

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบเชื่อมต่อหัววัดปริมาณทางฟิสิกส์กับไมโครคอมพิวเตอร์



นายปริญญา ทิพย์ชาติ
นายพรอนันต์ มีศรี

ร.พ.
ร/4585

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

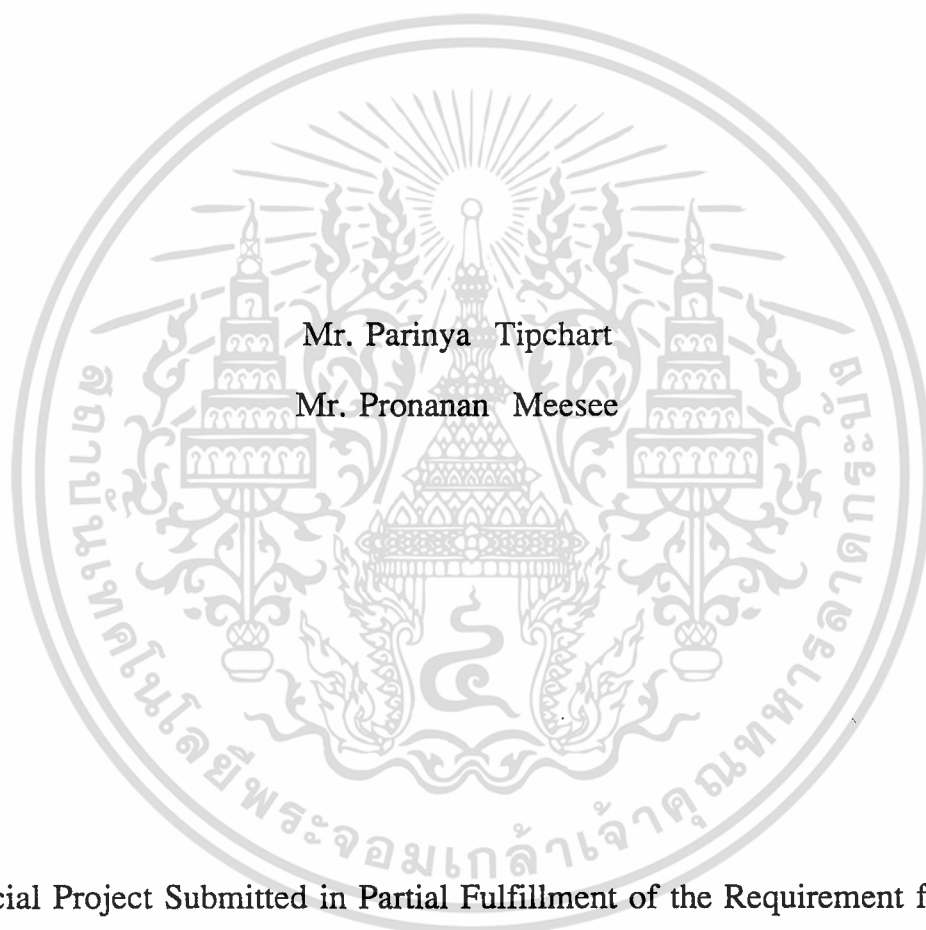


612551247

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The measurement interfacing system of physical quantity
which controlled by microcomputer



Mr. Parinya Tipchart

Mr. Pronanan Meesee

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ระบบเชื่อมต่อหัววัดปริมาณทางฟิสิกส์กับไมโครคอมพิวเตอร์
โดย นายปริญญา ทิพย์ชาติ
นายพรอนันต์ มีศรี
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนห์ เอกะวิภาต
อ.อนุชิต จารุณาววัฒน์
อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(รองศาสตราจารย์ สุรพล รักวิชัย)
..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ธีรวัฒน์ ประกอบผล)
..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี)
..... กรรมการ
(อาจารย์ วิษณุ เตชิตธีระ)
..... กรรมการ
(อาจารย์ อนุชิต จารุณาววัฒน์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ระบบเชื่อมต่อหัววัดปริมาณทางฟิสิกส์กับ ไมโครคอมพิวเตอร์
 โดย นายปริญญา ทิพย์ชาติ
 นายพรอนันต์ มีศรี
 ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนห์ เอกะวิภาต
 อ.อนุชิต จารุวนาววัฒน์
 อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล
 ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ระบบเชื่อมต่อหัววัดปริมาณทางฟิสิกส์กับ ไมโครคอมพิวเตอร์นี้ ได้ถูกออกแบบมา
 สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงโปรแกรมได้สำหรับ
 อุปกรณ์ที่ต้องการนำมาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ในช่วง ± 15 โวลต์ จ่ายกระแสได้
 ประมาณ 1 แอมป์ และตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต จำนวน 2 ชุด
 เพื่อทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า โดยทั้งหมดควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051
 ซึ่งมีหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้งานสามารถที่จะกำหนดแรงดัน
 เอาท์พุทและกำหนดการรับข้อมูลที่ได้จากการแปลงจาก A/D ผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยใช้
 พอร์ทอนุกรมมาตรฐาน RS-232 โดยมีการทำงานและแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิก

Special Project Title The measurement interfacing system of physical quantity which controlled by microcomputer

Name Mr. Parinya Tipchart
Mr. Pronanan Meesee

Special Project Adviser Assist.Prof.Dr. Sanay Akavipat
Mr. Anuchit Jaruvanawat
Mr. Terawat Prakobphol

Department Applied Physics

Academic Year 1996

Abstract

The measurement interfacing system of physical quantity which controlled by microcomputer has been designed for using in a laboratory. The system consist of programmable dc power supply has been rang from -15 to +15 volts at 1 ampere approximately and two channes 8-bit analog to digital converter. All are controlled by a 8051 microcontroller which transmited and received data by microcomputer. User can be programmed voltage generated and determined receive mode by microcomputer through the RS-232 standard interface. User perform the operation in graphics mode.

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องด้วยความเมตตาและความช่วยเหลือจาก
หลายท่าน ทางกลุ่มผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

คุณพ่อ คุณแม่

ผู้ที่รัก, เป็นห่วง และให้ความสนับสนุนตลอดมา

ผศ.ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต

อ. อนุชิต จารุณาวัฒน์

อ. วีรวัฒน์ ประกอบผล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้โอกาสและคำแนะนำในการ
ทำโครงการพิเศษนี้

ผศ. วิชิต ศิริโชติ

อาจารย์ผู้ถามไถ่ด้วยความเป็นห่วงและให้แนวความ
คิดในการทำโครงการ

เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ

ที่แวะเวียนมาให้กำลังใจในการทำโครงการ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์และบ
ประมาณในการทำโครงการพิเศษ

และผู้ที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านที่มีได้เอ่ยนาม

นายปริญญา ทิพย์ชาติ

นายพรอนันต์ มีศรี

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2 ส่วนประกอบของระบบและการทำงานโดยสังเขป	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์กับตัวตรวจวัดสัญญาณ	4
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรง	4
2.1.1 หม้อแปลง	4
2.1.2 วงจรเรียงกระแส	4
2.1.2.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น	4
2.1.2.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น	5
2.2 ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	5
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงเฟลซ	6
2.2.2 การแปลงความชันเดียว	7
2.2.3 การแปลงแบบความชันคู่	9
2.2.4 การเปลี่ยนแปลงแบบย้อนกลับ	11
2.2.4.1 วงจรนับแบบเดียว	11
2.2.4.2 วงจรนับแบบแทรีคกิง	13
2.2.5 การแปลงแบบประมาณค่าหลายค่า	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก	15
2.3.1 การแปลงแบบจัดรหัสน้ำหนักของไบนารี	16
2.3.2 การแปลงแบบแลคเคอร์เนทเวอร์ค	17
2.4 คุณสมบัติของออปแอมป์	19
2.4.1 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์	21
บทที่ 3 การออกแบบระบบเชื่อมต่อหัววัดปริมาณทางฟิสิกส์กับไมโครคอนโทรลเลอร์	23
3.1 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	23
3.2 คุณสมบัติของบอร์ด ANT-32	24
3.3 การใช้งานบอร์ด ANT-32	25
3.4 พอร์ต TTL I/O (8255)	26
3.5 วงจรรักษาระดับแรงดัน	27
3.6 การออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดัน	28
3.7 การออกแบบวงจร digital-to-analog	30
3.8 การออกแบบวงจร analog-to-digital	32
บทที่ 4 โปรแกรมควบคุมและการทำงาน	34
4.1 การใช้งานภาษาแอสเซมบลี 8051	34
4.2 การติดตั้ง REM31	34
4.3 คำสั่งสำหรับ REM31	35
- FLOWCHART การทำงานของภาษาแอสเซมบลี 8051	37
4.4 การใช้งานโปรแกรมทดสอบเครื่อง	39
4.4.1 วัตถุประสงค์ของโปรแกรม	39
4.4.2 ขอบเขตการทำงานของโปรแกรมและการทำงาน	39
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบระบบเชื่อมต่อหัววัดกับไมโครคอมพิวเตอร์	41
5.1 การทดสอบโหลด regulation	41
5.2 ผลการทดสอบโหลด regulation	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดสอบการรับข้อมูลในโหมดต่าง ๆ	42
- กราฟแสดงการรับข้อมูล	43
บทที่ 6 สรุปผลและแนวทางการพัฒนา	49
6.1 สรุปผลการทดสอบ	49
6.2 แนวทางการพัฒนา	49

ภาคผนวก ก. โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

ภาคผนวก ข. วงจรรวมของระบบ

ภาคผนวก ค. รายละเอียดอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารอ้างอิง

ประวัติผู้จัดทำโครงการพิเศษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1.1 แสดงการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด	2
รูป 2.1 ลักษณะของหม้อแปลง	4
รูป 2.2 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	5
รูป 2.3 วงจร ก.Full wave center tap และ ข. bridge rectifier	5
รูป 2.4 วงจรการแปลงแบบเฟลช	6
รูป 2.5 แผนผังการทำงานของการแปลงแบบความชันเดียว	7
รูป 2.6 แผนผังและช่วงเวลาการทำงานของการแปลงความชันคู่	11
รูป 2.7 การทำงานของ A/D แบบวงจรนับเดียว	12
รูป 2.8 แผนผังการทำงานของการแปลงแบบประมาณค่าหลายครั้ง	15
รูป 2.9 วงจร D/A แบบเทคนิคการจัดรหัสน้ำหนักไบนารี	17
รูป 2.10 วงจร D/A แบบไบนารีแลดเคอร์	18
รูป 2.11 บล็อกไดอะแกรมของวงจรในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์	19
รูป 2.12 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์	20
รูป 2.13 แสดงวงจรภายในของออปแอมป์ 741	20
รูป 3.1 ส่วนประกอบโครงงานพิเศษ	23
รูป 3.2 วงจรเบื้องต้นในการออกแบบ	28
รูป 3.3 แสดงวงจรภายในของ DAC-08	30
รูป 3.4 แสดงวงจรการสร้างแรงดันอ้างอิงพื้นฐานของ DAC-08	31
รูป 3.5 แสดงการใช้ออปแอมป์เพื่อสร้างวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	31
รูป 3.6 แสดงวงจร Difference Amplifier	31
รูป 3.7 แสดงวงจรภายในของ ADC0804	32
รูป 3.8 แสดงการต่อในโหมด Stand-Alone	33

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประยุกต์กับงานต่างๆมีมากมายและมีที่ใช้เกือบทุกสาขาอาชีพ การประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์กับงานต่างๆก็ไม่ได้มีรูปแบบที่กำหนดลงไปตายตัว แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะประยุกต์ใช้และไหวพริบของผู้ประยุกต์ที่จะนำไมโครคอมพิวเตอร์ไปใช้งานให้ได้อย่างเต็มความสามารถและได้ประโยชน์สูงสุด ดังนั้นเราจึงเห็นไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทกับงานเกือบทุกด้านและมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วมาก

การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในงานควบคุมอุปกรณ์ภายนอกหรือใช้ความสามารถของไมโครคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลข้อมูลมาทำการประมวลผล โดยรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจัดเป็นการประยุกต์ไมโครคอมพิวเตอร์ ที่มีประโยชน์มากอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้เกิดโครงการพิเศษนี้ขึ้นมาในหัวข้อเรื่อง “ระบบเชื่อมต่อหัววัดปริมาณทางฟิสิกส์กับไมโครคอมพิวเตอร์” ซึ่งเป็นงานหนึ่งในหลายๆงานที่ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

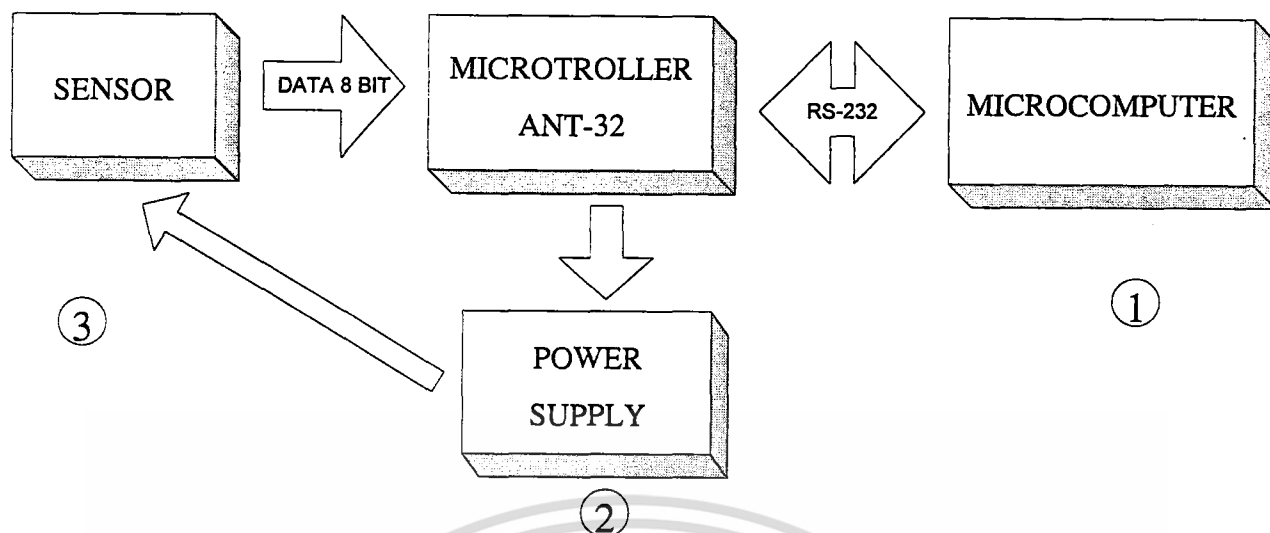
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างวงจรตรวจวัดสัญญาณ โดยเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ และใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุมและแสดงผลสัญญาณที่ได้

1.2 ส่วนประกอบของระบบและการทำงานโดยสังเขป

ระบบทั้งหมดจะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนคือ

1. ไมโครคอมพิวเตอร์
2. ส่วนวงจรการเชื่อมต่อ
3. ตัวตรวจวัดสัญญาณ



รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด

การทำงานของแต่ละส่วนมีดังนี้

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่า ในส่วนที่ 3 จะทำการวัดสัญญาณออกมาในรูปของสัญญาณ Analog และถูกอ่านและแปลงสัญญาณ Analog ที่ได้เป็นสัญญาณ Digital โดยส่วนที่ 2 โดยไอซี Analog to Digital converter เบอร์ ADC0804 ซึ่งเป็นไอซี ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัว โดยที่แต่ละตัวทำงานแยกจากกัน คือ สามารถรับสัญญาณ ได้ 2 ช่องทางพร้อมกัน ซึ่งในส่วนที่ 2 นี้จะประกอบด้วย บอร์ด ANT-32 ,แหล่งจ่ายไฟตรงชนิดโปรแกรมค่าได้ ที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ ± 15 โวลต์ ,ไอซี Analog to Digital converter เบอร์ ADC0804 จำนวน 2 ตัว และ ไอซี Digital to Analog converter เบอร์ DAC0808 จำนวน 2 ตัว

บอร์ด ANT-32 ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8051 และไอซีเบอร์ 8255 โดยที่ ในส่วนการทำงานนั้นตัว 8051 จะเป็นตัว กลางระหว่าง ไมโครคอมพิวเตอร์ กับ แหล่งจ่ายไฟตรงปรับค่าได้ และในขณะเดียวกันก็เป็นตัวกลางระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ กับ ตัวตรวจวัดสัญญาณดังนี้ คือ ไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งค่าเป็นตัวเลขไฟเลี้ยงที่ต้องการโดยตัวตรวจวัดสัญญาณโดยผ่านทาง พอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS-232 เป็นข้อมูลทางดิจิตอลให้กับ 8051 โดย 8051 จะรับ ค่านี้โดยผ่านทางไอซี 8255 อีกทีหนึ่ง เพื่อนำค่าที่ได้ไปส่งงานให้กับแหล่งจ่ายแรง ดันปรับค่าได้ ซึ่งเป็นส่วนของวงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ MC1466L แต่ว่าแหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้นี้จะรับข้อมูลเป็นสัญญาณอนาลอกเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งในที่นี้ก็คือ ไอซีเบอร์ DAC0808 นั้นเองและที่ใช้ 2 ตัวก็เพราะสามารถโปรแกรมได้ทั้งไฟบวก 15 โวลต์และไฟลบ 15 โวลต์นั่นเองมาถึงจุดนี้ตัวตรวจวัดสัญญาณก็พร้อมที่จะรับสัญญาณแล้ว

เมื่อสัญญาณได้ถูกอ่านเข้ามาโดยตัวตรวจวัดสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของสัญญาณอนาลอก ซึ่งจะต้องได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยัง 8051 (โดยผ่านทางไอซี 8255 ซึ่งมีทั้งหมด 2 ตัวบนบอร์ด ANT-32) ซึ่งหน้าที่นี้ก็จะทำหน้าที่ของ ไอซีเบอร์ ADC0804 นั้นเอง

เมื่อ 8051 ได้รับสัญญาณที่เป็นดิจิทัลแล้วก็จะส่งสัญญาณที่ได้นี้ ไปให้กับไมโครคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ทอนุกรมมาตรฐาน RS-232 เพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์นำข้อมูลที่ได้นี้ไปแสดงต่อไป

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ออกแบบส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบเชื่อมต่อหัววัด
2. เลือกชนิดของวงจรและอุปกรณ์
3. ออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณ analog-to-digital converter
4. ออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณ digital-to-analog converter
5. ออกแบบและสร้างวงจร voltage regulator เพื่อจ่ายให้กับหัววัด
6. เลือกระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมวงจรในข้อที่ 3-4
7. เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมและแสดงผลโดยใช้การสั่งงานผ่านทาง Microcomputer โดยใช้ภาษาแอสเซมบลี 8051 และภาษา C
8. ทดสอบการทำงานของเครื่องและโปรแกรม
9. สรุปผลการทดสอบและปรับปรุงแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

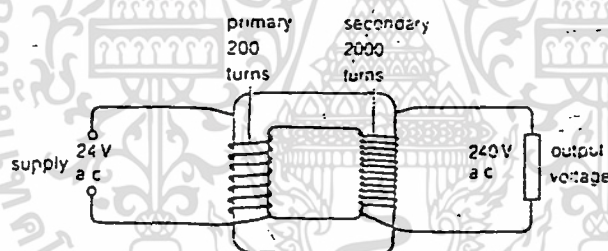
ทฤษฎีเกี่ยวกับการเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์ กับตัวตรวจวัดสัญญาณ

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรง

2.1.1 หม้อแปลง (Transformer)

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนระดับแรงดันของอินพุตที่เข้ามาให้ เพิ่มมากขึ้น หรือ ลดน้อยลง โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่กำลังงานทางด้าน อินพุต จะยังคงเท่ากับ กำลังงานทางด้านเอาต์พุต และความถี่ของแรงดันของทางด้านอินพุตจะเท่ากับทางด้านเอาต์พุตด้วย

ลักษณะโดยทั่วไปมักจะประกอบไปด้วยขดลวดทองแดงที่เคลือบด้วยฉนวนพันรอบแกนเหล็ก 2 ชุด ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของหม้อแปลง

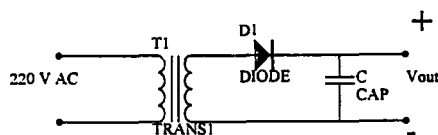
โดยที่ขดลวดแต่ละด้านอาจมีได้มากกว่า 1 ชุด จำนวนของขดลวดที่ไม่เท่ากันของด้านทั้ง 2 จะมีผลโดยตรงกับความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างระดับแรงดันของด้านอินพุต และ เอาต์พุต

2.1.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)

คือ วงจรที่เปลี่ยนระดับแรงดันที่เป็นไฟกระแสสลับ ให้เป็นไฟกระแสตรง (คือไฟซีบวก หรือ ไฟซีกลบเพียงด้านเดียว)

พอจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.2.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half wave rectifier)



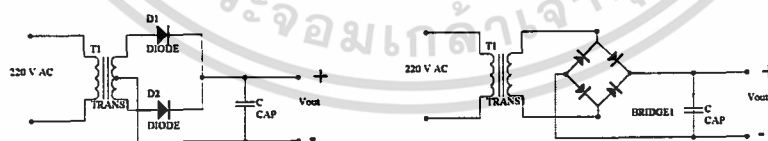
รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นนั้นมีหลายวงจรที่แตกต่างกันทั้งนี้เพราะสามารถทำมาจากอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกันนั่นเองและการออกแบบวงจรที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 2.2 นี้เป็นตัวอย่างหนึ่งของวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นซึ่งใช้ ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการเรียงกระแสให้เป็นกระแสตรง ส่วนตัวเก็บประจุทำหน้าที่ให้ไฟตรงที่ได้มีความเรียบมากขึ้น ความถี่ของสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรจะเท่ากับทางด้านอินพุต ซึ่งไม่ว่าจะเป็นวงจรเรียงกระแสที่ทำจากอุปกรณ์ชนิดใด วงจรเรียงกระแสแบบนี้ก็ยังจัดได้ว่ามีคุณภาพต่ำเมื่อเทียบกับวงจรเรียงกระแสที่จะกล่าวต่อไป เนื่องจากเป็นวงจรที่ง่ายและมักจะใช้ร่วมกับวงจรที่ต้องการความเสถียรภาพไม่มากนักนอกจากนั้นยังมีอัตราการกระเพื่อมของสัญญาณแรงดันสูงอีกด้วย

2.1.2.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-wave rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นก็มีหลายชนิดเช่นเดียวกันกับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เช่น แบบใช้หม้อแปลงที่มีแทปกกลางซึ่งเรียกว่า Full wave center tap rectifier หรือแบบบริดจ์ ซึ่งเรียกว่า Full wave Bridge rectifier



ก.

ข.

รูปที่ 2.3 วงจร ก. Full wave center tap และ ข. Bridge rectifier

2.2 ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

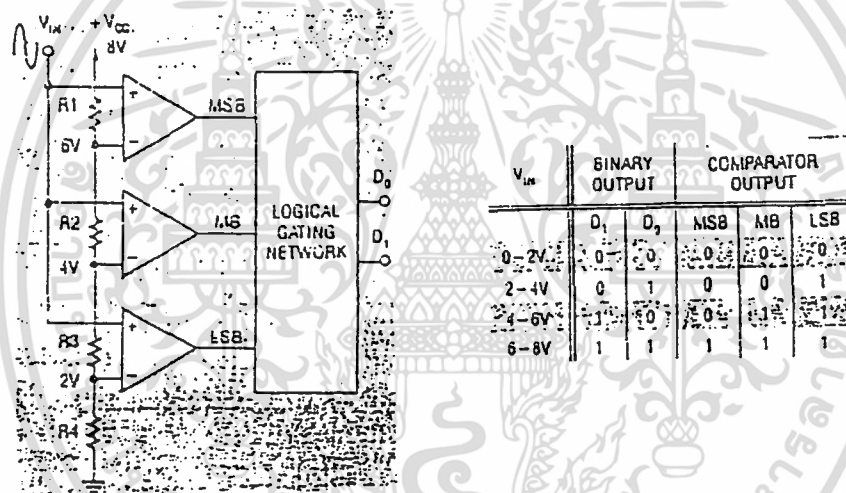
การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล หรือที่มักเรียกว่า ADC หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A / D ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาลอกให้เป็นดิจิทัลหรือเลขฐานสอง ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของเวิร์ด เทคนิคการแปลงสัญญาณของ A / D มีหลายแบบได้แก่ การแปลงสัญญาณแบบแฟลช การแปลงสัญญาณแบบความชันเดี่ยว การแปลงสัญญาณแบบความชันคู่ การแปลงสัญญาณแบบป้อนกลับ และการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่าหลายครั้ง ซึ่งแต่ละแบบก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป จึงขอกล่าวรายละเอียดของ A / D แบบต่างดังต่อไปนี้

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงแฟลช (Flash Converter)

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบนี้ว่าการแปลงแบบขนานก็ได้



รูป 2.4 วงจรการแปลงแบบแฟลช

วงจรในรูป 2.4 มีตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกันอยู่ในวงจรแบ่งแรงดัน ที่ตกคร่อมตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวแรงดันอินพุตสูงสุดจะเป็น “1” หรือ “0” ซึ่งเป็นระดับสัญญาณลอจิกของวงจรดิจิทัล

เมื่อไม่มีแรงดันอินพุตเข้ามา ที่ขาออกของตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวจะเป็นลอจิก “0” เมื่อเพิ่มแรงดันอินพุตเรื่อยๆ ที่เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวจะเป็นลอจิก “1” เมื่อแรงดันอินพุตมากกว่าแรงดันอ้างอิงแต่ละค่าที่ถูกตั้งไว้โดยวงจรแบ่งแรงดันเนตเวอร์คของดิจิทัลเกทถูกใช้ในการเรียงลำดับของสัญญาณจากตัวเปรียบเทียบให้อยู่ในรหัสเลขฐานสอง ซึ่งเป็นการสร้างที่เอาท์พุทของตัวแปลงสัญญาณ

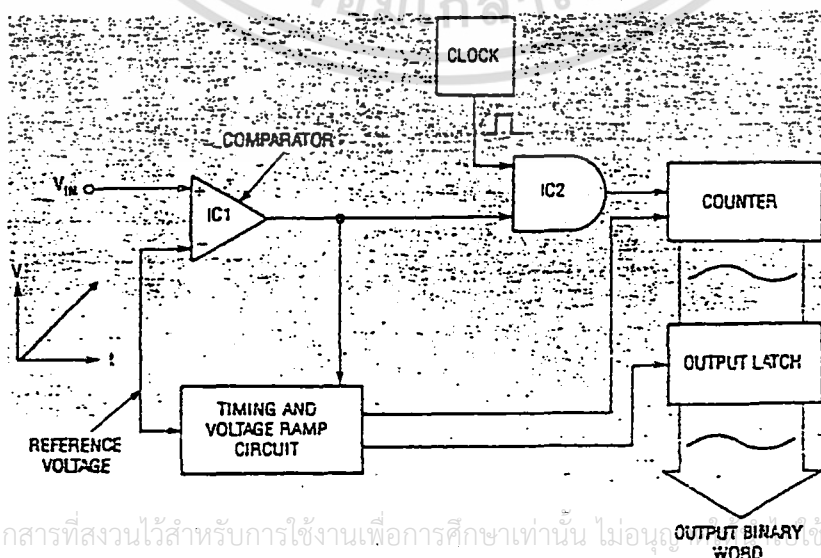
ตัวอย่างที่ยกมาให้ดูในรูป 2.4 เป็น A/D ขนาด 2 บิต ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ เนื่องจากความละเอียดต่ำเกินไป แต่เป็นแนวคิดที่สำคัญในการสร้าง A/D แบบแฟลชได้เป็นอย่างดี จะเห็นว่าใช้ตัวเปรียบเทียบ 2^{n-1} ตัว ในการแสดงความละเอียด จากตัวอย่างเป็นตัวแปลงสัญญาณ ขนาด 2 บิต จึงใช้ตัวเปรียบเทียบ $2^{2-1} = 3$ ตัว ถ้าเป็นตัวแปลงสัญญาณขนาด 4 บิต จะใช้ตัวเปรียบเทียบ $2^{4-1} = 5$ ตัว เช่นเดียวกัน ถ้าเป็นตัวแปลงสัญญาณขนาด 8 บิต จะใช้ตัวเปรียบเทียบ $2^{8-1} = 255$ ตัว จะเห็นได้ว่าขนาดของตัวแปลงสัญญาณมากเท่าไรจำนวนตัวเปรียบเทียบจะมากขึ้นเป็นทวีคูณ และความละเอียดจะเพิ่มมากขึ้น แต่ความซับซ้อนในการสร้างก็สูงขึ้น และยังทำให้ตัวอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย เหล่านี้จึงเป็นข้อเสียของ A/D แบบแฟลช

ข้อดีของ A/D แบบแฟลชคือความเร็ว เพราะว่าสัญญาณอนาลอกทางขาเข้า ถูกจ่ายให้ตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวพร้อมกัน ช่วงเวลาในการเปลี่ยน (conversion time) จึงมีค่าเท่ากับเวลาหน่วงในตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวและวงจรถ่ายในวงจรถ่ายนั้น ซึ่งใช้เวลาไม่กี่ไมโครวินาที

การนำ A/D แบบแฟลชไปใช้งานจึงควรเป็นงานที่ต้องการความเร็วในการแปลงสัญญาณสูงๆแต่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก

2.2.2 การแปลงความชันเดียว (Single Slope Conversion)

เป็นการแปลงสัญญาณดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่ง คือ การเปลี่ยนแปลงความชันเดียว หรือเรียกว่าแบบแรмпเดียว (Single-ramp A/D) ดังแสดงไว้ในรูป 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.5 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงแบบความชันเดียว

จากแผนผังการทำงานของวงจรแบบความชันเดียวเริ่มต้นที่การรีเซ็ตวงจรนับ (counter) และแรงดันแรมป์อยู่ที่ศูนย์ แรงดันเอาต์พุทของตัวเปรียบเทียบที่จุดเริ่มต้นเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงไม่มีสัญญาณนาฬิกาจ่ายให้กับวงจรนับ เมื่อแรงดันอินพุทถูกจ่ายให้กับตัวแปลงสัญญาณอินพุทนอนอินเวอร์ตติ้ง (non-inverting) จะมีแรงดันเกินกว่าแรงดันที่อินพุทอินเวอร์ตติ้ง (inverting) ดังนั้นที่ขาออกของตัวเปรียบเทียบจึงเป็นลอจิก "1" สัญญาณลอจิก "1" จะได้ออนาเบิลให้แอนด์เกตทำงานยอมให้พัลส์ของสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรนับเลขฐานสองให้ทำงาน ในขณะที่เดียวกันวงจรไทม์มิง (timing) จะขับให้วงจรแรมป์เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้แรงดันอ้างอิงที่ขาอินเวอร์ตติ้งของตัวเปรียบเทียบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแรงดันแรมป์อ้างอิงเริ่มมากกว่าแรงดันอินพุท แรงดันเอาต์พุทของตัวเปรียบเทียบจะตกลงมาเป็น "0" อีกครั้ง พัลส์ของสัญญาณนาฬิกาจึงหยุดเนื่องจากไม่สามารถผ่านวงจรแอนด์เกตได้ และวงจรไทม์มิงส่งสัญญาณไปยังวงจรนับเลขฐานสองให้ค้าง (latch) ค่าที่นับไว้ในขณะนั้น เมื่อทำการรีเซ็ตตัวนับอีกครั้งก็จะเกิดการดำเนินงานต่อเนื่องกันไป

เมื่อแรงดันแรมป์อ้างอิงมีค่าเท่ากับแรงดันที่อินพุท วงจรนับจะถูกกระตุ้นให้นับเลขฐานสอง ในขณะที่เดียวกันค่าที่นับได้จึงเป็นสัญญาณดิจิทัลของสัญญาณอนาล็อกทางด้านเอาต์พุท จะสังเกตได้ว่าความเร็วของสัญญาณนาฬิกาอัตราการเพิ่มขึ้นในลักษณะแรงดันแรมป์จะต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างเที่ยงตรง เพื่อให้วงจรนับทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง

ค่าเวลาที่ต้องการเปลี่ยนขึ้นอยู่กับสัญญาณอนาล็อกทางด้านอินพุท เพราะวงจรมับและแรงดันแรมป์อ้างอิงทั้งคู่เริ่มต้นจากศูนย์ที่ทุกๆการรีเซตจึงใช้เวลาค่อนข้างนานที่จะทำให้แรงดันอ้างอิงเท่ากับแรงดันอินพุท ในทางตรงกันข้ามถ้าแรงดันอินพุทน้อย ช่วงเวลาที่แรงดันแรมป์อ้างอิงเพิ่มขึ้นจนเท่ากับแรงดันอินพุท จะใช้เวลาน้อยกว่ากรณีที่แรงดันอินพุทมีค่ามาก

แรงดันแรมป์อ้างอิงสามารถเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจนเท่ากับแรงดันอินพุทได้เร็วกว่า 1 โวลต์ ต่อ 1/1000 วินาที เช่น ถ้าแรงดันอินพุทเป็น 2 โวลต์ ถูกจ่ายให้กับวงจรในรูป 2.5 วงจรจะใช้ $2 * 1$ โวลต์ / มิลลิวินาที ซึ่งเท่ากับ 2 มิลลิวินาที

สำหรับแรงดันแรมป์ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นจนมีระดับแรงดันเท่ากับแรงดันอินพุท การนับเลขฐานสองจะเกิดหลังจาก 2 มิลลิวินาทีไปแล้ว ความเร็วในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกา ถ้าความเร็วของสัญญาณนาฬิกาจะทำให้จังหวะการนับเร็วขึ้น

เนื่องจากการทำงานของสัญญาณนาฬิกาขึ้นอยู่กับแรงดันแรมป์ จึงเป็นลักษณะพิเศษของการแปลงแบบความชันเดียวที่มีสัญญาณเอาต์พุทออกมาเป็นเลขฐานสองโดยตรง ไอซีเครื่องมือวัดบางตัวที่ใช้เทคนิคแบบความชันเดียวจะแปลงรหัส BCD ไปจับภาคแสดงผล 7 เซกเมนต์โดยตรงซึ่งสะดวกและได้เปรียบกว่าการใช้เทคนิคอื่นๆ

ข้อเสียของการแปลงแบบความชันเดียว คือการทำงานที่ไม่เสถียรภาพเมื่อใช้งานไปนานๆ โดยไม่มีการประสานจังหวะ (synchronization) ระหว่างวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาและวงจรสร้างสัญญาณแรมป์ ทุกๆ การเลื่อนของความเร็วของสัญญาณนาฬิกาหรือแรงดันแรมป์เป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดขึ้นที่รหัสทางเอาต์พุท จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ การแปลงความชันเดียวไม่น่าไปใช้งานที่ต้องการความถูกต้องสูงๆ

2.2.3 การแปลงแบบความชันคู่ (Double Slope Conversion)

แผนผังและช่วงเวลาการทำงานของการแปลงแบบความชันคู่แสดงดังรูป 2.6

เทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบความชันคู่เป็นเทคนิคที่ให้ข้อดีในด้านเสถียรภาพของการแปลงสัญญาณ เมื่อสัญญาณอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว วงจรผลิตสัญญาณแรมป์อ้างอิงได้ปรับปรุงขึ้นโดยตัดเอาผลกระทบของการเลื่อนไหลเมื่อใช้วงจรไปนานๆ

สัญญาณอินพุทของตัวแปลงสัญญาณแบบความชันคู่ จะถูกป้อนให้กับวงจรอินทิเกรตเตอร์ เมื่อสัญญาณอินพุทที่เป็นบวกถูกป้อนเข้ามาที่ตัวแปลงสัญญาณ ความชันของแรงดันแรมป์ทางเอาต์พุทของวงจรอินทิเกรตเตอร์จะมีทิศทางเป็นลบและจะมีค่าเป็นลบเพราะป้อนอินพุทเข้าทางอินเวอร์ตติ้งของออปแอมป์ ด้วยแรงดันลบที่ได้นี้ทำให้เอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบกับ “1” ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้าไปยังขั้วอินพุทของวงจรมับ ซึ่งจะเป็นการเริ่มต้นนับขึ้นไปเรื่อย ๆ วงจรอินทิเกรตเตอร์จะให้สัญญาณแรมป์เพียงคาบเวลาที่คงที่ขณะหนึ่งเท่านั้น หลังจากช่วงเวลานี้แล้ววงจรควบคุมจะควมวงจรมับและเปลี่ยนอินพุทของวงจรอินทิเกรตเตอร์ไปต่อกับแรงดันอ้างอิงที่มีค่าเป็นลบ ดังนั้นแรงดันลบในขณะนี้ถูกป้อนให้กับวงจร

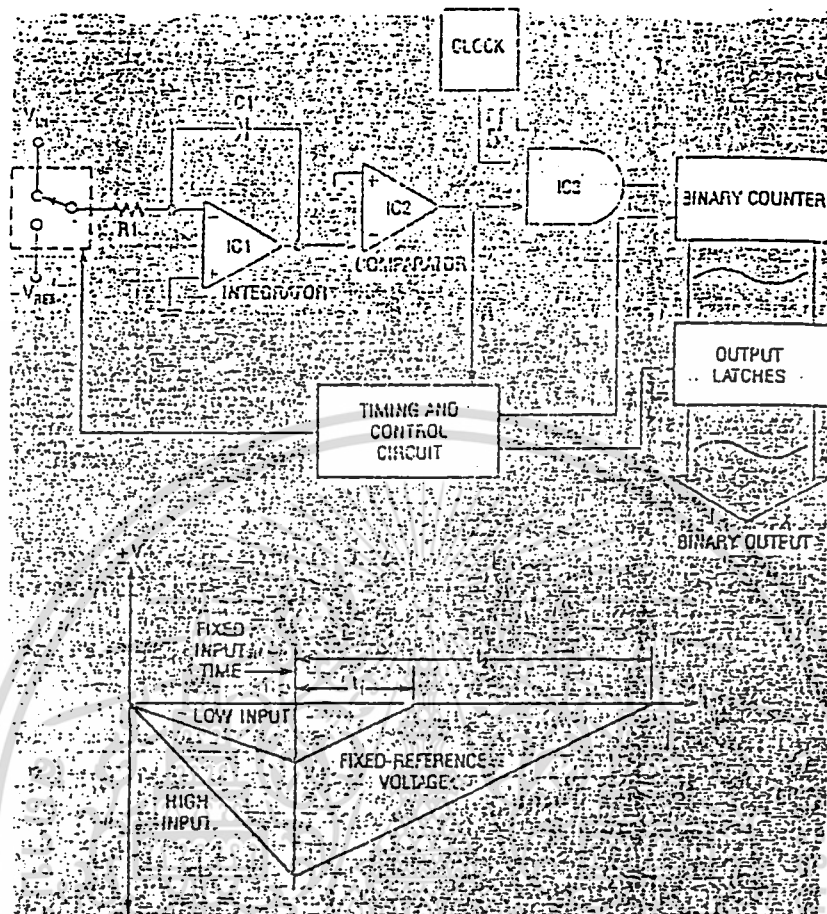
อินทิเกรตเตอร์ ความชันของสัญญาณแรมป์ทางเอาต์พุตกลับมามีทิศทางเป็นบวกวงจรนับจะเริ่มนับใหม่จนกระทั่งเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรตเตอร์ ตกลงมาเป็นศูนย์ ที่จุดนี้เอาต์พุตของวงจรเปรียบกลายเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้สัญญาณนับหยุดลง วงจรควบคุมจะตรวจสอบโดยเปลี่ยนและแลทซ์การนับที่เอาต์พุตไว้แล้ว เคลียร์วงจรนับอีกครั้ง การแปลงสัญญาณความชันคู่นี้สัญญาณที่นับได้ครั้งสุดท้ายจะ แทนแรงดันอินพุตนอกที่เข้ามา

อัตราการอินทิเกรตขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันอินพุต เช่นเดียวกับค่า $R1$ และ $C1$ ดังนั้นแรงดันที่ต่ำๆจะลดเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรตเตอร์ ให้น้อยกว่าแรงดันอินพุตที่มีค่าสูงๆ ในช่วงคาบเวลาอินพุตที่แน่นอนของคอนเวอร์ชันไซเคิล

เมื่อแรงดันลบอ้างอิงที่มีค่าคงที่ถูกป้อนเข้ามา (ค่าของ $R1$ และ $C1$ ยังคงเหมือนเดิม) เวลาที่ต้องการสำหรับเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรตเตอร์เริ่มเข้าสู่ศูนย์ เป็นอัตราแปรผันโดยตรงต่อขนาดเดิมของแรงดันอินพุตทุกๆการเปลี่ยนแปลง เพราะฉะนั้นในวงจรอินทิเกรตเตอร์ เวลาหรืออุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของวงจรจะถูกตัดออกโดย อัตโนมัตินั้น การเปลี่ยนแปลงความชันคู่จึงมีเสถียรภาพเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่มีความแม่นยำสูง

การแปลงแบบความชันคู่มีสิ่งคล้ายกับการแปลงแบบความชันเดี่ยว คือ สัญญาณอินพุตสามารถถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูป BCD หรืออยู่ในรูปอื่นๆได้โดยตรงเช่น รหัสไบนารีในดิจิตอลโวลมิเตอร์โดยมากจะใช้เทคนิคการแปลงแบบความชันคู่

ข้อเสียของการแปลงแบบความชันคู่ คือคาบเวลาที่ขยายออกไปในการแปลงสัญญาณ ต้องการคาบเวลาที่มากกว่า 100 มิลลิวินาที ต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตที่มีแรงดันสูงๆให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิตอล



รูป 2.6 แผนผังและช่วงเวลาการทำงานของการแปลงความชันคู่

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงแบบย้อนกลับ (Feedback Conversion)

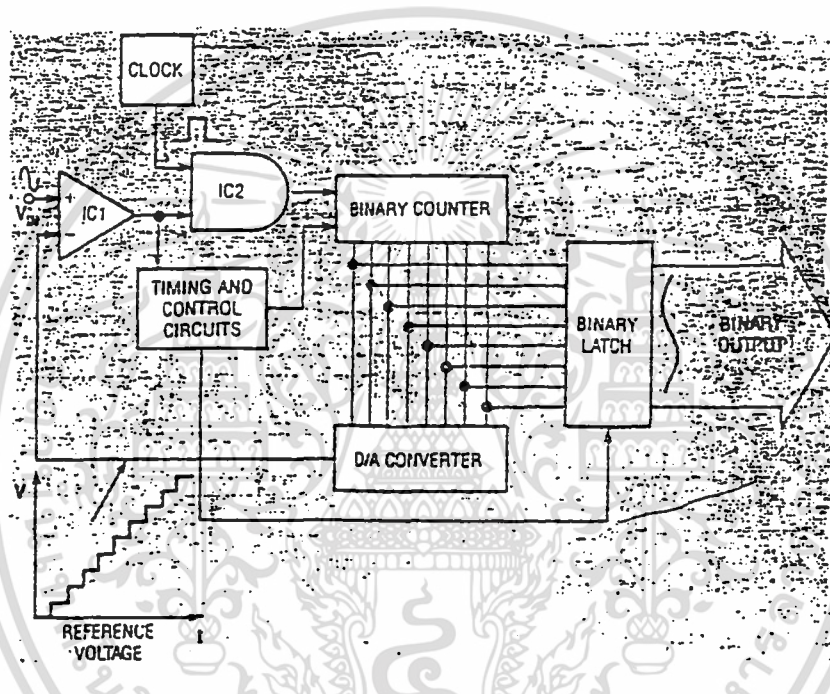
การแปลงที่ใช้สัญญาณป้อนกลับมาเป็นสัญญาณอ้างอิงที่วงจรเปรียบมี 2 ชนิดดังนี้

2.2.4.1 วงจรนับแบบเดี่ยว (Single counter)

วงจรของการแปลงสัญญาณแบบวงจรถับเดี่ยว ได้มีการพัฒนาจนมีลักษณะคล้ายการแปลงแบบความชันเดี่ยว ตลอดจนการทำงานของวงจรทั้งสองยังมีความคล้ายกันด้วย แล้วทำให้เป็นแรงดันป้อนกลับไปยังวงจรเปรียบเทียบแทนวงจรอินทิเกรตเตอร์ หรือแหล่งจ่ายแรงดันแรมป์อื่นๆ

เมื่อสัญญาณอนาลอกทางอินพุตถูกจ่ายให้วงจรเปรียบ เอาท์พุทจะมีสถานะเป็น “1” ดังนั้นวงจรควบคุมจึงยอมให้สัญญาณนาฬิกาผ่านเข้าไปวงจรถับ จะนับเลขฐานสองขึ้นไปเรื่อยๆ ซึ่งแรงดันเอาท์พุทของ D / A จะเพิ่มขึ้นตามไป

ด้วย เอาท์พุทของ D / A ที่ได้นี้ จะถูกป้อนกลับไปยังอินพุทที่ขาของวงจรเปรียบเทียบ เมื่อระดับแรงดันเอาท์พุทของ D / A เริ่มมีค่ามากกว่าระดับแรงดันอินพุทที่เข้ามา เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น “0” คือวงจรเปรียบเทียบหยุดทำงาน วงจรควบคุมก็จะส่งสัญญาณไปยังวงจรเลขฐานสอง ให้ค่าที่ได้จากเอาท์พุทเอาไว้หลังจากนั้นวงจรควบคุมจะรีเซ็ตวงจรนับ แล้วทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ



รูป 2.7 การทำงานของ A / D แบบวงจรรีบเดียว

ถึงแม้ว่าการแปลงแบบวงจรรีบเดียวเป็นวิธีที่เร็วกว่าความชันคู่ แต่ความแม่นยำของวงจรถูกขึ้นอยู่กับการใช้ D / A ที่ใช้ในวงจร ถ้าต้องการให้ A / D แบบวงจรรีบเดียวมีความแม่นยำสูงด้วย เพื่อให้ได้สัญญาณป้อนกลับที่เอาท์พุทของ D / A มีความแม่นยำ ป้อนกลับไปยังวงจรเปรียบเทียบ วงจร A / D แบบวงจรรีบเดียวยังต้องเริ่มจากศูนย์ทุกครั้งการรีเซ็ต ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีการสูญหายของข้อมูลเป็นบิตของเวลาไปทุกๆรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าแรงดันที่ถูกแปลงนั้นมีค่าใกล้เคียงกับระดับแรงดันสูงสุดของ A / D

2.2.4.2 วงจรนับแบบแทร็คคิง (Tracking counter)

เทคนิคแบบวงจรถัดแทร็คคิงสามารถแปลงได้เร็วกว่าวงจรถัดเดี่ยว เนื่องจากวงจรถัดแทร็คคิงใช้วงจรถัดเลขฐานสองแบบขึ้น/ลงได้ (binary up/down , up/down counter) แทนวงจรถัดขึ้นลงอย่างเดียว เหมือนกับตัวอย่างที่ผ่านมา วงจรถัดสามารถเพิ่มค่าขึ้น หรือลดค่าลงได้ ขึ้นอยู่กับสถานะเอาต์พุตของวงจรถัดเปรียบเทียบ ซึ่งจะช่วยให้รหัสไบนารีที่ได้มีความเป็นจริงต่อสัญญาณอนาลอกมากขึ้น

รอบการทำงานของ A / D แบบวงจรถัดแทร็คคิง เริ่มต้นที่สัญญาณอนาลอกถูกป้อนกลับมายังอินพุตของวงจรถัดเปรียบเทียบ การนับบนวงจรถัดเลขฐานสองขึ้น/ลง อาจจะเริ่มที่ค่าใดๆก็ได้ หมายความว่า แรงดันป้อนกลับที่มาจากตัว D / A อาจจะมากกว่า หรือน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุตก็ได้ ถ้าแรงดันป้อนกลับมีค่ามากกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุต เอาต์พุตของวงจรถัดเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น “0” และวงจรถัดจะส่งสัญญาณไปเปิดเกตให้พัลส์ของสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรถัด แต่การนับครั้งนี้จะเป็นการนับลง ดังนั้นจึงเป็นการลดค่าเลขฐานสองซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจรถัด และเป็นการลดแรงดันป้อนกลับที่วงจรถัดเปรียบเทียบลง เมื่อแรงดันป้อนกลับตกลงต่ำกว่าแรงดันทางอินพุต เอาต์พุตของวงจรถัดเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น “1” ทันที และวงจรถัดจะส่งสัญญาณไปยังวงจรถัดแลทซ์ทางเอาต์พุตให้ค้างข้อมูลทางเอาต์พุตเอาไว้ วงจรถัดจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปเพิ่มอินพุตของวงจรถัดขึ้น (ซึ่งวงจรถัดจะไม่ถูกรีเซ็ต) และเป็นเหตุให้วงจรถัดค่าขึ้นอีกครั้ง สำหรับการเปลี่ยนแปลงสถานะช่วงต่อไป

ถ้าสัญญาณอินพุตยังมีค่าคงที่อยู่ที่ เอาต์พุตที่ได้มักเกิดจากการออสซิลเลตขึ้น $1 * \text{LSB}$ คล้ายกับตัวแปลงสัญญาณพยายามปรับค่าให้เข้าสู่ตัวกลางของมัน ปัญหาของการออสซิลเลตจึงเป็นปัญหาสำคัญของ A / D แบบวงจรถัดแทร็คคิง และกลายมาเป็นข้อเสียของการแปลงแบบนี้ แต่การแปลงแบบวงจรถัดแทร็คคิง มีข้อดีที่มีความเร็วกว่าการแปลงแบบวงจรถัดเดี่ยว

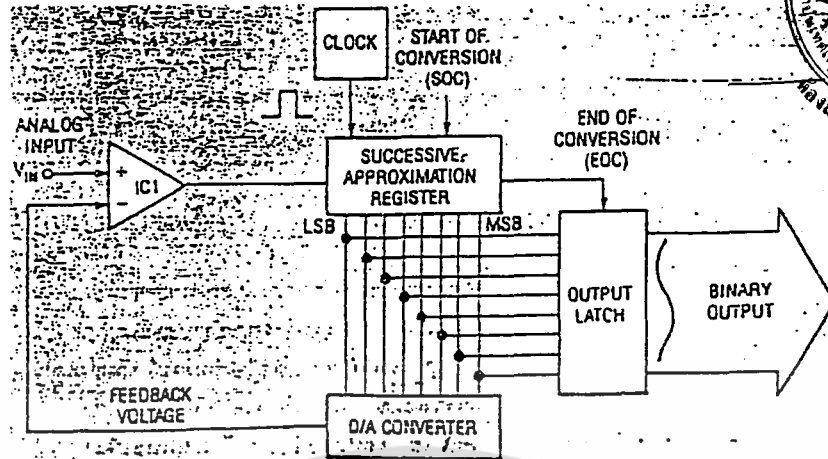
2.2.5 การแปลงแบบประมาณค่าหลายค่า (Successive-approximation Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคแบบการประมาณค่าหลายครั้งมีชื่อย่อว่า SA ซึ่งย่อมาจากคำว่า Successive Approximation เป็นเทคนิคที่น่าเลือกใช้เพราะมีราคาถูก มีความละเอียดพอสมควรและเป็นตัวแปลงสัญญาณที่มีความเร็วสูงใช้งานได้ดีและมีประสิทธิภาพสูง เพราะไม่เกิดการออสซิลเลตแต่กระบวนการของเทคนิคแบบนี้จะเข้าใจได้ยากกว่าเทคนิคแบบวงจรนับที่กล่าวมาแล้ว

หัวใจของการประมาณค่าหลายครั้ง คืออุปกรณ์ที่เรียกที่เรียกว่า Successive Approximation Register (SAR) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีจุดประสงค์ต่างจากวงจรนับทั่วไป ดังรูป 2.8

วัฏจักรการแปลงผันเริ่มต้นเมื่อสัญญาณอนาลอกถูกป้อนให้กับตัวแปลงสัญญาณ และพัลส์ของการแปลงเริ่มขึ้น (start conversion pulse : SOC) ถูกป้อนให้กับตัว SAR พัลส์สัญญาณนาฬิกาถูกแรกที่ป้อนให้กับตัว SAR จะ “on” เอาท์พุทของบิตนับสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นการปรับให้เอาท์พุทของ D/A เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ ตัว SAR ตรวจสอบไปยังเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบว่า เอาท์พุทของ D/A มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุท ถ้าแรงดัน D/A มีค่ามากกว่าวงจรเปรียบเทียบจะยังคงสถานะไม่ทำงาน ดังนั้นตัว SAR จะ “off” บิตนัยสำคัญสูงสุดลงและให้ชื่อว่าสถานะ “0” ถ้าแรงดันของ D/A มีค่าน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุท วงจรเปรียบเทียบจะยังคงทำงานอยู่ ดังนั้น SAR จะยังคงให้บิตนัยสำคัญสูงสุดทำงานอยู่ เรียกสถานะนี้ว่า “1” ซึ่งสถานะ “0” หรือ “1” จะกระทำภายในพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียวบนสัญญาณนาฬิกาถัดไป ตัว SAR จะทำงาน บิตนัยสำคัญอันดับสองและทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้อีกครั้งหนึ่ง จากวงจรเปรียบเทียบ ถ้าสัญญาณจาก D/A ครั้งใหม่มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุทเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบจะยังคงไม่มี ดังนั้นตัว SAR จะไม่ทำงานบิตนัยสำคัญสูงสุดอันดับสอง เรียกว่า “0” แต่ถ้าสัญญาณจาก D/A มีค่าน้อยกว่าวงจรเปรียบเทียบจะทำงานและตัว SAR จะปล่อยให้บิตนัยสำคัญสูงสุดอันดับสองทำงาน



รูป 2.8 แผนผังการทำงานของ การแปลงแบบประมาณค่าหลายครั้ง

ตัว SAR จะพิจารณาแต่ละบิตด้วยวิธีเดียวกันจนครบทุกบิต เนื่องจากหนึ่งบิตหาค่าได้ภายในหนึ่งพัลส์ ฉะนั้น A/D ขนาด 8 บิต จึงใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 8 พัลส์ ก็สามารถทำการแปลงได้จนครบ เมื่อบิตนัยสำคัญต่ำสุดถูกพิจารณาแล้ว ตัว SAR จะส่งสัญญาณการแปลง (End of Converter : EOC) ไปทำการค้างผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งเป็นเลขฐานสองทางเอาต์พุทไว้

2.3 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (Digital to Analog Converter)

การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกมักถูกเรียกว่า DAC หรือ D/A เป็นตัวแปลงรหัสเลขฐานสองจากวงจรดิจิทัลให้กลายเป็นระดับแรงดันอนาลอกที่เอาต์พุท ตัว D/A สามารถใช้อุปกรณ์ที่เป็นอนาลอกได้

แนวความคิดที่สำคัญของ D/A คือความละเอียดของแปลง หากมีความละเอียดมากเท่าใดคุณภาพก็ยิ่งสูงขึ้นตาม นอกจากจะคำนึงถึงความละเอียดแล้ว ก็ยังต้องคำนึงถึง เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (setting time) เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว เป็นค่าของเวลาที่ระดับแรงดันเอาต์พุทเข้าสู่สภาวะคงที่ เมื่อสัญญาณไบนารีทางอินพุทเปลี่ยนแปลงไป โดยปรกติจะคิดที่สัญญาณเอาต์พุทคงที่ ในช่วงของ บวก-ลบ 1/2 ของบิตนัยสำคัญต่ำสุดของค่าที่คาดว่าจะเป็นหลังจากที่ค่าไบนารีทางด้านอินพุทเปลี่ยนแปลงไป หมายความว่า เงื่อนไขการปฏิบัติงานจริงมีความสัมพันธ์กับค่าที่

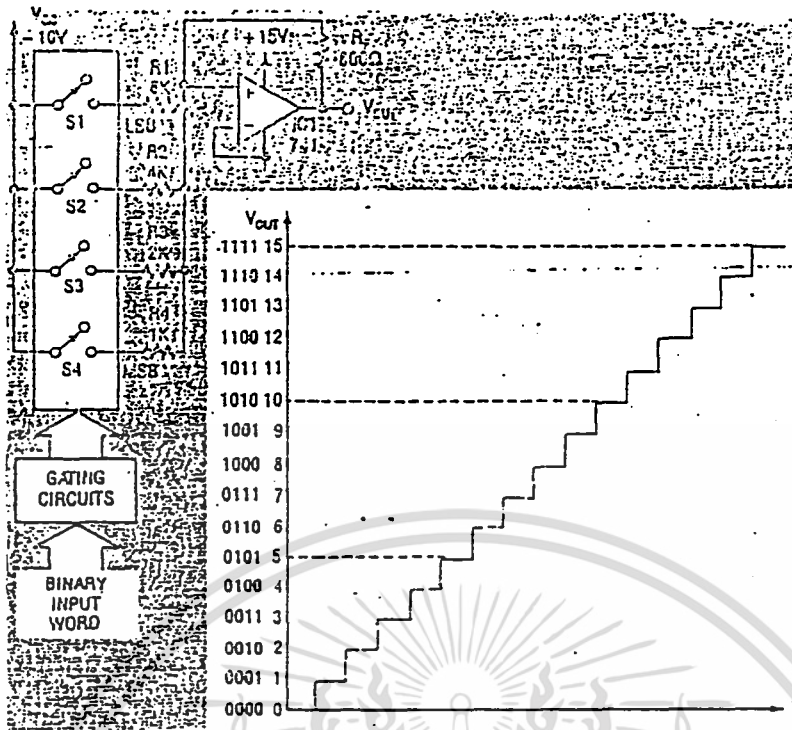
เป็นอยู่ขณะนั้น ถ้า D/A ขนาด 8 บิต มีช่วงแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0-10 ค่าเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่าน้อยกว่า 10 ไมโครวินาที

ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างคือค่าความแม่นยำ ในเงื่อนไขปกติค่าความแม่นยำของ D/A คือ \pm ทูทๆ ตำแหน่งจาก $1/2$ ถึง 2 ค่าของบิตนัยสำคัญต่ำสุดของ D/A สำหรับ D/A ที่มีค่าความแม่นยำ ± 1 ค่า LSB แรงดันเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ในทาง บวก หรือ ลบ 1 บิต ถ้า D/A มีแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ มีความละเอียดเท่ากับ 12 บิต บิตนัยสำคัญต่ำสุดควรมีค่า $5/2^{12}$ หรือ 0.00122 โวลต์ สำหรับทุกๆค่าของไบนารีทางด้านเอาต์พุตแรงดันอาจจะสูงหรือต่ำกว่าค่าที่คาดหมายไว้ 0.00122 โวลต์ ถ้า D/A ตัวเดียวกันมีค่าความแม่นยำเท่ากับ $1/2$ ค่าความถูกต้องบิตนัยสำคัญต่ำสุด ค่าเอาต์พุตสามารถผิดพลาดไปได้ $\pm 0.00122/2$ หรือ ± 0.00061 โวลต์ ยิ่งค่าความแม่นยำน้อยเท่าใด ค่าความละเอียดยิ่งมากขึ้นเท่านั้น และจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตที่คาดไว้

การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก มี 2 วิธี ดังนี้

2.3.1 การแปลงแบบจัดรหัสน้ำหนักของไบนารี (Binary-weighted resistor)

เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก ดังแสดงไว้ในรูป 2.9 รหัสไบนารีจะถูกป้อนให้ที่ขาเกตของอนาลอกสวิตช์ เมื่อรหัสไบนารีมีค่า 00000 ถูกป้อนให้ที่ขาเกต อนาลอกสวิตช์ทั้งหมดจะเปิดวงจร ดังนั้นจึงไม่มีแรงดันเอาต์พุตจ่ายให้กับออปแอมป์ เอาต์พุตของออปแอมป์จึงเป็นศูนย์ เมื่อรหัสไบนารีเป็น 0001 สวิตช์ S1 จะปิดลง จึงมีแรงดันขนาด 10 โวลต์ จ่ายให้กับ R1 เพราะเอาต์พุตของออปแอมป์จะมองว่าเป็นกราวด์เสมือน (Virtual ground) เป็นผลให้แรงดัน 10 โวลต์ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน 8 กิโลโอห์ม ทำให้เกิดกระแส 1.25 มิลลิแอมป์ ไหลผ่าน Rf ขนาด 800 โอห์ม แรงดันตกคร่อม Rf ควรจะเท่ากับผลคูณของค่า 800 โอห์ม กับ 1.25 มิลลิแอมป์ หรือ 1 โวลต์



รูป 2.9 วงจร D/A แบบเทคนิคการจัดรหัสน้ำหนักไบนารี

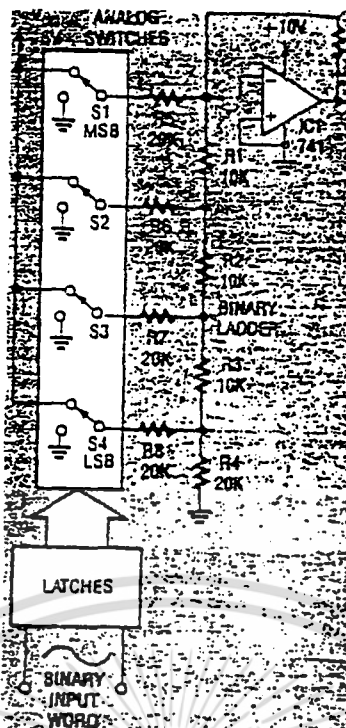
เมื่อรหัสไบนารีเปลี่ยนเป็น 0010 S1 จะเปิด และ S2 จะปิด ทำให้กระแส 2.5 มิลลิแอมป์ ผ่าน R2 แรงดันตกคร่อม R_f เป็น 800 * 2.5 โวลต์ หรือ 2 โวลต์ ในทำนองคล้ายกันเมื่อรหัสไบนารีเป็น 0100 จะให้แรงดันเอาต์พุต เป็น 4 โวลต์ ถ้ารหัสไบนารีเป็น 1000 แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 8 โวลต์ ซึ่งจะเห็นว่า ไบนารีอินพุต กับ แรงดันเอาต์พุตมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน

สวิตช์แต่ละตัวสามารถปิดวงจรพร้อมกันได้ เมื่อทำการรวมกันเพื่อสร้าง สัญญาณอนาลอกทางเอาต์พุต ที่มีค่าจาก 0-15 โวลต์

จะเห็นว่าการจัดรหัสน้ำหนักไบนารี วงจรนี้ ตรงไปตรงมา และวงจรก็ไม่ สลับซับซ้อน แต่ไม่สะดวกกับการใช้งานที่ต้องการความละเอียดมากๆ ทั้งนี้เพราะ ว่า ค่าความต้านทานที่ใช้จะต้องใช้มากมายหลายค่าเกินไป

2.3.2 การแปลงแบบแลดเดอร์เน็ตเวิร์ค (Ladder network)

เทคนิคแลดเดอร์เน็ตเวิร์ค สามารถสร้างแรงดันสะสมน้ำหนักของไบนารี โดยอาศัยความต้านทานเพียง 2 ค่า ที่จัดไว้ในลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน หรือ ที่ เรียกว่า ไบนารีเน็ตเวิร์ค (binary network) ดังแสดงในรูป 2.10



รูป 2.10 วงจร D/A แบบไบนารีแลดเดอร์

การทำงานของวงจร D/A แบบแลดเดอร์เน็ตเวิร์คจะคล้ายกับแบบการจัดรหัสน้ำหนักไบนารี เกทที่ต่อในลักษณะอนุกรมถูกใช้สำหรับขับอนาล็อกสวิตช์ เมื่อรหัสไบนารี 0000 ถูกส่งมายังเกท อนาล็อกสวิตช์ทั้งหมดจะเปิดออก ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากออปแอมป์จึงมีค่าเป็นศูนย์ สวิตช์ S1 จะปิดลง เมื่อเกทได้รับรหัสไบนารีเป็น 1000 เป็นผลให้เกิดแรงดัน 5 โวลต์ ที่ออปแอมป์ ถ้ารหัสไบนารีเป็น 0010 สวิตช์ S3 จะปิดทำให้เกิดแรงดัน 1.25 โวลต์ ที่เอาต์พุต และถ้ารหัสไบนารีเป็น 0001 สวิตช์ S4 จะปิดลงออปแอมป์จะให้แรงดันเอาต์พุตออกมา 0.625 โวลต์ จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนค่าจาก 0 ถึง 10 โวลต์ โดยเพิ่มทีละ 0.625 โวลต์

วงจร D/A แบบแลดเดอร์นี้มีข้อดีคือออกแบบได้ง่าย ทั้งนี้เพราะใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ตัว เท่านั้น

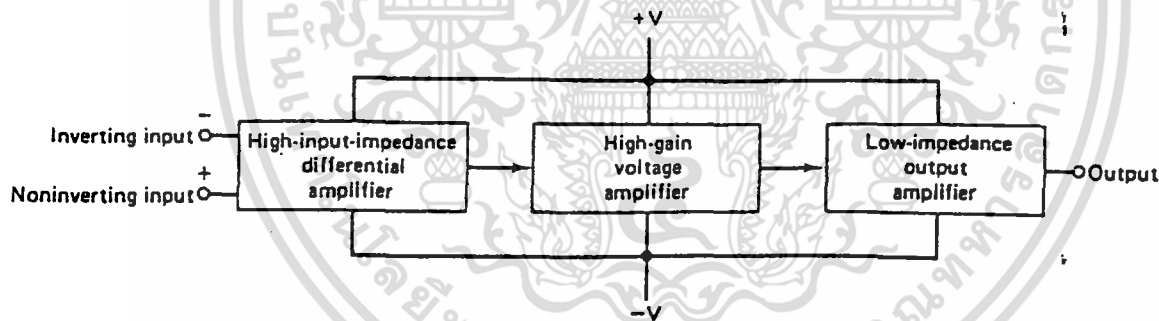
2.4 คุณสมบัติของออปแอมป์

ออปแอมป์ คืออุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ และยังเน้นความสะดวกในการนำไปใช้งานได้อีกด้วย โดยสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น

คุณสมบัติทั่วไปไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่างๆ ดังนี้ คือ

1. ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือ วงจรขยายผลต่าง (DIFFERENTIAL AMPLIFIER) ที่มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมาก
2. วงจรขยายแรงดันซึ่งมีอัตราขยายสูงมาก
3. วงจรขยายภาคเอาต์พุทที่มี เอาต์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำมาก

ดังรูปแสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์ดังกล่าว และจะสังเกตเห็นว่า แรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวกและลบ เพื่อให้เอาต์พุทสามารถสวิงได้ทั้งซีกบวกและลบเทียบกับกราวด์



รูป 2.11 บล็อกไดอะแกรมของวงจรในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์

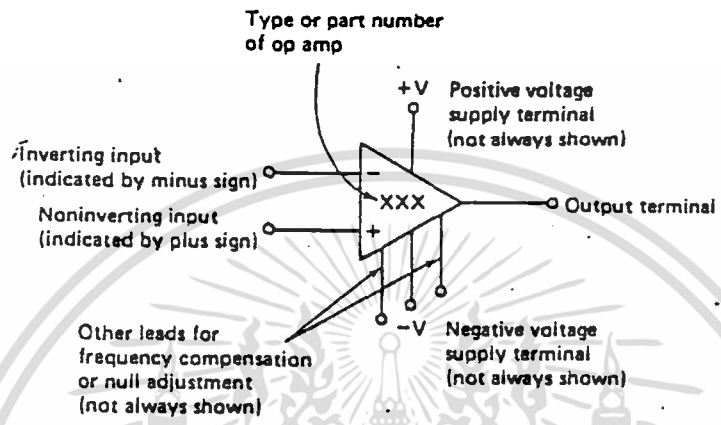
จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่กล่าวมา ทำให้เราสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติ ดังนี้

1. เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุทจะต่ำจนเกือบเท่าศูนย์ หรือไม่มีกระแสอินพุทเข้าสู่ออปแอมป์เลย
2. อัตราขยายขณะเปิดลูป A (ขณะที่ยังไม่มีกร็อนกลับ) จะมีค่าสูงมาก ซึ่งหมายความว่า แรงดันระหว่างขั้วอินพุทควรมีค่าใกล้ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

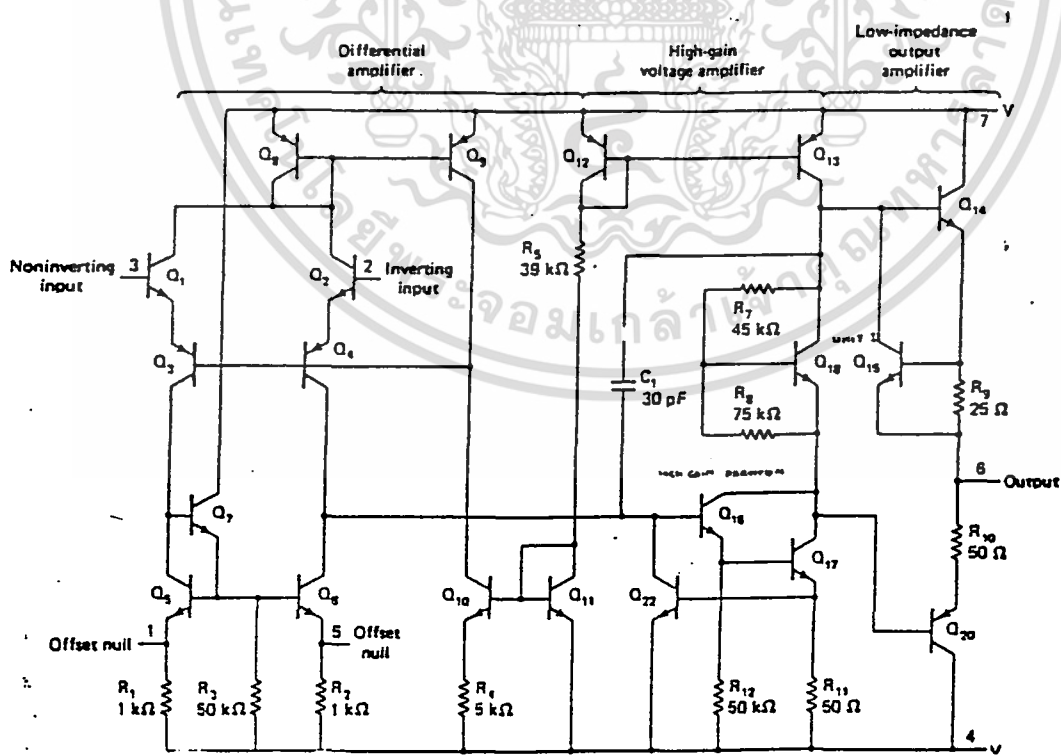
3. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาท์พุทของวงจรขยาย

รูปแสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วอินพุท 2 ขั้วและขั้วของแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาท์พุท 1 ขั้วและสำหรับปรับออฟเซ็ท หรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว



รูป 2.12 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

รูปต่อไปนี้จะแสดงถึงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741



รูป 2.13 แสดงวงจรภายในของออปแอมป์ 741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์

1. อินพุทอิมพีแดนซ์

ควรมีค่าเท่ากับอนันต์ แต่ในความเป็นจริง อินพุทอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 เมกกะโอห์ม (1×10^6 โอห์ม) ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์นี้ยังมีค่ามากเท่าใด ออปแอมป์ตัวนั้นก็จะทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งานในย่านความถี่สูง ควรระวังผลจากอินพุทคาปาซิแตนซ์ของวงจรด้วย ซึ่งมีค่าประมาณ 2 พิโคฟารัด (2×10^{-12} ฟารัด) เมื่อขั้วอินพุทขั้วหนึ่งต่อกับกราวด์

2. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์

ในทางอุดมคติควรมีค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพันโอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตาม เรามักสมมติให้เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณ และวิเคราะห์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง และมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ ออปแอมป์จึงเปรียบเสมือนเป็นอุปกรณ์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง (IMPEDANCE MATCHING) ที่ดีตัวหนึ่ง

3. กระแสไบอัสด้านอินพุท

เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้น จึงมีกระแสค่าน้อย ๆ (มีหน่วยเป็น นาโน (10^{-9}) ถึง ไมโคร (10^{-6}) แอมแปร์) ไหลผ่านขั้วอินพุททั้งสอง ซึ่งค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกว่าเป็น “ กระแสไบอัสด้านอินพุท “ กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลในวงจรภายใน ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อภาคเอาท์พุทด้วย ดังนั้น กระแสนี้ควรถูกกำจัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุทเป็น FET)

4. แรงดันออฟเซต (OFFSET) ที่เอาท์พุท

แรงดันออฟเซตที่เอาท์พุทเกิดขึ้นจากกระแสไบอัสด้านอินพุท ซึ่งในทางอุดมคติเมื่อแรงดันอินพุทระหว่างขั้วทั้งสองมีค่าเท่ากัน แรงดันที่เอาท์พุทควรมีค่าเป็นศูนย์ แต่

โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้น คือมีแรงดันค่าหนึ่งปรากฏที่เอาต์พุตขณะที่อินพุตเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้ โดยการป้อนแรงดันหรือ กระแสออฟเซตที่อินพุต แล้วปรับ

$$V_{OUT} = 0 \text{ โวลต์}$$

5. กระแสออฟเซตที่อินพุต

ในการปรับแรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุตทั้งสองข้างควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ จะพบว่า เราต้องจ่ายกระแสให้แก่อินพุตข้างหนึ่งมากกว่าอีกข้างหนึ่งเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสออฟเซตนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์

6. แรงดันออฟเซตที่อินพุต

ในอุดมคติ แรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อแรงดันระหว่างขั้วอินพุตมีค่าเป็นศูนย์เช่น แต่ในทางปฏิบัติ ความไม่สมดุลภายในวงจรมักทำให้เราต้องป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุตใด ๆ หนึ่งเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์

7. อัตราสลูว์ (SLEW RATE)

อัตราสลูว์ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลา ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{อัตราสลูว์} &= \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุต}}{\text{การเปลี่ยนแปลงเวลา}} \\ &= \frac{\Delta V_{OUT}(\text{max})}{\Delta t} \end{aligned}$$

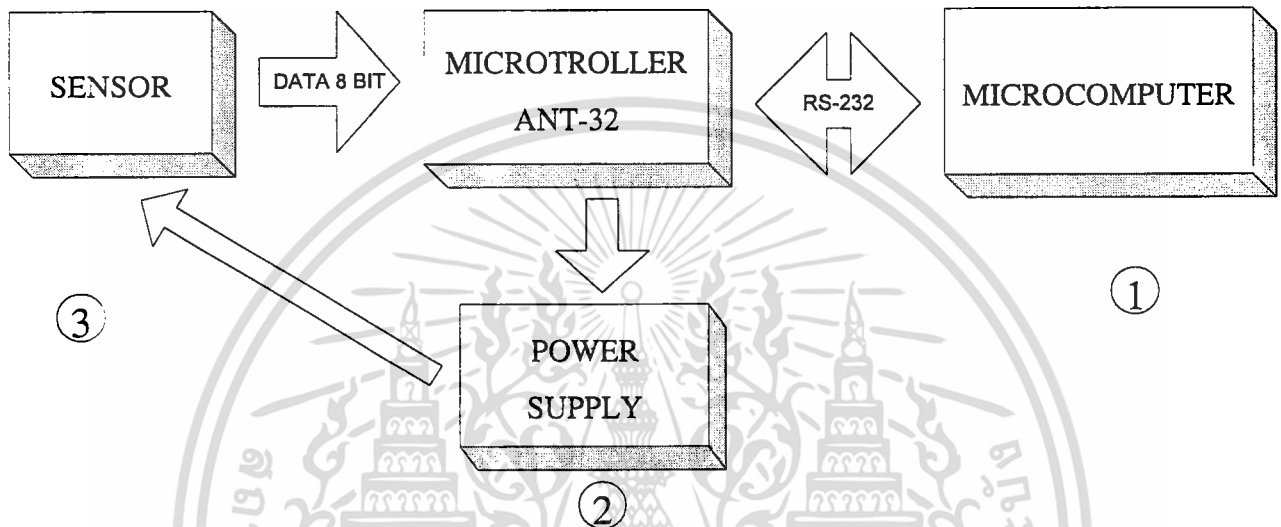
8. อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอน โหมด (CMRR)

COMMON-MODE REJECTION RATIO เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของออปแอมป์ที่ได้มาจากภาคอินพุตที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หมายความว่า หากสัญญาณที่เข้ามายังขั้วอินพุตทั้งสองมีเฟสตรงกันและยังมีขนาดเท่ากัน สัญญาณทั้งสองนี้จะถูกกำจัดทิ้งไป ดังนั้น เอาต์พุตจะเป็นศูนย์ ส่วนสัญญาณที่มีขนาดต่างกันและมีเฟสต่างกันจะเรียกว่าอยู่ในดิฟเฟอเรนเชียล โหมด

$$CMRR = \frac{A_D}{A_{cm}}$$

บทที่ 3

การออกแบบระบบเชื่อมต่อหัววัดปริมาณทางฟิสิกส์กับไมโครคอนโทรลเลอร์
ดังที่กล่าวมาในบทที่ 1 จากรูปต่อไปนี้



รูป 3.1 ส่วนประกอบโครงงานพิเศษ

ซึ่งมีอยู่ 3 ส่วน โดยในส่วนของ 2 นั้นเป็นส่วนที่เราจะทำการออกแบบสร้างซึ่งเป็นส่วนหลักของโครงงานพิเศษนี้ โดยในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเราใช้ ANT-32 ซึ่งเป็นบอร์ดที่สามารถนำไปใช้งานประยุกต์ในงานต่าง ๆ ได้ง่ายและสะดวกดังมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบควบคุมอัตโนมัติในระดับ 8 บิตที่โดดเด่นมากตัวหนึ่งก็คือ ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSC-51 ของ INTEL ซึ่งประกอบไปด้วย CPU เบอร์ต่าง ๆ ได้แก่ 8031,8051,8032,8052,8751,8752 และ 8052 AHBASIC

ANT-32 เป็นบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ นำไปใช้งานในลักษณะ EMBEDDED CONTROLLER กล่าวคือ เป็นบอร์ดที่ถูกออกแบบมาเพื่องานควบคุม โดยเฉพาะ โดยถูกติดตั้งอยู่ในเครื่องมือเครื่องจักรกล เครื่องใช้ไฟฟ้า รวมทั้งระบบอัตโนมัติต่าง ๆ บอร์ดนี้สามารถใช้กับ CPU เบอร์ดังที่กล่าวมาแล้วได้ทั้งสิ้น ANT-32 ได้ถูกออกแบบและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจนพอสสมควรจนปัจจุบันเป็นเวอร์ชันที่ 3 ซึ่งเพียบพร้อมไปด้วยวงจรในส่วนของ Watchdog Timer ,Battery Backup และ Power Fail Detector ใช้ชิพ DS1202 และได้ปรับปรุงวงจรในส่วนอื่น ๆ ให้ดียิ่งขึ้น แต่ยังคงคุณสมบัติของเวอร์ชันแรกไว้ครบถ้วนทุกประการ

3.2 คุณสมบัติของบอร์ด ANT-32

- เป็นบอร์ดคอนโทรลเลอร์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MSC-51 (8031/8032) ใช้ CPU เบอร์ 80C32 ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 11.0592 Mhz
- ใช้งานหน่วยความจำบนบอร์ดได้ 3 ตำแหน่งด้วยกันคือ
 - U2 เป็นหน่วยความจำโปรแกรม (PROGRAM MEMORY) ใช้กับ EPROM ขนาด 8-32 KByte เบอร์ 2764 , 27128 หรือ 27256
 - U3 เป็นหน่วยความจำข้อมูล (DATA MEMORY) ใช้กับ RAM ขนาด 8 KByte เบอร์ 6264 หรือ 32 KByte เบอร์ 62256 สามารถแบคอัพข้อมูลได้โดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียม
 - U4 เป็นหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล (PROGRAM AND DATA MEMORY) ใช้กับ EPROM, RAM หรือ EEPROM ขนาด 8-32 KByte โดยใช้ EPROM เบอร์ 2764 , 27256 ใช้ RAM เบอร์ 6264 , 62256 หรือ EEPROM เบอร์ 2864(A) , 28256(A)
- มีพอร์ต I/O เบอร์ 8255 จำนวน 2 ตัว (48 บิต) สำหรับต่อไปใช้งานภายนอก
- มีพอร์ต LCD สำหรับการต่อใช้งานกับ LCD แบบ DOT MATRIX

- มีวงจร SERIAL INTERFACE DRIVER RS-232 ด้วยชิพเบอร์ MAX232 สำหรับการต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์
- มีวงจร Watchdog Timer, Powerup/down Reset ด้วยชิพเบอร์ MAX691
- มีวงจร RTC (Real Time Clock) ใช้ชิพเบอร์ DS1202
- มีคอนเน็คเตอร์สำหรับ PORT 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเฉพาะ
- มีคอนเน็คเตอร์สำหรับ SYSTEM BUS ทำให้ขยายระบบได้ง่าย และสามารถเข้ากับบอร์ดขยายต่าง ๆ ที่จะมีขึ้นในอนาคต
- สามารถเลือกเบอร์และชนิดหน่วยความจำ หรือกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ของบอร์ดได้ด้วยจัมพ์เปอร์
- สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ทั้ง ภาษาเบสิก และ แอสเซมบลี โดยใช้ซอฟต์แวร์พร้อม BASIC2 และ REN31

3.3 การใช้งานบอร์ด ANT-32

การใช้งานบอร์ด ANT-31 ผู้ใช้จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมควบคุมที่เรียกกันว่า มอนิเตอร์ โปรแกรมขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อทำให้งานที่ต้องการพัฒนาสำเร็จได้ ในขั้นตอนการพัฒนานี้เองที่เป็นจุดเด่นของ ANT-32 โดยมีโปรแกรมให้เลือก 2 ลักษณะด้วยกันคือ REM31 และ BASIC32 หลักการของทั้งสองโปรแกรมก็คือให้ผู้ใช้นำ EPROM บรรจุโปรแกรมนี้ไปเสียบลงบนบอร์ด ANT-32 ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ U2 (EPROM) แล้วทำการต่อสาย SERIAL PORT ระหว่างบอร์ด ANT-32 กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (PC,XT,AT,PS/2) จากนั้นที่เครื่อง PC ให้ใช้โปรแกรมสำหรับการสื่อสารข้อมูลอนุกรม ผู้ใช้จะสามารถติดต่อกับบอร์ด ANT-32 ได้ ตามลักษณะของโปรแกรมที่ใช้ดังนี้

REM31 (8032 REMOTE MONITOR) ใช้พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลีด้วย REM31 ผู้ใช้จะมีชุดคำสั่งในการพัฒนาโปรแกรมถึง 19 คำสั่ง

ลักษณะคำสั่งจะคล้ายคลึงกับคำสั่ง DEBUG ของ DOS ทำให้ผู้ใช้ที่คุ้นเคยอยู่ก่อนแล้วจะใช้งานได้ง่ายขึ้น REM31 ใช้กับ CPU ได้ทั้งเบอร์ 8031 และ 8032

BASIC32 (8032 BASIC INTERPRETER) ใช้พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาเบสิกกับ CPU 8032 ภาษาเบสิกตัวนี้ก็คือตัวเดียวกับ BASIC-52 ของ INTEL นั่นเอง โดย BASIC32 นี้ยังได้เปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติมคำสั่งใหม่เข้าไปเพื่อให้เหมาะสมกับบอร์ด ANT-32 ยิ่งขึ้น

และในกรณีที่ผู้ใช้มี EPROM EMULATOR (EE-232) ก็สามารถใช้พัฒนาโปรแกรมได้ทั้งภาษาแอสเซมบลีโดยใช้โปรแกรม 8051 ASSEMBLER หรือภาษาซีโดยใช้โปรแกรม 8051 C COMPLIER ซึ่งทั้งสองโปรแกรมจำเป็นต้องใช้เครื่อง PC ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมด้วยเช่นกัน

และในบอร์ด ANT-32 ดังที่กล่าวมาซึ่งจะพอร์ตที่เราจะสามารถใช้งานได้ ทั้งหมด 6 พอร์ตคือพอร์ตของ 8255 ซึ่งมีจำนวน 2 ตัวมีพอร์ตอย่างละ 3 พอร์ต โดยที่เราจะทำการรับส่งข้อมูลที่ได้จากการแปลงจากวงจร A/D และควบคุม รวมถึงการกำหนดค่าแรงดันให้วงจร D/A เพื่อใช้เป็น POWER SUPPLY ผ่านทางพอร์ตเหล่านี้ ซึ่งเรามีวิธีการควบคุมใช้งานดังนี้

3.4 พอร์ต TTL I/O (8255)

8255 Programmable Peripheral Interface (PPI) เป็นชิพพอร์ตแบบขนานที่เป็นที่นิยมใช้งานกันมากมาย สำหรับบอร์ด ANT-32 ใช้พอร์ต 8255 จำนวน 2 ตัวทำหน้าที่เป็นพอร์ตทำให้มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตถึง $24 \times 2 = 48$ บิต โดยแบ่งเป็น USER PORT 1 และ 2 มีตำแหน่งแอดเดรสดังนี้

USER PORT 1 (U10) แอดเดรส $F800H + 8255 \text{ offset addr} = \text{actual addr}$

Port A ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 00H = F800H$

Port B ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 01H = F801H$

Port C ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 02H = F802H$

Mode Port ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 03H = F803H$

USER PORT 2 (U11) แอดเดรส $FC00H + 8255$ offset addr = actual addr

Port A ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 00H = FC00H$

Port B ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 01H = FC01H$

Port C ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 02H = FC02H$

Mode Port ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 03H = FC03H$

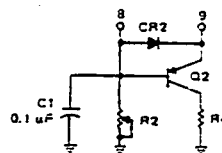
ก่อนที่จะใช้งานพอร์ท 8255 ผู้ใช้ต้องทำการกำหนดโหมดการทำงาน (configuration) ของพอร์ท A,B และ C ให้เป็นพอร์ทอินพุตและเอาต์พุต โดยทำการเขียนค่า control code ไปที่ Mode Port ซึ่ง Mode Port นี้สามารถเขียนได้เท่านั้นไม่สามารถอ่านได้ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการทำงานในโหมด 0 ซึ่งเป็นโหมดที่ใช้งานได้สะดวกและง่ายต่อการทำความเข้าใจ ดังแสดงค่า control code ดังตารางที่ 1

และในส่วนต่อไปที่เราออกแบบคือวงจรรักษาระดับแรงดันที่เราสร้างขึ้นมาเพื่อที่จะจ่ายกระแสให้กับอุปกรณ์หรือหัววัดที่เรานำมาต่อได้ ซึ่งวงจรนี้จะช่วยจ่ายกระแสให้กับหัววัด เนื่องจากวงจร D/A นั้นไม่สามารถจ่ายกระแสได้สูงพอ จะทำให้แรงดันตกลง วงจรในส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่อยู่ต่อจากวงจร D/A เป็นเอาต์พุตของ POWER SUPPLY ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5 วงจรรักษาระดับแรงดัน

โดยทั่วไปเราสามารถที่จะใช้ไอซี regulator ตระกูล 78XX หรือ 79XX ได้ เพื่อทำเป็นวงจร regulator รวมไปถึงตระกูล LM3XX ด้วย แต่ไอซี ในตระกูลเหล่านี้มันโดยปกติจะสามารถจ่ายกระแสได้ไม่มากนัก และไม่สามารถปรับให้แรงดันเอาต์พุตได้ต่ำมาก ๆ ใกล้ศูนย์โวลต์ได้ต้องมีวงจรเพิ่มเติมอีกมาก ในโครงการนี้จึงเลือกใช้ไอซี

- 3.6.3 ถ้า V_{in} มากกว่า 20 Vdc จะต้องมีไดโอด D2,D3 และ D4 เพื่อป้องกัน
ขณะลัดวงจร
- 3.6.4 ไดโอด D5 มีไว้ป้องกัน MC1466L ในกรณีที่การทำงานของ
ทรานซิสเตอร์ที่ต่อกับขา 5 เกิดทำงานผิดปกติ หรือเสียหายได้
- 3.6.5 วงจร RC network ที่ขา 5 และ 6 ใช้สำหรับการชดเชยเพื่อให้วงจรมีการ
ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสได้เร็วขึ้น โดยค่าที่กำหนดให้
มานี้ใช้ได้กับทุกงาน
- 3.6.7 เมื่อใช้งานแบบ remote sense ขา 9 จะต่อไปยังขั้วบวกของโหลด โดย
สายแยกต่างหาก และขั้ว negative sense จะต่อไปยังขั้วลบของโหลด
- 3.6.8 ตัวเก็บประจุ C_o หาได้จาก
- $$C_o = (100\mu F) \times I_L(\max)$$
- โดยที่ $I_L(\max)$ คือกระแสโหลดสูงสุด(แอมแปร์)
- 3.6.9 ตัวเก็บประจุ $C2$ จำเป็นต้องมีเพื่อชดเชยค่าภายในให้แก่ MC1466L
- 3.6.10 เพื่อให้การรักษาระดับแรงดันดีที่สุด กระแสที่ออกจากขา 5 จะต้องมีค่า
ไม่สูงกว่า 0.5 mA ดังนั้นจึงต้องเลือก Q1 และ Q2
- $$\frac{I_{\max}}{\beta_1 \beta_2} \leq 0.5 \text{ mA}$$
- β_1 = อัตราขยายกระแสต่ำสุดของ Q1
- β_2 = อัตราขยายกระแสต่ำสุดของ Q2
- I_{\max} = กระแสสูงสุดเมื่อลัดวงจรที่โหลด
- 3.6.11 ควรจะมีไดโอด D6 เพื่อป้องกัน MC1466L เมื่อแรงดันเอาท์พุท V_o สูง
กว่า 150 โวลต์
- 3.6.12 ในงานที่ต้องการปรับค่า R2 ลดลงอย่างรวดเร็ว แนะนำให้แทนไดโอด
D3 ด้วย Q3 และ R4 ดังรูป



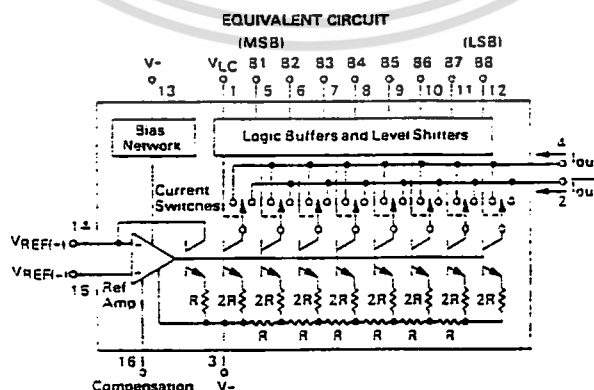
และเนื่องจาก MC1466L นั้นสามารถรักษาแรงดันได้เฉพาะแรงดันบวกเท่านั้น แต่ในโครงการพิเศษนี้ต้องการแหล่งจ่ายไฟทั้งบวกและลบ ดังนั้นจึงมีวงจร regulator จำนวน 2 ชุดและนำมาต่ออนุกรมกัน โดยให้จุดต่อร่วมเป็นกราวด์

3.7 การออกแบบวงจร digital-to-analog

ในส่วนนี้เราจะออกแบบวงจร D/A เพื่อทำให้ที่เป็นแรงดันอ้างอิงให้กับวงจร regulator ในการทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้กับอุปกรณ์ภายนอก โดยเราใช้ไอซีเบอร์ DAC-0804 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

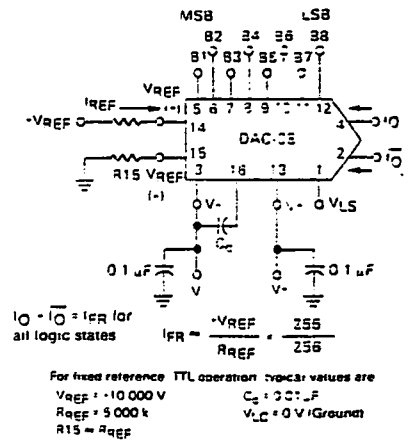
- Fast Setting Time 85 ns
- Full Scale Current Prematched to ± 1 LSB
- ความไม่ linear เชิงเส้นเนื่องจากอุณหภูมิ $\pm 0.1\%$ Max
- เอาท์พุทเป็นแบบ Differential Current
- สามารถให้แรงดันเอาท์พุทสูงสุดได้ +10 ถึง +18 โวลต์
- Wide Range Multiplying Capability
- มีอินพุทที่ใช้ได้กับ TTL,DTL,CMOS,PMOS,ECL,HTL
- Low Full Scale Current Drift
- ใช้แรงดันได้ในช่วงกว้าง ± 4.5 V ถึง ± 18 V
- กินกำลังต่ำ
- เป็นชนิด Thin-Film Resistors
- ราคาถูกและหาง่าย

วงจรภายในแสดงได้ดังนี้



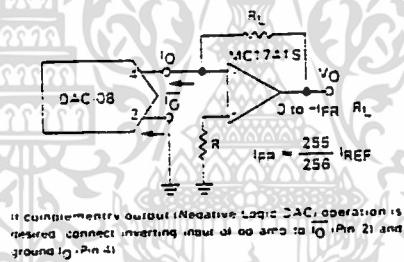
รูป 3.3 แสดงวงจรภายในของ DAC-08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 แสดงวงจรการสร้างแรงดันอ้างอิงพื้นฐานของ DAC-08

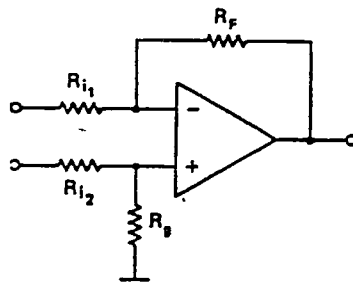
และรูปต่อข้างบนนี้เป็นวงจรที่เราใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบซึ่งเราจะต้องจ่ายแรงดัน $V_{ref} +10$ โวลต์ และในการที่เราจะทำการกำหนดบิตเพื่อที่จะทำการเปลี่ยนนั้น บิต LSB จะตรงกับขา 12 ส่วนบิต MSB จะตรงกับขา 5 ไอซีเบอร์นี้จะแปลงค่าดิจิตอลเป็นค่ากระแสดังนั้นเราจะต้องนำค่ากระแสที่ได้มาเปลี่ยนเป็นแรงดันโดยใช้ออปแอมป์ LF353 โดยที่วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันพื้นฐานเป็นดังรูป



รูป 3.5 แสดงการใช้ออปแอมป์เพื่อสร้างวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

โดยที่แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์หาได้จากกระแสที่ออกจากขา 4 คูณด้วย R_L และสัญญาณดิจิตอลนั้นต่ออยู่กับพอร์ท A ของ 8255 ใน ANT-32

และในการต่อเอาต์พุตของวงจร D/A เข้ากับวงจร regulator จะต้องทำการแยกกราวนด์ของทั้งสองวงจรรออกจากกันเพื่อที่จะสร้างแหล่งจ่ายไปบวก-ลบได้จึงต้องมีวงจร Difference Amplifier ที่มีอัตราขยายเป็น 1 เพื่อเป็น buffer ในการแยกกราวนด์ดังรูปต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูป 3.6 แสดงวงจร Difference Amplifier

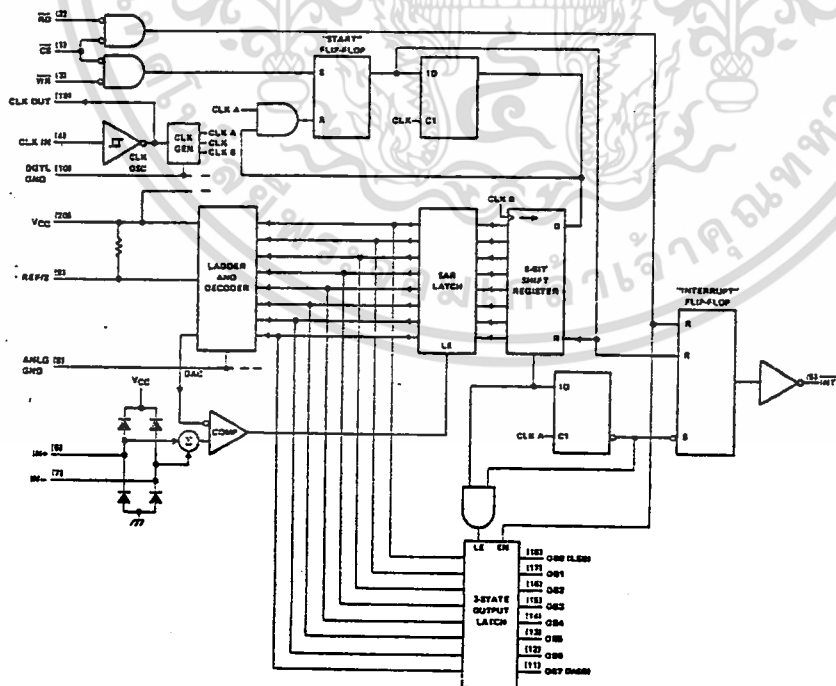
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การออกแบบวงจร analog-to-digital

ในส่วนต่อไปนี้จะเป็นการออกแบบวงจรเพื่อแปลงสัญญาณอินพุทที่ได้จากหัววัดที่ให้เอาท์พุทเป็นแรงดันค่าบวกออกมา และทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งไปให้กับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งไปยัง PC เพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณต่อไป โดยเราจะใช้ไอซี A/D เบอร์ ADC0804 ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ความละเอียด 8 บิต
- Ratiometric Conversion
- ความเร็วในการแปลง 100 us
- มีค่า Access Time 135 ns
- ไม่ต้องการการปรับศูนย์
- มีแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาในตัว
- ใช้ไฟเลี้ยงเดียว 5 V
- สามารถทำงานได้ในแบบ Microprocessor หรือ Stand-Alone
- ราคาถูกและหาง่าย

รูปต่อไปนี้จะแสดงวงจรภายในของ ADC0804



รูป 3.7 แสดงวงจรภายในของ ADC0804

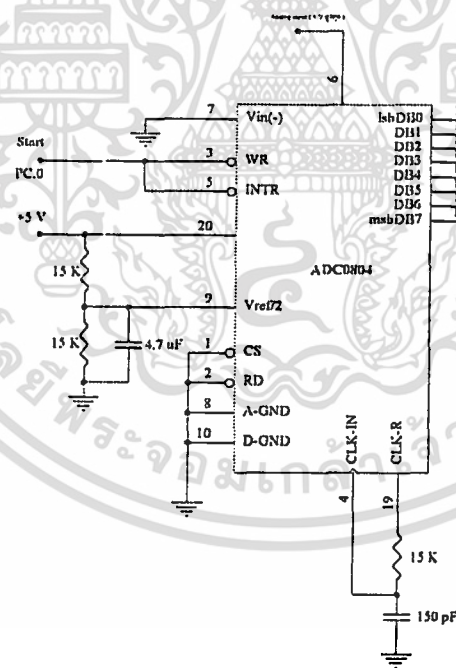
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานนี้เราจะต้องวงจรในการทำงานแบบ Stand-Alone เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนและมีการใช้สัญญาณควบคุมเพียงเส้นเดียวซึ่งง่ายต่อการควบคุมดังรูป ซึ่งความละเอียดในการแปลงสัญญาณคือ 2^8 หรือ 256 ระดับ โดยที่สามารถรับสัญญาณอินพุตได้สูงสุดคือ 5 โวลต์ ซึ่งจะได้ว่าความละเอียดของแรงดันต่อ 1 บิตคือ

$$\frac{5}{2^8 - 1} = 0.0196 \text{ V}$$

ในการควบคุมนี้เราจะต้องสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการแปลงเข้ากับ พอร์ต B ของ 8255 ใน ANT-32 และใช้เส้นสัญญาณควบคุมการแปลงดังรูปคือ ขา 3 และ 5 โดยต่อเข้ากับพอร์ต C ของ 8255 โดยการกำหนดสัญญาณควบคุมนั้นเป็นดังนี้

- 1 คือ กำหนดให้ไอซีทำการแปลงสัญญาณอย่างต่อเนื่อง
- 0 คือ กำหนดให้ไอซีหยุดแปลงสัญญาณเพื่อทำการอ่านข้อมูล



รูป 3.8 แสดงการต่อในโหมด Stand-Alone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โปรแกรมควบคุมและการทำงาน

ในการทำการควบคุมระบบเชื่อมต่อหัววัดที่สร้างขึ้นมี โปรแกรมทั้งหมดสอง ส่วนด้วยกันในการทำงานร่วมกันเพื่อควบคุมเครื่อง คือส่วนของโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี 8051 และส่วนของโปรแกรมภาษาซีซึ่งมีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้และแสดงผลการทำงานของเครื่อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การใช้งานภาษาแอสเซมบลี 8051

ในส่วนของภาษาเครื่อง 8051 ซึ่งเป็นส่วนที่บรรจุอยู่ใน ROM ในระบบ ANT-32 นี้เราสามารถที่จะเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรม EPROM ได้หลายขนาด เช่น 8 Kbyte (2764), 16 Kbyte (27128) หรือ 32 Kbyte (27256) เป็นต้น ซึ่งในส่วนการทำโครงการพิเศษนี้เราใช้ REM31 (Remote Monitor) ในการพัฒนาโปรแกรมโดยอาศัย SERIAL PORT สื่อสารกับเครื่อง PC ซึ่ง REM31 นี้สามารถทดสอบ โปรแกรมโดยให้ผลในลักษณะ REAL TIME คือโปรแกรมจะทำงานในตัว CHIP จริง ๆ ตามสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่จริงทุกประการ ซึ่งเป็นการทดสอบที่สมบูรณ์แบบในทำนองเดียวกับพวก EMULATOR ที่ใช้กันอยู่ แต่มีราคาถูกกว่ากันมาก ซึ่ง REM31 EPROM เบอร์ 27C256 ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมนี้นี้เป็นของบริษัท ซิลลา ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งกับบอร์ด JAZZ-31 และ บอร์ด ANT-32

4.2 การติดตั้ง REM31

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 (เช่น 8031/8032) โดยมีฐานเวลาเป็น 11.0592 MHz
2. มี Socket สำหรับหน่วยความจำ EPROM เบอร์ 27256 โดยเป็นหน่วยความจำที่มีตำแหน่งเริ่มต้นที่ 0000 ในส่วนของ PROGRAM MEMORY

3. มีหน่วยความจำ RAM อย่างน้อย 256 KByte ที่ตำแหน่ง 8000-80FFH ซึ่งเป็นทั้งส่วน PROGRAM และ DATA ได้ขณะเดียวกัน สำหรับเป็น WORKING AREA
4. มีวงจรเพื่อการสื่อสารทาง RS232 (SERIAL PORT) ที่ต่อระหว่างตัวไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ PC
5. นำ REM31 EPROM เสียบลงบอร์ดที่ตำแหน่ง U2 และเลือกเบอร์เป็น 27256
6. ต้องแน่ใจว่ามี RAM อยู่ที่ตำแหน่ง U4 โดยจะเป็นเบอร์ 6264 หรือ 62256 ก็ได้
7. ต่อสาย RS232 ด้านขั้ว 3 PIN เข้ากับบอร์ด (กรณี JAZZ-31 ให้ใช้ HW-RS232 หรือ SERIAL-1) และด้านขั้ว DB25 หรือ DB9 ให้ต่อเข้ากับเครื่อง PC
8. จ่ายไฟเข้าบอร์ด และเปิดเครื่อง PC ได้

4.3 คำสั่งสำหรับ REM31

สำหรับคำสั่งที่สำคัญบางคำสั่งที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมเช่น

1. คำสั่ง A (Assembler) สำหรับการทำ MINI-ASSEMBLER
รูปแบบ A addr
2. คำสั่ง D (Display) สำหรับการดูข้อมูลในหน่วยความจำ
รูปแบบ D [addr] [addr]
3. คำสั่ง G (Go) สำหรับการสั่งให้ทำงานตามโปรแกรม
รูปแบบ G [addr]
4. คำสั่ง H (Help) สำหรับการแสดงชุดคำสั่งของ REM31
รูปแบบ H
5. คำสั่ง L (download) สำหรับการ DOWNLOAD ข้อมูลหรือโปรแกรมจากเครื่อง PC ลงบอร์ด

รูปแบบ L [addr] โดยมีขบวนการส่งดังนี้

5.1 ให้กด Ctrl A เพื่อการเข้าสู่โหมดการใช้คำสั่งของ XTALK โดยเครื่อง จะแสดงคำว่า Command? ที่บรรทัดสุดท้าย ของจอภาพ และพร้อมที่จะรับคำสั่งต่าง ๆ ของ XTALK

5.2 ใช้คำสั่ง SE และตามด้วยชื่อ FILE ที่ต้องการจะส่ง ดังนี้
SE FILENAME.HEX

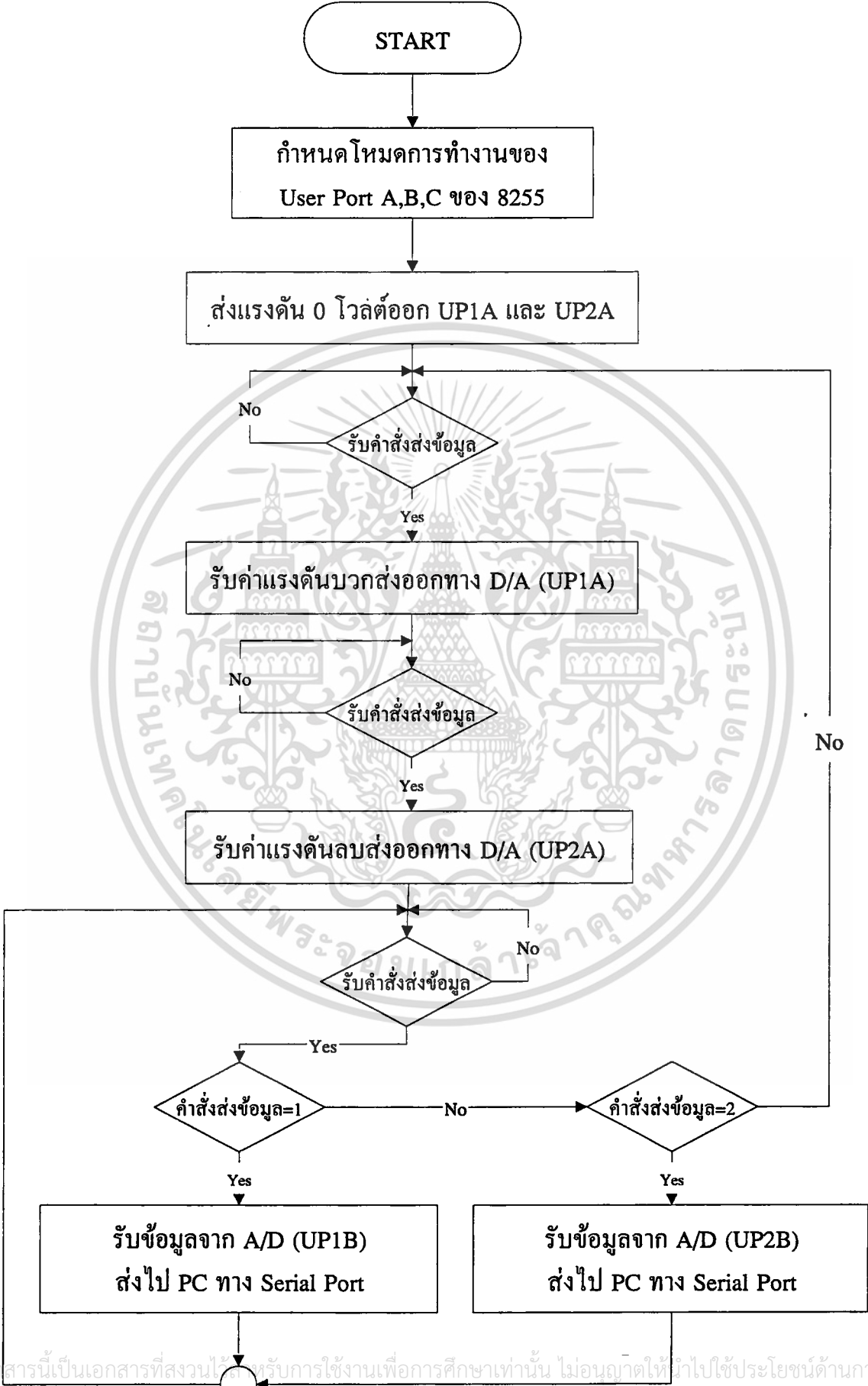
5.3 เครื่องจะแสดงข้อความ SEending file... บนจอภาพ และทำการส่ง FILE ออกไปทาง SERIAL PORT ทันที และจะกลับมาแสดง เครื่องหมาย PROMPT “-” ตามเดิม

โดยในส่วนของภาษาแอสเซมบลีนี้จะทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ตลอดเวลาเพื่อรอรับคำสั่ง โดยคำสั่งที่ส่งมาจากเครื่องจะเป็นคำสั่งที่สั่งให้ ANT-32 นั้นทำการควบคุมให้วงจร A/D ทำงานและรับข้อมูลที่แปลงได้ส่งขึ้นมายัง PC หรือรับข้อมูลจาก PC เพื่อทำการกำหนดแรงดันของวงจร POWER SUPPLY ส่งออกไปยังวงจร D/A ได้ ซึ่งเป็นไปตาม FLOWCHART การทำงานดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีชาร์ตการทำงานภาษา ASSEMBLY 8051



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การใช้งานโปรแกรมทดสอบเครื่อง

4.4.1 วัตถุประสงค์ของโปรแกรม

โปรแกรมนี้ออกแบบขึ้นเพื่อทำการทดสอบการทำงานของเครื่องในด้านต่าง ๆ เช่น

1. การกำหนดแรงดันเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ตาม
2. รับข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณจากวงจร A/D ขนาด 8 บิต โดยมีจำนวนช่องสัญญาณเข้า 2 ช่อง

4.4.2 ขอบเขตการทำงานของโปรแกรมและการใช้งาน

การทำงานของโปรแกรมมีขอบเขตการทำงานที่ขึ้นกับเครื่องและโปรแกรม COMPILER ซึ่งใช้ TURBO C++ 3.0 ทั้งสองอย่างซึ่งขั้นตอนการใช้งานเป็นดังนี้

1. กำหนดพอร์ทในการติดต่อกับเครื่องทางพอร์ท COM1 หรือ COM2 เท่านั้น
2. สามารถกำหนดแรงดันออกได้ในช่วง -15.00 ถึง +15.00 โวลต์ โดยทำการป้อนค่าแรงดันที่ต้องการทั้งแรงดันบวก(VT(+))และลบ(VT(-))ตามลำดับ โดยผู้ใช้สามารถกำหนดเป็นจุดทศนิยมได้สองตำแหน่ง เช่น 10.23 โวลต์ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าใกล้เคียงเหตุผลเนื่องจากการแปลงค่าแรงดันเป็นรหัสดิจิทัลใช้ขนาด 8 บิตมีความละเอียดเพียง 255 ระดับ
3. กำหนดโหมดการรับข้อมูล(MODE_RECV)จากการแปลงของวงจร A/D ขนาด 8 บิตโดยสัญญาณอนาล็อกที่รับได้สูงสุดคือ 5 โวลต์ มีจำนวน 2 ช่องสัญญาณเข้า ซึ่งมีแบบการรับข้อมูลดังนี้
 - 3.1 MODE 0 คือการรับข้อมูลจากช่องสัญญาณที่ 1 โดยกำหนดจำนวนการอ่านข้อมูลเข้า
 - 3.2 MODE 1 คือการรับข้อมูลจากช่องสัญญาณที่ 2 โดยกำหนดจำนวนการอ่านข้อมูลเข้า
 - 3.3 MODE 2 คือการรับข้อมูลจากช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 พร้อมกันโดยกำหนดจำนวนการอ่านข้อมูลเข้า
 - 3.4 MODE 3 คือการรับข้อมูลจากช่องสัญญาณที่ 1 โดยมีการอ่านข้อมูลเข้าตลอดเวลาจนกระทั่งผู้ใช้สั่งหยุด

3.5 MODE 4 คือการรับข้อมูลจากช่องสัญญาณที่ 2 โดยมีการอ่านข้อมูลเข้าตลอดเวลาจนกระทั่งผู้ใช้สั่งหยุด

4. ในการกำหนดจำนวนการอ่านข้อมูลเข้าในโหมด 0 ถึง 2 สามารถกำหนดได้ในช่วง 2 ถึง 16,000 คำ ซึ่งมีเหตุผลจากการ COMPILE โปรแกรมซึ่งใช้ค่าสูงสุดได้ 16,000 คำเนื่องจากจะทำให้หน่วยความจำไม่พอในการ COMPILE ถ้าใช้สูงกว่านี้
5. ในการกำหนดค่าความเร็วหรือ SPEED ในโปรแกรมซึ่งก็คือค่าความเร็วโดยเฉลี่ยในการอ่านข้อมูลเข้าในช่วงระหว่างแต่ละคำที่อ่านเข้ามา เช่น ถ้ากำหนด SPEED = 1 จะได้ค่าเวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 1.25 มิลลิวินาที เป็นต้น ซึ่งอาจจะไม่เท่ากันโดยตลอดก็ได้ SPEED จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 32,766 ซึ่งมีเหตุผลจากการที่ผู้เขียนโปรแกรมประกาศตัวแปรที่จะใช้ในการหน่วงเวลาให้กับฟังก์ชัน DELAY(ตัวแปร) เป็นชนิด UNSIGNED INT ซึ่งเป็นข้อบังคับของฟังก์ชันชนิดนี้ ซึ่งค่าการหน่วงเวลาอ่านข้อมูลเข้าสูงสุดประมาณ 32,766 มิลลิวินาทีหรือประมาณ 32.766 วินาทีนี้ นับว่านานเพียงพอระดับหนึ่งในการใช้งาน
6. ในการอ่านข้อมูลในโหมด 3 และ 4 นั้นจะทำการอ่านข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาโดยไม่มีการกำหนดจำนวนสิ้นสุดในการอ่านข้อมูล โดยจะมีการแสดงผลอย่างต่อเนื่อง และมีคีย์ที่โปรแกรมกำหนดให้ใช้งานได้ดังนี้
 - คีย์ใด ๆ ถ้าต้องการให้หยุดรับค่าชั่วคราวและดำเนินการต่อไป
 - คีย์ t หรือ T ถ้าต้องการให้มีการจับเวลาที่ผ่านไปด้วย
 - คีย์ ESC ถ้าต้องการยกเลิกการรับข้อมูลและทำงานอื่นต่อไป
7. ในโหมด 3 และ 4 ต้องกำหนดระยะสเกลในแกนนอนของกราฟเพื่อความละเอียดในการแสดงผลตามต้องการ มีค่า 2 ถึง 255
8. สามารถสั่งพิมพ์ภาพทั้งหมดของหน้าจอออกสู่เครื่องพิมพ์ได้ โดยกำหนดให้ใช้เครื่องพิมพ์ทาง LPT 1 เท่านั้น และสามารถยกเลิกการพิมพ์ได้โดยการกดคีย์ใด ๆ หลังจากการเสร็จสิ้นการอ่านข้อมูลโดยเครื่องพิมพ์ที่ใช้ต้องเป็นชนิดใช้เข็มเท่านั้น และใช้กระดาษขนาด A4 ขึ้นไปเพื่อที่จะสามารถพิมพ์กราฟการแสดงผลได้หมดภายในหน้าหนึ่งกระดาษ

บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดสอบระบบเชื่อมต่อหัววัดกับไมโครคอมพิวเตอร์

5.1 การทดสอบโหลด regulation

โหลด regulation คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ในขณะที่แรงดันไฟสลับทางอินพุตมีค่าคงที่ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าน้อยยิ่งดี แหล่งจ่ายไฟที่ดีควรมีค่าโหลด regulation ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และที่กระแสโหลดสูงสุด ซึ่งค่าโหลด regulation หาได้จาก

$$\% \text{ Load regulation} = \frac{V_o - V_L}{V_o} \times 100$$

V_o = คือ แรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

V_L = คือ แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด

5.2 ผลการทดสอบโหลด regulation

ผลการทดสอบหาค่าโหลด regulation ของทั้งด้านบวกและลบ ทดสอบโดยใช้โหลดความต้านทานค่าคงที่ 478 โอห์ม การอ่านค่าใช้มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ C.I.E. รุ่น 8020 Ruggedized ช่วงสเกล 0-40 โวลต์ + 0.5 % ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

(V)	แรงดันด้านบวก (V)			แรงดันด้านลบ (V)		
โปรแกรม กำหนด แรงดัน	No Load	Load	% Load regulation	No Load	Load	% Load regulation
0.00	0.26	0.03	88.46	0.26	0.03	88.46
1.00	1.20	0.97	19.16	1.09	0.98	10.09
2.00	2.20	1.99	9.54	2.09	1.99	4.78

(V)	แรงดันด้านบวก (V)			แรงดันด้านลบ (V)		
โปรแกรม กำหนด แรงดัน	No Load	Load	% Load regulation	No Load	Load	% Load regulation
3.00	3.18	2.98	6.28	3.09	3.00	2.91
4.00	4.21	4.00	4.98	4.11	4.03	1.94
5.00	5.20	5.00	3.84	5.10	5.03	1.37
6.00	6.20	6.00	3.22	6.11	6.05	0.98
7.00	7.19	6.99	2.78	7.10	7.04	0.84
8.00	8.20	8.00	2.43	8.13	8.07	0.73
9.00	9.17	8.98	2.07	9.12	9.06	0.65
10.00	10.16	9.98	1.17	10.12	10.07	0.49
11.00	11.13	10.96	1.52	11.11	11.06	0.45
12.00	12.13	11.96	1.40	12.12	12.08	0.33
13.00	13.11	12.93	1.37	13.11	13.07	0.30
14.00	14.08	13.93	1.06	14.10	14.06	0.28
15.00	15.06	14.89	1.11	15.09	15.05	0.26
		เฉลี่ย	4.12		เฉลี่ย	1.76

5.3 ผลการทดสอบการรับข้อมูลในโหมดต่าง ๆ

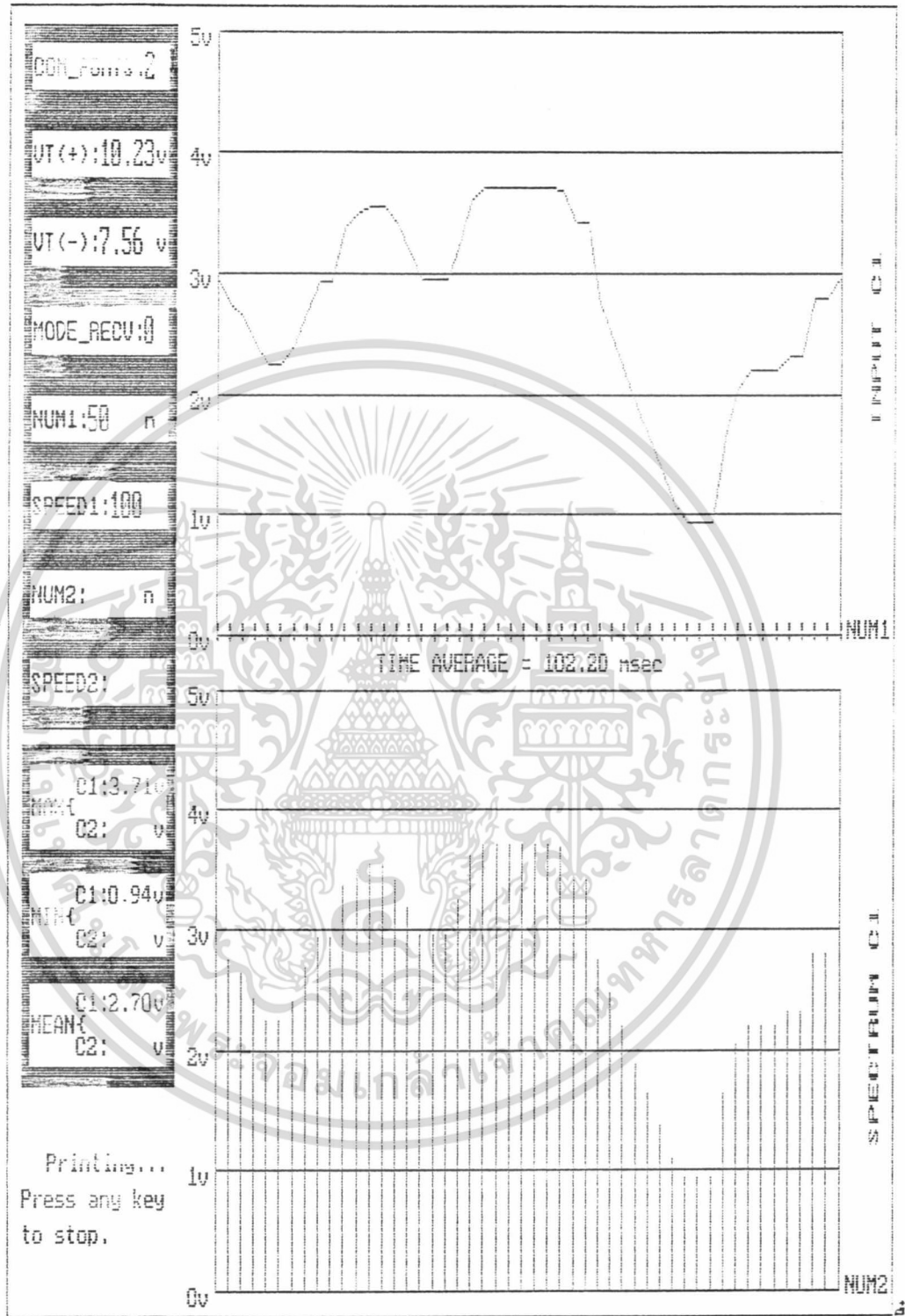
โดยในการทดสอบใช้แหล่งกำเนิดแรงดันขนาด 5 โวลต์แทนหัววัดที่ให้เอาท์พุทออกมาเป็นแรงดัน โดยต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทให้กับเครื่องมือเพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมและเครื่อง ซึ่งได้ผลดังกราฟต่อไปนี้ โดยใช้เครื่องพิมพ์ชนิดหัวเข็ม ยี่ห้อ EPSON รุ่น LQ-100

กราฟแสดงการรับข้อมูล



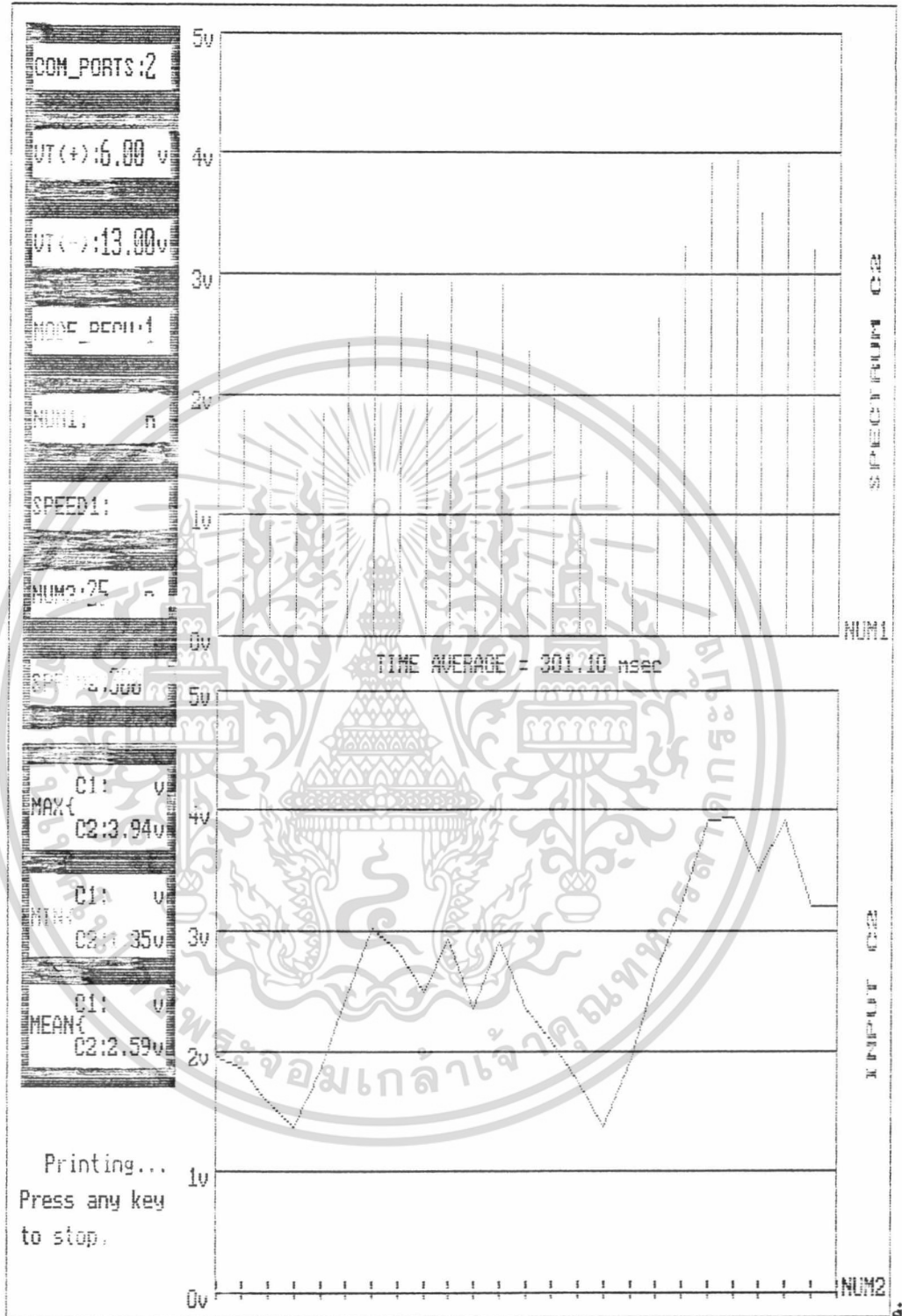
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 0



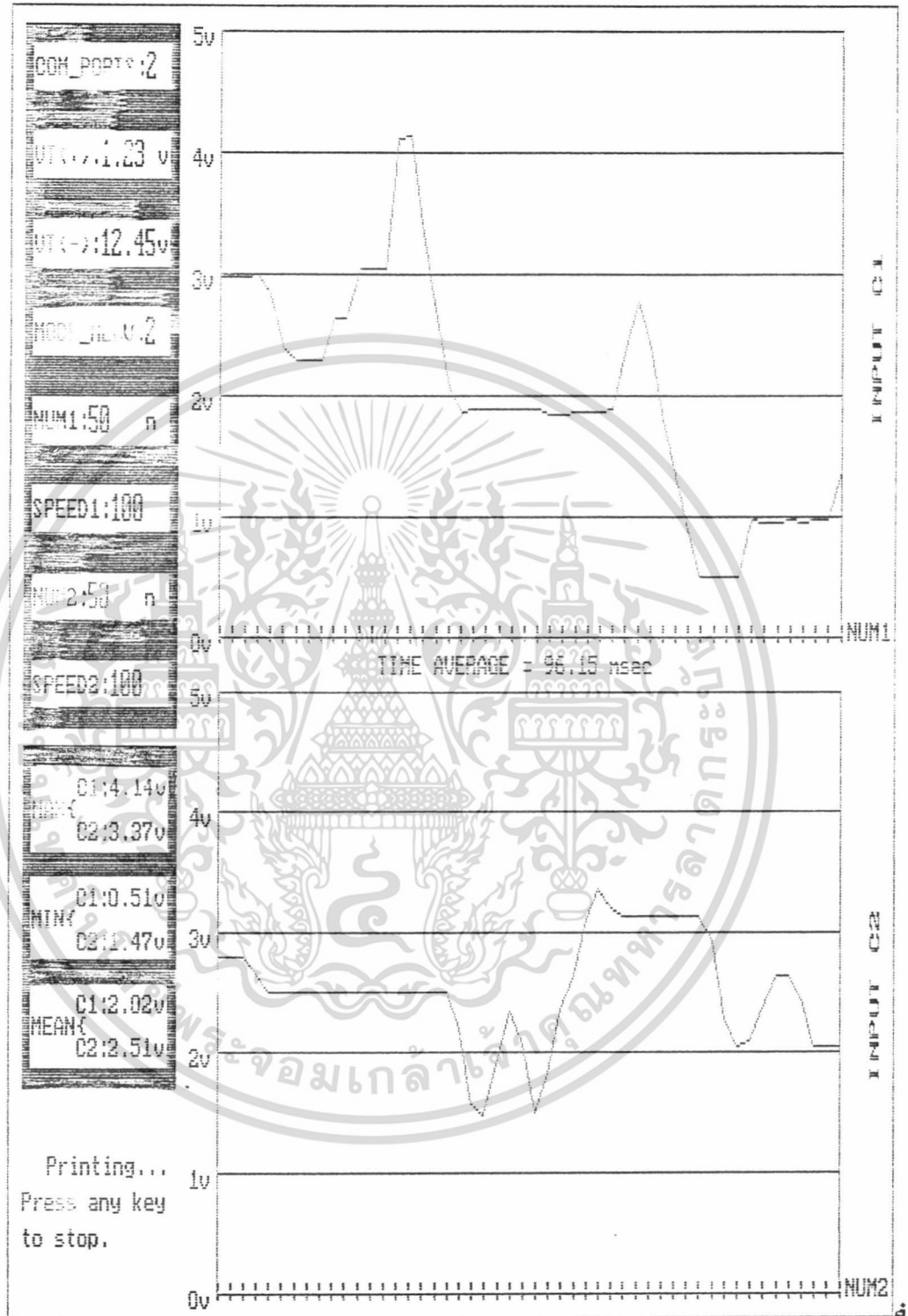
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 1



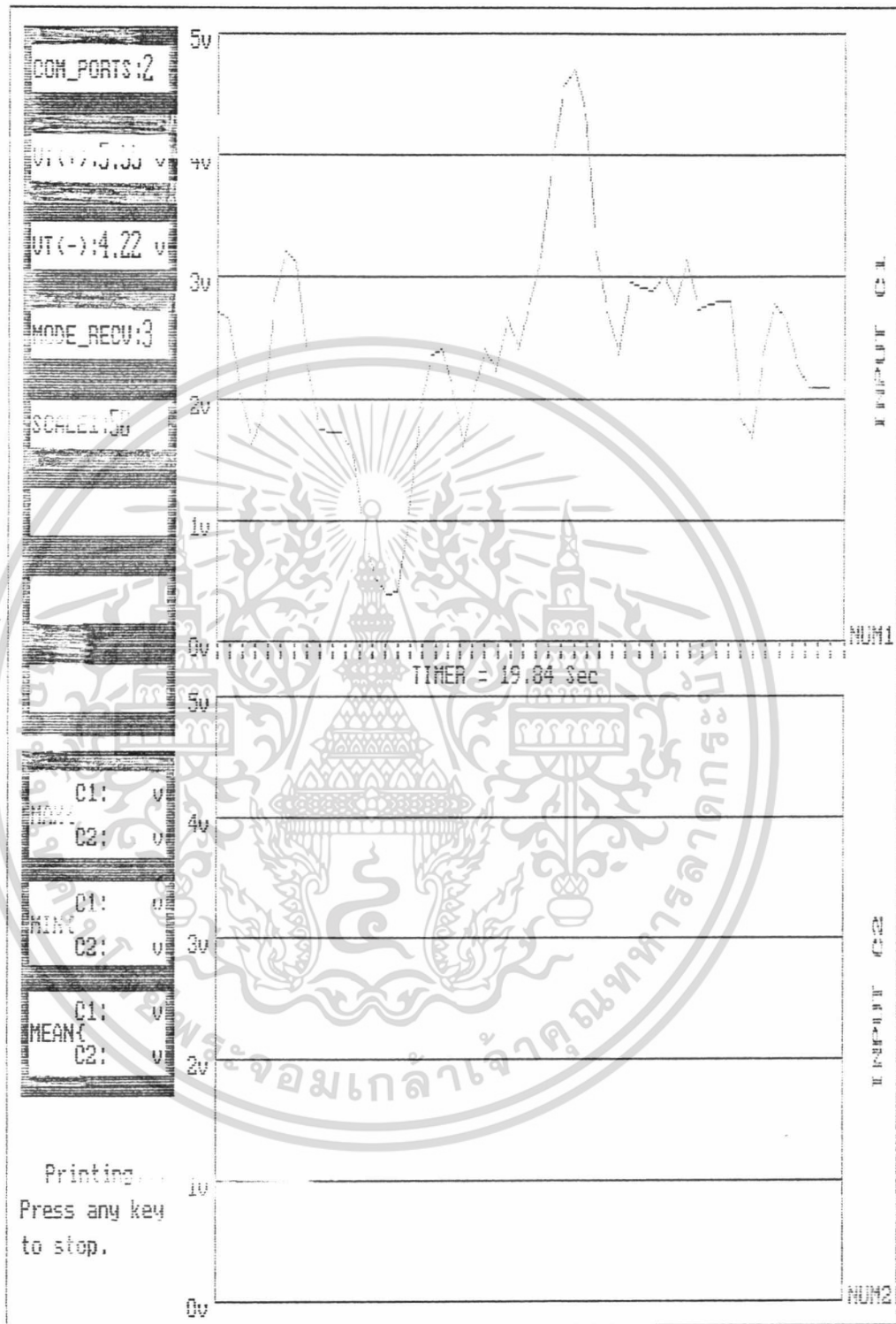
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 2



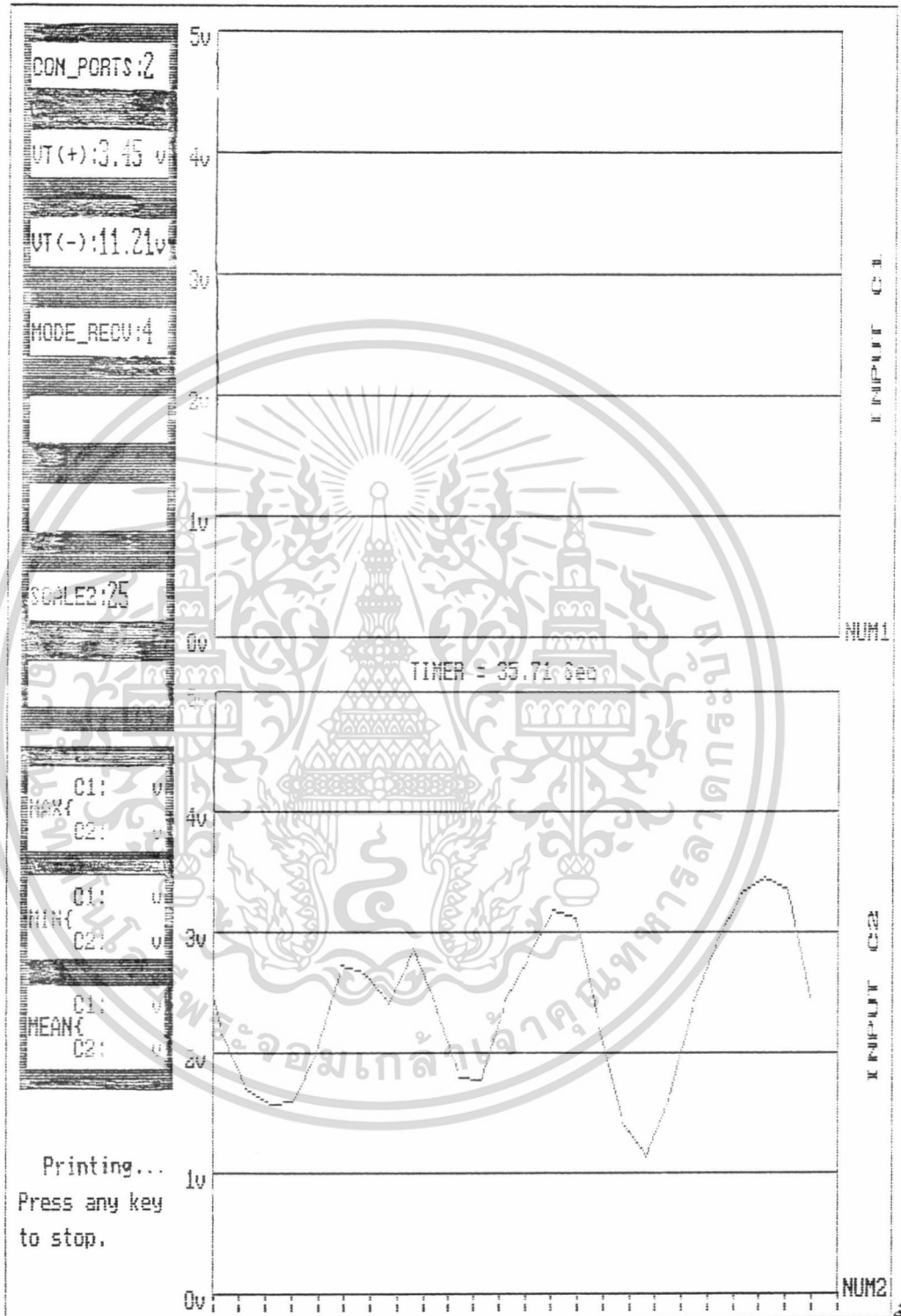
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

6.1 สรุปผลการทดสอบ

1. จากการทดสอบแรงดันที่ได้จากการโปรแกรมได้ว่า

แรงดันด้านบวกมี % regulation เหลือ = 4.12

แรงดันด้านลบมี % regulation เหลือ = 1.76

สรุปได้ว่าแรงดันด้านลบมีความสามารถในการรักษาระดับแรงดันได้ดีกว่าแรงดันด้านบวกเนื่องจากมี % regulation ต่ำกว่า แต่ทั้งด้านบวกและลบก็ให้ค่า % regulation ที่ต่ำกว่า 10 % ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควรในการรักษาระดับแรงดันและจากผลที่ได้ พบว่าเมื่อแรงดันที่จ่ายออกมีค่ามากขึ้น % regulation มีค่าต่ำลงทั้งสองด้านซึ่งหมายถึงที่ระดับแรงดันสูง ๆ จะมีการรักษาระดับแรงดันได้ดีกว่าที่แรงดันต่ำ ๆ และให้ค่าแรงดันที่ได้ใกล้เคียงกับการโปรแกรม ซึ่งความผิดพลาดที่พบคือเกิดแรงดัน OFFSET ขึ้นซึ่งทำให้ค่าคลาดเคลื่อนไปและในการแปลงค่า D/A ใช้ความละเอียด 8 บิตซึ่งมีความละเอียด 256 ระดับซึ่งสามารถปรับได้ละเอียดสูงสุดคือ 0.058 โวลต์ต่อ 1 บิต

2. และในการทดสอบการรับค่าที่เป็นสัญญาณอนาล็อก และการแสดงผลอย่างทันทีทันใดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่อินพุทให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ความเร็วยังไม่มากเท่าที่ควรอันเนื่องมาจากการแสดงผลในโหมดกราฟฟิค ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการรับส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น ซึ่งโปรแกรมด้วยภาษาชั้นสูงซึ่งมีความเร็วที่ช้ากว่าภาษาเครื่อง

6.2 แนวทางการพัฒนา

1. ปรับปรุงแหล่งจ่ายแรงดันแบบโปรแกรมให้มีค่า % regulation ต่ำลง และปรับค่าแรงดัน OFFSET ให้หมดไปซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพ

ภาพที่สี่ขึ้นและสามารถปรับแรงดันได้ละเอียดได้มากขึ้น โดยใช้ตัว
แปลงสัญญาณ D/A ขนาด 12 บิตหรือ 16 บิต

2. เพิ่มความสามารถการจ่ายกระแสของส่วน POWER SUPPLY ให้มากขึ้น
ถ้ามีความจำเป็นในการใช้งาน
3. ในส่วนของ A/D เปลี่ยนเป็นขนาด 12 บิตหรือ 16 บิตเพื่อความละเอียด
ในการจับสัญญาณที่มีค่าน้อยได้และใช้เบอร์ที่มีความเร็วในการแปลง
สัญญาณที่มีความเร็วสูงขึ้น
4. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำงานบน Windows 3.XX หรือ Windows
95 เพื่อความมีมาตรฐานและพัฒนาอัลกอริทึมในการรับส่งข้อมูลให้มี
ความเร็วในการทำงานสูงขึ้นและมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น
5. พัฒนาการเก็บข้อมูลและรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่มีมาตรฐาน
เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานให้เข้ากับระบบอื่น ๆ ที่มีอยู่แล้วได้
6. ศึกษาและพัฒนาระบบเชื่อมต่อให้เข้ามาตรฐานต่าง ๆ ของอุปกรณ์หัววัด
ที่มีอยู่โดยทั่วไปได้ทั้งหมด
7. ปรับปรุงขนาดของเครื่องให้มีขนาดเล็กลงเพื่อความสะดวกในการ
เคลื่อนย้าย



ภาคผนวก ก.

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

----- PROGRAM : PROJECT.ASM-----

----- APPLIED PHYSICS : KMITL -----

----- USE ASSEMBLY 8051 COMPLIER-----

----- UPDATE : 9 MARCH 1997 -----

ORG 8100H ;STARTING ADDR FOR REM31

LJMP MAIN

; ** USER PORT 1 **

UP1A EQU 0F800H ;PORT A

UP1B EQU 0F801H ;PORT B

UP1C EQU 0F802H ;PORT C

UP1P EQU 0F803H ;PORT PORT

; ** USER PORT 2 **

UP2A EQU 0FC00H ;PORT A

UP2B EQU 0FC01H ;PORT B

UP2C EQU 0FC02H ;PORT C

UP2P EQU 0FC03H ;PORT PORT

; ***** MAIN *****

; DEFINE REGISTER

MAIN: MOV SP,#50H

LCALL INT

MOV A,#82H ;SET CONTROL CODE

MOV DPTR,#UP1P ;USER PORT1

MOVBX @DPTR,A ;PA,PC = OUTPUT ,PB = INPUT

MOV DPTR,#UP2P ;USER PORT2

MOVBX @DPTR,A ;PA,PC = OUTPUT ,PB = INPUT

MOV A,#0

MOV DPTR,#UP1A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX    @DPTR,A    ;OUTPUT ZERO (V(+))
MOV  A,#0
MOV  DPTR,#UP2A
MOVX    @DPTR,A    ;OUTPUT ZERO (V(-))
LOOP:  LCALL  RX
      MOV  DPTR,#UP1A
      MOVX  @DPTR,A    ;OUTPUT POSITIVE VOLTAGE
      LCALL  RX
      MOV  DPTR,#UP2A
      MOVX  @DPTR,A    ;OUTPUT NAGATIVE VOLTAGE
SEND:  LCALL  RX
      CJNE  A,#1,CHECK
      LCALL  RECV_UP1B
      LCALL  TX
      SJMP  SEND
CHECK: CJNE  A,#2,EXIT
      LCALL  RECV_UP2B
      LCALL  TX
      SJMP  SEND
EXIT:
      SJMP  LOOP
;-----
RECV_UP1B:
      MOV  A,#255    ;BEGIN CONVERSION (LOGIC HIGH)
      MOV  DPTR,#UP1C ;PORT C (8255)
      MOVX  @DPTR,A    ;PIN 3,5 OF ADC0804
      LCALL  DELAY    ;DELAY FOR CONVERSION TIME (100uS)
      MOV  A,#0      ;STOP CONVERSION (LOGIC LOW)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPTR,#UP1C ;PORT C (8255)
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#UP1B ;RECEIVE DATA FROM PORT B (8255)
MOVX A,@DPTR
RET

```

RECV_UP2B:

```

MOV A,#255 ;BEGIN CONVERSION (LOGIC HIGH)
MOV DPTR,#UP2C ;PORT C (8255)
MOVX @DPTR,A ;PIN 3,5 OF ADC0804
LCALL DELAY ;DELAY FOR CONVERSION TIME (100uS)
MOV A,#0 ;STOP CONVERSION (LOGIC LOW)
MOV DPTR,#UP2C ;PORT C (8255)
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#UP2B ;RECEIVE DATA FROM PORT B (8255)
MOVX A,@DPTR
RET

```

```

INT: MOV PCON,#00H
MOV SCON,#50H
MOV TMOD,#20H
MOV TH1,#0FDH
SETB TR1
RET

```

```

RX: JNB RI,$
CLR RI
MOV A,SBUF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RET

TX: JNB TI,\$

CLR TI

MOV SBUF,A

RET

DELAY: ;APPROX 123uS

MOV R0,#60H

DELAY1: DJNZ R0,DELAY1

RET

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*----- PROGRAM : PROJECT.C -----*/
/*----- APPLIED PHYSICS : KMIT'L -----*/
/*----- USE TURBO C++ 3.0 COMPLIER -----*/
/*----- UPDATE : 9 MARCH 1997 -----*/

#include <conio.h>
#include <alloc.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdarg.h>
#include <string.h>
#include <time.h>
#include <bios.h>
#include <graphics.h>
#define MAX 16000
#define SPEED 32766
#define FREQ 1000
#define NOFREQ 50
/*-----*/

void Initialize(void);
void Command(void);
void Yes_No(void);
void Line_Graph(void);
void Function(void);
void Key_stop(void);
void Printgraph(int left);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void copybyte(int byte);
void copydot(int scan);
void disp_num(int pn);
void disp_speed(int pd);
void intportcom(int portd);
void Time_scope(void);
void Scope_Func(int secf);
void Spectrum(int md,int stp);
void Max_Min_Scope(int mds,float mxs,float mns);
void Line_Data(int sp,int cn,float da[]);
void Line_Scope(int count,int swp,int stswp,float datas[]);
void min_max(int nm,float *mx,float *mn,float *av,float x[]);
int button(int x1,int y1,int x2,int y2,int color,int flag,char *word);
int gprintf(int xloc,int yloc,char *fmt,...);
int sounder(void);
/*-----*/
clock_t start,startd,endd,end;
int GraphDriver,GraphMode,ErrorCode = 0;
int i,j,x,x1,x2,y,y1,y2,pxa,pya,z,kc,num,yn,tr,stos,portid;
float a,b,c,d,k,h=220,w=450,mxi,mni,avi,rtime,ran1,ran2,datas,data[MAX];
void *bitimage;
unsigned int size;
char wtime[30];
double ltime[20];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*-----*/
```

```
void main(void)
```

```
{
```

```
    Initialize();
```

```
    do {
```

```
        Function();
```

```
        Line_Graph();
```

```
        Command();
```

```
        settextstyle(3,0,3);
```

```
        setcolor(0);
```

```
        bar(8,400,128,470);
```

```
        setcolor(12);
```

```
        gprintf(10,424,"Do you want to ", "");
```

```
        gprintf(10,437,"print..(Y/N)?", "");
```

```
        if (kc==1)
```

```
            { getch();Yes_No(); }
```

```
        if (kc==0)
```

```
            { Yes_No(); }
```

```
        if (yn==0x59||yn==0x79)
```

```
            {
```

```
                setcolor(0);
```

```
                bar(8,400,128,470);
```

```
                setcolor(12);
```

```
                gprintf(28,420,"Printing...", "");
```

```
                gprintf(10,433,"Press any key ", "");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        gprintf(10,446,"to stop.", "");
        Printgraph(0);
    }

    setcolor(0);
    bar(8,400,128,470);
    setcolor(12);
    gprintf(10,424,"Do you want to ", "");
    gprintf(7,437,"continue..(Y/N)?", "");
    Yes_No();
    if (yn==0x59||yn==0x79)
    {
        setcolor(0);
        bar(0,0,639,479);
        tr = 1;
    }
    else tr = 0;
}while(tr==1);
closegraph();
}

/*-----*/

void Command(void)
{
    unsigned char x;
    char rdata;
    int status,com,mode,fg,scp,xa,ya,ka,tf,t,key;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float sum1=0,sum2=0,av1,av2,mx1,mx2,mn1,mn2,nbit,vp,vn;

do {

    setcolor(0);

    bar(95,15,113,31);

    setcolor(14);

    settextstyle(3,0,3);

    gprintf(23,433,"COM 1 OR 2","");

    gprintf(96,20,"_",1);

    gotoxy(13,2);

    scanf("%s",&rdata);

    com = atoi(&rdata);

    if (com==1)

    {

        portid = 0x3f8;

        intportcom(portid);

        tf = 0;

    }

    else

    if (com==2)

    {

        portid = 0x2f8;

        intportcom(portid);

        tf = 0;

    }

    else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if (com<1||com>2)
            tf = sounder();
    }while(tf==1);
for(i=0;i<=1;i++)
{
    do {
        setcolor(0);
        bar(8,400,128,470);
        bar(64,47+(i*32),104,63+(i*32));
        setcolor(14);
        gprintf(37,424,"VOLTAGE", "");
        gprintf(18,437,"0.00 - 15.00", "");
        gprintf(64,51+(i*32),"_", "");
        gotoxy(9,4+(i*2));
        scanf("%s",&rdata);
        vp = atoi(&rdata);
        if (vp<0||vp>15)
            tf = sounder();
            else tf = 0;
    }while(tf==1);

    vp = (vp*255)/15;
    nbit = (int)vp;

    if (vp>=(nbit+0.50))
        z = (int)vp+1;
        else z = (int)vp;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    outp(portid,z);
}
do {
    setcolor(0);
    bar(8,400,128,470);
    bar(96,111,113,127);
    setcolor(14);
    gprintf(20,418,"SELECT MODE", "");
    gprintf(17,431,"DEFINE:0,1,2", "");
    gprintf(15,446,"OSC-SCOPE:3,4", "");
    gprintf(96,52+(i*32),"_", "");
    gotoxy(13,8);
    scanf("%s",&rdata);
    mode = atoi(&rdata);
    if (mode<0||mode>4)
        tf = sounder();
        else tf = 0;
}while(tf==1);
if (mode==0||mode==3)
    { xa = 150; ya = 230; fg = 0; status = 1; }
if (mode==1||mode==4)
    { xa = 150; ya = 470; fg = 1; status = 2; }
if (mode==2)
    {
        do {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

disp_num(0);
gotoxy(8,10);
scanf("%s",&rdata);
num = atoi(&rdata);
if (num<2||num>MAX)
tf = sounder();
else tf = 0;
}while(tf==1);
do {
setcolor(0);
disp_speed(0);
gotoxy(10,12);
scanf("%s",&rdata);
t = atoi(&rdata);
if (t<0||t>SPEED)
tf = sounder();
else tf = 0;
}while(tf==1);
gotoxy(8,14);
printf("%d",num);
gotoxy(10,16);
printf("%d",t);
Key_stop();
k = w/(num-1);
moveto(150,230);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

start = clock();
ka = 0;
do {
    status = 1;
    outp(portid,status);
    delay(t);
    x = inportb(portid);
    data[ka] = ((float)x*5)/255;
    sum1 = sum1+data[ka];
    if (ka==0) mx1 = mn1 = data[0];
    if ((mx1)<data[ka]) mx1 = data[ka];
    if ((mn1)>data[ka]) mn1 = data[ka];
    av1 = sum1/num;
    Line_Data(0,ka,data);
    status = 2;
    outp(portid,status);
    delay(t);
    x = inportb(portid);
    if (ka==0)
    {
        moveto(150,470);
        data[0] = ((float)x*5)/255;
        mx2 = mn2 = data[0];
        sum2 = sum2 + data[0];
        min_max(num,&mx1,&mn1,&avi,data);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Line_Data(1,0,data);
        moveto(x1,y1);
    }
    if (ka!=0)
    {
        data[ka] = ((float)x*5)/255;
        sum2 = sum2+data[ka];
        if ((mx2)<data[ka]) mx2 = data[ka];
        if ((mn2)>data[ka]) mn2 = data[ka];
        av2 = sum2/num;
        fg = 1;
        moveto(x2,y2);
        Line_Data(fg,ka,data);
        moveto(x1,y1);
    }
    ka++;
} while((ka!=num)&&(!kbhit()));
end = clock();
if (ka!=num) kc = 1;
if (ka==num) kc = 0;
setcolor(15);
line(150,250,150,470);
line(150,10,150,230);
rtime = 1000*((end-start)/CLK_TCK)/((float)num*2.103);
sprintf(wtime,"TIME AVERAGE = %0.2f msec",rtime);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setcolor(CYAN);
gprintf(265,237,wtime,"");
settextstyle(3,0,0);
setcolor(10);
sprintf(wtime,"%0.2f",mx1);
gprintf(72,282,wtime,"");
sprintf(wtime,"%0.2f",mn1);
gprintf(72,322,wtime,"");
sprintf(wtime,"%0.2f",av1);
gprintf(72,361,wtime,"");
sprintf(wtime,"%0.2f",mx2);
gprintf(72,298,wtime,"");
sprintf(wtime,"%0.2f",mn2);
gprintf(72,338,wtime,"");
sprintf(wtime,"%0.2f",av2);
gprintf(72,377,wtime,"");
outp(portid,0);
return 0;
}
if (mode==3||mode==4)
{
    Scope_Func(mode);
do {
    if (mode==3) gotoxy(10,10);
    if (mode==4) gotoxy(10,14);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        setcolor(0);
bar(8,400,128,470);
bar(72,143+(fg*64),113,159+(fg*64));
setcolor(14);
gprintf(8,423,"SCALE OF X-AXIS","");
gprintf(35,436,"0 - 225","");
gprintf(72,148+(fg*63),"_","");
scanf("%s",&rdata);
num = atoi(&rdata);
if (num<2||num>225)
    tf = sounder();
    else tf = 0;
}while(tf==1);
setcolor(0);
bar(8,400,128,470);
setcolor(14);
gprintf(8,415,"PRESS t : TIMER","");
gprintf(8,428,"ANY KEY : PAUSE","");
gprintf(33,441,"ESC : EXIT","");
ka = 0; fg = 0;
k = w/(num-1);
for (i=0;i<num;i++)
gprintf(xa+(i*k)-2,ya,"|","");
moveto(xa,ya);
rtime = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

do{
    do {
        startd = clock();
        outp(portid,status);
        x = inportb(portid);
        data[ka] = ((float)x*5)/255;
        if(ka==0) mx1=mn1=data[0];
        if((mx1)<data[ka]) mx1 = data[ka];
        if((mn1)>data[ka]) mn1 = data[ka];
        Line_Scope(ka,mode,fg,data);
        endd = clock();
        rtime += (endd-startd)/CLK_TCK;
        if (key==0x74||key==0x54) Time_scope();
        if (ka==num)
        {
            ka = num-2;fg = 1;
        }
        ka++;
    }while(!kbhit());
    Time_scope();
    Max_Min_Scope(mode,mx1,mn1);
    moveto(pxa,pya);
    getch();
    key = getch();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (key!=0x001b)
    tr = 1;
else
{
    Max_Min_Scope(mode,mx1,mn1);
    moveto(pxa,pya);
    tr = 0;
}
}while(tr==1);
Max_Min_Scope(mode,mx1,mn1);
kc = 0;
outp(portid,0);
return 0;
}
do {
if (fg==0)
    gotoxy(8,10);
if (fg==1)
    gotoxy(8,14);
disp_num(fg);
scanf("%s",&rdata);
num = atoi(&rdata);
if (num<2||num>MAX)
    tf = sounder();
else tf = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}while(tf==1);

do
{
    if (fg==0)
        gotoxy(10,12);
    if (fg==1)
        gotoxy(10,16);
    disp_speed(fg);
    scanf("%s",&rdata);
    t = atoi(&rdata);
    if (t<0||t>SPEED)
        tf = sounder();
    else tf = 0;
}while(tf==1);
Key_stop();
k = w/(num-1);
moveto(xa,ya);
start = clock();
ka = 0;
do
{
    outp(portid,status);
    delay(t);
    x = inportb(portid);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

data[ka] = ((float)x*5)/255;

Line_Data(fg,ka,data);

ka++;

}while((ka!=num)&&(!kbit()));

end = clock();

if (ka!=num)

    kc = 1;

if (ka==num)

    kc = 0;

stos = ka;

rtime = 1000*((end-start)/CLK_TCK)/(float)num;

sprintf(wtime,"TIME AVERAGE = %0.2f msec",rtime);

setcolor(CYAN);

gprintf(265,237,wtime,"");

min_max(stos,&mxi,&mni,&avi,data);

if (fg==0) i = 0;

if (fg==1) i = 16;

settextstyle(3,0,0);

setcolor(10);

sprintf(wtime,"%0.2f",mxi);

gprintf(72,282+i,wtime,"");

sprintf(wtime,"%0.2f",mni);

gprintf(72,322+i,wtime,"");

sprintf(wtime,"%0.2f",avi);

gprintf(72,361+i,wtime,"");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setcolor(0);
bar(620,320-(fg*240),637,390-(fg*230));
settextstyle(13,1,3);
setcolor(13);
gprintf(630,330-(fg*240),"SPECTRUM C%d",(fg*1)+1);
Spectrum(fg,stos);
outp(portid,0);
return 0;
}
/*-----*/
void Line_Data(int sp,int cn,float da[])
{
    int x,y,za;
    if (sp==0)
        { x = 150;y = 230;za = 226; }
    if (sp==1)
        { x = 150;y = 470;za = 466; }
    {
        a = (float)y-(da[cn]*44);
        d = (int)a;
        if (a>=(d+0.50))
            z = (int)a+1;
        else z = (int)a;
        setcolor(YELLOW);
        lineto(x+(k*cn),z);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

settextstyle(3,0,3);

gprintf(x-2+(k*cn),za,"|", "");

moveto(x+(k*cn),z);

}

if (sp==0)
{
x1 = x+(k*cn);
y1 = z;
}

if (sp==1)
{
x2 = x+(k*cn);
y2 = z;
}
}

/*-----*/

void Max_Min_Scope(int mds,float mxs,float mns)
{
setcolor(0);
if (mds==3)
{
bar(72,282,103,292);
bar(72,322,103,342);
setcolor(10);
sprintf(wtime,"%0.2f",mxs);

```

.เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gprintf(72,282,wtime,"");
sprintf(wtime,"%0.2f",mns);
gprintf(72,322,wtime,"");
}
if (mnds==4)
{
bar(72,298,103,308);
bar(72,338,103,345);
setcolor(10);
sprintf(wtime,"%0.2f",mxs);
gprintf(72,298,wtime,"");
sprintf(wtime,"%0.2f",mns);
gprintf(72,338,wtime,"");
}
}
/*-----*/
void Time_scope(void)
{
sprintf(ltime,"TIMER = %0.2lf Sec",rtime);
setcolor(0);
bar(350,239,550,249);
setcolor(CYAN);
outtextxy(290,239,ltime);
moveto(pxa,pya);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*-----*/
void Line_Scope(int count,int stwp,int swp,float datas[])
{
    int ysize1,ysize2;
    if (stwp==3)
        { x = 150; y = 230; ysize1 = 10; ysize2 = 230; }
    if (stwp==4)
        { x = 150; y = 470; ysize1 = 250; ysize2 = 470; }
    if (count<num)
    {
        if (swp==0)
        {
            a = (float)y-(datas[count]*44);
            d = (int)a;
            if (a>=(d+0.50))
                z = (int)a + 1;
            else z = (int)a;
            setcolor(YELLOW);
            pxa = x + (k*count);
            pya = z;
            lineto(pxa,pya);
            moveto(pxa,pya);
        }
        if (swp==1)
            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a = (float)y - (datas[count]*44);
d = (int)a;
if (a>=(d+0.50))
    z = (int)a + 1;
    else z = (int)a;
    setcolor(YELLOW);
    lineto(599,z);
}
}
if (count==num)
{
size = imagesize(150+k,ysize1,599,ysize2);
bitimage = malloc(size);
getimag(150+k,ysize1,599,ysize2,bitimage);
putimage(151,ysize1,bitimage,COPY_PUT);
free(bitimage);
setcolor(0);
bar(600-k,ysize1,599,ysize2);
setcolor(15);
for (i=ysize1;i<=ysize2;i+=44)
    line(150,i,600,i);
    line(150,ysize1,150,ysize2);
a = (float)y - (datas[count]*44);
d = (int)a;
if (a>=(d+0.50))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        z = (int)a + 1;
        else z = (int)a;
        pxa = 600-k;
        pya = z;
        moveto(pxa,pya);
    }
}

/*-----*/
void Key_stop(void)
{
    setcolor(0);
    bar(8,400,128,470);
    setcolor(14);
    gprintf(30,420,"Waiting...");
    gprintf(10,435,"Press any key ", "");
    gprintf(10,448,"to stop.", "");
}

/*-----*/
void disp_speed(int pd)
{
    setcolor(0);
    bar(8,400,128,470);
    bar(72,175+(pd*64),113,191+(pd*64));
    setcolor(14);
    gprintf(24,423,"SPEED LIMIT", "");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gprintf(32,436,"0 - %d",SPEED);
gprintf(72,179+(pd*64),"_", "");
}
/*-----*/
void disp_num(int pn)
{
setcolor(0);
bar(8,400,128,470);
bar(56,143+(pn*64),95,159+(pn*64));
setcolor(14);
gprintf(12,425,"NUMBER OF DATA", "");
gprintf(27,438,"2 - %d",MAX);
gprintf(56,148+(pn*63),"_", "");
}
/*-----*/
void Yes_No(void)
{
do {
yn = getch();
if (yn!=0x59&&yn!=0x79&&yn!=0x4e&&yn!=0x6e)
tr = sounder();
else tr = 0;
}while(tr==1);
}
/*-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int sounder(void)
{
    sound(FREQ);
    delay(NOFREQ);
    nosound();
    return 1;
}

/*-----*/

void Spectrum(int md,int stp)
{
    int x , y , j;
    if (md==0)
    {
        moveto(150,470);
        x = 150; y = 470; j = 250;
    }
    else
    if (md==1)
    {
        moveto(150,230);
        x = 150; y = 230; j = 10;
    }
    else ;
    for (i=0;i<=stp-1;i++)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a = (float)y - (data[i]*44);
d = (int)a;
if (a>=(d+0.50))
    z = (int)a + 1;
    else z = (int)a;
setcolor(4);
lineto(x+(k*i),z);
settextstyle(3,0,3);
moveto(x+(k*(i+1)),y);
}
for (i=j;i<=y;i+=44)
{
setcolor(15);
line(150,i,600,i);
}
if (md==1) line(150,250,150,470);
if (md==0) line(150,10,150,230);
}
/*-----*/
void intportcom(int portd)
{
union REGS Regs;
Regs.x.dx = portd;
Regs.h.ah = 0;
Regs.h.al = 227;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int86(0x14,&Regs,&Regs);

return 0;

}

/*-----*/

void Initialize(void)
{
    GraphDriver = DETECT;
    initgraph(&GraphDriver,&GraphMode,"");
    ErrorCode = graphresult();
    if (ErrorCode != grOk)
    {
        printf("Graphics System Error:%s\n",grapherrormsg
            (ErrorCode));
        exit(1);
    }
}

/*-----*/

void Scope_Func(int secf)
{
    bar(15,142,114,160);
    rectangle(15,142,114,160);
    bar(15,174,114,192);
    rectangle(15,174,114,192);
    bar(15,206,114,224);
    rectangle(15,206,114,224);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bar(15,238,114,256);

rectangle(15,238,114,256);

setcolor(11);

if (secf==3)
    { gprintf(17,148,"SCALE1:", ""); }

if (secf==4)
    { gprintf(17,212,"SCALE2:", ""); }

}

/*-----*/

void Function(void)
{
button(10,7,120,264,1,1, "");
button(10,270,120,395,6,1, "");
setfillstyle(1,0);
setcolor(11);
bar(15,14,114,32);
rectangle(15,14,114,32);
bar(15,46,114,64);
rectangle(15,46,114,64);
bar(15,78,114,96);
rectangle(15,78,114,96);
bar(15,110,114,128);
rectangle(15,110,114,128);
bar(15,142,114,160);
rectangle(15,142,114,160);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
bar(15,174,114,192);
rectangle(15,174,114,192);
bar(15,206,114,224);
rectangle(15,206,114,224);
bar(15,238,114,256);
rectangle(15,238,114,256);
bar(15,277,114,309);
rectangle(15,277,114,309);
bar(15,317,114,348);
rectangle(15,317,114,348);
bar(15,357,114,388);
rectangle(15,357,114,388);
setcolor(11);
gprintf(17,20,"COM_PORTS:", "");
gprintf(17,52,"VT(+):  v", "");
gprintf(17,84,"VT(-):  v", "");
gprintf(17,116,"MODE_RECV:", "");
gprintf(17,148,"NUM1:   n", "");
gprintf(17,180,"SPEED1:", "");
gprintf(17,212,"NUM2:   n", "");
gprintf(17,244,"SPEED2:", "");
gprintf(17,290,"MAX{ ", "");
gprintf(17,330,"MIN{ ", "");
gprintf(17,369,"MEAN{ ", "");
gprintf(49,282,"C1:   v", "");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gprintf(49,298,"C2: v","");
gprintf(49,322,"C1: v","");
gprintf(49,338,"C2: v","");
gprintf(49,361,"C1: v","");
gprintf(49,377,"C2: v","");
}

/*-----*/

void Line_Graph(void)
{
setcolor(10);
rectangle(0,0,639,479);
j = 6;
for (i=10;i<=230;i+=44)
{
setcolor(15);
line(150,i,600,i);
rectangle(150,10,600,230);
j--;
setcolor(3);
gprintf(130,i-1,"%dv",j);
gprintf(605,225,"NUM1","");
}
j = 6;
for (i=250;i<=470;i+=44)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        setcolor(15);
        line(150,i,600,i);
        rectangle(150,250,600,470);
        j--;
        setcolor(3);
        gprintf(130,i-1,"%dv",j);
        gprintf(605,465,"NUM2","");
    }

    setcolor(13);
    settextstyle(13,1,3);
    gprintf(630,90,"INPUT C1","");
    settextstyle(3,1,3);
    gprintf(630,330,"INPUT C2","");
}
/*-----*/
int  gprintf(int xloc,int yloc,char *fmt,...)
{
    va_list ap;
    char  str[140];
    int  cnt;
    va_start(ap,fmt);
    cnt = vsprintf(str,fmt,ap);
    outtextxy(xloc,yloc,str);
    yloc += textheight("H")+2;
    va_end(ap);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        return(cnt);
    }
/*-----*/
void  min_max(int nm,float *mx,float *mn,float *av,float x[])
{
    int  i;

    float  sum=0; *mx = *mn = x[1];
    for (i=0;i<nm;i++)
    {
        sum = sum + x[i];
        if ((*mx)<x[i]) *mx = x[i];
        if ((*mn)>x[i]) *mn = x[i];
    }
    *av = sum / nm;
}
/*-----*/
int  button(int x1,int y1,int x2,int y2,int color,intflag,char*word)
{
    int len;
    setfillstyle(SOLID_FILL,color);
    bar(x1,y1,x2,y2);
    setcolor(15);
    gprintf(x1+3,(y2-y1)/2+y1-3,word,"");
    setcolor(0);
    line(x1-1,y1-1,x1-1,y2+1);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

line(x1-1,y1-1,x2+1,y1-1);
line(x1-1,y2+1,x2+1,y2+1);
line(x2+1,y1-1,x2+1,y2+1);
if (flag) setcolor(8);
    else setcolor(15);
line(x1,y1,x1,y2);
line(x1+1,y1+1,x1+1,y2-1);
line(x1,y1,x2,y1);
line(x1+1,y1+1,x2-1,y1+1);
if (flag) setcolor(15);
    else setcolor(8);
line(x1,y2,x2,y2);
line(x1+1,y2-1,x2-1,y2-1);
line(x2,y1,x2,y2);
line(x2-1,y1+1,x2-1,y2-1);
return 0;
}
/*-----*/
void copybyte(int byte)
{
    biosprint(0,byte,0);
}
/*-----*/
void copydot(int scan)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int bit[8] = {128,64,32,16,8,4,2,1};

int bitno,printbyte,maxx,piccode,n1,n2,quit=0;

int bkcolor = getbkcolor();

maxx = getmaxx()+1;

do {

    printbyte = 0;

    maxx = maxx--;

    for (bitno=0;bitno<=7;bitno++)

    {

        if (getpixel(maxx,scan+bitno)!=bkcolor)

            printbyte = printbyte+bit[bitno];

    }

    quit = printbyte;

    if (maxx==0) quit;

}while(quit==0);

    if (printbyte!=0)

    {

        maxx = maxx++;

        n2 = maxx/256;

        n1 = maxx%256;

        copybyte(27);copybyte(51);copybyte(24);

        copybyte(27);copybyte(42);copybyte(4);copybyte(n1);

        copybyte(n2);

        for (piccode=0;piccode<=maxx;piccode++)

            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

copybyte(27);copybyte(2);

}

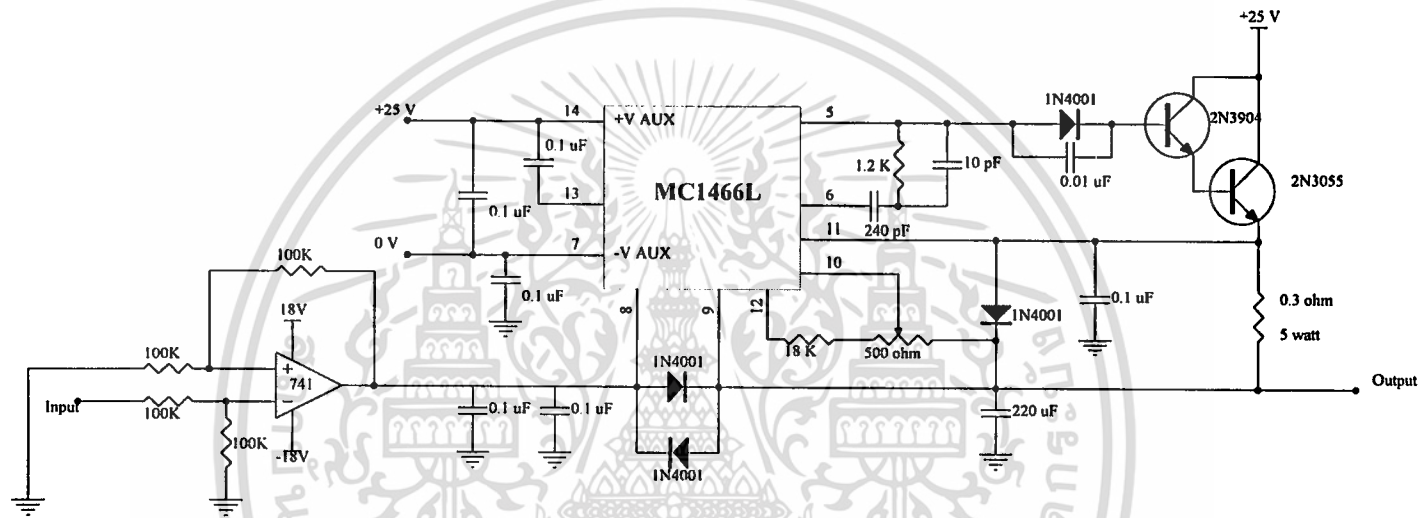
/*-----*/



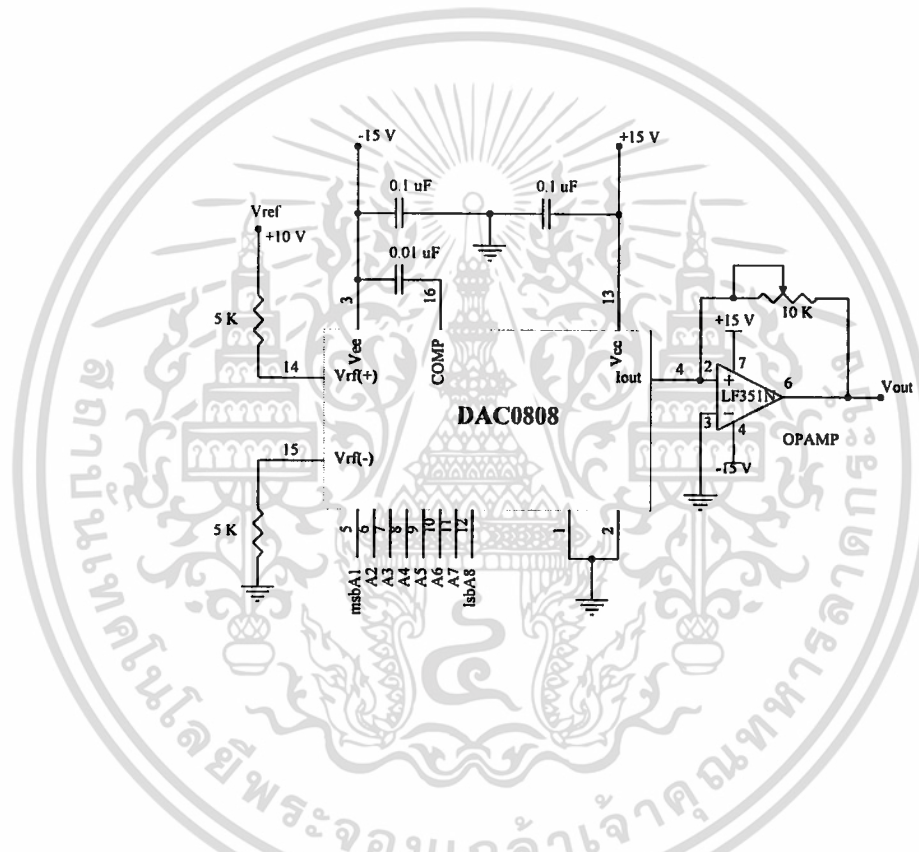
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



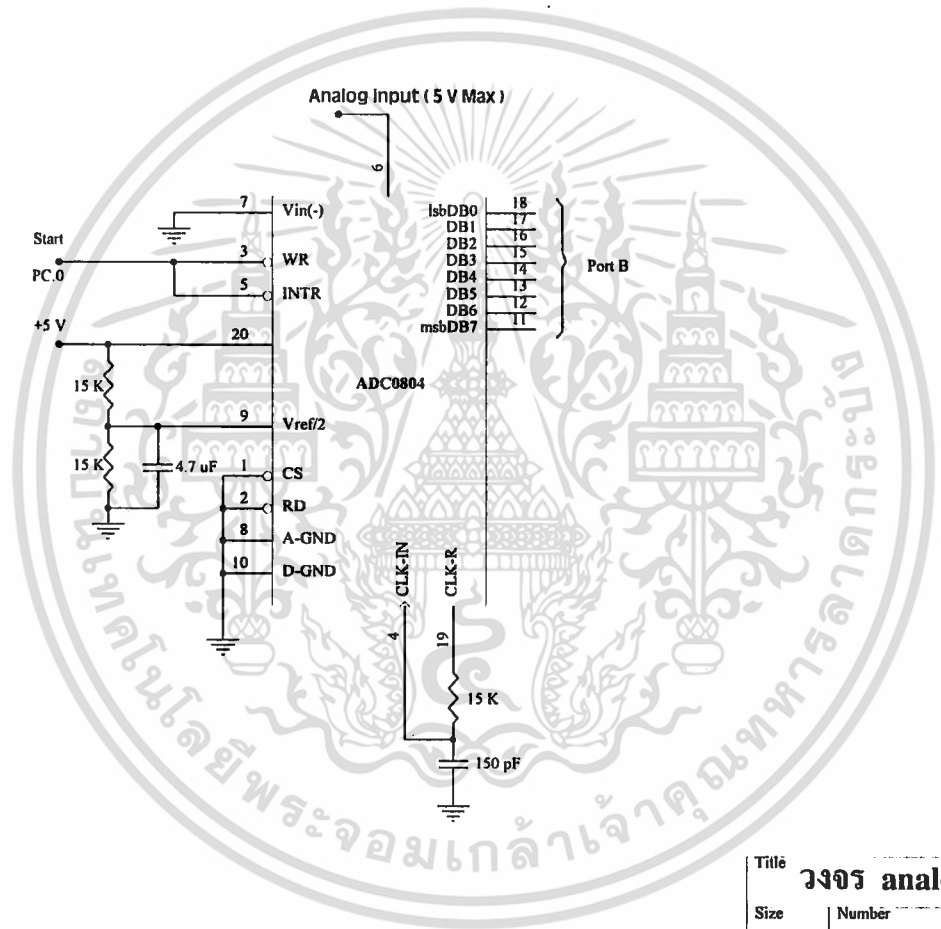
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



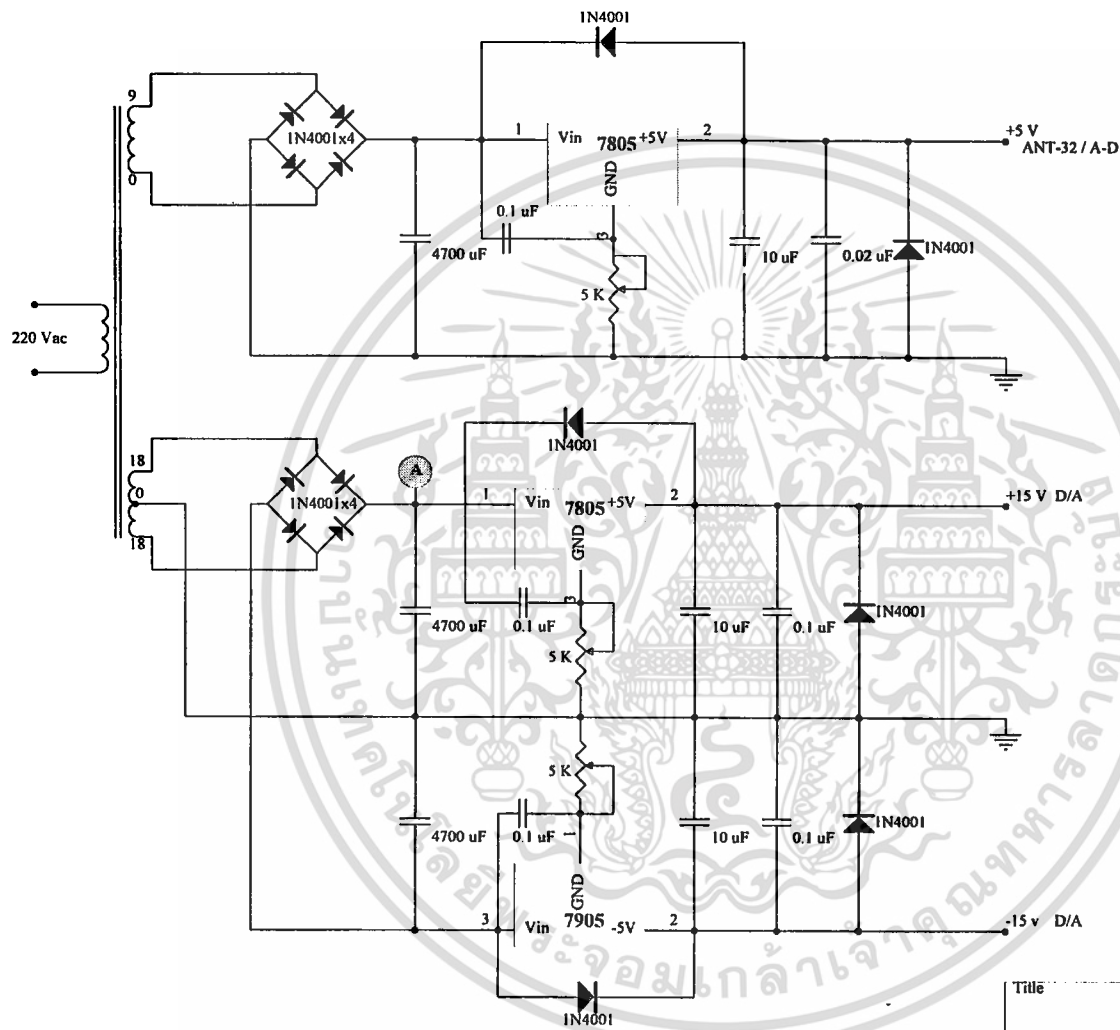
Title	วงจรรักษาระดับแรงดัน	
Size	Number	Revision
A4		
Date:	1-Apr-1995	Sheet of
File:	A\SCH\SCH 4.SCH	Drawn By:



Title		
วงจร digital-to-analog ขนาด 8 บิต		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	1-Apr-1995	Sheet of
File:	A:\SCHSCH 3.SCH	Drawn By:

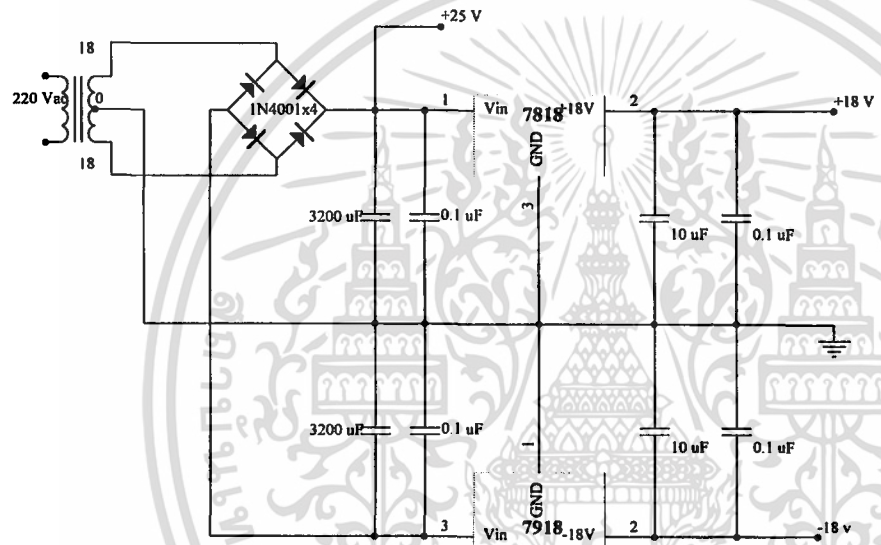


Title			วงจร analog-to-digital ขนาด 8 บิต		
Size	Number	Revision			
A4					
Date:	1-Apr-1995	Sheet of			
File:	AASCHSCH_5.SCH	Drawn By:			



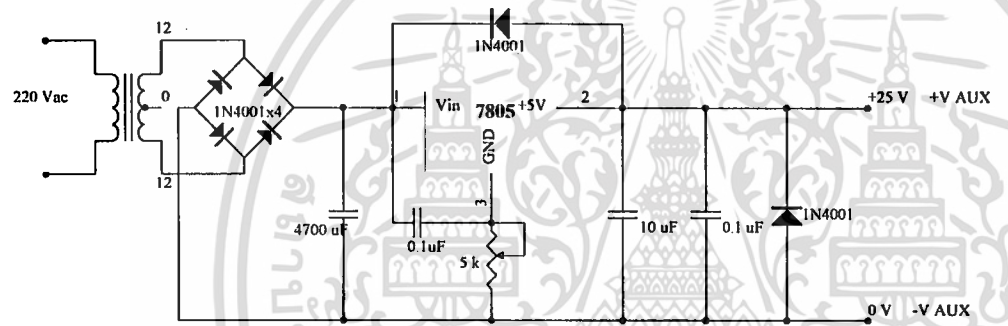
วงจรจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงวงจร D/A , A/D ,บอร์ด ANT-32

Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	1-Apr-1995	Sheet of
File:	A:\SCH\SCH 5.SCH	Drawn By:



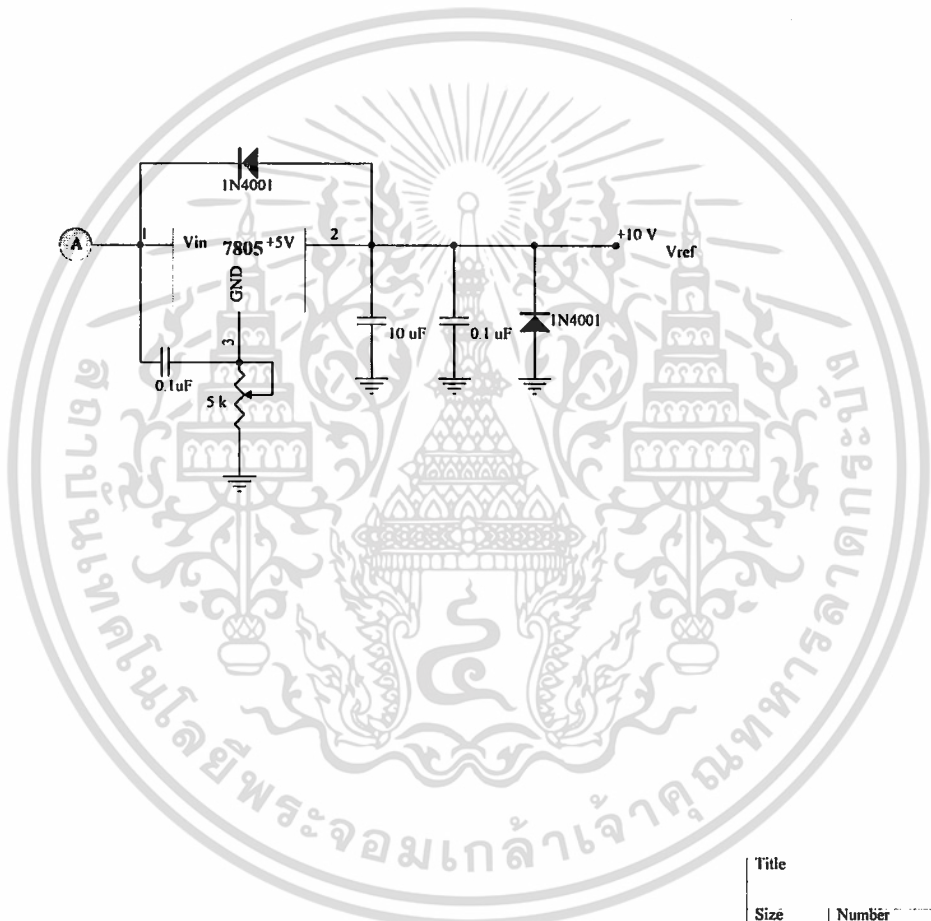
วงจรจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงวงจรรักษาระดับแรงดัน

Title		
Size A4	Number	Revision
Date: 1-Apr-1995	Sheet of	Drawn By:
File: A:\SCHSCH_9.SCH		



วงจรจ่ายแรงดันไฟให้ MC1466L เพื่อสร้างแรงดันคงที่ภายใน

Title			Revision
Size	Number		
A4			
Date:	1-Apr-1995	Sheet of	
File:	A:\SCHSCH 8.SCH	Drawn By:	



วงจรจ่ายแรงดันไฟให้ DAC0808 เพื่อสร้างแรงดันอ้างอิง

Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	1-Apr-1995	Sheet of
File:	A:\SCH\SCH_7.SCH	Drawn By:
		4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

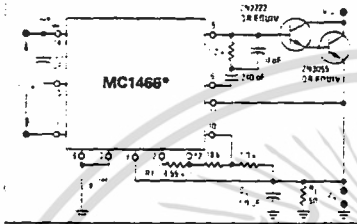
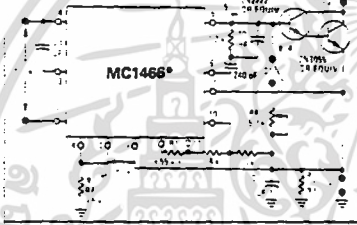

MC1466L

3

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Auxiliary Voltage	V _{aux}	30	Vdc
Power Dissipation (Package Limitation) Derate above T _A = -50°C	P _D 1/θ _{JA}	750 6.0	mW mW/°C
Operating Temperature Range	T _A	0 to -70	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = -25°C, V_{aux} = -25 Vdc unless otherwise noted)

Characteristic Definition	Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
 <p>MC1466*</p>	Auxiliary Voltage (See Notes 1 & 2) (Voltage from pin 14 to pin 7)	V _{aux}	21	—	30	Vdc
	Auxiliary Current	I _{aux}	—	9.0	12	mAdc
	Internal Reference Voltage (Voltage from pin 12 to pin 7)	V _{IR}	17.3	18.2	19.7	Vdc
	Reference Current (See Note 3)	I _{ref}	0.8	1.0	1.2	mAdc
	Input Current — Pin 8	I _g	—	6.0	12	μAdc
	Power Dissipation	P _D	—	—	360	mW
	 <p>MC1466*</p>	Input Offset Voltage, Voltage Control Amplifier (See Note 4)	V _{ioV}	0	15	40
Load Voltage Regulation (See Note 5)		ΔV _{ioV} ΔV _{ref} /V _{ref}	—	1.0 0.015	3.0 0.03	mV %
Line Voltage Regulation (See Note 6)		ΔV _{ioV} ΔV _{ref} /V _{ref}	—	1.0 0.015	3.0 0.03	mV %
Temperature Coefficient of Output Voltage (T _A = 0 to +75°C)		TCV _O	—	0.01	—	%/°C
 <p>MC1466*</p>		Input Offset Voltage, Current Control Amplifier (See Note 4) (Voltage from pin 10 to pin 11)	V _{ioI}	0	15	40
	Load Current Regulation (See Note 7)	ΔI _L /I _L ΔI _{ref}	—	0.2 —	— 1.0	% mAdc

*Pins 1 and 4 no connection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1466L

NOTE 1:

The instantaneous input voltage, V_{aux} , must not exceed the maximum value of 30 volts for the MC1466. The instantaneous value of V_{aux} must be greater than 21 volts for the MC1466 for proper internal regulation.

NOTE 2:

The auxiliary supply voltage V_{aux} must "float" and be electrically isolated from the unregulated high voltage supply, V_{in} .

NOTE 3:

Reference current may be set to any value of current less than 1.2 mA by applying the relationship:

$$I_{ref} \text{ (mA)} = \frac{8.55}{R_1 \text{ (k}\Omega\text{)}}$$

NOTE 4:

A built-in offset voltage (15 mVdc nominal) is provided so that the power supply output voltage or current may be adjusted to zero.

NOTE 5:

Load Voltage Regulation is a function of two additive components, ΔV_{ioV} and ΔV_{ref} , where ΔV_{ioV} is the change in input offset voltage (measured between pins 8 and 9) and ΔV_{ref} is the change in voltage across R2 (measured between pin 8 and ground). Each component may be measured separately or the sum may be measured across the load. The measurement procedure for the test circuit shown is:

- With S1 open ($I_L = 0$) measure the value of $V_{ioV(1)}$ and $V_{ref(1)}$.
- Close S1, adjust R4 so that $I_L = 500 \mu\text{A}$ and note $V_{ioV(2)}$ and $V_{ref(2)}$.

Then $\Delta V_{ioV} = V_{ioV(1)} - V_{ioV(2)}$

$$\% \text{ Reference Regulation} = \frac{V_{ref(1)} - V_{ref(2)}}{V_{ref(1)}} (100\%) = \frac{\Delta V_{ref}}{V_{ref}} (100\%)$$

Load Voltage Regulation =

$$\frac{\Delta V_{ref}}{V_{ref}} (100\%) - \Delta V_{ioV}$$

NOTE 6:

Line Voltage Regulation is a function of the same two additive components as Load Voltage Regulation, ΔV_{ioV} and ΔV_{ref} (see Note 5). The measurement procedure is:

- Set the auxiliary voltage, V_{aux} , to 22 volts. Read the value of $V_{ioV(1)}$ and $V_{ref(1)}$.
- Change the V_{aux} to 28 volts and note the value of $V_{ioV(2)}$ and $V_{ref(2)}$. Then compute Line Voltage Regulation:

$$\% \text{ Reference Regulation} = \frac{V_{ref(1)} - V_{ref(2)}}{V_{ref(1)}} (100\%) = \frac{\Delta V_{ref}}{V_{ref}} (100\%)$$

Line Voltage Regulation =

$$\frac{\Delta V_{ref}}{V_{ref}} (100\%) - \Delta V_{ioV}$$

NOTE 7:

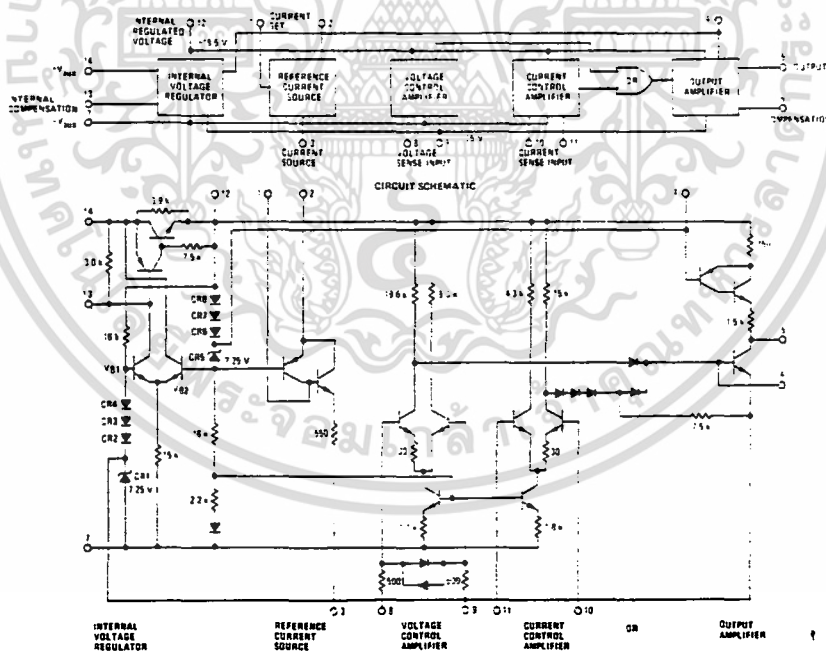
Load Current Regulation is measured by the following procedure:

- With S2 open, adjust R3 for an initial load current, $I_L(1)$, such that V_O is 8.0 Vdc.
- With S2 closed, adjust R7 for $V_O = 1.0$ Vdc and read $I_L(2)$.

Then Load Current Regulation = $\frac{I_L(2) - I_L(1)}{I_L(1)} (100\%) - I_{ref}$

where I_{ref} is 1.0 mA. Load Current Regulation is specified in this manner because I_{ref} passes through the load in a direction opposite that of load current and does not pass through the current sense resistor, R_5 .

FIGURE 5 — BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1466L

OPERATION AND APPLICATIONS

This section describes the operation and design of the MC1466 voltage and current regulator and also provides information on useful applications.

THEORY OF OPERATION

The schematic of Figure 5 can be simplified by breaking it down into basic functions, beginning with a simplified version of the voltage reference. Figure 7. Zener diodes CR1 and CR5 with their associated forward biased diodes CR2 through CR4 and CR6 through CR8 form the stable reference needed to balance the differential amplifier. At balance ($V_{B1} = V_{B2}$), the output voltage, ($V_{12} - V_7$), is at a value that is twice the drop across either of the two diode strings: $V_{12} - V_7 = 2(V_{CR1} + V_{CR2} + V_{CR3} + V_{CR4})$. Other voltages, temperature compensated or otherwise, are also derived from these diode strings for use in other parts of the circuit.

The voltage controlled current source (Figure 8) is a PNP-NPN composite which, due to the high NPN beta,

yields a good working PNP from a lateral device working at a collector current of only a few microamperes. Its base voltage (V_{B3}) is derived from a temperature compensated portion of the diode string and consequently the overall current is dependent on the value of emitter resistor R1. Temperature compensation of the base emitter junction of Q3 is not important because approximately 9 volts exists between V_{B3} and V_{12} , making the ΔV_{BE} 's very small in percentage. Circuit reference voltage is derived from the product of I_R and R_R ; if I_R is set at 1 mA ($R1 = 8.5 \text{ k}\Omega$), then R_R (in $\text{k}\Omega$) = V_O . Other values of current may be used as long as the following restraints are kept in mind: 1) package dissipation will be increased by about 11 mW/mA and 2) bias current for the voltage control amplifier is 3 μA , temperature dependent, and is extracted from the reference current. The reference current should

FIGURE 7 - REFERENCE VOLTAGE REGULATOR

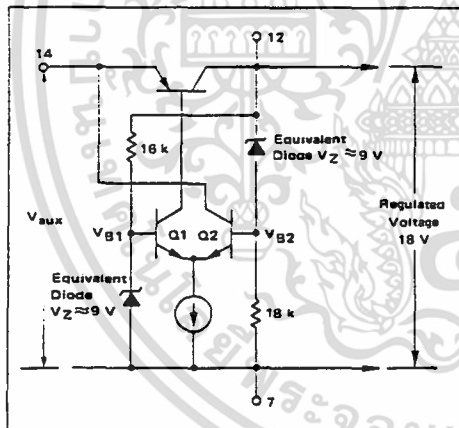
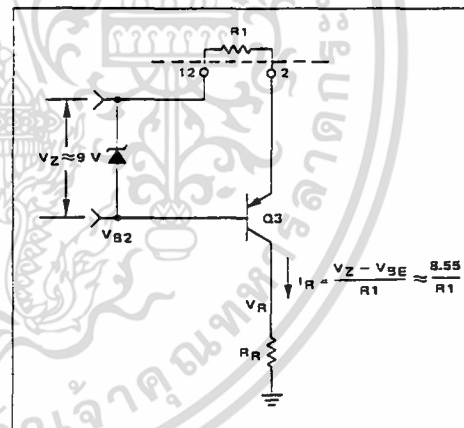


FIGURE 8 - VOLTAGE CONTROLLED CURRENT SOURCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

be at least two orders of magnitude above the largest expected bias current.

Loop amplification in the constant voltage mode is supplied by the voltage controlled amplifier (Figure 9), a standard high gain differential amplifier. The inputs are diode-protected against differential overvoltages and an emitter degenerating resistor, R_{OS} , has been added to one of the transistors. For an emitter current in both Q5 and Q6 of 1/2 milliampere there will exist a preset offset voltage in this differential amplifier of 15 mV to insure that the output voltage will be zero when the reference voltage is zero. Without R_{OS} , the output voltage could be a few millivolts above zero due to the inherent offset. Since the load resistor is so large in this stage compared with the load (Q9) it will be more instructive to look at the gain on a transconductance basis rather than voltage gain. Transconductance of the differential stage is defined for small signals as:

$$g_m = \frac{I}{2r_e + R_E} \quad (1)$$

where

$$r_e \approx \frac{0.026}{I_E} \text{ and}$$

R_E = added emitter degenerating resistance.

For $I_E = 0.5 \text{ mA}$,

$$g_m = \frac{I}{104 + 30} = \frac{1}{134} = 7.5 \text{ mA/volt.} \quad (2)$$

FIGURE 9 - VOLTAGE CONTROL AMPLIFIER

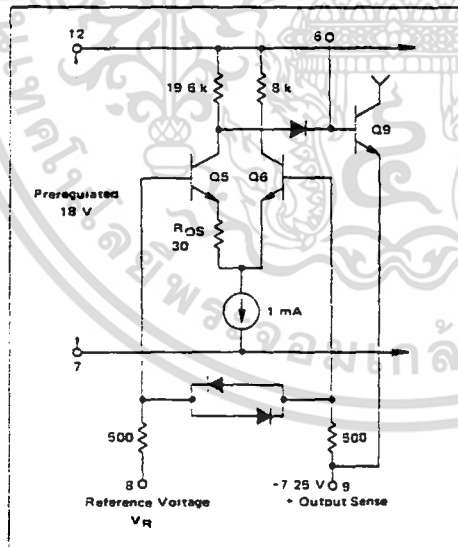
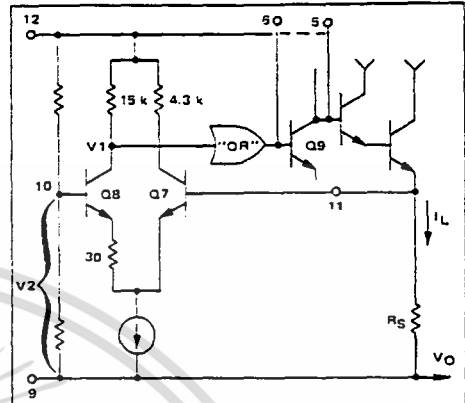


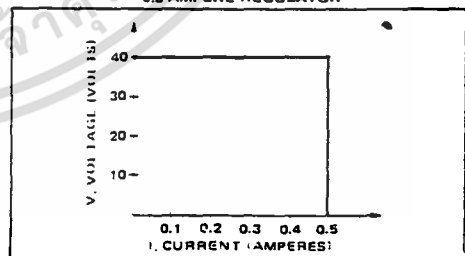
FIGURE 10 - CURRENT CONTROL CIRCUIT



This level is further boosted by the output stage such that in the constant voltage mode overall transconductance is about 300 mA/volt.

A second differential stage nearly identical to the first stage, serves as the current control amplifier (Figure 10). The gain of this stage insures a rapid crossover from the constant voltage to constant current modes and provides a convenient point to control the maximum deliverable load current. In use, a reference voltage derived from the preregulator and a voltage divider is applied to pin 10 while the output current is sampled across R_S by pin 11. When $I_L R_S$ is 15 mV below the reference value, voltage V_1 begins to rapidly rise, eventually gaining complete control of Q9 and limiting output current to a value of V_1/R_S . If V_2 is derived from a variable source, short circuit current may be controlled over the complete output current capability of the regulator. Since the constant-voltage to constant-current change-over requires only a few millivolts the voltage regulation maintains its quality to the current limit and accordingly shows a very sharp "knee" ($I_L + I$ mA, Figure 11). Note that the regulator can switch back into the constant voltage mode if the output voltage reaches a value greater than V_R . Operation through zero milliamperes is guaranteed by the inclusion of another emitter offsetting resistor.

FIGURE 11 - V_1 CURVE FOR 0-TO-40 V, 0.5-AMPERE REGULATOR



MC1466L

Transistor Q9 and five diodes comprise the essential parts of the output stage (Figure 12). The diodes perform an "OR" function which allows only one mode of operation at a time - constant current or constant voltage. However, an additional stage (Q9) must be included to invert the logic and make it compatible with the driving requirements of series pass transistors as well as provide additional gain. A 1.5 mA collector current source sets the maximum deliverable output current and boosts the output impedance to that of the current source.

Note that the negative (substrate) side of the MC1466 is 7.25 volts lower than the output voltage, and the reference regulator guarantees that the positive side is 11 volts above the output. Thus the IC remains at a voltage (relative to ground) solely dependent on the output, "floating" above and below V_O . V_{CE} across Q9 is only two or three V_{BE} 's depending on the number of transistors used in the series pass configuration.

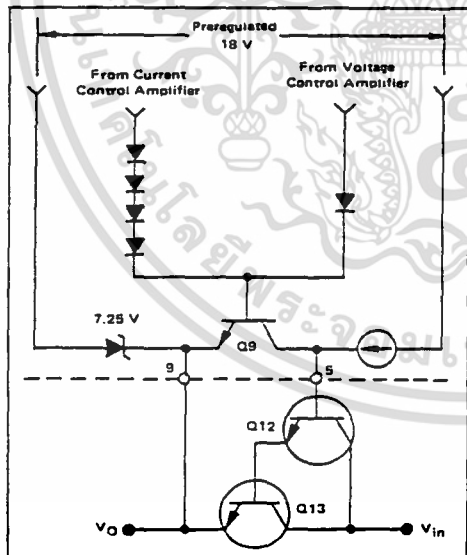
Performance characteristics of the regulator may be approximately calculated for a given circuit (Figure 2). Assuming that the two added transistors (Q12 and Q13) have minimum betas of 20, then the overall regulator transconductance will be:

$$g_{mT} = (400) 300 \text{ mA/volt} = 120 \text{ A/volt.} \quad (3)$$

For a change in current of 500 mA the output voltage will drop only:

$$\Delta V = \frac{0.5}{120} = 4.2 \text{ mV.} \quad (4)$$

FIGURE 12 — MC1466 OUTPUT STAGE



The analysis thus far does not consider changes in V_R due to output current changes. If I_L increases by 500 mA the collector current of Q9 decreases by 1.25 mA, causing the collector current of Q5 to increase by 30 μA . Accordingly, I_R will be decreased by $\approx 0.30 \mu\text{A}$ which will drop the output by 0.03%. This figure may be improved considerably by either using high beta devices as the pass transistors, or by increasing I_R . Note again, however, that the maximum power rating of the package must be kept in mind. For example if $I_R = 4 \text{ mA}$, power dissipation is

$$P_D = 20 \text{ V} (8 \text{ mA}) + (11 \text{ V} \times 3 \text{ mA}) = 193 \text{ mW.} \quad (5)$$

This indicates that the circuit may be safely operated up to 118°C using 20 volts at the auxiliary supply voltage. If, however, the auxiliary supply voltage is 35 volts,

$$P_D = 35 \text{ V} (8 \text{ mA}) + 26 \text{ V} (3 \text{ mA}) = 358 \text{ mW.} \quad (6)$$

which dictates that the maximum operating temperature must be less than 91°C to keep package dissipation within specified limits.

Line voltage regulation is also a function of the voltage change between pins 8 and 9, and the change of V_{ref} . In this case, however, these voltages change due to changes in the internal regulator's voltages, which in turn are caused by changes in V_{aux} . Note that line voltage regulation is not a function of V_{in} . Note also that the instantaneous value of V_{aux} must always be between 20 and 35 volts.

Figure 6 shows six external diodes (CR1 to CR6) added for protective purposes. CR1 should be used if the output voltage is less than 20 volts and CR2, CR3 are absent. For V_O higher than 20 volts, CR1 should be discarded in favor of CR2 and CR3. Diode CR4 prevents IC failure if the series pass transistors develop collector-base shorts while the main power transistor suffers a simultaneous open emitter. If the possibility of such a transistor failure mode seems remote, CR4 may be deleted. To prevent instantaneous differential and common mode breakdown of the current sense amplifier, CR5 must be placed across the current limit resistor R_S .

Load transients occasionally produce a damaging reversal of current flow from output to input $V_O > 150$ volts (which will destroy the IC). Diode CR6 prevents such reversal and renders the circuit immune from destruction for such conditions, e.g., adding a large output capacitor after the supply is turned "on". Diodes CR1, CR2, CR3, and CR5 may be general purpose silicon units such as 1N4001 or equivalent whereas CR4 and CR6 should have a peak inverse voltage rating equal to V_{in} or greater.

APPLICATIONS

Figure 2 shows a typical 0-to-40 volts, 0.5-ampere regulator with better than 0.01% performance. The RC network between pins 5 and 6 and the capacitor between pins 13 and 14 provide frequency compensation for the MC1466. The external pass transistors are used to boost load current, since the output current of the regulator is less than 2 mA.

MC1466L

Figure 1 is a 0-to-15 volts, 10-ampere regulator with the pass transistor configuration necessary to boost the load current to 10 amperes. Note that C_O has been increased to $1000 \mu\text{F}$ following the general rule:

$$C_O = 100 \mu\text{F} \cdot A \cdot I_L$$

The prime advantage of the MC1466 is its use as a high voltage regulator, as shown in Figure 3. This 0-to-250 volts, 0.1-ampere regulator is typical of high voltage applications, limited only by the breakdown and safe areas of the output pass transistors.

The primary limiting factor in high voltage series regulators is the pass transistor. Figure 13 shows a safe area curve for the MJ413. Looking at Figure 3, we see that if the output is shorted, the transistor will have a collector current of 100 mA, with a V_{CE} approximately equal to 260 volts. Thus this point falls on the dc line of the safe area curve, insuring that the transistor will not enter secondary breakdown.

In this respect (Safe Operating Area) the foldback circuit of Figure 14 is superior for handling high voltages and yet is short-circuit protected. This is due to the fact that load current is diminished as output voltage drops (V_{CE} increases as V_O drops) as seen in Figure 15. By careful design the load current at a short, I_{SC} can be made low enough such that the combined V_{CE} (V_{in}) and I_{SC} still falls within the safe operating area of the transistor. For the illustrated design (Figure 14), an input voltage of 210 volts is com-

patible with a short circuit current of 100 mA. Yet current foldback allows us to design for a maximum regulated load current of 500 mA. The pertinent design equations are:

$$\text{Let } R_2 \text{ (k}\Omega\text{)} = V_O$$

$$\alpha = \frac{0.25}{V_O} \left[\frac{I_k}{I_{SC}} - 1 \right]$$

$$R_1 \text{ (k}\Omega\text{)} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \cdot V_O$$

$$R_{SC} = \frac{0.25}{(1 - \alpha) I_{SC}}$$

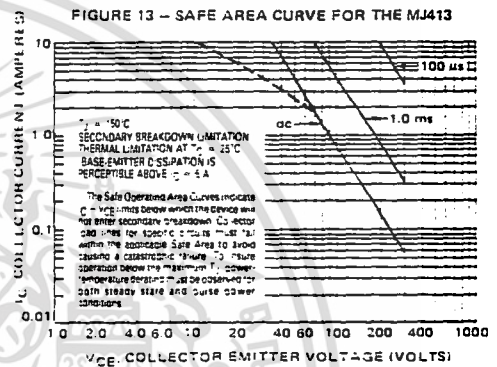
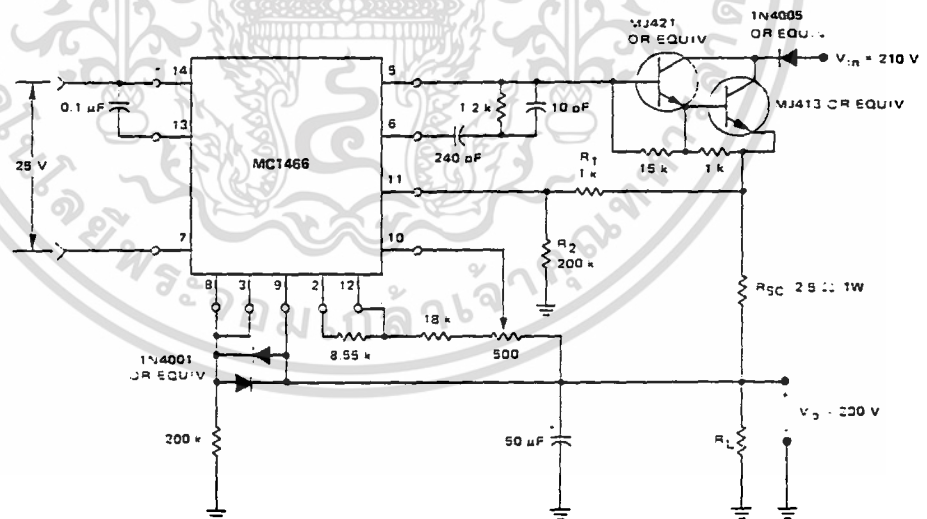


FIGURE 14 - A 200 V, 0.5-AMPERE REGULATOR WITH CURRENT FOLDBACK



MOTOROLA LINEAR INTERFACE DEVICES

3-106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1466L

The terms I_{SC} and I_k correspond to the short-circuit current and maximum available load current as shown in Figure 15.

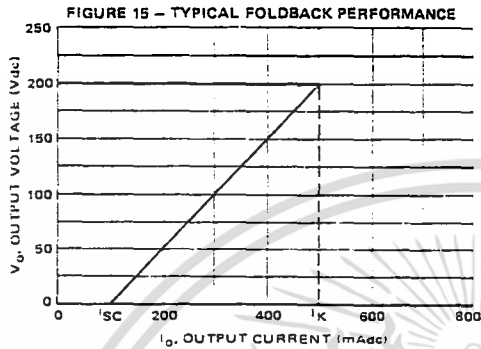


Figure 16 shows a remote sense application which should be used when high current or long wire lengths are used. This type of wiring is recommended for any application where the best possible regulation is desired. Since the sense lines draw only a small current, large voltage drops do not destroy the excellent regulation of the MC1466.

TRANSIENT FAILURES

In industrial areas where electrical machinery is used

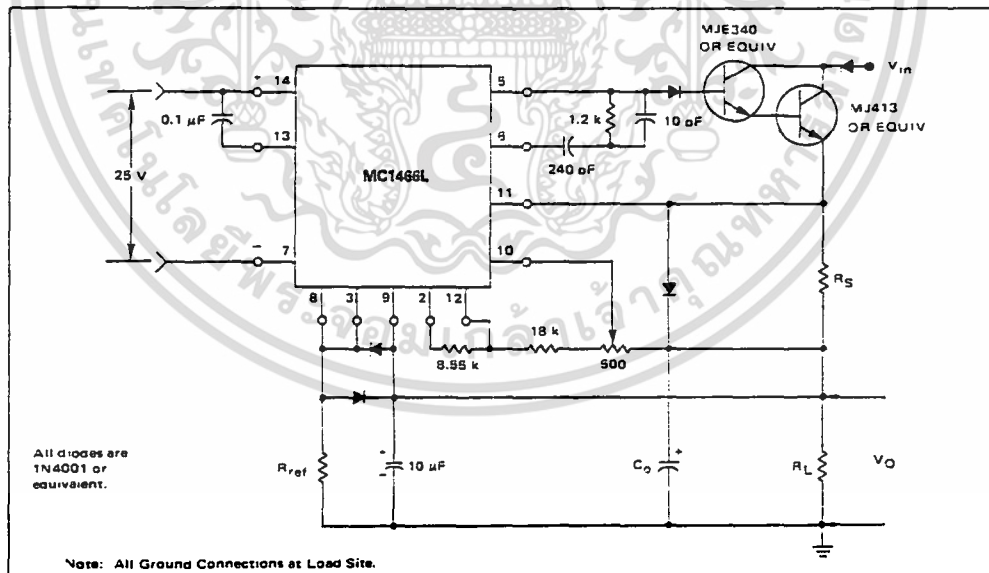
the normal ac line often contains bursts of voltage running from hundreds to thousands of volts in magnitude and only microseconds in duration. Under some conditions this energy is dissipated across the internal zener connected between pins 9 and 7. This transient condition may produce a total failure of the regulator device without any apparent explanation. This type of failure is identified by absence of the 7 volt zener (CR1) between pin 9 and pin 7. To prevent this failure mode the use of a shielded power transformer is recommended, as shown in Figure 6. In addition, it is recommended that C1, C3 and C4 be included to aid in transient repression. These capacitors should have good high frequency characteristics.

If the possibility of transients on the output exists, the addition of a resistor and zener diode between pins 9 and 7 as shown on Figure 17 should be added.

VOLTAGE/CURRENT MODE INDICATOR

There may be times when it is desirable to know when the MC1466 is in the constant current mode or constant voltage mode. A mode indicator signal circuit can be easily added to provide this feature. Figure 18 shows how a PNP transistor has replaced a protection diode between pins 3 and 9 of Figure 2. When the MC1466 goes from constant voltage mode to constant current mode, V_O will drop below V_B and the PNP transistor will turn on. The 1 mA current supplied by pin 8 will now be shunted to base of Q1 thereby providing a mode signal output.

FIGURE 16 - REMOTE SENSE



MC1466L

FIGURE 17 - A 0-TO-250 VOLT, 0.1-AMPERE REGULATOR

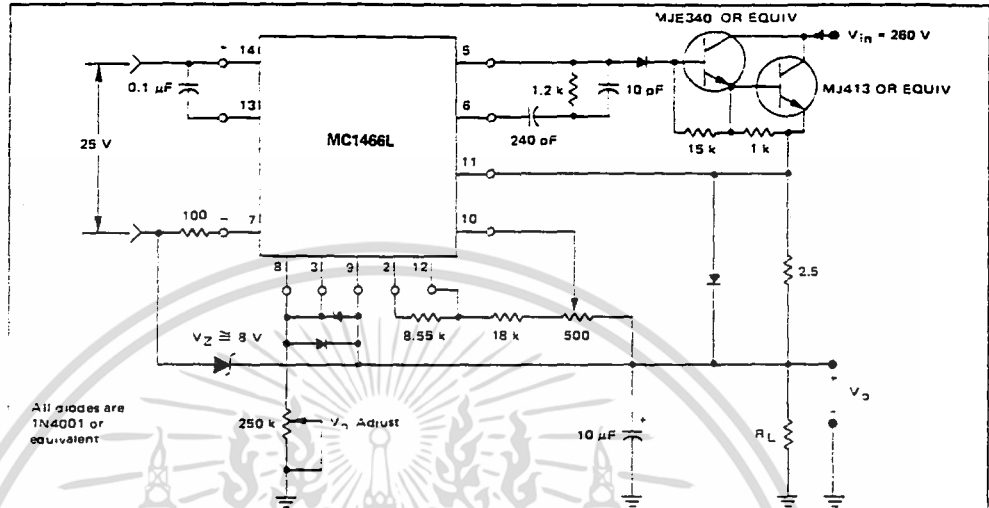
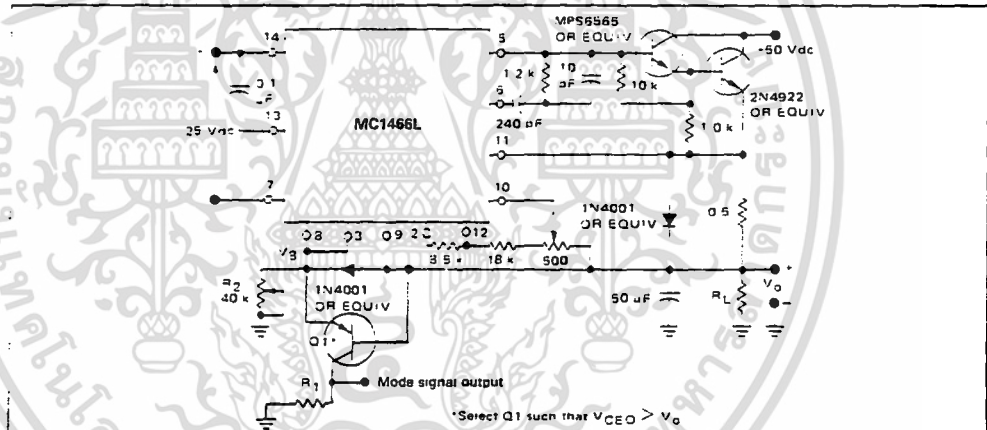


FIGURE 18 - 0-TO-40 Vdc, 0.5-AMPERE REGULATOR WITH MODE INDICATOR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
 TECHNICAL DATA

LF347
LF351
LF353



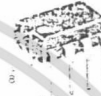
**FAMILY OF BIFET
 OPERATIONAL AMPLIFIERS**
 SILICON MONOLITHIC
 INTEGRATED CIRCUITS

JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

These low cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art linear technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The BIFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

These devices are available in single, dual, and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403 LM324 bipolar devices.

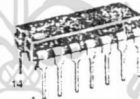
- Input Offset Voltage of 5.0 mV Max (LF347B)
- Low Input Bias Current - 50 pA
- Low Input Noise Voltage - 16 nV $\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide Gain Bandwidth - 4.0 MHz
- High Slew Rate - 13 V μs
- Low Supply Current - 1.8 mA per Amplifier
- High Input Impedance - $10^{12} \Omega$
- High Common-Mode and Supply Voltage Rejection Ratios - 100 dB



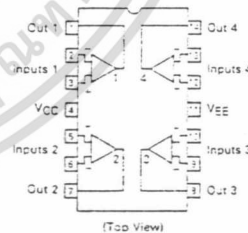
N SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 626
 (LF351, LF353 Only)



D SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 761
 (SO-8)
 (LF351, LF353 Only)



N SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 646
 (LF347 Only)



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V _{CC} V _{EE}	-18 -18	V
Differential Input Voltage	V _{ID}	± 30	V
Input Voltage Range (Note 1)	V _{IDR}	± 15	V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t _S	Continuous	
Power Dissipation at T _A = -25°C	P _D	900	mW
Derate above T _A = +25°C	1 μA	10	mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to -70	°C
Operating Junction Temperature Range	T _J	115	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

NOTES:

1. Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is limited to the negative power supply.
2. Any amplifier output can be shorted to ground indefinitely. However, if more than one amplifier output is shorted simultaneously, maximum junction temperature ratings may be exceeded.

ORDERING INFORMATION

Function	Device	Package
Single	LF351D	SO-8
Single	LF351N	Plastic DIP
Dual	LF353D	SO-8
Dual	LF353N	Plastic DIP
Quad	LF347BN	Plastic DIP
Quad	LF347N	Plastic DIP

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF347, LF351, LF353

M
S
TE

2

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = -15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	LF347B			LF347, LF351, LF353			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}$, $V_{CM} = 0$) $T_A = -25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq -70^\circ\text{C}$	V_{IO}	—	1.0	5.0	—	5.0	10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $R_S \leq 10\text{ k}$, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq -70^\circ\text{C}$	$\Delta V_{IO} / \Delta T$	—	10	—	—	10	—	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current ($V_{CM} = 0$, Note 3) $T_A = -25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq -70^\circ\text{C}$	I_{IO}	—	25	100	—	25	100	pA
Input Bias Current ($V_{CM} = 0$, Note 3) $T_A = -25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq -70^\circ\text{C}$	I_{IB}	—	50	200	—	50	200	pA
Input Resistance	r_i	—	10^{12}	—	—	10^{12}	—	Ω
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	-11	-15	—	-11	-15	—	V
Large-Signal Voltage Gain ($V_O = -10\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}$) $T_A = -25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq -70^\circ\text{C}$	A_{VOL}	50	100	—	25	100	—	V/mV
Output Voltage Swing ($R_L = 10\text{ k}$)	V_O	-12	-14	—	-12	-14	—	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 10\text{ k}$)	CMRR	80	100	—	70	100	—	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 10\text{ k}$)	PSRR	80	100	—	70	100	—	dB
Supply Current	I_D	—	7.2	11	—	7.2	11	mA
	LF347	—	—	—	—	3.8	3.4	
	LF351	—	—	—	—	3.6	6.5	
	LF353	—	—	—	—	—	—	
Slew Rate ($A_V = -1$)	SR	—	13	—	—	13	—	V/ μs
Gain-Bandwidth Product	ω_{WB}	—	4.0	—	—	4.0	—	MHz
Equivalent Input Noise Voltage ($R_S = 100\ \Omega$, $f = 1000\text{ Hz}$)	e_n	—	24	—	—	24	—	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Equivalent Input Noise Current ($f = 1000\text{ Hz}$)	i_n	—	0.01	—	—	0.01	—	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Channel Separation (LF347, LF353) $1.0\text{ Hz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$ (Input Referred)	—	—	-120	—	-120	—	—	dB

For Typical Characteristic Performance Curves, refer to MC34001/34002/34004 data sheet.

NOTES: (continued)

3. Input bias currents of JFET input op amps approximately double for every 10°C rise in junction temperature. To maintain junction temperatures as close to ambient as is possible, pulse techniques are utilized during test.

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

DAC-08

HIGH SPEED
8-BIT MULTIPLYING D-TO-A
CONVERTER

SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT

HIGH SPEED 8-BIT MULTIPLYING D-TO-A CONVERTER

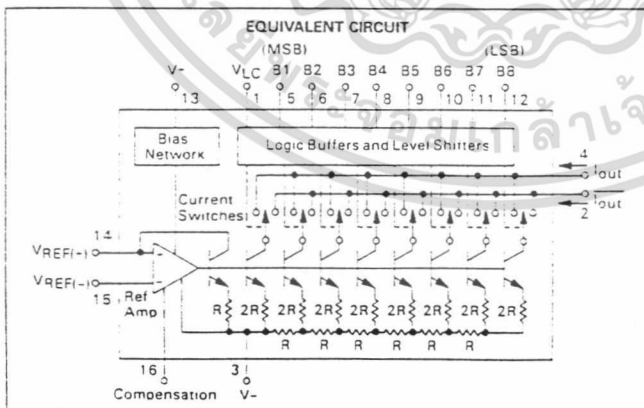
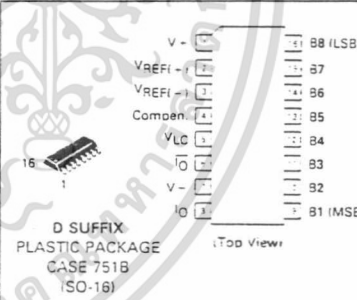
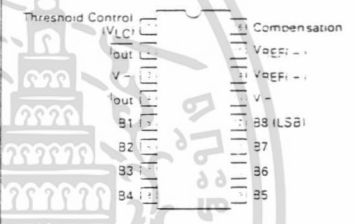
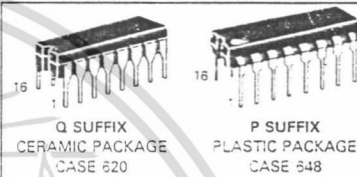
The DAC-08 series is a monolithic 8-bit high speed multiplying digital-to-analog converter, capable of settling to within 1/2 LSB (0.19%) in 85 ns. Monotonic multiplying performance is retained over a wide 40-to-1 reference current range. Full scale and reference currents are matched to within 1 LSB, therefore eliminating the need for full scale trim in most applications.

Dual complementary current outputs with high voltage compliance provide added versatility and allow differential mode of operation to effectively double the peak-to-peak output swing. In many applications, output current-to-voltage conversion can be accomplished without requiring an external op amp. Noise-immune inputs permit direct interface with TTL and DTL levels when the logic threshold control, VLC (Pin 1) is grounded. All other logic family thresholds are attainable by adjusting the voltage level of Pin 1. Performance characteristics are virtually unchanged over the entire ± 4.5 V to ± 18 V power supply range. Power consumption is typically 33 mW with ± 5.0 V supplies.

The DAC-08 is available in several versions, with nonlinearity as tight as $\pm 0.1\%$ ($\pm 1/4$ LSB) over temperature. All versions are guaranteed monotonic over 3 bits. For an extra margin of performance, Motorola utilizes thin-film resistors permitting very accurate resistive values which are extremely stable over temperature.

High performance characteristics along with low cost, make the DAC-08 an excellent selection for applications such as CRT displays, waveform generation, high speed modems, and high speed analog-to-digital converters.

- Fast Settling Time — 85 ns
- Full Scale Current Pre-matched to ± 1 LSB
- Nonlinearity Over Temperature to $\pm 0.1\%$ Max
- Differential Current Outputs
- High Voltage Compliance Outputs — 10 V to -18 V
- Wide Range Multiplying Capability
- Inputs Compatible With TTL, DTL, CMOS, PMOS, ECL, HTL
- Low Full Scale Current Drift
- Wide Power Supply Range — 4.5 V to ± 18 V
- Low Power Consumption
- Thin-Film Resistors
- Low Cost



ORDERING INFORMATION

Device	Nonlinearity	Temperature Range	Package
DAC-08AQ	$\pm 0.1\%$	-55°C to $+70^{\circ}\text{C}$	Ceramic
DAC-08Q	$\pm 0.19\%$	-125°C to $+70^{\circ}\text{C}$	Ceramic
DAC-08HQ	$\pm 0.1\%$		Ceramic
DAC-08EQ	$\pm 0.19\%$		Ceramic
DAC-08CQ	$\pm 0.39\%$		Ceramic
DAC-08CD	$\pm 0.39\%$	0°C to $+70^{\circ}\text{C}$	SO-16
DAC-08ED	$\pm 0.19\%$		SO-16
DAC-08HP	$\pm 0.1\%$		Plastic
DAC-08EP	$\pm 0.19\%$		Plastic
DAC-08CP	$\pm 0.39\%$		Plastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
V+ Supply to V- Supply	—	36	V
Logic Inputs	—	V- to V- Plus 36	V
Logic Threshold Control	V _{LC}	V- to V-	V
Analog Current Outputs	I _{out}	See Figure 7	mA
Reference Inputs (V14, V15)	V _{REF}	V- to V-	V
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	V _{REF(D)}	±18	V
Reference Input Current (I14)	I _{REF}	5.0	mA
Operating Temperature Range DAC-08AQ, Q DAC-08HQ, EQ, CQ, HP, EP, CP, ED, CD	T _A	-55 to +125 0 to +70	°C
Storage Temperature	T _A	-65 to +150	°C
Power Dissipation Derate above 100°C	P _D R _{θJA}	500 10	mW mW/°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = ±15 V, I_{REF} = 2.0 mA, T_A = -55°C to +125°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	DAC-08A			DAC-08			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Resolution	—	8	8	8	8	8	8	Bits
Monotonicity	—	8	8	8	3	8	8	Bits
Nonlinearity, T _A = 0°C to +70°C	NL	—	—	±0.1	—	—	±0.19	%FS
Settling Time to ±1.2 LSB, Figure 24 (All Bits Switched On or Off, T _A = 25°C)(Note 1)	t _s	—	85	—	—	85	—	ns
Propagation Delay, T _A = 25°C (Note 1)	—	—	—	—	—	—	—	ns
Each Bit	t _{PLH} t _{PWL}	—	35	—	—	35	—	—
All Bits Switched	t _{CLAS}	—	±10	—	—	±10	—	ppm/°C
Output Voltage Compliance Full Scale Current Change < 1.2 LSB R _{out} = 20 megohms typ	V _{OC}	-10	—	-18	-10	—	-13	V
Full Range Current V _{REF} = 10 000 V, R14, R15 = 5 000 kΩ, T _A = 25°C	I _{FR1}	1 984	1 992	2 000	1 94	1 99	2 00	mA
Full Range Symmetry (I _{FR1} - I _{FR2})	I _{FS}	—	-0.5	-4.0	—	-1.0	-2.0	μA
Zero Scale Current	I _{ZS}	—	0.1	1.0	—	0.2	2.0	μA
Output Current Range V- = -5.0 V	I _{OR1}	0	—	2.1	0	—	2.1	mA
V- = -8.0 V to -18 V	I _{OR2}	0	—	4.2	0	—	4.2	mA
Logic Input Levels (V _{LC} = 0 V)	—	—	—	—	—	—	—	V
Logic "0"	V _{IL}	—	—	0.8	—	—	0.8	V
Logic "1"	V _{IH}	2.0	—	—	2.0	—	—	V
Logic Input Current (V _{LC} = 0 V)	—	—	—	—	—	—	—	μA
Logic Input "0" (V _{IH} = -10 V to -0.8 V)	I _{IL}	—	-2.0	-10	—	-2.0	-10	μA
Logic Input "1" (V _{IH} = -2.0 V to +18 V)	I _{IH}	—	0.002	10	—	0.002	10	μA
Logic Input Swing, V- = -15 V	V _{IS}	-10	—	-18	-10	—	-18	V
Logic Threshold Range, V _S = ±15 V	V _{THR}	-10	—	-13.5	-10	—	-13.5	V
Reference Bias Current	I ₁₅	—	-1.0	-3.0	—	-1.0	-3.0	μA
Reference Input Slew Rate Figure 19 (Note 1)	dI/dt	—	8.0	—	—	8.0	—	mA/μs
Power Supply Sensitivity (I _{REF} = 1.0 mA)	—	—	—	—	—	—	—	%/%
V+ = 4.5 V to 18 V	PSS1eg-	—	±0.0003	±0.01	—	±0.0003	±0.01	
V- = -4.5 V to -18 V	PSS2eg-	—	±0.002	±0.01	—	±0.002	±0.01	
Power Supply Current	—	—	—	—	—	—	—	mA
V _S = ±5.0 V, I _{REF} = 1.0 mA	I-	—	2.3	3.8	—	2.3	3.8	
	I+	—	-4.3	-5.8	—	-4.3	-5.8	
V _S = ±5.0 V, -15 V, I _{REF} = 2.0 mA	I-	—	2.4	3.8	—	2.4	3.8	
	I+	—	-6.4	-7.8	—	-6.4	-7.8	
V _S = ±15 V, I _{REF} = 2.0 mA	I-	—	2.5	3.8	—	2.5	3.8	
	I+	—	-6.5	-7.8	—	-6.5	-7.8	
Power Dissipation	P _D	—	—	—	—	—	—	mW
V _S = ±5.0 V, I _{REF} = 1.0 mA	—	—	33	48	—	33	48	
V _S = ±5.0 V, -15 V, I _{REF} = 2.0 mA	—	—	103	136	—	108	136	
V _S = ±15 V, I _{REF} = 2.0 mA	—	—	135	174	—	135	174	

Note 1. Parameter is not 100% tested; guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15\text{ V}$, $I_{REF} = 2.0\text{ mA}$, $T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	DAC-08H			DAC-08E			DAC-08C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Resolution	—	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Bits
Monotonicity	—	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Bits
Nonlinearity, $T_A = 0^\circ\text{C}$ to -70°C	NL	—	—	± 0.1	—	—	± 0.19	—	—	± 0.39	%FS
Settling Time to $\pm 1/2$ LSB (All Bits Switched On or Off, $T_A = 25^\circ\text{C}$) Figure 24 (Note 1)	t_s	—	85	—	—	85	—	—	85	—	ns
Propagation Delay, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 1)											ns
Each Bit	t_{PLH}	—	35	—	—	35	—	—	35	—	
All Bits Switched	t_{PHL}	—	35	—	—	35	—	—	35	—	
Full Scale Tempco	TCIFS	—	± 10	—	—	± 10	—	—	± 10	—	ppm/ $^\circ\text{C}$
Output Voltage Compliance Full Scale Current Change < 1/2 LSB, $R_{out} > 20\text{ megohm typ.}$	VOC	-10	—	-18	-10	—	-18	-10	—	-18	V
Full Range Current ($V_{REF} = 10.000\text{ V}$; $R_{14}, R_{15} = 5.000\text{ k}\Omega$) $T_A = 25^\circ\text{C}$	I_{FR4}	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	1.94	1.99	2.04	mA
Full Range Symmetry ($I_{FR4} - I_{FR2}$)	I_{FRS}	—	± 0.5	± 4.0	—	± 1.0	± 8.0	—	± 2.0	± 16.0	μA
Zero Scale Current	I_{ZS}	—	0.1	1.0	—	0.2	2.0	—	0.2	4.0	μA
Output Current Range $V_- = -5.0\text{ V}$ $V_- = -8.0\text{ V}$ to -18 V	I_{OR1} I_{OR2}	0	—	2.1	0	—	2.1	0	—	2.1	mA
Logic Input Levels ($V_{LC} = 0\text{ V}$) Logic "0" Logic "1"	V_{IL} V_{IH}	—	—	0.8	—	—	0.8	—	—	0.8	V
Logic Input Current ($V_{LC} = 0\text{ V}$) Logic Input "0" ($V_{in} = -10\text{ V}$ to $+0.8\text{ V}$) Logic Input "1" ($V_{in} = -2.0\text{ V}$ to $+18\text{ V}$)	I_{IL} I_{IH}	—	-2.0	-10	—	-2.0	-10	—	-2.0	-10	μA
Logic Input Swing, $V_- = -15\text{ V}$	V_{IS}	-10	—	-18	-10	—	-18	-10	—	-18	V
Logic Threshold Range, $V_S = \pm 15\text{ V}$	V_{THR}	-10	—	-13.5	-10	—	-13.5	-10	—	-13.5	V
Reference Bias Current	I_{15}	—	-1.0	-3.0	—	-1.0	-3.0	—	-1.0	-3.0	μA
Reference Input Slew Rate Figure 19 (Note 1)	dI/dt	—	8.0	—	—	8.0	—	—	8.0	—	mA/ μs
Power Supply Sensitivity ($I_{REF} = 1.0\text{ mA}$) $V_- = 4.5\text{ V}$ to 18 V $V_- = -4.5\text{ V}$ to -18 V	$PSSI_{FS+}$ $PSSI_{FS-}$	—	± 0.0003 ± 0.002	± 0.01 ± 0.01	—	± 0.0003 ± 0.002	± 0.01 ± 0.01	—	± 0.0003 ± 0.002	± 0.01 ± 0.01	%%
Power Supply Current $V_S = \pm 5.0\text{ V}$, $I_{REF} = 1.0\text{ mA}$ $V_S = -5.0\text{ V}$, -15 V , $I_{REF} = 2.0\text{ mA}$ $V_S = \pm 15\text{ V}$, $I_{REF} = 2.0\text{ mA}$	I_+ I_- I_+ I_- I_+ I_-	—	2.3 -4.3 2.4 -6.4 2.5 -6.5	3.8 -5.8 3.8 -7.8 3.8 -7.8	—	2.3 -4.3 2.4 -6.4 2.5 -6.5	3.8 -25.8 3.8 -7.8 3.8 -7.8	—	2.3 -4.3 2.4 -6.4 2.5 -6.5	3.8 -5.8 3.8 -7.8 3.8 -7.8	mA
Power Dissipation $V_S = \pm 5.0\text{ V}$, $I_{REF} = 1.0\text{ mA}$ $V_S = -5.0\text{ V}$, -15 V , $I_{REF} = 2.0\text{ mA}$ $V_S = \pm 15\text{ V}$, $I_{REF} = 2.0\text{ mA}$	P_D	—	33 108 135	48 136 174	—	33 108 135	48 136 174	—	33 108 135	48 136 174	mW

Note 1. Parameter is not 100% tested; guaranteed by design.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

TYPICAL PERFORMANCE CURVES

FIGURE 1 — FULL SCALE CURRENT versus REFERENCE CURRENT

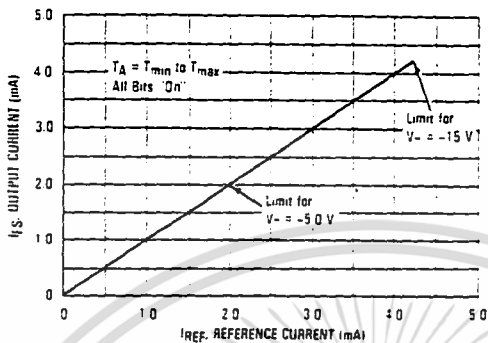
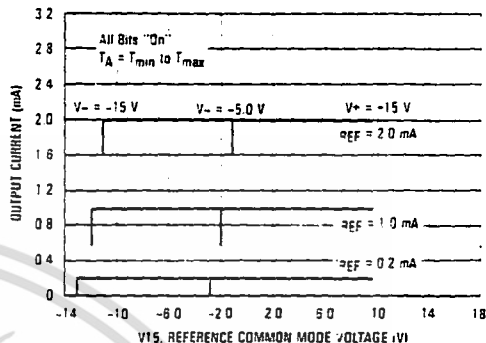
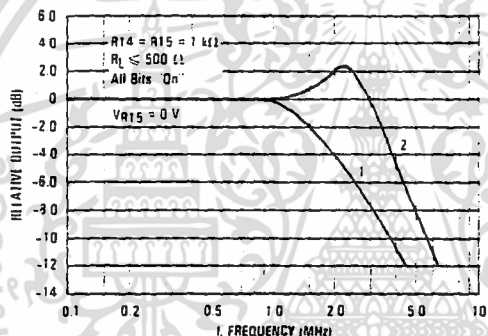


FIGURE 2 — REFERENCE AMP COMMON MODE RANGE



NOTE Positive Common Mode Range is Always (V+) - 1.5 V

FIGURE 3 — REFERENCE INPUT FREQUENCY RESPONSE



Curve 1 — $C_p = 15$ pF, $V_{in} = 2.0$ V p-p Centered at +1.0 V (Large-Signal)
 Curve 2 — $C_p = 15$ pF, $V_{in} = 50$ mV p-p Centered at -200 mV (Small-Signal)

FIGURE 4 — LSB PROPAGATION DELAY versus IFS

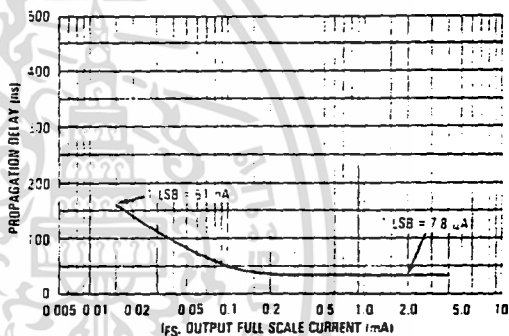


FIGURE 5 — LOGIC INPUT CURRENT versus INPUT VOLTAGE

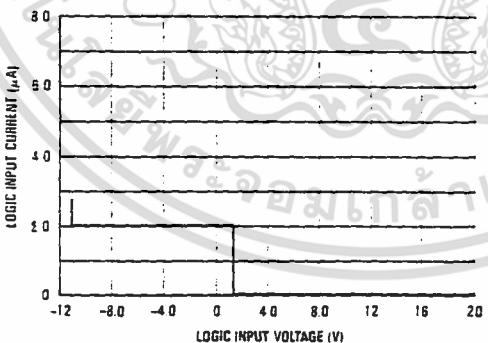
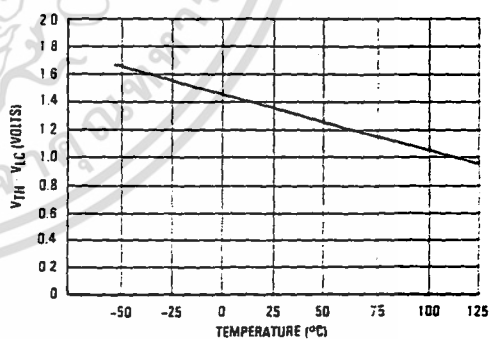


FIGURE 6 — V_{TH} - V_{LC} versus TEMPERATURE



6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

TYPICAL PERFORMANCE CURVES

FIGURE 7 — OUTPUT CURRENT versus OUTPUT VOLTAGE (Output Voltage Compliance)

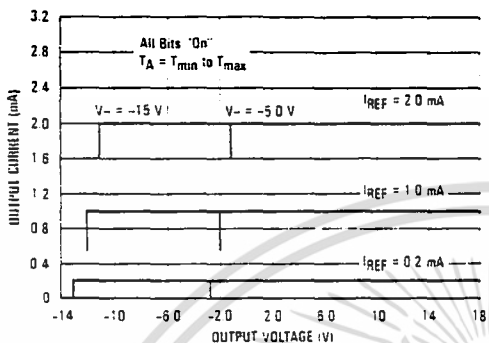


FIGURE 8 — OUTPUT VOLTAGE COMPLIANCE versus TEMPERATURE

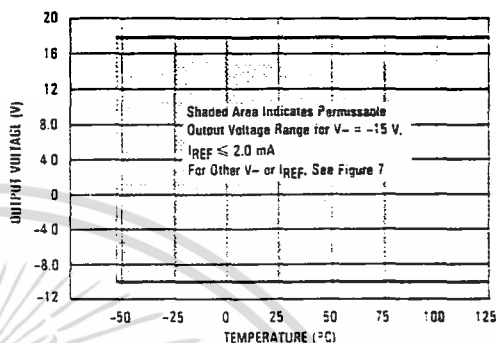


FIGURE 9 — BIT TRANSFER CHARACTERISTICS

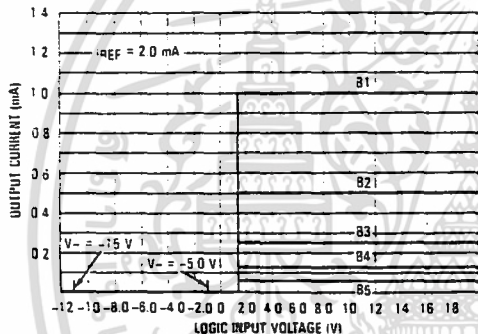
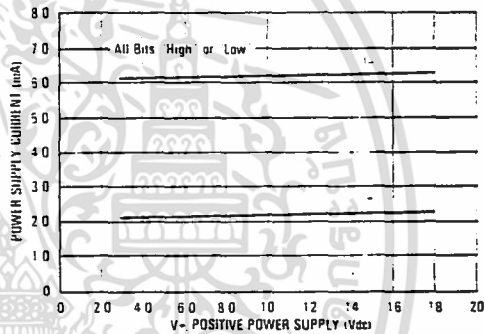


FIGURE 10 — POWER SUPPLY CURRENT versus V_+



NOTE: B1-B5 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than 1/2 LSB error, at less than $\pm 100 \text{ mV}$ from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.8 V and 2.0 V over operating temperature range ($V_{LC} = 0 \text{ V}$).

FIGURE 11 — POWER SUPPLY CURRENT versus V_-

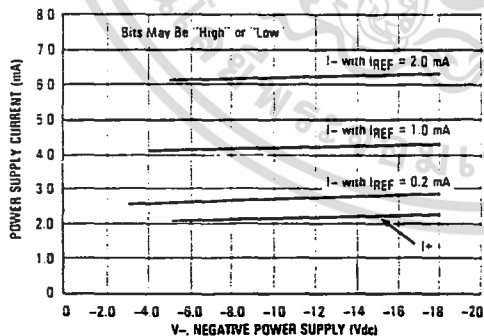
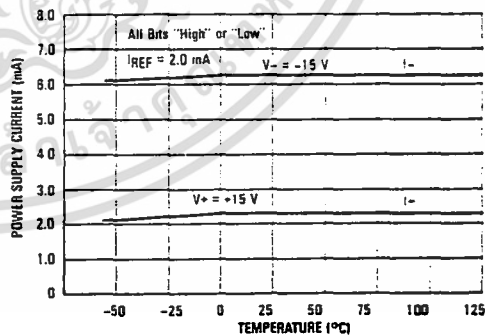


FIGURE 12 — POWER SUPPLY CURRENT versus TEMPERATURE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

BASIC CIRCUIT CONFIGURATIONS

FIGURE 13 — RECOMMENDED FULL SCALE ADJUSTMENT CIRCUIT

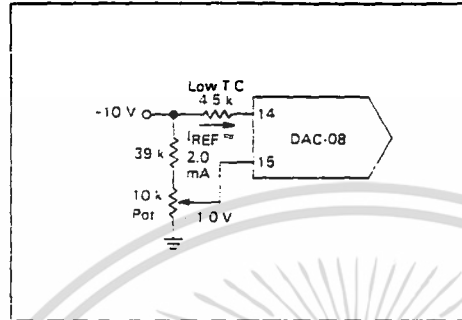
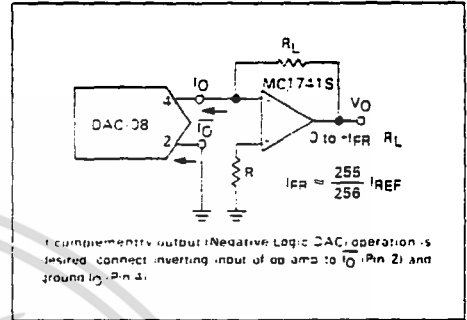
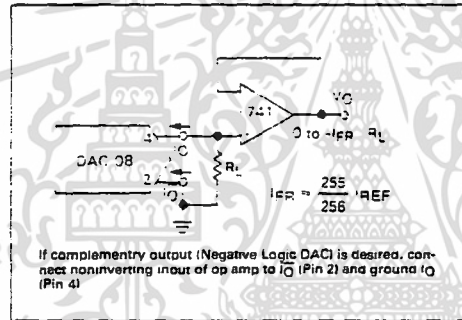


FIGURE 14 — POSITIVE LOW IMPEDANCE OUTPUT OPERATION



If complementary output (Negative Logic DAC) operation is desired, connect inverting input of op amp to \bar{I}_O (Pin 2) and ground by Pin 4.

FIGURE 15 — NEGATIVE LOW IMPEDANCE OUTPUT OPERATION



If complementary output (Negative Logic DAC) is desired, connect noninverting input of op amp to \bar{I}_O (Pin 2) and ground \bar{I}_O (Pin 4).

FIGURE 16 — BASIC POSITIVE REFERENCE OPERATION

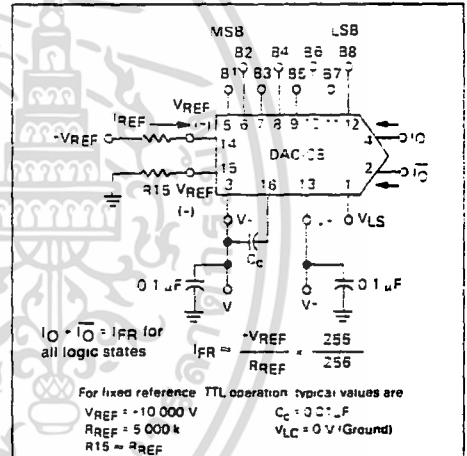
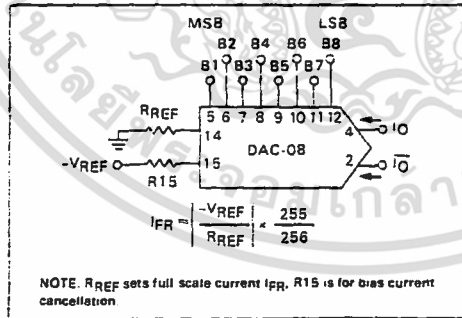


FIGURE 17 — BASIC NEGATIVE REFERENCE OPERATION



NOTE: R_{REF} sets full scale current I_{FS} . R_{15} is for bias current cancellation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

BASIC CIRCUIT CONFIGURATIONS

FIGURE 21 BASIC BIPOLAR OUTPUT OPERATION

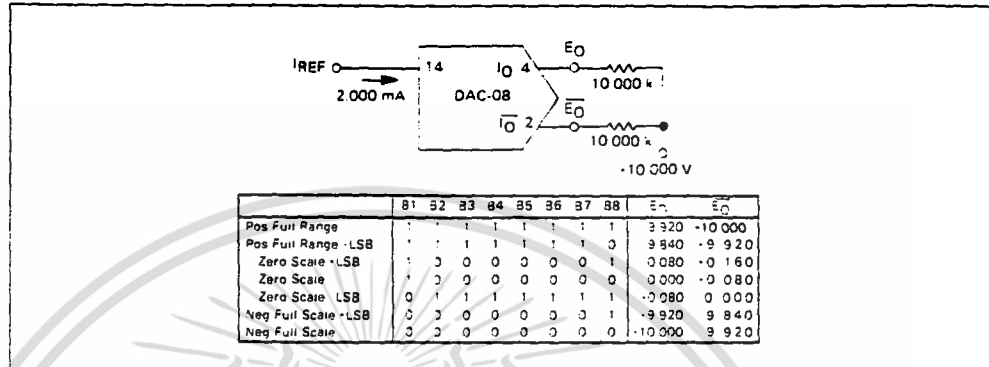
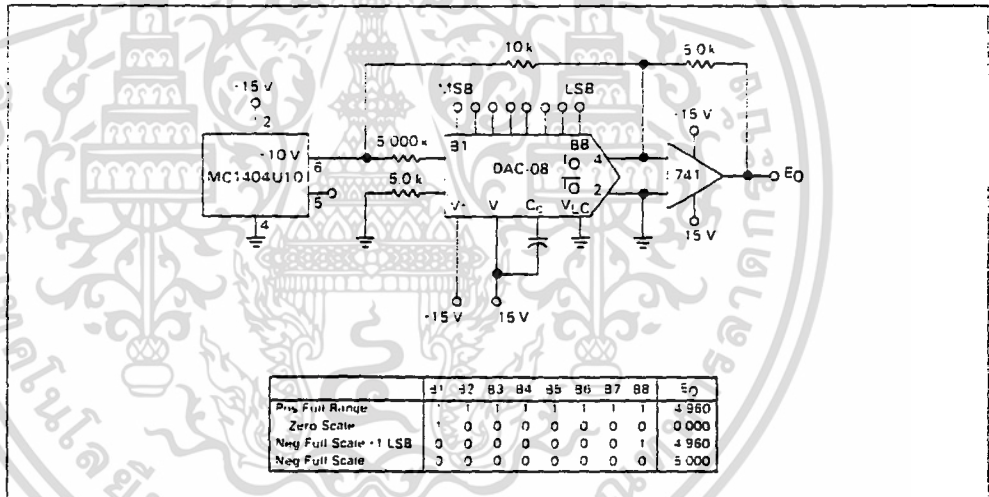


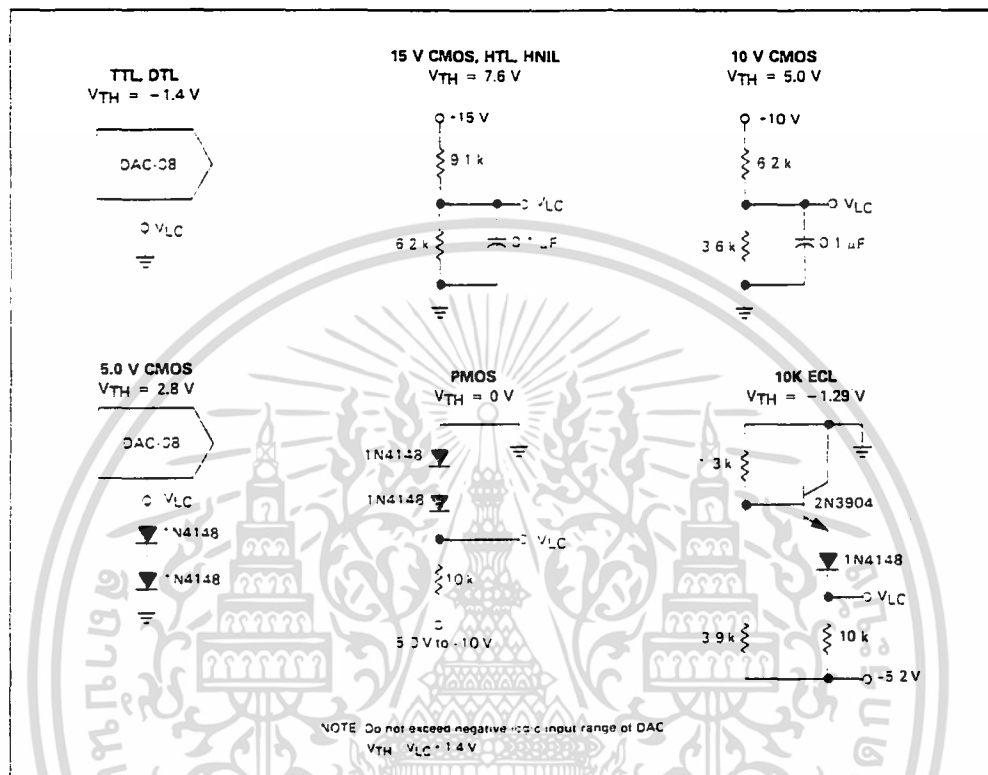
FIGURE 22 OFFSET BINARY OPERATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

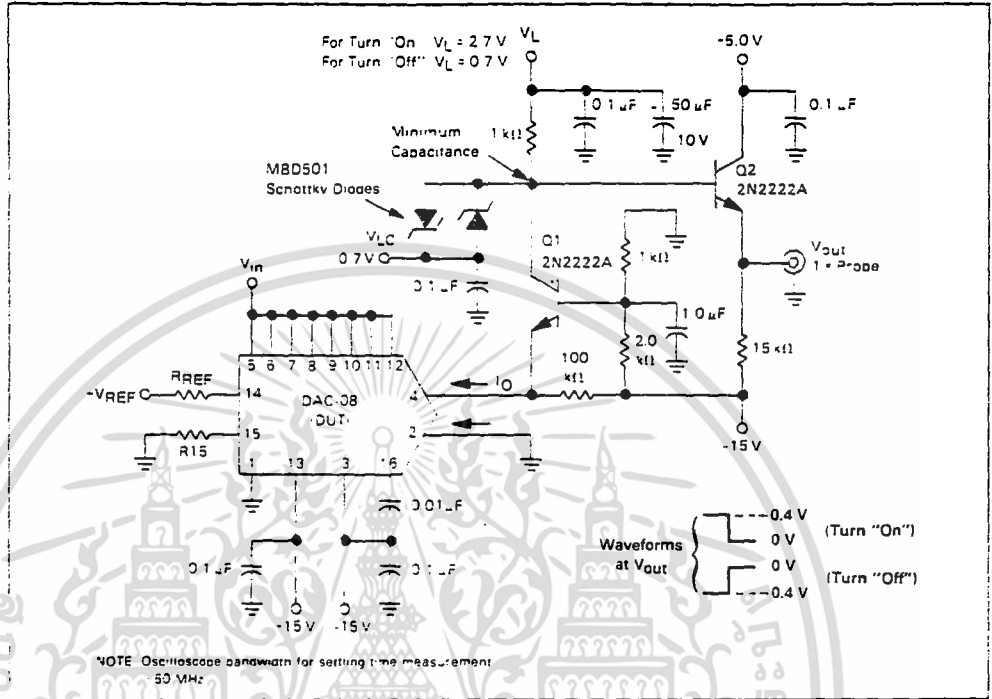
FIGURE 23 — INTERFACING WITH VARIOUS LOGIC FAMILIES



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

FIGURE 24 — SETTLING TIME MEASUREMENT CIRCUIT

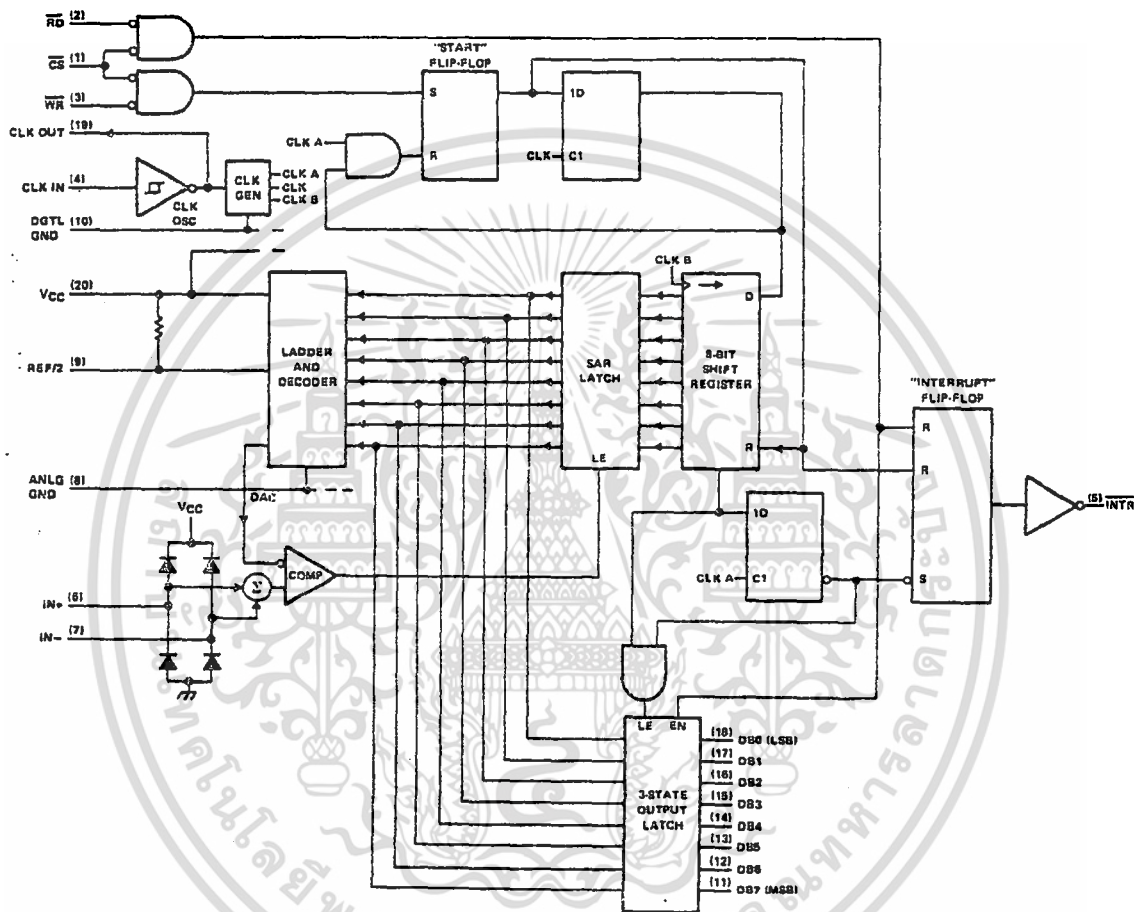


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น สืบทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0804I, ADC0804C 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIFFERENTIAL INPUTS

functional block diagram (positive logic)

Data Sheets

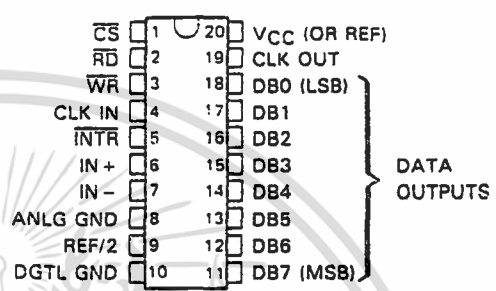


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0804I, ADC0804C
8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH DIFFERENTIAL INPUTS
 D2755, OCTOBER 1983—REVISED OCTOBER 1988

- 8-Bit Resolution
- Ratiometric Conversion
- 100- μ s Conversion Time
- 135-ns Access Time
- No Zero Adjust Requirement
- On-Chip Clock Generator
- Single 5-V Power Supply
- Operates with Microprocessor or as Stand-Alone
- Designed to be Interchangeable with National Semiconductor and Signetics ADC0804

N DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The ADC0804 is a CMOS 8-bit successive-approximation analog-to-digital converter that uses a modified potentiometric (256R) ladder. The ADC0804 is designed to operate from common microprocessor control buses, with the three-state output latches driving the data bus. The ADC0804 can be made to appear to the microprocessor as a memory location or an I/O port. Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

A differential analog voltage input allows increased common-mode rejection and offset of the zero-input analog voltage value. Although a reference input (REF/2) is available to allow 8-bit conversion over smaller analog voltage spans or to make use of an external reference, ratiometric conversion is possible with the REF/2 input open. Without an external reference, the conversion takes place over a span from V_{CC} to analog ground (ANLG GND). The ADC0804 can operate with an external clock signal or, with an additional resistor and capacitor, can operate using an on-chip clock generator.

The ADC0804I is characterized for operation from -40°C to 85°C. The ADC0804C is characterized for operation from 0°C to 70°C.



Data Sheets

ADC0804I, ADC0804C
8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH DIFFERENTIAL INPUTS

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

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range: \overline{CS} , \overline{RD} , \overline{WR}	-0.3 V to 18 V
other inputs	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Output voltage range	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Operating free-air temperature range: ADC0804I	-40°C to 85°C
ADC0804C	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to digital ground (DGTL GND) with DGTL GND and ANALG GND connected together (unless otherwise noted).

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	6.3	V
Voltage at REF/2, $V_{REF/2}$ (see Note 2)	0.25	2.5		V
High-level input voltage at \overline{CS} , \overline{RD} , or \overline{WR} , V_{IH}	2		15	V
Low-level input voltage at \overline{CS} , \overline{RD} , or \overline{WR} , V_{IL}			0.8	V
Analog ground voltage (see Note 3)	-0.05	0	1	V
Analog input voltage (see Note 4)	-0.05		$V_{CC} + 0.05$	V
Clock input frequency, f_{clock} (see Note 5)	100	640	1400	kHz
Duty cycle for $f_{clock} \geq 640$ kHz (see Note 5)	40		60	%
Pulse duration clock input (high or low) for $f_{clock} < 640$ kHz, $t_w(\text{CLK})$ (see Note 5)	275	781		ns
Pulse duration, \overline{WR} input low (start conversion), $t_w(\overline{WR})$	100			ns
Operating free-air temperature, T_A	ADC0804I		85	°C
	ADC0804C	0	70	

- NOTES: 2. The internal reference voltage is equal to the voltage applied to REF/2, or approximately equal to one-half of the V_{CC} when REF/2 is left open. The voltage at REF/2 should be one-half the full-scale differential input voltage between the analog inputs. Thus, the differential input voltage when REF/2 is open and $V_{CC} = 5$ V is 0 to 5 V. $V_{REF/2}$ for an input voltage range from 0.5 V to 3.5 V (full-scale differential voltage of 3 V) is 1.5 V.
3. These values are with respect to DGTL GND.
4. When the differential input voltage ($V_{IN+} - V_{IN-}$) is less than or equal to 0 V, the output code is 0000 0000.
5. Total unadjusted error is specified only at an f_{clock} of 640 kHz with a duty cycle of 40% to 60% (pulse duration 625 ns to 937 ns). For frequencies above this limit or pulse duration below 625 ns, error may increase. The duty cycle limits should be observed for an f_{clock} greater than 640 kHz. Below 640 kHz, this duty cycle limit can be exceeded provided $t_w(\text{CLK})$ remains within limits.

ADC0804I, ADC0804C 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIFFERENTIAL INPUTS

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 5\text{ V}$,
 $f_{\text{clock}} = 640\text{ kHz}$, $\text{REF}/2 = 2.5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	All outputs	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OH} = -360\text{ }\mu\text{A}$	2.4		V
		DB and $\overline{\text{INTR}}$	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OH} = -10\text{ }\mu\text{A}$	4.5		
V_{OL}	Low-level output voltage	Data outputs	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OL} = 1.8\text{ mA}$		0.4	V
		$\overline{\text{INTR}}$ output	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OL} = 1\text{ mA}$		0.4	
		CLK OUT	$V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OL} = 360\text{ }\mu\text{A}$		0.4	
V_{T+}	Clock positive-going threshold voltage		2.7	3.1	3.5	V
V_{T-}	Clock negative-going threshold voltage		1.5	1.8	2.1	V
$V_{T+} - V_{T-}$	Clock input hysteresis		0.6	1.3	2	V
I_{IH}	High-level input current			0.005	1	μA
I_{IL}	Low-level input current			-0.005	-1	μA
I_{OZ}	Off-state output current	$V_O = 0$			-3	μA
		$V_O = 5\text{ V}$			3	
I_{OHS}	Short-circuit output current	Output high	$V_O = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-4.5	-6	mA
I_{OLS}	Short-circuit output current	Output low	$V_O = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	9	16	mA
I_{CC}	Supply current plus reference current		REF/2 open, $\overline{\text{CS}}$ at 5 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.9	2.5	mA
$R_{\text{REF}/2}$	Input resistance to reference ladder		See Note 6	1	1.3	k Ω
C_i	Input capacitance (control)			5	7.5	pF
C_o	Output capacitance (DB)			5	7.5	pF

operating characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 5\text{ V}$,
 $V_{\text{REF}/2} = 2.5\text{ V}$, $f_{\text{clock}} = 640\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
Supply-voltage-variation error (See Notes 2 and 7)		$V_{CC} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Total unadjusted error (See Notes 7 and 8)		$V_{\text{REF}/2} = 2.5\text{ V}$			± 1	LSB
DC common-mode error (See Note 8)				$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
t_{en}	Output enable time	$C_L = 100\text{ pF}$		135	200	ns
t_{dis}	Output disable time	$C_L = 10\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$		125	200	ns
$t_d(\overline{\text{INTR}})$	Delay time to reset $\overline{\text{INTR}}$			300	450	ns
t_{conv}	Conversion cycle time (See Note 9)	$f_{\text{clock}} = 100\text{ kHz to }1.46\text{ MHz}$		65%	72%	clock cycles
	Conversion time			103	114	μs
CR	Free-running conversion rate	$\overline{\text{INTR}}$ connected to $\overline{\text{WR}}$, $\overline{\text{CS}}$ at 0 V			8827	conv/s

[†]All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTES: 2. The internal reference voltage is equal to the voltage applied to REF/2, or approximately equal to one-half of the V_{CC} when REF/2 is left open. The voltage at REF/2 should be one-half the full-scale differential input voltage between the analog inputs. Thus, the differential input voltage when REF/2 is open and $V_{CC} = 5\text{ V}$ is 0 to 5 V. $V_{\text{REF}/2}$ for an input voltage range from 0.5 V to 3.5 V (full-scale differential voltage of 3 V) is 1.5 V.

6. The resistance is calculated from the current drawn from a 5-V supply applied to pins 8 and 9.

7. These parameters are specified for the recommended analog input voltage range.

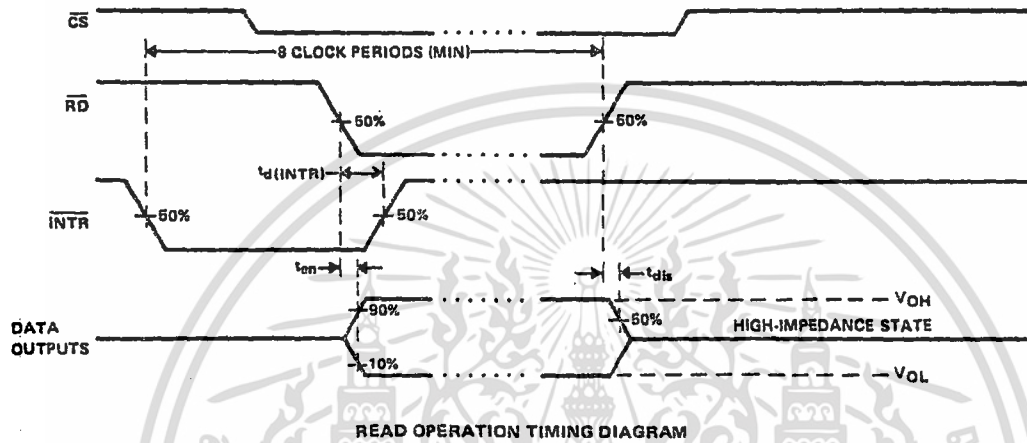
8. All errors are measured with reference to an ideal straight line through the end-points of the analog-to-digital transfer characteristic.

9. Although internal conversion is completed in 64 clock periods, a $\overline{\text{CS}}$ or $\overline{\text{WR}}$ low-to-high transition is followed by 1 to 8 clock periods before conversion starts. After conversion is completed, part of another clock period is required before a high-to-low transition of $\overline{\text{INTR}}$ completes the cycle.

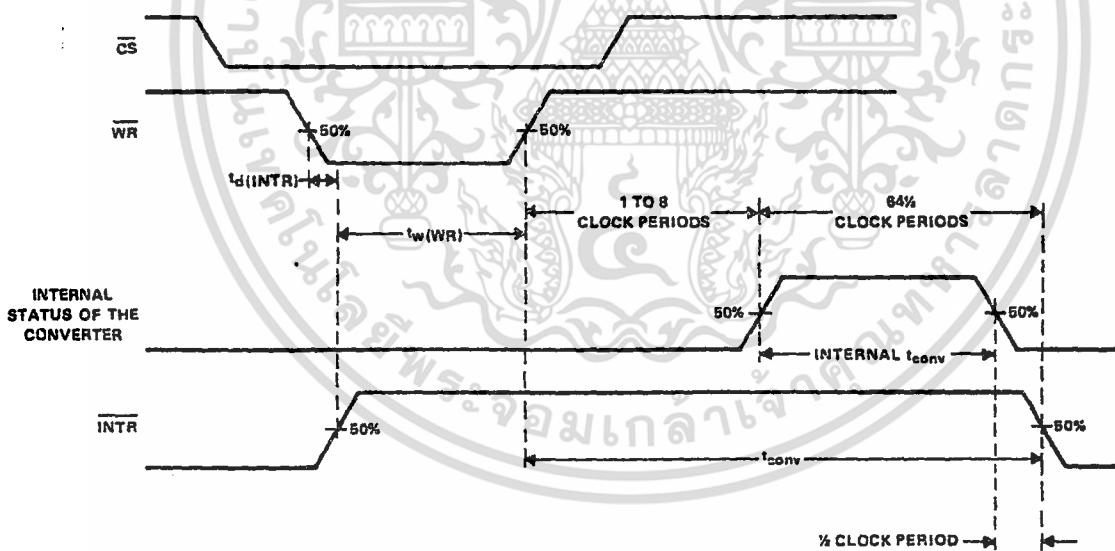
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC08041, ADC0804C
8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH DIFFERENTIAL INPUTS

timing diagrams



READ OPERATION TIMING DIAGRAM



WRITE OPERATION TIMING DIAGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0804I, ADC0804C 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIFFERENTIAL INPUTS

PRINCIPLES OF OPERATION

The ADC0804 contains a circuit equivalent to a 256-resistor network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match an analog differential input voltage ($V_{in+} - V_{in-}$) to a corresponding tap on the 256-resistor network. The most-significant bit (MSB) is tested first. After eight comparisons (64 clock periods), an 8-bit binary code (1111 1111 = full scale) is transferred to an output latch and the interrupt (\overline{INTR}) output goes low. The device can be operated in a free-running mode by connecting the \overline{INTR} output to the write (\overline{WR}) input and holding the conversion start (\overline{CS}) input at a low level. To ensure start-up under all conditions, a low-level \overline{WR} input is required during the power-up cycle. Taking \overline{CS} low anytime after that will interrupt a conversion in process.

When the \overline{WR} input goes low, the ADC0804 successive approximation register (SAR) and 8-bit shift register are reset. As long as both \overline{CS} and \overline{WR} remain low, the ADC0804 remains in a reset state. One to eight clock periods after \overline{CS} or \overline{WR} makes a low-to-high transition, conversion starts.

When the \overline{CS} and \overline{WR} inputs are low, the start flip-flop is set and the interrupt flip-flop and 8-bit register are reset. The next clock pulse transfers a logic high to the output of the start flip-flop. The logic high is ANDed with the next clock pulse, placing a logic high on the reset input of the start flip-flop. If either \overline{CS} or \overline{WR} have gone high, the set signal to the start flip-flop is removed, causing it to be reset. A logic high is placed on the D input of the 8-bit shift register and the conversion process is started. If the \overline{CS} and \overline{WR} inputs are still low, the start flip-flop, the 8-bit shift register, and the SAR remain reset. This action allows for wide \overline{CS} and \overline{WR} inputs with conversion starting from one to eight clock periods after one of the inputs goes high.

When the logic high input has been clocked through the 8-bit shift register, completing the SAR search, it is applied to an AND gate controlling the output latches and to the D input of a flip-flop. On the next clock pulse, the digital word is transferred to the three-state output latches and the interrupt flip-flop is set. The output of the interrupt flip-flop is inverted to provide an \overline{INTR} output that is high during conversion and low when the conversion is completed.

When a low is at both the \overline{CS} and \overline{RD} inputs, an output is applied to the DB0 through DB7 outputs and the interrupt flip-flop is reset. When either the \overline{CS} or \overline{RD} inputs return to a high state, the DB0 through DB7 outputs are disabled (returned to the high-impedance state). The interrupt flip-flop remains reset.

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS
D2642, JUNE 1981—REVISED MAY 1988

- Total Unadjusted Error . . . ± 0.75 LSB Max for ADC0808 and ± 1.25 LSB Max for ADC0809
- Resolution of 8 Bits
- 100 μ s Conversion Time
- Ratiometric Conversion
- Monotonicity Over the Entire A/D Conversion Range
- No Missing Codes
- Easy Interface with Microprocessors
- Latched 3-State Outputs
- Latched Address Inputs
- Single 5-V Supply
- Low Power Consumption
- Designed to be Interchangeable with National Semiconductor ADC0808, ADC0809

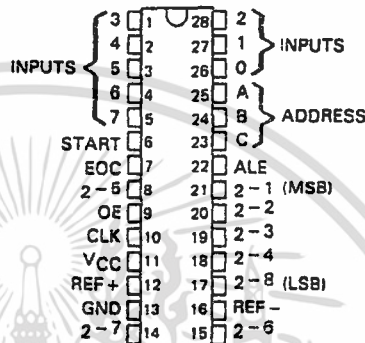
description

The ADC0808 and ADC0809 are monolithic CMOS devices with an 8-channel multiplexer, an 8-bit analog-to-digital (A/D) converter, and microprocessor-compatible control logic. The 8-channel multiplexer can be controlled by a microprocessor through a 3-bit address decoder with address load to select any one of eight single-ended analog switches connected directly to the comparator. The 8-bit A/D converter uses the successive-approximation conversion technique featuring a high-impedance threshold detector, a switched-capacitor array, a sample-and-hold, and a successive-approximation register (SAR). Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

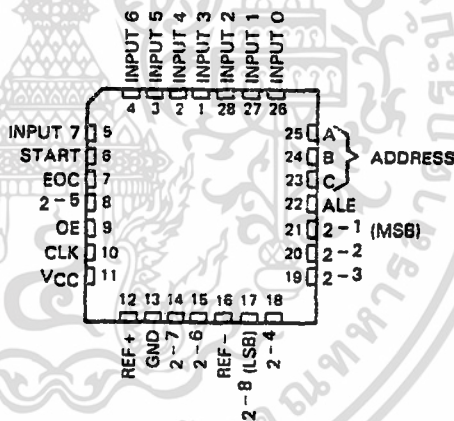
The comparison and converting methods used eliminate the possibility of missing codes, nonmonotonicity, and the need for zero or full-scale adjustment. Also featured are latched 3-state outputs from the SAR and latched inputs to the multiplexer address decoder. The single 5-V supply and low power requirements make the ADC0808 and ADC0809 especially useful for a wide variety of applications. Ratiometric conversion is made possible by access to the reference voltage input terminals.

The ADC0808 and ADC0809 are characterized for operation from -40°C to 85°C .

N
 DUAL-IN-LINE PACKAGE
 (TOP VIEW)



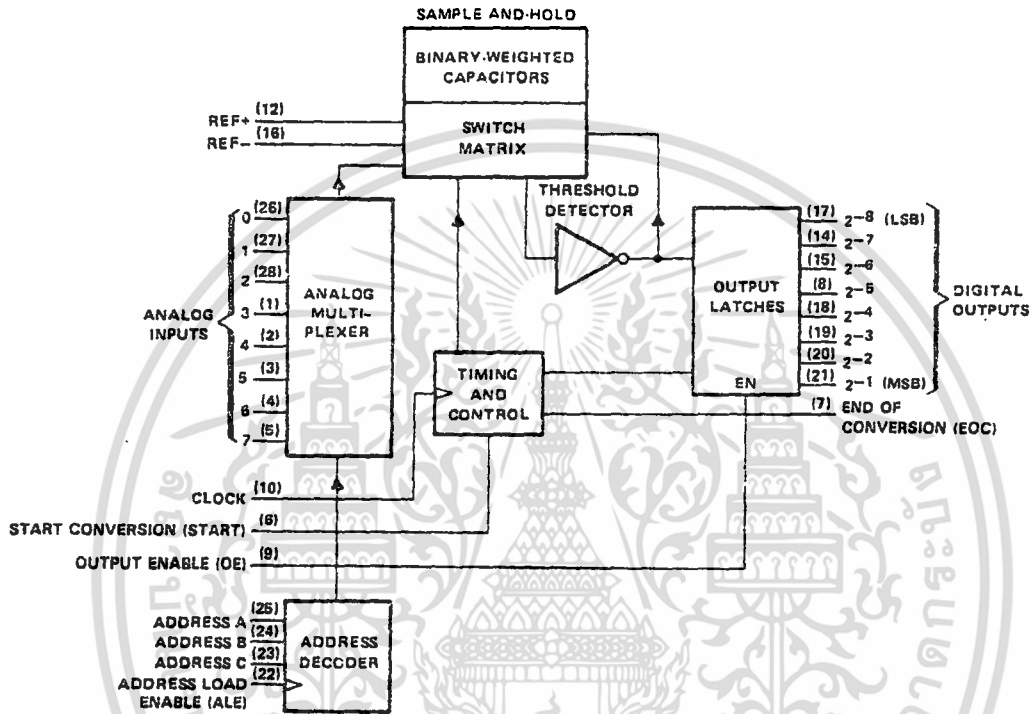
FN PACKAGE
 (TOP VIEW)



2
 Data Sheets

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

functional block diagram (positive logic)



MULTIPLEXER FUNCTION TABLE

INPUTS				SELECTED ANALOG CHANNEL
ADDRESS C	ADDRESS B	ADDRESS A	ADDRESS STROBE	
L	L	L	↑	0
L	L	H	↑	1
L	H	L	↑	2
L	H	H	↑	3
H	L	L	↑	4
H	L	H	↑	5
H	H	L	↑	6
H	H	H	↑	7

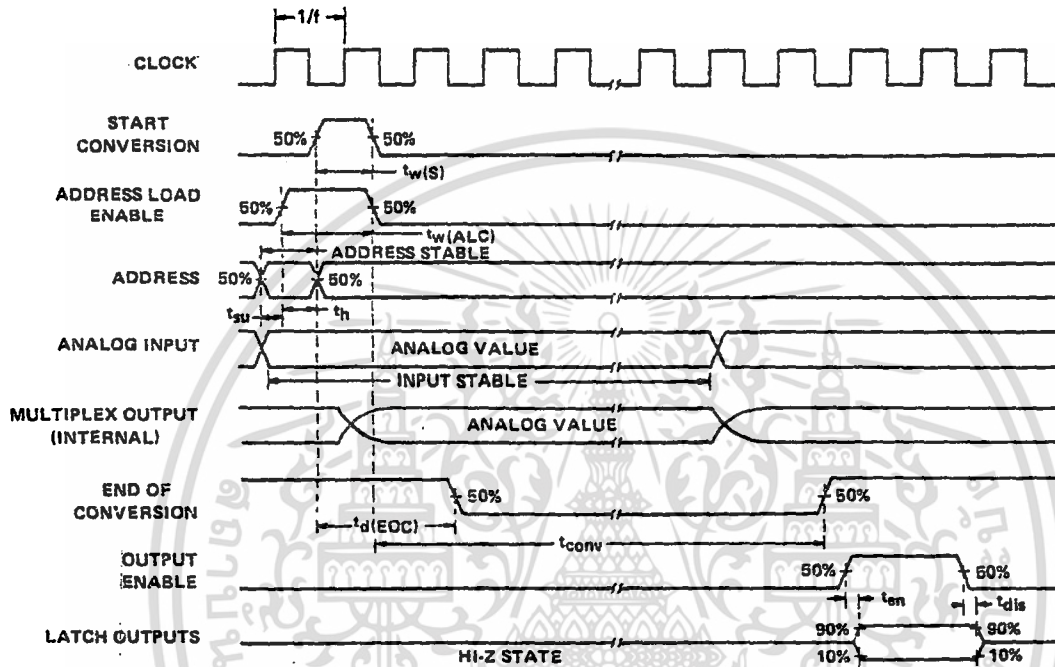
H = high level, L = low level
 ↑ = low-to-high transition

2 Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

operating sequence



2
Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS**

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

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range: control inputs	-0.3 to 15 V
all other inputs	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Operating free-air temperature range	-40°C to 85°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 10 seconds: FN package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: N package	260°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2
Data Sheets

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	6	V
Positive reference voltage, V_{ref+} (see Note 2)		V_{CC}	$V_{CC} + 0.1$	V
Negative reference voltage, V_{ref-}		0	-0.1	V
Differential reference voltage, $V_{ref+} - V_{ref-}$		5		V
High-level input voltage, V_{IH}	$V_{CC} - 1.5$			V
Low-level input voltage, V_{IL}			1.5	V
Operating free-air temperature, T_A	-40		85	°C

NOTE 2: Care must be taken that this rating is observed even during power-up.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 4.75$ V to 5.25 V (unless otherwise noted)

total device

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	$I_O = -360 \mu A$	$V_{CC} - 0.4$			V
V_{OL}	Low-level output voltage	Data outputs			0.45	V
		End of conversion	$I_O = 1.2 \text{ mA}$		0.45	
I_{OZ}	Off-state (high-impedance-state) output current	$V_O = V_{CC}$			3	μA
		$V_O = 0$			-3	
I_I	Control input current at maximum input voltage	$V_I = 15 \text{ V}$			1	μA
I_{IL}	Low-level control input current	$V_I = 0$			-1	μA
I_{CC}	Supply current	$f_{clock} = 640 \text{ kHz}$		0.3	3	mA
C_I	Input capacitance, control inputs	$T_A = 25^\circ C$		10	15	pF
C_O	Output capacitance, data outputs	$T_A = 25^\circ C$		10	15	pF
	Resistance from pin 12 to pin 16			1000		k Ω

analog multiplexer

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
I_{on}	Channel on-state current (see Note 3)	$V_I = V_{CC}$, $f_{clock} = 640 \text{ kHz}$			2	μA
		$V_I = 0.1 \text{ V}$, $f_{clock} = 640 \text{ kHz}$			-2	
I_{off}	Channel off-state current	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ C$			10	nA
		$V_I = 5 \text{ V}$			200	
		$V_I = 0$			-10	-200
		$V_{CC} = 5 \text{ V}$			1	μA
		$V_I = 0$			-1	

[†]Typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$ and $T_A = 25^\circ C$.

NOTE 3: Channel on-state current is primarily due to the bias current into or out of the threshold detector, and it varies directly with clock frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808, ADC0809 CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

timing requirements, $V_{CC} = V_{ref+} = 5\text{ V}$, $V_{ref-} = 0\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_{clock}	Clock frequency	10	640	1280	kHz
t_{conv}	Conversion time	See Note 4			μs
$t_w(s)$	Pulse duration, START	200			ns
$t_w(ALE)$	Pulse duration, ALE	200			ns
t_{su}	Setup time, ADDRESS	50			ns
t_h	Hold time, ADDRESS	50			ns
t_d	Delay time, EOC	See Notes 4 and 5			μs

operating characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = V_{ref+} = 5\text{ V}$, $V_{ref-} = 0\text{ V}$, $f_{clock} = 640\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ADC0808		ADC0809		UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	
k_{SVS}	Supply voltage sensitivity $V_{CC} = V_{ref+} = 4.75\text{ V to } 5.25\text{ V}$, $T_A = -40^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$, See Note 6	± 0.05		± 0.05		%/V
	Linearity error (see Note 7)	± 0.25		± 0.5		LSB
	Zero error (see Note 8)	± 0.25		± 0.25		LSB
Total unadjusted error (See Note 9)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.25	± 0.5	± 0.5		LSB
	$T_A = -40^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$	± 0.75		± 1.25		
	$T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$			± 1		
t_{en}	Output enable time $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	80	250	80	250	ns
t_{dis}	Output disable time $C_L = 10\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	105	250	105	250	ns

†Typical values for all except supply voltage sensitivity are at $V_{CC} = 5\text{ V}$, and all are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTES: 4. Refer to the operating sequence diagram.

5. For clock frequencies other than 640 kHz, $t_d(\text{EOC})$ maximum is 8 clock periods plus 2 μs .

6. Supply voltage sensitivity relates to the ability of an analog-to-digital converter to maintain accuracy as the supply voltage varies. The supply and V_{ref+} are varied together and the change in accuracy is measured with respect to full-scale.

7. Linearity error is the maximum deviation from a straight line through the end points of the A/D transfer characteristic.

8. Zero error is the difference between 00000000 and the converted output for zero input voltage; full-scale error is the difference between 1111.1111 and the converted output for full-scale input voltage.

9. Total unadjusted error is the maximum sum of linearity error, zero error, and full-scale error.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS**

PRINCIPLES OF OPERATION

The ADC0808 and ADC0809 each consists of an analog signal multiplexer, an 8-bit successive-approximation converter, and related control and output circuitry.

multiplexer

The analog multiplexer selects 1 of 8 single-ended input channels as determined by the address decoder. Address load control loads the address code into the decoder on a low-to-high transition. The output latch is reset by the positive-going edge of the start pulse. Sampling also starts with the positive-going edge of the start pulse and lasts for 32 clock periods. The conversion process may be interrupted by a new start pulse before the end of 64 clock periods. The previous data will be lost if a new start of conversion occurs before the 64th clock pulse. Continuous conversion may be accomplished by connecting the End-of-Conversion output to the start input. If used in this mode an external pulse should be applied after power up to assure start up.

converter

The CMOS threshold detector in the successive-approximation conversion system determines each bit by examining the charge on a series of binary-weighted capacitors (Figure 1). In the first phase of the conversion process, the analog input is sampled by closing switch S_C and all S_T switches, and by simultaneously charging all the capacitors to the input voltage.

In the next phase of the conversion process, all S_T and S_C switches are opened and the threshold detector begins identifying bits by identifying the charge (voltage) on each capacitor relative to the reference voltage. In the switching sequence, all eight capacitors are examined separately until all 8 bits are identified, and then the charge-convert sequence is repeated. In the first step of the conversion phase, the threshold detector looks at the first capacitor (weight = 128). Node 128 of this capacitor is switched to the reference voltage, and the equivalent nodes of all the other capacitors on the ladder are switched to REF-. If the voltage at the summing node is greater than the trip-point of the threshold detector (approximately one-half the VCC voltage), a bit is placed in the output register, and the 128-weight capacitor is switched to REF-. If the voltage at the summing node is less than the trip point of the threshold detector, this 128-weight capacitor remains connected to REF+ through the remainder of the capacitor-sampling (bit-counting) process. The process is repeated for the 64-weight capacitor, the 32-weight capacitor, and so forth down the line, until all bits are counted.

With each step of the capacitor-sampling process, the initial charge is redistributed among the capacitors. The conversion process is successive approximation, but relies on charge redistribution rather than a successive-approximation register (and reference DAC) to count and weigh the bits from MSB to LSB.

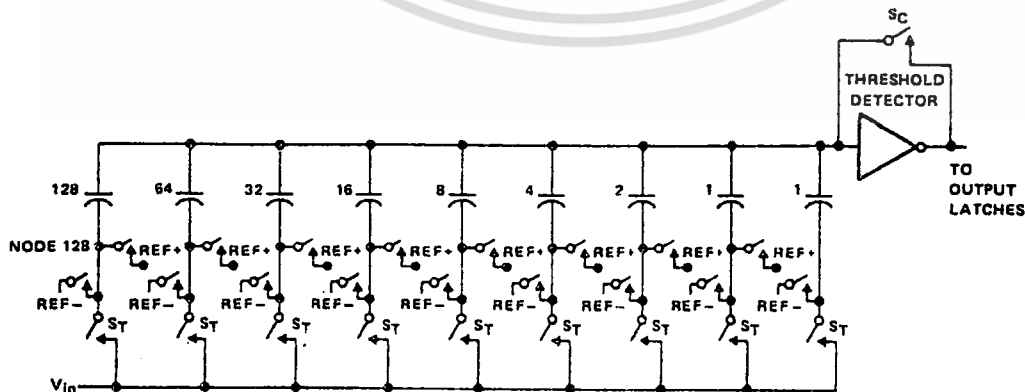


FIGURE 1. SIMPLIFIED MODEL OF THE SUCCESSIVE-APPROXIMATION SYSTEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER
D2842, NOVEMBER 1986—REVISED MAY 1988

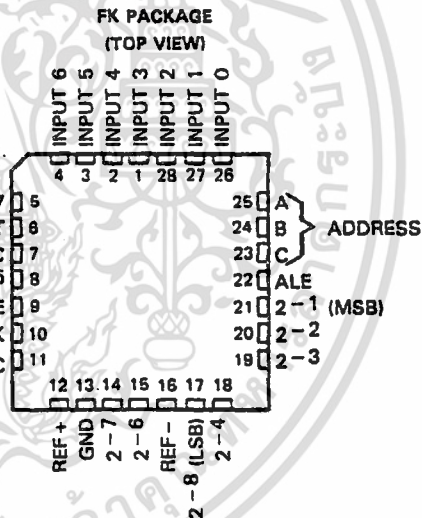
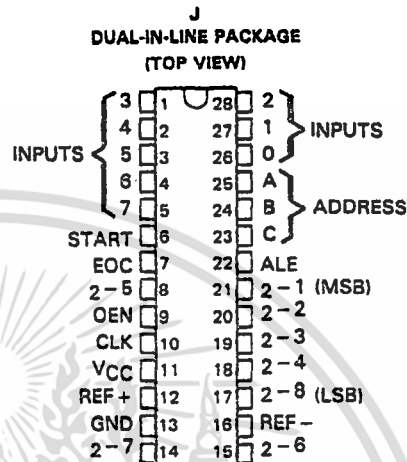
- Total Unadjusted Error . . . ± 0.75 LSB Max
- Resolution of 8 Bits
- 100 μ s Conversion Time
- Ratiometric Conversion
- Monotonous Over the Entire A/D Conversion Range
- No Missing Codes
- Easy Interface with Microprocessors
- Latched 3-State Outputs
- Latched Address Inputs
- Single 5-Volt Supply
- Low Power Consumption
- Designed to be Interchangeable with National Semiconductor ADC0808CJ

description

The ADC0808M is a monolithic CMOS device with an 8-channel multiplexer, an 8-bit analog-to-digital (A/D) converter, and microprocessor-compatible control logic. The 8-channel multiplexer can be controlled by a microprocessor through a 3-bit address decoder with address load to select any one of eight single-ended analog switches connected directly to the comparator. The 8-bit A/D converter uses the successive-approximation conversion technique featuring a high-impedance threshold detector, a switched capacitor array, a sample-and-hold, and a successive-approximation register (SAR). Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

The comparison and converting methods used eliminate the possibility of missing codes, nonmonotonicity, and the need for zero or full-scale adjustment. Also featured are latched 3-state outputs from the SAR and latched inputs to the multiplexer address decoder. The single 5-volt supply and low power requirements make the ADC0808M especially useful for a wide variety of applications. Ratiometric conversion is made possible by access to the reference voltage input terminals.

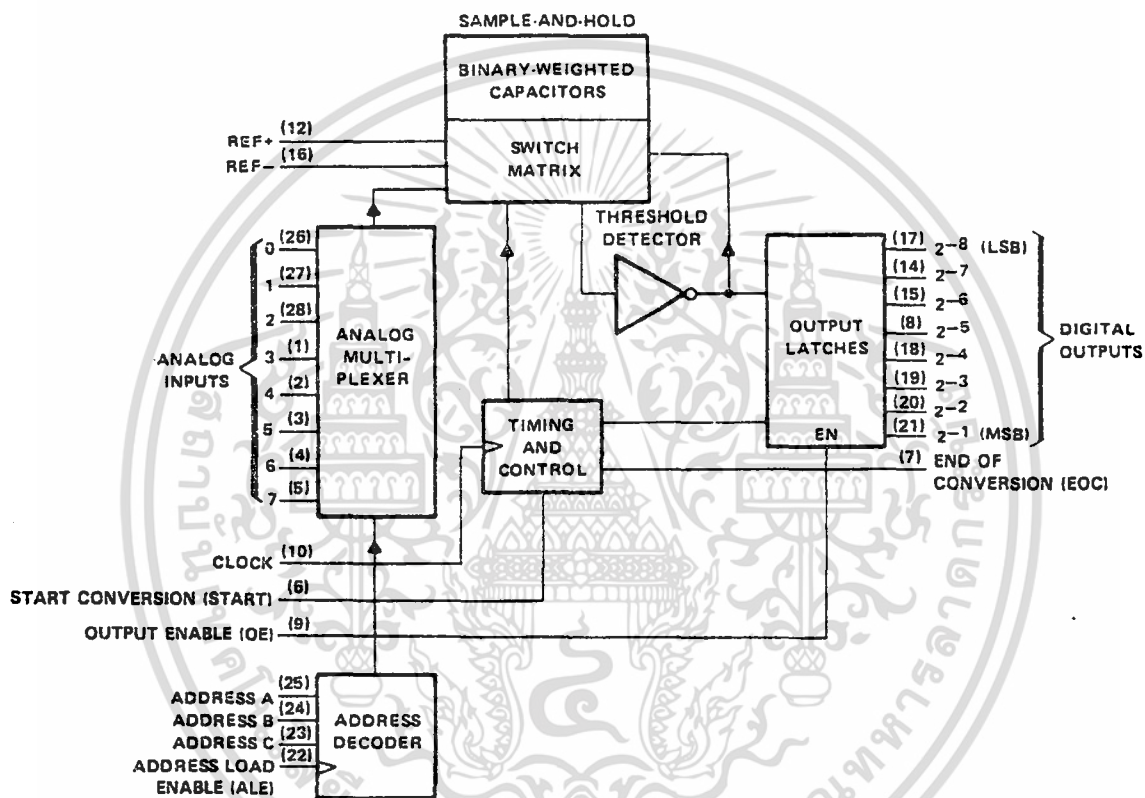
The ADC0808M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C .



Data Sheets **2**

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

functional block diagram (positive logic)



MULTIPLEXER FUNCTION TABLE

INPUTS				SELECTED ANALOG CHANNEL
ADDRESS			ADDRESS STRCBE	
C	B	A		
L	L	L	↑	0
L	L	H	↑	1
L	H	L	↑	2
L	H	H	↑	3
H	L	L	↑	4
H	L	H	↑	5
H	H	L	↑	6
H	H	H	↑	7

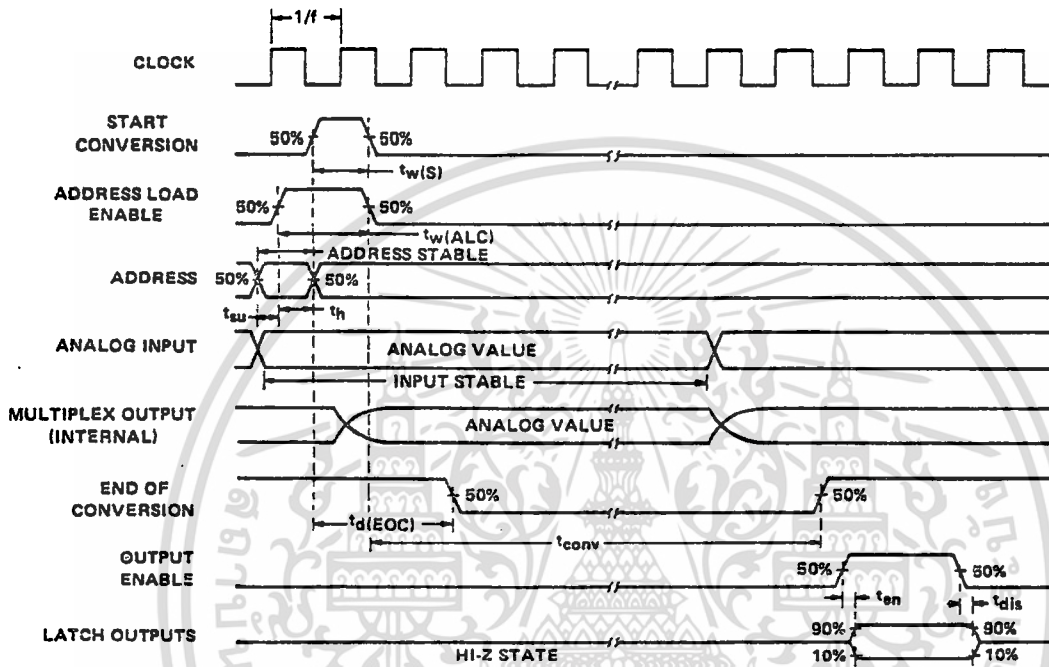
H = high level, L = low level
 ↑ = low-to-high transition

Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

operating sequence:



2
Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

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

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range: control inputs	-0.3 to 15 V
all other inputs	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Operating free-air temperature range	-55°C to 125°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: J package	300°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	6	V
Positive reference voltage, V_{ref+} (see Note 2)		V_{CC}	$V_{CC} + 0.1$	V
Negative reference voltage, V_{ref-}		0	-0.1	V
Differential reference voltage, $V_{ref+} - V_{ref-}$		5		V
High-level input voltage, V_{IH}	$V_{CC} - 1.5$			V
Low-level input voltage, V_{IL}			1.5	V
Start pulse duration, $t_w(S)$	200			ns
Address load control pulse duration, $t_w(ALC)$	200			ns
Address setup time, t_{su}	50			ns
Address hold time, t_h	50			ns
Clock frequency, f_{clock}	10	640	1280	kHz
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	°C

NOTE 2: Care must be taken that this rating is observed even during power-up.

Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 4.5\text{ V}$ to 5.5 V (unless otherwise noted)

total device

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	$I_O = -360\ \mu\text{A}$	$V_{CC} - 0.4$			V
V_{OL}	Low-level output voltage	Data outputs			0.45	V
		End of conversion	$I_O = 1.2\ \text{mA}$		0.45	
I_{OZ}	Off-state (high-impedance-state) output current	$V_O = V_{CC}$			3	μA
		$V_O = 0$			-3	
I_I	Control input current at maximum input voltage	$V_I = 15\ \text{V}$			1	μA
I_{IL}	Low-level control input current	$V_I = 0$			-1	μA
I_{CC}	Supply current	$f_{\text{clock}} = 640\ \text{kHz}$		0.3	3	mA
C_i	Input capacitance, control inputs	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10		pF
C_o	Output capacitance, data outputs	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10		pF
	Resistance from pin 12 to pin 16			1000		k Ω

analog multiplexer

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
I_{on}	Channel on-state current (see Note 3)	$V_I = V_{CC}$,	$f_{\text{clock}} = 640\ \text{kHz}$			2	μA
		$V_I = 0$,	$f_{\text{clock}} = 640\ \text{kHz}$			-2	
I_{off}	Channel off-state current	$V_{CC} = 5\ \text{V}$,	$V_I = 5\ \text{V}$		10	200	nA
		$T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_I = 0$		-10	-200	
		$V_{CC} = 5\ \text{V}$	$V_I = 5\ \text{V}$			1	μA
	$V_I = 0$			-1			

† Typical values are at $V_{CC} = 5\ \text{V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 3: Channel on-state current is primarily due to the bias current into or out of the threshold detector, and it varies directly with clock frequency.

timing characteristics, $V_{CC} = V_{\text{ref}+} = 5\ \text{V}$, $V_{\text{ref}-} = 0\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_{clock}	Clock frequency		10	640	1280	kHz
t_{conv}	Conversion time	See Notes 4 and 5 and Figure 1	90	100	116	μs
t_{enH}	Enable time, high	See Figure 1		150	360	ns
t_{enL}	Enable time, low	See Figure 1		90	250	ns
t_{dis}	Output disable time	See Figure 1		200	405	ns
$t_{w(s)}$	Pulse duration, START		200			ns
$t_{w(\text{ALE})}$	Pulse duration, ALE		200			ns
t_{su}	Setup time, ADDRESS		50			ns
t_{h}	Hold time, ADDRESS		50			ns
$t_{\text{d(EOC)}}$	Delay time, EOC	See Notes 4 and 6 and Figure 1	0		14.5	μs

NOTES: 4. Refer to the operating sequence diagram.

5. For clock frequencies other than 640 kHz, t_{conv} is 57 clock cycles minimum and 74 clock cycles maximum.

6. For clock frequencies other than 640 kHz, $t_{\text{d(EOC)}}$ maximum is 8 clock cycles plus 2 μs .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

operating characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = V_{ref+} = 5\text{ V}$, $V_{ref-} = 0\text{ V}$, $f_{clock} = 640\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
ksvs	Supply voltage sensitivity	$V_{CC} = V_{ref+} = 4.5\text{ V to } 5.5\text{ V}$, $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$. See Note 7		± 0.05		%/V
	Linearity error (see Note 8)			± 0.25		LSB
	Zero error (see Note 9)			± 0.25		LSB
	Total unadjusted error (see Note 10)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 0.25	± 0.5	LSB
		$T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$			± 0.75	

† Typical values for all except supply voltage sensitivity are at $V_{CC} = 5\text{ V}$, and all are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTES: 7. Supply voltage sensitivity relates to the ability of an analog-to-digital converter to maintain accuracy as the supply voltage varies. The supply and V_{ref+} are varied together and the change in accuracy is measured with respect to full-scale.

8. Linearity error is the maximum deviation from a straight line through the end points of the A/D transfer characteristic.

9. Zero error is the difference between 00000000 and the converted output for zero input voltage; full-scale error is the difference between 11111111 and the converted output for full-scale input voltage.

10. Total unadjusted error is the maximum sum of linearity error, zero error, and full-scale error.

2 Data Sheets

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

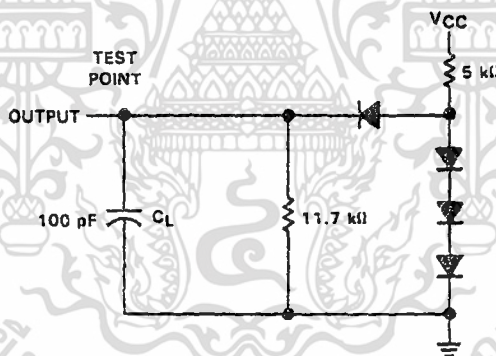


FIGURE 1. TEST CIRCUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

PRINCIPLES OF OPERATION

The ADC0808M consists of an analog signal multiplexer, an 8-bit successive-approximation converter, and related control and output circuitry.

multiplexer

The analog multiplexer selects 1 of 8 single-ended input channels as determined by the address decoder. Address load control loads the address code into the decoder on a low-to-high transition. The output latch is reset by the positive-going edge of the start pulse. Sampling also starts with the positive-going edge of the start pulse and lasts for 32 clock periods. The conversion process may be interrupted by a new start pulse before the end of 64 clock periods. The previous data will be lost if a new start of conversion occurs before the 64th clock pulse. Continuous conversion may be accomplished by connecting the End-of-Conversion output to the start input. If used in this mode an external pulse should be applied after power up to assure start up.

converter

The CMOS threshold detector in the successive-approximation conversion system determines each bit by examining the charge on a series of binary-weighted capacitors (Figure 2). In the first phase of the conversion process, the analog input is sampled by closing switch S_C and all S_T switches, and by simultaneously charging all the capacitors to the input voltage.

In the next phase of the conversion process, all S_T and S_C switches are opened and the threshold detector begins identifying bits by identifying the charge (voltage) on each capacitor relative to the reference voltage. In the switching sequence, all eight capacitors are examined separately until all 8 bits are identified, and then the charge-convert sequence is repeated. In the first step of the conversion phase, the threshold detector looks at the first capacitor (weight = 128). Node 128 of this capacitor is switched to the reference voltage, and the equivalent nodes of all the other capacitors on the ladder are switched to REF-. If the voltage at the summing node is greater than the trip-point of the threshold detector (approximately one-half the VCC voltage), a bit is placed in the output register, and the 128-weight capacitor is switched to REF-. If the voltage at the summing node is less than the trip point of the threshold detector, this 128-weight capacitor remains connected to REF+ through the remainder of the capacitor-sampling (bit-counting) process. The process is repeated for the 64-weight capacitor, the 32-weight capacitor, and so forth down the line, until all bits are counted.

With each step of the capacitor-sampling process, the initial charge is redistributed among the capacitors. The conversion process is successive approximation, but relies on charge redistribution rather than a successive-approximation register (and reference DAC) to count and weigh the bits from MSB to LSB.

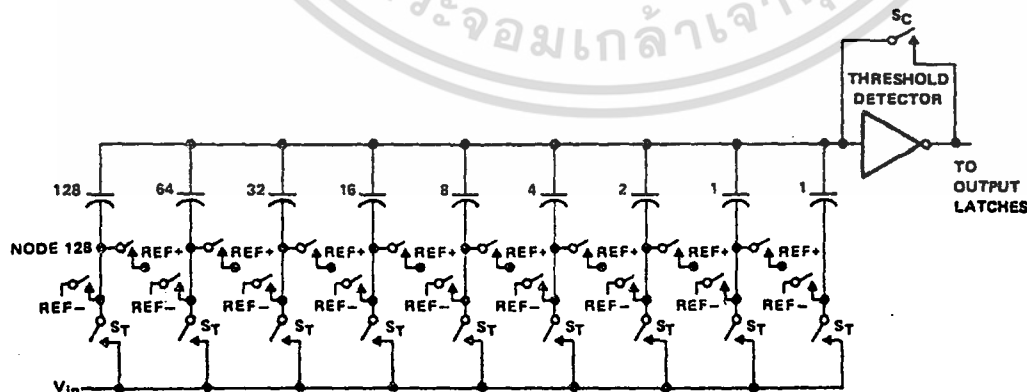


FIGURE 2. SIMPLIFIED MODEL OF THE SUCCESSIVE-APPROXIMATION SYSTEM

เอกสารอ้างอิง

1. ธานีพันธ์ ถาวรศาสนวงศ์ , ทินกร ดูก, “การอินเทอร์เฟส IBM/PC”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์, กรุงเทพมหานคร.
2. ยืน ภู่วรรณ , “ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 1-3”, นำอักษรการพิมพ์, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2521.
3. กลุ่ม CNS , “ออป แอมป์”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์, กรุงเทพมหานคร.
4. ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , “เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ 2”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน), กรุงเทพมหานคร.
5. คณะผู้จัดทำ แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์, “เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ 1”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน), กรุงเทพมหานคร.
6. คณะผู้จัดทำ แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์, “ออกแบบเครื่องจ่ายไฟ”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน), กรุงเทพมหานคร.
7. ผศ. สมยศ จุณณะปิยะ , “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51”, ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2537
8. ธนัท ชัยยุทธ, “คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษาซี C++”, สำนักพิมพ์ โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2539
9. อ. ยงยศ เข้มพวง, “การเขียนโปรแกรมกราฟฟิกด้วยภาษาซี C”, โรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี ห้วยขวาง, กรุงเทพมหานคร.
10. Millman , J.M. , “Microelectronics”, McGraw-Hill , N.Y. , 1979.
11. Robert Boylestad , Louis Nashelsky , “Electronic device and circuit theory”, Prentice-Hall , Inc., Englewood Cliffs , N.J., U.S.A. , 1989

ประวัติผู้จัดทำโครงการพิเศษ

นายปริญญา ทิพย์ชาติ เกิดเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2518 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล จ. ชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล จ. ชัยภูมิ จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2540

นายพรอนันต์ มีศรี เกิดเมื่อวันที่ 13 มกราคม 2519 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสตรีมารดาพิทักษ์ จ.จันทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จ.จันทบุรี จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้