

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร MACHINE RELIABILITY ANALYSIS PROGRAM



โดย

นายชัชวาลย์ แสงอาวุธ

นายชัยเมียน นรังศิยา

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 36783
วัน, เดือน, ปี..... 29 ส.ค. 2543

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร
MACHINE RELIABILITY ANALYSIS PROGRAM



อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ เชื้อ นกอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2542

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร

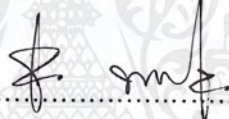
MACHINE RELIABILITY ANALYSIS PROGRAM

ผู้จัดทำ

1. นายชัชวาลย์ แสงอาวุธ 40013401

2. นายชัยเมียน นรังศิยา 40012084

อาจารย์ที่ปรึกษา



(อาจารย์เชื้อ นกอยู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร

ผู้จัดทำ นาย ชัชวาลย์ แสงอาวุธ
 นาย ชัยเมียน นรังศิยา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เชื้อ นกอยู่

บทคัดย่อ

คุณภาพ เป็นสิ่งที่ต้องการในทุก ๆ งาน รวมทั้งในงานอุตสาหกรรม การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ หรือ ได้ตามลักษณะคุณภาพ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ก็มีส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง ในทำนองเดียวกัน ชิ้นงานที่ผ่านการผลิต โดยเครื่องจักรเครื่องหนึ่งแล้ว ได้ตามลักษณะคุณภาพที่ถูกต้อง ก็แสดงว่าเครื่องจักรเครื่องนั้นมีความน่าเชื่อถือด้วย โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรนี้ จะทำการวิเคราะห์เชิงสถิติโดยการรับข้อมูลทางด้านลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถรับข้อมูลอัตโนมัติผ่านทางพอร์ตอนุกรม หรือโดยที่ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเลือกป้อนข้อมูลด้วยตนเอง อีกทั้งใช้คำนวณหาค่าเวลาที่เครื่องหยุดทำงาน (Down time) หาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) คำนวณปริมาณการผลิตที่ควรจะได้ ในแต่ละช่วงเวลา เมื่อใช้กับการรับข้อมูลแบบอัตโนมัติ และจะแสดงผลของการวิเคราะห์โดยกราฟลักษณะต่าง ๆ โดยที่จะแสดงกราฟเป็นแบบตามเวลาจริง (Real Time Monitor) และจะมีการแจ้งเตือนล่วงหน้าก่อนที่จะเกิดการผิดปกติ (Zero Defect Alarm) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยที่โครงการนี้ได้มีการสร้างระบบสายพานลำเลียง สมมุติให้เป็นเครื่องจักรทำหน้าที่ลำเลียงที่ผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุแล้วและนำมาตรวจสอบน้ำหนักโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์คุณภาพเครื่องจักรนี้ ซึ่งใช้ PLC ควบคุมระบบ โดยที่โปรแกรมจะติดต่อกับ PLC ด้วย

MACHINE RELIABILITY ANALYSIS PROGRAM

STAFF Mr.Chatchawan Sang-arwoot
 Mr.Chaimien Narangsiya

ADVISOR Mr.Chuae Nokyoo

Abstract

Quality is requirement in every job include worked in factory. Consist of quality product which characteristically need or quality characteristic. Machine used to produce is a one essential part. By the same token, product produced by one machine with it result is require quality characteristic, whence this machine have reliability too. This MACHINE RELIABILITY ANALYSIS PROGRAM will analyze to approaches statistics by receive quality data of product. As the user can choose the method of receive sample data, can entry data and can compute the downtime, reliability of machine. Compute quantity of ought to produce in range of time. When us automatically receive data to check machine and show result of this compute. Real time monitors this analyzes by several graphs for diagnose mistake cause. This project made conveyor to transport a pack product and check weight that is it require weight? By used this MACHINE RELIABILITY ANALYSIS PROGRAM and used this system as sample to compute down time of machine and quantity production which used PLC control system. This program will interface PLC too.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ก็เพราะว่าได้รับความกรุณาเอื้อเฟื้อจากบุคคลต่าง ๆ ในการให้คำแนะนำ ให้ข้อมูล ให้ยืมอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวก ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. อาจารย์เชื้อ นกอยู่ | อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ |
| 2. รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์ | อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมฯ |
| 3. รศ.วิริยะ กองรัตน์ | อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมฯ |
| 4. รศ.สมยศ จุณณะปิยะ | อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม |

คณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างว่ายังมีความอนุเคราะห์จากท่าน รวมทั้งอาจารย์ทุกๆท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ศิษย์ในการศึกษาระดับต่างๆผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่น้อง ที่ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ๆสโตร์รวมถึงเพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์นี้มาโดยตลอด

ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลาย ช่วยคลบ้นดาลให้ทุกท่านที่กล่าวถึงนั้น มีสุขภาพพลานามัยสมบูรณ์แข็งแรง ประสบความสำเร็จ มีความสุขความเจริญ ในหน้าที่การงานทุกประการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญ(ต่อ)	V
สารบัญภาพ	VI
สารบัญภาพ(ต่อ)	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 สถิติ	2
2.2 ความหมายของสถิติ	2
2.3 ขอบข่ายของสถิติ	2
2.4 วิธีดำเนินการทางสถิติ	3
2.5 การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ	6
2.6 หลักการของแผนภูมิควบคุม	7
2.7 ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม	9
2.8 ประเภทของแผนภูมิควบคุม	10
2.9 ขั้นตอนการสร้างแผนภูมิควบคุม	11
2.10 แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน	15
2.11 แผนภูมิ \bar{X} และแผนภูมิ R	16
2.12 หลักการทำงานของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล	16
2.13 อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์	23
2.14 โพลลเซลล์แบบลิ่งค์	25
2.15 โพลลเซลล์แบบคาน	27
2.16 โพลลเซลล์แบบวงแหวน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.17 โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน	33
2.18 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม	35
2.19 เวลาที่เครื่องหยุดทำงาน	40
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	44
3.1 วงจรอินเทอร์เฟส	44
3.2 วงจรขับมอเตอร์	45
3.3 การออกแบบชุดสายพานลำเลียง	49
3.4 การออกแบบโปรแกรมอินเทอร์เฟสระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องจักร	51
3.5 การออกแบบโปรแกรมบน PLC เพื่อใช้ควบคุมชุดสายพานลำเลียง	51
3.6 การออกแบบโปรแกรมที่จะติดต่อกับผู้ใช้	51
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	53
การทดลองที่ 4.1 การทำงานของชุดอินเทอร์เฟส	53
การทดลองที่ 4.2 การควบคุมชุดสายพานลำเลียง	54
การทดลองที่ 4.3 ทดลอง RUN โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร	54
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	60
ภาคผนวก ก ซอร์ทโค้ด	61
ภาคผนวก ข ดาต้าชีท	94
บรรณานุกรม	144

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ	7
รูปที่ 2.2 การกระจายของจุดบนแผนควบคุมที่แสดงความผิดปกติของการผลิต	14
รูปที่ 2.3 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของ A/D คอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 2.4 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิทัลด้วย A/D คอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 2.5 วงจรแชนเนลเปิดแอนด์โฮลด์	18
รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์	19
รูปที่ 2.7 ตัวแปลงสัญญาณ A/D คอนเวอร์เตอร์แบบแรมปี	20
รูปที่ 2.8 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A/D คอนเวอร์เตอร์	21
รูปที่ 2.9 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR	22
รูปที่ 2.10 กราฟของส่วน D/A ระหว่างการแปลงสัญญาณ	22
รูปที่ 2.11 โพลทเซลล์แบบตั้งค้	25
รูปที่ 2.12 โพลทเซลล์แบบคาน	28
รูปที่ 2.13 โพลทเซลล์แบบวงแหวน	31
รูปที่ 2.14 โพลทเซลล์แบบแรงเฉือน	33
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	35
รูปที่ 2.16 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	37
รูปที่ 2.17 แสดงการจัดหาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมแบบต่าง ๆ	39
รูปที่ 2.18 แสดงช่วงเวลาการหยุดทำงาน	40
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมด	44
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรอินเตอร์เฟส	46
รูปที่ 3.3 โฟร์ซาร์ทแสดงการทำงานของวงจรอินเตอร์เฟส	47
รูปที่ 3.4 โฟร์ซาร์ทการทำงานของ PLC	48
รูปที่ 3.5 ชุดสายพานลำเลียง	49
รูปที่ 3.6 ชุดคัดเลือกผลิตภัณฑ์	49
รูปที่ 3.7 ชุดป้อนผลิตภัณฑ์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 ภาพโดยรวมของชุดสายพานลำเลียง	50
รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมลำดับขั้นการทำงานของโปรแกรม	52
รูปที่ 4.1 แสดงหน้าจอแรกเพื่อเลือกภาษาไทยหรืออังกฤษ	55
รูปที่ 4.2 ป้อนค่าข้อมูลจำกัดต่าง ๆ	55
รูปที่ 4.3 เลือกรับข้อมูลระหว่างการรับอัตโนมัติหรือป้อนข้อมูล	56
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการป้อนข้อมูล	56
รูปที่ 4.5 หน้าจอรายงานผล	57
รูปที่ 4.6 รูปแสดงการกระจายของข้อมูลเป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ	58
รูปที่ 4.7 กราฟควบคุม	58
รูปที่ 4.8 รายงานผลค่าเวลาที่เครื่องหยุดทำงาน	59
รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างการพิมพ์	59

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเฟลทโทลคเซลล์	34
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเวลาเครื่องหยุดทำงาน1	41
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเวลาเครื่องหยุดทำงาน2	42
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเอาต์พุตจาก Instrument Amplifier	53
ตารางที่ 4.2 บันทึกค่าของระดับสัญญาณ ADC หลังปรับศูนย์ (Zero Adjust) และปรับระยะห่าง (Span)	53
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม	54

บทที่ 1

บทนำ

คุณภาพ เป็นสิ่งที่ต้องการในทุก ๆ งาน รวมทั้งในงานอุตสาหกรรม การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ หรือ ได้ตามลักษณะคุณภาพ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ก็มีผลสำคัญส่วนหนึ่งในทำนองเดียวกัน ชิ้นงานที่ผ่านการผลิต โดยเครื่องจักรเครื่องหนึ่งแล้ว ได้ตามลักษณะคุณภาพที่ถูกต้อง ก็แสดงว่าเครื่องจักรเครื่องนั้นมีคุณภาพที่ถูกต้องด้วย

ในปัจจุบัน การตรวจสอบคุณภาพโดยทางสถิติ เป็นวิธีการที่ยุ่งยากในส่วนของกำนวน และการตรวจรับค่าข้อมูลจากตัวอย่าง ถึงแม้ว่า จะได้มีการเขียนโปรแกรมที่ทำการตรวจสอบคุณภาพขึ้นมาแล้วบ้าง แต่ยังคงใช้อยู่บนระบบปฏิบัติการ DOS ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ล้าสมัย ไม่เป็นที่นิยมใช้ จึงได้สร้างโปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรซึ่งเป็น โปรแกรมแบบติดต่อกับผู้ใช้โดยรูปภาพ (Graphic User Interface) และทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows

โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรถูกเขียนขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเครื่องจักร โดยวิธีทางสถิติศาสตร์ ด้วยการรวบรวมข้อมูลของเครื่องจักรในจุดที่ต้องการวิเคราะห์คุณภาพ จากการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ข้อมูลในจำนวนที่ต้องการและยอมรับได้มาทำการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ทางสถิติตามลำดับขั้นตอน จนได้ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของเครื่องจักร เป็นตัวเลขที่แสดงถึงลักษณะการกระจายข้อมูลของเครื่องจักร ว่าเบี่ยงเบนจากจุดที่ต้องการ (Target) เป็นเปอร์เซ็นต์มากน้อยอย่างไร พร้อมทั้งแสดงกราฟประกอบผลการวิเคราะห์ที่ได้ เพื่อนำผลไปตรวจสอบแก้ไขปรับปรุงข้อผิดพลาดของเครื่องจักร ให้ได้ประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ที่สุด ทั้งนี้จะสามารถนำไปปรับปรุงใช้งานกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติอย่างอื่น

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สถิติ (Statistics)

ในปัจจุบัน สถิติมักถูกกล่าวถึงกันอย่างแพร่หลาย ในแง่ของข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งยังเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในแต่ละสาขาอาชีพ ดังนั้น วิชาสถิติถึงเป็นวิชาหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาเพื่อสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง

2.2 ความหมายของสถิติ สถิติมีความหมาย 2 ประการ ดังนี้คือ

ประการที่หนึ่ง สถิติหมายถึง ข้อมูลที่รวบรวมได้จากสิ่งที่สนใจศึกษา เช่น จำนวนคนเกิด จำนวนคนตาย จำนวนผู้มีสิทธิออกเสียงเลือกตั้ง ดัชนีราคาสินค้าในรอบ 1 ปี เป็นต้น โดยทั่วไปจะเรียกสถิติตามความหมายนี้ว่า ข้อมูลสถิติ (Statistical Data)

ประการที่สอง สถิติหมายถึง ศาสตร์หรือวิชาที่ว่าด้วยหลักการและวิธีการทางสถิติ (Statistical Method) ประกอบด้วย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การนำเสนอข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การตีความหมายข้อมูล

จึงเรียกสถิติตามความหมายนี้ว่า สถิติศาสตร์ (Statistics)

2.3 ขอบข่ายของสถิติ

สถิติได้เข้าไปมีบทบาทในทุกแขนงของวิชาการ ไม่ว่าจะทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม จึงสามารถจำแนกสถิติออกได้ดังนี้

1 สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) เป็นสถิติที่ว่าด้วยการบรรยายถึงกระบวนการต่าง ๆ ทางสถิติ รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างง่าย เช่น การหาค่าเฉลี่ย ค่าพิสัย ค่าฐานนิยม ค่ามัธยฐาน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น

2 สถิติเชิงอ้างอิง (Inferential Statistics) เป็นสถิติที่ว่าด้วยการสรุปผลในสิ่งที่ต้องการศึกษา โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากตัวอย่าง กล่าวคือ สถิติเชิงอ้างอิงนี้จะทำการสรุปผลข้อมูลเกี่ยวกับประชากรด้วยข้อมูลที่ได้จากตัวอย่าง โดยอาศัยทฤษฎีทางด้านสถิติ เช่น ทฤษฎีความน่าจะเป็น ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วิธีการดำเนินงานทางสถิติ (Statistical Method)

ในการดำเนินงานทางสถิติ ต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การวางแผนงาน (Designing) เป็นขั้นตอนที่นักสถิติและผู้ที่เกี่ยวข้อง วางแผนงานเกี่ยวกับงานที่ต้องการศึกษา เป็นต้นว่า ลักษณะของข้อมูล แหล่งที่มาของข้อมูล แบบสอบถาม ตลอดจนการวางแผนกำลังคน ค่าใช้จ่าย และอื่น ๆ ที่จำเป็น

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) เป็นขั้นตอนที่จะให้ได้มาซึ่งข้อมูลสถิติอาจกระทำโดยการให้กรอกแบบสอบถาม การสัมภาษณ์หรือสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์ก็ได้

3. การนำเสนอข้อมูล (Data Presentation) เป็นขั้นตอนที่นำเอาข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมาจัดเป็นหมวดหมู่ เพื่อสะดวกในการอ่านและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป การนำเสนอข้อมูลอาจใช้บทความ ตารางแจกแจงความถี่ กราฟ และแผนภูมิต่าง ๆ เป็นต้น

4. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) เป็นขั้นตอนที่นำเอาข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อศึกษาหาข้อสรุปตามที่ต้องการ

5. การตีความหมายข้อมูล (Data Interpretation) เป็นขั้นตอนที่นำเอาผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ มาทำการแปลผลและสรุปในสิ่งที่ต้องการศึกษา เพื่อนำเอาข้อสรุปที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์

6. การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measures of Central Tendency)

เมื่อทำการเก็บข้อมูลมาแล้ว สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างตารางแจกแจงความถี่และกราฟต่าง ๆ ได้ตามที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น เพื่อดูลักษณะข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น แต่ถ้าต้องการดูแนวโน้มของข้อมูลว่ามีลักษณะเช่นไร จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

วิธีวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางสามารถหาได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีที่นิยมและใช้กันมากที่สุด ได้แก่

6.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean or Mean) สัญลักษณ์ที่ใช้

ใช้ μ เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่คำนวณได้จากข้อมูลของประชากร เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่คำนวณได้จากข้อมูลของตัวอย่าง กรณีที่ข้อมูลยังไม่ได้แจกแจงความถี่ (Ungrouped data) ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่ไม่ได้แจกแจงความถี่ จะหาจากผลรวมของทุกค่าของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งมีสูตรดังนี้

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวอย่าง

$$(\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของประชากร

$$(\mu) = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

กรณีที่มีข้อมูลแจกแจงความถี่ (Grouped data)

เมื่อนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาสร้างเป็นตารางแจกแจงความถี่ สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต ได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^c f_i X_i}{\sum_{i=1}^c f_i}$$

เมื่อ f_i เป็นความถี่ของอินตรกัลชั้นที่ 1

X_i เป็นค่าจุดกึ่งกลาง (mid point) ของชั้นที่ 1

6.2 มัชฐาน (Median) เมื่อนำเอาข้อมูลที่รวบรวมได้มาทำการเรียง

ของข้อมูล จะได้ว่าค่าที่อยู่กึ่งกลางของข้อมูลจะเรียกว่า มัชฐาน นั่นก็คือ มัชฐานจะทำหน้าที่แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน โดยส่วนหนึ่งจะเป็นค่าของข้อมูลที่น้อยกว่ามัชฐาน และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นค่าของข้อมูลที่มากกว่ามัชฐาน

กรณีที่ข้อมูลยังไม่ได้แจกแจงความถี่ (Ungrouped data)

ถ้าให้ n เป็นจำนวนข้อมูลที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก หรือเรียงจากมากไปหาน้อย ดังนั้น มัชฐานของข้อมูลจะหาได้จากข้อมูลในตำแหน่งที่ $\frac{n+1}{2}$

กรณีที่ข้อมูลแจกแจงความถี่ (Grouped data)

เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงความถี่ การหามัชฐานสามารถอาศัยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ ซึ่งมีสูตรดังนี้คือ

$$Med = L + \frac{I \left(\frac{n}{2} - Cuf \right)}{fm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตารางความถี่สะสมเป็นแบบชนิดน้อยกว่า

โดยที่ L เป็นค่าขอบเขตล่างของชั้นที่มีมัธยฐานตกอยู่

I เป็นความกว้างของอันตรภาคชั้นที่มีมัธยฐานตกอยู่

$\frac{n}{2}$ เป็นตำแหน่งข้อมูลที่เป็นมัธยฐาน

Cuf เป็นความถี่สะสมที่ต่ำกว่าชั้นของมัธยฐานตกอยู่

f_{ii} เป็นความถี่ของชั้นที่มีมัธยฐานตกอยู่

6.3 ฐานนิยม (Mode)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงข้อมูลที่มีความถี่มากที่สุด

กรณีข้อมูลที่ยังไม่ได้แจกแจงความถี่ (Ungrouped data)

ฐานนิยม จะหมายถึง ข้อมูลที่มีค่าซ้ำกันมากที่สุด เช่น

นักเรียน 10 คน ทำการสอบวิชาภาษาไทย แต่ละคนทำคะแนน ได้ดังนี้

2, 4, 5, 6, 5, 6, 5, 9, 10, 6

ดังนั้น ฐานนิยมของคะแนนสอบวิชาภาษาไทยของนักเรียน 10 คน คือ 5 และ 6 คะแนน

กรณีข้อมูลที่แจกแจงความถี่ (Grouped data)

สามารถหาได้จากสูตรดังนี้คือ

$$M_0 = L + I \left(\frac{d_1}{d_1 + d_2} \right)$$

เมื่อ L คือ ค่าขอบเขตล่างของอันตรภาคชั้นที่ฐานนิยมตกอยู่

I คือ ความกว้างของอันตรภาคชั้นที่ฐานนิยมตกอยู่

d_1 คือ ผลต่างความถี่ของชั้นฐานนิยมกับชั้นที่อยู่ถัดไปทางค่าสังเกตที่มีค่าน้อยกว่า

d_2 คือ ผลต่างความถี่ของชั้นฐานนิยมกับชั้นที่อยู่ถัดไปทางค่าสังเกตที่มีค่ามากกว่า

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยม

กรณีที่ 1 ข้อมูลที่มีลักษณะเป็น โค้งปกติ (Normal curve) หรือ โค้งรูประฆังคว่ำ

จะได้ว่า ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยม จะมีค่าเดียวกัน นั่นคือ $\bar{x} = Med = Mo$

กรณีที่ 2 ข้อมูลที่มีลักษณะเบ้ซ้าย

จะได้ว่า ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยม จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ นั่นคือ $\bar{x} < Med < Mo$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3 ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา

จะได้ว่า ฐานนิยม มัธยฐาน และค่าเฉลี่ย จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ นั่นคือ $\bar{x} > Med > Mo$

ข้อสังเกตในการใช้ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยม

1. กรณีที่ข้อมูลมีลักษณะเป็น โค้งปกติ ค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่นิยมใช้กันมากที่สุด
2. กรณีที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ซ้ายหรือเบ้ขวา มัธยฐานจะเป็นค่าวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่เหมาะสม
3. ส่วนฐานนิยม จะเป็นค่าวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ในกรณีที่ต้องการความรวดเร็วในการวัด และยังสามารถใช้กับข้อมูลในเชิงคุณภาพได้

2.5 การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ความเบี่ยงเบนหรือแปรปรวนของกระบวนการผลิตย่อมเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาไม่ว่าระบบการผลิตจะได้รับการออกแบบไว้ดีเพียงใด หรือผู้ควบคุมการผลิตจะได้เอาใจใส่ควบคุมตรวจสอบกระบวนการผลิตอย่างเข้มงวดเพียงใดก็ตาม ความแปรปรวนต่าง ๆ มีผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ทั้งที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้ ทั้งปัจจัยที่มีผลกระทบมากและปัจจัยที่มีผลกระทบน้อย ความแปรปรวนเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้าที่ทำการผลิต ถ้าความแปรปรวนมีน้อยและไม่ส่งผลกระทบต่อการลดลงของคุณภาพสินค้า ก็กล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตยังอยู่ภายใต้การควบคุม แต่เมื่อใดที่ความแปรปรวนเกิดขึ้นมากและส่งผลให้คุณภาพสินค้าลดลง ก็แสดงว่ากระบวนการผลิตมิได้อยู่ภายใต้การควบคุม หรืออีกนัยหนึ่งคือกระบวนการผลิตได้ผิดปกติไปจากที่ควรจะเป็น

สาเหตุที่ทำให้กระบวนการผลิตเกิดผิดปกติไป อาจเกิดจากเครื่องจักร คนทำงาน หรือวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรอาจเสื่อมสภาพ หรือตั้งเครื่องไว้ไม่ถูกต้อง พนักงานอาจเกิดความล่าช้า หรือไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดในการผลิต วัตถุดิบอาจมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอหรือมีคุณสมบัติไม่ตรงกับความต้องการในการใช้งาน

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตจะอยู่ภายใต้การควบคุม อย่างไรก็ตามปัจจัยการผลิตอาจเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้กระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนด ทำให้ผลิตสินค้าหรือชิ้นงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด หรือสินค้าที่มีคุณภาพพลดลงนั่นเอง เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ภายใต้การควบคุม จึงต้องมีวิธีการเชิงสถิติเพื่อเตือนให้ผู้ผลิตรู้ว่า กระบวนการผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดไว้ วิธีการเชิงสถิติที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต คือแผนภูมิควบคุม วัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสงค์หลักของแผนภูมิควบคุม คือการใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิต เพื่อการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสินค้าที่ผลิต นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมยังสามารถใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของกระบวนการผลิต การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงคุณภาพสินค้าที่ผลิตให้ดียิ่งขึ้นตลอดเวลา แผนภูมิควบคุมมีส่วนช่วยลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิต ทำให้การผลิตสินค้ามีคุณภาพดีสม่ำเสมอ

2.6 หลักการของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมมีหลายชนิดจำแนกตามลักษณะและการใช้งาน แต่หลักการขั้นพื้นฐานของแผนภูมิควบคุมชนิดต่าง ๆ จะเหมือนกัน ตัวอย่างของแผนภูมิควบคุมแสดงอยู่ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ

แผนภูมิควบคุมประกอบด้วยขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า UCL ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า LCL และเส้นกึ่งกลาง (Center line) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า CL ของสิ่งที่ต้องการควบคุม การควบคุมทำโดยวิธีสุ่มตัวอย่าง และวัดผลของสิ่งที่ต้องการควบคุม แล้วเขียนจุดลงในแผนภูมิควบคุมและลากเส้นเชื่อมต่อดจุดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

ขีดจำกัดควบคุมบนและล่างได้จากการคำนวณค่าโดยอาศัยตัวอย่างที่สุ่มไว้ จุดที่กระจายอยู่ในขีดจำกัดควบคุมบนและล่างแสดงถึงสภาพของกระบวนการผลิตว่ายังอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ ถ้าจุดต่าง ๆ กระจายในช่วงขีดจำกัดควบคุมบนและล่างอย่างสม่ำเสมอก็แสดงว่า กระบวนการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไวสาหรับการเชงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตเหนาไปไซประโยชน์ดานการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตยังอยู่ภายใต้การควบคุม แต่เมื่อใดที่มีจุดตกนอกขีดจำกัดควบคุมบนหรือล่าง ก็แสดงว่ากระบวนการผลิตได้ส่งถึงความผิดปกติไปจากสภาพปกติ ผู้ควบคุมการผลิตจะต้องทำการตรวจสอบกระบวนการผลิต และแก้ไขให้กระบวนการผลิตกลับสู่สภาพปกติ

ถึงแม้ว่าจุดเบนแผนภูมิควบคุม จะอยู่ระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและล่างคือไม่มีจุดใดตกนอกขีดจำกัดควบคุม แต่ถ้การกระจายของจุดเหล่านี้ไม่สม่ำเสมอ เช่น ถ้ามีจุด 5 จุดติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง ก็แสดงว่ากระบวนการผลิตได้ออกนอกการควบคุมแล้ว จะต้องตรวจสอบกระบวนการผลิตแก้ไขให้กระบวนการผลิตกลับสู่สภาพปกติต่อไป การวิเคราะห์สภาพการกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุม เพื่อตัดสินใจว่าควรหยุดกระบวนการผลิตเพื่อตรวจสอบและแก้ไขให้กระบวนการผลิตกลับสู่สภาพปกติจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

หลักการของแผนภูมิควบคุมแสดงด้วยตัวอย่างการรีดลวดทองแดง เพื่อใช้ในการผลิตสายฟ้า ลวดทองแดงขนาดใหญ่จะถูกเผาให้ร้อน แล้วผ่านเครื่องรีด เพื่อลดขนาดให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.125 มิลลิเมตร เพื่อควบคุมการผลิต ขดลวดที่รีดเสร็จแล้วจะถูกสุมขึ้นมาเป็นช่วง ๆ เช่น ทุก ๆ 30 นาที ขดลวดตัวอย่างที่ถูกสุมขึ้นมาจะถูกนำไปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง แล้วบันทึกผลลัพธ์ พร้อมหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง กระบวนการผลิตถูกปรับตั้งเครื่องไว้ให้รีดลวดทองแดงที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.125 มิลลิเมตร โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่รู้ค่าคือ 0.008 มิลลิเมตร แผนภูมิควบคุมที่สร้างจากกระบวนการผลิตที่กำหนดนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวอย่างที่จะทำการสุมแต่ละครั้ง ขีดจำกัดควบคุมคำนวณได้จากความสัมพันธ์คือ

$$UCL = E(C) + K\sqrt{Var(C)}$$

$$CL = E(C)$$

$$LCL = E(C) - K\sqrt{Var(C)}$$

เมื่อ UCL เป็นค่าขีดจำกัดควบคุมบน

CL เป็นค่าเส้นกึ่งกลาง

LCL เป็นค่าขีดจำกัดควบคุมล่าง

E(C) เป็นค่าเฉลี่ยของสิ่งที่ต้องการควบคุม

Var(C) เป็นค่าความแปรปรวนของสิ่งที่ต้องการควบคุม

ดังนั้น $\sqrt{Var(C)}$ จึงเป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสิ่งที่ต้องการควบคุม

K เป็นจำนวนเท่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่จะกำหนดให้ห่างจากค่าเส้นกึ่ง

กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวอย่างนี้สิ่งที่ต้องการควบคุมคือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงที่ค่า 1.125 มิลลิเมตร และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.008 มิลลิเมตร ถ้าทำการสุ่มตัวอย่างครั้งละ 5 ตัวอย่าง จะได้

$$E(C) = \mu = 1.125 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\text{Var}(C)} = \sigma = \frac{0.008}{\sqrt{5}} = 0.00358 \text{ mm.}$$

โดยทั่วไปค่า K จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3 เนื่องจากแจกแจงทางสถิติของสิ่งที่ต้องการควบคุมมีลักษณะเป็นการแจกแจงปกติ

จากการพิจารณาการกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมจะพบว่า กระบวนการผลิตในช่วง 5 ชั่วโมงที่ผ่านมาอยู่ภายใต้การควบคุม

2.7 ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม เป็นวิธีการทางสถิติที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการผลิต นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีกหลายประการซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

1. ควบคุมกระบวนการผลิตได้ทันต่อเหตุการณ์ สิ่งที่ต้องการควบคุมจะถูกสุ่มตัวอย่างและเขียนจุดลงบนแผนภูมิควบคุมเป็นระยะ ๆ ถ้าจุดมิได้แสดงความผิดปกติก็แสดงว่ากระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม เมื่อใดที่จุดแสดงความผิดปกติ ผู้ควบคุมการผลิตก็สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สภาพการผลิตกลับสู่ปกติได้อย่างทันท่วงที นอกจากนี้สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุมยังสามารถใช้เพื่อคาดการณ์สภาพการของกระบวนการผลิตในอนาคตได้อีกด้วย

2. ตรวจสอบค่ามาตรฐานที่กำหนด ประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่งของแผนภูมิควบคุม คือ การตรวจสอบค่าผลการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ ตัวอย่างของการใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการรีดลวดทองแดงดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นตัวอย่างซึ่งผู้บริหารกำหนดค่ามาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวดไว้ที่ 1.125 มิลลิเมตร และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.008 มิลลิเมตร เมื่อใดที่ตัวอย่างที่สุ่มวัดได้ตกอยู่นอกเส้นพิกัดควบคุม ย่อมแสดงว่ากระบวนการผลิตได้คลาดเคลื่อนออกจากมาตรฐานที่กำหนดแล้ว

3. รู้ถึงสมรรถภาพกระบวนการ (process capability) กระบวนการผลิตที่อยู่ภายใต้การควบคุมอาจอยู่ในข้อกำหนด (specification) หรือไม่ได้กระบวนการผลิตที่แสดงว่าอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ สามารถนำไปใช้เพื่อคำนวณถึงสมรรถภาพกระบวนการ เพื่อหาความสามารถในการผลิต

ภายใต้ข้อกำหนด ผลของสมรรถภาพกระบวนการที่ได้จะเป็นประโยชน์อย่างสำคัญต่อผู้บริหารในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดสินใจในด้านต่าง ๆ เช่น การตัดสินใจเพื่อลงทุนปรับปรุงสมรรถภาพกระบวนการ การตัดสินใจรับคำสั่งผลิตจากลูกค้า เป็นต้น

4. แผนภูมิควบคุมช่วยเพิ่มผลผลิต แผนภูมิควบคุมมีส่วนช่วยอย่างสำคัญในการลดจำนวนของเสียและการทำซ้ำ ตัวอย่างเช่นแผนภูมิควบคุมสาเหตุของเสีย และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย การลดของเสียจากการผลิตและลดการทำซ้ำก็ช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับกระบวนการ

5. แผนภูมิควบคุมช่วยป้องกันปัญหาด้านคุณภาพ แผนภูมิควบคุมช่วยให้กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมตลอดเวลา การใช้แผนภูมิควบคุมจะช่วยขจัดสภาพการผลิตสินค้าด้วยคุณภาพเมื่อใดที่กระบวนการผลิตเริ่มผิดปกติแผนภูมิควบคุมจะแสดงให้เห็น ทำให้ผู้ควบคุมเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตไม่ผลิตของเสียหรือของด้อยคุณภาพออกมา ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อย่างดียิ่ง

6. แผนภูมิควบคุมช่วยป้องกันการปรับแต่งกระบวนการโดยไม่จำเป็น แผนภูมิควบคุมสามารถแยกแยะสภาพความแปรปรวนของกระบวนการผลิต ว่าเมื่อใดเป็นความแปรปรวนตามสภาพธรรมชาติ และเมื่อใดเป็นสภาพความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดปกติ การแยกแยะสภาพความแปรปรวนนี้ไม่มีวิธีใดทำได้ดีเท่าแผนภูมิควบคุม แม้กระทั่งผู้ควบคุมเครื่องจักร หรือกระบวนการผลิตถ้าผู้คุมเครื่องจักรหยุดเครื่องจักร เพื่อปรับแต่งกระบวนการผลิตเป็นระยะ ๆ ตามเวลาที่กำหนด อาจทำให้กระบวนการผลิตที่ได้อยู่แล้วผิดปกติไปก็ได้ แผนภูมิควบคุมจะเป็นตัวกำหนดได้เป็นอย่างดีว่า ถึงเวลาแล้วหรือยังที่จะทำการปรับแต่งกระบวนการผลิต กล่าวอีกนัยหนึ่งคือถ้ากระบวนการผลิตยังปกติคืออยู่ ก็ได้จำเป็นต้องปรับแต่งกระบวนการผลิตให้เสียเวลาและค่าใช้จ่าย

7. แผนภูมิควบคุมให้ข้อมูลเพื่อการแก้ไขกระบวนการผลิต การวิเคราะห์สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุมอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอจะทำให้ได้ข้อมูลเพื่อการแก้ไขกระบวนการผลิต เช่น การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ การเปลี่ยนวิธีการทำงาน การเปลี่ยนแปลงรูปแบบวิศวกรรม เป็นต้น

2.8 ประเภทของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ แผนภูมิควบคุมตามลักษณะ หรือแผนภูมิควบคุมชนิดแอตทริบิวต์ (attribute control charts) และแผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน (variable control charts)

แผนภูมิควบคุมตามลักษณะที่สำคัญประกอบด้วย

แผนภูมิ p เพื่อควบคุมสัดส่วนของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิ	np	เพื่อควบคุมจำนวนของเสีย
แผนภูมิ	c	เพื่อควบคุมจำนวนสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย
แผนภูมิ	u	เพื่อควบคุมจำนวนสาเหตุต่อหน่วยที่ทำให้เกิดของเสีย

แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผันที่สำคัญประกอบด้วย

แผนภูมิ	\bar{X}	เพื่อควบคุมค่าเฉลี่ย
แผนภูมิ	R	เพื่อควบคุมค่าพิสัย
แผนภูมิ	S	เพื่อควบคุมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.9 ขั้นตอนการสร้างแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมชนิดต่าง ๆ ทั้งแผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน และแผนภูมิควบคุมแบบแอตตริบิวต์ มีขั้นตอนในการสร้างดังต่อไปนี้คือ

1. กำหนดสิ่งที่ต้องการควบคุมหรือวัตถุประสงค์ของการควบคุม

การกำหนดสิ่งที่ต้องการควบคุม หรือวัตถุประสงค์ของการควบคุมขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิต และชนิดของแผนภูมิควบคุมที่เลือกใช้ เช่น แผนภูมิควบคุมชนิด \bar{X} และ R สิ่งที่ควบคุมคือค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพหรือลักษณะคุณภาพ (quality characteristics) เช่น ความยาวมวล เวลา กระแสไฟฟ้า ความหนาแน่น อุณหภูมิ ปริมาตร หรือกำลังส่องสว่างและอื่น ๆ ลักษณะคุณภาพเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิต การเลือกที่จะควบคุมคุณสมบัติใดขึ้นอยู่กับความสำคัญของคุณสมบัตินั้น ที่จะมีผลต่อคุณภาพสินค้า ในกรณีที่คุณสมบัติที่มีผลต่อคุณภาพสินค้านั้นมีหลายชนิด การใช้แผนภูมิพาร์โตเพื่อวิเคราะห์ให้รู้ว่าคุณสมบัติใดมีความสำคัญมากน้อยเพียงใด จะช่วยให้การกำหนดสิ่งที่ต้องการควบคุมทำได้ดีขึ้น

2. กำหนดจำนวนตัวอย่างและความถี่ห่างในการเก็บข้อมูล

จำนวนตัวอย่างที่จะทำการเก็บขึ้นอยู่กับชนิดของแผนภูมิควบคุม ปริมาณการผลิตของกระบวนการและค่าใช้จ่ายในการเก็บและทดสอบตัวอย่าง นอกจากนี้ในกรณีที่กระบวนการผลิตประกอบด้วยเครื่องจักรหลายเครื่อง การตัดสินใจว่าจะเลือกเก็บตัวอย่างจากเครื่องจักรใด และด้วยเวลาที่ห่างเท่าใดก็เป็นสิ่งสำคัญในการสร้างแผนภูมิควบคุม แนวทางในการกำหนดจำนวนตัวอย่างและวิธีการเก็บตัวอย่างอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 คือ เลือกเก็บตัวอย่างโดยแบ่งเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน เช่น เก็บตัวอย่างทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง หรือทุก ๆ ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างที่ผลิตได้ ณ เวลานั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ทุก ๆ ชั่วโมงผู้คุมเครื่อง

อาจเก็บตัวอย่างของผงชูรสจากกระบวนการผลิตออกมาซึ่ง หรือตรวจสอบโดยเก็บตัวอย่างจาก เครื่องจักรเลข

วิธีที่ 2 คือเก็บตัวอย่างจากผลผลิตที่ได้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ผู้คุมเครื่อง บรรจุผงชูรสอาจเก็บของผงชูรสที่ผลิตได้ระหว่างเวลา 8.00 – 9.00 น. ไว้ แล้วทำการสุ่มตัวอย่าง จากของผงชูรสทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว

โดยทั่วไปวิธีที่ 1 คือ เก็บตัวอย่างจากกระบวนการผลิต ณ เวลาใด ๆ เป็นวิธีที่นิยมใช้มากกว่า ทั้งนี้เพราะวิธีนี้จะให้ผลของคุณภาพสินค้า ณ เวลาที่เก็บข้อมูล ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาด้านคุณภาพก็สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ทันต่อเหตุการณ์ อย่างไรก็ตามการเก็บตัวอย่างข้อมูลตามวิธีที่ 2 ก็มีข้อดีในแง่ที่ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นตัวแทนของสภาพทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เช่น ตัวอย่างที่เก็บ ณ เวลา 9.00 น. โดยเก็บจากผลผลิตที่ผลิตได้ระหว่างเวลา 8.00 – 9.00 น. จะแทนผลของกระบวนการตลอดตั้งแต่ 8.00 – 9.00 น. ซึ่งถ้าใช้วิธีที่ 1 ข้อมูลที่ได้จะแทนเฉพาะ ณ เวลา 9.00 น. เท่านั้น ดังนั้นการกำหนดวิธีเก็บข้อมูลอาจทำผสมผสานกันไประหว่างวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ซึ่งในกรณีนี้จะต้องสร้างแผนภูมิควบคุมแยกจากกัน

สำหรับกรณีที่ กระบวนการผลิตประกอบด้วยเครื่องจักรหลายเครื่องนั้น การกำหนดวิธีเก็บ ตัวอย่างจะต้องวิเคราะห์และพิจารณาในรายละเอียดมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ถ้ากระบวนการผลิต ประกอบด้วยเครื่องจักร 8 เครื่อง ทุกเครื่องทำการผลิตชิ้นงานชนิดเดียวกัน แล้วส่งต่อไปให้ กระบวนการต่อไป ผลผลิตที่ได้จะมีความแปรปรวนในเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และยังมี ความแปรปรวนระหว่างเครื่องจักรแต่ละเครื่องด้วย ถ้าเป็นภูมิควบคุมที่ใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตแต่ เพียงแผนภูมิเดียว การเก็บข้อมูลอาจมีคำถามว่าควรเก็บจากเครื่องจักรใด หรือควรเก็บรวมกันทุก เครื่อง ทั้งนี้เพราะถ้าเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งเกิดผิดปกติไปเพียงเครื่องเดียว แผนภูมิควบคุม อาจไม่สามารถแสดงถึงความผิดปกติได้ ในทางตรงข้ามถ้าจะสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับเครื่อง จักทุกเครื่อง ก็ต้องมีแผนภูมิควบคุม 8 แผนภูมิ การเก็บข้อมูลอาจเสียค่าใช้จ่ายมาก ผู้บริหารจึงต้อง วิเคราะห์ผลได้ผลเสียในการกำหนดจำนวนตัวอย่างและจำนวนแผนภูมิของแต่ละกระบวนการ

นอกจากวิธีการเก็บข้อมูล การกำหนดจำนวนตัวอย่างก็เป็นสิ่งสำคัญจำนวนตัวอย่างของ แผนภูมิควบคุมแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันไป และยังคงแตกต่างตามประเภทผลิตภัณฑ์ และค่า ใช้จ่ายในการเก็บตัวอย่างและตรวจสอบอย่างไรก็ตามแนวทางในการกำหนดจำนวนตัวอย่าง ประกอบด้วย

1. จำนวนตัวอย่างที่มาก จะทำให้ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างอยู่ใกล้เส้น กึ่งกลาง ทำให้แผนภูมิควบคุมแคบจึงสามารถบอกเหตุเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการ ผลิตได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จำนวนตัวอย่างมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูง

3. ถ้าการทดสอบตัวอย่าง เป็นการทดสอบที่ทำให้ชิ้นงานถูกทำลายไปจำนวนตัวอย่างไม่ควรใช้มาก ในทางปฏิบัติอาจใช้เพียง 2 – 3 ตัวอย่างก็เพียงพอ

ในด้านความถี่ห่างในการเก็บตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วในการผลิตและจำนวนตัวอย่างที่จะเก็บในแต่ละครั้ง แต่ก็ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวใด ๆ โดยทั่วไปถ้าเก็บตัวอย่างถี่มากเท่าใดก็จะสามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ดีมากขึ้น แต่ก็เสียค่าใช้จ่ายมาก โดยปกติการเก็บตัวอย่างนิยมให้ห่างกันระหว่าง 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง

3. เก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุม จะใช้ตารางบันทึกผลแตกต่างกันไปตามแต่ประเภทของแผนภูมิควบคุม ตัวอย่างที่เก็บได้จะถูกวัด ชั่งหรือตรวจสอบคุณสมบัติที่ต้องการควบคุม เช่น วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ชั่งน้ำหนัก วัดปริมาตร เป็นต้น ผลการวัดจะถูกบันทึกไว้ตามแต่ละประเภทของแผนภูมิควบคุม เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาเส้นพิสัยควบคุมต่อไป

4. กำหนดขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุม

ข้อมูลจากตัวอย่างที่เก็บไว้จะถูกนำไปคำนวณจำกัดควบคุมเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมต่อไป ขีดจำกัดควบคุมประกอบด้วยขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) เส้นกึ่งกลาง (CL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL) ดังแสดงในสมการที่ (4.1) ถึง (4.3) โดยทั่วไปค่าของ K สำหรับขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างจะใช้ค่า 3 แต่ในกรณีที่ต้องการควบคุมคุณภาพให้เข้มงวดขึ้นหรือเมื่อความเสียหายอันเกิดจากการผลิตสินค้าไม่ได้ตามข้อกำหนดมีค่าสูง แต่ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ และปรับตั้งเครื่องจักรมีค่าน้อย ค่าของ K อาจลดเหลือ 2.5 หรือ 2 หรือ 1 ถ้าต้องการความเข้มงวดในการควบคุมมาก ๆ

ในทางตรงข้ามถ้าค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบปรับตั้งเครื่องจักร หรือกระบวนการผลิตมีค่าสูง แต่ค่าความเสียหายจากการผลิตสินค้าไม่ตรงตามข้อกำหนดมีค่าน้อย ค่าของ K อาจเพิ่มเป็น 4

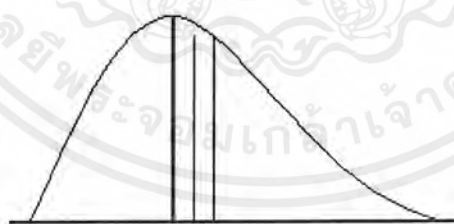
ในด้านการสร้างแผนภูมิควบคุม โดยทั่วไปจะเขียนเส้นพิสัยควบคุมลงบนกระดาษกราฟ โดยกำหนดมาตราส่วนตามความเหมาะสม โดยต้องคำนึงถึงความสะดวกในการเขียนจุดลงบนแผนภูมิควบคุมและความง่ายในการวิเคราะห์แผนภูมิด้วย

5. เขียนจุดและวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม

เมื่อได้แผนภูมิควบคุมแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการเขียนจุดของตัวอย่างข้อมูลลงในแผนภูมิควบคุม จะได้จุดตั้งตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4.2 จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม การกระจายของจุดบนแผนภูมิจะแสดงถึงสภาพของกระบวนการผลิตว่าอยู่ภายใต้ควบคุมหรือไม่ และสมควรหยุดกระบวนการผลิตเพื่อปรับตั้งกระบวนการผลิตใหม่หรือยัง โดยปกติถ้าจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังต่อไปนี้ ผู้ควบคุมกระบวนการผลิตควรทำการตรวจสอบกระบวนการผลิต เพราะกระบวนการผลิตอาจผิดปกติไปจากเดิมลักษณะของจุดที่ควรให้ความสำคัญคือ

1. มี 1 จุดตกนอก UCL หรือ LCL
2. มี 2 จุดติดต่อกันเกาะอยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุมบนหรือขีดจำกัดควบคุมล่าง
3. มี 5 จุดติดต่อกันที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง
4. มี 5 จุดติดต่อกันที่แสดงแนวโน้มขึ้นหรือลงตลอด
5. มีจุดที่เปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว
6. มีจุดที่แสดงวัฏจักร

ตัวอย่างของลักษณะจุดบนแผนภูมิควบคุมที่แสดงความผิดปกติของกระบวนการผลิตแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมที่แสดงความผิดปกติของกระบวนการผลิต

6. ปรับปรุงแผนภูมิควบคุม

จุดที่เขียนลงในแผนภูมิควบคุมที่แสดงความผิดปกติจะถูกตัดออก แล้วนำจุดที่เหลือไปคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แผนภูมิควบคุมที่แถบลงแผนภูมิควบคุมที่ปรับปรุงแล้วนี้อาจนำไปใช้เพื่อควบคุม กระบวนการผลิตในอนาคต หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น เช่น นำไปใช้เพื่อคำนวณสมรรถภาพกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ใช้แผนควบคุมเพื่อการพัฒนาคุณภาพสินค้า

เป้าหมายสำคัญของการใช้แผนภูมิควบคุม ก็เพื่อพัฒนาคุณภาพสินค้าที่ผลิต การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับกระบวนการผลิตจะส่งผลทางด้านจิตวิทยากับผู้ควบคุมกระบวนการ ผู้ควบคุมกระบวนการทุกคนต้องการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพดี ดังนั้นเมื่อมีเครื่องมือที่สามารถบอกสถานภาพของคุณภาพสินค้าที่ผลิตได้ ผู้ควบคุมกระบวนการย่อมยินดีและเอาใจใส่ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้นเรื่อย ๆ แผนภูมิควบคุมนับเป็นวิธีการที่ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของสินค้าอย่างต่อเนื่องตลอดไป

2.10 แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน

แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิต สำหรับคุณสมบัติ หรือลักษณะคุณภาพที่วัดค่าได้ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด น้ำหนักของผงชูรส ปริมาตรของน้ำอัดลม อุณหภูมิของเตาหลอม เป็นต้น ลักษณะคุณภาพเหล่านี้เป็นค่าแปรผัน จึงเรียกแผนภูมิควบคุมลักษณะคุณภาพเหล่านี้ว่า แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน แผนภูมิชนิดแปรผันเป็นแผนภูมิควบคุมที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม ทั้งนี้นอกจากแผนภูมิควบคุมจะทำหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการผลิตแล้ว ยังสามารถให้รายละเอียดส่วนอื่นในกระบวนการผลิต เช่น การประเมินค่าเฉลี่ยของลักษณะคุณภาพ การประเมินการกระจายของลักษณะคุณภาพ ตลอดจนสมรรถภาพกระบวนการ นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมยังสามารถป้องกันความเสียหายอันเกิดจากการผิดปกติของกระบวนการผลิตได้อย่างทันท่วงที

แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผันมีหลายประเภท ในบทนี้จะกล่าวถึงแผนภูมิที่สำคัญคือ แผนภูมิ \bar{X} แผนภูมิ R และแผนภูมิ S แผนภูมิทั้งสามนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการควบคุมแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง (central tendency) หรือค่าเฉลี่ย (mean) และการกระจาย (dispersion) ของลักษณะคุณภาพแผนภูมิ \bar{X} ใช้เพื่อควบคุมค่าเฉลี่ยของลักษณะคุณภาพ ส่วนแผนภูมิ R และแผนภูมิ S ใช้เพื่อควบคุมการกระจายของลักษณะคุณภาพ ลักษณะคุณภาพที่ต้องการควบคุมโดยทั่วไปจะมีความแจกแจงแบบปกติ การควบคุมคุณภาพคือ การควบคุมให้ลักษณะคุณภาพมีค่าเฉลี่ยและการกระจายตามที่กำหนด

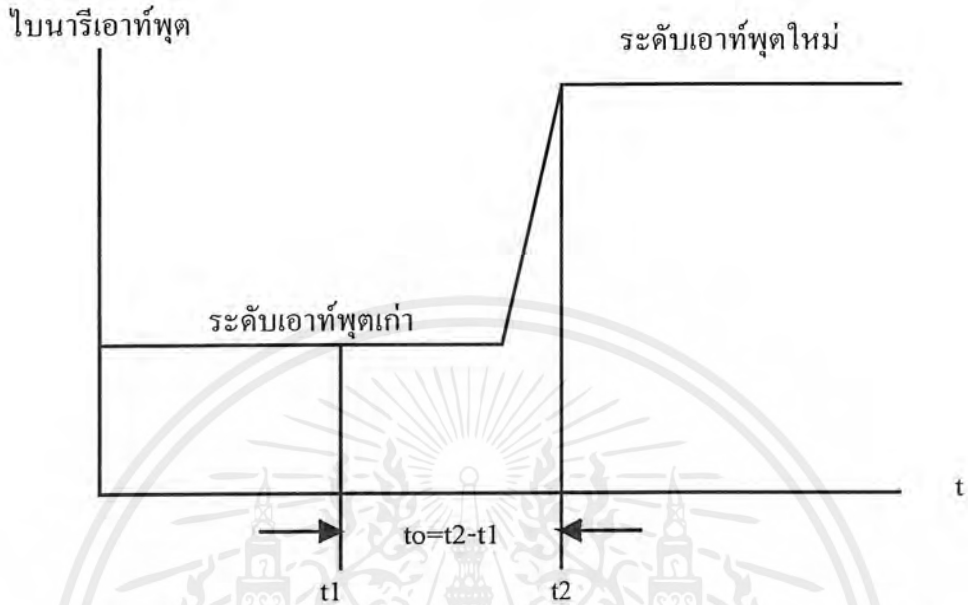
2.11 แผนภูมิ \bar{X} และแผนภูมิ R

แผนภูมิชนิดแปรผันที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมคือ แผนภูมิ \bar{X} และ แผนภูมิ R แผนภูมิทั้งสองนี้จะใช้ควบคู่กันเพื่อควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการและค่าการกระจายของกระบวนการ วัตถุประสงค์และประโยชน์ที่สำคัญของแผนภูมิทั้งสองประกอบด้วย

1. แผนภูมิ \bar{X} ใช้ประโยชน์เพื่อควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต เช่น น้ำหนักเฉลี่ยของซองผงชูรส เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของลวดทองแดง เป็นต้น
2. แผนภูมิ R ใช้ประโยชน์เพื่อควบคุมการกระจายของกระบวนการผลิต เช่น น้ำหนักของซองผงชูรส เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง เป็นต้น
3. แผนภูมิ \bar{X} และ R สามารถใช้เพื่อประเมินสมรรถภาพกระบวนการเพื่อวิเคราะห์ถึงความสามารถในการผลิตภายใต้ข้อกำหนด และประเมินจำนวนสินค้าที่มีระดับคุณภาพต่ำกว่าที่กำหนด

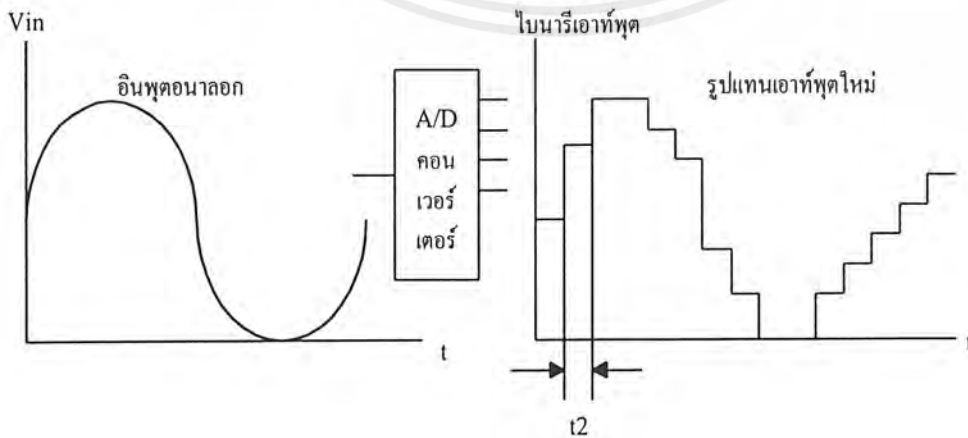
2.12 หลักการของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter)

A/D คอนเวอร์เตอร์ มีสัญญาณอินพุต เป็นสัญญาณอนาล็อก และมีสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณเอาต์พุตจำนวน n บิต อินพุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ เป็นสัญญาณอนาล็อกที่ผ่านออกมาจากวงจรแซมเปิลโฮลด์ (Sample and Hold) ซึ่งส่วนของวงจรนี้ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้ามาในวงจรแล้วนำเอาต์พุตไปต่อเชื่อมกับอินพุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ โดยการแปลงสัญญาณจาก A/D คอนเวอร์เตอร์ แต่ละครั้งวงจรนี้รับสัญญาณอนาล็อกแล้วส่งเข้าที่ขาอินพุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ในช่วงเวลาที่เท่ากับเวลาแซมเปิล (Sample) ที่กำหนดจากความถี่แซมเปิลที่กำหนดในวงจร ดังนั้นในการควบคุมการทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ในการแปลงสัญญาณจะมีค่าจำนวนข้อมูลเท่าใด พิจารณาได้จากความถี่แซมเปิลภายในชุดวงจร แซมเปิลและโฮลด์ อย่างไรก็ตามการพิจารณาเวลาการทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์นี้ยังขึ้นอยู่กับผลของเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion Time, T_c) ภายใน A/D คอนเวอร์เตอร์ คือ เวลาที่ใช้ในระหว่างที่อินพุตเข้ามาจนถึงการแสดงผลค่าระดับเอาต์พุตใหม่



รูปที่ 2.3 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของ A/D คอนเวอร์เตอร์

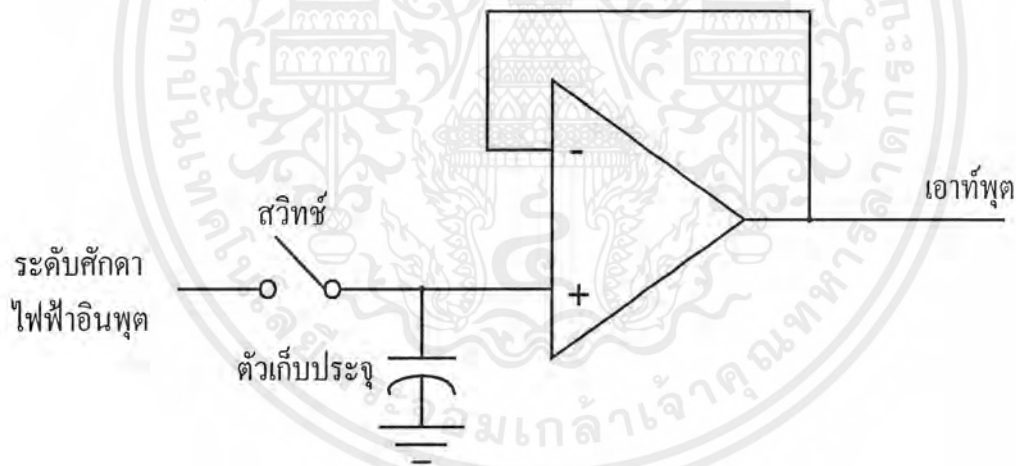
พิจารณาตามรูปที่ 2.3 อินพุตจากสัญญาณอนาล็อกที่เข้าใน A/D คอนเวอร์เตอร์ จะอยู่ ณ เวลา t_1 และสัญญาณตอบสนองของอินพุตจะเกิดขึ้นจากผลต่างของเวลาทั้งสอง คือ เวลาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณซึ่งเวลาดังกล่าวนี้เป็นเวลาที่ใช้จริงของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ดังนั้นการกำหนดเวลาแซมเปิ้ลจากความถี่แซมเปิ้ลควรมีเวลามากกว่าเวลาในการแปลงสัญญาณจึงจะได้ค่าดิจิทัลเอาต์พุตที่ถูกต้องและเพื่อให้ทราบถึงผลของการแซมเปิ้ลจนสัญญาณอินพุตอนาล็อกไปเป็นดิจิทัลเอาต์พุต พิจารณาจากกราฟ รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิทัลด้วย A/D คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งตัวแปลงสัญญาณที่ปรับค่าต่อเนื่อง และตัวแปลงสัญญาณที่ประมาณค่าผลสำเร็จจะเปลี่ยนค่าในแต่ละครั้งเมื่อมันได้รับคำสั่งจากไมโครโปรเซสเซอร์เท่านั้น ซึ่งก็หมายความว่าตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่ประมาณค่าผลสำเร็จขนาด 8 บิต (ที่ใช้เวลา 1 ไมโครวินาทีในการทำงานแต่ละขั้นตอน) จะใช้เวลาทั้งหมด 8 ไมโครวินาทีในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ในช่วงเวลา 8 ไมโครวินาทีนี้ สัญญาณอนาล็อกที่ไม่ทราบค่าที่ป้อนเข้าตัวแปลงนั้นจะต้องมีระดับศักดาไฟฟ้าที่คงที่ มิฉะนั้นค่าเอาต์พุตที่ได้อาจไม่ถูกต้อง เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจึงได้มีการนำวงจร แซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์ (Sample And Hold) มาใช้ โดยวงจรนี้จะเก็บระดับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณที่รับเข้ามาในตัวเก็บประจุก่อนที่ตัวแปลงสัญญาณจะเริ่มการทำงานเมื่อสวิตช์ถูกปิด ตัวเก็บประจุจะได้รับประจุจนมีระดับประจุจนมีระดับศักดาไฟฟ้าตกคร่อมเท่ากับระดับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณที่ป้อนเข้ามา และเมื่อสวิตช์ถูกเปิด ระดับศักดาไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะคงอยู่ที่ค่านี้นานกว่าสวิตช์จะถูกปิดอีกครั้ง โดยปกติสวิตช์แบบ FET (Field Effect Transistor) ที่ทำงานได้ด้วยความเร็วสูงจะถูกนำมาใช้ในวงจรนี้



รูปที่ 2.5 วงจรแซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์

2.12.1 วงจร A/D คอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี 3 แบบ คือ

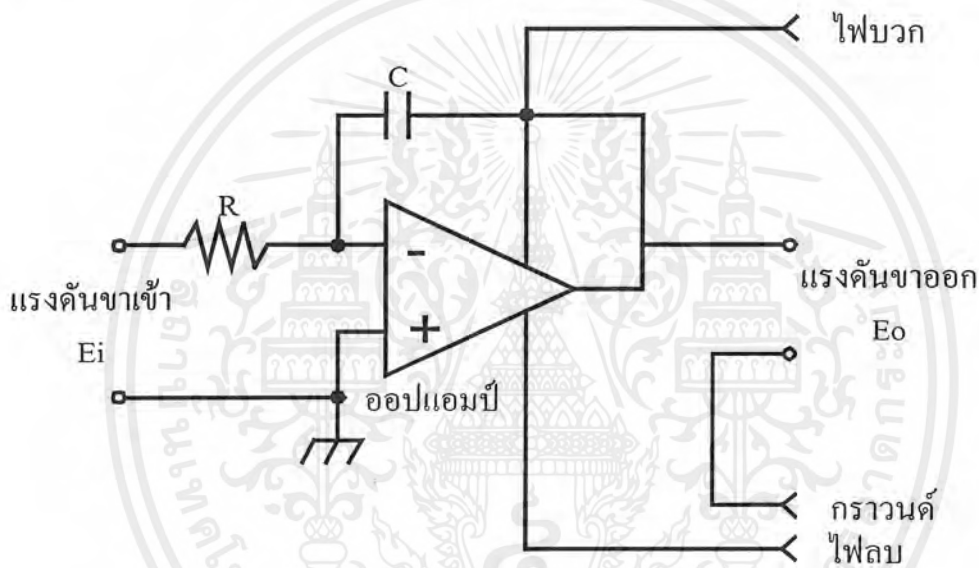
- แบบสโลปคู่ (Dual Slope)
- แบบแปลงสัญญาณเป็นความถี่ (V to F Converter)
- แบบประมาณทีละบิต (Successive Approximation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร A/D แบบสโลปคู่เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมากนักก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนานมากไป จึงไม่เหมาะในการใช้แรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ และจะขอกกล่าวถึง วงจร A/D แบบสโลปคู่

2.12.1.1 สโลปคู่ (Dual Slope) ของ A/D คอนเวอร์เตอร์

เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมากนักก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียตรงที่ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนานมากไป จึงไม่เหมาะในการใช้วัดแรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ และจะขอกกล่าวถึงวงจร A/D แบบสโลปคู่

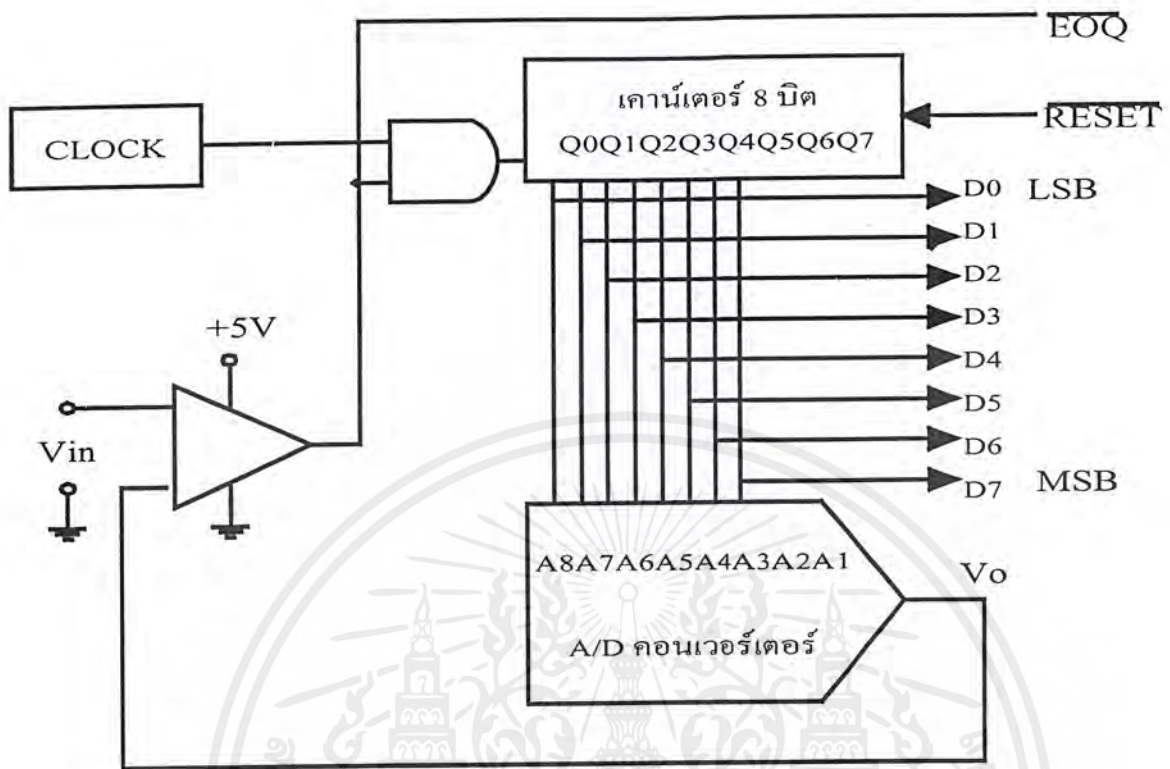


รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์

พิจารณารูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบพื้นฐาน ประกอบด้วยออปแอมป์ ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแตกต่าง

2.12.1.2 แรมป์เอาต์พุต (Ramp Output) ของ A/D คอนเวอร์เตอร์

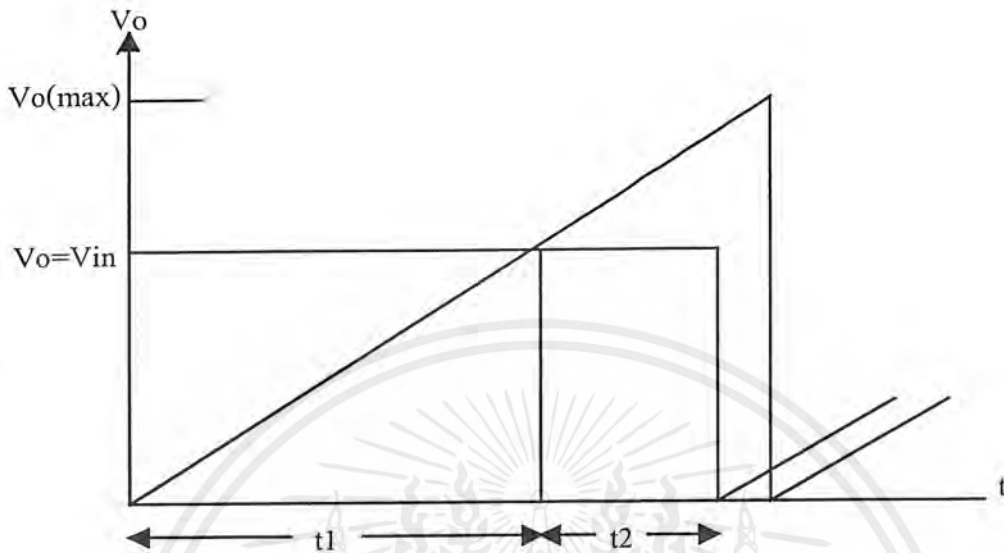
เป็น A/D คอนเวอร์เตอร์ ที่เข้าใจการทำงานง่ายที่สุด โดยแสดงโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 2.7 เมื่อพิจารณาตามรูปแล้วสามารถอธิบายการทำงานหลักการได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 ตัวแปลงสัญญาณ A/D คอนเวอร์เตอร์แบบเรมปี

1. คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณรีเซทไปที่เคาท์เตอร์เพื่อให้สามารถรับสัญญาณอินพุตได้โดยขณะนั้นผลเอาต์พุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ (V_o) มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำสุด
2. การทำงานของวงจรมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณนาฬิกาซึ่งสัญญาณอินพุตถูกนำมา AND กับสัญญาณนาฬิกาแล้วจึงส่งไปยังเคาท์เตอร์เป็นผลให้ V_o แสดงระดับแรงดันที่สูงขึ้นทีละ 1 LSB
3. ณ จุดเดียวกันนั้น ตัวเคาท์เตอร์จะนับเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเอาต์พุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ สูงกว่าค่าแรงดันอินพุต V_{in} เมื่อถึงจุดนี้ของคอมพิวเตอร์จะแสดงค่าไปจนกระทั่งเป็น 0 โวลต์ เมื่อถึง 0 โวลต์ที่จะหยุดสัญญาณนาฬิกาจะหยุดการนับที่จุดซึ่ง V_o เริ่มมากกว่า V_{in} ขา EOC จะลดระดับเป็นระดับต่ำและส่งสัญญาณ ไปให้คอมพิวเตอร์วางข้อมูลขณะนี้พร้อมที่จะอ่านได้แล้ว ซึ่งข้อมูลที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยผ่านไประบบอินพุตพอร์ท
4. หลังจากคอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลเสร็จ คอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณรีเซทมาที่ A/D คอนเวอร์เตอร์หลังจากนั้นก็เริ่มทำกระบวนการแบบเดิมอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



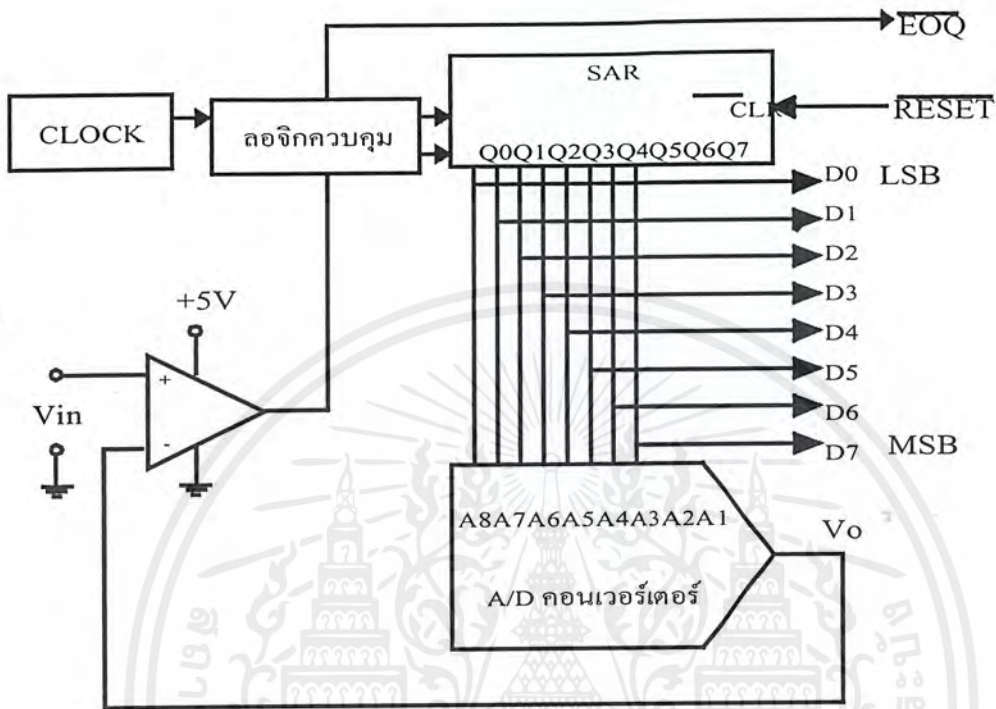
รูปที่ 2.8 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A/D คอนเวอร์เตอร์

กราฟนี้แสดงการทำงานของแรมป์ โดย t_1 แทนเวลาที่นับใช้เพื่อแรมป์เอาต์พุตของ D/A คอนเวอร์เตอร์ที่เริ่มจะเลย V_{in} และ t_2 แทนเวลาระหว่างที่คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลและส่งสัญญาณรีเซตกลับมาให้ A/D คอนเวอร์เตอร์ เริ่มต้นกระบวนการเดิมอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นในการเก็บข้อมูล 1 ค่า จะต้องใช้เวลาในการแปลงสัญญาณ 2 ช่วงด้วยกัน คือ เวลา t_1 ถูกกำหนดโดยอ่านข้อมูลและส่งสัญญาณรีเซตกลับ

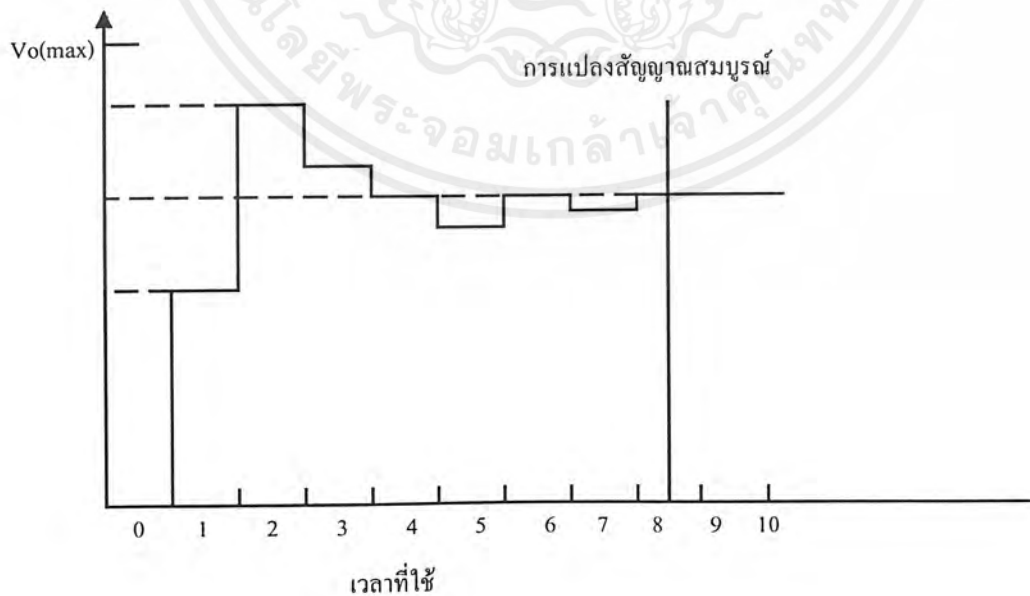
2.12.1.3 ซีสเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation) A/D คอนเวอร์เตอร์

SAR เป็นตัวเลขหลักของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งลักษณะใกล้เคียงกับแบบแรมป์ โดยโครงสร้างการทำงานแสดงดังรูปที่ 1.9 ซึ่งเป็นการแสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับ A/D คอนเวอร์เตอร์แบบ SAR

SAR คอนเวอร์เตอร์ ต้องใช้ D/A คอนเวอร์เตอร์ และคอมพาราเตอร์ในการทำงานเหมือนกัน ส่วนที่แตกต่างได้แก่ ส่วนของเคาทช์เตอร์ วิธีที่แรมป์ทำงานโดยอาศัยการนับขึ้นในลำดับไบนารีจนกระทั่ง V_{in} การทำงาน SAR คอนเวอร์เตอร์จะอธิบายต่อไป และใช้รูปที่ 1.9 และ 1.10 ในการบรรยาย



รูปที่ 2.9 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR



รูปที่ 2.10 กราฟของส่วน D/A ระหว่างการแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล พิจารณาจากสัญญาณนาฬิกาที่ส่งไปยังระบบควบคุมลอจิก โดยเอาท์พุทของระบบควบคุมลอจิกจะส่งพัลส์หนึ่งลูกให้กับ SAR เพื่อเซตค่าของ MSB และลบค่าเอาท์พุทที่ยังเหลืออยู่ ซึ่งจะทำให้ค่าของ V_o เท่ากับค่า $V_{fs}/2$ ซึ่งจะน้อยกว่าค่า V_{in} และเอาท์พุทของคอมพาราเตอ์จะยังคงอยู่ในระดับ “1” ระบบควบคุมลอจิกจะตรวจสอบว่าด้วยคอมพาราเตอ์ยังคงเป็น “1” อยู่ที่จะส่งสัญญาณไปที่ SAR ซึ่งจะค้างค่าของ MSB เป็นลอจิก “1” ที่ Q7
2. เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาถูกตัดไป MSB ตัวใหม่ ซึ่งอยู่ที่ Q6 ของ SAR จะถูกเซตค่าเป็น “1” ดังรูปที่ 17 เอาท์พุทของ D/A จะเกินค่าของ V_{in} ทำให้เอาท์พุทของคอมพาราเตอ์เปลี่ยนระดับระบบควบคุมลอจิกตรวจสอบทราบก็จะไม่ทำการค้างค่า Q6 นั่นคือ ค่าที่ค้างที่ตำแหน่ง Q6 มีค่าเท่ากับ “Q”
3. สัญญาณนาฬิกาถูกถัดมา Q6 จะถูกเคลียร์ และ Q5 จะถูกเซต จากการเปรียบเทียบได้เอาท์พุทของคอมพาราเตอ์เป็น “1” ส่วนควบคุมลอจิกก็จะไม่ทำการค้างค่า Q5 ไว้เพราะยังสูงกว่าค่าของ V_{in} โดยปกติแล้ววงจรจะทดสอบเอาท์พุท โดยเริ่มต้นที่ MSB ของ AR ถ้าเอาท์พุทของ D/A คอนเวอร์เตอร์ เกินค่า V_{in} แล้วมีค่านั้นจะค้างค่าลอจิก “1” ไว้ หลังจากการตรวจสอบหมดแล้ว ไบนารีเอาท์พุทจะเป็นอัตราส่วนกับ V_{in} จะเห็นว่า A/D แบบนี้ดีกว่าแบบแรมปี คือ เวลาในการแปลงสัญญาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนบิตของเอาท์พุทแบบ SAR แต่ SAR A/D คอนเวอร์เตอร์ มีข้อเสียแบบเดียวกับแรมปี คือข้อผิดพลาดทางอัตราการขยายออฟเซต และความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเกิดขึ้นในส่วน D/A

2.13 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ (Force Torque and Pressure Measurements)

ทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งใช้วัดแรง ทอร์ก หรือ ความดันโดยทั่วไป ประกอบด้วยส่วนยืดหยุ่นหรือการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะโค้ง หรือความเครียด และเซนเซอร์โดยปกติ จะใช้เกจความเครียด (Strain Gage) อย่างไรก็ตาม บางครั้ง อาจใช้ LVDT หรือ โปเทนทีอิมิเตอร์ (Potentionmetres) สำหรับการวัดแบบสถิต (Static) หรือ ควอไซสแตติก (Quasi Static)

2.3.1 ทรานส์ดิวเซอร์แบบหลักการของแรง (Force Transducers)

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้สำหรับเปลี่ยนแรงทางกายภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแรงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่

1. แรงจลน์ เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่ เช่น แรงที่กระทำ

บนข้อมูลหุ่นยนต์เนื่องจากความเร่งของมวลของวัตถุในระหว่างการบังคับให้เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงสถิต เป็นแรงที่กระทำบนวัตถุโดยไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เช่น แรงที่กระทำโดย คริปเปอร์ (Qripper) ของหุ่นยนต์บนผิของวัตถุในระหว่างการจัดการกับวัตถุ การวัดแรงทั่ว ๆ ไปที่ทรานควิสเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางกายภาพของทรานควิสเซอร์ ซึ่งแรงเป็นตัวการทำให้เกิดขึ้น

ส่วนประกอบยืดหยุ่นที่ใช้ในการวัดแรง (Elastic Elements For Force Measurements)

ส่วนยืดหยุ่นที่นิยมใช้สำหรับการแสดงขนาดของแรงที่กระทำโดยผ่านการวัดการกระจัด เช่น

1. สปริง ในกรณีแรงจะหาได้จาก

$$P = ky \quad (2-1)$$

เมื่อ $k =$ ค่าคงตัวของสปริง
 $y =$ ระยะกระจัดจากจุดสมดุล

$$P = \left(\frac{AE}{L}\right) \times y \quad (2-2)$$

2. แท่งวัสดุ แรงที่วัดได้จะเป็นตามสมการ

$$P = \left(\frac{3EI}{L^3}\right) \times y \quad (2-3)$$

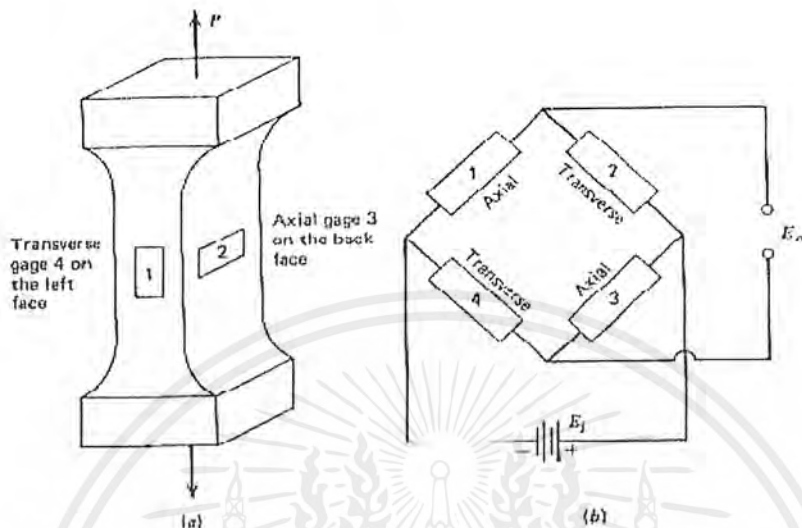
เมื่อ $A =$ พื้นที่หน้าตัด $E =$ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ $L =$ ความยาว

3. คานยื่น (CANTILEVER BEAM) การเบนไปของปลายคาน สัมพันธ์กับแรง P ที่กระทำ โดย เมื่อ $I =$ โมเมนต์ของความเฉื่อยของคานรอบแกนที่ผ่านศูนย์กลางในทิศทางของการเบน

นอกจากนี้ ยังมีริงค์ (Ring) และเว็บ (Webs) ซึ่งเป็นส่วนยืดหยุ่นที่ใช้ทำทรานควิสเซอร์ และ ได้มีการแบ่งโหลดเซลล์เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 โหลดเซลล์แบบลิงค์ (Link-Type Load Cell)



รูปที่ 2.11 โหลดเซลล์แบบลิงค์

โหลดเซลล์แบบลิงค์คืออย่างง่าย ประกอบด้วยลิงค์และเกจความเครียด 4 อัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ภาระ P สามารถนับไปได้ทั้งภาระแรงดึง (Tensile Load) หรือ ภาระแรงอัด (Compressive Load) เกจความเครียด 2 อัน ยึดติดกับลิงค์ในแนวแกน และอีก 2 อัน ในแนวขวางกับแกน

เกจความเครียดทั้ง 4 จะต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) โดยเกจที่อยู่ในแนวแกนต่ออยู่ในแนวแกนต่ออยู่ในแกน 1 และ 3 ส่วน เกจที่อยู่ในแนวขวางต่ออยู่กับแกน 2 และ 4 ดังรูปที่ 1.11 เมื่อภาระ P กระทำต่อลิงค์ความเครียดตามแนวแกน และตามแนวขวางจะเกิดขึ้นในลิงค์และสัมพันธ์กับภาระตามสมการ

$$\varepsilon_u = \frac{P}{AE}$$

$$\varepsilon_l = \frac{-\nu P}{AE} \quad (a)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของลิงค์

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำลิงค์

ν = อัตราส่วนปัวซองของวัสดุที่ใช้ทำลิงค์

การตอบสนองของเกจต่อ โหลด P ที่กระทำเป็นไปตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_3}{R_3} = S_g \varepsilon_4 = S_g \frac{P}{AE}$$

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = S_g \varepsilon_t = \frac{-\nu S_g P}{AE} \quad (b)$$

ถ้าสมมติว่าเกจความเครียดทั้ง 4 ตัวบนลึงค์เหมือนกันทุกประการ แรงดันออก V_0 จากวีทสโตนบริดจ์ หาได้จากการแทนค่าสมการ (b) ลงในสมการ

$$v_0 = \frac{r}{(1+r)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) v_s$$

จะได้

$$V_0 = \frac{S_g P(1+\nu)}{2AE} v_s \quad (2-4)$$

$$P = \frac{2AE}{S_g(1+\nu)} v_s = C v_0 \quad (2-5)$$

หรือ สมการ (2-5) แสดงว่า ภาระ P เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับแรงดันออก V_0 และค่าคงตัวสัดส่วนหรือค่าคงตัวเปรียบเทียบ คือ

$$C = \frac{2AE}{S_g(1+\nu)} v_s \quad (2-6)$$

เมื่อ C = ค่าคงตัวเปรียบเทียบ

ความไวของโวลต์เซลล์วีทสโตนบริดจ์คอมบิเนชัน (Load Cell-Wheatstone Bridge Combination) คือ

$$S = \frac{V_0}{P} = \frac{1}{C} = \frac{S_g(1+\nu)}{2AE} v_s \quad (2-7)$$

จากสมการ (2-7) ข้างบนแสดงว่า ความไวของโวลต์เซลล์ขึ้นอยู่กับ พื้นที่หน้าตัดของลึงค์

(A) โมดูลัส ของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำลึงค์ (E,) เกจแฟกเตอร์ (Gage Factor), S_g และแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\max} = S_g A \quad (2-8)$$

ที่จ่ายให้กับ B บริดจ์ (V_s) ช่วง (Range) ของแรงที่ให้กับโหลดเซลล์แบบลึงค์หาได้จาก พื้นที่หน้าตัดของลึงค์และ ความกล้า S_f ของวัสดุที่ใช้ทำลึงค์โดย

อัตราส่วนแรงดันที่ภาระสูงสุด (Maximum Load) $(V_0/V_s)_{\max}$ สำหรับ โหลดเซลล์แบบลึงค์หาได้จาก การแทนสมการข้างบน ลงใน (2-4) จะได้

$$\left(\frac{V_0}{V_s} \right)_{\max} = \frac{S_g S_r (1 + \nu)}{2 E} \quad (2 - 9)$$

โหลดเซลล์แบบลึงค์เกือบทั้งหมด กำหนดค่าเต็มสเกลของภาระ ($P = P_{\max}$) ที่ $(V_0/V_s) = 3mV/V$ ด้วยค่าเต็มสเกลเฉพาะของอัตราส่วนแรงดัน (V_0/V_s) นี้ ภาระ P บน โหลดเซลล์จะหาได้จาก

$$P = \frac{V_0 / V_s}{(V_0 / V_s)_{\max}} P_{\max} \quad (2 - 10)$$

2.15 โหลดเซลล์แบบคาน (Beam-Type Load Cell)

โหลดเซลล์แบบคานใช้วัดภาระในกรณีที่ใช้โหลดเซลล์แบบลึงค์ไม่ได้ รูปที่ 2.12 (a) เป็น คานยื่น (cantilever Beam) ซึ่งมีเกจความเครียด 2 อันติดอยู่ที่ผิวด้านล่าง (ทั้งหมดติดอยู่ในแนวขนานกับแกนของคาน) ซึ่งทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนยึดหยุ่นและเซนเซอร์สำหรับเซลล์ชนิดนี้ คือ เกจ ซึ่งต่อกันเป็นวงจรวีทสโทนบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (b)

ภาระ P ทำให้เกิดโมเมนต์ $M = P_x$ ที่ตำแหน่ง X ทำให้ได้ผลลัพธ์

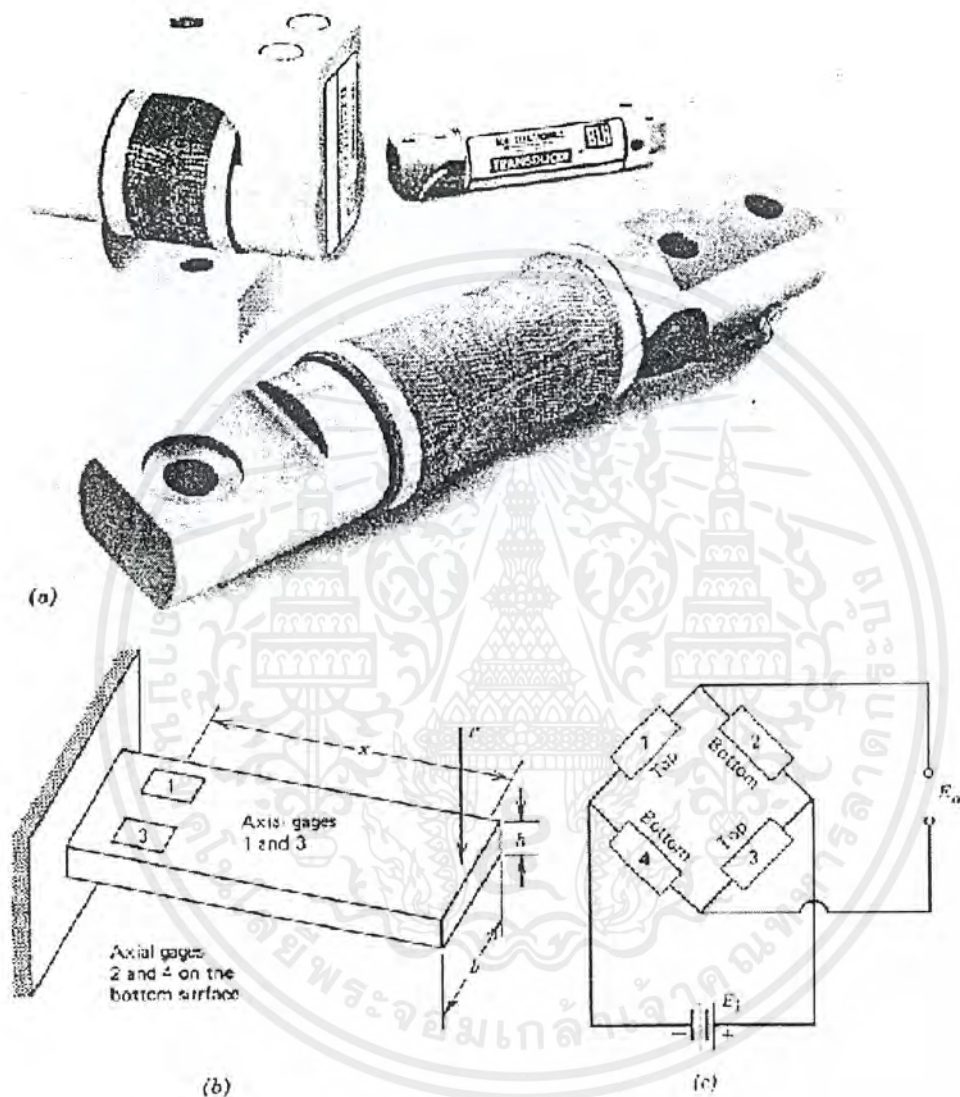
$$\epsilon_3 = -\epsilon_2 = \epsilon_3 = -\epsilon_1 = \frac{\sigma M}{Ebh} = \frac{6 P_x}{Ebj} \quad (a)$$

เมื่อ b คือ ความกว้างของหน้าตัดของคาน

h คือ ความหนาของหน้าตัดของคาน

การตอบสนองของเกจความเครียดหาได้จากสมการ $R/R = S_g$ และสมการ (a) ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 โหลดเซลล์แบบคาน (Beam-Type Load Cell)

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{-\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_3}{R_3} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = \frac{\sigma S_g P_x}{Ebh^2} \quad (b)$$

แรงดันออก V_0 จากวีทสโตนบริดจ์ซึ่งเป็นผลจากการกระทำของภาระ P หาได้โดยแทนสมการ (b) ลงในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_0 = \frac{r}{(1+r)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) v_s$$

และสมมติว่าเกจความเครียดทั้ง 4 เหมือนกันทุกประการ จะได้

$$v_0 = \frac{\sigma S_g P_x v_s}{Ebh^2} \quad (2 - 11)$$

หรือ

$$P = \frac{Ebh^2}{\sigma S_g X v_s} v_0 = C v_0 \quad (2 - 12)$$

จากสมการ (2-12) แสดงว่า ภาระ P เป็นสัดส่วนกับแรงดันออก V_0 และค่าคงตัวสัดส่วนหรือค่าคงตัวปรับเทียบ (Calibration Constant) C คือ

$$C = \frac{Ebh^2}{\sigma S_g X v_s} \quad (2-13)$$

ความไวของการรวมระหว่างโหลดเซลล์กับวีลสโทนบริดจ์กำหนดโดยสมการ $S = V_0 / P$ ดังนี้

$$S = \frac{v_0}{P} = \frac{1}{C} = \frac{\sigma S_g X v_s}{Ebh^2} \quad (2 - 14)$$

จากสมการ (2-14) ข้างต้นแสดงว่าความไวของโหลดเซลล์แบบคานขึ้นอยู่กักรูปร่างหน้าตัดของคาน (b, h) โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำคาน (E) ตำแหน่งของภาระเทียบกับเกจ (X) เกจแฟกเตอร์ (S_g) และแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรวีลสโทนบริดจ์ (V_s) ช่วงของโหลด ที่ใช้กับโหลดเซลล์แบบคานขึ้นอยู่กักรูปร่างหน้าตัดของคานตำแหน่งที่ภาระกระทำ และความถี่ของวัสดุที่ใช้ทำคาน ถ้าสมมติว่าเกจติดที่ตำแหน่งใกล้กับตัวรองรับ (Beam Support) จะได้

$$M_{gagc} = M_{MAX} \text{ และ}$$

$$P_{max} = \frac{S_g b h^2}{\sigma X} \quad (2 - 15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนแรงดันที่ภาระสูงสุด $(V_0/V_s)_{MAX}$ หาได้จากการแทนสมการ P_{MAX} ลงในสมการ (2-11) ดังนั้น

$$\left(\frac{V_0}{V_s}\right)_{max} = \frac{S_g S_f}{E} \quad (2-16)$$

โหลดเซลล์แบบคานที่มีขายในท้องตลาดมีอัตราส่วนแรงดัน (V_0/V_s) ที่ภาระเต็มสเกล ระหว่าง 4 และ 5 mV/V

2.16 โหลดเซลล์แบบวงแหวน (Ring-Type Load Cell)

ส่วนประกอบของโหลดเซลล์แบบวงแหวนมีพรูว์ริงคิงค์ (Proving Ring) เป็นส่วนยึดหยุ่น และมีเซนเซอร์ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเกจความเครียดและ LVDT

ถ้าใช้ LVDT วัดการกระจัดอันเนื่องมาจากการอัดหรือดึงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด กับภาระ P จะเป็นไปตามสมการ (โดยประมาณ)

$$\delta = \frac{1.79 PR^3}{Ewt^3} \quad (2-17)$$

เมื่อ E คือ ค่าโมดูลัสที่ใช้ทำวงแหวน

w คือ ความหนา

t คือ ความหนาของวงแหวน

แรงดันออก V_0 ของ LVDT สามารถแสดงโดยสมการ

$$v_0 = S\delta v_s \quad (2-18)$$

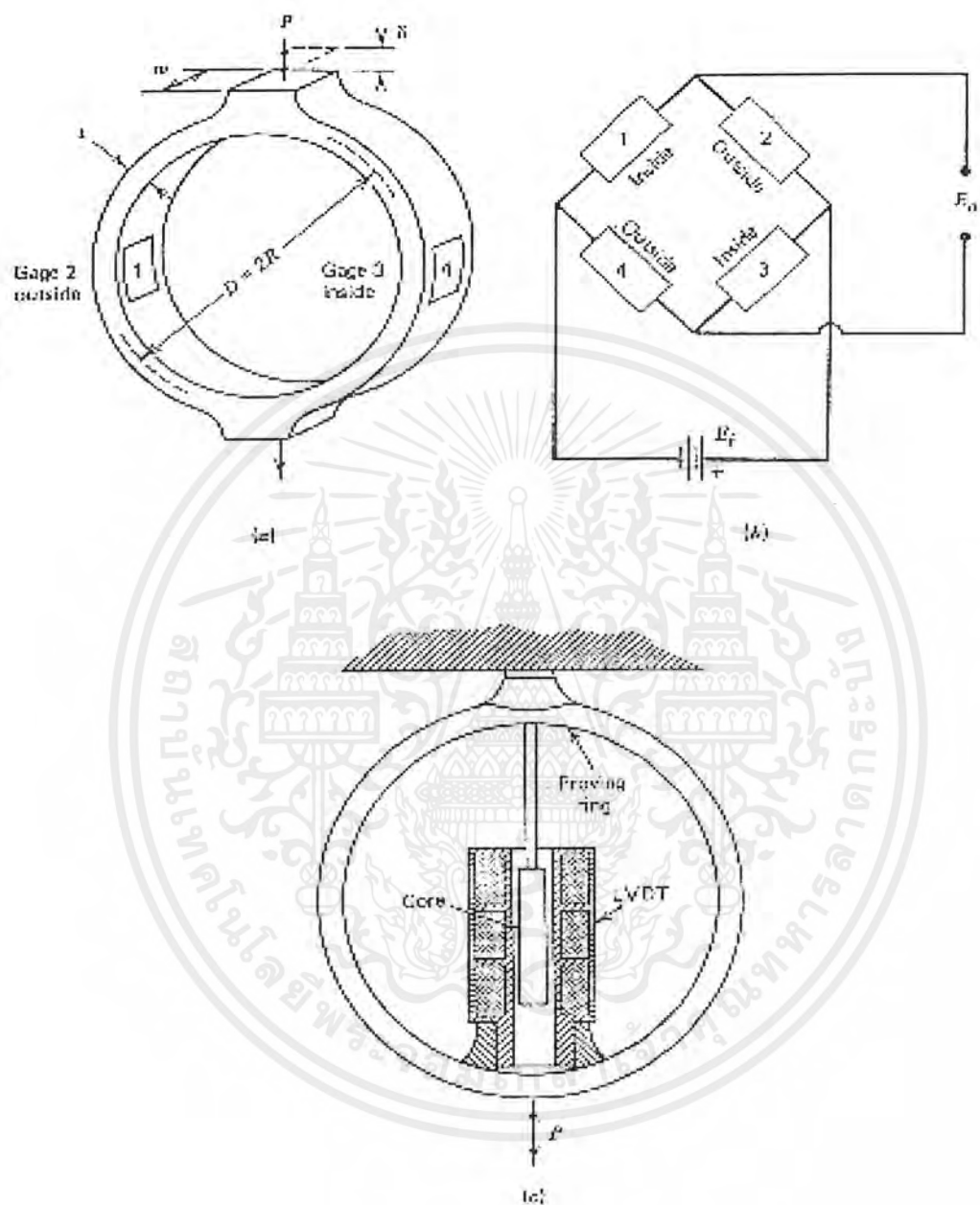
เมื่อ S คือ ความไวของ LVDT

v_s คือ แรงดันที่ป้อนเข้าขดลวดปฐมภูมิของ LVDT

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก V_0 และภาระ P หาได้จาก แทนสมการ (2-17) ลงในสมการ (2-18) ได้

$$v_0 = 1.79 \frac{SPR^3}{Ewt^3} v_s \quad (2-19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โหลดเซลล์แบบวงแหวน (Ring-Type Load Cell)

หรือ

$$P = 0.56 \frac{Ewt^3}{SR^3 v_s} V_0 = CV_0 \quad (2 - 20)$$

โดย

$$C = 0.56 \frac{Ewt^3}{SR^3 v_s} \quad (2 - 21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C คือ ค่าตัวปรับเทียบ

ความไวของริงค์แวลวีดีทีคอมบิเนชัน (RING-LVDT COMBINATION)S, คือ

$$S_r = \frac{v_0}{P} = \frac{1}{C} = 1.79 \frac{SR^3}{EWt^3} v_s \quad (2 - 22)$$

ช่วงภาระ P ของโพลีเมอร์แบบวงแหวนถูกควบคุมด้วยความแข็งแรงของวัสดุ ถ้าโพลีเมอร์ใช้วัดโพลีเมอร์ที่กระทำเป็นจังหวะ (Cyclic Load) ความล้า (Fatigue) S_r เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาความเค้นสูงสุดในชิ้นส่วนวงแหวนอยู่ที่ด้านในของวงแหวนตรงที่เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งฉากกับแนวโพลีเมอร์ค่าประมาณของความเค้นที่ตำแหน่งนี้คือ

$$\sigma_\theta = 1.09 \frac{PR}{Wt^2} \quad (2 - 23)$$

จากสมการ (5-23) สำหรับการวัดโพลีเมอร์ที่กระทำเป็นจังหวะจะได้

$$P_{\max} = 0.92 \frac{Wt^{1/2}}{R} Sf \quad (2 - 24)$$

อัตราส่วนแรงดันที่โพลีเมอร์สูงสุด $(V_0/V_s)_{\max}$ จะเป็น

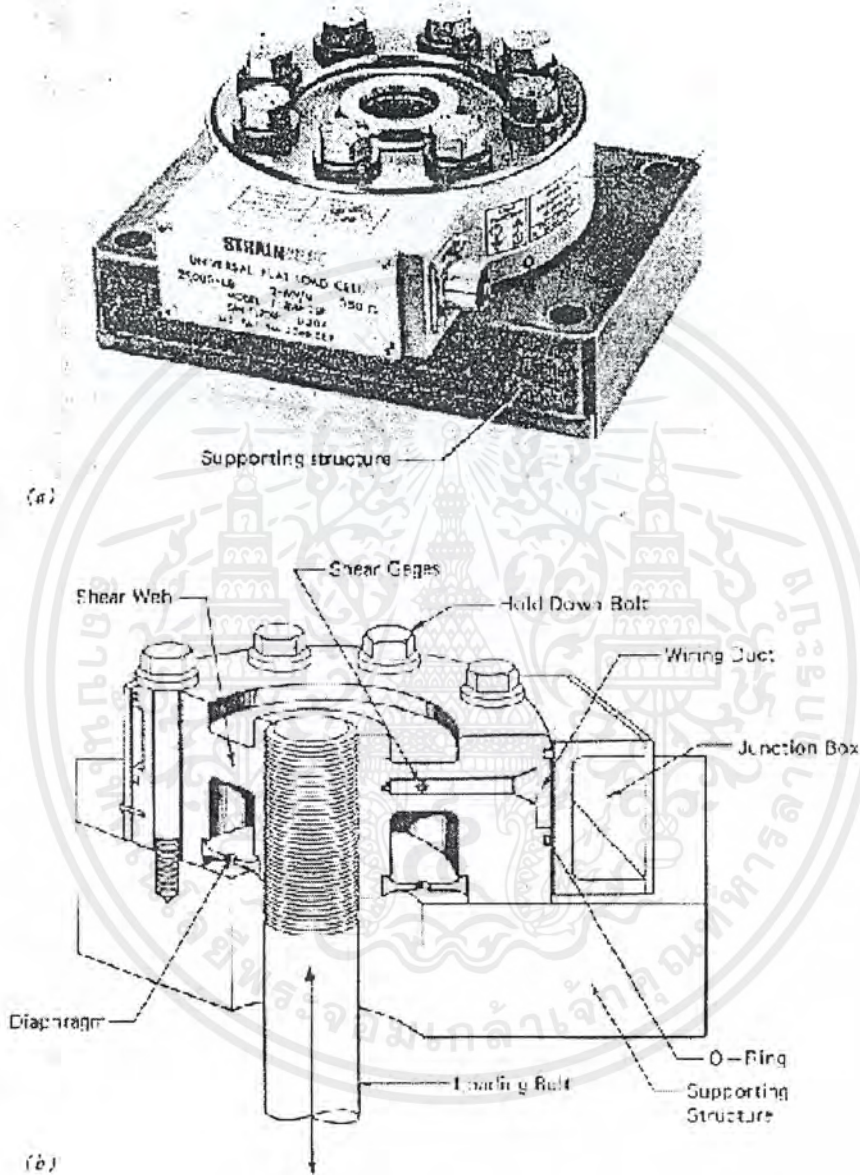
$$\left(\frac{v_0}{v_s} \right) = 1.64 \frac{SR^2}{Et} Sf \quad (2 - 25)$$

ถ้ารูปอัตราส่วนแรงดันเต็มสเกล (V_0/V_s) และ ภาระสูงสุด P_{\max} สำหรับโพลีเมอร์เฉพาะสามารถกำหนดโพลีเมอร์ที่สอดคล้องกับ V_0 ที่ถูกวัดโดยสมการ

$$P = \frac{\left(\frac{v_0}{v_s} \right)}{\left(\frac{v_0}{v_s} \right)} P_{\max} \quad (2 - 26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน (Shear-Web-Type Load Cell)



รูปที่ 2.14 โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน (Shear-Web-Type Load Cell)

โหลดเซลล์ชนิดนี้ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแฟลทโหลดเซลล์ (Flat Load Cell) มีประโยชน์สำหรับการใช้งานเมื่อที่วางในแนวโหลดกระทำมีจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดเซลล์แบบแรงเฉือนประกอบด้วยอินเนอร์โหลดคิงค์ฮับ (Inner Loading Hub) และ
 เข้าที่เตอร์ซัพพอร์ตคิงค์แฟรงค์ (Outer Supporting Flange) ซึ่งต่อกันด้วยเชิอร์เว็บ (Shear Web)
 ดังรูปที่ 2.14 เกจความเครียดแบบเชิอร์ติดตั้งอยู่ในรูเล็ก ๆ ที่ถูกเจาะเข้าไปในเชิอร์เว็บ แพลทโหลด
 เซลล์มีขนาดกระทัดรัดสามารถใช้ได้กับการประยุกต์แบบเคลื่อนที่ (Dynamics Application) โดย

$$f_n = 3.13 \left(\frac{k}{(W_c + W_x)} \right) \quad (2 - 27)$$

เฉพาะเมื่อต้องการวัดโหลดในขณะที่ทำการสั่นมีความถี่สูงพอสคาปาซิตี (Force Capacity) ที่วัด
 โดยใช้แพลทโหลดเซลล์หาได้จากการวัดความถี่ธรรมชาติของโหลดเซลล์

เมื่อ f_n คือ ความถี่ธรรมชาติของทรานควิวส์เซอร์(Hz)

k คือ ค่าคงตัวของสปริง หรือสทิฟเนส (Stiffness) ของโหลดเซลล์ (Ib/in)

w_c คือ น้ำหนักประสิทธิผลของส่วนแอกทีฟของโหลดเซลล์ (Ib)

w_x คือ น้ำหนักภายนอกที่ติดกับฮับ (Ib)

เมื่อได้ค่า f_n แล้วนำมาเทียบในตารางคุณสมบัติของแพลทโหลดเซลล์ (Mechanical

Properties Of Flat Load Cells)

ความจุแรง (P) (Ib)	K (Ib/in)	We (Ib)	f_n (kHz)
250	920,000	0.028	18.0
1,000	1,220,000	0.023	22.8
5,000	6,600,000	0.135	22.0
10,000	8,500,000	0.340	15.7

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแพลทโหลดเซลล์

ความถี่ธรรมชาติที่แสดงในตาราง คำนวณภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีน้ำหนักภายนอก (w_x)
 ติดกับโหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม

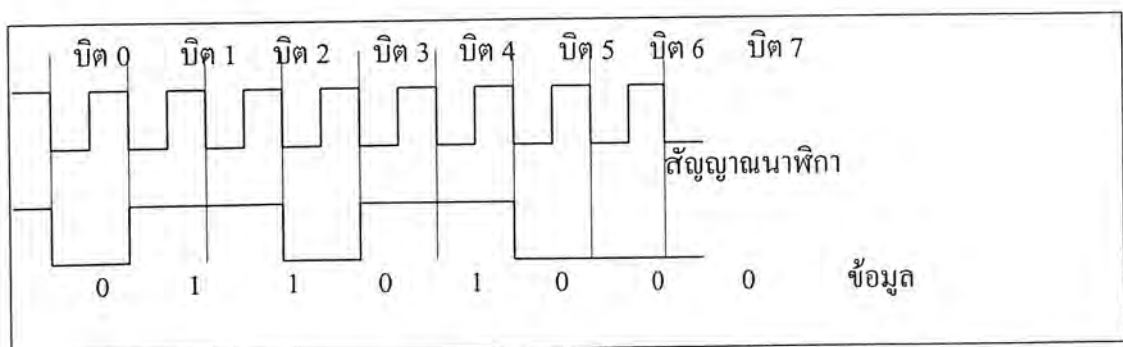
การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกหรือคอมพิวเตอร์ด้วยกัน มีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือรับส่งข้อมูลแบบขนานและรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบขนานเป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิตในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลมีความเร็วสูง กว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลต้องมียากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำกรถ่ายทอดด้วย นอกจากนี้ยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุมและตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ ส่งผลให้ราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักจะมีราคาแพง อีกข้อจำกัดหนึ่งของการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนาน คือ ระยะทางในการถ่ายทอดข้อมูลโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 10–15 ฟุต

ในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการรับส่งที่เป็นมาตรฐาน ต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมากและไม่แปรผันตามจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก โดยปกติถ้าเป็นพอร์ตของอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ

2.14.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบเชิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบเชิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกาาร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วยตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบเชิงโครนัสก็คือ คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบเชิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์ รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงไคอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบเชิงโครนัส



รูปที่ 2.15 ไคอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตรารเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps)

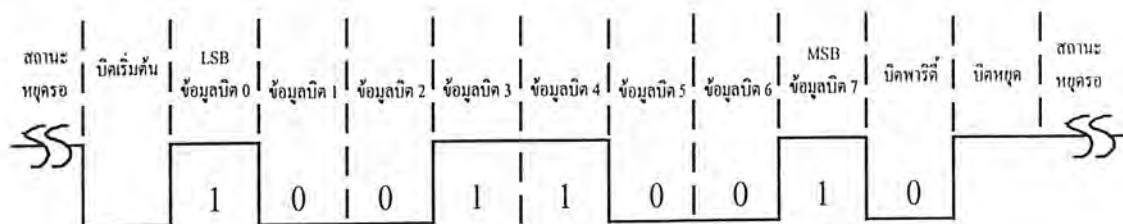
รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

- 1.บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
- 2.บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
- 3.บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) มีขนาด 1 บิต หรือไม่มี
- 4.บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต

รูปที่ 2 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลหา DATA จะมีสถานะ ลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการใช้หา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น (Start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด หรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 5, 6, 7, หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลบิตสุดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้หา DATA มีสถานะ ลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิตเพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอด หรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่าได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600 และ 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากบอดเรตคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมุติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิตไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้ายอีก 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่า 9,600 บิตต่อวินาที ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (Odd), แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีคี่หรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมบิตพาริตีว่ามี



รูปที่ 2.16 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

จำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะทำการส่ง ยกตัวอย่างข้อมูลที่ต้องการส่ง มีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99 H 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของพาริตีจะต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตีเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ URAT(Universul Asynchronous Receiver Transmitter) : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดภายหลัง) ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่หรือพาริตีคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้งานทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับและส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดจะใช้ไอซี UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วนคอมพิวเตอร์ในรุ่น XT ใช้ ไอซีเบอร์ 8250 UART เหล่านี้มีระดับแรงดันของลอจิกเป็นแบบทีทีแอล (+5V)แต่เพื่อให้แรงดันเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ที่ระยะทางไกลมากขึ้น ระดับแรงดันที่ทีแอลจะถูกแปลงไปเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยลอจิก “0” จะมีระดับแรงดัน -3V ถึง -12V และลอจิก “1” มีระดับแรงดัน +3V จนถึง +12V

2.14.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้ส่งผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยสมาคมอุตสาหกรรมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุตมีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3V จนถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล (mark) และ +3V ถึง +12V แสดงเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ถูกใช้ในการกำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ในโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานในคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อกับโมเด็ม เมาส์ และเครื่องพิมพ์ที่สามารถติดต่อกันทางพอร์ตอนุกรมได้

2.14.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS – 232 และการเชื่อมต่อ

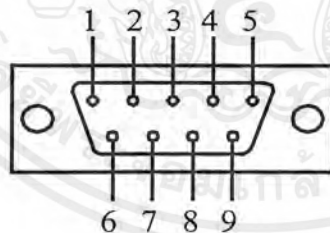
มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS – 232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยมีการใช้งานมาในอดีตไม่ค่อยมีความสำคัญมากนักจึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 3

- ขา DATA Carrier Detect : DCD หรืออาจจะเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่นโมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ถูกใช้งานมากนัก
- ขา Receive Data หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- ขา Transmitted Data :TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมจากคอมพิวเตอร์โดยการนำข้อมูลที่เก็บไว้ในบัฟเฟอร์ส่งออกไป
- ขา Data Terminul Ready : DTR เป็นขาเอาต์พุตที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทางโดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะ

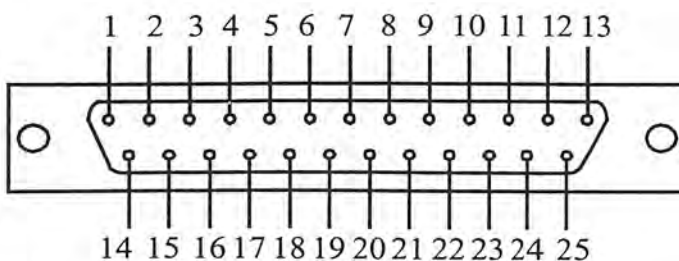
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์และถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ 3 สายจะต้องเชื่อมต่อขา DTR และ DSR ของพอร์ตอนุกรมเข้าด้วยกันและจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับขา DCD ด้วยกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

- ขา Signal Ground : GND เป็นขากราวด์ของสัญญาณ
- ขา Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอก
- ขา Request To Send : RTS เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ซึ่งในกรณีนี้มีการเชื่อมต่อแบบ 3 สายจะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS เข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- ขา Clear To Send : CTS เป็นขาอินพุตทำหน้าที่รับสัญญาณที่ส่งเข้ามาเมื่อมีการส่งสัญญาณก็จะมาที่ขานี้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ขานี้จะใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วหรือยัง
- ขา Ring Indicator :RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยที่ในสายนี้จะไม่ถูกใช้งานจะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มแล้วยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์



(ก) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขาหรือแบบ DB-9(มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



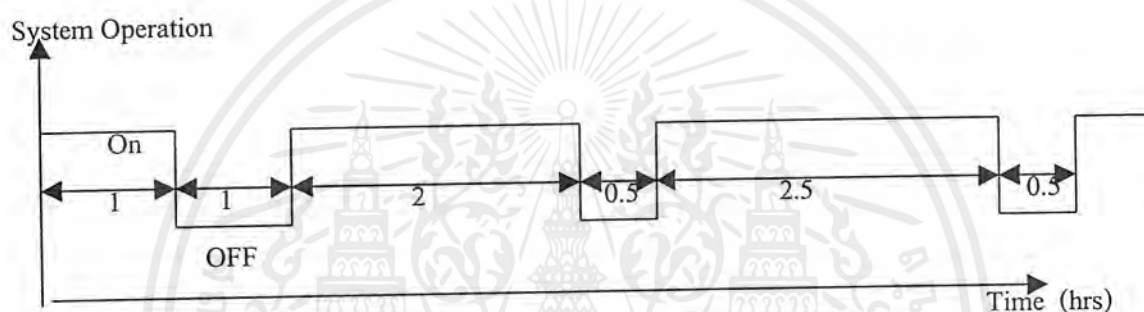
(ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขาหรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

รูปที่ 2.17 แสดงการจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่าง ๆ และหน้าที่การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่อสายระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังในรูปที่ 4 ลูกศร ในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล การเชื่อมต่อระหว่างรูปที่ 4 (ก) การเชื่อมต่อแบบ NULL MODEM หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม ส่วนการเชื่อมต่อในรูปที่ 4 (ข) เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้สัญญาณน้อยที่สุดเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์

2.19 เวลาที่หยุดทำงาน (Down Time)



รูปที่ 2.18 แสดงช่วงเวลาการหยุดทำงาน

$$OT = 1, 2, 2.5 \quad (\text{Operation Time ที่ ช.ม.}) = 5.5 \text{ hrs}$$

$$D = 1, 0.5, 0.5 \quad (\text{Downtime ที่ ช.ม.}) = 2 \text{ hrs.}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Operation Time} &= \text{Total AV Time} - \text{Total Downtime} \\ &= 7.5 - 2 \\ &= 5.5 \text{ hrs} \end{aligned}$$

$$\text{Mean Operation time} = 5.5/3 = 1.8 \text{ hrs.}$$

หมายความว่า ระยะเวลาที่ปฏิบัติการเฉลี่ยของระบบเป็น 1.8 ชม.

หรือว่าระบบจะเกิดความล้มเหลวทุก ๆ 1.8 ชม.

MTTF = Mean Time to Failure ใช้กับชิ้นส่วนที่ซ่อมแซมไม่ได้

MTBF = Mean Time Between Failure ใช้กับชิ้นส่วนที่ซ่อมแซมได้

ค่า MTBF = Total Operation Time / Frequency of Failure

Failure Rate กับ MTBF

Failure Rate, λ = จำนวนครั้งของ Failure / ระยะเวลาที่เราสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุงได้ทำการประเมินความสามารถของเครื่องจักร ก่อนที่จะอนุญาตให้ส่งเครื่องจักรมายังประเทศไทย โดยกำหนดในสัญญาซื้อขายว่า MTBF จะต้องเป็น 48 ชม. ต่อเนื่องกัน

เครื่องจักรประกอบด้วย 4 ส่วน



ส่วนของเครื่องจักร	ประเมิน (ชม.)	จำนวน Failure	$F_r(\lambda)$	MTBF
1. ไฟฟ้า	544	24	0.044	22.7
2. ทางกล	544	17	0.031	32.3
3. สายพานลำเลียง	544	10	0.018	55.6
4. ควบคุม	544	3	0.006	166.7
ระบบทั้งหมด	544	54	0.099	10.10

รูปที่ 2.2 แสดงค่าเวลาเครื่องหยุดทำงาน

ดัชนีความน่าเชื่อถือ

ดัชนีความน่าเชื่อถือ เป็นการบอกโอกาสที่เป็นไปได้ หรือความสามารถของผลิตภัณฑ์ หรือ ชิ้นส่วน หรือ ของระบบที่สามารถปฏิบัติงานได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และ ภายใต้เวลาที่กำหนด โดยไม่เกิดการล้มเหลว เช่น

Reliability Index , $R = 0.95$ ที่ $t = 8$ ชม.

หมายถึง ภายในระยะเวลา 8 ชม. โอกาสที่จะไม่เกิดความล้มเหลวเป็น 95% โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลว 5%

$$R = e^{-\lambda t} = e^{-t/MTBF}$$

เมื่อ $c = 2.7183$

$t =$ ช่วงเวลาที่กำหนด หรือ สนใจที่ปราศจากความล้มเหลว (Failure Free) ซึ่งอาจจะเป็น 8

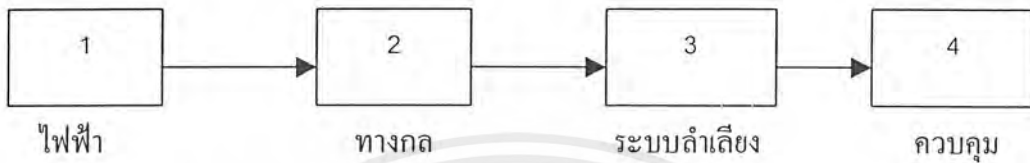
ชม., 24 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

λ = Failure Rate

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

ตัวอย่าง หาค่า Reliability ของระบบในช่วงเวลา 1 กะ (8 ชม.)



ส่วนของเครื่องจักร	MTBF	λ	$R = e^{-8/22.7}$
1. ไฟฟ้า	22.7	0.044	0.70
2. ทางกล	32.0	0.031	0.78
3. ลำเลียง	34.4	0.018	3.86
4. คอนโทรล	81.3	0.006	0.95

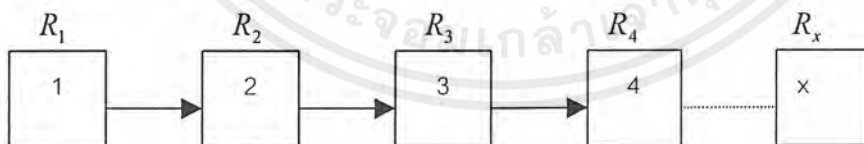
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเวลาเครื่องหยุดทำงาน

การหาค่า Reliability ของระบบ

1) ระบบที่มีการต่ออนุกรมกัน

2) ระบบที่มีการต่อขนานกัน

1) ระบบที่มีการต่ออนุกรมกัน



$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times \dots R_x$$

จากตัวอย่าง

$$\begin{aligned} R_s &= (0.70) \times (0.78) \times (0.86) \times (0.95) \\ &= 0.45 \end{aligned}$$

หรือ

$$R_s = e^{-\lambda_s}$$

เมื่อ

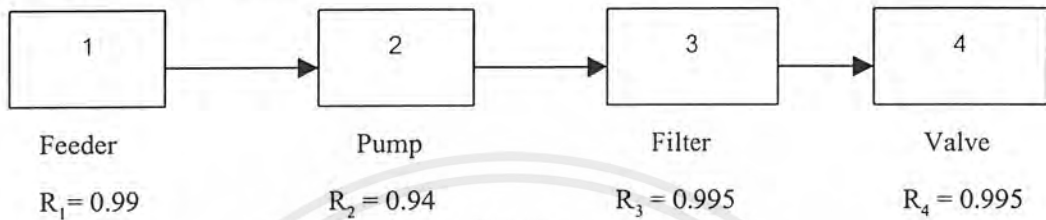
$$\begin{aligned} \lambda_s &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \dots \lambda_x \\ &= (0.044 + 0.031 + 0.018 + 0.006) \end{aligned}$$

$$= 0.099$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = e^{-8(0.099)} = 0.45$$

ตัวอย่าง โรงงานที่วางระบบเรียบร้อยแล้ว

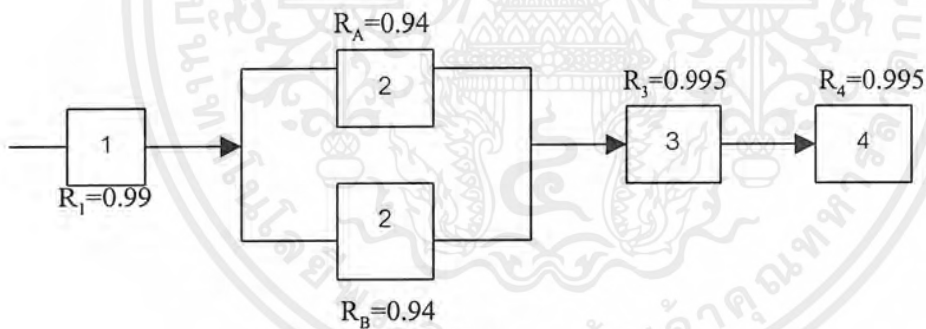


$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4$$

$$= 0.99 \times 0.94 \times 0.995 \times 0.995 = 0.92$$

แก้ไข

2) ระบบแบบขนาน



$$R_2 = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B)$$

$$= 1 - (1 - 0.94)(1 - 0.94)$$

$$= 0.996$$

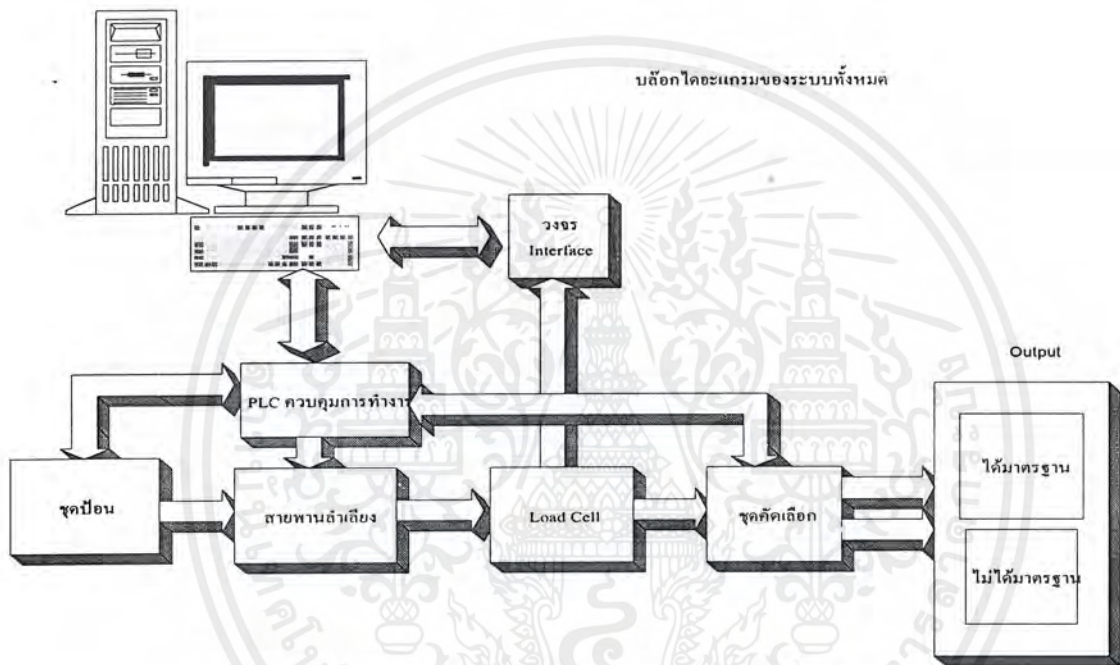
$$R_s = 0.99 \times 0.996 \times 0.995 \times 0.995 = 0.98$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

โครงการนี้มีอยู่ 2 ส่วนหลัก ก็คือ ส่วนของซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ ของวงจรอินเทอร์เฟส ชุดสายพานลำเลียง โดยมีบล็อกไดอะแกรม ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมด

3.1 ฮาร์ดแวร์

3.1.1 วงจรอินเทอร์เฟส

วงจรอินเทอร์เฟสจะประกอบไปด้วย 3 วงจรหลักด้วยกันคือ

- วงจรขยายสัญญาณ ที่อินพุตได้จาก Load Cell
- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
- วงจรควบคุม

วงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้รับมาจาก Load Cell ซึ่งมีขนาดประมาณ 0-10mV. ให้มีสัญญาณแรงมากพอที่จะเป็นอินพุตให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) คือ 0-5 V. โดยใช้อัตรขยาย 500 เท่าจาก IC AD620 ซึ่งเป็น Precision Instrument Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยผ่านทาง IC MAX232 ซึ่งเป็นบัฟเฟอร์และอินเวอร์เตอร์ในตัว โดยมีรายละเอียดวงจรแสดงดังรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 IC ต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น โดยที่ V_{R1}, V_{R2} เป็นตัวปรับศูนย์ (Zero Adjust) และระยะห่าง (Span) ตามลำดับ และมีการเปลี่ยนค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัล ที่ได้จากการชั่งน้ำหนักให้เป็นค่าของน้ำหนักในตัวของคุณค่าก่อนที่จะส่งไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยที่โฟรซาร์ทของการทำงานเป็นดังรูปที่ 3.3

3.1.2 วงจรขับมอเตอร์

ในโครงการนี้ใช้มอเตอร์กระแสตรงจำนวน 3 ตัว คือ M1 เป็นมอเตอร์ตัวหลักใช้ขับสายพานลำเลียง M2 มอเตอร์ใช้ขับชุดป้อนชิ้นงานเข้าสู่สายพานลำเลียง M3 ของมอเตอร์ใช้ขับชุดคัดเลือกผลิตภัณฑ์

โดยที่ชุดขับมอเตอร์จะได้รับการควบคุมโดย PLC ของบริษัท FACCON รุ่น TR84-31 โดยการควบคุม PLC มีการทำงานดังโฟรซาร์ทรูปที่ 3.6

3.6.1 เริ่มต้นด้วยการขับสายพานลำเลียง

3.6.2 ตรวจสอบว่ามีผลิตภัณฑ์บนตาชั่งหรือไม่ด้วย Sensor ที่ติดอยู่บนตาชั่ง

3.6.2.1 ถ้ามี(Yes)ก็จะทำการส่งค่าให้ PC ทำการตรวจสอบค่าน้ำหนักว่าได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ PC จะทำการประมวลผลและส่งค่ามาให้ PLC คัดแยกผลิตภัณฑ์

3.6.2.2 ถ้าไม่มี(No)ก็จะทำการตรวจสอบว่ามีผลิตภัณฑ์ในชุดป้อนหรือไม่ ด้วย Sensor ที่ติดอยู่บนตัวชุดป้อน

ถ้ามี(Yes)ผลิตภัณฑ์ในชุดป้อน PLC ก็สั่งป้อนผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ออกไปเข้าตาชั่ง

ถ้าไม่มี(No)ผลิตภัณฑ์ในชุดป้อน PLC ก็จะไม่สั่งให้ป้อนผลิตภัณฑ์ออกไปจนกว่าจะมีการใส่ผลิตภัณฑ์เข้ามาใหม่ และถ้าไม่มีผลิตภัณฑ์ในชุดป้อนอยู่เป็นเวลาเท่าที่กำหนดไว้ PC จะส่งค่ามาให้ PLC หยุดการทำงานของระบบทั้งหมด

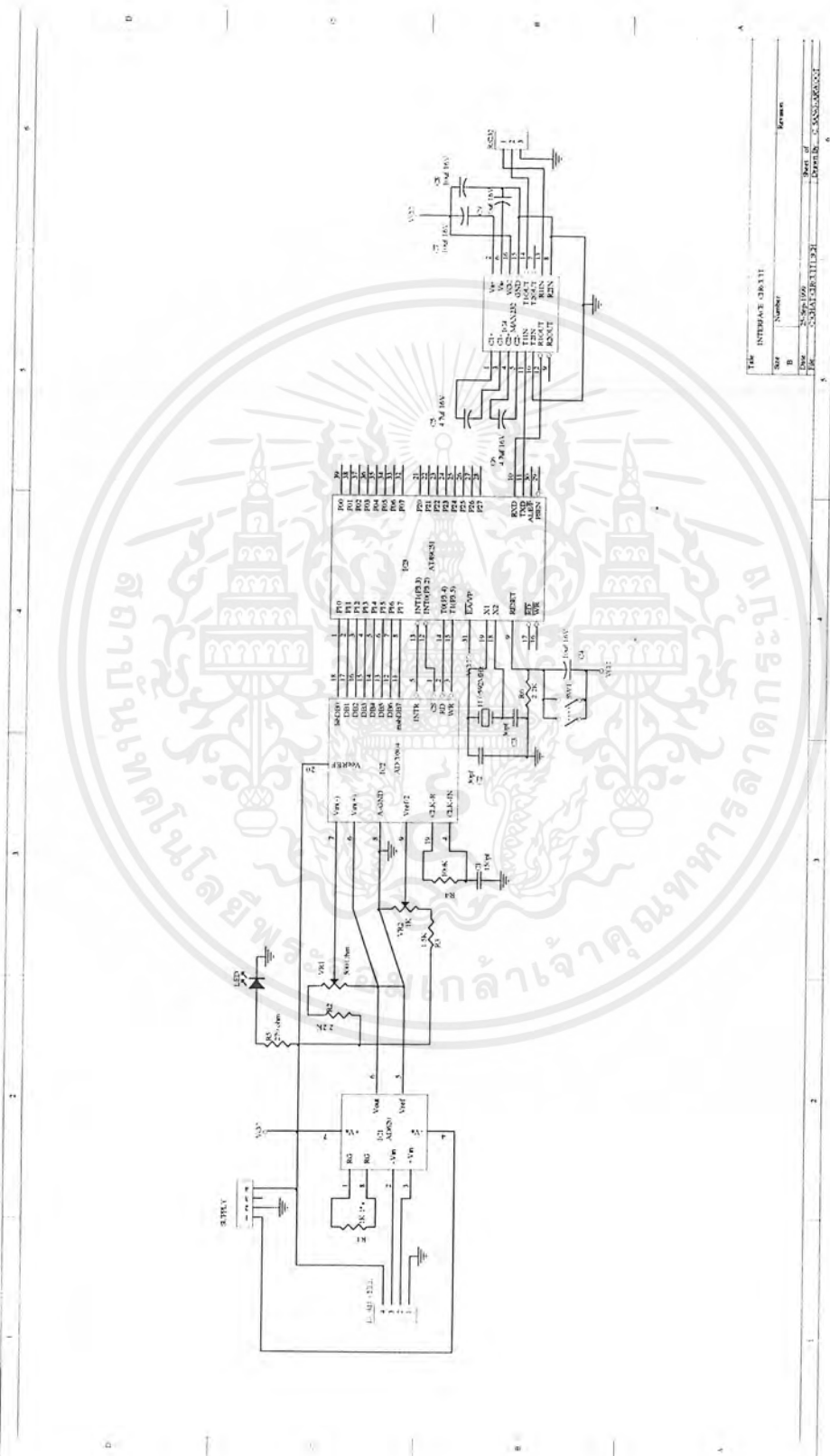
และการทำงานของวงจรอินเทอร์เฟส มีการทำงานดังโฟรซาร์ทรูปที่ 3.3

3.3.1 เริ่มต้น โดย PC ตั้งค่าเริ่มต้นที่จะติดต่อกับวงจรอินเทอร์เฟส

3.3.2 ถ้า PC สั่งรับค่าน้ำหนักแล้ว PC จะส่งค่าควบคุมวงจรอินเทอร์เฟสและทำการรับค่าน้ำหนักจากวงจร ADC วงจร ADC ทำการคำนวณค่าที่รับมาเป็นค่าน้ำหนัก ค่าน้ำหนักที่ได้จะถูกส่งไปให้ PC ถ้า PC ไม่ได้สั่งรับค่าน้ำหนักก็จะกลับไปเริ่มใหม่

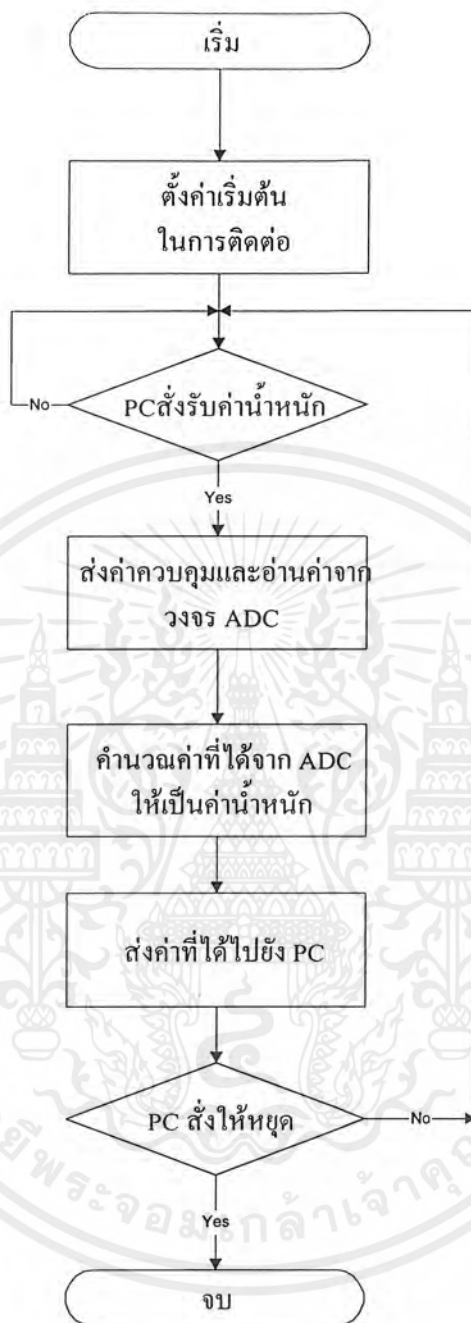
3.3.3 เมื่อ PC ใ้รับค่าน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว ถ้าสั่งให้หยุดรับค่าก็จะจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



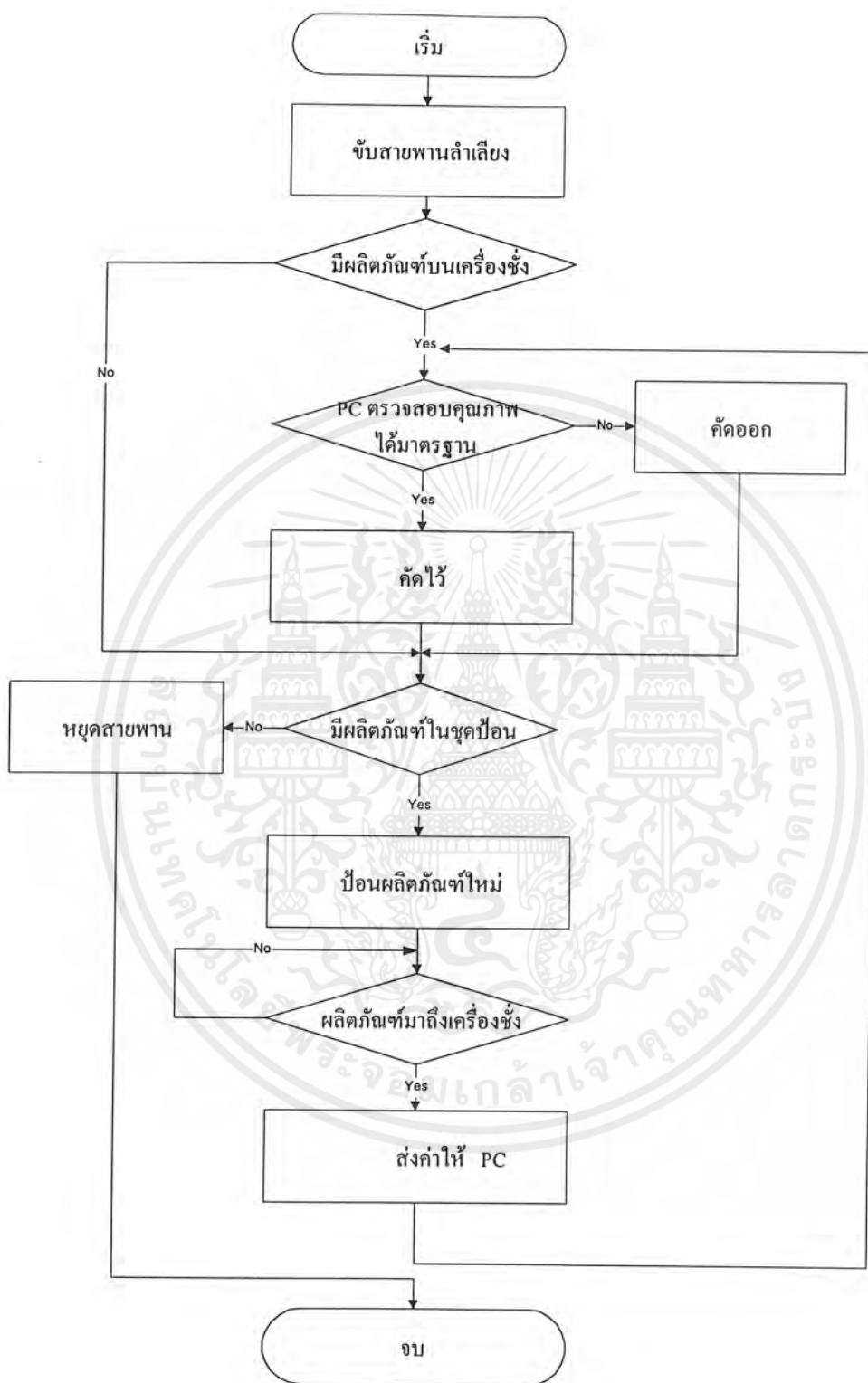
รูปที่ 3.2 วงจรอินเทอร์เฟซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โฟร์ซาร์ทแสดงการทำงานของวงจรอินเทอร์เฟซ

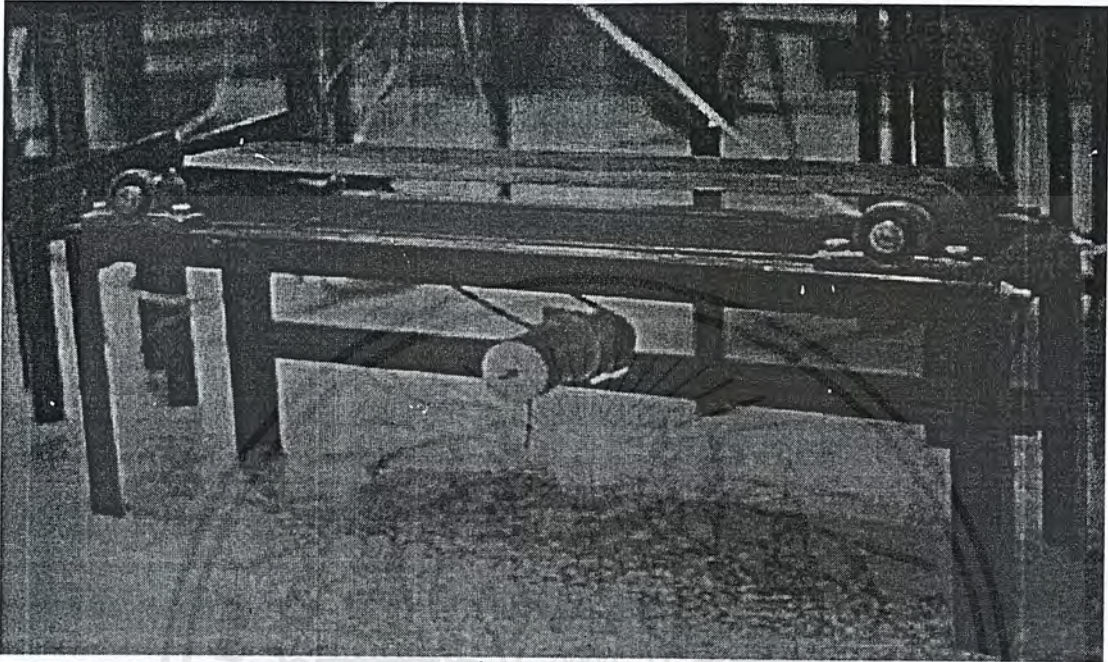
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โพรซีจอร์ทการทำงานของ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบชุดสายพานลำเลียง

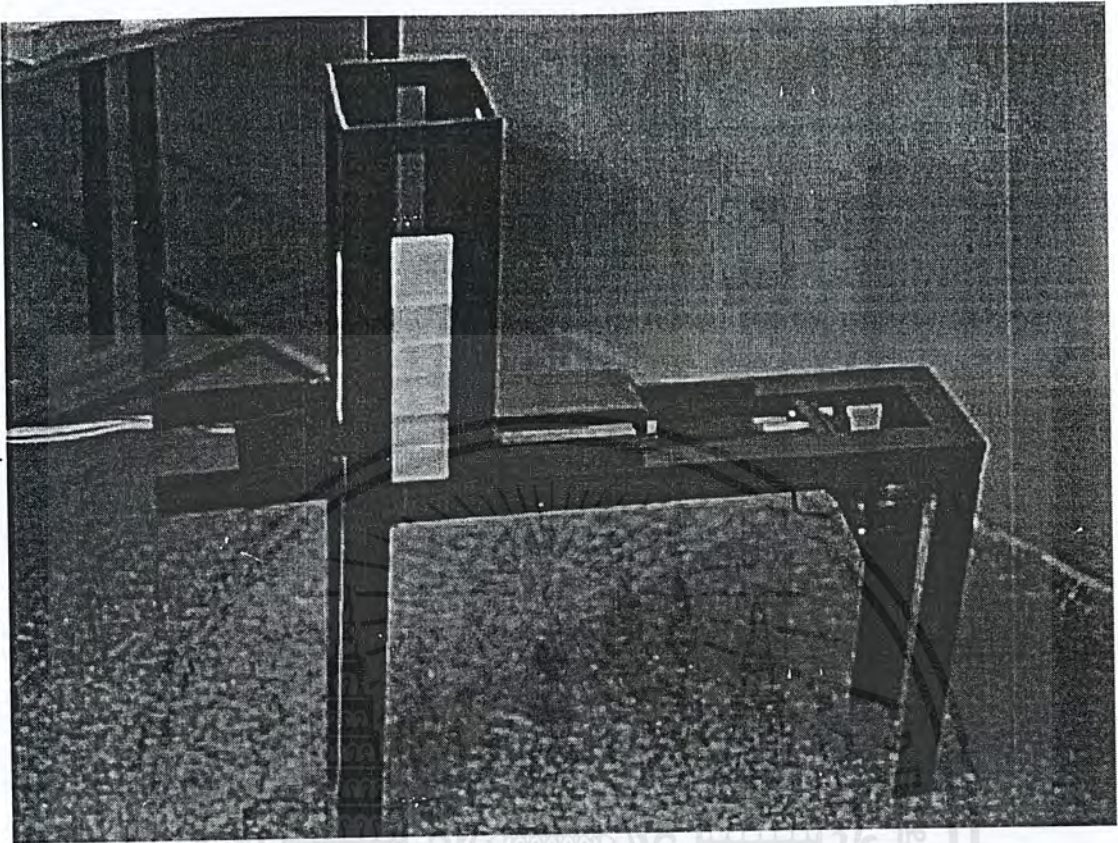


รูปที่ 3.5 สายพานลำเลียง

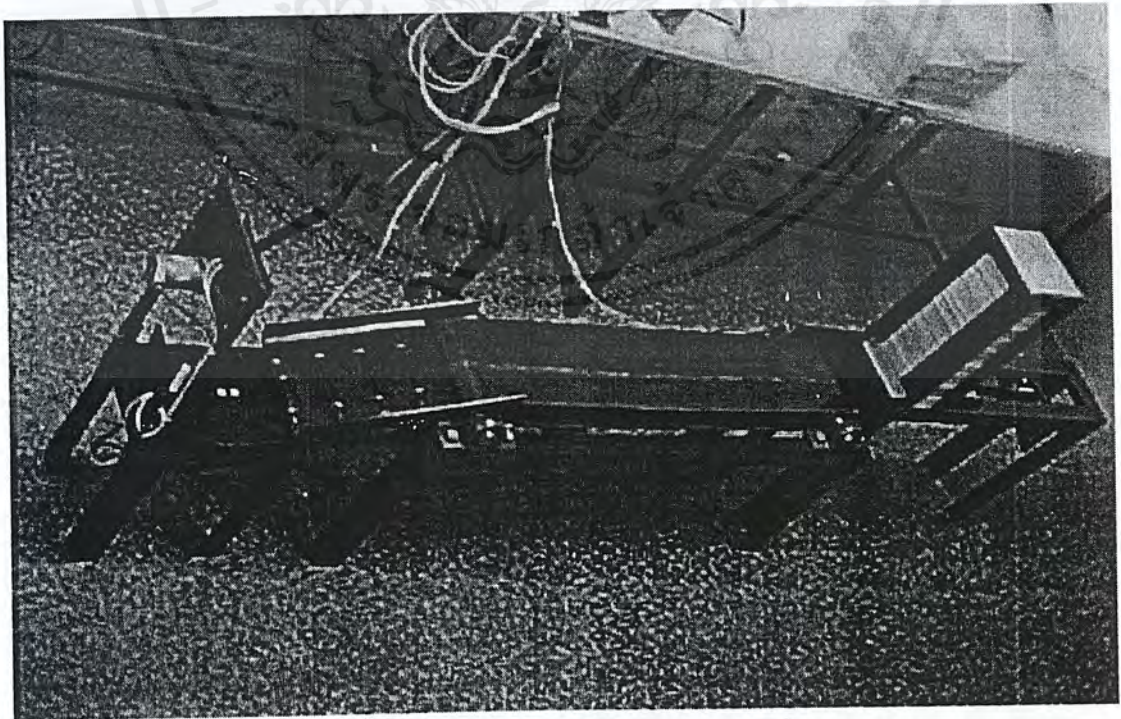


รูปที่ 3.6 ชุดคัดเลือกผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ชุดป้อนผลิตภัณฑ์



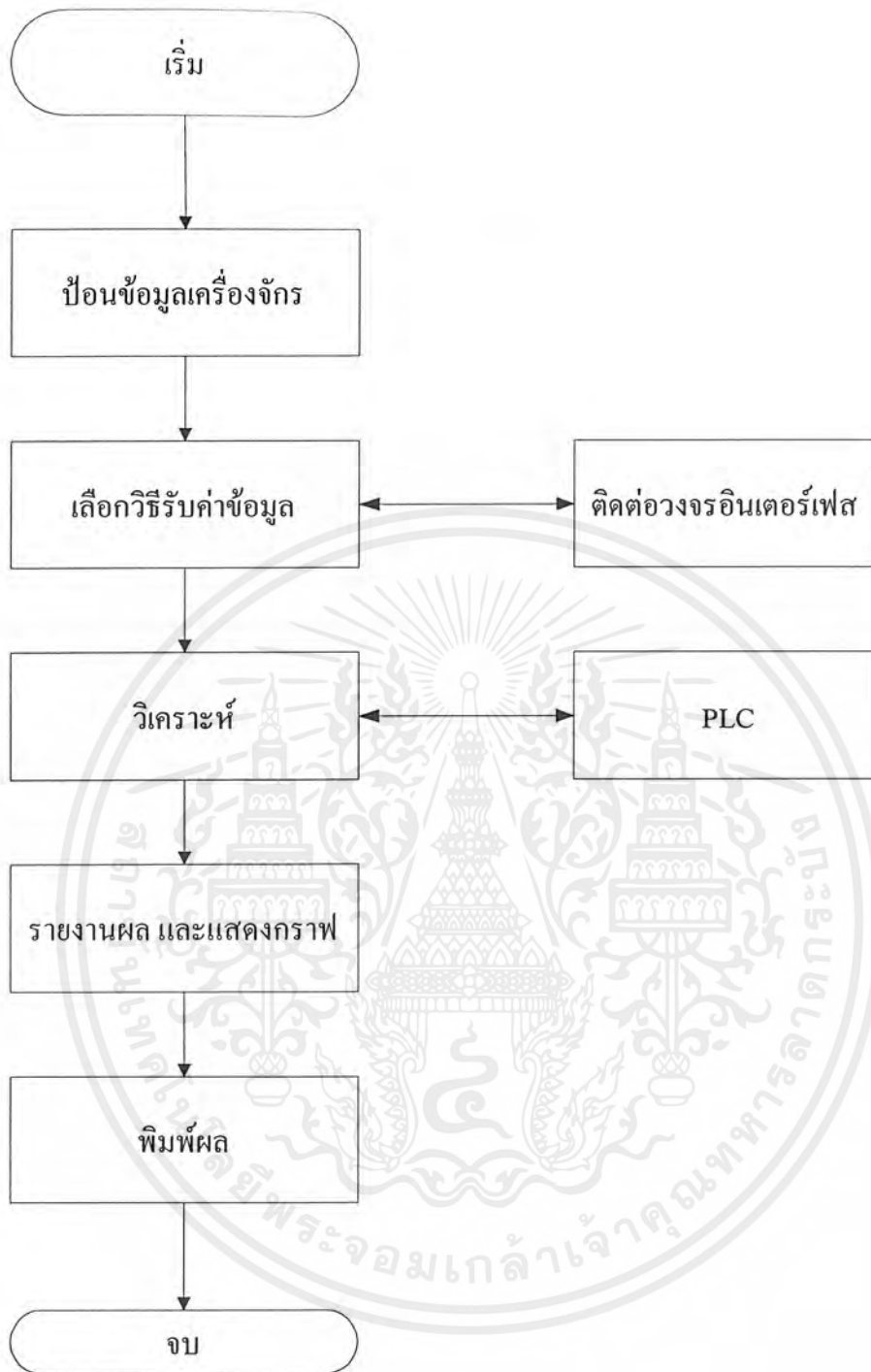
รูปที่ 3.8 ภาพโดยรวมของชุดสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ซอฟต์แวร์

จะแบ่งออกเป็นสามส่วน

- 3.1.1 การออกแบบโปรแกรมอินเตอร์เฟซระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องชั่ง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งโปรแกรมที่การทำงาน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ส่วนซอร์ซโค้ด (source code) แสดงไว้ในภาคผนวก ก.
- 3.1.2 การออกแบบโปรแกรมบน PLC ซึ่งใช้ควบคุมการทำงานของชุดสายพานลำเลียง ซึ่งมีโปรแกรมที่แสดงดังรูปที่ 3.6 และมีแลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram) โดยแสดงไว้ในภาคผนวก ก
- 3.1.3 การออกแบบโปรแกรมที่จะติดต่อกับผู้ใช้โปรแกรม ในปริณิญาณิพนธ์นี้ได้เขียนโดยใช้โปรแกรม Delphi ซอร์ซโค้ด ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ไดอะแกรมลำดับขั้นการทำงาน ของโปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรแสดงในรูปที่ 3.12 ส่วนลักษณะการออกแบบหน้าจอเพื่อติดต่อกับผู้ใช้จะแสดงเป็นตัวอย่างดังรูปที่ 3.13 และในส่วนของการสร้างตารางในฐานะข้อมูลจะแสดงดังรูปที่ 3.14
ซึ่งการทำงานของโปรแกรมที่แสดงในรูปที่ 3.12
 - 3.12.1 เริ่มโดยเมื่อเข้าไปในโปรแกรมแล้ว จะต้องทำการป้อนข้อมูลรายละเอียดของเครื่องจักร(ชื่อเครื่องจักร, เลขที่เครื่อง, ชนิดจำกัดบน-ล่าง และค่าเบี่ยงเบนซิกม่า)
 - 3.12.2 เลือกวิธีการรับค่าว่าจะเป็นแบบรับค่าอัตโนมัติทางพอร์ตอนุกรม หรือผู้ใช้ป้อนค่าข้อมูลเอง ถ้าเลือกรับค่าแบบอัตโนมัติ PC ก็จะทำการติดต่อกับวงจรอินเตอร์เฟซ เมื่อสั่งให้วิเคราะห์ข้อมูล PC จะรับค่าและประมวลผลการวิเคราะห์รายงานผลเป็นกราฟ พร้อมทั้งติดต่อสื่อสารกับ PLC ด้วย และยังสามารถสั่งพิมพ์ผลโดยพรินท์เตอร์ได้



รูปที่ 3.9 ไตอะแกรมลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองที่ 4.1

การทำงานชุดอินเทอร์เฟซ

4.1.1 ทำการวัดค่าเอาต์พุตจาก Instrument Amplifier ในขณะที่มีการชั่งน้ำหนักโหลดค่าน้ำหนักต่าง ๆ โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดเซลล์จำนวน 5 โวลต์และเนื่องจากตามข้อกำหนด (Spec) ของโหลดเซลล์ที่ใช้ในปฏิยานุพันธ์นี้จะรับน้ำหนักได้ 0-5 กิโลกรัม

น้ำหนัก(Kg.)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
V _o (Volt)	0.3	0.75	1.2	1.65	2.1	2.55	3	3.45	3.9	4.35	4.8
ค่าระดับจาก ADC	15	38	61	84	107	130	153	176	199	222	245

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเอาต์พุตจาก Instrument Amplifier

น้ำหนักของโหลดที่วัดได้จากโหลดเซลล์จะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า (DC Voltage) มีค่าน้อยมาก มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV.) ซึ่งไม่พอที่จะนำเข้าไป A/D คอนเวอร์เตอร์ จึงต้องผ่าน Instrument Amplifier เพื่อทำการขยายแรงดัน จากการทดลองที่ 4.1 เมื่อไม่มีโหลด จะมีแรงดันเอาต์พุตจาก Instrument Amplifier อยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของระดับที่ได้จะไม่ได้เริ่มต้นที่ศูนย์ และจบที่ระดับ 255 แต่สามารถแก้ไขได้โดยปรับที่ V_{R1} และ V_{R2} โดยปรับ V_{R1} ให้ได้แรงดันที่

ขาเท่ากับ 0.3 V. และปรับ VR2 เท่ากับ $\frac{4.8 - 0.2}{2} = 2.25$

4.1.2 ปรับที่ V_{R1} และ V_{R2} แล้วทำการทดลองซ้ำ และบันทึกลงในตารางที่ 4.2

น้ำหนัก(Kg.)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
V _o (Volt)	0.3	0.75	1.2	1.65	2.1	2.55	3	3.45	3.9	4.35	4.8
ค่าระดับจาก ADC ¹	0	26	51	77	102	127	153	179	204	230	255

เอกสารระดับสัญญาจาก ADC จะมีค่าผิดพลาด ± 1 บิต การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 บันทึกค่าของระดับสัญญาณ ADC หลังปรับศูนย์ (Zero Adjust) และปรับระยะห่าง (Span)

4.1.3 จากค่าที่ได้ตามตาราง 4.2 นำไปคำนวณค่าของน้ำหนักโดยใช้โปรแกรม Assembly MCS-51 แล้วบันทึกลงในตาราง 4.3

น้ำหนัก(Kg.)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$\cdot V_0$ (Volt)	0.3	0.75	1.2	1.65	2.1	2.55	3	3.45	3.9	4.35	4.8
ค่าระดับจาก ADC	0	26	51	77	102	127	153	179	204	230	255
น้ำหนักที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม (Kg.)	0	0.508	1.0	1.508	2.0	2.508	3.0	3.508	4.0	4.508	5.0

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าของน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม

การทดลองที่ 4.2

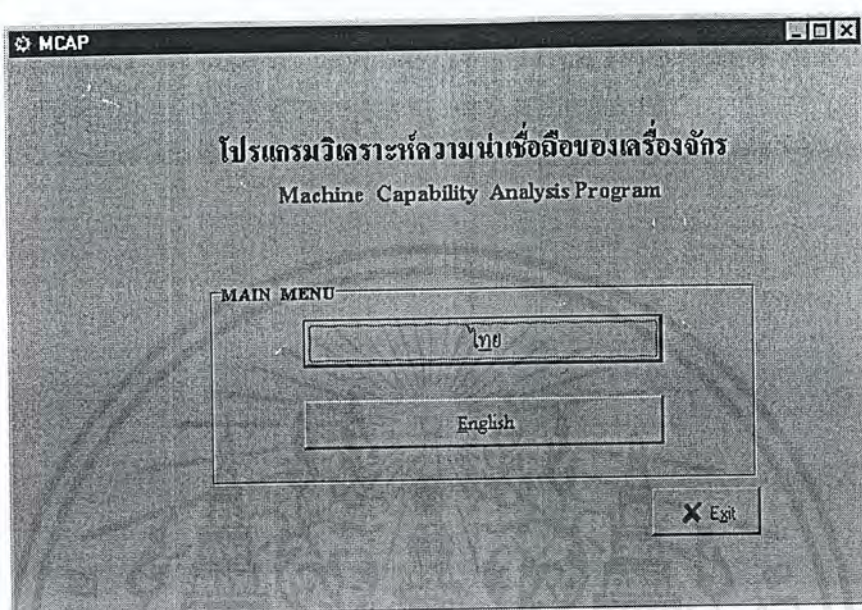
การทดลองการควบคุมชุดสายพานลำเลียงต่าง ๆ โดยทดลองใช้กับโปรแกรมที่เขียนไว้ ได้ผลการทดลองเป็นไปตามที่ต้องการ คือ ทำงานตามจังหวะที่ถูกต้อง

การทดลองที่ 4.3

ทดลอง RUN โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร โดยในการทดลองครั้งแรกใช้การกำหนดค่าโดยผู้ใช้โปรแกรม ได้ผลของการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.1-รูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นบางส่วนของโปรแกรมที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักร

ส่วนการทดลองรับค่าอัตโนมัติจากที่ได้ทำชุดสายพานลำเลียงโดยสมมุติให้เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์แล้วลำเลียงมาซึ่งน้ำหนักเพื่อตรวจสอบโดยได้ทดลองเก็บตัวอย่างแบบเลือกทั้งหมด ได้ผลการทดลองของโปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของในทำนองเดียวกัน โดย

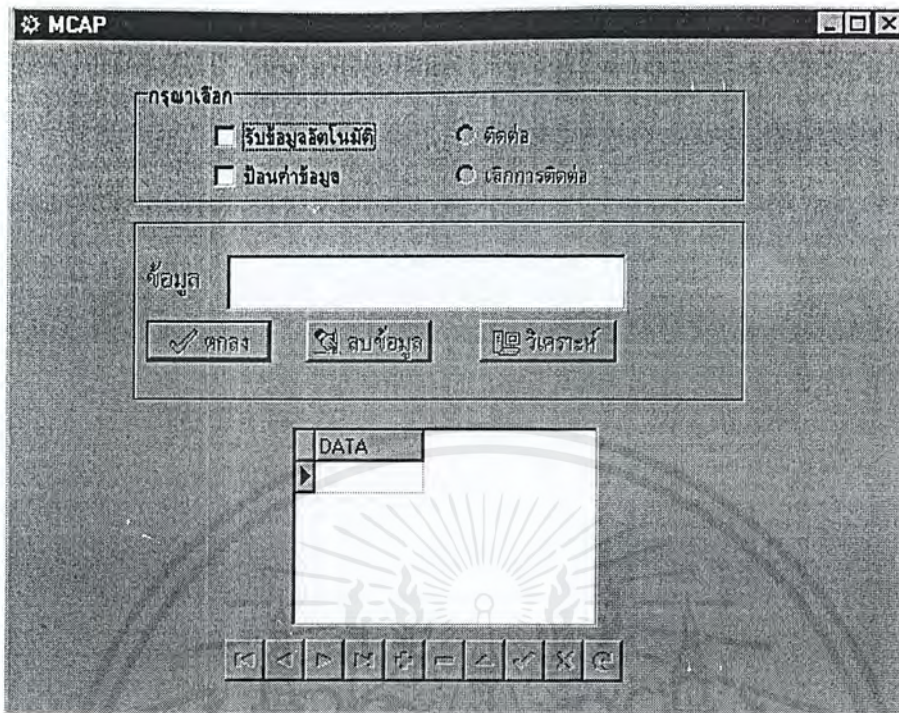
มีการรายงานค่าผิดพลาดต่างๆ ซึ่งไม่ได้แสดงให้เห็นผลการทดลองนี้ แต่สามารถดูได้จากการ RUN โปรแกรมจริงซึ่งได้ประกอบมาในด้านหลังของปริญญาบัตรนี้



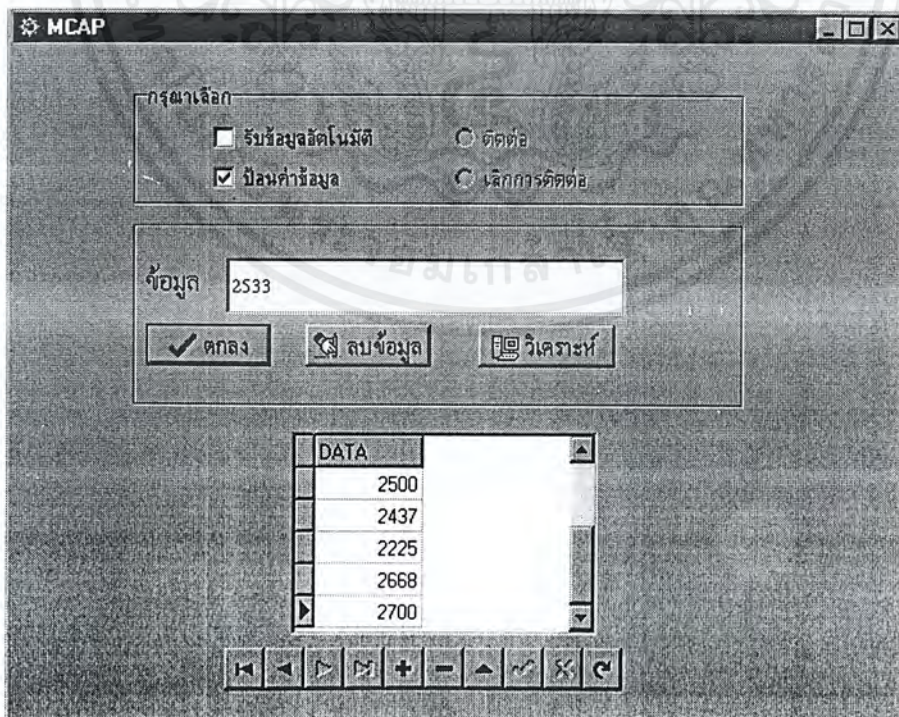
รูปที่ 4.1 แสดงหน้าจอแรกเพื่อเลือกภาษาไทยหรืออังกฤษ

รูปที่ 4.2 ป้อนค่าข้อมูลจำกัดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เลือกรับข้อมูลระหว่างการรับอัตโนมัติหรือป้อนค่าข้อมูล



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการป้อนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

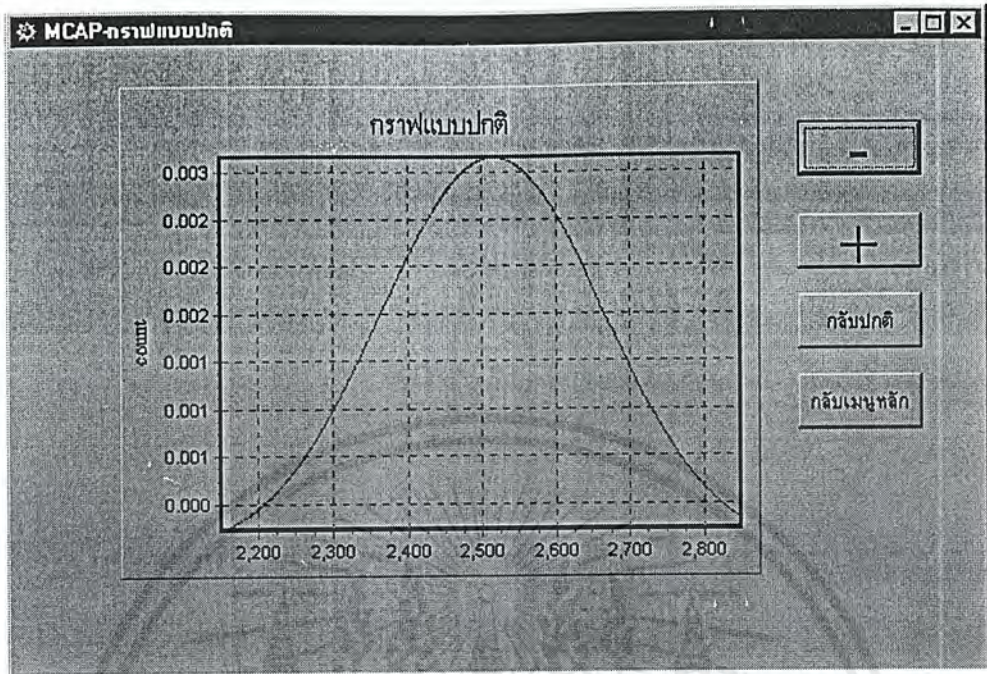
ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร

ชื่อเครื่องจักร	Packing	
หมายเลข	1	
ค่าเป้าหมาย	2500	
ค่าจำกัด(Spec)จาก	2250	ปีง 2750
จำนวนข้อมูล	6	
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	2510.5	ค่าช่วงเบี่ยงเบน(ซิกมา) 3
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	157.186462402344	
ค่าความน่าเชื่อถือ	0.50788938999176	
เปอร์เซ็นต์ของค่าที่ต่ำกว่าค่าต่ำสุด	16.6666660308838%	
เปอร์เซ็นต์ของค่าที่สูงกว่าค่าสูงสุด	0%	
Skewness	-0.666685938835144	
Kurtosis	-0.189593389630318	
ค่าเฉลี่ยขอบเขตควบคุมด้านบน	2982.05932617188	
ค่าเฉลี่ยขอบเขตควบคุมด้านล่าง	2038.94067382813	
ช่วงควบคุมเฉลี่ย	2510.5	
หมายเหตุ	ไม่น่าเชื่อถือ	

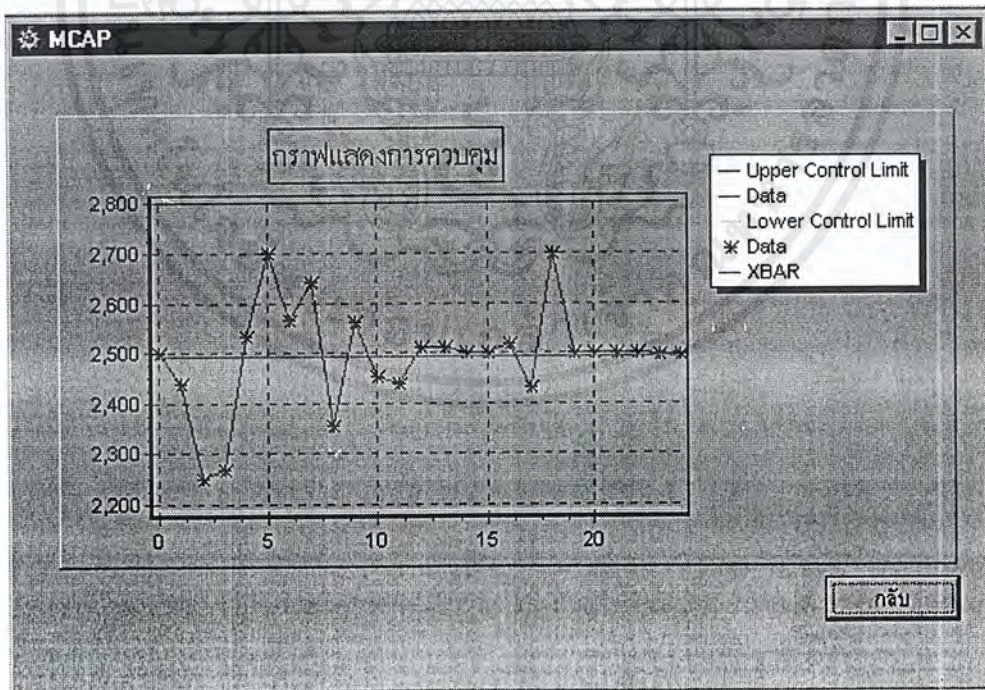
ดาวน์โหลดและปริมาณ พิมพ์ กราฟ เมนูอีก

รูปที่ 4.5 หน้าจอรายงานผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงรูปการกระจายของข้อมูลเป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ



รูปที่ 4.7 กราฟควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCAP

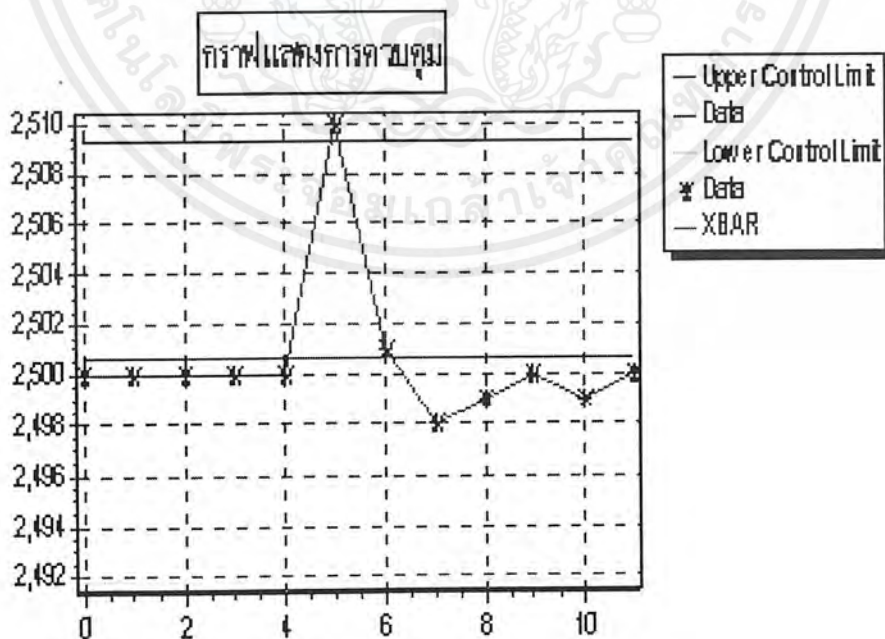
รายงานผลเวลาที่เครื่องหยุดทำงานและปริมาณการผลิตที่ควรจะเป็นในช่วงเวลา

จำนวนครั้งที่เครื่องหยุด

เวลาเฉลี่ยต่อชิ้นผลิตภัณฑ์

จำนวนที่ควรจะได้ต่อกะ (8ชม.)

รูปที่ 4.8 รายงานผลของค่าเวลาที่เครื่องหยุดทำงาน



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

โปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรที่ได้เขียนขึ้นมาในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้นั้น สามารถใช้วิเคราะห์คุณภาพ โดยการตรวจสอบค่าทางสถิติ จากการสุ่มตัวอย่างแบบต่าง ๆ และนำมาคำนวณหาค่าเพื่อใช้ สรุปผลของการวิเคราะห์และสร้างกราฟลักษณะต่าง ๆ ที่จะใช้ให้การวิเคราะห์หาสาเหตุ หรือ หาแนวทางปรับปรุงต่อไป โดยที่ได้สร้างชุดสายพานลำเลียงและเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ควบคุมระบบด้วย PLC โดยสมมุติให้ว่าเป็นระบบที่เครื่องจักรได้บรรลุผลิตภัณฑ์ตามค่าน้ำหนักที่กำหนด และได้ลำเลียงมาตรวจสอบ โดยใช้โปรแกรมนี้ และหาค่าเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน รวมทั้งคำนวณปริมาณที่ควรจะได้ผลิตได้ในหนึ่งช่วงเวลา เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปตัดสินใจอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไป ซึ่งโปรแกรมยังสามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับระบบอื่น ๆ ได้อีกตามผู้ใช้ต้องการ แต่จะต้องจัดทำระบบควบคุมการทำงานและการอินเตอร์เฟสเพื่อการสื่อสารข้อมูลขึ้นมาใหม่ให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ สำหรับการเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ส่วนการพัฒนาโปรแกรมนั้นยังสามารถพัฒนาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของโปรแกรมให้มีความสะดวกในการใช้งานได้ตามความเหมาะสมของระบบงานนั้นๆ ทั้งยังสามารถเพิ่มฟังก์ชันการสุ่มตัวอย่างแบบต่างๆ ตามการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และการแสดงผลเป็นกราฟต่างๆที่ผู้ใช้ต้องการนำมาทำการวิเคราะห์ตามข้อมูลคุณลักษณะแบบต่างๆที่ผู้ใช้ต้องการควบคุม



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ซอร์ทโค้ดของโปรแกรมตรวจสอบคุณภาพเครื่องจักรด้วยโปรแกรม Delphi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program MCAP;

uses
  Forms,
  MCAP1 in 'MCAP1.pas' {Form1MCAP},
  MCAP2 in 'MCAP2.pas' {Form2MCAP},
  MCAP3 in 'MCAP3.pas' {Form3MCAP},
  MCAP4 in 'MCAP4.pas' {Form4MCAP},
  MCAPT3 in 'MCAPT3.pas' {Form3MCAPT},
  MCAPT2 in 'MCAPT2.pas' {Form2MCAPT},
  MCAPT4 in 'MCAPT4.pas' {Form4MCAPT},
  mcapgraph in 'mcapgraph.pas' {mcapgraphform},
  mcapmanugraph in 'mcapmanugraph.pas' {Form5menugraph},
  Mcaptdowntime in 'Mcaptdowntime.pas' {FormTdowntime},
  mcapgraph2 in 'mcapgraph2.pas' {Formgraph2};

{$R *.RES}

begin
  Application.Initialize;
  Application.CreateForm(TForm1MCAP, Form1MCAP);
  Application.CreateForm(TForm2MCAP, Form2MCAP);
  Application.CreateForm(TForm3MCAP, Form3MCAP);
  Application.CreateForm(TForm4MCAP, Form4MCAP);
  Application.CreateForm(TForm3MCAPT, Form3MCAPT);
  Application.CreateForm(TForm2MCAPT, Form2MCAPT);
  Application.CreateForm(TForm4MCAPT, Form4MCAPT);
  Application.CreateForm(Tmcapgraphform, mcapgraphform);
  Application.CreateForm(TForm5menugraph, Form5menugraph);
  Application.CreateForm(TFormTdowntime, FormTdowntime);
  Application.CreateForm(TFormgraph2, Formgraph2);
  Application.Run;
end.

unit MCAP1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Menus, StdCtrls, Buttons;

type
  TForm1MCAP = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    MCAP: TLabel;
    MAIN_NENU: TGroupBox;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    BitBtn1: TBitBtn;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure Button2Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
  end;

```

private

```
{ Private declarations }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1MCAP: TForm1MCAP;
  label7: TLabel;

implementation

uses MCAP2, MCAPT2;

{$R *.DFM}

procedure TForm1mcap.button1Click(Sender: TObject);
begin
  form2mcap.show;
  form1mcap.Hide;
end;

procedure TForm1mcap.button2Click(Sender: TObject);
begin
  form2mcap.show;
  form1mcap.Hide;
end;

procedure TForm1MCAP.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  application.terminate;
end;

END.

unit MCAP2;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls, Buttons, Db, DBTables, Grids, DBGrids;

type
  TForm2MCAP = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Editmachine: TEdit;
    Editpartno: TEdit;
    Edittarget: TEdit;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Editusl: TEdit;
    Editlsl: TEdit;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Panel2: TPanel;
Label7: TLabel;
BitBtn1: TBitBtn;
BitBtn2: TBitBtn;
BitBtn3: TBitBtn;
Table1: TTable;
DataSource1: TDataSource;
Table2: TTable;
DataSource2: TDataSource;
ComboBox1: TComboBox;
Label1: TLabel;
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form2MCAP: TForm2MCAP;

implementation

uses MCAP1, MCAP3;

{$R *.DFM}

procedure TForm2MCAP.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
Form1MCAP.show;
Form2MCAP.hide;
end;

procedure TForm2MCAP.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
Editmachine.clear;
Editmachine.setFocus;
Editmachine.clear;
Editpartno.clear;
Edittarget.clear;
Editusl.clear;
Editlsl.Clear;

end;

procedure TForm2MCAP.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var target,usl,lsl:real;
begin

if (Editmachine.text<>")then
begin
if (Editpartno.text<>")then
begin
if (edittarget.text<>")then
begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(editusl.text <= " ") then
begin
if(editlsl.text <= " ") then
begin
if(ComboBox1.text <= " ") then
begin

target:=strtofloat(edittarget.text);
usl:=strtofloat(editusl.text);
lsl:=strtofloat(editlsl.text);
if usl<lsl then
begin
messagedlg('USL < LSL Please enter data Again',mterror,[mbok],0);
editusl.setfocus;
editusl.text:="";
editlsl.text:="";
end
else
begin
if (target<=usl) and (target>=lsl) then
begin

table1.open;
table1.edit;
table1.first;
while not table1.EOF do
begin
table1.delete;
table1.next;
end;

table1.insert;
table1.FieldName('machine name').asString:=editmachine.text;
table1.FieldName('partno').asinteger:=strtoint(editpartno.text);
table1.FieldName('target').asfloat:=strtofloat(edittarget.text);
table1.FieldName('usl').asfloat:=strtofloat(editusl.text);
table1.FieldName('lsl').asfloat:=strtofloat(editlsl.text);
table1.FieldName('sigp').asfloat:=strtofloat(checkbox1.text);
table1.post;
table1.close;
Editmachine.clear;
Editmachine.setFocus;
Editmachine.clear;
Editpartno.clear;
Edittarget.clear;
Editusl.clear;
Editlsl.Clear;
form2mcap.hide;

table2.open;
table2.edit;
table2.first;
while not table2.EOF do
begin
table2.delete;
table2.next;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        table2.refresh;
        form3mcap.show;
    end
else
begin
    messagedlg('Your target not in limit',mterror,[mbok],0);
    edittarget.setfocus;
    edittarget.text:="";
end
end
end
else
begin
    messagedlg('Please enter your data (target,USL,LSL)',mtwarning,[mbok],0);
    editlsl.setfocus;
end;
end
else
begin
    messagedlg('Please enter your "No. of sigma"',mtwarning,[mbok],0);
    Combobox1.setfocus;
end;
end
else
begin
    messagedlg('Please enter your data (target,USL,LSL)',mtwarning,[mbok],0);
    editusl.setfocus;
end;
end
else
begin
    messagedlg('Please enter your data (target,USL,LSL)',mtwarning,[mbok],0);
    edittarget.setfocus;
end;
end
else
begin
    messagedlg('Please enter your partno.data ',mtwarning,[mbok],0);
    editpartno.setfocus;
end;
end
else
begin
    messagedlg('Please enter your machine name ',mtwarning,[mbok],0);
    editmachine.setfocus;
end;
end;
end.

unit MCAP3;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, Db, DBTables, ExtCtrls, DBCtrls, Grids, DBGrids, Buttons;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

type
  TForm3MCAP = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    Edit1: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Table1: TTable;
    DataSource1: TDataSource;
    DBNavigator1: TDBNavigator;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    DBGrid1: TDBGrid;
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form3MCAP: TForm3MCAP;

implementation

uses MCAP4;

{$R *.DFM}

procedure TForm3MCAP.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
  table1.edit;
  table1.Open;
  table1.refresh;
  table1.first;

  if MessageDlg('Do you want to delete all data ',
    mtConfirmation, [mbYes, mbNo], 0) = mrYes then
  begin
    if table1.eof then
    begin
      showmessage('No data');
      edit1.setfocus;
      exit;
    end
  else
  begin
    repeat
      table1.Delete;
    until table1.eof;

    showmessage('Delete all data compleate');
    edit1.setfocus;
  end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
end:

procedure TForm3MCAP.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  if (edit1.text="")then
    begin
      messagedlg('Please entry data',mterror,[mbok],0);
      edit1.setfocus;
    end
  else
    begin
      table1.Open;
      table1.first;
      table1.insert;
      table1.fieldbyname('data').asfloat:=strtofloat(edit1.text);
      table1.NEXT;
      edit1.Text:="";
      edit1.setfocus;
    end
  end;

procedure TForm3MCAP.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
  table1.Open;
  table1.first;
  if table1.EOF then
    begin
      edit1.setfocus;
      messageDlg('No data, Plese entry your data ',mterror, [mbOK], 0)
    end
  else
    begin
      repeat
        table1.Delete;
      until table1.eof;
      FORM3MCAP.HIDE;
      FORM4MCAP.SHOW;

    end;
  // table1.close;
end;

end.

unit MCAP4;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Mask, DBCtrls, ExtCtrls, Db, DBTables, Buttons;

type
  TForm4MCAP = class(TForm)
    Table1: TTable;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Table2: TTable;
Table2Data: TFloatField;
DataSource1: TDataSource;
DataSource2: TDataSource;
Panel1: TPanel;
Panel2: TPanel;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
DBEdit1: TDBEdit;
DBEdit2: TDBEdit;
DBEdit3: TDBEdit;
DBEdit4: TDBEdit;
DBEdit5: TDBEdit;
BitBtn2: TBitBtn;
BitBtn3: TBitBtn;
BitBtn1: TBitBtn;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Label20: TLabel;
DBEdit6: TDBEdit;
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form4MCAP: TForm4MCAP;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

implementation

uses MCAP1;

{$R *.DFM}

procedure TForm4MCAP.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
    Form1MCAP.show;
    Form4MCAP.hide;
end;

procedure TForm4MCAP.FormShow(Sender: TObject);
begin
    table1.Open;
    table1.first;
end;

end.

unit mcapgraph;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    TeEngine, Series, Db, DBTables, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, DBChart,
    StdCtrls, TeeFunci;

type
    Tmcapgraphform = class(TForm)
        Button1: TButton;
        Chart1: TChart;
        Button2: TButton;
        Series1: TLineSeries;
        Button4: TButton;
        TeeFunction1: TAddTeeFunction;
        Button3: TButton;
        Series2: TBarSeries;
        procedure Button1Click(Sender: TObject);
        procedure Button2Click(Sender: TObject);
        procedure Button3Click(Sender: TObject);
        procedure Button4Click(Sender: TObject);
    private
    public
    end;

var
    mcapgraphform: Tmcapgraphform;

implementation

uses MCAP1, mcapmanugraph;

{$R *.DFM}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure Tmcapgraphform.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  chart1.ZoomPercent(90);
end;

procedure Tmcapgraphform.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  chart1.ZoomPercent(110);
end;

procedure Tmcapgraphform.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  chart1.UndoZoom;
end;

procedure Tmcapgraphform.Button4Click(Sender: TObject);
begin
  mcapgraphform.hide;
  form1mcap.show;
end;

end.

unit mcapgraph2;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Db, DBTables, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, DBChart,
  StdCtrls;

type
  TFormgraph2 = class(TForm)
    DBChart1: TDBChart;
    Table1: TTable;
    DataSource1: TDataSource;
    Series1: TLineSeries;
    Series2: TLineSeries;
    Series3: TLineSeries;
    Button1: TButton;
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Formgraph2: TFormgraph2;

implementation

uses mcapmanugraph , mcap3;

{$R *.DFM}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure TFormgraph2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    table1.open;
    table1.edit;
    table1.Refresh;
end;

procedure TFormgraph2.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    formgraph2.Hide;
    form5menugraph.show;
end;

end.

unit mcapmanugraph;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls;

type
    TForm5menugraph = class(TForm)
        GroupBox1: TGroupBox;
        Button1: TButton;
        Button2: TButton;
        procedure Button1Click(Sender: TObject);
        procedure Button2Click(Sender: TObject);
    private
        { Private declarations }
    public
        { Public declarations }
    end;

var
    Form5menugraph: TForm5menugraph;

implementation

uses mcapgraph, mcapgraph2;

{$R *.DFM}

procedure TForm5menugraph.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    mcapgraphform.show;
    mcapgraphform.Chart1.series[3].clear;
    form5menugraph.Hide;
end;

procedure TForm5menugraph.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    formgraph2.show;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        form5menugraph.Hide;
    end;

end.

unit MCAPT2;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls, Buttons, Db, DBTables, Grids, DBGrids, DBCtrls,
    ComDrv32;

type
    TForm2MCAPT = class(TForm)
        Panel1: TPanel;
        Label2: TLabel;
        Label3: TLabel;
        Label4: TLabel;
        Editmachine: TEdit;
        Editpartno: TEdit;
        Edittarget: TEdit;
        Label5: TLabel;
        Label6: TLabel;
        Editusl: TEdit;
        Editlsl: TEdit;
        Panel2: TPanel;
        Label7: TLabel;
        BitBtn1: TBitBtn;
        BitBtn2: TBitBtn;
        BitBtn3: TBitBtn;
        Table1: TTable;
        DataSource1: TDataSource;
        Label1: TLabel;
        ComboBox1: TComboBox;
        procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
        procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
        procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    private
        { Private declarations }
    public
        { Public declarations }
    end;

var
    Form2MCAPT: TForm2MCAPT;

implementation

uses MCAP1, MCAP3, MCAP2, MCAPT3;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{$R *.DFM}

procedure TForm2MCAPT.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
    Form1MCAP.show;
    Form2MCAP.hide;
end;

procedure TForm2MCAPT.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
    Editmachine.clear;
    Editmachine.setFocus;
    Editmachine.clear;
    Editpartno.clear;
    Edittarget.clear;
    Editusl.clear;
    Editlsl.Clear;

end;

procedure TForm2MCAPT.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var target,usl,lsl:real;
begin
    if (Editmachine.text<>"")then
    begin
        if (Editpartno.text<>"")then
        begin
            if (edittarget.text<>"")then
            begin
                if(editusl.text<>"") then
                begin
                    if (editlsl.text<>"") then
                    begin
                        if (ComboBox1.text<>"") then
                        begin
                            target:=strtofloat(edittarget.text);
                            usl:=surtofloat(editusl.text);
                            lsl:=strtofloat(editlsl.text);
                            if usl<lsl then
                            begin
                                messagedlg('ค่าจำกัดต่ำสุดควรน้อยกว่าค่าจำกัดสูงสุด กรุณาแก้ไข ',mterror,[mbok],0);
                                editusl.setFocus;
                                editusl.text:="";
                                editlsl.text:="";
                            end
                        else
                        begin
                            if (target<=usl) and (target>=lsl) then
                            begin

                                table1.open;
                                table1.edit;
                                table1.first;
                                while not table1.EOF do
                                begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        table1.delete;
        table1.next;
    end;

    table1.insert;
    table1.FieldName('machine name').asString:=editmachine.text;
    table1.FieldName('partno').asinteger:=strtoint(editpartno.text);
    table1.FieldName('target').asfloat:=strtofloat(edittarget.text);
    table1.FieldName('usl').asfloat:=strtofloat(editusl.text);
    table1.FieldName('lsl').asfloat:=strtofloat(editlsl.text);
    table1.FieldName('sigp').asfloat:=strtofloat(ComboBox1.text);

    table1.post;
    table1.close;
    Editmachine.clear;
    Editmachine.setFocus;
    Editmachine.clear;
    Editpartno.clear;
    Edittarget.clear;
    Editusl.clear;
    Editlsl.Clear;
    form2mcapt.hide;
    form3mcapt.show;
end

else
begin
    messagedlg('ค่าเป้าหมายไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ',mterror,[mbok],0);
    edittarget.setFocus;
    edittarget.text:="";
end
end
end

else
begin
    messagedlg('กรุณาป้อนค่าของซิกมาที่จะใช้ ',mterror,[mbok],0);
    ComboBox1.setFocus;
end;
end

else
begin
    messagedlg('กรุณาป้อนค่าของข้อมูลให้ถูกต้องครบถ้วน',mtwarning,[mbok],0);
    editlsl.setFocus;
end;
end

else
begin
    messagedlg('กรุณาป้อนค่าของข้อมูลให้ถูกต้องครบถ้วน',mtwarning,[mbok],0);
    editusl.setFocus;
end;
end
end
else
begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    messagedlg('กรุณาป้อนค่าของข้อมูลให้ถูกต้องครบถ้วน',mtwarning,[mbok],0);
    edittarget.setfocus;
end;
end
else
begin
    messagedlg('กรุณาป้อนค่าของข้อมูลให้ถูกต้องครบถ้วน ',mtwarning,[mbok],0);
    editpartno.setfocus;
end;
end
else
begin
    messagedlg('กรุณาป้อนค่าของข้อมูลให้ถูกต้องครบถ้วน ',mtwarning,[mbok],0);
    editmachine.setfocus;
end;
end;
end.

unit MCAPT3;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, Db, DBTables, ExtCtrls, DBCtrls, Grids, DBGrids, Buttons,math,
    ComDrv32, ToolWin, ComCtrls;

type
    TForm3MCAPT = class(TForm)
        GroupBox1: TGroupBox;
        Edit1: TEdit;
        Label1: TLabel;
        Table1: TTable;
        DataSource1: TDataSource;
        DBNavigator1: TDBNavigator;
        BitBtn1: TBitBtn;
        BitBtn2: TBitBtn;
        BitBtn3: TBitBtn;
        DBGrid1: TDBGrid;
        DataSource2: TDataSource;
        Table2: TTable;
        CommPortDriver1: TCommPortDriver;
        Timer1: TTimer;
        GroupBox2: TGroupBox;
        CheckBox1: TCheckBox;
        CheckBox2: TCheckBox;
        RadioButton1: TRadioButton;
        RadioButton2: TRadioButton;
        procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
        procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
        procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
        procedure CommPortDriver1ReceiveData(Sender: TObject; DataPtr: Pointer;
            DataSize: Integer);
        procedure CheckBox1Click(Sender: TObject);
        procedure CheckBox2Click(Sender: TObject);
        procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
    end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
private
  procedure applycommsettings;
  procedure receive1;
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

type dataarray=array[1..300]of double;

var
  Form3MCAPT: TForm3MCAPT;
  data:dataarray;
  i:integer;
implementation

uses MCAP4, MCAP3, MCAPT4, MCAPT2, mcapgraph;

{$R *.DFM}

procedure TForm3MCAPT.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
  table1.edit;
  table1.Open;
  table1.refresh;
  table1.first;
  if MessageDlg('คุณต้องการลบข้อมูลทั้งหมดใช่หรือไม่',
    mtConfirmation, [mbYes, mbNo], 0) = mrYes then
  begin
    if table1.eof then
    begin
      showmessage('ไม่มีข้อมูล ');
      edit1.setfocus;
      // table1.close;
      exit;
    end
  else
  begin
    repeat
      table1.Delete;
    until table1.eof;

  {begin
    i:=1;

    while i<=30 do
    begin
      data[i]:=0;
      inc(i);
    end; }

    showmessage('การลบข้อมูลโดยตรงเรียบร้อยแล้ว ');
    edit1.setfocus;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
end ;
end;

procedure TForm3MCAPT.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin

if (edit1.text="")then
begin
messedlg('กรุณาป้อนข้อมูลก่อน',mterror,[mbok],0);
edit1.setfocus;
end
else
begin
table1.Open;
table1.first;
table1.append;
table1.fieldbyname('data').asfloat:=strtofloat(edit1.text);
edit1.Text:="";
edit1.setfocus;
table1.NEXT;

end

end;

procedure TForm3MCAPT.BitBtn3Click(Sender: TObject);
var count1:integer;
max1,mean1,sum1,sigp,a,x,y,z,b,c,a3,gamma:single;
us1,ls1,s,cpu1,cpl1,cpk1,bell,abo1,ucl,lcl:single;
i,t:integer;
begin
i:=1;

while i<=300 do
begin
data[i]:=0;
inc(i);
end;

i:=1;

table1.Open;
table1.refresh;
table1.first;

if table1.EOF{data[1]=0} then
begin
edit1.setfocus;
messageDlg('ยังไม่มีข้อมูล กรุณาป้อนข้อมูลก่อน ',mterror, [mbOK], 0)
end
else
begin

count1:=table1.RecordCount;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while not table1.eof do
begin
  data[i]:=table1.fieldbyname('data').asfloat;
  inc(i);
  table1.Next;
end;

max1:=maxvalue(data);
sum1:=0;
while i<>0 do
begin
  sum1:=sum1+data[i];
  dec(i);
end;
mean1:=sum1/count1;

//SIGP,skeness,kurtosis

i:=1;
a:=0;
b:=0;
c:=0;
repeat
x:=sqr(data[i]-mean1);
a:=a+x;
y:=x*(data[i]-mean1);
b:=b+y;
z:=x*x;
c:=c+z;
inc(i);
until i=count1+1;
sigp:=sqrt(a/count1);
a3:=b/((count1-1)*(sigp*sigp*sigp));
gamma:=(c/((count1-1)*sqr(sqr(sigp))))-3;

//CPK

table2.open;
table2.First;
usl:=table2.fieldbyname('usl').asfloat;
lsl:=table2.fieldbyname('lsl').asfloat;
s:=table2.fieldbyname('sigp').asfloat;

cpu1:=(usl-mean1)/(s*sigp);
cpl1:=(mean1-lsl)/(s*sigp);

if cpu1<cpl1 then
  cpk1:=cpu1
else cpk1:=cpl1;

%% Below Spec,above spec
i:=1;
a:=0;
y:=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

repeat
  begin
    if data[i]<|sl then
      y:=y+1
    else
      if data[i]>=|sl then
        a:=a+1
      else
        end;
    inc(i);
  until i=count1+1;
  bel1:=(y/count1)*100;
  abo1:=(a/count1)*100;
  ucl:=mean1+(s*sigp);
  lcl:=mean1-(s*sigp);

  if cpk1 < 1.23 then form4mcapt.edit12.text:='ไม่น่าเชื่อถือ'
    else form4mcapt.edit12.text:='น่าเชื่อถือ';

  form4mcapt.edit1.text:=inttostr(count1);
  form4mcapt.edit2.text:=floattostr(mean1);
  form4mcapt.edit3.text:=floattostr(sigp);
  form4mcapt.edit4.text:=floattostr(cpk1);
  form4mcapt.edit5.text:=floattostr(bel1)+'%';
  form4mcapt.edit6.text:=floattostr(abo1)+'%';
  form4mcapt.edit7.text:=floattostr(a3);
  form4mcapt.edit8.text:=floattostr(gamma);
  form4mcapt.edit9.text:=floattostr(ucl);
  form4mcapt.edit10.text:=floattostr(lcl);
  form4mcapt.edit11.text:=floattostr(mean1);

  table1.first;
  while not table1.eof do
    begin
      table1.edit;
      table1.fieldbyname('ucl').asfloat:=ucl;
      table1.fieldbyname('lcl').asfloat:=lcl;
      table1.fieldbyname('mean1').asfloat:=mean1;
      table1.Next;
    end;

  // table1.ApplyUpdates;
  FORM3MCAPT.HIDE;
  FORM4MCAPT.SHOW;
end;

end;

procedure TForm3mcapt.ApplyCommSettings;
var wasConnected: boolean;
begin
  wasConnected := CommPortDriver1.Connected;
  // This change needs CommPortDriver not connected

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if wasConnected then
    // DisconnectClick( nil );
    CommPortDriver1.ComPort := TComPortNumber((pnCOM2));
    //Reconnect
    // if wasConnected then
    //radiobutton1Click( nil );

end;

procedure TForm3mcapt.receive1;
var   s:string;

begin
//Set BaudRate
CommPortDriver1.ComPortSpeed :=br9600;
//Define Data Bit Format.
CommPortDriver1.ComPortDataBits :=db8BITS;
//Define parity bit
CommPortDriver1.ComPortParity := ptNONE;
CommPortDriver1.ComPortHwHandshaking := hhNone;
CommPortDriver1.ComPortSwHandshaking := shNone;
// Apply settings to comport.
ApplyCommSettings;
//If Connect function return true.
if CommPortDriver1.Connect then
begin
// Bitbtn4.Enabled := false;
// Disconnect.Enabled := true;
end
else // Error! on connect.
begin
MessageBeep( 0 );
end;

if CommPortDriver1.Connected then
begin
//Send started character ('Enter') to Mcs-51
s :=#13;
CommPortDriver1.SendData( pchar(s), length(s) );
CommPortDriver1.SendData( @s, 1 );
end;
end;

procedure TForm3MCAPT.CommPortDriver1ReceiveData(Sender: TObject;
DataPtr: Pointer; DataSize: Integer);

type   TArraystr=array[1..2] of string;
var p: pchar;
i:integer;
s: string;
newdata:integer;
a.olddata:string;
data:TArraystr;

begin
i:=1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

p := DataPtr;
while DataSize > 0 do
begin
a:=(p^);
data[i]:=a;
inc(i);
s := s + p^;
dec( DataSize );
inc( p );

end;

olddata:=data[1];
newdata:=strtoint(olddata);
table1.open;
Table1.append;

Table1.FieldName('data').asinteger :=newdata;

Table1.Next;

if data[2]='B' then
begin

timer1.enabled:=false;
showmessage('รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว');
groupbox1.enabled:=true;
bitbtn3.Enabled:=true;
end
else
begin

Timer1.Enabled:=True;
end ;
end;

procedure TForm3MCAPT.CheckBox1Click(Sender: TObject);

begin
if checkbox1.State = cbchecked then
begin
checkboxbox2.Enabled:=false;
dbgrid1.Enabled:=true;
dbnavigator1.Enabled:=true;
edit1.ReadOnly:=true;
radiobutton1.enabled:=true;
radiobutton2.enabled:=true;
end
else
begin
checkboxbox2.Enabled:=true;
checkboxbox1.enabled:=true;
groupbox1.enabled:=false;
radiobutton1.enabled:=false;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        radiobutton2.enabled:=false;
    end;
end;

procedure TForm3MCAPT.CheckBox2Click(Sender: TObject);
begin
    if checkbox2.state = cbchecked then
        begin
            groupbox1.enabled:=true;
            bitbtn1.Enabled:=true;
            bitbtn2.Enabled:=true;
            bitbtn3.Enabled:=true;
            dbrgrid1.Enabled:=true;
            label1.enabled:=true;
            edit1.enabled:=true;
            edit1.setfocus;
            dbnavigator1.Enabled:=true;
            commportdriver1.EnableDTROnOpen:=false;
        end
    else
        begin
            checkbox2.Enabled:=true;
            checkbox1.enabled:=true;
            groupbox1.enabled:=false;
            bitbtn1.Enabled:=false;
            bitbtn2.Enabled:=false;
            bitbtn3.Enabled:=false;
            dbrgrid1.Enabled:=false;
            label1.enabled:=false;
            edit1.enabled:=false;
            radiobutton1.enabled:=false;
            radiobutton2.enabled:=false;
        end;
    end;

procedure TForm3MCAPT.Timer1Timer(Sender: TObject);
var s:String;
begin
    //Send started character ('A') to Mcs-51
    s :=#65;
    CommPortDriver1.SendData( pchar(s), length(s) );
    CommPortDriver1.SendData( @s, 1 );
end;

procedure TForm3MCAPT.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
    radiobutton1.enabled:=false;
    radiobutton2.enabled:=true;
    commportdriver1.EnableDTROnOpen:=true;
    receive1;

end;

procedure TForm3MCAPT.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
    commportdriver1.EnableDTROnOpen:=false;
    radiobutton2.enabled:=false;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

radiobutton1.enabled:=true;
end;

end.

unit MCAPT4;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Mask, DBCtrls, ExtCtrls, Db, DBTables, Buttons;

type
  TForm4MCAPT = class(TForm)
    Table1: TTable;
    Table2: TTable;
    Table2Data: TFloatField;
    DataSource1: TDataSource;
    DataSource2: TDataSource;
    Panel1: TPanel;
    Panel2: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;
    BitBtn2: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    BitBtn1: TBitBtn;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Label20: TLabel;
    DBEdit1: TDBEdit;
    DBEdit2: TDBEdit;
    DBEdit3: TDBEdit;
    DBEdit4: TDBEdit;
    DBEdit5: TDBEdit;
    DBEdit6: TDBEdit;
  end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
BitBtn4: TBitBtn;
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form4MCAPT: TForm4MCAPT;

implementation

uses MCAP1, MCAP4, mcapgraph, mcapmanugraph, mcaptdowntime;

{$R *.DFM}

procedure TForm4MCAPT.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
  Form1MCAP.show;
  Form4MCAPT.hide;
end;

procedure TForm4MCAPT.FormShow(Sender: TObject);
begin
  table1.Open;
  table1.first;
end;

procedure TForm4MCAPT.BitBtn2Click(Sender: TObject);
type dataarray=array[1..300]of double;

var x,t:integer;
    mean1,sigp1,a,b,p:real;
    data:dataarray;
    min,max:integer;

begin

  sigp1:=strtofloat(edit3.text);
  mean1:=strtofloat(edit2.text);
  min:=table1.fieldbyname('lsl').asinteger;
  max:=table1.fieldbyname('usl').asinteger;

  for t:= 0 to mcapgraphform.Chart1.SeriesCount -1 do begin

    mcapgraphform.Chart1.Series[t].Clear;
    end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for x:=min-100 to max+100 do
begin
    a:=1/(sigp1*sqrt(2*pi));
    b:=exp((-0.5)*sqrt((x-mean1)/sigp1));
    p:=a*b;
    if p>0.01 then
        mcapgraphform.Chart1.BottomAxis.Automatic := False;
mcapgraphform.Chart1.BottomAxis.Maximum := mcapgraphform.Chart1.MaxXValue(
mcapgraphform.Chart1.BottomAxis );
        mcapgraphform.Chart1.Series[0].AddXY(x,p,"clRed");
    end;
end;

form4mcapt.hide;
form5menugraph.show;
end;

procedure TForm4MCAPT.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
    form4mcapt.hide;
    formtdowntime.show;
end;

end.

unit Mcaptdowntime;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls;

type
    TFormTdowntime = class(TForm)
        Panel1: TPanel;
        Edit1: TEdit;
        Edit2: TEdit;
        Edit3: TEdit;
        Label1: TLabel;
        Label2: TLabel;
        Label3: TLabel;
        Label6: TLabel;
        Button2: TButton;
        Button1: TButton;
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    private
        { Private declarations }
    public
        { Public declarations }
    end;
end;


```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
var  
  FormTdowntime: TFormTdowntime;  
  
implementation  
  
uses MCAPT4;  
  
{SR *.DFM}  
  
procedure TFormTdowntime.Button2Click(Sender: TObject);  
begin  
  formtdowntime.hide;  
  form4mcapt.show;  
end;  
  
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ซอร์ทโค้ดของส่วนการอินเตอร์เฟสระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องชั่งน้ำหนัก
ด้วยโปรแกรม Assembly MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORG 0000H

CS EQU P3.2
INTR EQU P3.3

RD1 EQU P3.4
WR1 EQU P3.5
DATA EQU P1
REF EQU 00D

BUFF1 EQU 20H
BUFF2 EQU 21H
BUFF3 EQU 22H

MEMO2 EQU 23H
MIN2 EQU 24H
MAX2 EQU 25H
MEMO1 EQU 26H;to 30H

;# MOVE DATA FOR A/D CONVERTER #
#####

START: ;ACALL DELAY
MOV P0,#0FFH
MOV P1,#0FFH
MOV SCON,#050H ; MODE1 8BIT DATA
MOV TMOD,#20H ; 1STARTBIT 1STOP BIT
MOV TH1,#0FDH ; MODE2
SETB TR1 ; 9600 BAUD RATE
;START TIMER1

MAIN: ACALL AVERAGE1
ACALL COMPARI
MOV DPH,#00H
MOV DPL,A
ACALL HTOD
ACALL DTOA
CJNE A,REF,SEND
AJMP MAIN

SENDDATA TO COMPUTER SUB

SEND: ; ACALL RBYTE ;WAIT R: OK
; CJNE A,#13,MAIN
MOV A,BUFF3
ACALL SBYTE
MOV A,BUFF2
ACALL SBYTE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A, #65      ;END 1 CYCLE
ACALL   SBYTE
CLR     PO.0      ;LED OFF

```

```

ACALL   RBYTE
CJNE   A, #66, MAIN
AJMP   END1
;##### AVERAGE SUB #####

```

```

AVERAGE1:  MOV      B, #02H
            MOV     R0, #0AH
            MOV     R1, #MEMO1
            ACALL  READ1
            MOV     MIN2, A
            MOV     MAX2, A
AVERAGE2:  ACALL  DELAY
            ACALL  READ1
            MOV     @R1, A
            INC    R1
            DJNZ   R0, AVERAGE2
            DEC    R1
            MOV     R2, #0AH
            MOV     R4, A
COMP1:     MOV     MEMO2, @R1
            DEC    R1
            MOV     A, R4
            CJNE   A, MEMO2, SUBB1
            MOV     R4, A
            MOV     A, R2
            JZ     SUBB1
            DJNZ   R2, COMP1
SUBB1:     CLR     C
            MOV     R5, A
            SUBB   A, MEMO2
            MOV     A, R5
            JC     MAX1
MIN1:     MOV     A, MEMO2
            CJNE   A, MIN2, SUBB3
            AJMP   COMP2
SUBB3:     CLR     C
            MOV     R5, A
            SUBB   A, MIN2
            MOV     A, R5
            JC     MIN3
            AJMP   COMP2
MIN3:     MOV     MIN2, MEMO2
            AJMP   COMP2
MAX1:     MOV     A, MEMO2
            CJNE   A, MAX2, SUBB2
            MOV     MAX2, A
            AJMP   COMP2
SUBB2:     CLR     C
            MOV     R5, A
            SUBB   A, MAX2
            MOV     A, R5
            JNC   MAX3
            AJMP   COMP2
MAX3:     MOV     MAX2, MEMO2
COMP2:     MOV     R4, A
            MOV     A, R2
            JZ     POP1
            DJNZ   R2, COMP1
POP1:     CLR     C
            MOV     A, MIN2

```

```

ADD      A,MAX2
JC       ADD80
DIV      AB
AJMP    RET1
ADD80:  DIV      AB
RET1:   ADD      A,#80H
        RET

```

```

;##### READ SUB #####
READ1:  CLR      CS
        CLR      WR1
        NOP
        NOP
        NOP
        SETB    CS
        SETB    WR1
        JB      INTR,$
        CLR      CS
        CLR      RD1
        SETB    P0.0           ;LED SHOW
        MOV     A,DATA
        RET

```

```

;##### COMPARISION SUB #####

```

```

COMPAR1:MOV R1,A
        MOV     B,#14H
        CLR     C
        SUBB   A,#03H
        JNC    HIGH1
        MOV     A,#00H
        MOV     B,#00H
        AJMP   RET2
HIGH1:  MOV     A,R1
        CLR     C
        SUBB   A,#0FDH
        JC     MUL1
        MOV     A,#88H
        MOV     B,#13H
        AJMP   RET2
MUL1:  MOV     A,R1
        CLR     C
        SUBB   A,#03H
        MUL    AB

```

```

RET2:   RET
; ##### HEX TO DECIMAL SUB #####

```

```

;
HTOD:  MOV     DPTR,#00A0H
        CLR     A           ;CLEAR OUTPUT
        MOV     R1,A
        MOV     R2,A
        MOV     R3,A

```

```

HTOD1: MOV     R4,#16           ;SHIFT 16 BIT
        MOV     A,DPL
        RLC    A
        MOV     DPL,A
        MOV     A,DPH
        RLC    A
        MOV     DPH,A

```

```

MOV      R5,#3           ;ADD DECIMAL
MOV      R0,#3           ;INDEX TO R3
HTOD2:  MOV      A,@R0
        ADDC     A,ACC
        DA      A
        MOV     @R0,A
        DEC     R0
        DJNZ    R5,HTOD2
        DJNZ    R4,HTOD1
        RET

```

93

```

;##### DECIMAL TO ASS SUB #####
DIOA:  MOV      A,#0FH
        ANL     A,R3
        ADD     A,#30H
        MOV     BUFF1,A

```

```

MOV     A,#0F0H
ANL     A,R3
SWAP    A
ADD     A,#30H
MOV     BUFF2,A

```

```

MOV     A,#0FH
ANL     A,R2
ADD     A,#30H
MOV     BUFF3,A
RET

```

```

;##### SBYTE SUB #####

```

```

SBYTE:  MOV      SBUF,A
        JNB     TI,$           ;WAIT FOR SEND OK
        CLR     TI
        RET

```

```

;##### RBYTE SUB #####

```

```

RBYTE:  JNB     RI,$           ;WAIT FOR RECEIVE OK
        CLR     RI
        MOV     A,SBUF
        RET

```

```

;##### DELAY SUB #####
;DELAY 20 mS.

```

```

DELAY:  MOV     R6,#50H
DELAY1: MOV     R7,#50H
        DJNZ    R7,$
        DJNZ    R6,DELAY1
        RET

```

```

END1:   END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

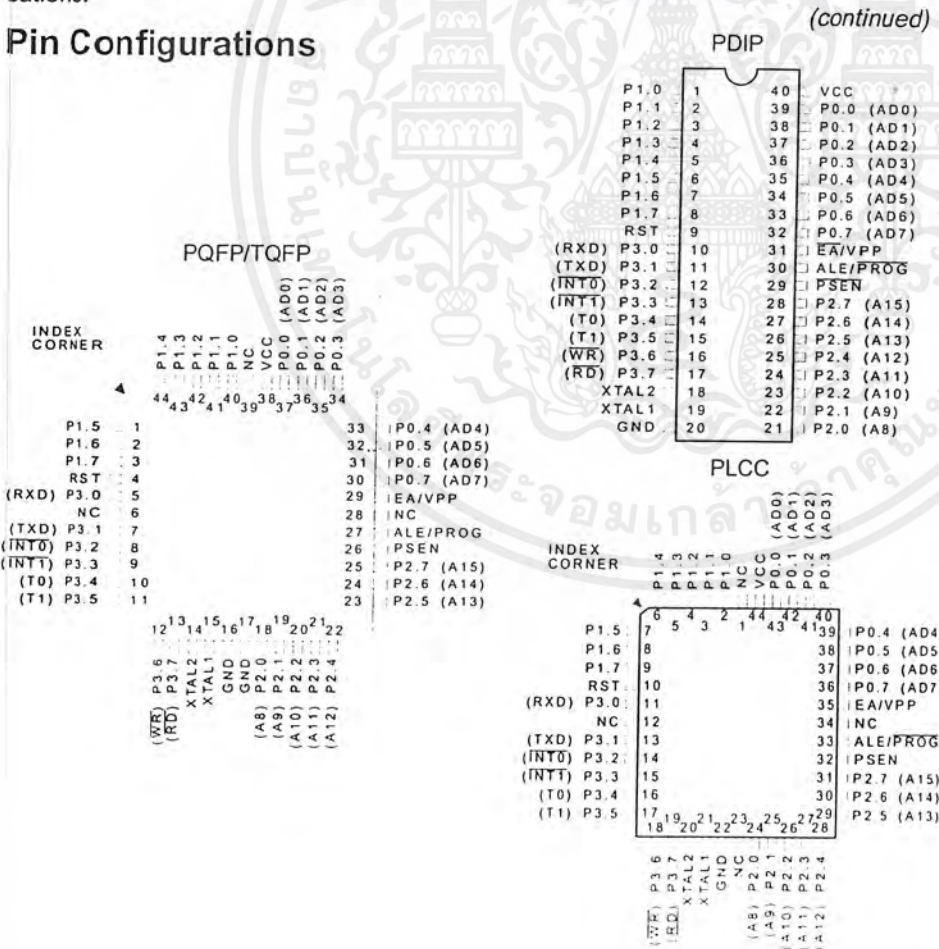
Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations

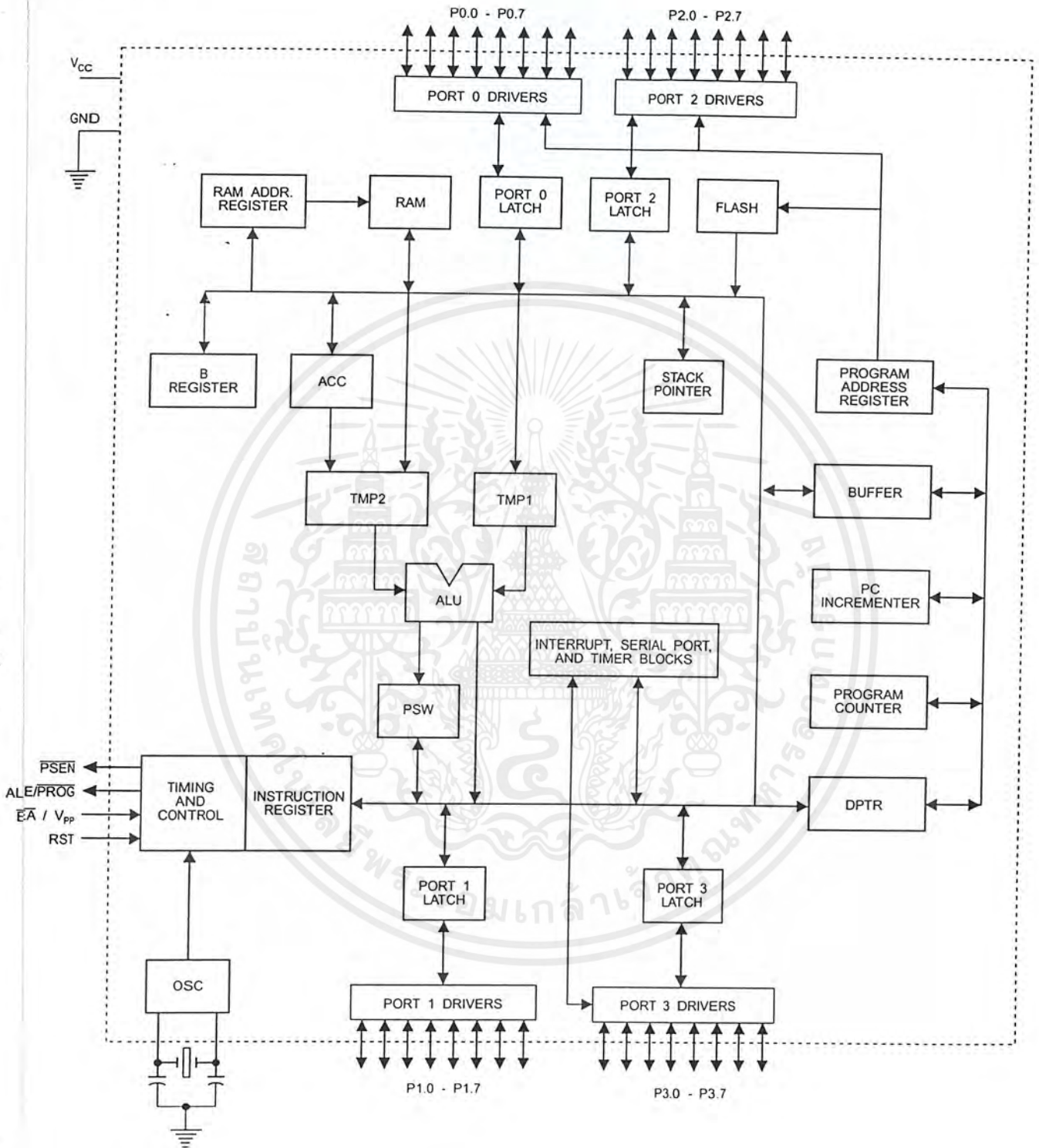


0265F-A-12/97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	\overline{WR} (external data memory write strobe)
P3.7	\overline{RD} (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

Pin Description

V_{CC}

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application it uses strong internal pullups



When the AT89C51 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{\text{EA}}/V_{\text{PP}}$

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP} .

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

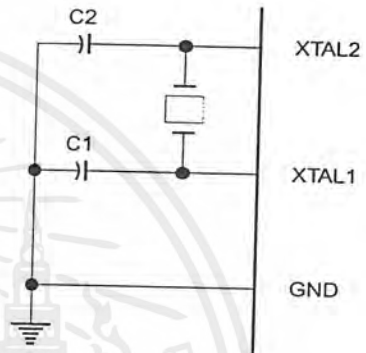
In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

Status of External Pins During Idle and Power Down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

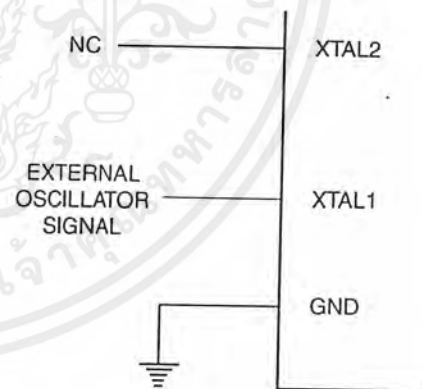
It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Power Down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features.
2	P	U	U	MOV _C instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, \overline{EA} is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled.
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled.

Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of \overline{EA} be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 3 and 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the $\overline{RDY}/\overline{BSY}$ output signal. P3.4 is pulled low after \overline{ALE} goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.



Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H,

031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel

(031H) = 51H indicates 89C51

(032H) = FFH indicates 12V programming

(032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	L
Chip Erase	H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10-ms PROG pulse.

AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3. Programming the Flash

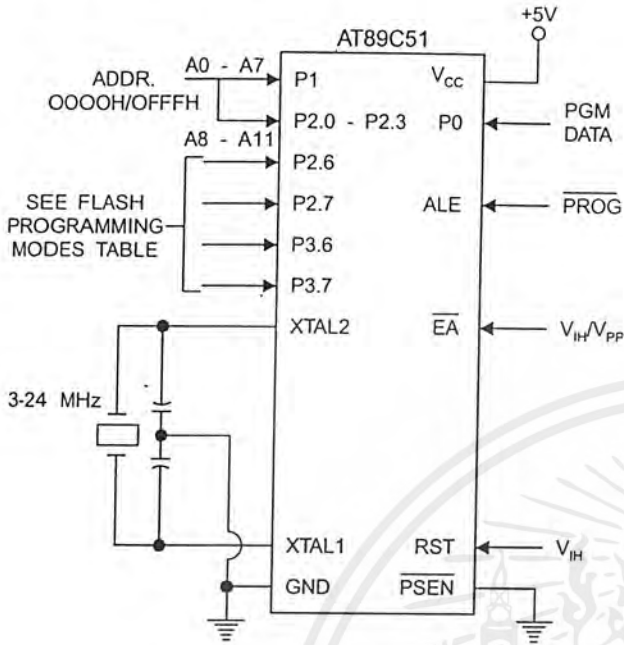
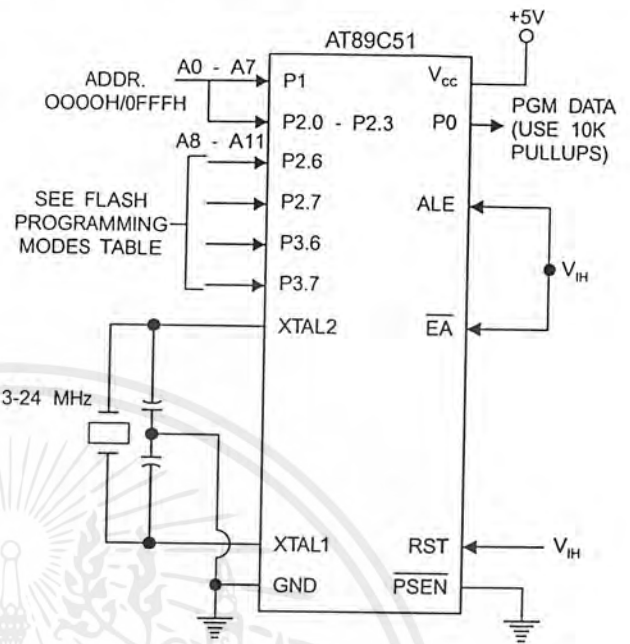


Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Characteristics

T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

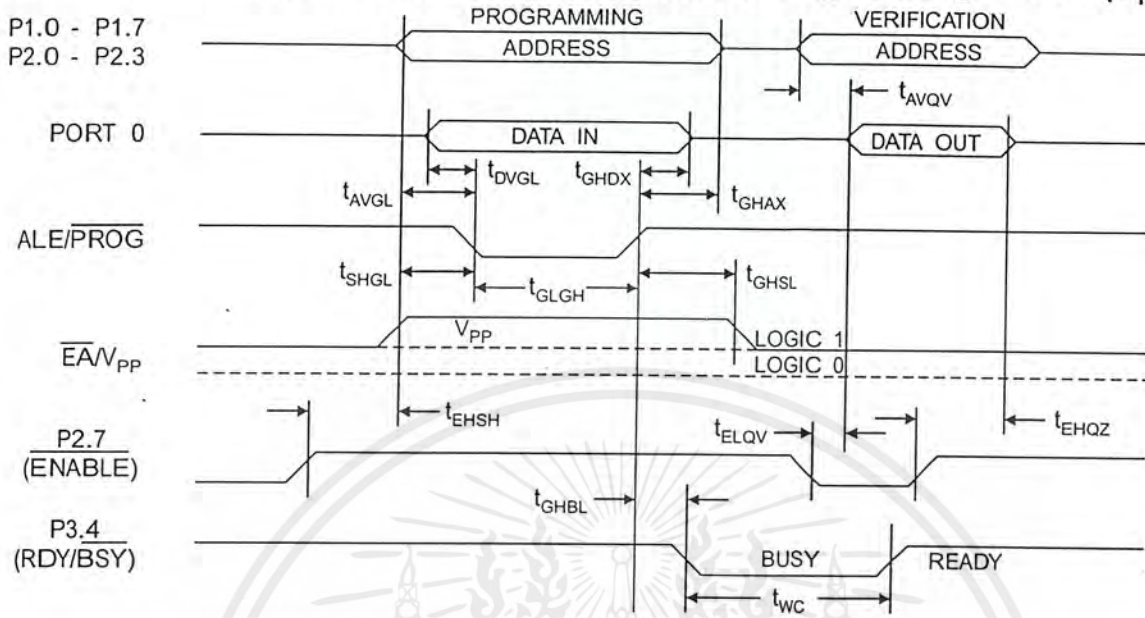
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Current		1.0	mA
1/t _{CLCL}	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t _{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHAX}	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{EHS}	P2.7 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V _{PP}	48t _{CLCL}		
t _{SHGL}	V _{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t _{GHSL} ⁽¹⁾	V _{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t _{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t _{AVQV}	Address to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{ELOV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{EHQZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	48t _{CLCL}	
t _{PROG}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
t _{Byte}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: ⁽¹⁾ Only used in 12-volt programming mode.

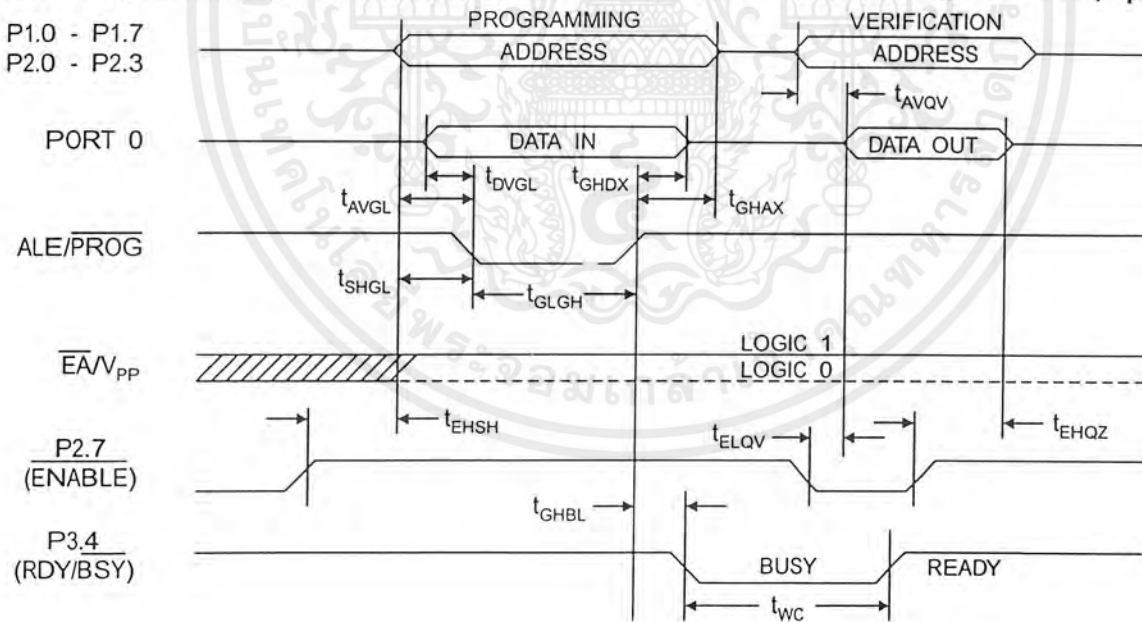


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

***NOTICE:** Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 5.0V ± 20% (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V _{IL}	Input Low Voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	0.2 V _{CC} - 0.1	V
V _{IL1}	Input Low Voltage (\overline{EA})		-0.5	0.2 V _{CC} - 0.3	V
V _{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V
V _{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V
V _{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	I _{OL} = 1.6 mA		0.45	V
V _{OL1}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN)	I _{OL} = 3.2 mA		0.45	V
V _{OH}	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	I _{OH} = -60 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -25 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -10 μA	0.9 V _{CC}		V
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	I _{OH} = -800 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -300 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -80 μA	0.9 V _{CC}		V
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 0.45V		-50	μA
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 2V, V _{CC} = 5V ± 10%		-650	μA
I _{LI}	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	0.45 < V _{IN} < V _{CC}		±10	μA
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	kΩ
C _{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T _A = 25°C		10	pF
I _{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power Down Mode ⁽²⁾	V _{CC} = 6V		100	μA
		V _{CC} = 3V		40	μA

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
 Ports 1, 2, 3: 15 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
 If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

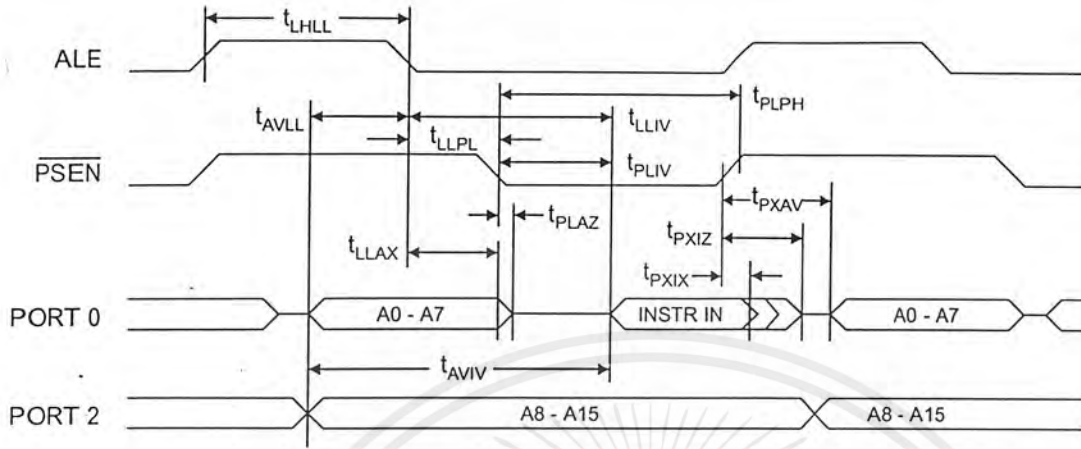
AC Characteristics

(Under Operating Conditions; Load Capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; Load Capacitance for all other outputs = 80 pF)

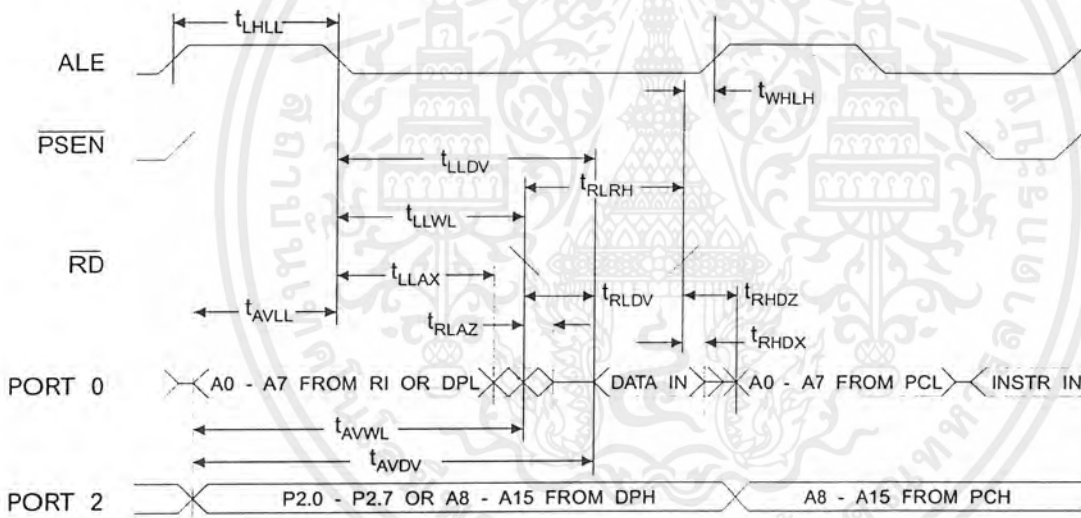
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{RHDX}	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{RLAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns

External Program Memory Read Cycle

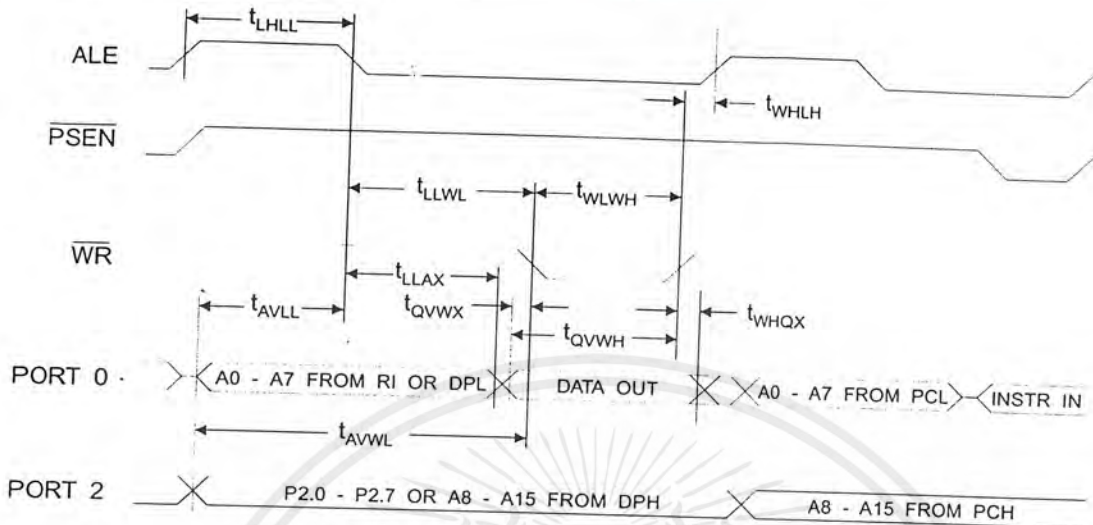


External Data Memory Read Cycle

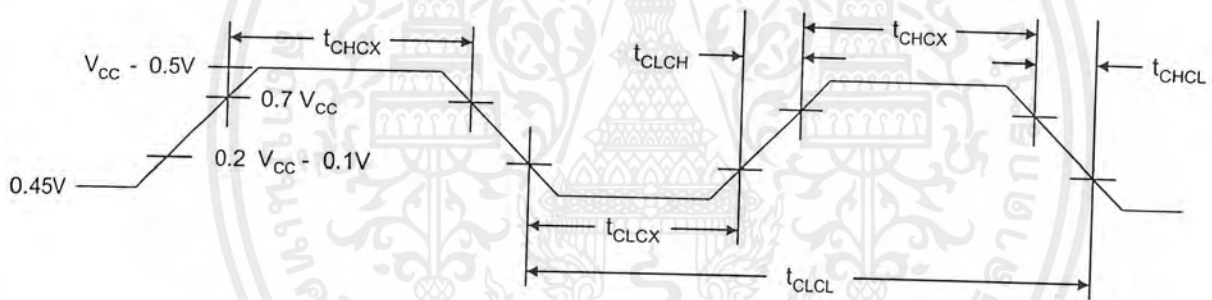


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

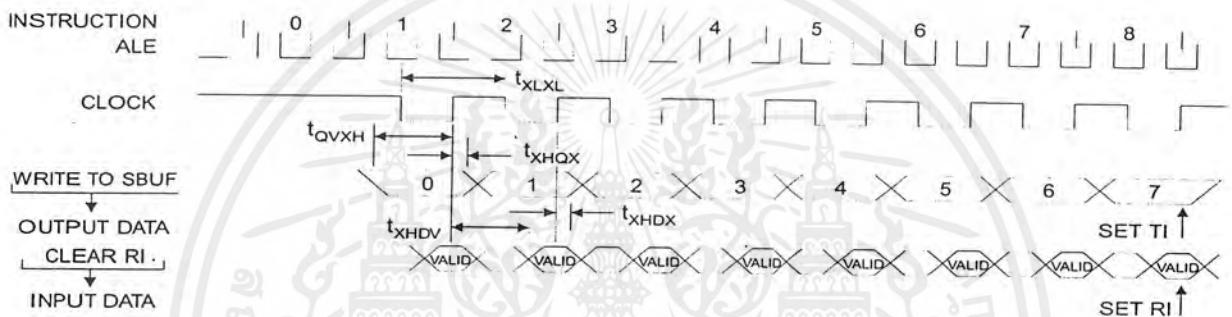
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

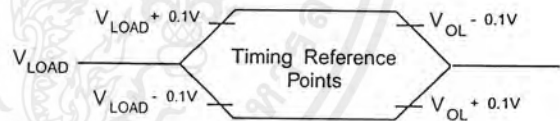
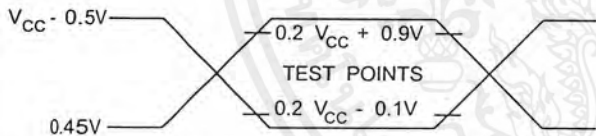
($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHGX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾ Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5\text{V}$ for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

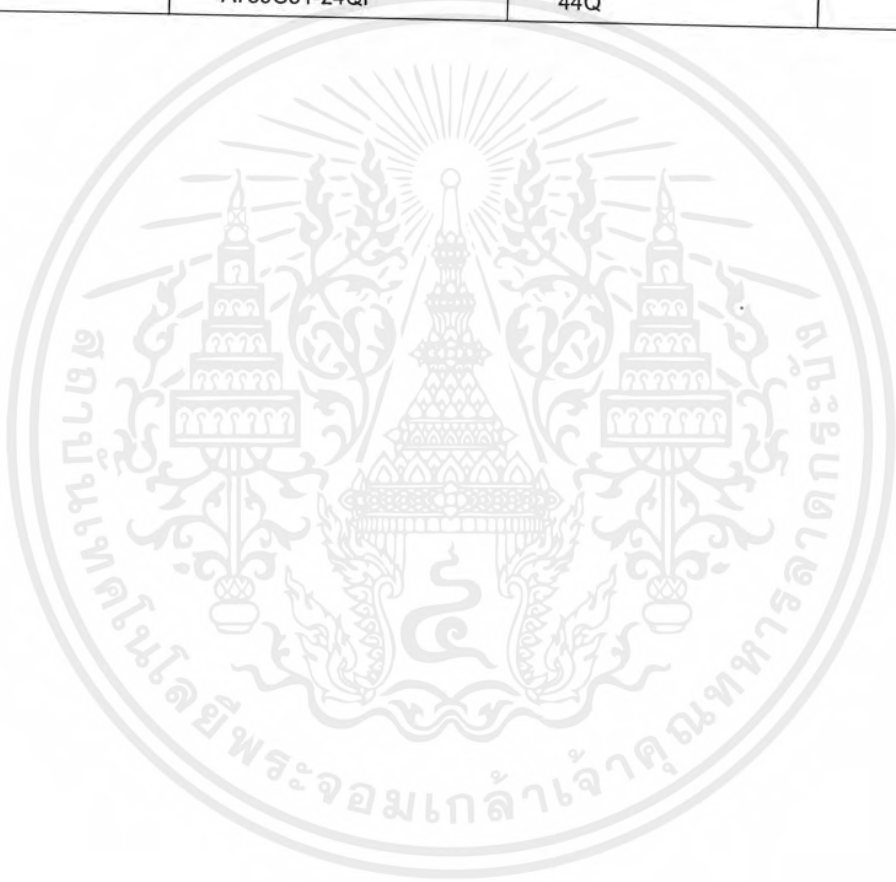


Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
		AT89C51-12AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C51-12JA	44J	
		AT89C51-12PA	40P6	
		AT89C51-12QA	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
		AT89C51-16AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C51-16JA	44J	
		AT89C51-16PA	40P6	
		AT89C51-16QA	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	5V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	44P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	44P6	
		AT89C51-24QI	44Q	



Package Type	
44A	44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher Performance than Three Op Amp IA Designs

Available in 8-Pin DIP and SOIC Packaging

Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("A GRADE")

125 μ V max, Input Offset Voltage (50 μ V max
"B" Grade)

1 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift

2.0 nA max, Input Bias Current

93 dB min Common-Mode Rejection Ratio (G = 10)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise

0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth (G = 100)

15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales

ECG and Medical Instrumentation

Transducer Interface

Data Acquisition Systems

Industrial Process Controls

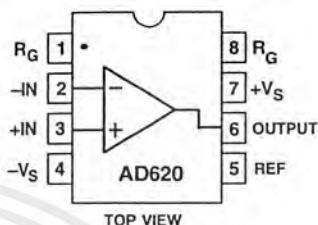
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier which requires only one external resistor to set gains of 1 to 1000. Furthermore, the AD620 features 8-pin SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower

CONNECTION DIAGRAM

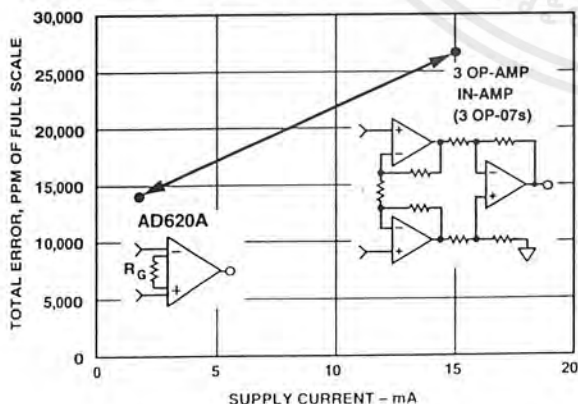
8-Pin Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



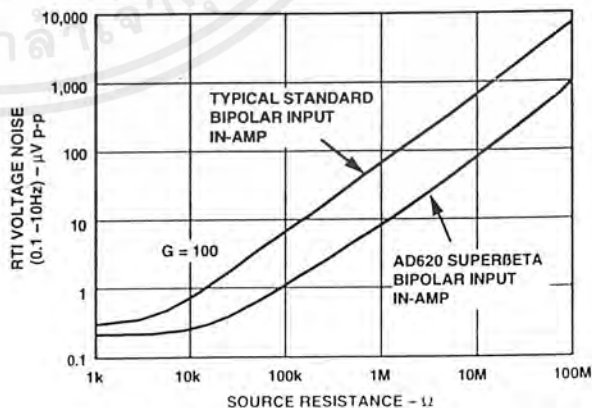
power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in amp per channel.



Three Op Amp IA Designs vs. AD620



Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. D

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD620—SPECIFICATIONS

(Typical @ +25°C, $V_S = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted) 111

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN	$G = 1 + (49.4 \text{ k}/R_G)$										
Gain Range		1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity,	$V_{OUT} = -10$ V to +10 V, $R_L = 10$ k Ω		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–1000	$R_L = 2$ k Ω		10	95		10	95		10	95	ppm
G = 1–100	Gain < 1000 ²			-50			-50			-50	ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	(Total RTI Error = $V_{OS1} + V_{OSO}/G$)										
Input Offset, V_{OS1}	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		30	125		15	50		30	125	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V			185			85			225	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	μ V/°C
Output Offset, V_{OSO}	$V_S = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V			1500			750			1500	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V			2000			1000			2000	μ V
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		-0.5	1.0		0.5	2	nA
Over Temperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Over Temperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC				1.5			1.5			8.0	pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential				10 2			10 2			10 2	G Ω pF
Common-Mode				10 2			10 2			10 2	G Ω pF
Input Voltage Range ³	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V	- $V_S + 1.9$		+ $V_S - 1.2$	- $V_S + 1.9$		+ $V_S - 1.2$	- $V_S + 1.9$		+ $V_S - 1.2$	V
Over Temperature		- $V_S + 2.1$		+ $V_S - 1.3$	- $V_S + 2.1$		+ $V_S - 1.3$	- $V_S + 2.1$		+ $V_S - 1.3$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	- $V_S + 1.9$		+ $V_S - 1.4$	- $V_S + 1.9$		+ $V_S - 1.4$	- $V_S + 1.9$		+ $V_S - 1.4$	V
Over Temperature		- $V_S + 2.1$		+ $V_S - 1.4$	- $V_S + 2.1$		+ $V_S - 1.4$	- $V_S + 2.3$		+ $V_S - 1.4$	V
Common-Mode Rejection Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_{CM} = 0$ V to ± 10 V										
G = 1		73		90	80		90	73		90	dB
G = 10		93		110	100		110	93		110	dB
G = 100		110		130	120		130	110		130	dB
G = 1000		110		130	120		130	110		130	dB
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10$ k Ω , $V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V	- $V_S + 1.1$		+ $V_S - 1.2$	- $V_S + 1.1$		+ $V_S - 1.2$	- $V_S + 1.1$		+ $V_S - 1.2$	V
Over Temperature		- $V_S + 1.4$		+ $V_S - 1.3$	- $V_S + 1.4$		+ $V_S - 1.3$	- $V_S + 1.6$		+ $V_S - 1.3$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	- $V_S + 1.2$		+ $V_S - 1.4$	- $V_S + 1.2$		+ $V_S - 1.4$	- $V_S + 1.2$		+ $V_S - 1.4$	V
Over Temperature		- $V_S + 1.6$		+ $V_S - 1.5$	- $V_S + 1.6$		+ $V_S - 1.5$	- $V_S + 2.3$		+ $V_S - 1.5$	V
Short Current Circuit			± 18			± 18			± 18		mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
DYNAMIC RESPONSE												
Small Signal -3 dB Bandwidth	10 V Step											
G = 1			1000			1000			1000		kHz	
G = 10			800			800			800		kHz	
G = 100			120			120			120		kHz	
G = 1000			12			12			12		kHz	
Slew Rate			0.75	1.2		0.75	1.2		0.75	1.2	V/ μ s	
Settling Time to 0.01%										μ s		
G = 1-100			15			15			15	μ s		
G = 1000			150			150			150	μ s		
NOISE												
Voltage Noise, 1 kHz	$Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$											
Input, Voltage Noise, e_{ni}			9	13		9	13		9	13	nV/ \sqrt{Hz}	
Output, Voltage Noise, e_{no}			72	100		72	100		72	100	nV/ \sqrt{Hz}	
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz												
G = 1				3.0			3.0	6.0		3.0	6.0	μ V p-p
G = 10				0.55			0.55	0.8		0.55	0.8	μ V p-p
G = 100-1000			0.28			0.28	0.4		0.28	0.4	μ V p-p	
Current Noise	f = 1 kHz		100			100			100		fA/ \sqrt{Hz}	
0.1 Hz to 10 Hz				10			10			10	pA p-p	
REFERENCE INPUT												
R_{IN}	$V_{IN+}, V_{REF} = 0$		20			20			20		k Ω	
I_{IN}			+50	+60		+50	+60		+50	+60	μ A	
Voltage Range			$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$		$V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$		$-V_S + 1.6$	$+V_S - 1.6$	V	
Gain to Output			1 ± 0.0001			1 ± 0.0001			1 ± 0.0001			
POWER SUPPLY												
Operating Range ⁴	$V_S = \pm 2.3\text{ V to } \pm 18\text{ V}$		± 2.3	± 18		± 2.3	± 18		± 2.3	± 18	V	
Quiescent Current				0.9	1.3		0.9	1.3		0.9	1.3	mA
Over Temperature				1.1	1.6		1.1	1.6		1.1	1.6	mA
TEMPERATURE RANGE												
For Specified Performance			-40 to +85			-40 to +85			-55 to +125		$^{\circ}$ C	

NOTES

¹Does not include effects of external resistor R_G .²One input grounded. $G = 1$.³This is defined as the same supply range which is used to specify PSR.⁴See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.

Specifications subject to change without notice.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Supply Voltage	±18 V
Internal Power Dissipation ²	650 mW
Input Voltage (Common Mode)	±V _S
Differential Input Voltage	±25 V
Output Short Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range (Q)	-65°C to +150°C
Storage Temperature Range (N, R)	-65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
AD620 (A, B)	-40°C to +85°C
AD620 (S)	-55°C to +125°C
Lead Temperature Range	
(Soldering 10 seconds)	+300°C

NOTES

¹Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

²Specification is for device in free air:

- 8-Pin Plastic Package: $\theta_{JA} = 95^\circ\text{C/Watt}$
- 8-Pin Cerdip Package: $\theta_{JA} = 110^\circ\text{C/Watt}$
- 8-Pin SOIC Package: $\theta_{JA} = 155^\circ\text{C/Watt}$

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Option*
AD620AN	-40°C to +85°C	N-8
AD620BN	-40°C to +85°C	N-8
AD620AR	-40°C to +85°C	R-8
AD620BR	-40°C to +85°C	R-8
AD620A Chips	-40°C to +85°C	Die Form
AD620SQ/883B	-55°C to +125°C	Q-8

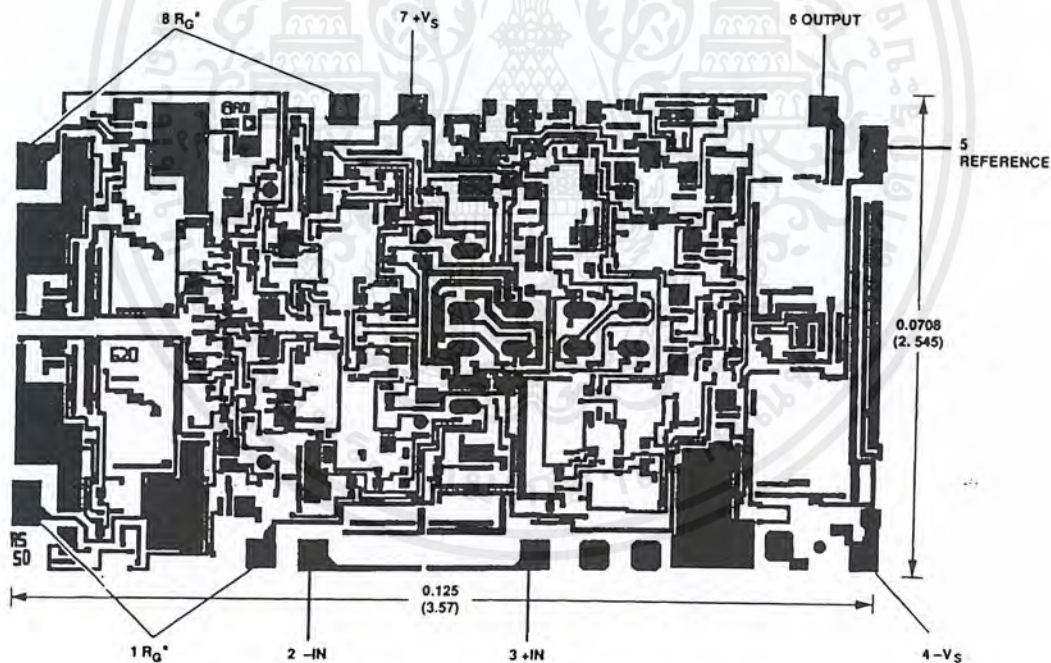
*N = Plastic DIP; Q = Cerdip; R = SOIC.

ESD SUSCEPTIBILITY

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 volts, which readily accumulate on the human body and on test equipment, can discharge without detection. Although the AD620 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may still occur on these devices if they are subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid any performance degradation or loss of functionality.

METALIZATION PHOTOGRAPH

Dimensions shown in inches and (mm).
Contact factory for latest dimensions.



*FOR CHIP APPLICATIONS: THE PADS 1R_G AND 8R_G MUST BE CONNECTED IN PARALLEL TO THE EXTERNAL GAIN REGISTER R_G. DO NOT CONNECT THEM IN SERIES TO R_G. FOR UNITY GAIN APPLICATIONS WHERE R_G IS NOT REQUIRED, THE PADS 1R_G MAY SIMPLY BE BONDED TOGETHER, AS WELL AS THE PADS 8R_G.

Typical Characteristics (@ +25°C, $V_s = \pm 15$ V, $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted)

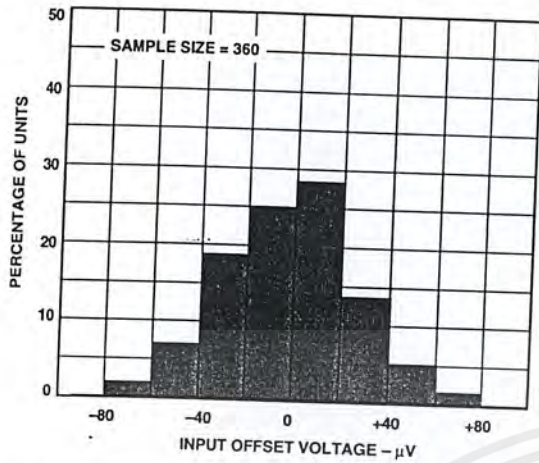


Figure 1. Typical Distribution of Input Offset Voltage

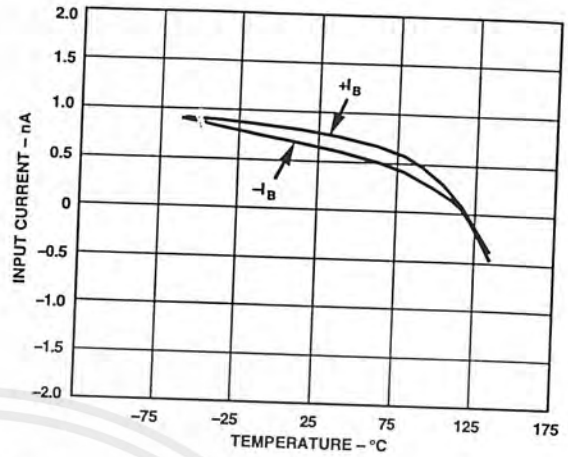


Figure 4. Input Bias Current vs. Temperature

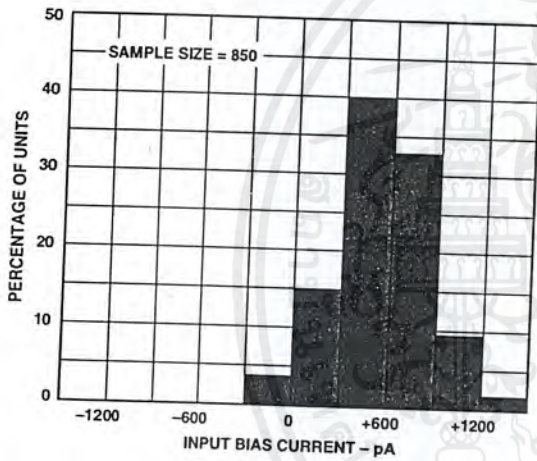


Figure 2. Typical Distribution of Input Bias Current

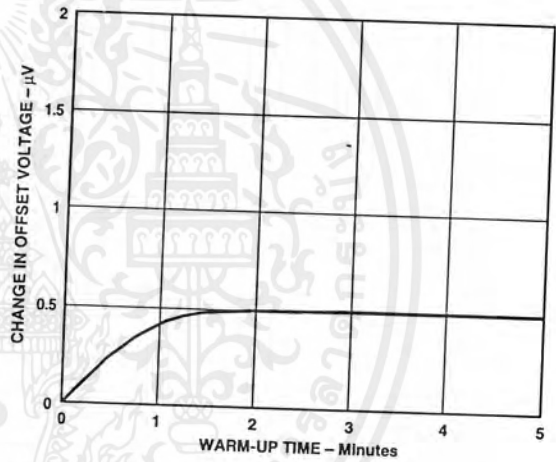


Figure 5. Change in Input Offset Voltage vs. Warm-Up Time

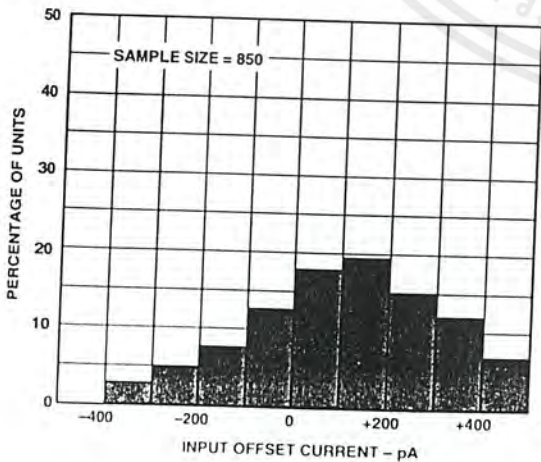


Figure 3. Typical Distribution of Input Offset Current

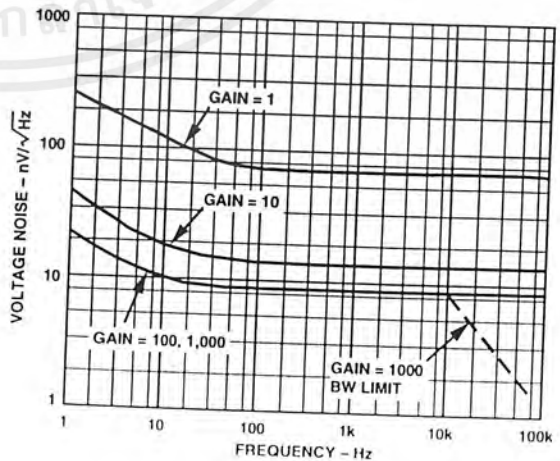


Figure 6. Voltage Noise Spectral Density vs. Frequency, ($G = 1-1000$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

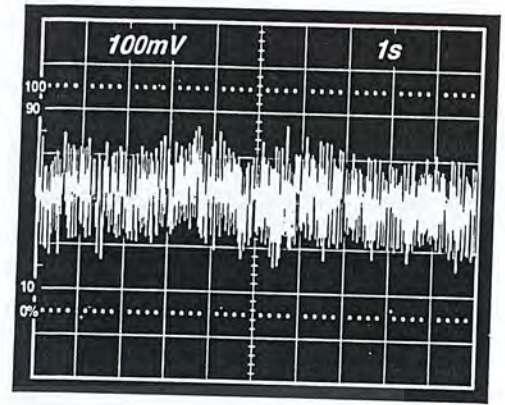
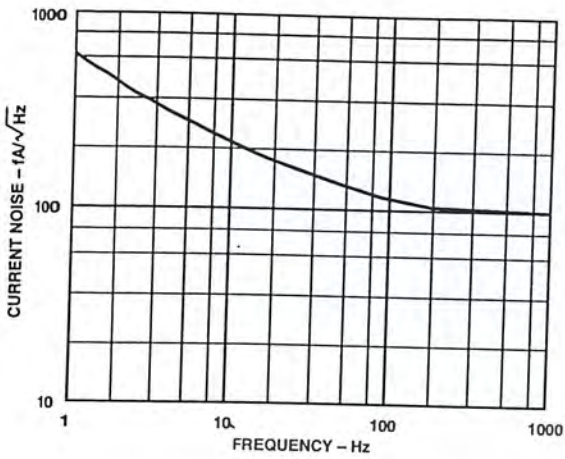


Figure 7. Current Noise Spectral Density vs. Frequency

Figure 9. 0.1 Hz to 10 Hz Current Noise, 5 pA/Div

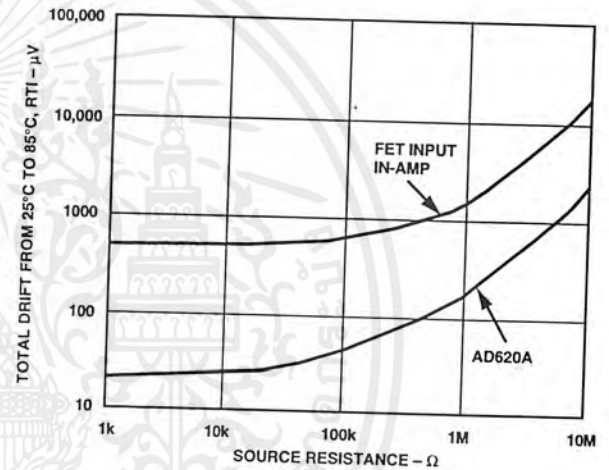
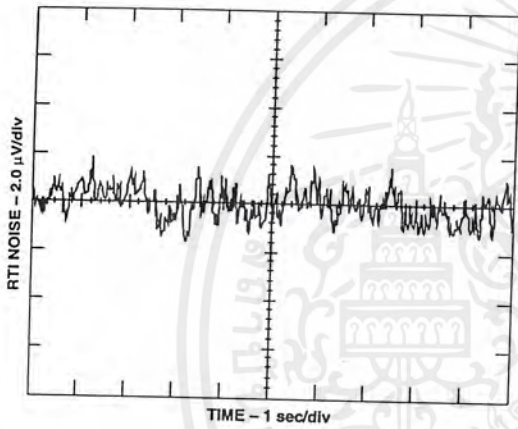


Figure 8a. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise ($G = 1$)

Figure 10. Total Drift vs. Source Resistance

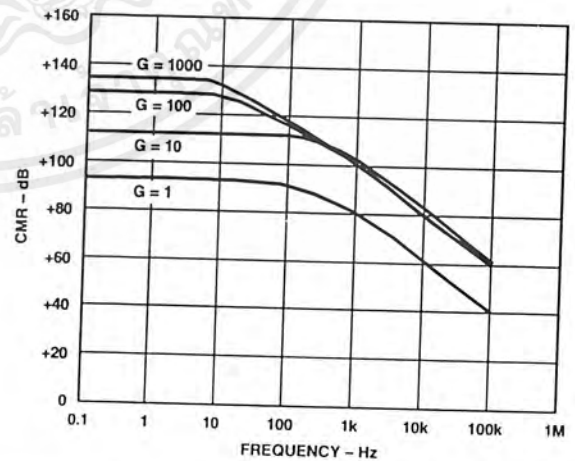
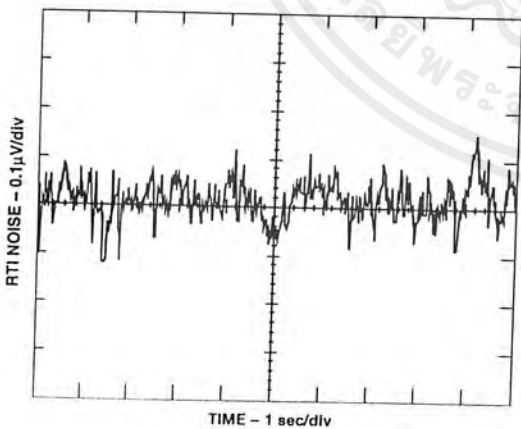


Figure 8b. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise ($G = 1000$)

Figure 11. CMR vs. Frequency, RTI, Zero to 1 k Ω Source Imbalance

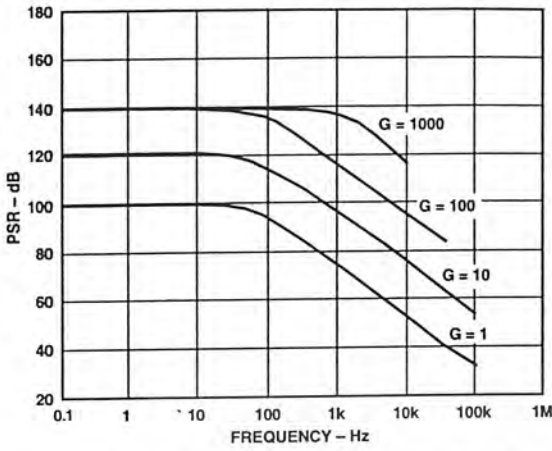


Figure 12. Positive PSR vs. Frequency, RTI ($G = 1-1000$)

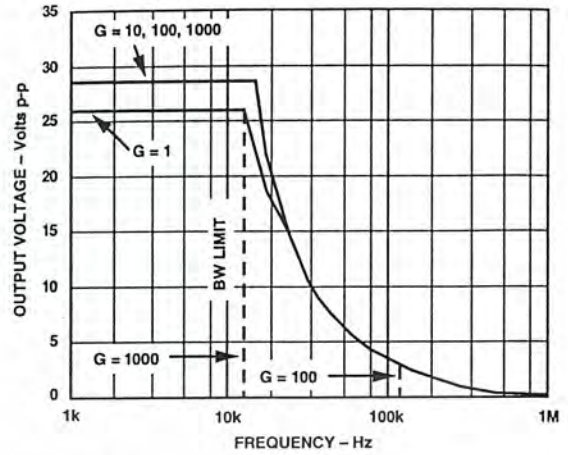


Figure 15. Large Signal Frequency Response

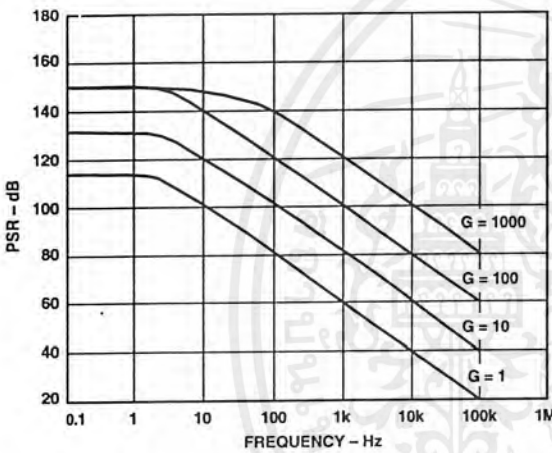


Figure 13. Negative PSR vs. Frequency, RTI ($G = 1-1000$)

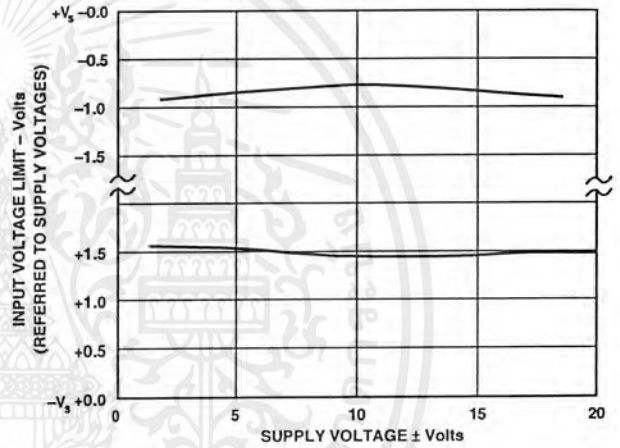


Figure 16. Input Voltage Range vs. Supply Voltage, $G = 1$

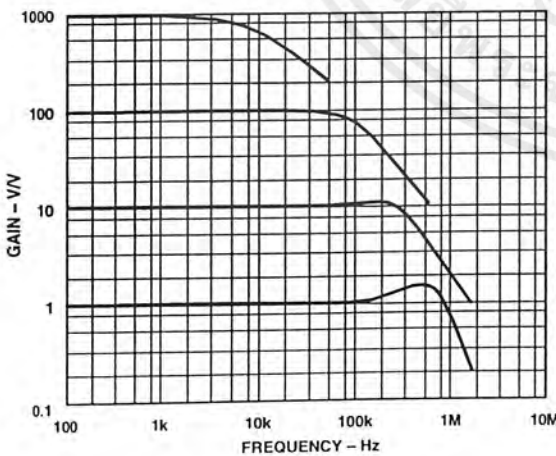


Figure 14. Gain vs. Frequency

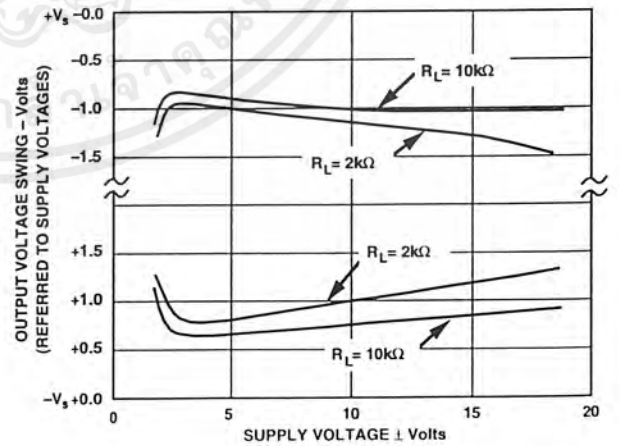


Figure 17. Output Voltage Swing vs. Supply Voltage, $G = 10$

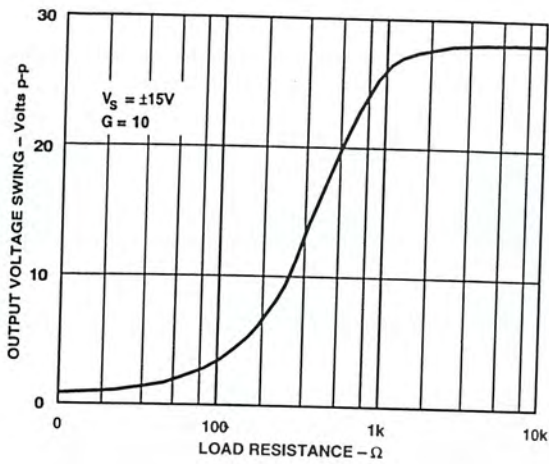


Figure 18. Output Voltage Swing vs. Load Resistance

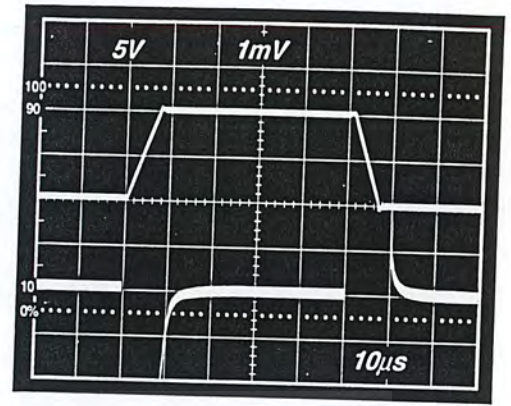


Figure 21. Large Signal Response and Settling Time, $G = 10$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

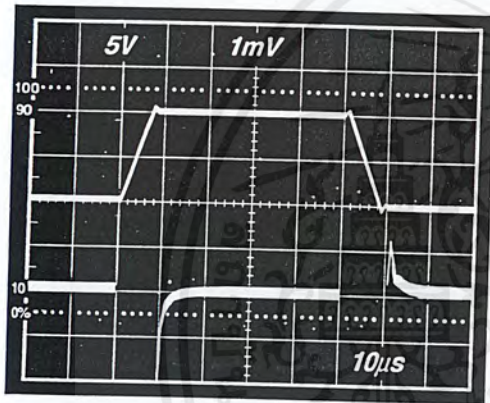


Figure 19. Large Signal Pulse Response and Settling Time $G = 1$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

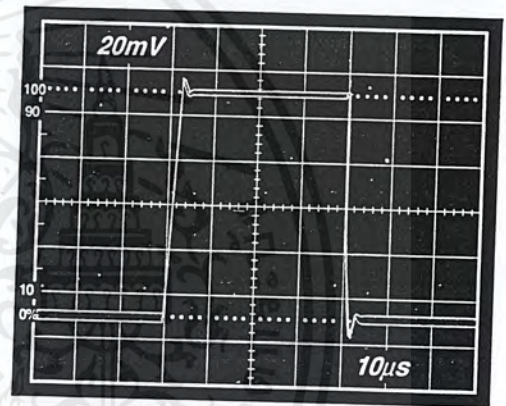


Figure 22. Small Signal Response, $G = 10$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

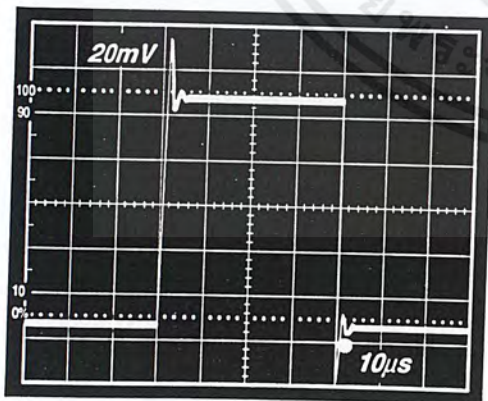


Figure 20. Small Signal Response, $G = 1$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

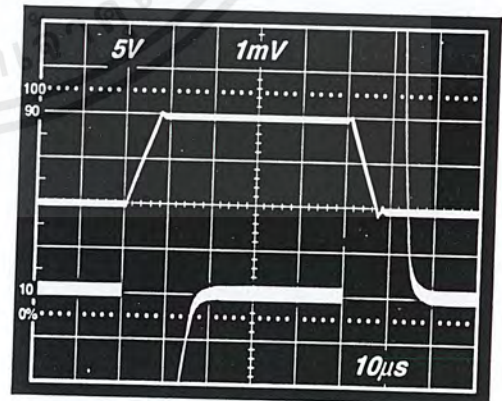


Figure 23. Large Signal Response and Settling Time, $G = 100$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

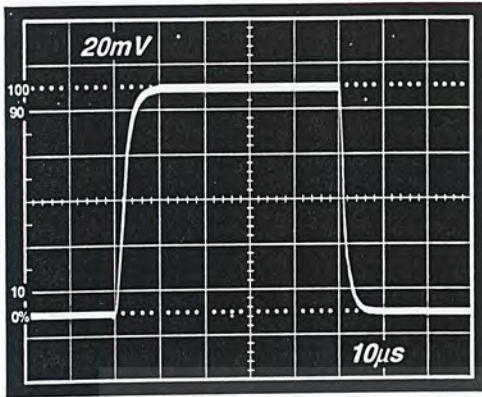


Figure 24. Small Signal Pulse Response, $G = 100$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $CL = 100\text{ pF}$

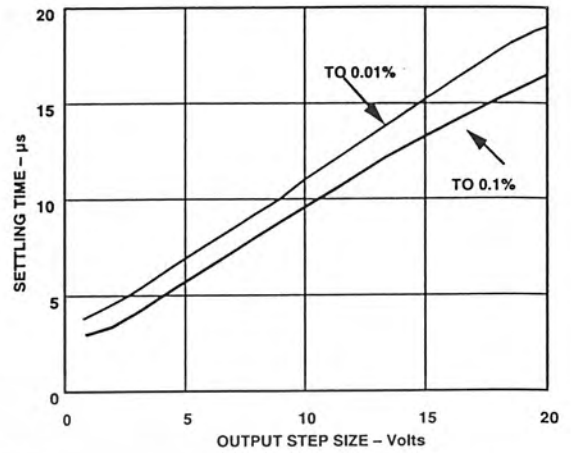


Figure 27. Settling Time vs. Step Size ($G = 1$)

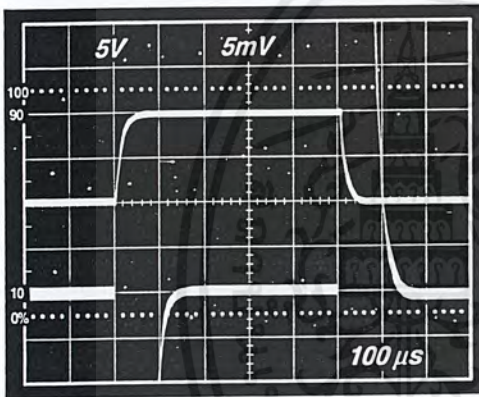


Figure 25. Large Signal Response and Settling Time, $G = 1000$ ($0.5\text{ mV} = 0.01\%$)

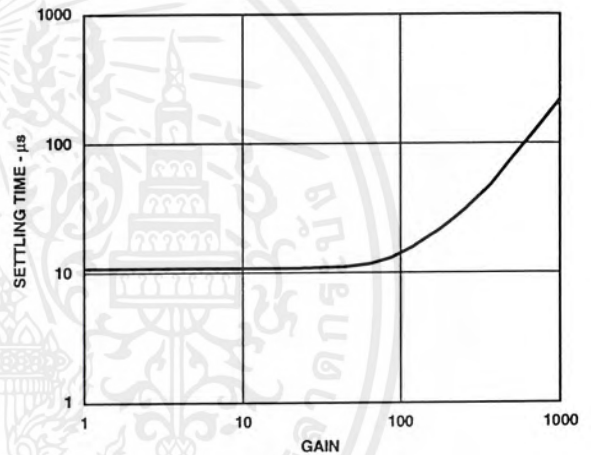


Figure 28. Settling Time to 0.01% vs. Gain, for a 10 V Step

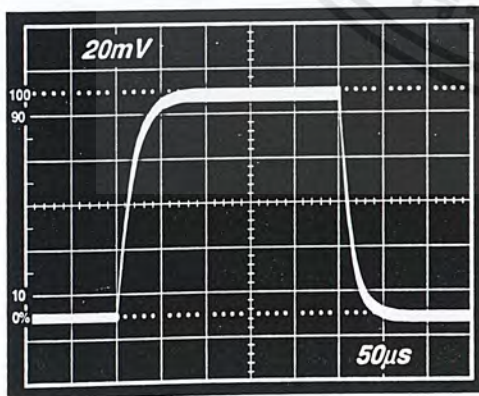


Figure 26. Small Signal Pulse Response, $G = 1000$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $CL = 100\text{ pF}$

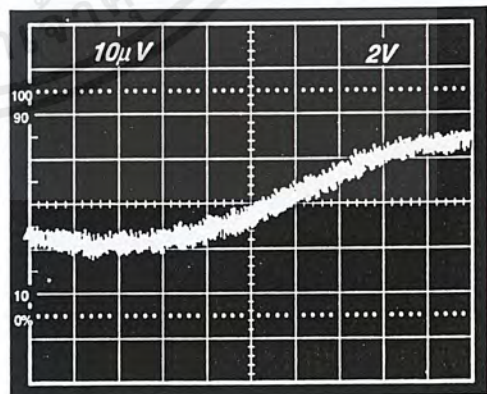


Figure 29a. Gain Nonlinearity, $G = 1$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ($10\text{ }\mu\text{V} = 1\text{ ppm}$)

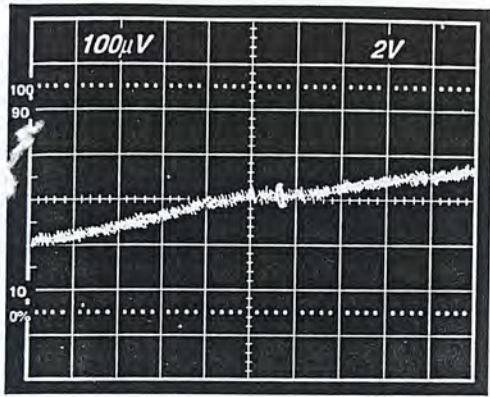


Figure 29b. Gain Nonlinearity, $G = 100$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$
($100\text{ }\mu\text{V} = 10\text{ ppm}$)

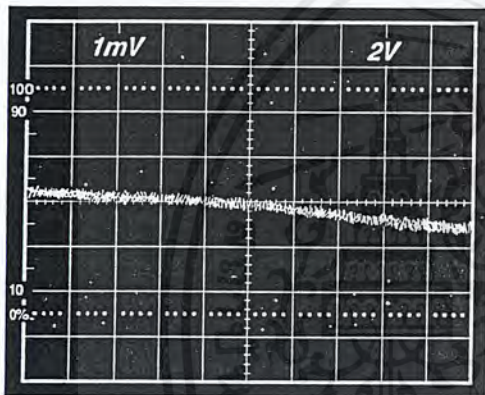


Figure 29c. Gain Nonlinearity, $G = 1000$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$
($1\text{ mV} = 100\text{ ppm}$)

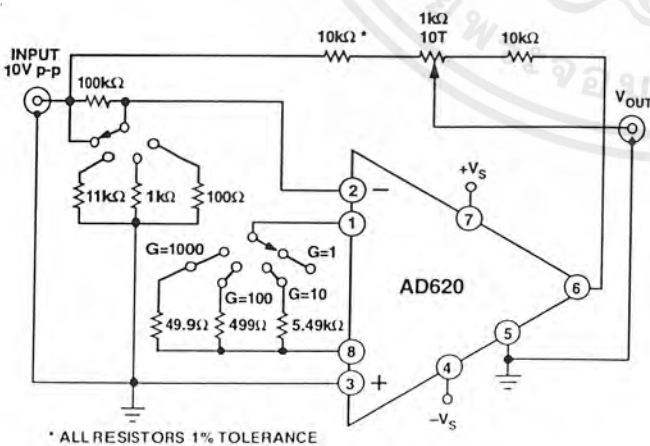


Figure 30. Settling Time Test Circuit

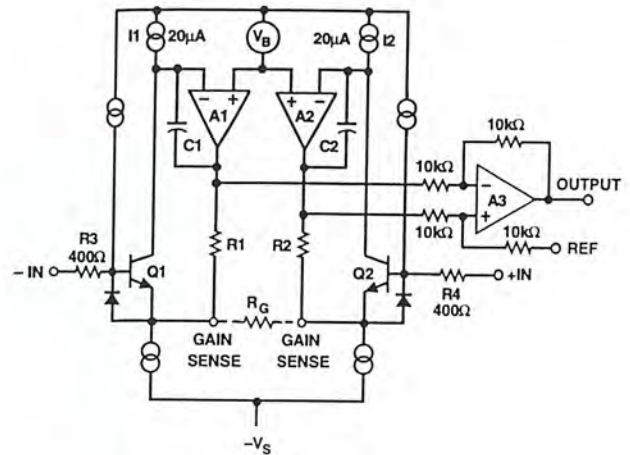


Figure 31. Simplified Schematic of AD620

THEORY OF OPERATION

The AD620 is a monolithic instrumentation amplifier based on a modification of the classic three op amp approach. Absolute value trimming allows the user to program gain accurately (to 0.15% at $G = 100$) with only one resistor. Monolithic construction and laser wafer trimming allow the tight matching and tracking of circuit components, thus insuring the high level of performance inherent in this circuit.

The input transistors Q1 and Q2 provide a single differential-pair bipolar input for high precision (Figure 31), yet offer 10x lower Input Bias Current thanks to Superbeta processing. Feedback through the Q1-A1-R1 loop and the Q2-A2-R2 loop maintains constant collector current of the input devices Q1, Q2 thereby impressing the input voltage across the external gain setting resistor R_G . This creates a differential gain from the inputs to the A1/A2 outputs given by $G = (R1 + R2)/R_G + 1$. The unity-gain subtracter A3 removes any common-mode signal, yielding a single-ended output referred to the REF pin potential.

The value of R_G also determines the transconductance of the preamp stage. As R_G is reduced for larger gains, the transconductance increases asymptotically to that of the input transistors. This has three important advantages: (a) Open-loop gain is boosted for increasing programmed gain, thus reducing gain-related errors. (b) The gain-bandwidth product (determined by C1, C2 and the preamp transconductance) increases with programmed gain, thus optimizing frequency response. (c) The input voltage noise is reduced to a value of $9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, determined mainly by the collector current and base resistance of the input devices.

The internal gain resistors, R1 and R2, are trimmed to an absolute value of $24.7\text{ k}\Omega$, allowing the gain to be programmed accurately with a single external resistor.

The gain equation is then

$$G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{R_G} + 1$$

so that

$$R_G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{G - 1}$$

Make vs. Buy: A Typical Bridge Application Error Budget
 The AD620 offers improved performance over "homebrew" three op amp IA designs, along with smaller size, less components and 10x lower supply current. In the typical application, shown in Figure 32, a gain of 100 is required to amplify a bridge output of 20 mV full scale over the industrial temperature range of -40°C to +85°C. The error budget table below shows how to calculate the effect various error sources have on circuit accuracy.

Regardless of the system it is being used in, the AD620 provides greater accuracy, and at low power and price. In simple systems, absolute accuracy and drift errors are by far the most significant

contributors to error. In more complex systems with an intelligent processor, an auto-gain/auto-zero cycle will remove all absolute accuracy and drift errors leaving only the resolution errors of gain nonlinearity and noise, thus allowing full 14-bit accuracy.

Note that for the homebrew circuit, the OP07 specifications for input voltage offset and noise have been multiplied by $\sqrt{2}$. This is because a three op amp type in amp has two op amps at its inputs, both contributing to the overall input error.

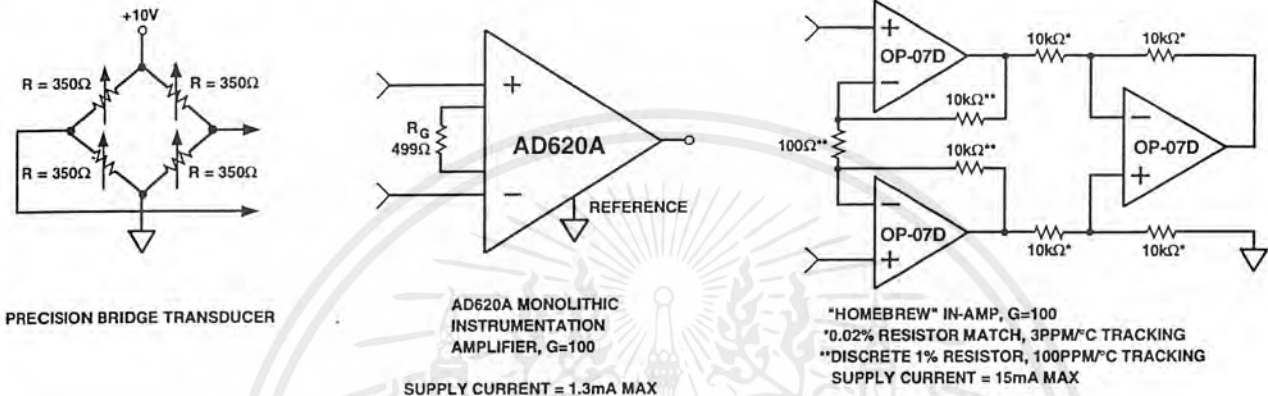


Figure 32. Make vs. Buy

Table I. Make vs. Buy Error Budget

Error Source	AD620 Circuit Calculation	"Homebrew" Circuit Calculation	Error, ppm of Full Scale	
			AD620	Homebrew
ABSOLUTE ACCURACY at T_A = +25°C				
Input Offset Voltage, μV	125 $\mu\text{V}/20 \text{ mV}$	$(150 \mu\text{V} \times \sqrt{2})/20 \text{ mV}$	6,250	10,607
Output Offset Voltage, μV	1000 $\mu\text{V}/100/20 \text{ mV}$	$((150 \mu\text{V} \times 2)/100)/20 \text{ mV}$	500	150
Input Offset Current, nA	2 nA $\times 350 \Omega/20 \text{ mV}$	$(6 \text{ nA} \times 350 \Omega)/20 \text{ mV}$	18	53
CMR, dB	110 dB $\rightarrow 3.16 \text{ ppm}, \times 5 \text{ V}/20 \text{ mV}$	$(0.02\% \text{ Match} \times 5 \text{ V})/20 \text{ mV}/100$	791	500
DRIFT TO +85°C				
Gain Drift, ppm/°C	$(50 \text{ ppm} + 10 \text{ ppm}) \times 60^\circ\text{C}$	100 ppm/°C Track $\times 60^\circ\text{C}$	3,600	6,000
Input Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/20 \text{ mV}$	$(2.5 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times \sqrt{2} \times 60^\circ\text{C})/20 \text{ mV}$	3,000	10,607
Output Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/100/20 \text{ mV}$	$(2.5 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 2 \times 60^\circ\text{C})/100/20 \text{ mV}$	450	150
RESOLUTION				
Gain Nonlinearity, ppm of Full Scale	40 ppm	40 ppm	40	40
Typ 0.1 Hz-10 Hz Voltage Noise, $\mu\text{V p-p}$	0.28 $\mu\text{V p-p}/20 \text{ mV}$	$(0.38 \mu\text{V p-p} \times \sqrt{2})/20 \text{ mV}$	14	27
Total Drift Error			7,050	16,757
Total Resolution Error			54	67
Grand Total Error			14,662	28,134

G = 100, V_S = $\pm 15 \text{ V}$.

(All errors are min/max and referred to input.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 REV. D
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

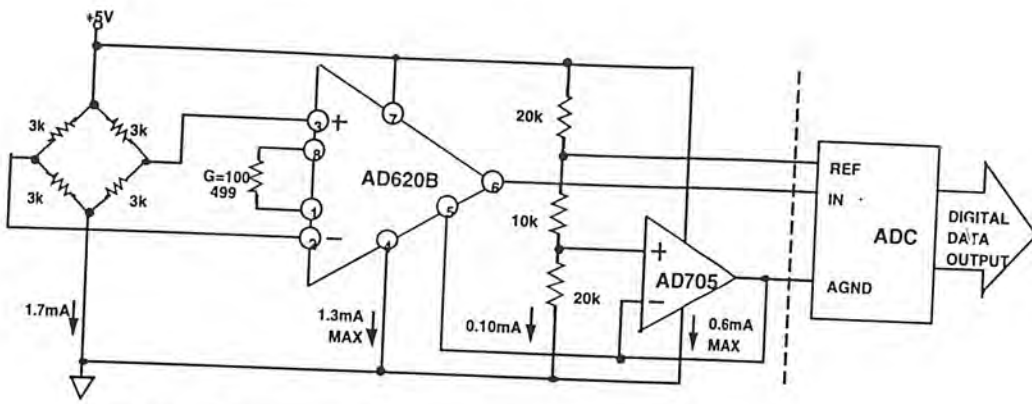


Figure 33. A Pressure Monitor Circuit which Operates on a +5 V Single Supply

Pressure Measurement

Although useful in many bridge applications such as weigh scales, the AD620 is especially suited for higher resistance pressure sensors powered at lower voltages where small size and low power become more significant.

Figure 33 shows a 3 kΩ pressure transducer bridge powered from +5 V. In such a circuit, the bridge consumes only 1.7 mA. Adding the AD620 and a buffered voltage divider allows the signal to be conditioned for only 3.8 mA of total supply current.

Small size and low cost make the AD620 especially attractive for voltage output pressure transducers. Since it delivers low noise and drift, it will also serve applications such as diagnostic non-invasive blood pressure measurement.

Medical ECG

The low current noise of the AD620 allows its use in ECG monitors (Figure 34) where high source resistances of 1 MΩ or higher are not uncommon. The AD620's low power, low supply voltage requirements, and space-saving 8-pin mini-DIP and SOIC package offerings make it an excellent choice for battery powered data recorders.

Furthermore, the low bias currents and low current noise coupled with the low voltage noise of the AD620 improve the dynamic range for better performance.

The value of capacitor C1 is chosen to maintain stability of the right leg drive loop. Proper safeguards, such as isolation, must be added to this circuit to protect the patient from possible harm.

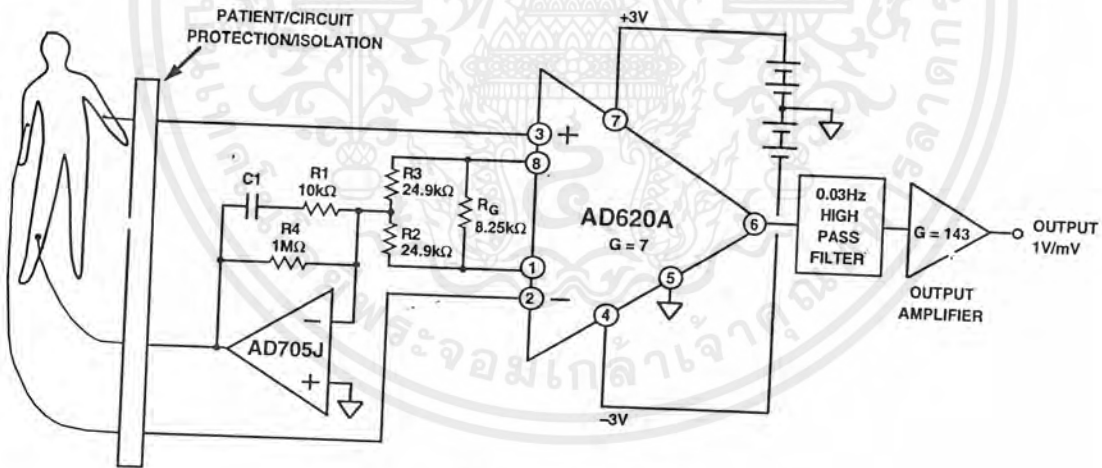


Figure 34. A Medical ECG Monitor Circuit

Precision V-I Converter

The AD620 along with another op amp and two resistors make a precision current source (Figure 35). The op amp buffers the reference terminal to maintain good CMR. The output voltage V_X of the AD620 appears across R_1 which converts it to a current. This current less only the input bias current of the op amp then flows out to the load.

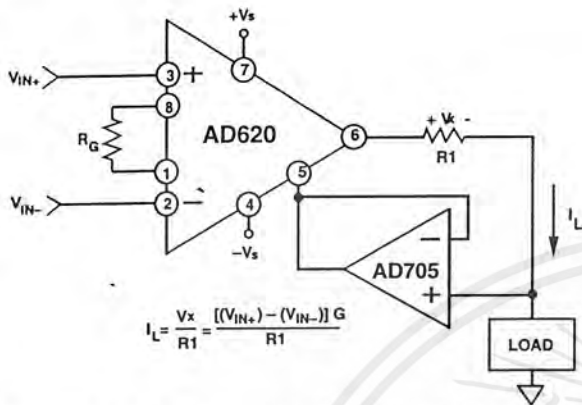


Figure 35. Precision Voltage-to-Current Converter (Operates on 1.8 mA, ± 3 V)

GAIN SELECTION

The AD620's gain is resistor programmed by R_G ; or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The AD620 is designed to offer accurate gains using 0.1%–1% resistors. Table II shows required values of R_G for various gains. Note that for $G = 1$, the R_G pins are unconnected ($R_G = \infty$). For any arbitrary gain R_G can be calculated by using the formula:

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

To minimize gain error avoid high parasitic resistance in series with R_G , and to minimize gain drift R_G should have a low TC—less than 10 ppm/ $^{\circ}$ C for the best performance.

Table II. Required Values of Gain Resistors

1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003

INPUT AND OUTPUT OFFSET VOLTAGE

The low errors of the AD620 are attributed to two sources, input and output errors. The output error is divided by G when referred to the input. In practice, the input errors dominate at high gains and the output errors dominate at low gains. The total V_{OS} for a given gain is calculated as:

$$\text{Total Error RTI} = \text{input error} + (\text{output error}/G)$$

$$\text{Total Error RTO} = (\text{input error} \times G) + \text{output error}$$

REFERENCE TERMINAL

The reference terminal potential defines the zero output voltage, and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output, with an allowable range of 2 V within the supply voltages. Parasitic resistance should be kept to a minimum for optimum CMR.

INPUT PROTECTION

The AD620 features 400 Ω of series thin film resistance at its inputs, and will safely withstand input overloads of up to ± 15 V or ± 60 mA for several hours. This is true for all gains, and power on and off, which is particularly important since the signal source and amplifier may be powered separately. For longer time periods, the current should not exceed 6 mA ($I_{IN} \leq V_{IN}/400 \Omega$). For input overloads beyond the supplies, clamping the inputs to the supplies (using a low leakage diode such as an FD333) will reduce the required resistance, yielding lower noise.

RF INTERFERENCE

All instrumentation amplifiers can rectify out of band signals, and when amplifying small signals, these rectified voltages act as small dc offset errors. The AD620 allows direct access to the input transistor bases and emitters enabling the user to apply some first order filtering to unwanted RF signals (Figure 36), where $RC \approx 1/(2 \pi f)$ and where $f \geq$ the bandwidth of the AD620; $C \leq 150$ pF. Matching the extraneous capacitance at Pins 1 and 8, and Pins 2 and 3 helps to maintain high CMR.

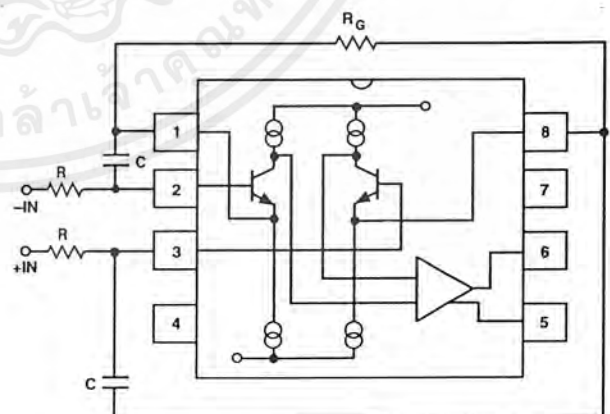


Figure 36. Circuit to Attenuate RF Interference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMMON-MODE REJECTION

Instrumentation amplifiers like the AD620 offer high CMR which is a measure of the change in output voltage when both inputs are changed by equal amounts. These specifications are usually given for a full-range input voltage change and a specified source imbalance.

For optimal CMR the reference terminal should be tied to a low impedance point, and differences in capacitance and resistance should be kept to a minimum between the two inputs. In many applications shielded cables are used to minimize noise, and for best CMR over frequency the shield should be properly driven. Figures 37 and 38 show active data guards which are configured to improve ac common-mode rejections by "bootstrapping" the capacitances of input cable shields, thus minimizing the capacitance mismatch between the inputs.

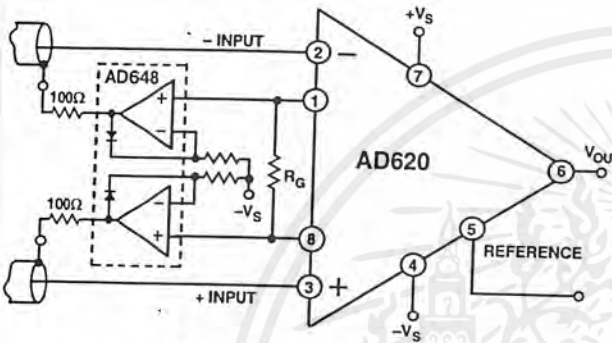


Figure 37. Differential Shield Driver

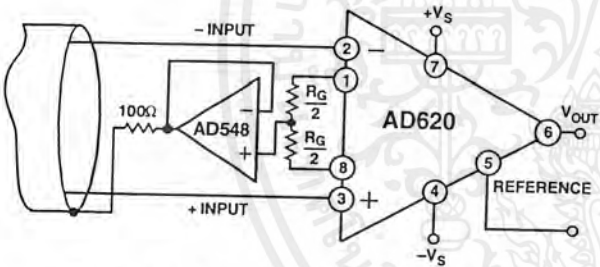


Figure 38. Common-Mode Shield Driver

GROUNDING

Since the AD620 output voltage is developed with respect to the potential on the reference terminal, it can solve many grounding

problems by simply tying the REF pin to the appropriate "local ground."

In order to isolate low level analog signals from a noisy digital environment, many data-acquisition components have separate analog and digital ground pins (Figure 39). It would be convenient to use a single ground line, however, current through ground wires and PC runs of the circuit card can cause hundreds of millivolts of error. Therefore, separate ground returns should be provided to minimize the current flow from the sensitive points to the system ground. These ground returns must be tied together at some point, usually best at the ADC package as shown.

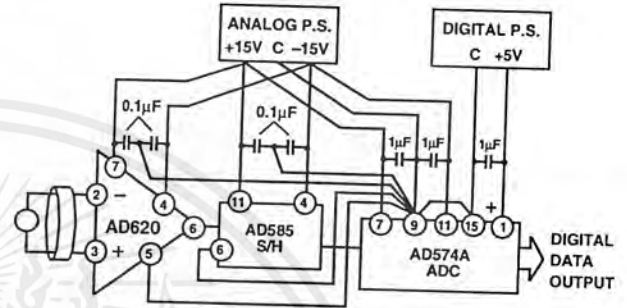


Figure 39. Basic Grounding Practice

GROUND RETURNS FOR INPUT BIAS CURRENTS

Input bias currents are those currents necessary to bias the input transistors of an amplifier. There must be a direct return path

for these currents; therefore when amplifying "floating" input

sources such as transformers, or ac-coupled sources, there must be a dc path from each input to ground as shown in Figure 40. Refer to the *Instrumentation Amplifier Application Guide* (free from Analog Devices) for more information regarding in amp applications.

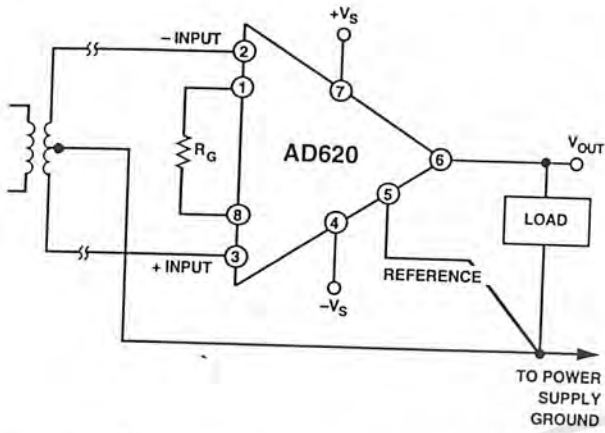


Figure 40a. Ground Returns for Bias Currents with Transformer Coupled Inputs

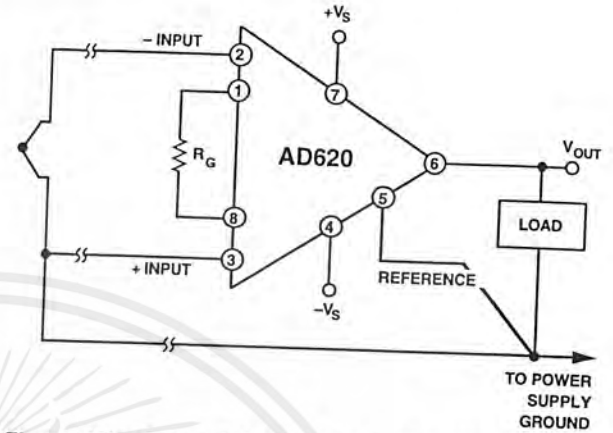


Figure 40b. Ground Returns for Bias Currents with Thermocouple Inputs

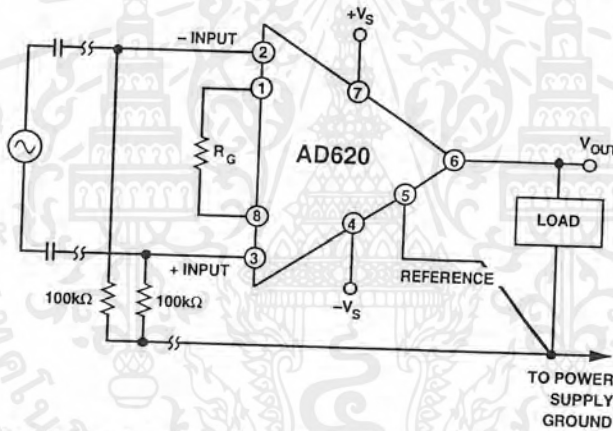
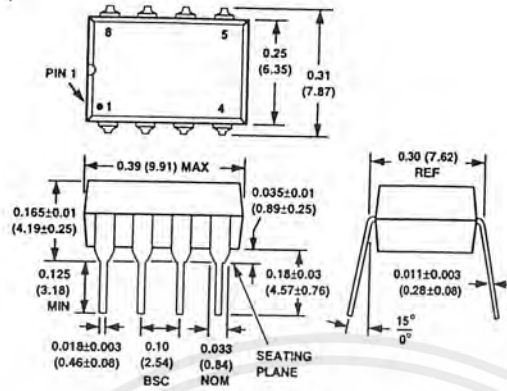


Figure 40c. Ground Returns for Bias Currents with AC Coupled Inputs

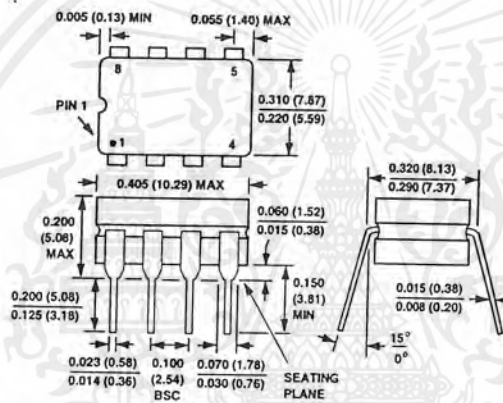
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

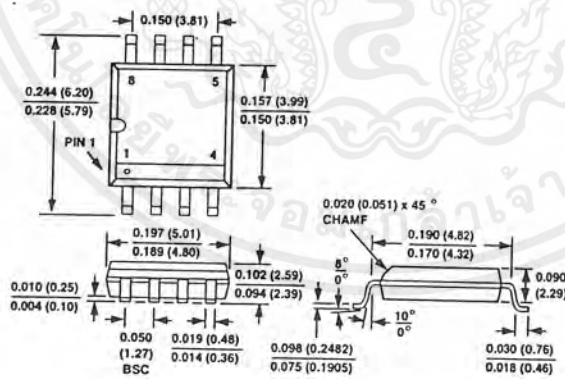
Plastic DIP (N-8) Package



Cerdip (Q-8) Package



SOIC (R-8) Package



All brand or product names mentioned are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

TA/TS/FAD SERIES

คุณสมบัติเด่น

- รุ่น TA
รับน้ำหนัก 100, 150, 200, 300, 500, 750, และ 1000 กก.
ทำจากอลูมิเนียม
- รุ่น TS
รับน้ำหนัก 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000,
1500 และ 2000 กก.
ทำจาก High grade alloy tool steel
- รุ่น FAD
รับน้ำหนัก 5, 6, 10, 15, 30, 45 และ 60 กก.



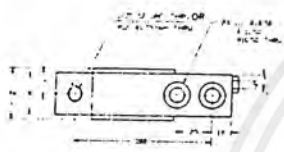
SHEAR BEAM
TA



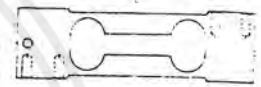
SINGLE POINT
FAD

ขนาด (มม.)

TA



FAD



คุณสมบัติทางเทคนิค

TA/TS SERIES

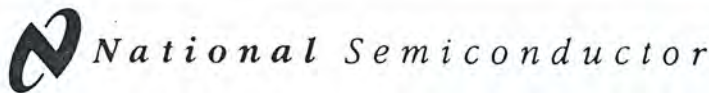
Rated output.....	2.0mV/V±1%
Zero balance.....	± 1% of rated output
Creep after 20 minutes.....	0.03% of rated output
Nonlinearity.....	0.03% of rated output
Hysteresis.....	0.02% of rated output
Repeatability.....	0.02% of rated output
Temperature effect on output.....	0.002% of applied output/°C
Temperature effect on zero.....	0.002% of rated output/°C
Safe temperature range.....	-10°C to + 80°C
Temperature compensated.....	-10°C to + 50°C
Safe overload.....	1.5 x rated capacity
Input impedance.....	400 ohm ± 30 ohm
Output impedance.....	350 ohm ± 3 ohm
Insulation resistance.....	>5000 megohms
Recommended excitation.....	10V DC/AC
Maximum excitation.....	20V DC/AC
Cable length.....	2.75M

FAD SERIES

Rated output.....	1.6mV/V±10%
Zero balance.....	± 5% of rated output
Creep after 20 minutes.....	0.02% of rated output
Nonlinearity.....	0.02% of rated output
Hysteresis.....	0.02% of rated output
Repeatability.....	0.02% of rated output
Temperature effect on output.....	0.002% of applied output/°C
Temperature effect on zero.....	0.001% of rated output/°C
Safe temperature range.....	-10°C to + 80°C
Temperature compensated.....	-10°C to + 50°C
Safe overload.....	1.5 x rated capacity
Input impedance.....	400 ohm ± 30 ohm
Output impedance.....	350 ohm ± 3 ohm
Insulation resistance.....	>5000 megohms
Recommended excitation.....	10V DC/AC
Maximum excitation.....	20V DC/AC
Cable length.....	1.75M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน





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

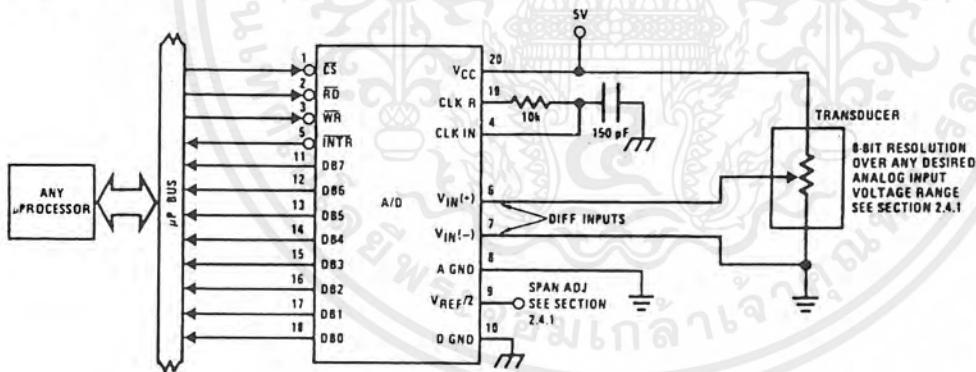
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

- 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

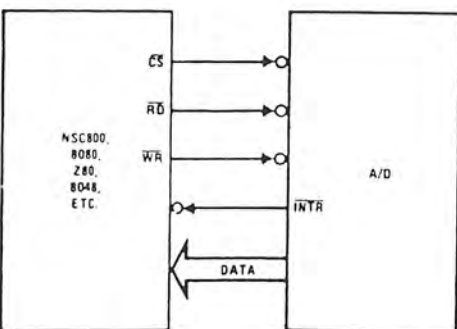
- Resolution: 8 bits
- Total error: $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time: 100 μ s

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)	$V_{REF}/2 = \text{No Connection}$ (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
Voltage	
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, ADC0802LJ/883	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$
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 $f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$ 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	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$ (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	\overline{INTR} tied to \overline{WR} with $CS = 0 V_{DC}$, $f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$	8770		9708	conv/s
$t_{W(\overline{WR})L}$	Width of \overline{WR} Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS} = 0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid)	$C_L = 100 \text{ pF}$		135	200	ns
t_{1H}, t_{0H}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of \overline{RD} to Hi-Z State)	$C_L = 10 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t_{WI}, t_{RI}	Delay from Falling Edge of \overline{WR} or \overline{RD} to Reset of \overline{INTR}			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]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805

2

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)	$f_{CLK} = 640 kHz$, $V_{REF/2} = NC, T_A = 25^\circ C$ and $\overline{CS} = 5V$				
	ADC0801/02/03/04LCJ/05			1.1	1.8	mA
	ADC0804LCN/LCV/LCWM			1.9	2.5	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 $I_{CLK} = 640 kHz$. 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 \overline{CS} input is assumed to bracket the \overline{WR} strobe input and therefore timing is dependent on the \overline{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 \overline{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 .

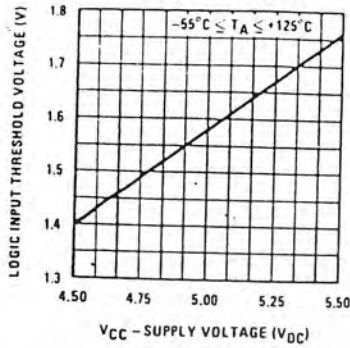
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ห้ามการใช้นอกเหนือจากที่ระบุไว้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
2-21

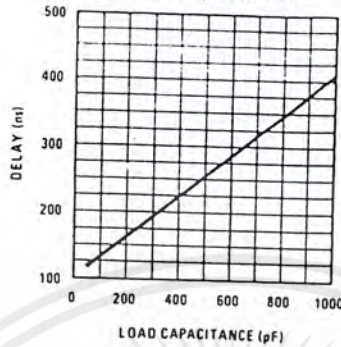
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

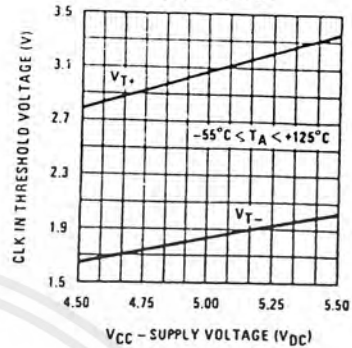
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



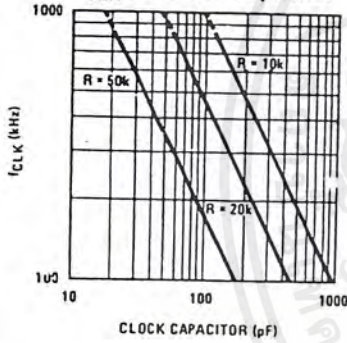
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



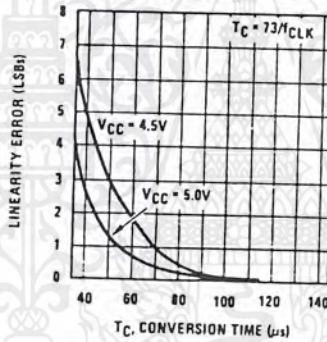
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



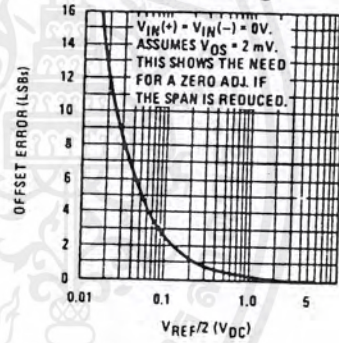
fCLK vs. Clock Capacitor



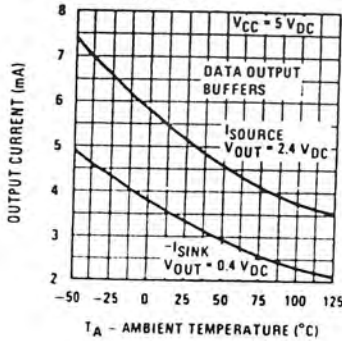
Full-Scale Error vs Conversion Time



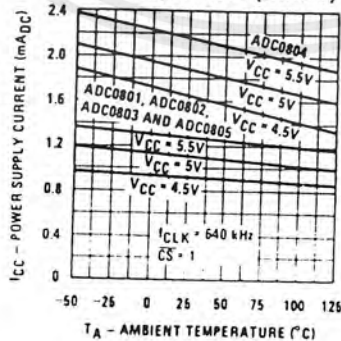
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



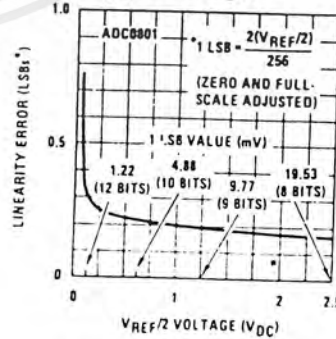
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)

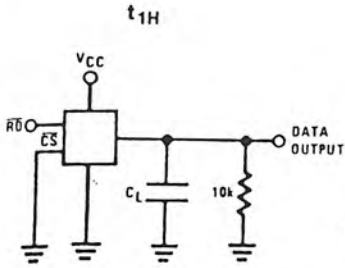


Linearity Error at Low VREF/2 Voltages

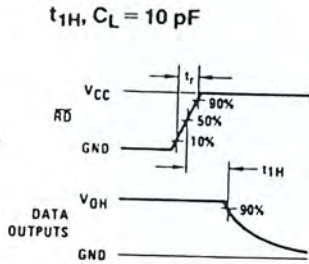


TL/H/5671-2

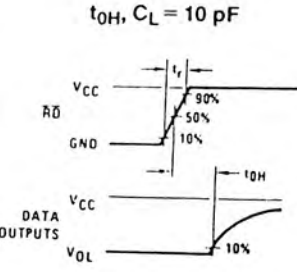
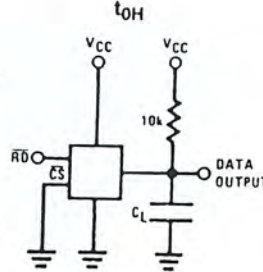
TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



$t_r = 20 \text{ ns}$



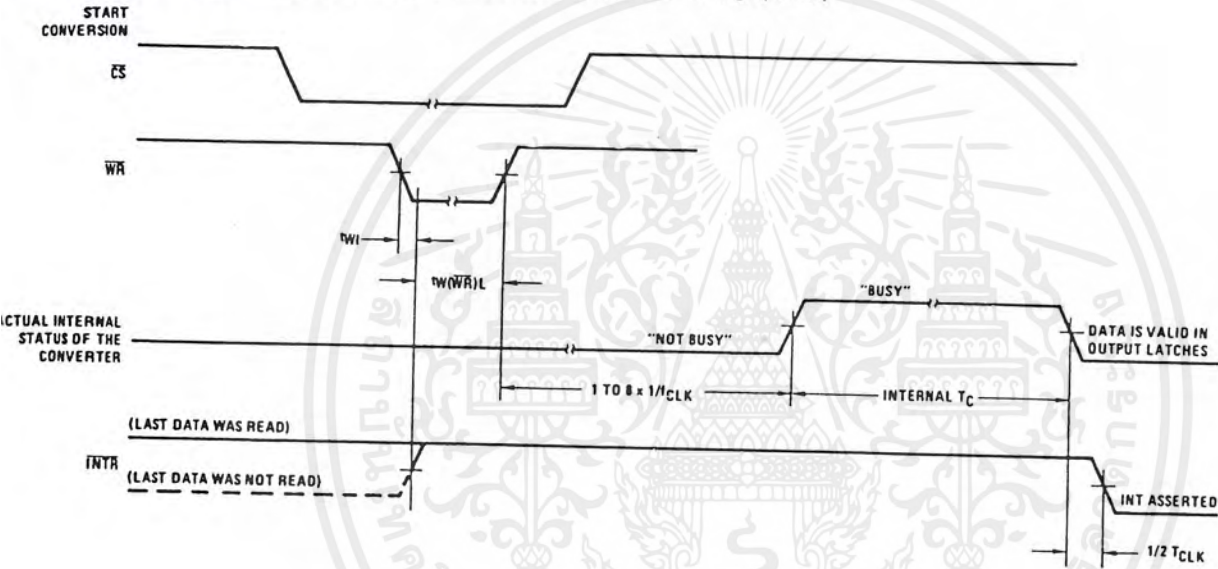
$t_{1H}, C_L = 10 \text{ pF}$



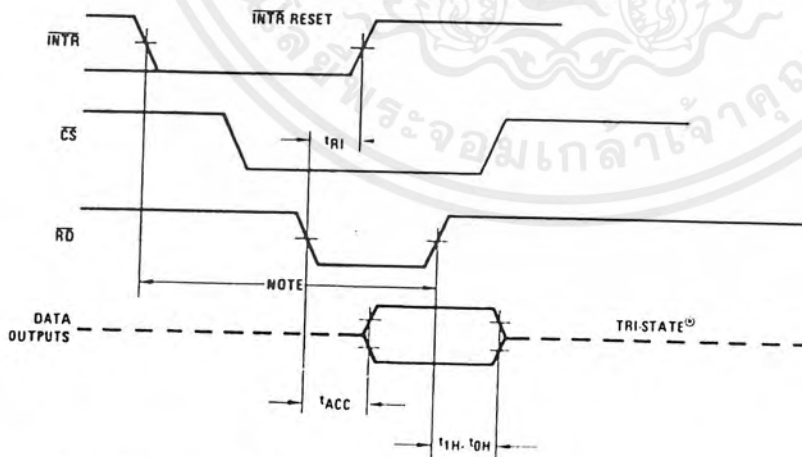
$t_r = 20 \text{ ns}$

TL/H/5671-3

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



Output Enable and Reset $\overline{\text{INTR}}$



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

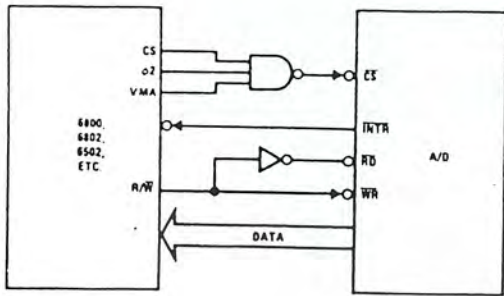
TL/H/5671-4

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805

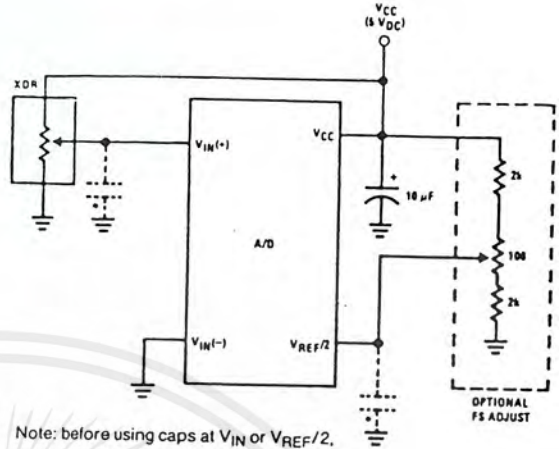
2

Typical Applications (Continued)

6800 Interface

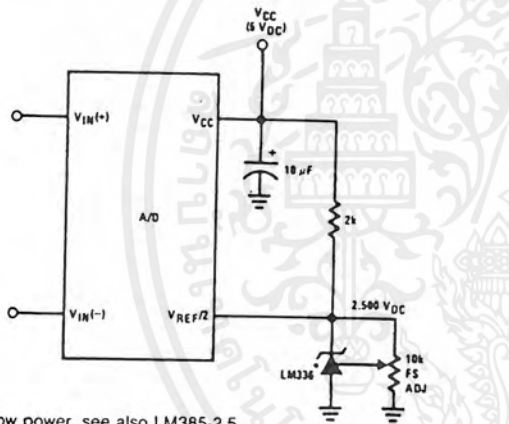


Ratiometric with Full-Scale Adjust



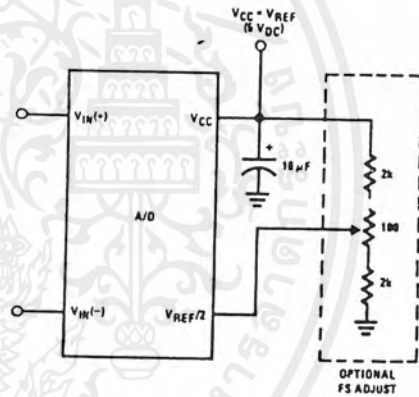
Note: before using caps at V_{IN} or $V_{REF}/2$, see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors.

Absolute with a 2.500V Reference



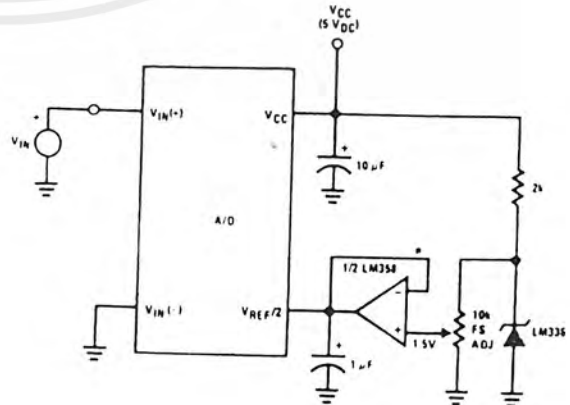
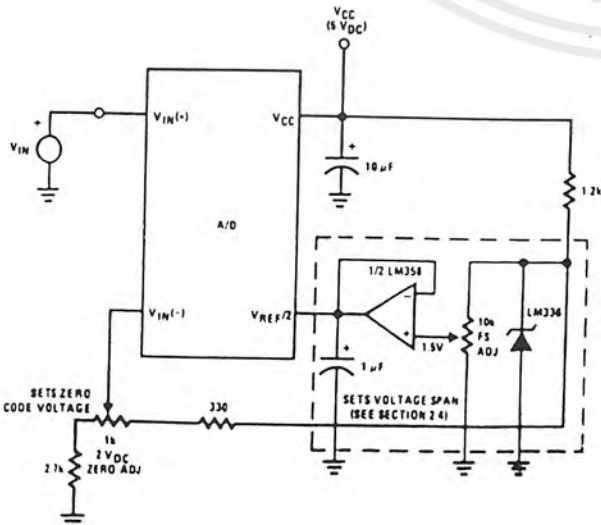
*For low power, see also LM385-2.5

Absolute with a 5V Reference

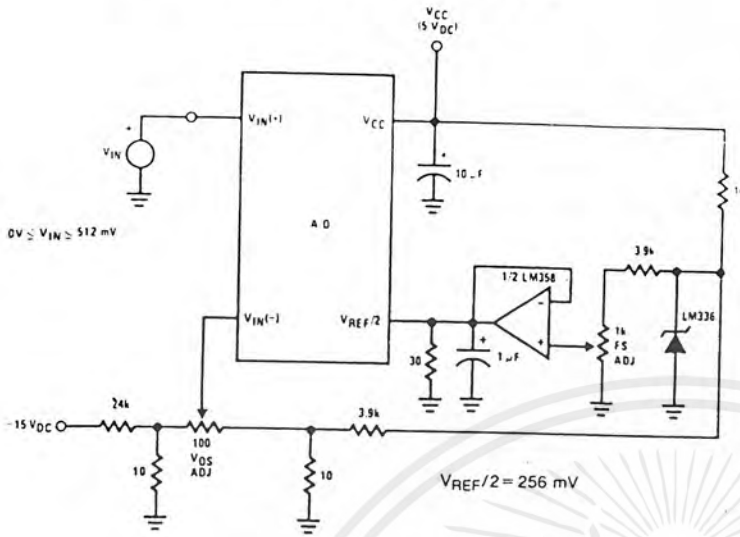


Zero-Shift and Span Adjust: $2V \leq V_{IN} \leq 5V$

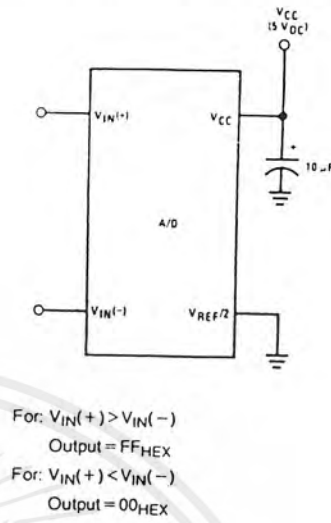
Span Adjust: $0V \leq V_{IN} \leq 3V$



Directly Converting a Low-Level Signal

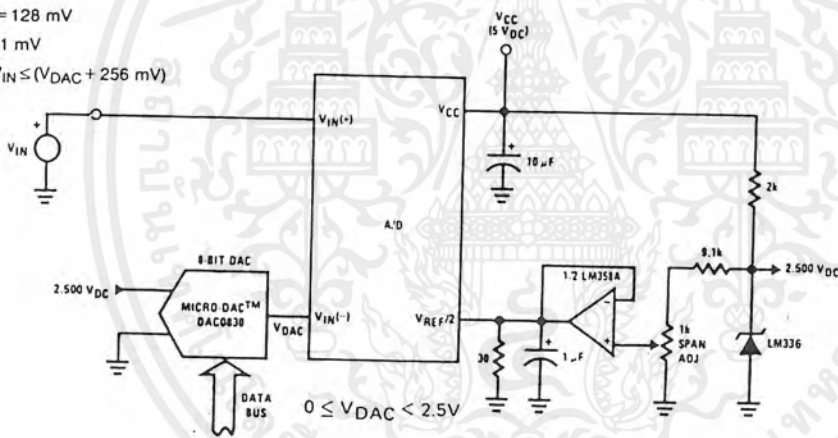


A μP Interfaced Comparator

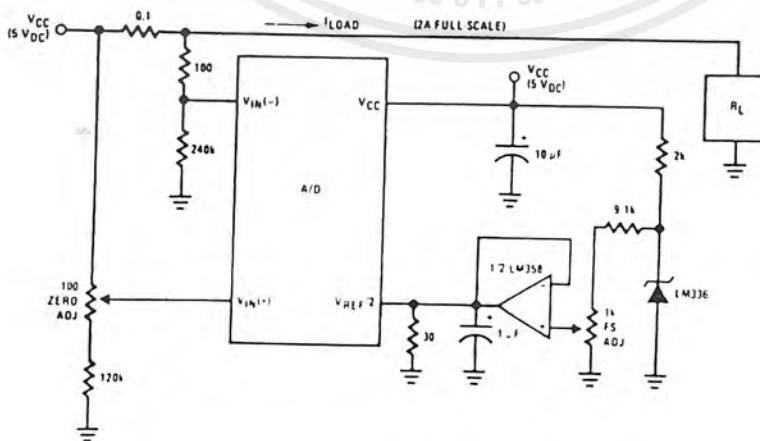


1 mV Resolution with μP Controlled Range

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

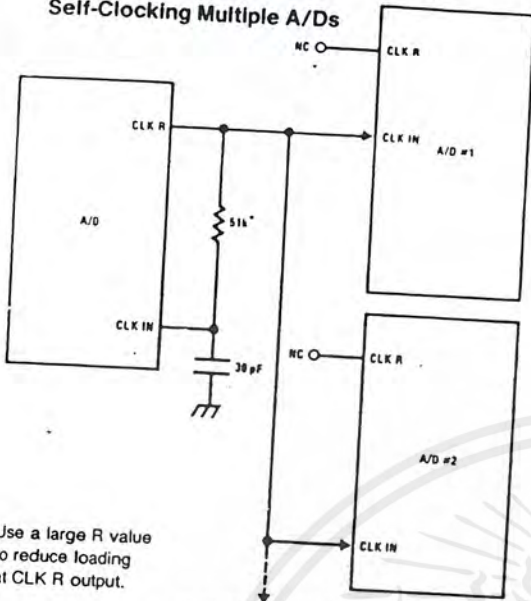


Digitizing a Current Flow



Typical Applications (Continued)

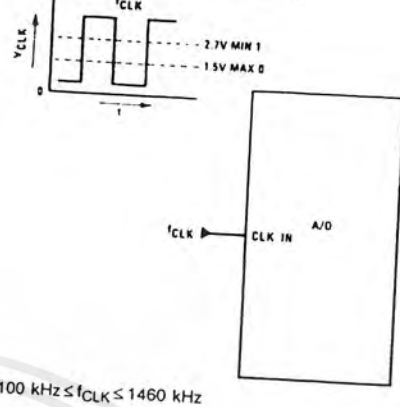
Self-Clocking Multiple A/Ds



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

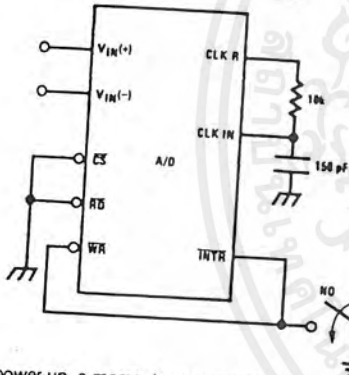
IF MORE THAN 5 ADDITIONAL A/Ds, USE A CMOS BUFFER (NOT T2L)

External Clocking



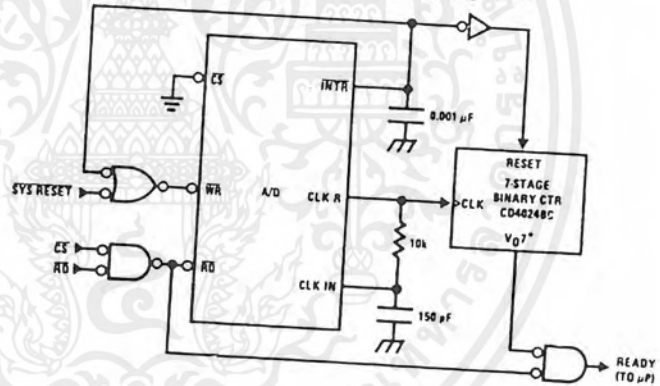
$$100 \text{ kHz} \leq f_{\text{CLK}} \leq 1460 \text{ kHz}$$

Self-Clocking in Free-Running Mode

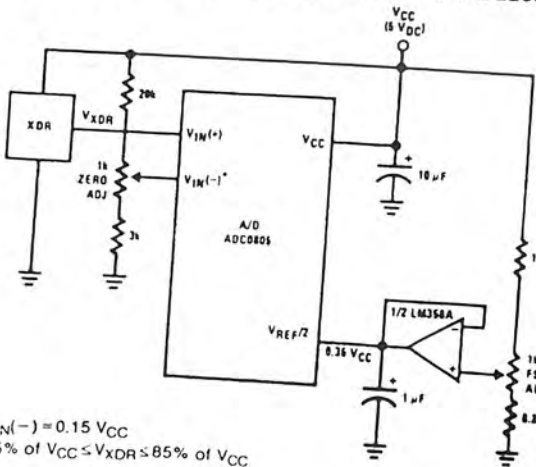


*After power-up, a momentary grounding of the WR input is needed to guarantee operation.

μP Interface for Free-Running A/D

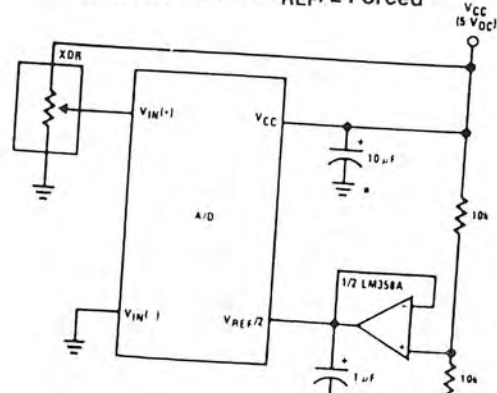


Operating with "Automotive" Ratiometric Transducers



* $V_{IN(-)} = 0.15 V_{CC}$
 $15\% \text{ of } V_{CC} \leq V_{XDR} \leq 85\% \text{ of } V_{CC}$

Ratiometric with $V_{REF}/2$ Forced



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

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

Supply Voltage (V _{CC})	-0.3V to +6V	16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	696mW
Input Voltages		16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} - 0.3V)	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
R _{IN}	±30V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
T _{OUT} (Note 1)	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	640mW
Output Voltages		16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
T _{OUT}	±15V	18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	Operating Temperature Ranges	
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_AC_, MAX2_C_	0°C to +70°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX2_AE_, MAX2_E_	-40°C to +85°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW	MAX2_AM_, MAX2_M_	-55°C to +125°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW	Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	440mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, SHDN or V_{CC} = 0V.

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

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

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND		±5	±8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High			2	1.4		V
Logic Pull-Up/Input Current	Normal operation			5	40	µA
	SHDN = 0V, MAX222/242, shutdown			±0.01	±1	
Output Leakage Current	V _{CC} = 5.5V, SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V, MAX222/242			±0.01	±10	µA
	V _{CC} = SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V			±0.01	±10	
Data Rate	All except MAX220, normal operation			200	116	kbits/sec
	MAX220					
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V ₊ = V ₋ = 0V, V _{OUT} = ±2V			22	20	
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V		300	10M		Ω
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}	0.8	1.3		V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}		1.8	2.4	V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V _{CC} = 5V, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
RS-232 Input Resistance	MAX243			1		
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA		3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND		3.5	V _{CC} - 0.2		mA
	Shrinking V _{OUT} = V _{CC}		-2	-10		
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = V _{CC} or $\bar{E}_N = V_{CC}$ (SHDN = 0V for MAX222), 0V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}			±0.05	±10	µA

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

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

($V_{CC} = +5V \pm 10\%$, $C_1-C_4 = 0.1\mu F$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

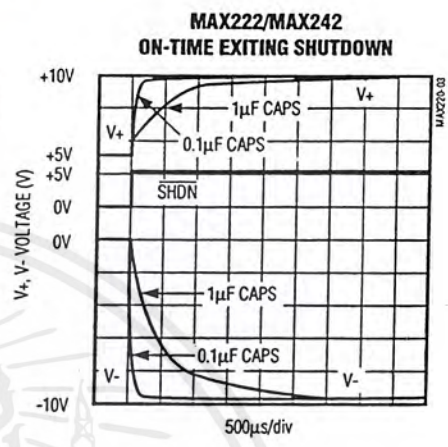
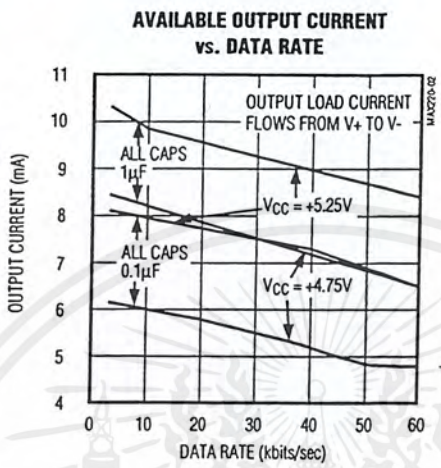
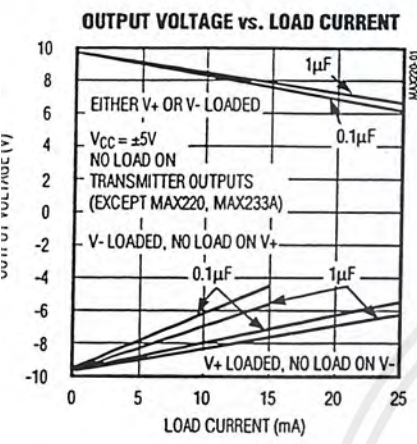
PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current ($\overline{SHDN} = V_{CC}$), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3k Ω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

Note 2: MAX243 R2OUT is guaranteed to be low when R2IN is $\geq 0V$ or is floating.

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

Typical Operating Characteristics

MAX220/MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243



MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรคัดลอก, ขัด, แก้ไข, หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

MAX220-MAX249

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230-MAX241

<p>V_{CC} -0.3V to +6V</p> <p>$V+$ ($V_{CC} - 0.3V$) to +14V</p> <p>$V-$ +0.3V to -14V</p> <p>Input Voltages</p> <p>T_{IN} -0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)</p> <p>R_{IN} $\pm 30V$</p> <p>Output Voltages</p> <p>T_{OUT} ($V+ + 0.3V$) to ($V- - 0.3V$)</p> <p>R_{OUT} -0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)</p> <p>Short-Circuit Duration, T_{OUT} Continuous</p> <p>Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ C$)</p> <p>14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 800mW</p> <p>16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 842mW</p> <p>20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 889mW</p> <p>24-Pin Narrow Plastic DIP (derate 13.33mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 1.07W</p> <p>24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 500mW</p> <p>16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 762mW</p>	<p>20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 800mW</p> <p>24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 941mW</p> <p>28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 1W</p> <p>44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 889mW</p> <p>14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 727mW</p> <p>16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 800mW</p> <p>20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 889mW</p> <p>24-Pin Narrow CERDIP (derate 12.50mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 1W</p> <p>24-Pin Sidebraze (derate 20.0mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 1.6W</p> <p>28-Pin SSOP (derate 9.52mW/$^\circ C$ above +70$^\circ C$) 762mW</p> <p>Operating Temperature Ranges</p> <p>MAX2__C__ 0$^\circ C$ to +70$^\circ C$</p> <p>MAX2__E__ -40$^\circ C$ to +85$^\circ C$</p> <p>MAX2__M__ -55$^\circ C$ to +125$^\circ C$</p> <p>Storage Temperature Range -65$^\circ C$ to +160$^\circ C$</p> <p>Lead Temperature (soldering, 10sec) +300$^\circ C$</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230-MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$; MAX233/MAX235, $V_{CC} = 5V \pm 5\%$, $C1-C4 = 1.0\mu F$; MAX231/MAX239, $V_{CC} = 5V \pm 10\%$; $V+ = 7.5V$ to 13.2V; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3k Ω to ground	± 5.0	± 7.3		V
V _{CC} Power-Supply Current	No load, $T_A = +25^\circ C$	MAX232/233	5	10	mA
		MAX223/230/234-238/240/241	7	15	
		MAX231/239	0.4	1	
V+ Power-Supply Current		MAX231	1.8	5	mA
		MAX239	5	15	
Shutdown Supply Current	$T_A = +25^\circ C$	MAX223	15	50	μA
		MAX230/235/236/240/241	1	10	
Input Logic Threshold Low	T_{IN} ; EN, \overline{SHDN} (MAX233); \overline{EN} , \overline{SHDN} (MAX230/235-241)			0.8	V
Input Logic Threshold High	T_{IN}	2.0			V
	EN, \overline{SHDN} (MAX223); \overline{EN} , \overline{SHDN} (MAX230/235/236/240/241)	2.4			
Logic Pull-Up Current	$T_{IN} = 0V$		1.5	200	μA
Receiver Input Voltage Operating Range		-30		30	V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230–MAX241 (continued)

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$; MAX233/MAX235, $V_{CC} = 5V \pm 5\%$, C_1 – $C_4 = 1.0\mu F$; MAX231/MAX239, $V_{CC} = 5V \pm 10\%$; $V_+ = 7.5V$ to $13.2V$; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS	
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation $\overline{SHDN} = 5V$ (MAX223) $SHDN = 0V$ (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V	
		Shutdown (MAX223) $\overline{SHDN} = 0V$, $EN = 5V$ (R_{4IN} , R_{5IN})	0.6	1.5			
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation $\overline{SHDN} = 5V$ (MAX223) $SHDN = 0V$ (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V	
		Shutdown (MAX223) $\overline{SHDN} = 0V$, $EN = 5V$ (R_{4IN} , R_{5IN})		1.5	2.4		
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$, no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V	
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k Ω	
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6mA$ (MAX231/232/233, $I_{OUT} = 3.2mA$)				0.4	V	
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V	
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$; $EN = 0V$ (MAX223); $\overline{EN} = V_{CC}$ (MAX235–241)			0.05	± 10	μA	
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns	
		MAX235/236/239/240/241		400			
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns	
		MAX235/236/239/240/241		250			
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT, $C_L = 150pF$	Normal operation		0.5	10	μs	
		$\overline{SHDN} = 0V$ (MAX223)	t_{PHLS}		4		40
			t_{PLHS}		6		40
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234–241, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ μs	
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30		
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$		300			Ω	
Transmitter Output Short-Circuit Current				± 10		mA	

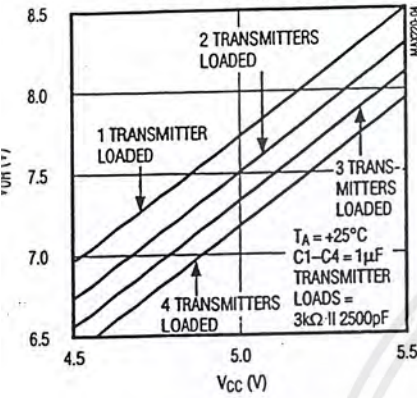
+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Typical Operating Characteristics

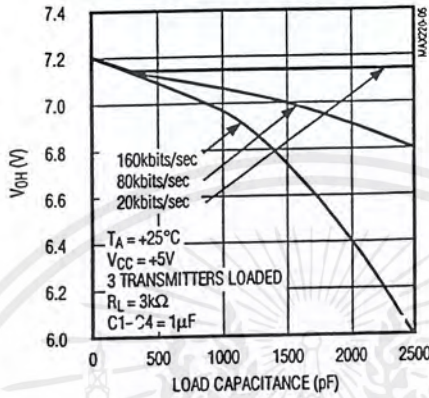
MAX220-MAX249

MAX223/MAX230-MAX241

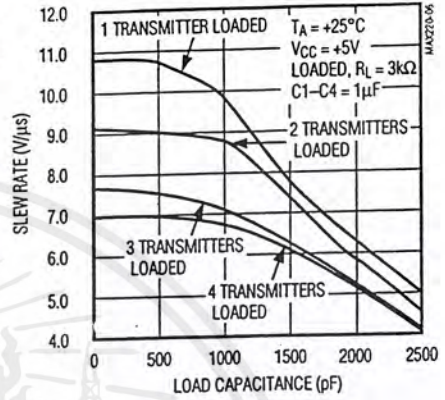
TRANSMITTER OUTPUT VOLTAGE (V_{OH}) vs. V_{CC}



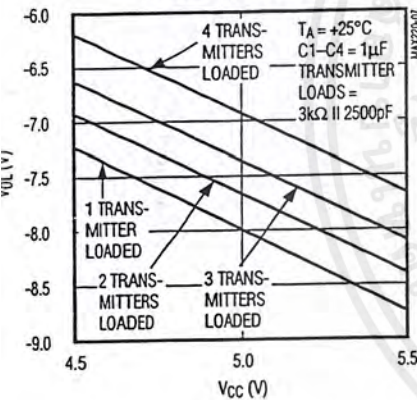
TRANSMITTER OUTPUT VOLTAGE (V_{OH}) vs. LOAD CAPACITANCE AT DIFFERENT DATA RATES



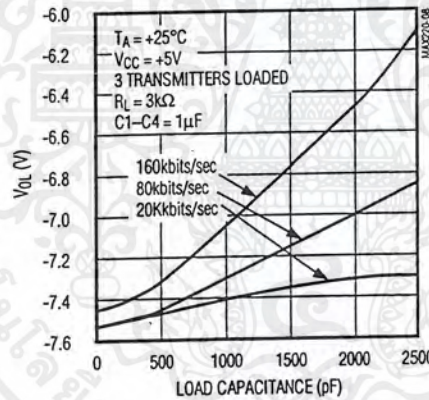
TRANSMITTER SLEW RATE vs. LOAD CAPACITANCE



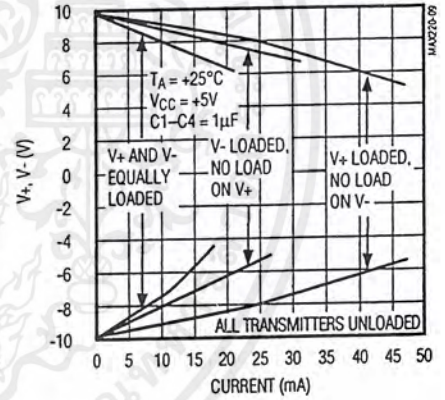
TRANSMITTER OUTPUT VOLTAGE (V_{OL}) vs. V_{CC}



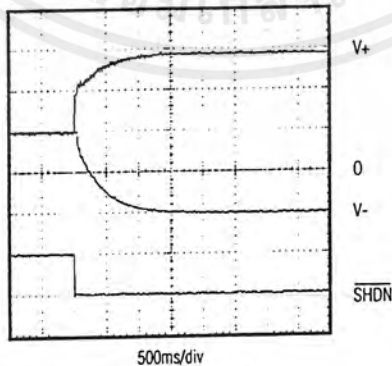
TRANSMITTER OUTPUT VOLTAGE (V_{OL}) vs. LOAD CAPACITANCE AT DIFFERENT DATA RATES



TRANSMITTER OUTPUT VOLTAGE (V₊, V₋) vs. LOAD CURRENT



V₊, V₋ WHEN EXITING SHUTDOWN (1µF CAPACITORS)



*SHUTDOWN POLARITY IS REVERSED FOR NON MAX241 PARTS

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

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX225/MAX244—MAX249

Supply Voltage (V_{CC})	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$)	
Input Voltages		28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$)	1W
\overline{I}_{IN} , \overline{ENA} , \overline{ENB} , \overline{ENR} , \overline{ENT} , \overline{ENRA} , \overline{ENRB} , \overline{ENTA} , \overline{ENTB}	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3$)	40-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$)	611mW
R_{IN}	$\pm 25\text{V}$	44-Pin PLCC (derate 13.33mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$)	1.07W
T_{OUT} (Note 3)	$\pm 15\text{V}$	Operating Temperature Ranges	
R_{OUT}	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3\text{V}$)	MAX225C_, MAX24_C_	0°C to $+70^\circ\text{C}$
Short Circuit (one output at a time)		MAX225E_, MAX24_E_	-40°C to $+85^\circ\text{C}$
T_{OUT} to GND	Continuous	Storage Temperature Range	-65°C to $+160^\circ\text{C}$
R_{OUT} to GND	Continuous	Lead Temperature (soldering, 10sec)	$+300^\circ\text{C}$

Note 3: Input voltage measured with transmitter output in a high-impedance state, shutdown, or $V_{CC} = 0\text{V}$.

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244—MAX249

(MAX225, $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 5\%$; MAX244—MAX249, $V_{CC} = +5.0\text{V} \pm 10\%$, external capacitors C1—C4 = $1\mu\text{F}$; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
RS-232 TRANSMITTERS						
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V	
Input Logic Threshold High		2	1.4		V	
Logic Pull-Up/Input Current	Tables 1a-1d	Normal operation		10	50	μA
		Shutdown		± 0.01	± 1	
Data Rate	Tables 1a-1d, normal operation		120	64	kbits/sec	
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with $3\text{k}\Omega$ to GND	± 5	± 7.5		V	
Output Leakage Current (shutdown)	Tables 1a-1d	\overline{ENA} , \overline{ENB} , \overline{ENT} , \overline{ENTA} , $\overline{ENTB} = V_{CC}$, $V_{OUT} = \pm 15\text{V}$		± 0.01	± 25	μA
		$V_{CC} = 0\text{V}$, $V_{OUT} = \pm 15\text{V}$		± 0.01	± 25	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0\text{V}$, $V_{OUT} = \pm 2\text{V}$ (Note 4)	300	10M		Ω	
Output Short-Circuit Current	$V_{OUT} = 0\text{V}$	± 7	± 30		mA	
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range				± 25	V	
RS-232 Input Threshold Low	$V_{CC} = 5\text{V}$	0.8	1.3		V	
RS-232 Input Threshold High	$V_{CC} = 5\text{V}$		1.8	2.4	V	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5\text{V}$	0.2	0.5	1.0	V	
RS-232 Input Resistance		3	5	7	$\text{k}\Omega$	
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 3.2\text{mA}$		0.2	0.4	V	
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1.0\text{mA}$	3.5	$V_{CC} - 0.2$		V	
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing $V_{OUT} = \text{GND}$	-2	-10		mA	
	Shrinking $V_{OUT} = V_{CC}$	10	30			
TTL/CMOS Output Leakage Current	Normal operation, outputs disabled, Tables 1a-1d, $0\text{V} \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$, $\overline{ENR}_- = V_{CC}$		± 0.05	± 0.10	μA	

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244–MAX249 (continued)

(MAX225, $V_{CC} = 5.0V \pm 5\%$; MAX244–MAX249, $V_{CC} = +5.0V \pm 10\%$, external capacitors C1–C4 = 1 μ F; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

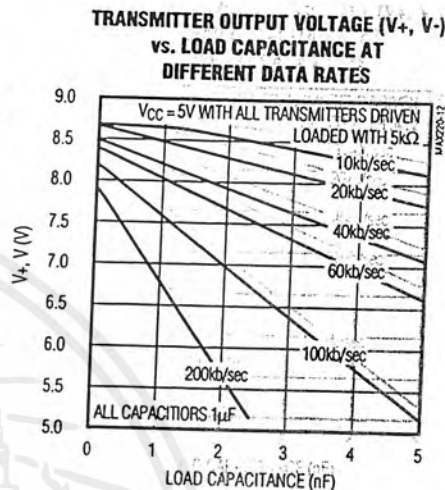
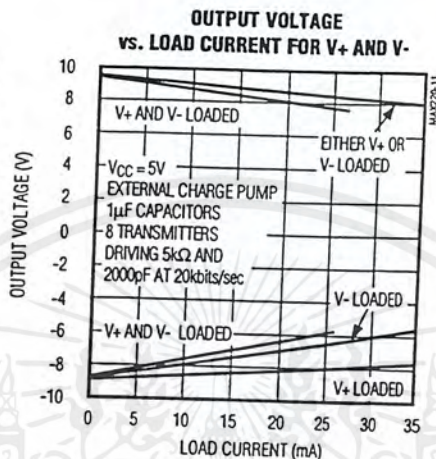
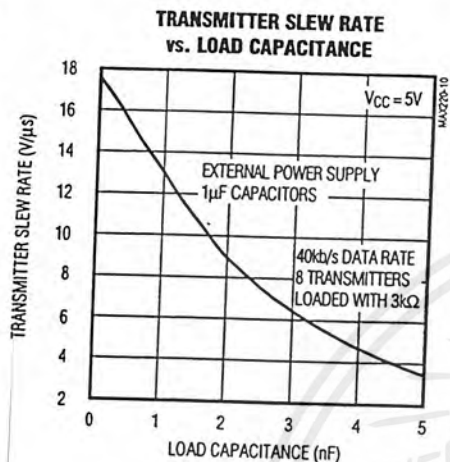
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY AND CONTROL LOGIC					
Operating Supply Voltage	MAX225	4.75		5.25	V
	MAX244–MAX249	4.5		5.5	
V _{CC} Supply Current (normal operation)	No load	MAX225	10	20	mA
		MAX244–MAX249	11	30	
	3k Ω loads on all outputs	MAX225	40		
		MAX244–MAX249	57		
Shutdown Supply Current	$T_A = +25^\circ\text{C}$		8	25	μ A
	$T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}			50	
Control Input	Leakage current			± 1	μ A
	Threshold low		1.4	0.8	V
	Threshold high	2.4	1.4		
AC CHARACTERISTICS					
Transition Slew Rate	$C_L = 50\text{pF}$ to 2500pF, $R_L = 3\text{k}\Omega$ to 7k Ω , $V_{CC} = 5V$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	5	10	30	V/ μ s
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t _{PHLT}		1.3	3.5	μ s
	t _{PLHT}		1.5	3.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 2	t _{PHLR}		0.6	1.5	μ s
	t _{PLHR}		0.6	1.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (low-power mode), Figure 2	t _{PHLS}		0.6	10	μ s
	t _{PLHS}		3.0	10	
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLT} - t _{PLHT}		350		ns
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLR} - t _{PLHR}		350		ns
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t _{ER}		100	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t _{DR}		100	500	ns
Transmitter Enable Time	t _{ET}	MAX246–MAX249 (excludes charge-pump start-up)		5	μ s
		MAX225/MAX245–MAX249 (includes charge-pump start-up)		10	ms
Transmitter Disable Time, Figure 4	t _{DT}		100		ns

Note 4: The 300 Ω minimum specification complies with EIA/TIA-232E, but the actual resistance when in shutdown mode or $V_{CC} = 0V$ is 10M Ω as is implied by the leakage specification.

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

Typical Operating Characteristics

MAX225/MAX244-MAX249



บรรณานุกรม

กฤษฎา ใจเย็น , ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล , “เรียนรู้การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม serial port interfacing starter book”, บริษัท ซินโนเวตีฟ อีแอกเฟอร์เมนต์ จำกัด, 117 หน้า, 2542

ชูใจ คูหารัตน ไชย, “ สถิติเบื้องต้น Introduction to Statistics”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 318 หน้า, 2540

พิชิต สุขเจริญพงศ์, “การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม”, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 538 หน้า , 2541

John P Bentley ,”An Introduction to Reliability and Quality Engineering”, Instrumentation School of Science and Technology, The University of Teessids, 186 Pages, 1993

Paul C. Badavas, “Real-Time Statistical Process Control”, Prentice-Hall , 231 Pages, 1993