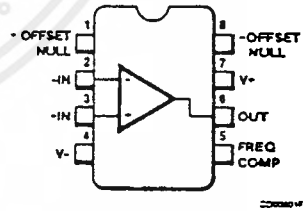


Lead 4 connected to case.

Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μ A725HM	5W	Metal
μ A725HC	5W	Metal
μ A725AHM	5W	Metal
μ A725EHC	5W	Metal

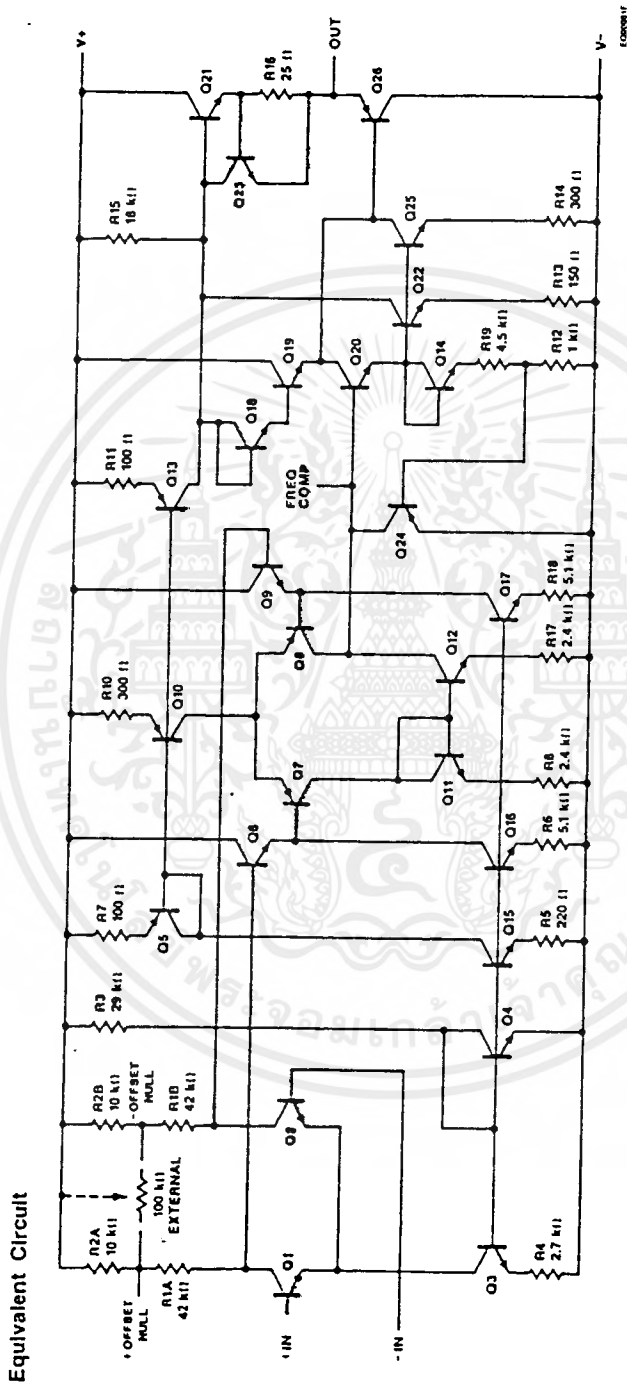
Connection Diagram 8-Lead DIP (Top View)



Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μ A725TC	9T	Molded DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Equivalent Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μA725A/E and μA725

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$, unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition	μA725A/E			μA725			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{IO}	Input Offset Voltage (Without external trim)	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			0.5		0.5	1.0	mV
I_{IO}	Input Offset Current				5.0		2.0	20	nA
I_{IB}	Input Bias Current				75		42	100	nA
Z_I	Input Impedance			1.5			1.5		MΩ
P_C	Power Consumption	μA725A/μA725		80	120		80	120	mW
		μA725E			150				
		$V_{CC} = \pm 3.0\text{ V}$			6.0				
CMR	Common Mode Rejection	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	120	130		110	120		dB
V_{IR}	Input Voltage Range		± 13.5	± 14		± 13.5	± 14		V
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$		2.0	5.0		2.0	10	μV/V
A_{VS}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2.0\text{ k}\Omega$, $V_O = \pm 10\text{ V}$	1000	3000		1000	3000		V/mV
V_{OP}	Output Voltage Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	± 12.5			± 12	± 13.5		V
		$R_L = 2.0\text{ k}\Omega$	± 10			± 10	± 13.5		V
e_n	Input Noise Voltage	$f_o = 10\text{ Hz}$		15	15		15		nV/√Hz
		$f_o = 100\text{ Hz}$		9.0	12		9.0		
		$f_o = 1.0\text{ kHz}$		8.0	12		8.0		
i_n	Input Noise Current	$f_o = 10\text{ Hz}$		1.0	1.2		1.0		pA/√Hz
		$f_o = 100\text{ Hz}$		0.3	0.6		0.3		
		$f_o = 1.0\text{ kHz}$		0.15	0.25		0.15		

The following specifications apply over the range of $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ for μA725E, $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for μA725A and μA725.

V_{IO}	Input Offset Voltage (Without external trim)	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			0.75		1.5	mV	
$\Delta V_{IO}/\Delta T$	Input Offset Voltage Temperature Sensitivity (Without external trim)	$R_S = 50\ \Omega$		2.0	2.0		5.0	μV/°C	
$\Delta V_{IO}/\Delta T$	Input Offset Voltage Temperature Sensitivity (With external trim)	$R_S = 50\ \Omega$		0.6		0.6		μV/°C	
I_{IO}	Input Offset Current	$T_A = T_{A\text{ Max}}$			4.0		1.2	20	nA
		$T_A = T_{A\text{ Min}}$		5.0	18		7.5	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ A725A/E and μ A725 (Cont.)

Electrical Characteristics $V_{CC} = \pm 15$ V, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ for μ A725E, $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for μ A725A and μ A725.

Symbol	Characteristic	Condition	μ A725A/E			μ A725			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$\Delta I_{IO}/\Delta T$	Input Offset Current Temperature Sensitivity			35	90		35		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_B	Input Bias Current	$T_A = T_{A \text{ Max}}$			70		20	100	nA
		$T_A = T_{A \text{ Min}}$			180		80	200	nA
CMR	Common Mode Rejection	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	110			100			dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$			8.0			20	$\mu\text{V}/\text{V}$
A_{VS}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2.0 \text{ k}\Omega$, $T_A = T_{A \text{ Max}}$	1000			1000			V/mV
		$R_L \geq 2.0 \text{ k}\Omega$, $T_A = T_{A \text{ Min}}$	500			250			V/mV
V_{OP}	Output Voltage Swing	$R_L = 2.0 \text{ k}\Omega$	± 10			± 10			V

μ A725C

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = \pm 15$ V, unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typ	Max	Unit
V_{IO}	Input Offset Voltage (Without external trim)	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$		0.5	2.5	mV
I_{IO}	Input Offset Current			2.0	35	nA
I_B	Input Bias Current			42	125	nA
e_n	Input Noise Voltage	$f_o = 10 \text{ Hz}$		15		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_o = 100 \text{ Hz}$		9.0		
		$f_o = 1.0 \text{ kHz}$		8.0		
i_n	Input Noise Current	$f_o = 10 \text{ Hz}$		1.0		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_o = 100 \text{ Hz}$		0.3		
		$f_o = 1.0 \text{ kHz}$		0.15		
Z_i	Input Impedance			1.5		$\text{M}\Omega$
V_{IR}	Input Voltage Range		± 13.5	± 14		V
A_{VS}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2.0 \text{ k}\Omega$, $V_O = \pm 10 \text{ V}$	250	3000		V/mV
CMR	Common Mode Rejection	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	94	120		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$		2.0	35	$\mu\text{V}/\text{V}$
V_{OP}	Output Voltage Swing	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	± 12	± 13.5		V
		$R_L = 2.0 \text{ k}\Omega$	± 10	± 13.5		
P_c	Power Consumption			80	150	mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu A725$

$\mu A725C$ (Cont.)

Electrical Characteristics $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, $V_{CC} = \pm 15 V$, unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typ	Max	Unit
V_{IO}	Input Offset Voltage (Without external trim)	$R_S \leq 10 k\Omega$			3.5	mV
$\Delta V_{IO}/\Delta T$	Input Offset Voltage Temperature Sensitivity (Without external trim)	$R_S = 50 \Omega$		2.0		$\mu V/^\circ C$
$\Delta V_{IO}/\Delta T$	Input Offset Voltage Temperature Sensitivity (With external trim)	$R_S = 50 \Omega$		0.6		$\mu V/^\circ C$
I_{IO}	Input Offset Current	$T_A = T_A \text{ Max}$		1.2	35	nA
		$T_A = T_A \text{ Min}$		4.0	50	
$\Delta I_{IO}/\Delta T$	Input Offset Current Temperature Sensitivity			10		pA/°C
I_{IB}	Input Bias Current	$T_A = T_A \text{ Max}$			125	nA
		$T_A = T_A \text{ Min}$			250	
A_{VS}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2.0 k\Omega$	125			V/mV
CMR	Common Mode Rejection	$R_S \leq 10 k\Omega$		115		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$R_S \leq 10 k\Omega$		20		$\mu V/V$
V_{OP}	Output Voltage Swing	$R_L = 2.0 k\Omega$	± 10			V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE® output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input-voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

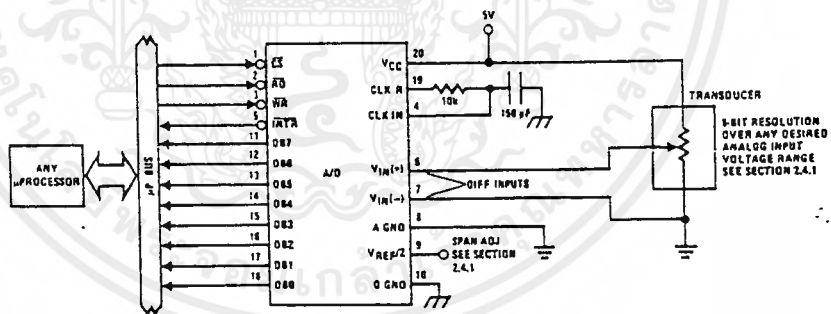
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC}, 2.5 V_{DC}, or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

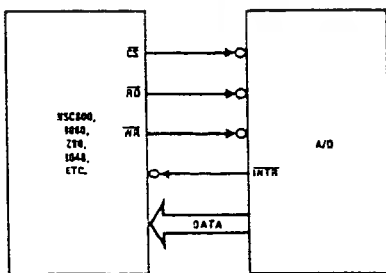
- Resolution 8 bits
- Total error $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time 100 μ s

Typical Applications



TL/H/5671-1

8080 Interface



TL/H/5671-31

Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

Part Number	Full-Scale Adjusted	V _{REF} /2 = 2.500 V _{DC} (No Adjustments)	V _{REF} /2 = No Connection (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		± 1 LSB	
ADC0805			± 1 LSB

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ($V_{CC}+0.3V$)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0801/02LJ	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/04LCJ	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/05LCN	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0804LCN	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCV	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCWM	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
Range of V_{CC}	4.5 V_{DC} to 6.3 V_{DC}

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK} = 640$ kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			± 1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ -No Connection			± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		k Ω . k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(+)$ or $V(-)$	Gnd-0.05		$V_{CC} + 0.05$	V_{DC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T_C	Conversion Time	$f_{CLK} = 640$ kHz (Note 6)	103		114	μs
T_C	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
f_{CLK}	Clock Frequency Clock Duty Cycle	$V_{CC} = 5V$, (Note 5) (Note 5)	100 40	640	1460 60	kHz %
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	$INT\bar{R}$ tied to $\bar{W}R$ with $\bar{C}S = 0 V_{DC}$, $f_{CLK} = 640$ kHz	8770		9708	conv/s
$t_{W(\bar{W}R)L}$	Width of $\bar{W}R$ Input (Start Pulse Width)	$\bar{C}S = 0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of $\bar{R}D$ to Output Data Valid)	$C_L = 100$ pF		135	200	ns
t_{1H}, t_{0H}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of $\bar{R}D$ to Hi-Z State)	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t_{W1}, t_{R1}	Delay from Falling Edge of $\bar{W}R$ or $\bar{R}D$ to Reset of $INT\bar{R}$			300	450	ns
C_{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF

CONTROL INPUTS (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)

$V_{IN}(1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 5.25 V_{DC}$	2.0		15	V_{DC}
-------------	---	------------------------	-----	--	----	----------

AC Electrical Characteristics (Continued)The following specifications apply for $V_{CC} = 5V_{DC}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
$V_{IN}(0)$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.8	V_{DC}
$I_{IN}(1)$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 5 V_{DC}$		0.005	1	μA_{DC}
$I_{IN}(0)$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 0 V_{DC}$	-1	-0.005		μA_{DC}
CLOCK IN AND CLOCK R						
V_{T+}	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	V_{DC}
V_{T-}	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	V_{DC}
V_H	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)		0.6	1.3	2.0	V_{DC}
$V_{OUT}(0)$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O = 360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
DATA OUTPUTS AND INTR						
$V_{OUT}(0)$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs INTR Output	$I_{OUT} = 1.6 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$ $I_{OUT} = 1.0 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4 0.4	V_{DC} V_{DC}
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -10 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	4.5			V_{DC}
I_{OUT}	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0 V_{DC}$ $V_{OUT} = 5 V_{DC}$	-3		3	μA_{DC} μA_{DC}
I_{SOURCE}		V_{OUT} Short to Gnd, $T_A = 25^\circ C$	4.5	6		mA_{DC}
I_{SINK}		V_{OUT} Short to V_{CC} , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16		mA_{DC}
POWER SUPPLY						
I_{CC}	Supply Current (Includes Ladder Current) ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCV/LCWM	$f_{CLK} = 640 kHz$, $V_{REF}/2 = NC, T_A = 25^\circ C$ and $CS = 5V$			1.1 1.9	mA mA

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to Gnd and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: For $V_{IN}(-) \geq V_{IN}(+)$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. Be careful, during testing at low V_{CC} levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 V_{DC} to 5 V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.950 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Accuracy is guaranteed at $f_{CLK} = 640 kHz$. At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

Note 7: The CS input is assumed to bracket the WR strobe input and therefore timing is dependent on the WR pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the WR pulse (see timing diagrams).

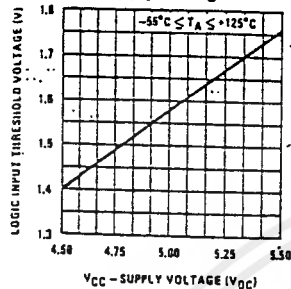
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The $V_{REF}/2$ pin is the center point of a two-resistor divider connected from V_{CC} to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k Ω . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k Ω .

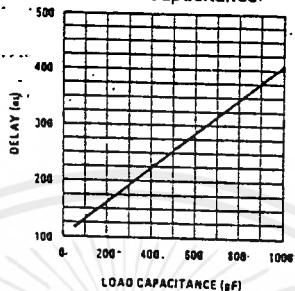
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Typical Performance Characteristics

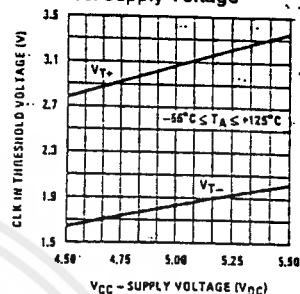
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



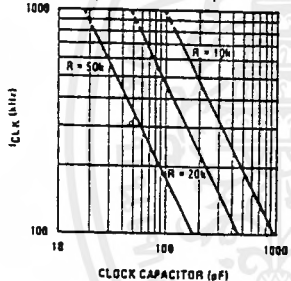
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance:



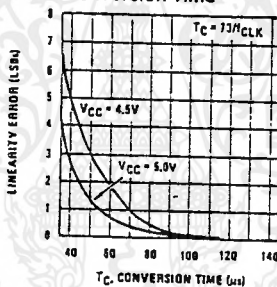
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



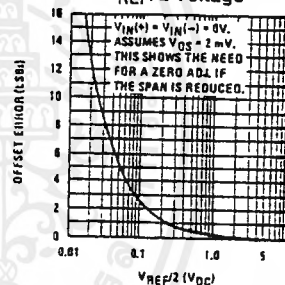
fCLK vs. Clock Capacitor



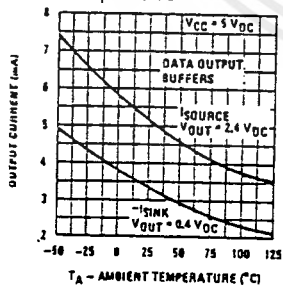
Full-Scale Error vs Conversion Time



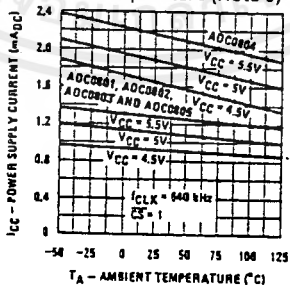
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



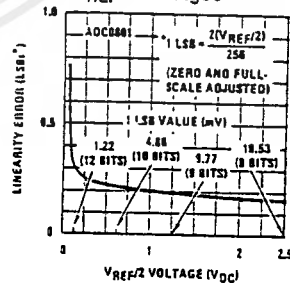
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



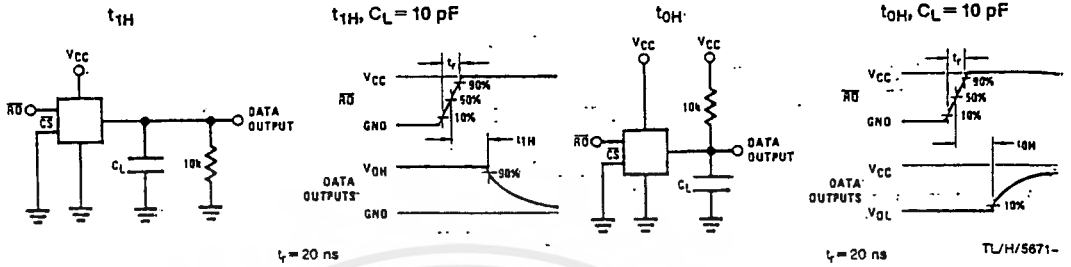
Linearity Error at Low VREF/2 Voltages



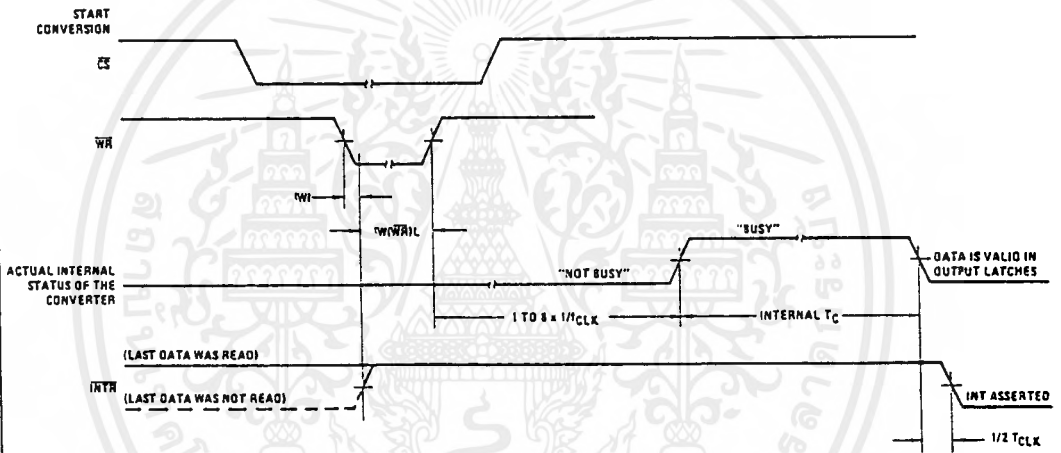
TL/H/5671-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

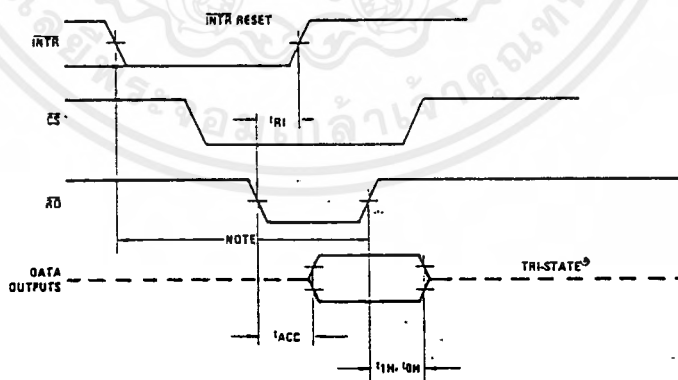
TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)



Output Enable and Reset INTR

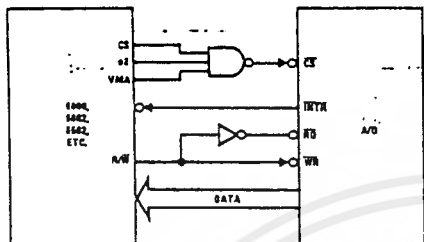


Note: Read strobe must occur 8 clock periods ($8/t_{CLK}$) after assertion of interrupt to guarantee reset of \overline{INTR} .

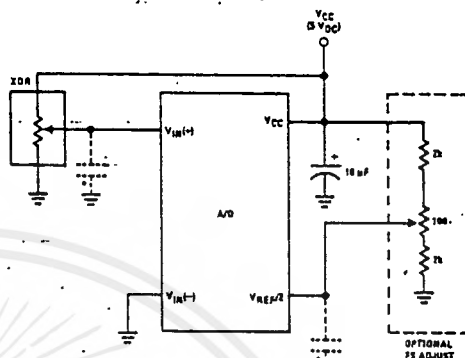
TL/H/5671-4

Typical Applications (Continued)

6800 Interface

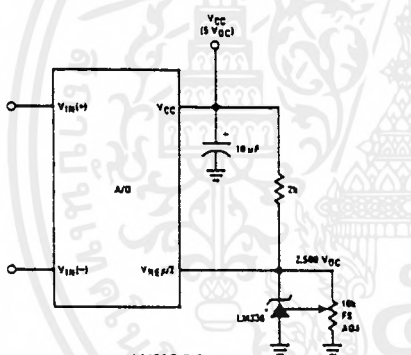


Ratiometric with Full-Scale Adjust



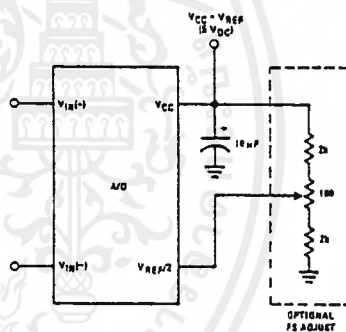
Note: before using caps at V_{IN} or $V_{REF}/2$, see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors.

Absolute with a 2.500V Reference

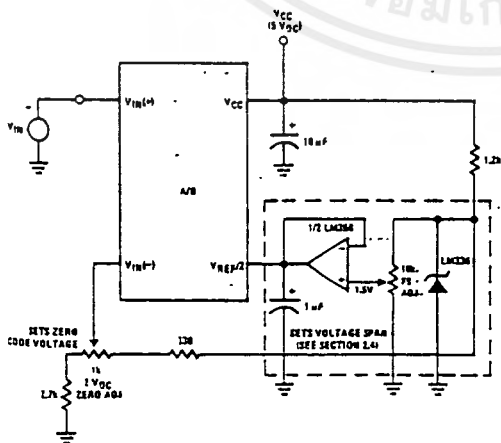


*For low power, see also LM385-2.5

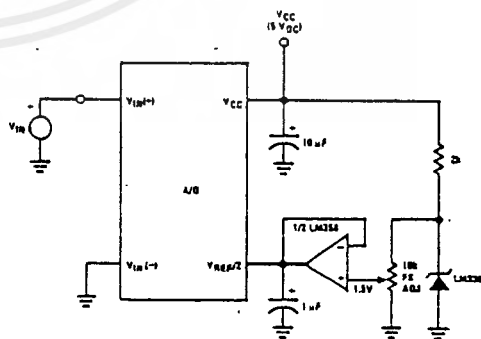
Absolute with a 5V Reference



Zero-Shift and Span Adjust: $2V \leq V_{IN} \leq 5V$



Span Adjust: $0V \leq V_{IN} \leq 3V$

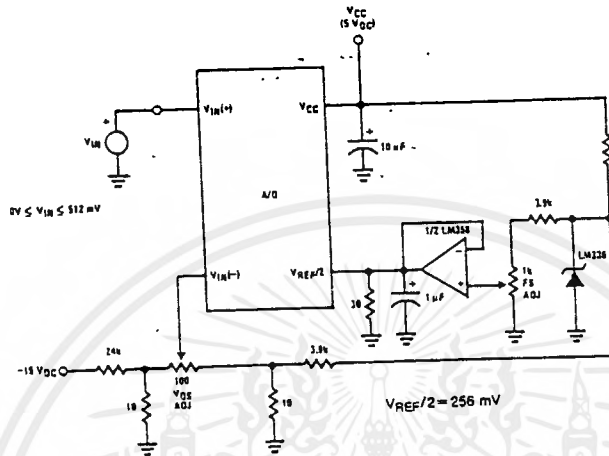


TU/H/5671-5

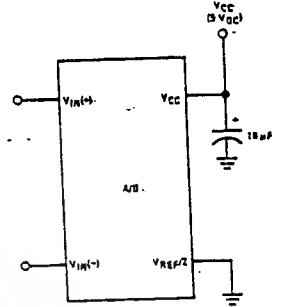
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Directly Converting a Low-Level Signal



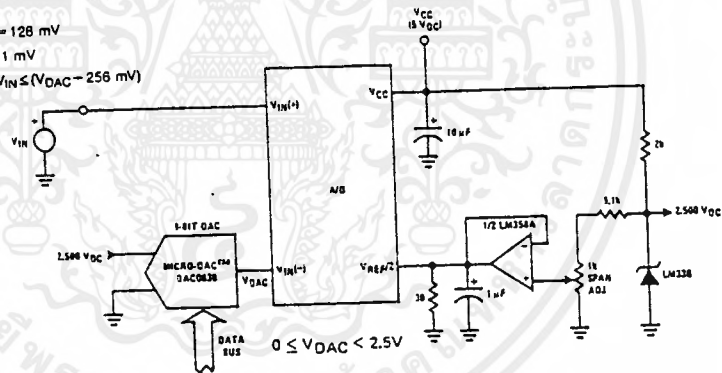
A μP Interfaced Comparator



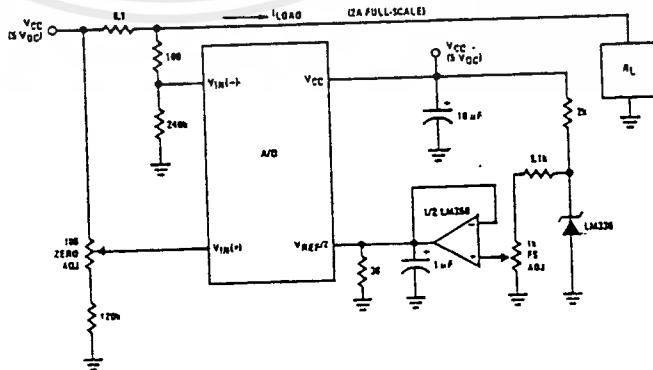
For $V_{IN(+)} > V_{IN(-)}$
Output = FF_{HEX}
For $V_{IN(+)} < V_{IN(-)}$
Output = 00_{HEX}

1 mV Resolution with μP Controlled Range

$V_{REF}/2 = 128 \text{ mV}$
1 LSB = 1 mV
 $V_{DAC} \leq V_{IN} \leq (V_{DAC} - 256 \text{ mV})$



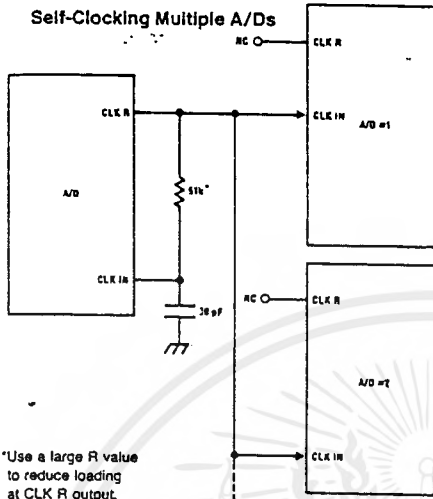
Digitizing a Current Flow



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

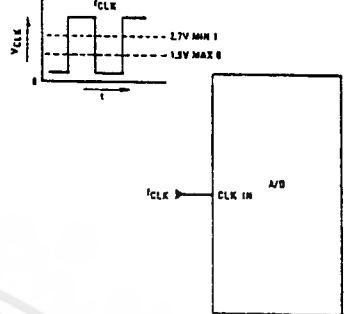
Self-Clocking Multiple A/Ds



*Use a large R value to reduce loading at CLK R output.

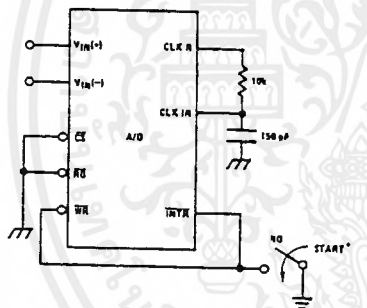
IF MORE THAN 8 ADDITIONAL A/Ds, USE A CMOS BUFFER (NOT 74C1)

External Clocking



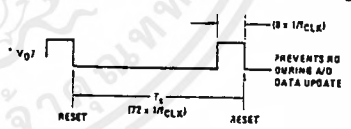
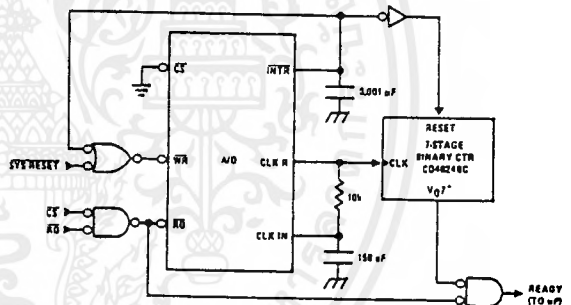
100 kHz ≤ f_{CLK} ≤ 1460 kHz

Self-Clocking in Free-Running Mode

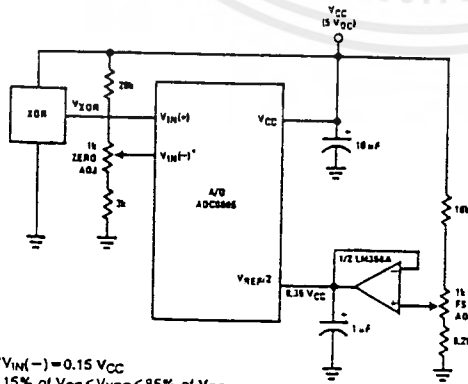


*After power-up, a momentary grounding of the WR input is needed to guarantee operation.

μP Interface for Free-Running A/D

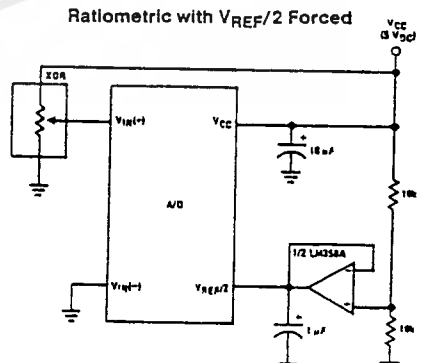


Operating with "Automotive" Ratimetric Transducers



V_{IN(-)} = 0.15 V_{CC}
15% of V_{CC} ≤ V_{XDR} ≤ 85% of V_{CC}

Ratimetric with V_{REF/2} Forced

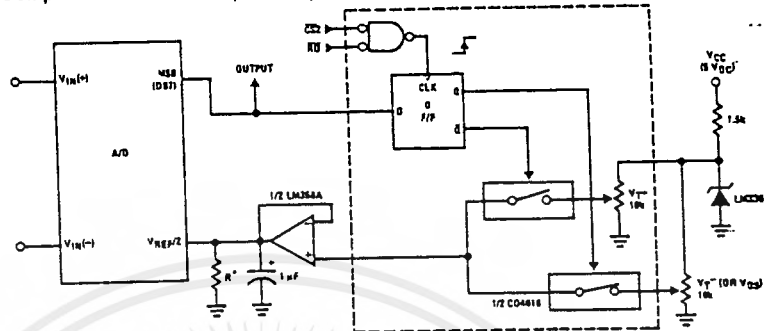


TL/H/5871-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

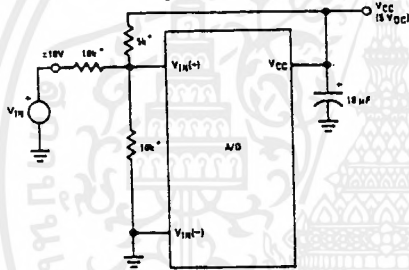
Typical Applications (Continued)

μP Compatible Differential-Input Comparator with Pre-Set V_{OS} (with or without Hysteresis)



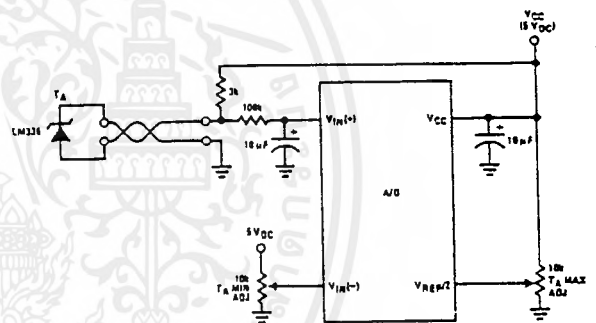
*See Figure 5 to select R value
 OB7 = "1" for $V_{IN}(+) > V_{IN}(-) + (V_{REF}/2)$
 Omit circuitry within the dotted area if hysteresis is not needed

Handling ±10V Analog Inputs

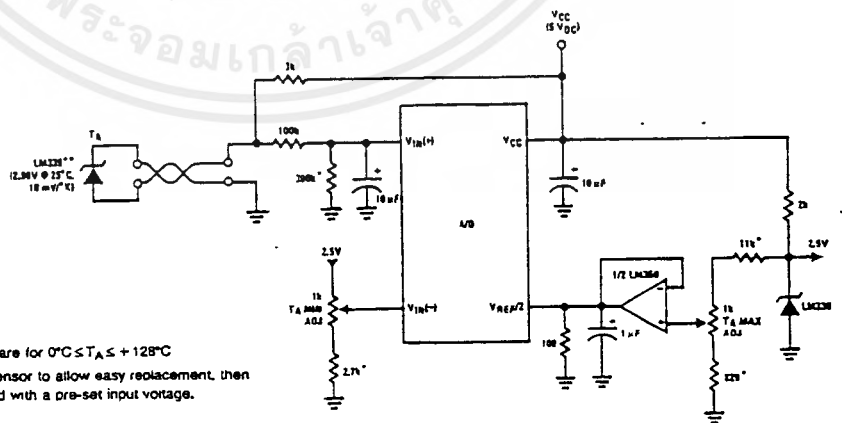


*Beckman Instruments #694-3-R10K resistor array

Low-Cost, μP Interfaced, Temperature-to-Digital Converter



μP Interfaced Temperature-to-Digital Converter

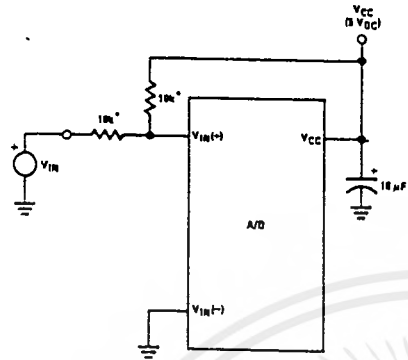


*Circuit values shown are for $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$
 **Can calibrate each sensor to allow easy replacement, then A/D can be calibrated with a pre-set input voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

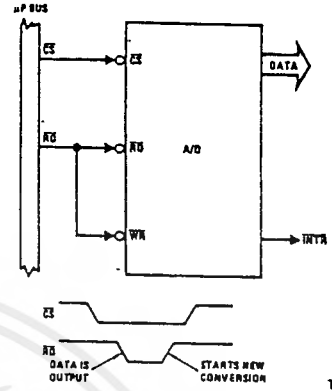
Handling $\pm 5V$ Analog Inputs



TL/H/5871-33

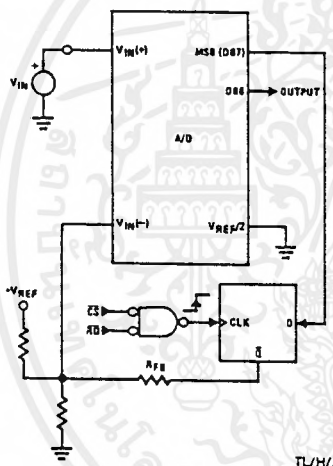
*Beckman Instruments #694-3-R10K resistor array

Read-Only Interface



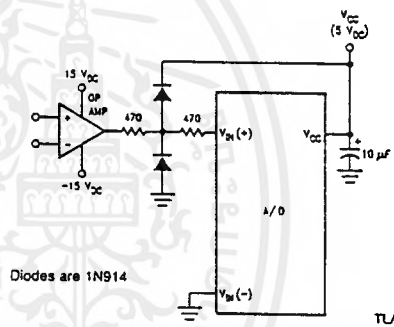
TL/H/5871-34

µP Interfaced Comparator with Hysteresis



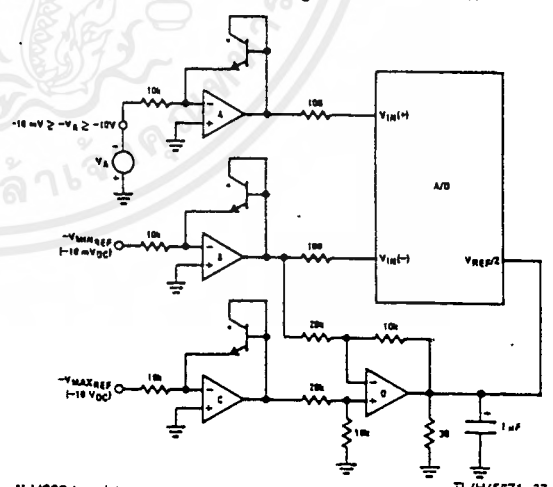
TL/H/5871-35

Protecting the input



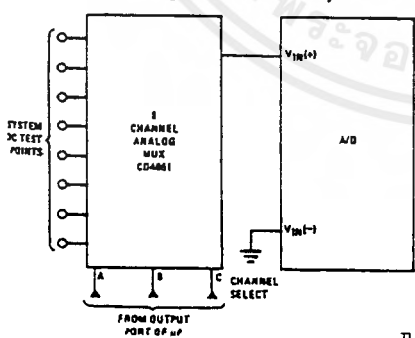
TL/H/5871-9

A Low-Cost, 3-Decade Logarithmic Converter



TL/H/5871-37

Analog Self-Test for a System



TL/H/5871-36

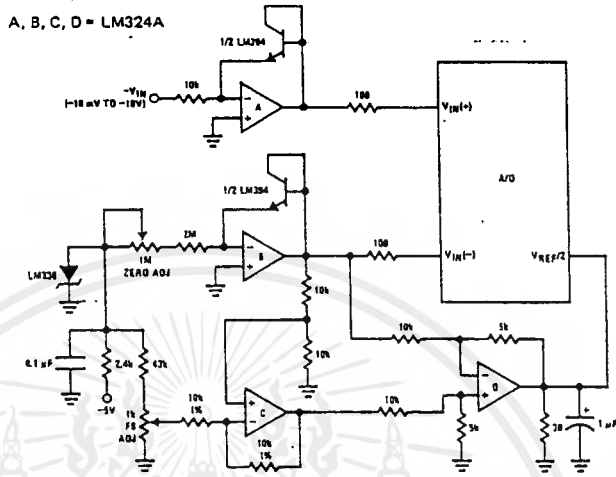
*LM389 transistors
A, B, C, D = LM324A quad op amp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

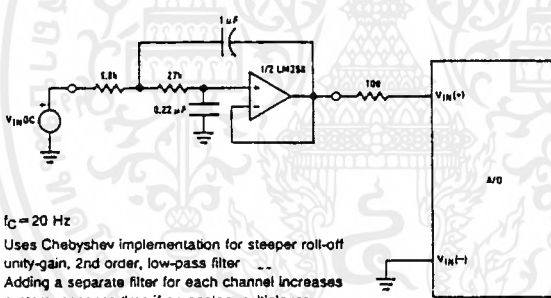
Typical Applications (Continued)

3-Decade Logarithmic A/D Converter

A, B, C, D = LM324A

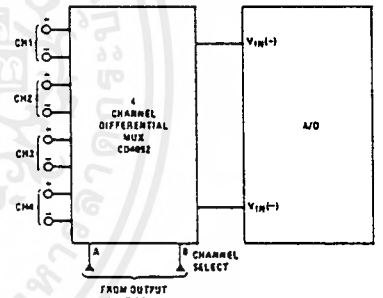


Noise Filtering the Analog Input

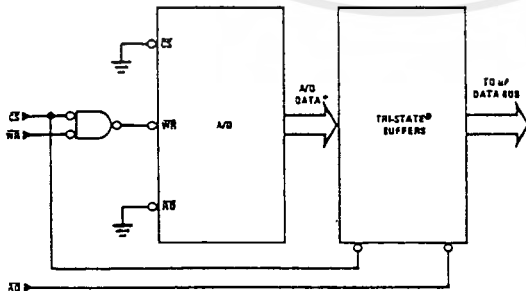


$f_c = 20 \text{ Hz}$
 Uses Chebyshev implementation for steeper roll-off unity-gain, 2nd order, low-pass filter
 Adding a separate filter for each channel increases system response time if an analog multiplexer is used

Multiplexing Differential Inputs

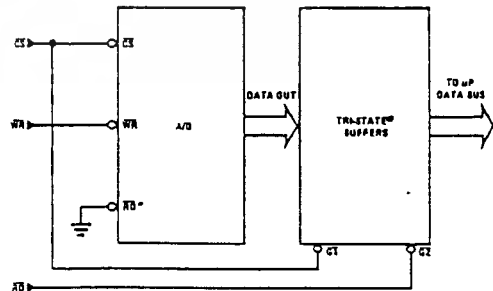


Output Buffers with A/D Data Enabled



*A/D output data is updated 1 CLK period prior to assertion of $\overline{\text{INTR}}$

Increasing Bus Drive and/or Reducing Time on Bus



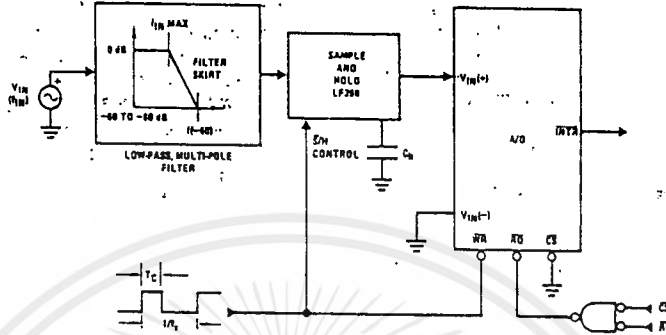
*Allows output data to set-up at falling edge of CS

TL/H/5671-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

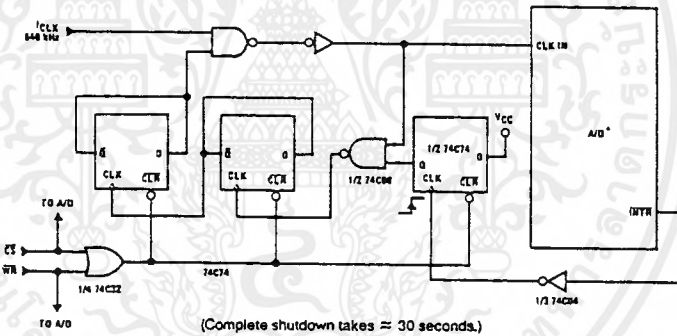
Sampling an AC Input Signal



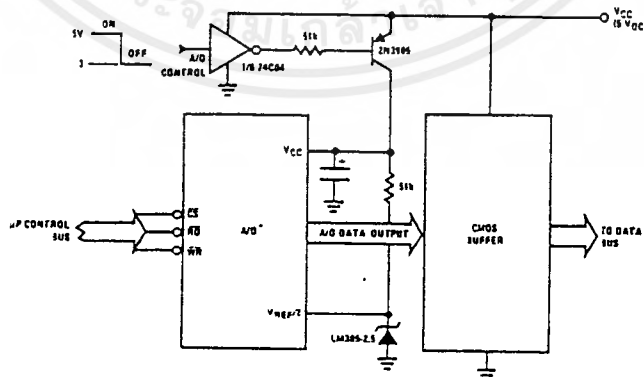
Note 1: Oversample whenever possible (keep $f_s > 2f(-60)$) to eliminate input frequency folding (aliasing) and to allow for the skirt response of the filter.

Note 2: Consider the amplitude errors which are introduced within the passband of the filter.

70% Power Savings by Clock Gating



Power Savings by A/D and V_{REF} Shutdown



*Use ADC0801, 02, 03 or 05 for lowest power consumption.

Note: Logic inputs can be driven to V_{CC} with A/D supply at zero volts.

Buffer prevents data bus from overdriving output of A/D when in shutdown mode.

TU/H/5871-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code

```
#include <graphics.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <dos.h>

#define ESC 27 /* ESC button used for exit program */
#define RXbuffer 0x2f8 /* receiver buffer */
#define TXbuffer 0x2bf /* transmitter buffer */
#define IER 0x2f9 /* Interupt Enable register */
#define IID 0x2fa /* Interupt Identification register */
#define LCR 0x2fb /* Line control register */
#define MDC 0x2fc /* Modem control register */
#define LST 0x2fd /* Line status register */
#define MST 0x2fe /* Modem status register */
#define DLL 0x2f8 /* Divisor latch Lower byte */
#define DLM 0x2f9 /* Divisor latch Upper byte */

typedef unsigned char BYTE; /* use BYTE for one byte data */
typedef unsigned int WORD; /* use WORD for two bytes data */
BYTE receive_one_char(void); /* used for receive one character from
port */

void init_8250(void); /* initial control word for 8250 */
void DATE(void);
void TIME(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void Sub_Fream_scllope(void);
void Sub_Save();
void Sub_Open();
void Sub_Print(int rest[]);
void display(void);
void Storgedata050s(void);
void Storgedata125s(void);
void Storgedata250s(void);
void Storgedata500s(void);
void Portdata050s(void);
void Portdata125s(void);
void Portdata250s(void);
void Portdata500s(void);
data_port();

void main ()
{
int c,l,a;
display();
DATE();
TIME();

do{
c=getch();
switch (c)
{ case 0x31:
Sub_Fream_scllope();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setcolor(CYAN);
Portdata050s();break;
case 0x32:
Sub_Fream_slope();
setcolor(CYAN);
Portdata125s();break;
case 0x33:
Sub_Fream_slope();
setcolor(CYAN);
Portdata250s();break;
case 0x34:
Sub_Fream_slope();
setcolor(CYAN);
Portdata500s();break;
case 0x35:
Sub_Fream_slope();
setcolor(CYAN);
Storagedata050s();break;
case 0x36:
Sub_Fream_slope();
setcolor(CYAN);
Storagedata125s();break;
case 0x37:
Sub_Fream_slope();
setcolor(CYAN);
Storagedata250s();break;
case 0x38:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Sub_Fream_sclope();
setcolor(CYAN);
Storagedata500s();break;
case 0x39:
Sub_Fream_sclope();
bar(30,410,475,440);
setcolor (GREEN);
for(l=1;l<=3;l++)
rectangle(29+l,409+l,476-l,441-l);
setcolor(BLUE);
outtextxy(40,420,"Press number 1,2,3 or 4.");break;
case 0x3c:
Sub_Save(); break;
case 0x3d:
Sub_Open(); break;
case 0x3e:
/*Sub_Print(rest)*/;break;
}
}while(c!=0x3f); /*Exit program to DOS.*/
closegraph();
}

```

```

void Sub_Fream_sclope(void)
{
int l,f2=25;
/*-----frame -----*/

```

```

setcolor (WHITE);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bar (30,50,470,400);
setcolor(GREEN);
for (l=0;l<=2;l++)
rectangle(30+l,50+l,473-l,400-l);
/*-----Y_line----*/
for(l=0;l<=11;l++)
line(l*f2+65,61,l*f2+65,359);
/*-----X_line----*/
for(l=0;l<=10;l++)
line(41,l*f2+85,364,l*f2+85);
setcolor(RED);
for (l=0;l<=1;l++)
rectangle(40-l,60-l,365+l,360+l);
setcolor(LIGHTGRAY);
/*-----button-----*/
for(l=0;l<=8;l++)
setcolor(BLACK),
rectangle (370,l*f2+85,467,l*f2+105),
rectangle (373,l*f2+88,464,l*f2+102),
setcolor(RED),
line (370,l*f2+ 85,373,l*f2+ 88),
line (467,l*f2+ 85,464,l*f2+ 88),
line (370,l*f2+105,373,l*f2+102),
line (467,l*f2+105,464,l*f2+102);
setcolor(CYAN);
outtextxy(393,92, "zoom 1%");
outtextxy(393,117,"zoom 2%");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
outtextxy(393,142,"zoom 3%");
outtextxy(393,167,"zoom 4%");
outtextxy(393,370,"Read ");
setcolor(GREEN);
outtextxy(393,192,"plot 1%");
outtextxy(393,217,"plot 2%");
outtextxy(393,242,"plot 3%");
outtextxy(393,267,"plot 4%");
outtextxy(393,292," Stop ");
outtextxy(390,380,"Storage");
setcolor(BLUE);
outtextxy(360,92, " 1");
outtextxy(360,117, " 2");
outtextxy(360,142, " 3");
outtextxy(360,167, " 4");
outtextxy(360,192, " 5");
outtextxy(360,217, " 6");
outtextxy(360,242, " 7");
outtextxy(360,267, " 8");
outtextxy(360,292, " 9");
outtextxy(340,370,"1-4");
outtextxy(340,380,"5-8");
outtextxy(40,365,"pop");
outtextxy(43,328,"0V");
outtextxy(43,278,"1V");
outtextxy(43,228,"2V");
outtextxy(43,178,"3V");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void Sub_Open()
{
int rest,1;
FILE *fp;
char filename[40];
closegraph();
gotoxy(5,8);
printf("Please Open File Name:");
gotoxy(30,8);
gets(filename);
strcat(filename, ".pop");
display();
if((fp=fopen(filename, "rb"))==NULL)
{
bar(30,410,455,440);
setcolor (BLUE);
for(l=1;l<=3;l++)
rectangle(29+l,409+l,456-l,441-l);
outtextxy (40,420,"Cannot open file.... Sorry sir");
}
fread(&rest,sizeof(rest),1,fp);
fclose(fp);
}

//void Sub_Print(void)
//{

```

```
//}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void display(void)
{
int l,F1=50;
int driver,mode;
driver = DETECT;
mode = 0;
initgraph (&driver,&mode," ");
setcolor (WHITE);
for (l=0;l<=10;l++)
rectangle(l+0,l+0,640-l,475-l);
setcolor(GREEN);
for (l=2;l<=3;l++)
rectangle (5+l,5+l,635-l,470-l),
rectangle (0+l,0+l,640-l,475-l);
/*--Insert the box for the Function File-----*/
setcolor (BLACK);
for(l=0;l<=3;l++)
bar(495,120+(l*F1),580,145+(l*F1)),
rectangle(497,122+(l*F1),578,143+(l*F1));
setcolor(RED);
for (l=0;l<=2;l++)
line (495,120+(l*F1),497,122+(l*F1)),
line (580,120+(l*F1),578,122+(l*F1)),
line (495,145+(l*F1),497,143+(l*F1)),
line (580,145+(l*F1),578,143+(l*F1));
setcolor (CYAN);
outtextxy (535,130,"SAVE ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outtextxy (535,180,"OPEN ");
outtextxy (535,230,"PRINT");
outtextxy (535,280,"EXIT");
setcolor (BLUE);
outtextxy (505,130,"F2");
outtextxy (505,180,"F3");
outtextxy (505,230,"F4");
outtextxy (505,280,"F5");
setcolor (LIGHTRED);
outtextxy (110,20,"King MongKut 's Institute of Technology Ladkrabang");
setcolor (WHITE);
outtextxy (200,35,"The Vibration Instrument");
Sub_Fream_sclope();
}

void Portdata050s(void)
{
int l,y,z;
float x;
bar(30,410,455,440);
setcolor (GREEN);
for(l=1;l<=3;l++)
rectangle(29+l,409+l,456-l,441-l);
setcolor(BLUE);
outtextxy(40,420,"Press number 2,3 or 4 for the other scale. ");
moveto(65,335);
do{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for (x=65;x<=340;x++)
{
delay (3);
y=data_port();
if (y>0){
    if(y<256)z=335-y;
else if (y>256)z=85;
}
setcolor(5);
putpixel(x,z,0);
lineto(x,z);
delay (10);
}
display();
}
while(!kbhit());
setviewport(0,0,639,479,1);
}

```

```

void Portdata125s(void)

```

```

{
int l,y,z;
float x;
bar(30,410,475,440);
setcolor (GREEN);
for(l=1;l<=3;l++)

```

```

rectangle(29+1,409+1,476-1,441-1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setcolor(BLUE);
outtextxy(40,420,"Press number 1,3 or 4 for the other scale.");
moveto(65,335);
do{
for (x=65;x<=335;x++)
{
delay (3);
y=data_port();
if (y>0){
if(y<256)z=335-y;
else if (y>256)z=85;
}
setcolor(5);
putpixel(x=x+2,z,0);
lineto(x,z);
delay (10);
}
display();
}
while(!kbhit());
setviewport(0,0,639,479,1);
}

```

```

void Portdata250s(void)

```

```

{

```

```

int l,y,z;

```

```

float x;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bar(30,410,475,440);
setcolor (GREEN);
for(l=1;l<=3;l++)
rectangle(29+l,409+l,476-l,441-l);
setcolor(BLUE);
outtextxy(40,420,"Press number 1,2 or 4 for the other scale. ");
moveto(65,335);
do{
for (x=65;x<=336;x++)
{
delay (3);
y=data_port();
if (y>0){
if(y<256)z=335-y;
else if (y>256)z=85;
}
setcolor(5);
putpixel(x=x+3,z,0);
lineto(x,z);
delay (10);
}
display();
}
while(!kbhit());
setviewport(0,0,639,479,1);
}

```

void Portdata500s(void)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
int l,y,z;
float x;
bar(30,410,475,440);
setcolor (GREEN);
for(l=1;l<=3;l++)
rectangle(29+l,409+l,476-l,441-l);
setcolor(BLUE);
outtextxy(40,420,"Press number 1,2 or 3 for the other scale.");
moveto(65,335);
do{
for (x=65;x<=335;x++)
{
delay (3);
y=data_port();
if (y>0){
if(y<256)z=335-y;
else if (y>=256)z=85;
}
setcolor(5);
putpixel(x=x+4,z,0);
lineto(x,z);
delay (10);
}
display();
}
while(!kbhit());

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setviewport(0,0,639,479,1);
}
data_port(void)
{
    return(receive_one_char());
}
void DATE()
{
    struct date d;
    getdate(&d);
    gotoxy (64,24);
    printf ("%0.2d/%0.2d/%0d",d.da_mon,d.da_day,d.da_year);
}
void TIME()
{
    struct time t;
    gettime(&t);
    gotoxy (64,25);
    printf ("%0.2d:%0.2d",t.ti_hour,t.ti_min);
    t.ti_min++;
    settime(&t);
}
void init_8250(void)
{
    outportb(LCR,0x80); /* set DLAB in Line control register to 1 */
    outportb(DLL,0x0C); /* set baud rate to 9600 divisor = 000Ch */
    outportb(DLM,0x00); /* set Divisor latch upper to 00 */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    outportb(MDC,0x00); /* set Modem control bit 4 (loopback) to 0 */
    outportb(LCR,0x03); /* set 8250 to 9600 8 N 1 */
}

/***** receive_one_char *****/
/* return received from RXbuffer */
/* if not received data it return 0 */
/* return type : BYTE */
/*****
BYTE receive_one_char(void)
{
    BYTE data;
    if (inportb(LST) & 0x01) data = inportb(RXbuffer);
    else data = 0;
    return data;
}

void Storedata050s(void)
{
    int l,y,z;
    float x;
    bar(30,410,475,440);
    setcolor (GREEN);
    for(l=1;l<=3;l++)
    rectangle(29+l,409+l,476-l,441-l);
    setcolor(BLUE);
    outtextxy(40,420,"Press number 2,3 or 4 for the other scale. ");
    moveto(65,335);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for (x=65;x<=340;x++)
```

```
{
```

```
delay (1);
```

```
y=data_port();
```

```
if (y>0){
```

```
    if(y<256)z=335-y;
```

```
    else if (y>256)z=85;
```

```
}
```

```
setcolor(5);
```

```
putpixel(x,z,0);
```

```
lineto(x,z);
```

```
delay (1);
```

```
}
```

```
}
```

```
void Storedata125s(void)
```

```
{
```

```
int l,y,z;
```

```
float x;
```

```
bar(30,410,475,440);
```

```
setcolor (GREEN);
```

```
for(l=1;l<=3;l++)
```

```
rectangle(29+l,409+l,476-l,441-l);
```

```
setcolor(BLUE);
```

```
outtextxy(40,420,"Press number 1,3 or 4 for the other scale.");
```

```
moveto(65,335);
```

```
for (x=65;x<=335;x++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
delay (1);
y=data_port();
if (y>0){
    if(y<256)z=335-y;
else if (y>256)z=85;
}
setcolor(5);
putpixel(x=x+2,z,0);
lineto(x,z);
delay (1);
}
}

void Storedata250s(void)
{
int l,y,z;
float x;
bar(30,410,475,440);
setcolor (GREEN);
for(l=1;l<=3;l++)
rectangle(29+l,409+l,476-l,441-l);
setcolor(BLUE);
outtextxy(40,420,"Press number 1,2 or 4 for the other scale. ");
moveto(65,335);
for (x=65;x<=336;x++)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

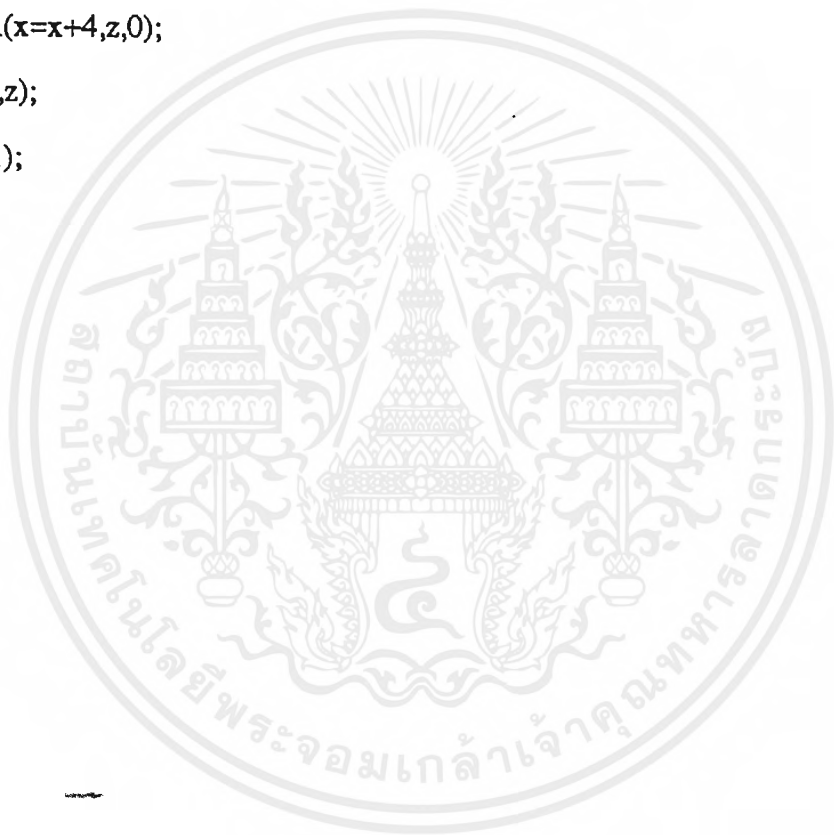
delay (1);
y=data_port();
if (y>0){
    if(y<256)z=335-y;
else if (y>=256)z=85;
}
setcolor(5);
putpixel(x=x+3,z,0);
lineto(x,z);
delay (1);
}
}

void Storedata500s(void)
{
int l,y,z;
float x;
bar(30,410,475,440);
setcolor (GREEN);
for(l=1;l<=3;l++)
rectangle(29+l,409+l,476-l,441-l);
setcolor(BLUE);
outtextxy(40,420,"Press number 1,2 or 3 for the other scale.");
moveto(65,335);
for (x=65;x<=335;x++)
{
delay (1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
y=data_port();  
if (y>0){  
    if(y<256)z=335-y;  
    else if (y>=256)z=85;  
}  
setcolor(5);  
putpixel(x=x+4,z,0);  
lineto(x,z);  
delay (1);  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้