

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



เครื่องให้อาหารและเครื่องควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลา

นาย ประวิทย์ หัตถโชติ  
นางสาว ปัทม์รัตน์ แก้วทิพย์เนตร

ร/พ.  
๒/๓๗๘ ค  
เลขหมู่..... 25๓๖  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

61253271X

AUTOMATIC FISH FEEDER AND TEMPERATURE CONTROLER

Mr. Prawit Hattachote

Miss Panchanat Kaewtipanet

A SPECIAL PROJECT IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1994

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องให้อาหารและเครื่องควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลา
โดย	นาย ประวิทย์ หัตถโชติ นางสาว ปัญญ์ชนันต์ แก้วทิพย์เนตร
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาสัตตา ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย ชูโชติ
ปีการศึกษา	2536

#### บทคัดย่อ

ในโครงงานพิเศษนี้ได้สร้างเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ และควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z84C11 เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิและตั้งเวลาปล่อยอาหาร โดยในส่วนของอุณหภูมินั้นเราใช้ LM 335 เป็นตัววัดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถวัดได้ 0 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส แต่ในโครงงานพิเศษนี้ ใช้วัดอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาในช่วง 26 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส เท่านั้น ส่วนที่ปล่อยอาหารนั้น จะใช้ IC เบอร์ MSM6242B เป็นตัวกำเนิดฐานเวลาจริง โดย Z84C11 เป็นตัวควบคุมการตั้งเวลาในการปล่อยอาหาร โดยใช้ โซลินอยด์เบรก

Special Project Title      Automatic Fish Feeder and Temperature Controller  
Name                              Mr. Prawit Hattachote  
   Miss Panchanat Kaewtipanet  
Special Project Adviser      Dr. Warawoot Thowladda  
   Dr. Sakchai Chuchote  
Department                      Applied Physics  
Academic Year                  1993

#### Abstract

This special project was to invent the equipment for automatic fish feeder and fish pond temperature controller. Z84C11 Microprocessor was used as the work controller of these two parts. The main program was water-temperature controller which kept the temperature between 23-30° C. LM335 Ic temperature sensors was also used as a temperature detector.

The automatic fish feeder was to interrupt the main program by controlling the backward pull of solenoid break when food was released. The food release done by pressing the key board was 5 times a day according to the set time. The MSM 6242B also employed as a real time clock.

### กิติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ดีก็เพราะได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่ง

คุณพ่อ คุณแม่ คุณพี่สาว ที่ให้กำลังใจและให้ความอุปการะให้ได้รับการศึกษาจนถึง  
ชั้นอุดมศึกษา

อาจารย์วราวุฒิ เถาลัดดา ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อมูลต่าง ๆ ในการทำโครงการ

อาจารย์ศักดิ์ชัย ชูโชติ ให้คำแนะนำและให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองรวมทั้งเอื้อเพื่อ

สถานที่ทดลอง

อาจารย์ปรีชา ยุพานิน ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องคอมพิวเตอร์

คุณสำราญ กุระ ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทดลองเก็บข้อมูล

คุณธวัชชัย ขาวประเสริฐ ช่วยอำนวยความสะดวก และ อนุเคราะห์เรื่องนี้

คุณบุญชัย พจนาสมสมาน

คุณนิพนธ์ จันตรี ช่วยเหลือเรื่องโปรแกรม

คุณชินวัฒน์ ทรัพย์จรัสแสง

คุณอรรรณพร กุลธรรมโยธิน ช่วยพาไปหาซื้ออุปกรณ์

คุณชาญวิทย์ เดชะดวง ให้นำข้อมูลในการเลือกใช้อุปกรณ์

คุณสุวรรณ ลิขิตวัฒนารักษ์ ช่วยตัดเหล็ก และ เชื่อม

คุณภัทริยา ฐาปนพาหะ คุณอัมพร โชคชัยตระกูลโน้ต คุณสุภัทศา ผาสุข

คุณพงษ์พันธ์ ศรีจิตติ คุณธิปไตย ดัณฑ์ประพันธ์ ตลอดจน เพื่อน ๆ ทุกท่านที่ช่วยเหลือ

ในทุกกรณี

พี่ ๆ ปริญญาโท ที่มีน้ำใจดีงาม

คณะกรรมการทุกท่าน

และทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายประวิทย์ หัตถโชติ

นางสาวปณัญชนันต์ แก้วทิพย์เนตร

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีของน้ำ ตัวทำความร้อนและตัวตรวจวัดอุณหภูมิ	2
2.1 ธรรมชาติของน้ำ	2
2.1.1 กฎธรรมชาติของการไหลเวียนของน้ำ	2
2.1.2 กระบวนการถ่ายเทความร้อน	2
2.1.3 วิธีการให้ความร้อนแก่น้ำ	4
2.2 เครื่องทำน้ำร้อน	4
2.2.1 เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า	5
2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ	6
2.3.1 LM395 IC Temperature Sensors	6
บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Z84C11 PLUS และ LCD	11
3.1 ข้อมูลจำเพาะของ ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Z84C11 PLUS	11
3.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)	11
3.1.2 หน่วยความจำ (Memory : RAM/EPROM)	11
3.1.3 พอร์ต (port)	12
3.1.4 ระบบบัส	14
3.1.5 Counter/Time Control (CTC)	14
3.1.6 Watch Dog Timer Output (WDTOUT)	15
3.1.7 Connector LCD	17

	หน้า
3.2 LCD MODULE	17
3.2.1 ความเข้าใจพื้นฐาน	17
3.2.2 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง	18
3.2.3 การอ่านและเขียนข้อมูลกับ (DDRAM/CGRAM)	23
3.2.4 การไหลต่ออักษรที่ออกแบบเอง	24
บทที่ 4 วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล	25
4.1 วงจรเอทดีแบบต่าง ๆ	25
4.1.1 การใช้วงจรเปรียบเทียบแบบขนานหรือแบบ "แฟลช"	25
4.1.2 วิธีธรรมดาหรือวิธีแลมบ์	26
4.1.3 วิธีต่อเนื่อง	27
4.1.4 วิธีประมาณทีละบิต	28
4.1.5 แบบสไลด์คอนทิเกรชัน	29
4.2 ICL7109	30
4.2.1 ส่วนอนาลอก	32
4.2.2 ส่วนดิจิตอล	33
บทที่ 5 สวิตช์และอุปกรณ์ทางแสง	38
5.1 อุปกรณ์ทางแสง (OPTO ELECTRONIC DEVICES)	38
5.1.1 ไดโอดเปล่งแสง (Photo Diode)	38
5.1.2 ตัวรับแสง (Photodetector)	38
5.1.3 ออปโตคัปเปอเรอร์ (Opto Coupler)	39
5.2 อุปกรณ์สร้างสัญญาณทริกเกอร์	39
5.2.1 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)	39
5.2.2 ไดนาค (Diac)	41
5.2.3 ไทริสเตอร์ (Thyristor)	42

	หน้า
บทที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	47
6.1 ส่วนควบคุมการทำงาน	47
6.2 เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	47
6.3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ	49
บทที่ 7 การทดลองและการใช้งาน	52
7.1 เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	52
7.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ	54
7.2.1 การเก็บข้อมูลที่เอาต์พุตของ LM335	55
7.2.2 การเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ	60
บทที่ 8 สรุปผลและวิจารณ์	65
8.1 สรุปผล	65
8.1.1 เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ	65
8.1.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ	65
8.2 ข้อเสนอแนะ	66
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
เอกสารอ้างอิง	
ประวัติผู้เขียน	

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางการเกษตรในด้านการประมงของประเทศไทย ได้มีการพัฒนาไปอย่างมากมายเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพที่ดีที่สุด แต่ก็ยังมีปัญหาอีกมากมายที่กำลังทำการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหานั้น เช่น ปัญหาด้านแรงงานสำหรับให้อาหารปลาในแต่ละวัน เนื่องจากในระยะเวลา 1 วัน ปลาจะกินอาหาร 4-5 ครั้ง ตั้งแต่เช้ามิดจนถึงช่วงดึก หรือปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิของน้ำในฤดูหนาวที่เย็นเกินไปสำหรับการเจริญเติบโตตลอดจนการผสมพันธุ์และการวางไข่ของพ่อแม่พันธุ์ปลา

ปัญหาทั้งสองที่ได้ยกขึ้นมาี้ ภาควิชาการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำการวิจัยอยู่ และได้ขอความร่วมมือมายังภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ในด้านเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย นั่นคือสาเหตุที่ทำให้เกิดโครงการพิเศษขึ้นนี้ขึ้นมา

โครงการพิเศษนี้โดยหลักแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ และส่วนของเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำซึ่งแต่ละส่วนก็จะมีส่วนประกอบย่อย ๆ ลงไปอีก แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นตัวควบคุมการทำงานของทั้ง 2 ส่วนคือตัวเดียวกันเพื่อความประหยัดในด้านค่าใช้จ่าย โครงการพิเศษนี้ใช้ ไมโครโปรเซสเซอร์ Z84C11 เป็นตัวควบคุมการทำงาน ในส่วนของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ใช้โซลินอยด์เบรกเป็นลิ้นเปิดปิดช่องปล่อยอาหาร ซึ่งส่วนนี้สามารถใช้แทนแรงงานคนได้อย่างดี ส่วนของเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำจะมีความละเอียดถึง 0.1 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาได้

ขอบเขตของโครงการนี้ ในส่วนของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติจะปล่อยอาหารตั้งแต่เวลา 05.00 น. จนถึงเวลา 22.00 น. ของแต่ละวัน โดยแบ่งช่วงของการปล่อยอาหารเป็น 5 ครั้ง ครั้งละ 200 กรัม ซึ่งเวลาในการปล่อยแต่ละครั้งสามารถเช็คค่าได้จากการกดคีย์บอร์ด และมีการแสดงค่าเวลาโดย LCD ในส่วนของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ จะควบคุมอุณหภูมิของน้ำในปริมาตรประมาณ 2 ตันให้อยู่ในช่วง 27 - 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลา

## บทที่ 2

### ทฤษฎีของน้ำ ตัวทำความร้อนและตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

#### 2.1 ธรรมชาติของน้ำ

คุณสมบัติหนึ่งของน้ำ คือ มีน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำมีน้ำหนักเบากว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูงมีน้ำหนักหนักกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิปานกลาง น้ำยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ อีกดังจะกล่าวต่อไปนี้

##### 2.1.1 กฎธรรมชาติของการไหลเวียนของน้ำ

การไหลเวียนของน้ำในระบบ จะเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ และมีข้อสังเกตดังนี้ คือ

- 1 น้ำร้อนจะเบากว่าน้ำเย็น และมีพฤติกรรมโน้มเอียงในทางลอยขึ้น
- 2 อากาศจะถูกขับออกจากน้ำเมื่อน้ำร้อนขึ้น

##### 2.1.2 กระบวนการถ่ายเทความร้อน

กระบวนการถ่ายเทความร้อน เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายถ่ายเท และเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนซึ่งอยู่ในกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ที่ว่าพลังงานต่าง ๆ ไม่ถูกสร้างขึ้น หรือถูกทำลายได้ แต่สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งของพลังงานไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ และกฎข้อที่สองกล่าวว่า ไม่มีกระบวนการใดที่จะเคลื่อนย้ายถ่ายเทพลังงานจากที่อุณหภูมิต่ำกว่าไปสู่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าได้

ความร้อนหรือพลังงานความร้อนจะเคลื่อนย้ายถ่ายเทได้ 3 วิธีการด้วยกันดังนี้ คือ

1. การนำ (Conduction)
2. การพา (Convection)
3. การแผ่กระจาย (Radiation)

ในระบบน้ำร้อน อุปกรณ์น้ำร้อน จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เฉพาะ แต่จะรวม ๆ กันหลาย ๆ วิธี และต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ต้องการด้วยการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในตัวกลาง (ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ) หรือวัตถุเดียวกัน หรือระหว่างตัวกลางที่แตกต่างกัน แต่อยู่หรือสัมผัสกันโดยตรง การเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ พลังงานภายในวัตถุจะถ่ายเท หรือเคลื่อนย้ายด้วยการติดต่อจากโมเลกุลถึงโมเลกุล จากส่วนที่ร้อนที่สุดไปยังส่วนที่เย็นที่สุดและปราศจากการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลของวัตถุนั้น ๆ

การถ่ายเทความร้อนโดยการพา เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อน ระหว่างผิววัตถุ ของแข็งกับของเหลวหรือก๊าซ กระบวนการถ่ายเทความร้อนเป็นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง วัตถุเพียงอย่างเดียวแต่มีองค์ประกอบอื่น ๆ อีก ที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพา เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลวหรือก๊าซ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนวิธีนี้ก็ให้ผลเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีอื่น ๆ คือ มีการเคลื่อนย้าย พลังงานเกิดขึ้น และเคลื่อนย้ายไปตามอุณหภูมิที่ลดต่ำลง (Temperature gradient) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพาเป็นกระบวนการที่สำคัญมาก เพราะความร้อนถูกนำไปด้วยพลังงาน สละสลม และเคลื่อนย้ายด้วยวิธีการต่าง ๆ ปนกันไป

การพาความร้อนจึงอาจแบ่งได้เป็นประเภทย่อย ตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1. การพาความร้อนโดยธรรมชาติ และ การพาความร้อนโดยการบังคับ
2. การพาความร้อนโดยวิธีการเคลื่อนไหลแบบราบเรียบและการพาความร้อนด้วยการเคลื่อนไหลแบบปั่นป่วน
3. การพาความร้อนแบบสม่ำเสมอ และ การพาความร้อนแบบไม่สม่ำเสมอ
4. การพาความร้อนตามลักษณะสัณฐานภายนอก
5. การพาความร้อนตามจำนวนมิติที่เกิดการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่กระจาย เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนจากวัตถุ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่วัตถุนั้นอยู่ห่างจากกัน และแม้ว่าระยะห่างนั้นจะเป็นแบบบริเวณสุญญากาศก็ตาม

### 2.1.3 วิธีการให้ความร้อนแก่ น้ำ

การแผ่ความร้อนโดยทั่วไป หมายถึง กระบวนการถ่ายเทหรือส่งความร้อนแก่ น้ำ วิธีให้ความร้อนแก่ น้ำ (Water Heating Methods) แบ่งออกได้ดังนี้

2.1.3.1 วิธีให้ความร้อนน้ำโดยตรง เป็นการทำให้ น้ำสัมผัสกับผิวโลหะที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรือโดยการสัมผัสกับผิวอุปกรณ์ให้ความร้อนใช้ไฟฟ้า หรือตัวให้ความร้อนแบบจุ่ม หากผิวของโลหะมีอุณหภูมิสูงจะทำให้ น้ำที่สัมผัสอยู่มีอุณหภูมิสูงด้วย

2.1.3.2 วิธีให้ความร้อนน้ำโดยอ้อม น้ำจะร้อนด้วยการสัมผัสกับคอยล์ท่อทองแดง ซึ่งมีน้ำร้อนหรือไอน้ำอุณหภูมิสูงไหลผ่านท่อทองแดงจะถ่ายเทความร้อนให้ แก่ น้ำในระบบจ่ายน้ำร้อน วิธีการนี้อุณหภูมิ น้ำที่ได้จะต่ำกว่าวิธีการสัมผัสโดยตรง

## 2.2 เครื่องทำน้ำร้อน

เครื่องทำน้ำร้อนที่มีใช้กันอยู่ ในปัจจุบันสามารถแยกออกได้ตามชนิดของพลังงานที่ใช้ แบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

1. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
2. เครื่องทำน้ำร้อนใช้ก๊าซ
3. เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า

นอกจากจะแบ่งตามชนิดพลังงานที่ใช้แล้ว เครื่องทำน้ำร้อนยังแบ่งออกได้ตามลักษณะการให้ความร้อนทั้งแบบให้ความร้อนโดยตรงกับโดยอ้อม และมีลักษณะการให้ความร้อนดังนี้ คือ

1. เครื่องทำน้ำร้อนชนิดหม้อต้ม เครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้ต้องใช้เวลา ในการต้ม น้ำร้อนชั่วขณะหนึ่ง น้ำจะไม่ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการทันที ดังนั้นการเลือกใช้ต้องมิถุ่เก็บน้ำร้อนเสมอ

2. เครื่องทำน้ำร้อนชนิดน้ำผ่าน เครื่องทำน้ำร้อนชนิดน้ำผ่านจะปล่อยให้น้ำเย็นไหลผ่านแล้วร้อนทันที ส่วนชนิดหม้อต้มต้องมิถุ่เก็บน้ำร้อนอีกทีหนึ่ง น้ำร้อนจะได้รับความร้อนจากคอยล์ร้อนในหม้อต้ม แล้วไหลเวียนเข้าไปยัง ถังเก็บน้ำร้อน

### 2.2.1 เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า

เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ ชนิดหม้อต้ม และชนิดน้ำผ่าน สำหรับโครงการพิเศษนี้เลือกใช้เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้านชนิดน้ำผ่าน หรือเรียกอีกอย่างได้ว่าตัวทำความร้อนแบบจุ่มเครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้าเป็นเครื่องที่สะอาด ไม่มีปล่องระบายควันจากการเผาไหม้พลังงานทาง่าย สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายต่ำ ไม่เปลืองสถานที่ติดตั้ง และมีประสิทธิภาพสูงถึง 85-95%

2.2.1.1 หลักการทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเป็นพลังงานอีกชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ทำน้ำร้อนกันมาก น้ำจะร้อนเมื่อปล่อยกระแสไฟผ่านขดลวดความต้านทานที่จุ่มอยู่

เมื่อ  $I$  เป็นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ขดลวดความต้านทานด้วยปริมาณแอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนด้วย  $U$  ปริมาณโวลต์เตจและใช้สำหรับเครื่องทำน้ำร้อน 220 โวลต์ กำลังไฟฟ้า  $N$  วัตต์ ดังนั้น

$$N = U \times I$$

$$\text{วัตต์} = \text{โวลต์} \times \text{แอมแปร์}$$

ตัวอย่าง ถ้าเครื่องทำน้ำร้อนใช้กระแส 10 แอมแปร์ และแรงเคลื่อน 220 โวลต์

$$N = 220 \times 10 = 2.2 \text{ กิโลวัตต์}$$

กำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในเวลา 1 ชั่วโมง กระแส 1 วัตต์ ทำให้เกิดความร้อน 0.24 แคลอรี ในเวลา 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ ใน 1 ชั่วโมง จะให้

$$\text{ปริมาณความร้อน (kWh)} = 0.24 \times 3,600 \text{ กิโลแคลอรี}$$

หากเปลี่ยนเป็นหน่วยเอสไอ จะได้ค่าปริมาณความร้อน หรือ

$$\begin{aligned} \text{พลังงานความร้อน 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง} &= 1,000 \times 3,600 \times W \times S \\ &= 3,600,000 \text{ J/S} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad 1 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง} = 3,600 \text{ กิโลจูลต่อชั่วโมง}$$

และปริมาณความร้อน 4.186 กิโลจูล ทำให้น้ำ 1 ลิตร (1 กก) มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากกำลัง 1 กิโลวัตต์ ปล่อยไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้น้ำปริมาณ 3,600 กิโลจูลต่อชั่วโมง / 4.186 กิโลจูลต่อชั่วโมง = 860 ลิตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงหรือถ้าต้องการให้น้ำมีอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง น้ำจะมีปริมาณเท่ากับ  $860/55 = 15.6$  ลิตร

## 2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมินั้นต้องใช้ตัวตรวจวัดที่เหมาะสมมีความเที่ยงตรงสูง มีวิธีการอยู่หลายวิธีในการวัดอุณหภูมิ แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. **Thermistor** เป็นหัววัดอุณหภูมิที่เป็นสารกึ่งตัวนำ เป็นตัวต้านทานที่แปรผันกับอุณหภูมิ เป็นหัววัดที่มีค่า sensitivity สูง แต่จะไม่มีความเป็นเชิงเส้นเลข

2. **Resistance Temperature Detector (RTD)** เป็นหัววัดอุณหภูมิอีกชนิดหนึ่งทำมาจากโลหะและเป็นตัวต้านทานที่แปรผันตรงกับอุณหภูมิเป็นหัววัดที่มี sensitivity ต่ำ แต่จะตอบสนองอย่าง เป็นเชิงเส้นได้ในช่วงกว้างโลหะที่นิยมใช้คือ Platinum

3. **Thermocouple** เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มี 2 ขา เป็นโลหะหรืออัลลอย (Alloy) ที่ไม่เหมือนกัน 2 ชนิด นำมาเชื่อมเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่ง เป็นหัววัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการของ Seebeck Effect โดยอุณหภูมิที่วัดได้จะหาจากค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากปรากฏการณ์นี้

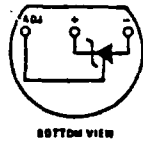
4. **IC Temperature Sensors** เป็นหัววัดอุณหภูมิที่ได้เลือกใช้ในโครงการพิเศษนี้ โดยใช้ไอซีเบอร์ LM 335 ของ National Semiconductor ซึ่งเป็นไอซี Temperature Sensors ที่ให้เอาท์พุทเป็นแรงดันจะทำงานเหมือนเป็น Two Terminal Zener Diode และมี Breakdown voltage เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิมิ sensitivity เท่ากับ  $+10 \text{ mV/K}$  สามารถวัดได้ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ยังมีตัวตรวจวัดอุณหภูมิอีกหลายชนิด เช่น การใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทหรือเทอร์โมมิเตอร์แบบหน้าปัดกลม ที่ใช้หลักการการขยายตัวของโลหะต่างชนิดกันมาชดให้ เป็นรูปกันหอยวิธีนี้ สามารถใช้ได้สะดวกเหมาะสำหรับแขวนตามผนังแต่ก็มีข้อจำกัดทางด้านความเที่ยงตรงอยู่มาก ส่วนเทอร์โมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะแสดงค่าอุณหภูมิออกมาเป็นตัวเลขอย่างเที่ยงตรงแต่ก็ยังมีราคาสูงพอสมควร

### 2.3.1 LM 335 IC Temperature Sensors

ไอซีเบอร์ LM 335 เป็นวงจรรวมซึ่งใช้เป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิสำหรับ ในย่านอุณหภูมิ ตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียส โดยได้ผลผลิตออกมาอยู่ในตัวถังพลาสติกสีดำซึ่งมีลักษณะการต่อขา ดังรูปที่ 5.1(ก) และในตัวถังโลหะแบบ TO-46 ซึ่งมีลักษณะการต่อขา ดังรูปที่ 5.1(ข)

TO-92  
Plastic Package



(ก)

TO-46  
Metal Can Package\*



TL/M/5600-0

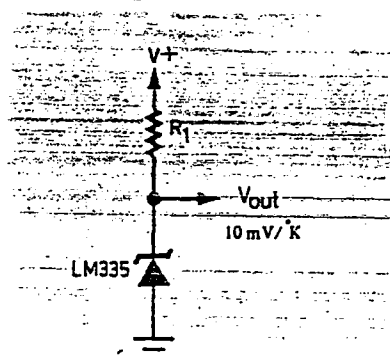
(ข)

รูปที่ 2.1 (ก) ลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM335Z ในตัวถังพลาสติกแบบ TO-92

(ข) เป็นขาของ LM 335 ในตัวถังโลหะแบบ TO - 46

LM 335 ในการทำงานโดยพื้นฐานแล้วทำงานเช่นเดียวกับซีเนอร์ไดโอดที่แสดงใน

รูปที่ 2.2 แรงดันพังทลายซึ่งหมายถึงแรงดันเอาต์พุตจากวงจรนี้จะแปรโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิโวลต์ต่ออุณหภูมิสัมบูรณ์ที่เพิ่มขึ้น 1 เคลวิน



รูปที่ 2.2 วงจรพื้นฐานในการใช้งานของ LM 335

ค่าของตัวต้านทาน R ในรูปที่ 5.2 เป็นตัวกำหนดค่าของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้ แต่เนื่องจากค่าไดนามิกอิมพีแดนซ์ที่กระแส 1 มิลลิแอมป์ มีค่าโดยปกติเป็น 0.6 โอห์ม อุปกรณ์ตัวนี้จึงสามารถทำงานได้ในย่านกระแสตั้งแต่ 400 ไมโครแอมป์ จนถึง 5 มิลลิแอมป์ โดยเสมือนว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวมันเลย ข้อที่น่าสังเกต คือค่ากระแสฟอร์เวิร์ดหรือกระแสรีเวอร์สสูงสุด ซึ่งไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้อย่างปลอดภัย (เป็นในชั่วขณะ) ควรเป็น 10 มิลลิแอมป์ ถ้ากระแสสูงกว่านี้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อไอซีตัวนี้ได้

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่กระแสรีเวอร์ต 1 mA แรงดันเอาต์พุตจากวงจรในรูปที่ 4.2 จะมีค่าตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 2.98 โวลต์ (จาก  $(273+25) \times 10 \times 10^{-3}$ ) โดยมีข้อจำกัดทางด้านแรงดันต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 2.92 โวลต์ และ 3.04 โวลต์ ตามลำดับ ค่าของ  $R_L$  ที่ใช้สามารถคำนวณได้จากกระแสที่ไหลผ่านไอซีตัวนี้ = 1 มิลลิแอมป์ โดยใช้สมการ

$$R_L = (V - V_{out}) / 0.001$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟเลี้ยงวงจร

และ  $V_{out}$  คือ แรงดันเอาต์พุตของไอซีนี้

ซึ่งค่า  $R_L$  นี้จะมีค่าประมาณ (V - 3) กิโลโอห์ม

2.3.1.1 เอาต์พุตที่เป็นเชิงเส้น ประโยชน์ที่สำคัญของไอซี LM 335 นี้คือ จะให้อเอาต์พุตที่เป็นเชิงเส้นซึ่งไม่เหมือนกับเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับอุณหภูมิส่วนใหญ่การต่อขาสำหรับปรับแต่งความถูกต้อง โดยการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เพียงตัวเดียวคร่อม LM 335 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในการใช้งานให้ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้อเอาต์พุตเป็น 2.982 โวลต์ เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น ตลอดย่านอุณหภูมิใช้งาน

การปรับความถูกต้องของอุณหภูมิเพียงครั้งเดียว จะให้ความถูกต้องตลอดย่านอุณหภูมิที่ใช้งานนั้นก็เนื่องมาจากเอาต์พุตจะแปรผันโดยตรงอย่างเที่ยงตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยเอาต์พุตจะลดลงเป็นศูนย์โวลต์ที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ดังนั้นการปรับค่าความลาดชันที่อุณหภูมิค่าหนึ่งให้ถูกต้องจะทำให้เกิดความถูกต้องตลอดย่านอุณหภูมิ ซึ่งการปรับค่าความถูกต้องจะทำได้ง่ายกว่าวงอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น เทอร์โมคัปเปิล เป็นต้น



ในอากาศ อุปกรณ์ตัวนี้ต้องใช้เวลาประมาณ 3 นาที ที่จะมีค่าอุณหภูมิถึงอุณหภูมิถึงอุณหภูมิสุดท้าย หลังจากที่อุณหภูมิได้เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ค่าคงที่ของเวลาจะมีค่าตาม ที่ออกแบบไว้เท่ากับ 80 วินาที ในน้ำมันที่กวนให้เคลื่อนที่ ค่าอุณหภูมิสุดท้ายจะถึงภายในเวลา ประมาณ 3 วินาที (ค่าคงที่ของเวลาจะเท่ากับ 1 วินาที ตามที่ออกแบบไว้) อุปกรณ์จะคงที่อยู่ ภายในช่วงอุณหภูมิ 0.2 องศา (ที่ออกแบบไว้) ตลอด 1,000 ชั่วโมง ถึงแม้ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ค่าไดนามิคโมเมนต์จะน้อยกว่า 1 โห้ม ที่ความถี่สูงกว่า 1 กิโลเฮิรทซ์ (ตามที่ออกแบบไว้) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20 ถึง 30 โห้ม ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิรทซ์

### บทที่ 3

## ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Z84C11 PLUS และ LCD

### 3.1 ข้อมูลจำเพาะของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Z84C11 PLUS

#### 3.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

บอร์ด Z84C11 PLUS เป็นบอร์ดที่พัฒนามาจากบอร์ด Z84C11 โดยเพิ่มส่วนของวงจร Real Time Clock (RTC) เข้าไปซึ่ง Z84C11 เป็นของบริษัท ZILOG โดยเป็น High Speed Operation โดยมีให้เลือก 2 รุ่น คือ

1. ทำงานที่ความถี่ 6 MHz
2. ทำงานที่ความถี่ 10 MHz

ในโครงการนี้ให้เราใช้ CPU รุ่น 10 MHz ซึ่งเป็นแบบ CMOS ทำให้กินกระแสต่ำมาก ในขณะที่เราตั้งให้อยู่ใน STOP MODE จะกินกระแสเพียง 50  $\mu$ A ข้อดีอย่างหนึ่งของ CPU ชนิดนี้คือ ถึงแม้ว่าจะทำงานที่ความถี่ 10 MHz แต่เราสามารถตั้งให้ทำงานที่ความถี่ 5MHz ได้ในกรณีที่ใช้ RAM หรือ ROM ที่มีเวลาเข้าหาข้อมูลต่ำ ๆ โดยเมื่อเปิดสวิตช์แล้ว CPU จะทำงานที่ความถี่ 5 MHz เท่านั้นตอนเริ่มต้น และเมื่อเราต้องการให้ทำงานที่ความถี่ 10 MHz ก็สามารถตั้งได้ด้วยโปรแกรม

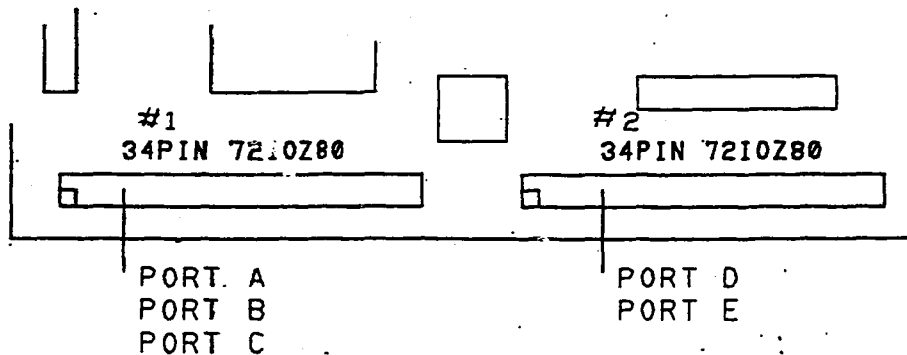
#### 3.1.2 หน่วยความจำ (Memory: RAM/EPROM)

Z84C11 สามารถอ้างอิงหน่วยความจำได้สูงสุด 64 Kb โดยแบ่งเป็น EPROM สามารถใส่ EPROM ขนาด 32 Kb ได้ โดยเป็นเบอร์ 27256 มี หน่วยความจำเริ่มแอดเดรส จาก 0000H ถึง 7FFFH

RAM สามารถใส่ RAM ขนาด 8-32 Kb ได้โดยเป็นเบอร์ 6264 หรือ 62256 มีหน่วยความจำเริ่มจากแอดเดรส 8000H ถึง FFFFH โดยที่หน่วยความจำ RAM นี้ เราสามารถที่จะต่อแบตเตอรี่ 3.6 โวลต์ ใช้สำรองข้อมูลของหน่วยความจำชนิดนี้ได้

### 3.1.3 พอร์ต (PORT)

Z84C11 จะมีพอร์ตใช้งาน 40 บิต I/O หรือ 5 พอร์ต ด้วยกันโดย 5 พอร์ต นี้จะเป็นพอร์ตภายใน CPU โดยมีตำแหน่งออกมาดังรูปที่ 3.1



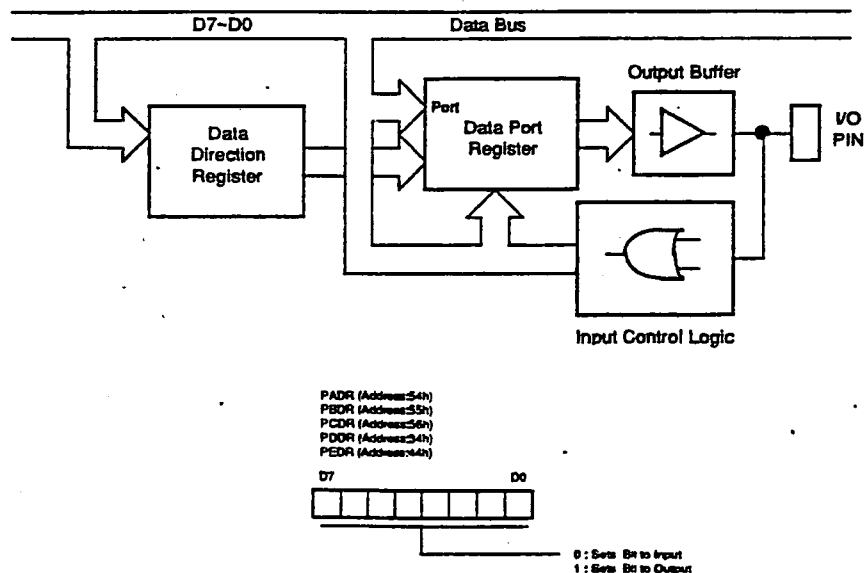
รูปที่ 3.1 แสดงพอร์ต

พอร์ตที่ต่อออกมานี้จะมีแอดเดรสต่าง ๆ กัน

Channel Port	Address Port
Port A Data Port	50H
Port B Data Port	51H
Port C Data Port	52H
Port D Data Port	30H
Port E Data Port	40H

Channel Control Port	Address Port
Port A Data Direction Register	54H
Port B Data Direction Register	55H
Port C Data Direction Register	56H
Port D Data Direction Register	34H
Port E Data Direction Register	44H

เราสามารถสั่งให้พอร์ตเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยอิสระบิตต่อบิต โดยถ้าเราตั้งค่า  
 ออกที่ Port Data Direction Register ถ้าให้บิตใดบิตหนึ่งเป็น "1" คือให้ Port Data  
 นั้นเป็นเอาต์พุตพอร์ต ถ้าให้บิตใดบิตหนึ่งเป็น "0" คือให้ Port Data นั้นเป็นอินพุตพอร์ต  
 ดังในรูปที่ 3.2



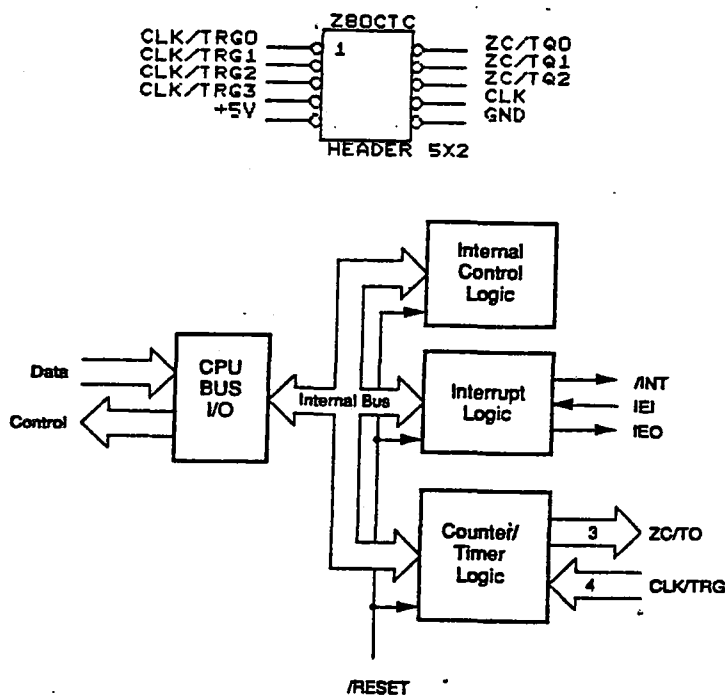
รูปที่ 3.2 แสดง Port Direction Register

### 3.1.4 ระบบบัล

มีส่วนขยายระบบได้ทาง Z80 บัล โดยมีลักษณะขาเหมือนกับ CPU Z80 40 ขาทำให้เราสามารถต่อขยายบอร์ดได้อีก เช่น ต่อขยายพอร์ต 8255 เป็นต้น มีข้อพิเศษคือเนื่องจาก CPU แบบนี้มีส่วนของวงจร Power On Reset อยู่ในตัวแล้วไม่จำเป็นต้องเพิ่มวงจรส่วนนี้เข้ามาฉะนั้นถ้าเรานำไปต่อกับร่วมกับ Z80 บัลอื่น ๆ ที่มีตัวต้านทานหรือตัวเก็บประจุต่ออยู่แล้ว อาจจะทำให้ CPU อยู่ในสภาวะรีเซ็ตตลอดเวลาได้

### 3.1.5 Counter/Time Control (CTC)

Z84C11 จะมีวงจร Z84C30 (Z80 CTC) ต่ออยู่แล้ว โดยขา INT ของ CTC นั้นจะต่อกับขา INT ของ Z80 ในตัวเป็นแบบ WIRED-OR เรียบร้อยในตัวแล้ว รายละเอียดของ CTC ในบอร์ดนี้จะเหมือนกับ Z80 CTC ทั่วไป ดังรูปที่ 3.3

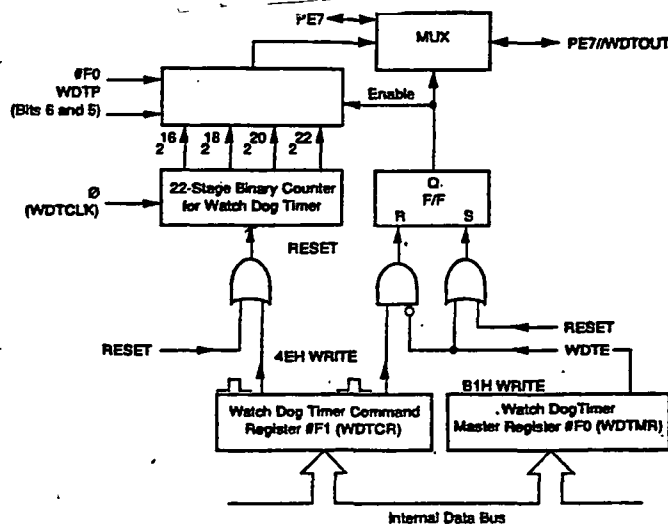


รูปที่ 3.3 แสดง CTC Block Diagram

Channel	CTC Address Port
CH 0	10 H
CH 1	11 H
CH 2	12 H
CH 3	13 H

### 3.1.6 Watch Dog Timer Output (WDTOUT)

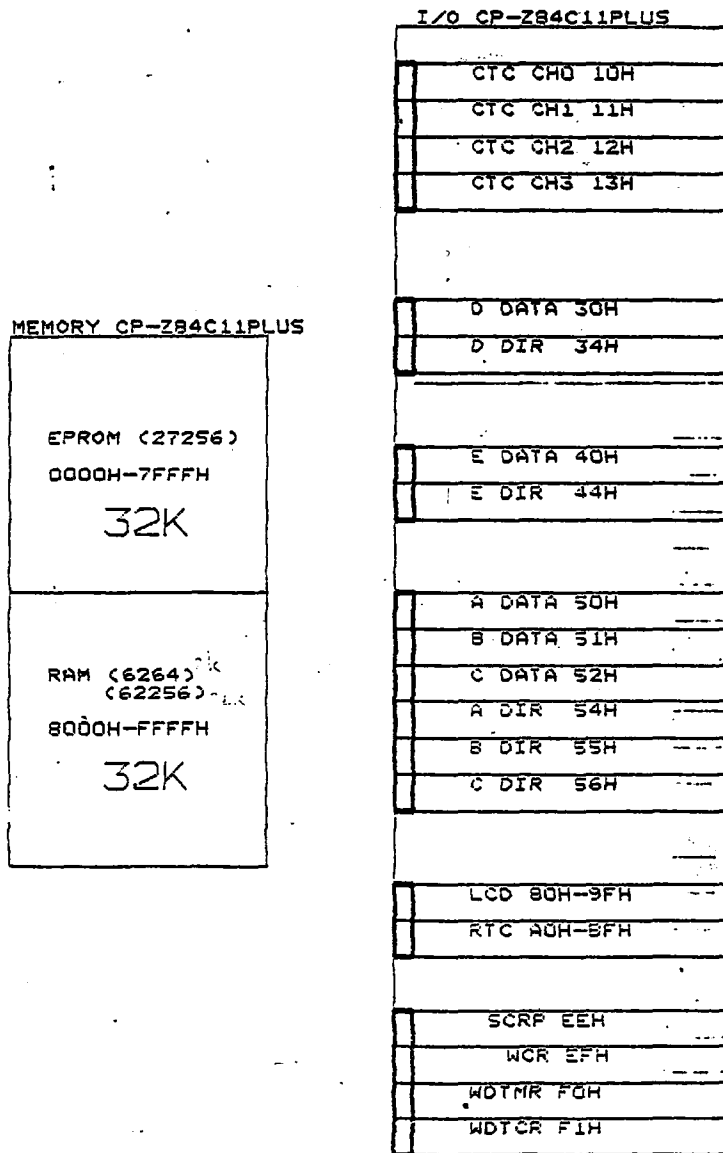
เป็นขาจากพอร์ต PE บิตที่ 7 ทำหน้าที่ คือ เป็น Data Port ทั่วๆ ไปและก็ยังเป็น Watch Dog Timer Output ด้วยโดยจะเป็น Open-Drain I/O เมื่อถูกเซ็ตให้เป็น WDTOUT โดยขานี้จะถูกต่อโดยตรงเข้ากับขาเรีเซ็ตของ CPU โดยปกติถ้าไม่มีการเซ็ต WDTOUT แล้วให้ถอด JUMPER ออกเพราะเมื่อเราใช้พอร์ต PE บิต 7 จะทำให้ CPU ถูกเรีเซ็ตตามคำสั่งเอาที่พอร์ต PE บิตที่ 7 (Watch Dog เป็นลักษณะวงจรที่เรีเซ็ต CPU อยู่เสมอตามค่าเวลาที่เรากำหนดถ้าเราไม่ทำการ Disable Watch Dog ภายในเวลาที่กำหนด CPU นั้นจะถูกเรีเซ็ต เช่นโปรแกรมทำงานปกติเราจะ Call Disable Watch Dog อยู่เสมอแต่ถ้า CPU กำลัง RUN อยู่ขึ้นเกิดมีสัญญาณรบกวนขึ้นทำให้ไม่สามารถ RUN โปรแกรมได้ตามปกติที่มีการเรียกใช้โปรแกรม Call Disable Watch Dog ได้ CPU ก็จะมีการเรีเซ็ตขึ้นทันทีเพื่อให้กลับไปเริ่ม RUN ใหม่อีก)



รูปที่ 3.4 Watch Dog Timer Block Diagram

**MEMORY MAP ADDRESS**

Z84C11 จัด MEMORY ออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดง Memory Map Address

### 3.1.7 CONNECTOR LCD

เป็น Connector ขนาด 20 ขา โดยสามารถต่อ LCD ได้ 2 แบบคือ DOT TYPE หรือ GRAPHIC TYPE โดยถ้าเราเลือกต่อได้ถ้าเป็น DOT TYPE คือ ตัวอักษรก็จะใช้ 14 ขา หรือถ้าเลือกต่อแบบ GRAPHIC TYPE ก็จะใช้ 18 ขา Z84C11 จะกำหนดแอดเดรสของพอร์ต LCD ไว้ให้แล้ว

#### LCD Address Port

Channel Port	Address Port
Write Data Instruction	80H
Write Data To CG Or DD RAM	82H
Read Busy Flag And Address	84H

### 3.2 LCD MODULE

LCD MODULE เป็นตัวแสดงผล การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับจอ LCD MODULE ก็คือ การกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ในการใช้งานของ LCD ตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความเพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงผล โดยมีรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

#### 3.2.1 ความเข้าใจพื้นฐาน

1. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD MODULE จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ INSTRUCTION และ DATA โดยกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือถ้า  $RS = 0$  จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม (INSTRUCTION) หรืออ่านค่า FLAG สภาพการทำงานของ LCD MODULE
2. หลักในการเขียนข้อมูลให้ LCD MODULE คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัว LCD MODULE จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง (ตามค่า EXECUTE TIME ในตาราง)

ซึ่งระบบไมโครสามารถตรวจสอบได้จาก BUSY FLAG (BF) และถ้าเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถเขียนข้อมูลอันดับต่อไป ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบ I/O PORT คือไม่สามารถ อ่าน ข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครก็ต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน

3. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD MODULE นี้ สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 BIT และ 4 BIT โดยกรณี 4 BIT จะใช้สายสัญญาณ DATA เพียง 4 เส้น คือ DB4-DB7 การเขียนข้อมูลจะ กระทำเหมือนกับ 8 BIT เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้ง คือ DB4-DB7 ก่อน แล้วตามด้วย DB3-DB0 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในคำสั่ง FUNCTION SET ด้วย

4. DDRAM (DISPLAY DATA RAM) คือ หน่วยความจำภายในตัว LCD MODULE ที่เป็น BUFFER ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส ASCII ใดๆ ลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏ ตัวอักษรที่แผงแสดงผลทันที

5. CGRAM (CHARACTER GENERATOR RAM) คือ หน่วยความจำภายในตัว LCD MODULE สำหรับการเก็บภาพตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง (8 ตัว) โดยจะอ้าง ADDRESS ได้ทั้งหมด 64 BYTE คือ 8 ตัวอักษร คูณกับ 8 ROW

### 3.2.2 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

#### 3.2.2.1 CLEAR DISPLAY

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1 DB0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

สำหรับการ CLEAR DISPLAY โดยจะทำการเขียนตัวอักษร SPACE ลงใน DDRAM และกำหนด DDRAM ADDRESS เป็น 0 พร้อมทั้ง CURSOR จะไปที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ

### 3.2.2.2 CURSOR AT HOME

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1 DB0

0	0	0	0	0	0	0	0	1	*
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

สำหรับกำหนดค่า DDRAM ADDRESS ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง CURSOR จะไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยที่ข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### 3.2.2.3 ENTRY MODE SET

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1 DB0

0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S
---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---

I/D = 0 กำหนดทิศทางของ CURSOR และ DDRAM ให้เป็นแบบ DECREMENT

I/D = 1 กำหนดทิศทางของ CURSOR และ DDRAM ให้เป็นแบบ INCREMENT

S = 0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะถูกเลื่อนไปที่ทิศทางตามค่า I/D

S = 1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะอยู่กับที่ และตัวอักษรจะถูกดันไปที่ทิศทางตามค่า I/D

### 3.2.2.4 DISPLAY ON/OFF

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1 DB0

0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

D = 0 กำหนดให้ OFF DISPLAY

D = 1 กำหนดให้ ON DISPLAY

C = 0 กำหนดให้ OFF CURSOR

C = 1 กำหนดให้ ON CURSOR

B = 0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR

B = 1 กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR (กระพริบเป็นรูปสี่เหลี่ยม)

### 3.2.2.5 DISPLAY SHIFT

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1 DB0

0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	-
---	---	---	---	---	---	-----	-----	---	---

S/C = 0 กำหนดให้เลื่อน CURSOR ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

S/C = 1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 COLUMN  
(เลื่อนทุกบรรทัด)

R/L = 0 กำหนดให้มิติศทางไปทางซ้าย

R/L = 1 กำหนดให้มิติศทางไปทางขวา

### 3.2.2.6 FUNCTION SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	0	DL	F	*	*

- DL = 0 กำหนดให้มีการติดต่อกับ LCD MODULE เป็นแบบ 4 BIT
- DL = 1 กำหนดให้มีการติดต่อกับ LCD MODULE เป็นแบบ 8 BIT จะสังเกตเห็นว่า การกำหนดค่า DL นี้ สามารถกระทำได้ที่ DB4-DB7 ซึ่งถ้ามีการกำหนดให้เป็นแบบ 4 BIT ตั้งแต่ครั้งแรก หลังจากจ่ายไฟเลี้ยงก็จะทำให้ LCD MODULE มีการรับข้อมูลแบบ 4 BIT ทันที
- N = 0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 DUTY และ 1/11 DUTY
- N = 1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/16 DUTY
- F = 0 กำหนดตัวอักษรเป็นแบบ 5\*7 DOTS
- F = 1 กำหนดตัวอักษรเป็นแบบ 5\*10 DOTS (กรณีที่ LCD MODULE เป็นแบบ 5\*7 DOTS อยู่แล้ว ก็จะไม่มีผลอะไร)

### 3.2.2.7 SET CGRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS					

สำหรับการกำหนด ADDRESS ของ CGRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและการเขียน DATA ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม ADDRESS ที่กำหนดทันที

### 3.2.2.8 SET DDRAM ADDRESS

RS    R/W    DB7    DB6    DB5    DB4    DB3    DB2    DB1    DB0

0	0	1	DDRAM ADDRESS
---	---	---	---------------

สำหรับการกำหนด ADDRESS ของ DDRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและเขียน DATA ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม ADDRESS ที่กำหนดทันที

### 3.2.2.9 BUSY FLAG AND ADDRESS READ

RS    R/W    DB7    DB6    DB5    DB4    DB3    DB2    DB1    DB0

0	1	BF	ADDRESS
---	---	----	---------

สำหรับการอ่านค่า BF (BUSY FLAG) ซึ่งบอกถึงความพร้อมของ LCD MODULE ในการรับข้อมูล ถ้า BF = 0 หมายถึงพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไป แต่ถ้า BF = 1 หมายถึงยังไม่พร้อม นอกจากนี้ ยังเป็นการอ่านค่า ADDRESS ของ CGRAM หรือ DDRAM ด้วย

### 3.2.3 การอ่านและเขียนข้อมูลกับ DDRAM / CGRAM

#### 3.2.3.1 WRITE DATA TO DDRAM OR CGRAM

RS    R/W    DB7    DB6    DB5    DB4    DB3    DB2    DB1    DB0

1	0	DATA
---	---	------

สำหรับการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ DDRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียน ADDRESS จะถูกเพิ่ม/ลดโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียนจะเป็น DDRAM หรือ CGRAM ขึ้นอยู่กับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

#### 3.2.3.2 READ DATA TO DDRAM OR CGRAM

RS    R/W    DB7    DB6    DB5    DB4    DB3    DB2    DB1    DB0

1	1	DATA
---	---	------

สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ DDRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียน แล้ว ADDRESS จะถูกเพิ่มหรือลดโดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียนจะเป็น DDRAM หรือ CGRAM ก็ขึ้นอยู่กับว่า ก่อนหน้าคำสั่งนี้ มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

### 3.2.4 การโหลดอักษรที่ออกแบบเอง

LCD MODULE จะสามารถโหลดอักษรที่ออกแบบเองได้ โดยกระทำได้ 8 ตัวอักษร ซึ่งหลักการก็คือ ให้ทำการโหลดรูปแบบที่กำหนดไว้แล้ว ลงในหน่วยความจำ CGRAM ADDRESS ที่อ้างถึง CGRAM จะใช้เพียง 6 BIT โดยอ้างได้ทั้งหมด 64 BYTE ( คือ 8 ตัวอักษร คูณกับ 8 ROW ) และการเรียกใช้ตัวอักษรที่ออกแบบจะใช้รหัส 00-07 ( หรือ 08-FF ) ขั้นตอนในการโหลดตัวอักษรจะเป็นดังนี้

1. กำหนด ADDRESS ของ CGRAM ด้วยคำสั่ง SET CGRAM ทั้งนี้ถ้าโหลดอักษรตัวแรกก็จะใช้ ADDRESS ที่ตำแหน่ง 0
2. เขียนข้อมูลที่เป็นรูปแบบตัวอักษร ด้วยคำสั่ง WRITE DATA โดยรูปแบบนี้จะใช้ 8 BYTE ต่อหนึ่งตัวอักษร คือ เรียง ROW จากแถวบนลงล่าง และใช้ BIT ที่ 0-4 เท่านั้น การโหลดนี้จะทำไปเรื่อยๆโดยไม่ต้องกำหนด ADDRESS ใหม่
3. ตัวอักษรที่โหลดลงไปแล้ว สามารถเรียกใช้ได้ตลอดไปขณะที่มีไฟเลี้ยง ซึ่งการโหลดนี้ให้กระทำที่ส่วนต้นโปรแกรมได้เลย

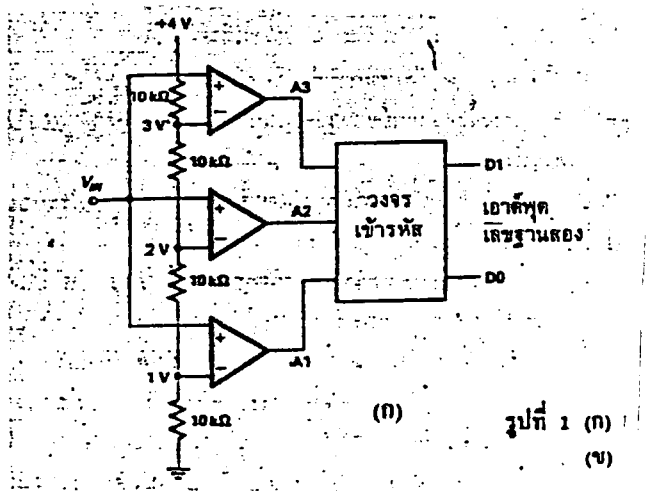
วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

4.1 วงจรเอ็ดแบบต่าง ๆ

วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มีหลายวิธี คือ

4.1.1 การใช้วงจรเปรียบเทียบขนาดหรือแบบ "แฟลช"

วงจรเอ็ดแบบนี้ใช้หลักการง่าย ๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่รวดเร็วที่สุด คือใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน ดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบและตัวต้านทานต่อไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุทแบบกลับ (Inverting) ให้มีขนาดต่าง ๆ กัน จากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วไป เมื่อแรงดันอินพุทที่ขาอินพุทแบบไม่กลับ (Noninverting) มีค่าสูงคู้ได้จากตาราง จะเข้าใจยิ่งขึ้นว่าที่แรงดันค่าต่าง ๆ มีผลต่อเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบแต่ละตัวอย่างไร ซึ่งเอาต์พุทที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบนี้จะนำไปเข้ารหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไป



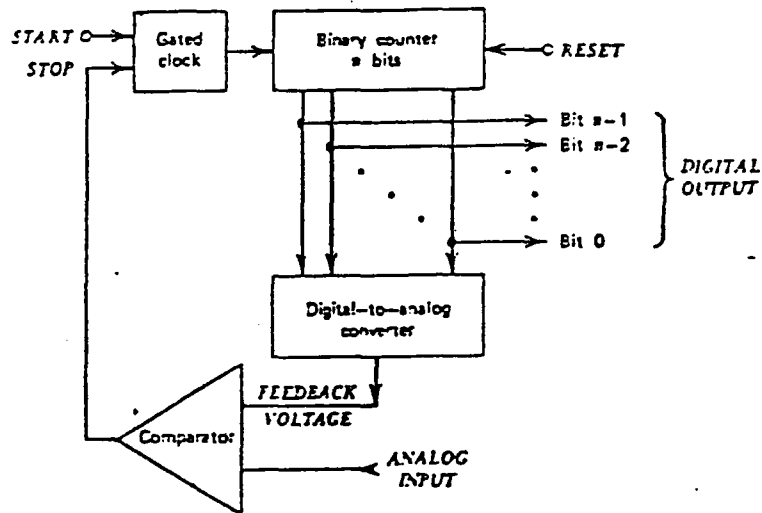
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจร parallel comparator A/D

แรงดันอินพุต (โวลต์)	เอาต์พุตของ วงจรเปรียบเทียบ			เอาต์พุต เลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D2
0 - 1	0	0	0	0	0
1 - 2	1	0	0	0	1
2 - 3	1	1	0	1	0
3 - 4	1	1	1	1	1

ตาราง 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นอนาลอกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล

#### 4.1.2 วิธีธรรมดา หรือ วิธีแลมป์

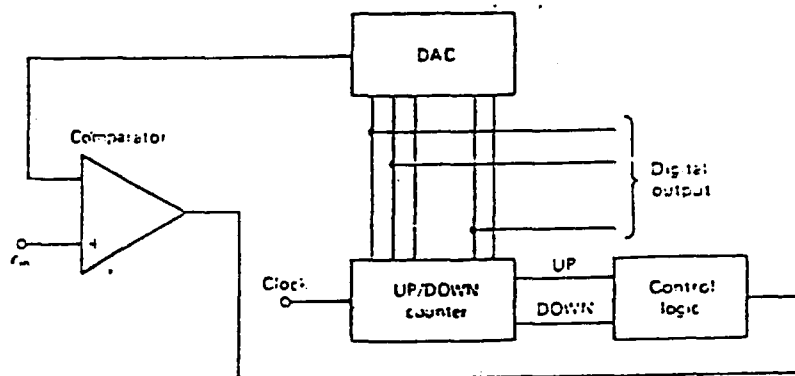
วงจรเอทีแวนนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.5 ประกอบด้วยวงจรถ้าเนิดสัญญาณแรมป์ วงจรเปรียบเทียบ วงจรนับ BCD หรือ นับเลขฐานสอง เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณสัญญาณแรมป์และวงจรถ้าเนิดจะถูกรีเซ็ตให้เป็น 0 แรงดันอนาลอกถูกป้อนไปยังวงจรถ้าเปรียบ ทางขาอินพุตแบบไม่กลับ เมื่อแรงดันอินพุตที่ขานี้เป็นบวกมากกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับ วงจรถ้าเปรียบก็จะให้เอาต์พุตเป็นระดับ "high" ทำให้แอนด์เกตปล่อยสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรถ้านับได้ และทำให้เริ่มเกิดสัญญาณแรมป์สัญญาณแรมป์มีแรงดันเป็นบวกขึ้นเรื่อย ๆ จนมากกว่าระดับแรงดันอินพุตเอาต์พุตของวงจรถ้าเปรียบก็ตกลงมาเป็นระดับ "low" ปิดแอนด์เกตไม่มีสัญญาณผ่านไปให้วงจรถ้านับวงจรถ้านับจะหยุดนับและเก็บค่าไว้ที่วงจรถ้าแลทซ์ จากนั้นจึงทำการรีเซ็ตวงจรถ้านับและวงจรถ้ากำเนิดสัญญาณแรมป์



รูปที่ 4.2 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลโดยวิธีธรรมดา หรือ วิธีแลมบ์

วงจรแบบนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ วงจรลักษณะนี้มักนำไปใช้งานในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณ (time to amplitude conversion) หรืออาจใช้ในดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนขึ้นกับอุณหภูมิและผลตอบแทนต่อสัญญาณอินพุท ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็น แบบสลโปลคู่ (dual-slope)

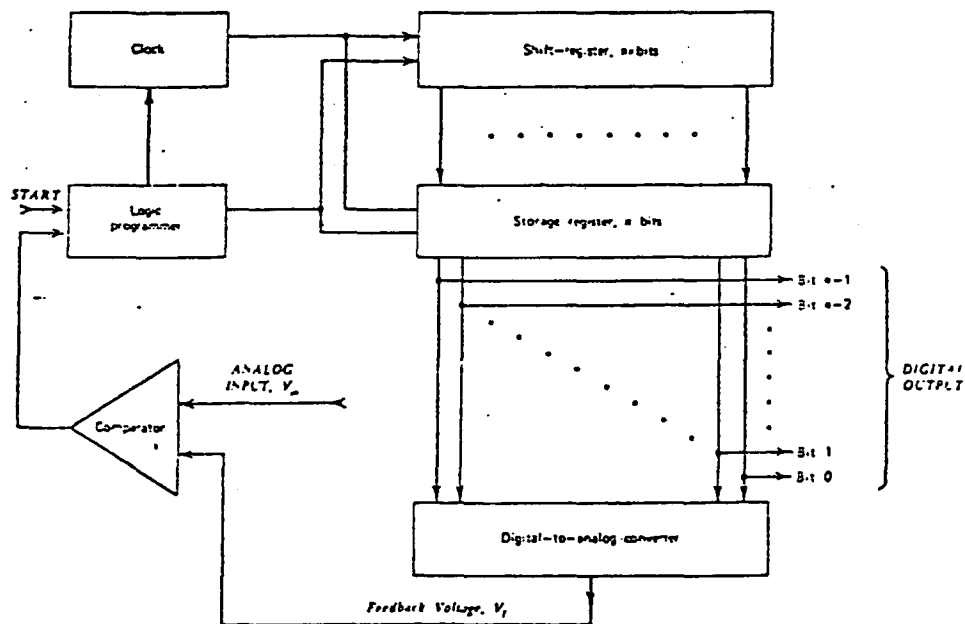
#### 4.1.3 วิธีต่อเนื่อง



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลโดยวิธีต่อเนื่อง

วงจรนี้มีหลักการทำงานคล้ายกับการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล โดยวิธีธรรมดา หรือวิธีแลมบ์ เพียงแต่ต่างกันที่สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนเทียบแรงดัน จะไปป้อนเข้าที่วงจรควบคุมลอจิก (Control Logic) เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของวงจรมับเลขฐานสองขึ้น - ลง (Up - Down Binary Counter) ถ้าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก น้อยกว่าสัญญาณ  $e_{in}$  จะทำให้วงจรควบคุมลอจิก ไปควบคุมวงจรมับเลขฐานสองขึ้น - ลง ทำให้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมับเลขฐานสองนี้มีค่าเพิ่มขึ้นจนกว่าจะได้สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรมับเลขฐานสองขึ้น - ลง เท่ากับสัญญาณอนาลอก  $e_{in}$  วงจรควบคุมลอจิก ก็จะทำการเก็บค่านั้นไว้จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอนาลอก  $e_{in}$

#### 4.1.4 วิธีประมาณทีละบิต



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลโดยวิธีประมาณทีละบิต

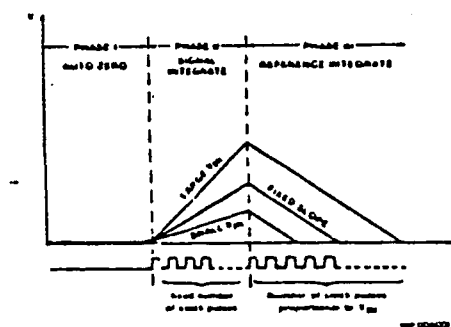
เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ที่มีความละเอียด และรวดเร็ว โดยมีหลัก การดังนี้ คือ เริ่มต้นซีพรีจิสเตอร์ จะถูกเคลียร์ให้เป็น 0 และ 1 จะถูกใส่เข้าไปยังตำแหน่งบิต ที่มีค่านัยสำคัญสูงสุด ( Most Significant Bit หรือ MSB )

ในซีพรีจิสเตอร์สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากซีพรีจิสเตอร์ จะผ่านเข้าไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก และนำสัญญาณอนาลอกที่ได้มาเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันเพื่อเปรียบเทียบแรงดัน เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทที่เข้ามาถ้าสัญญาณอินพุทมีค่ามากกว่าสัญญาณอนาลอก บิตที่มีค่านัยสำคัญสูงสุดจะคงค่าเดิม 1 ไว้ แต่ถ้าสัญญาณอินพุทมีค่าน้อยกว่าสัญญาณอนาลอก บิตที่มีค่านัยสำคัญสูงสุดจะเปลี่ยนเป็น 0 แทน ดังนั้นสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุทที่ได้จากซีพรีจิสเตอร์จะมีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุทที่เข้ามา

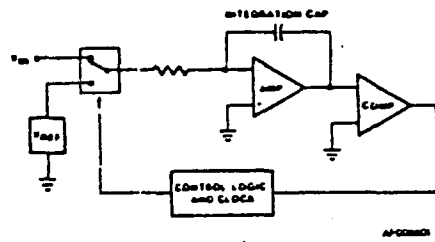
#### 4.1.5 แบบสโลปคอนโทรล

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบสโลปคอนโทรลนี้ ข้อมูลที่แปลงได้ จะเป็นแบบจำนวนบิต (bit) หรือ แบบบิต (binary code decimal) ซึ่งการให้ข้อมูลดิจิทัลแบบใดนั้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะของไอซีแต่ละเบอร์ การแปลงสัญญาณแบบสโลปคอนโทรลจะไม่ทำการเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงค่าหนึ่ง โดยใช้เวลาเป็นตัวกำหนดการทำงาน การทำงานจะเริ่มต้นจาก สวิตช์  $s_1$  รับอินพุทเข้ามาสู่วงจรอินทิเกรชัน ด้วยเวลาคงที่  $T_1$  เมื่อครบ เวลา  $T_1$  สวิตช์  $s_1$  จะถูกกลับมาที่แรงดันอ้างอิงที่มีศักย์ตรงข้ามกับแรงดันอินพุท วงจรนับจะเริ่มต้นนับเวลาไปจนกระทั่งเอาท์พุทของวงจรอินทิเกรเตอร์ โดยที่  $T_1$  เป็นเวลาที่กำหนดคงที่ และ  $T_2$  เป็นเวลาที่แปรตามแรงดันอินพุท ซึ่งมีความสัมพันธ์

$$T_2 = T_1 \cdot E_{in} / E_{ref}$$



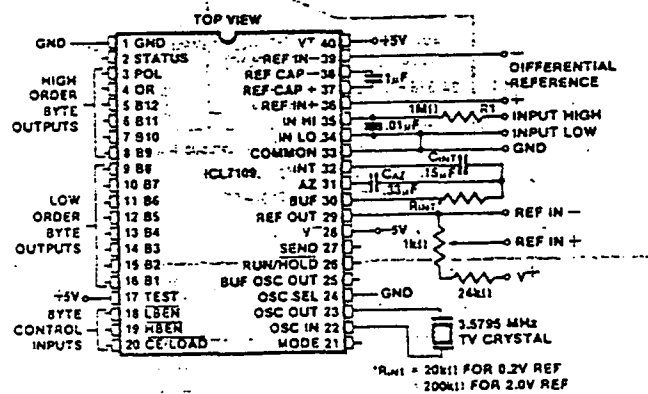
รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคอนโทรล



รูปที่ 4.6 แสดงค่าเวลาของการอินทิเกรตค่าในแต่ละเฟส

#### 4.2 ICL7109

ADC เบอร์ ICL7109 ซึ่งเป็น ADC ชนิด Dual Slope Integrating ขนาด 12 bit โดย ICL7109 เป็น IC CMOS ซึ่งกินกำลังไฟต่ำ และสามารถติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ง่าย โดยข้อมูลเอาต์พุต (12 bit , bit polarity และ bit overrange) สามารถควบคุมได้โดยขาอินพุต 2 ขา และ chip select input สำหรับการติดต่อแบบง่าย ๆ และยังมี handshake แบบ UART อีกแบบหนึ่ง



รูปที่ 4.7 แสดงการต่อวงจรทดสอบ ของ ICL7109

หน้าที่การทำงานของขาต่าง ๆ ของ ICL7109 แสดงดังตาราง 4.2

TABLE 1: Pin Assignment and Function Description

Pin	Symbol	Description
1	GND	Digital Ground, 0V. Ground return for all digital logic.
2	STATUS	Output High during integrate and deintegrate until data is latched. Output Low when analog section is in Auto-Zero configuration.
3	POL	Polarity — HI for Positive input.
4	OR	Overrange — HI if Overranged.
5	B12	Bit 12 (Most Significant Bit)
6	B11	Bit 11
7	B10	Bit 10
8	B9	Bit 9
9	B8	Bit 8
10	B7	Bit 7
11	B6	Bit 6
12	B5	Bit 5
13	B4	Bit 4
14	B3	Bit 3
15	B2	Bit 2
16	B1	Bit 1 (Least Significant Bit)
17	TEST	Input High — Normal Operation. Input Low — Forces all bit outputs high. Note: This input is used for test purposes only. Tie high if not used.
18	LBEN	Low Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates low order byte outputs B1 — B8. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a low byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
19	HBEN	High Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates high order byte outputs B9 — B12, POL, OR. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a high byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
20	CE/LOAD	Chip Enable Load — With Mode (Pin 21) low, CE/LOAD serves as a master output enable. When high, B1 — B12, POL, OR outputs are disabled. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a load strobe used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.

Pin	Symbol	Description
21	MODE	Input Low — Direct output mode where CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19) and LBEN (Pin 18) act as inputs directly controlling byte outputs. Input Pulsed High — Causes immediate entry into handshake mode and output of data as in Figure 10. Input High — Enables CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19), and LBEN (Pin 18) as outputs, handshake mode will be entered and data output as in Figures 8 and 9 at conversion completion.
22	OSC IN	Oscillator Input
23	OSC OUT	Oscillator Output
24	OSC SEL	Oscillator Select — Input high configures OSC IN, OSC OUT, BUF OSC OUT as RC oscillator — clock will be same phase and duty cycle as BUF OSC OUT. Input low configures OSC IN, OSC OUT for crystal oscillator — clock frequency will be 1/58 of frequency at BUF OSC OUT.
25	BUF OSC OUT	Buffered Oscillator Output
26	RUN/HOLD	Input High — Conversions continuously performed every 8192 clock pulses. Input Low — Conversion in progress completed, converter will stop in Auto-Zero 7 counts before integrate.
27	SEND	Input — Used in handshake mode to indicate ability of an external device to accept data. Connect to +5V if not used.
28	V <sub>-</sub>	Analog Negative Supply — Nominally -5V with respect to GND (Pin 1).
29	REF OUT	Reference Voltage Output — Nominally 2.8V down from V <sup>+</sup> (Pin 40).
30	BUFFER	Buffer Amplifier Output
31	AUTO-ZERO	Auto-Zero Node — Inside foil of C <sub>AZ</sub>
32	INTEGRATOR	Integrator Output — Outside foil of C <sub>INT</sub>
33	COMMON	Analog Common — System is Auto-Zeroed to COMMON
34	INPUT LO	Differential Input Low Side
35	INPUT HI	Differential Input High Side
36	REF IN +	Differential Reference Input Positive
37	REF CAP +	Reference Capacitor Positive
38	REF CAP -	Reference Capacitor Negative
39	REF IN -	Differential Reference Input Negative
40	V <sup>+</sup>	Positive Supply Voltage — Nominally +5V with respect to GND (Pin 1).

Note: All digital levels are positive true.

ตารางที่ 4.2 แสดงหน้าที่การทำงานของขาต่าง ๆ ของ ICL7109

#### 4.2.1 ส่วน อย่นาออก

ICL7109 จะทำงานเมื่อป้อนไฟ +5 V และ -5 V โดยจะสามารถแปลงค่าได้สูงสุด 4V full scale ทั้งทางด้านบวกและลบ ในการเลือกค่าอุปกรณ์เพิ่มเติมที่ต้องต่อกับ ICL7109 มีดังนี้

- Integrating Resistor สำหรับ 4.096 volt full scale ใช้ค่า 200k สำหรับ 409.6 mV full scale ใช้ค่า 20k แต่สำหรับค่า full scale อื่น ๆ หาค่า  $R_{INT}$  ได้จาก

$$R_{INT} = \frac{\text{full scale voltage}}{20\mu A}$$

- Integrating Capacitor สำหรับ ICL7109 ที่จ่ายไฟ +5 V และ analog common ต่อลง GND สำหรับการแปลงข้อมูลด้วยอัตรา 7.5 ครั้งต่อวินาที ( ความถี่นาฬิกา 61.72 kHz ) จะใช้  $C_{INT}$  และ  $C_{AZ}$  เท่ากับ 0.15  $\mu F$  และ 0.33  $\mu F$  ตามลำดับ สำหรับ ความถี่นาฬิกา อื่น ๆ สามารถหาค่า  $C_{INT}$  ได้จาก

$$C_{INT} = \frac{(2048 * \text{clock period})(20\mu A)}{\text{integrator output voltage swing}} \mu F$$

- Auto-Zero สามารถหาค่าได้จาก

$$C_{AZ} = 2C_{INT}$$

- Reference Capacitor ให้ใช้ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 1  $\mu F$

- Reference Voltage ในการกำหนดค่า reference voltage นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า input voltage full scale โดย  $V_{ref} = 2V_{in}$  เช่นถ้าใช้ 4.096 V full scale จะให้  $V_{ref} = 2.048$  V

- Reference Source reference voltage นั้นจะต้องมีค่าเสถียรเพื่อที่จะให้การแปลงสัญญาณเป็นไปอย่างถูกต้องที่สุด ซึ่ง ICL7109 มีขา reference output (ขา 29) เพื่อสร้าง reference voltage ขึ้นโดยขานี้จะรับกระแสเข้าได้สูงสุดประมาณ 20 mA โดยปกติขานี้จะให้ voltage เท่ากับ 2.8 V ซึ่งจะต้องต่อขา REF OUT เข้ากับขา REF- และ REF+ ต่อกับขากลางของ ตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยวงจรสำหรับ reference 204.8 mV ใช้ตามวงจร test circuit สำหรับ reference 2.048 V นำ ตัวต้านทานคงที่ออก และใช้ ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 25k แทน

#### 4.2.2 ส่วน ดิจิตอล

DIGITAL SECTION						
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	I <sub>OUT</sub> = 100 μA Pins 2-16, 18, 19, 20	3.5	4.3		V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	I <sub>OUT</sub> = 1.6 mA		0.2	0.4	V
	Output Leakage Current	Pins 3-16 high impedance		±0.1	±1	μA
	Control I/O Pullup Current	Pins 18, 19, 20 V <sub>OUT</sub> = V <sub>+</sub> - 3V MODE input at GND		5		μA
	Control I/O Loading	HBEN Pin 19 LBEN Pin 18 (Note 4)			50	pF
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	Pins 18-21, 26, 27 referred to GND	3.0			V
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	Pins 18-21, 26, 27 referred to GND				V
	Input Pull-up Current	Pins 26, 27 V <sub>OUT</sub> = V <sub>+</sub> - 3V		5		μA
	Input Pull-up Current	Pins 17, 24 V <sub>OUT</sub> = V <sub>+</sub> - 3V		25		μA
	Input Pull-down Current	Pin 21 V <sub>OUT</sub> = GND + 3V		5		μA
-O <sub>OH</sub>	Oscillator Output Current	High	V <sub>OUT</sub> = 2.5V	1		mA
O <sub>OL</sub>		Low	V <sub>OUT</sub> = 2.5V	1.5		mA
BO <sub>OH</sub>	Buffered Oscillator Output Current	High	V <sub>OUT</sub> = 2.5V	2		mA
BO <sub>OL</sub>		Low	V <sub>OUT</sub> = 2.5V	5		mA
t <sub>w</sub>	MODE Input Pulse Width	(Note 4)	50			ns

ตารางที่ 4.3 แสดงส่วน digital section

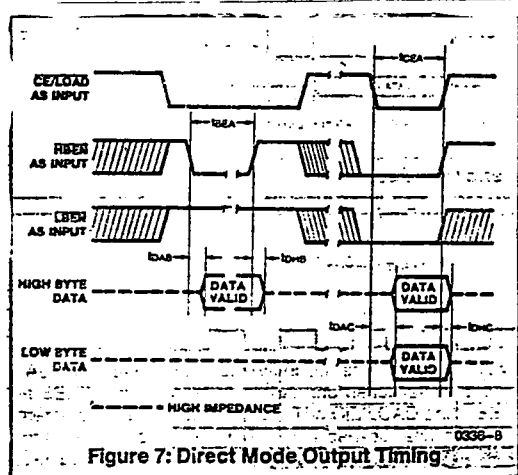
ในส่วนนี้จะมีส่วน ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (clock oscillator) สัญญาณข้อมูลต่าง ๆ และสัญญาณควบคุมต่าง ๆ ด้วย ดังนี้

- Mode input ใช้เลือกโหมดในการแปลงเมื่อขา mode เป็น 0 ตัวแปลงสัญญาณจะเป็นโหมด direct เมื่อเป็น pulse high ตัวแปลงสัญญาณจะเป็นโหมด UART handshake และข้อมูลเอาต์พุตเป็นแบบ 2 ไบต์ จากนั้นจะกลับเป็นแบบโหมด direct เมื่อให้โหมดเป็น 1 ตัวแปลงสัญญาณจะให้ข้อมูลเอาต์พุตในแบบโหมด handshake ในทุกๆ วงรอบของการแปลงเสร็จ

- STATUS output ระหว่างวงรอบของการแปลงสัญญาณ status จะเป็น high ตอนเริ่มแรกและจะตกเป็น low หลังจากข้อมูลใหม่ที่ได้จากการแปลงสัญญาณ

- RUN/HOLD input เมื่ออินพุตเป็น high หรือ open วงจรจะทำการแปลงข้อมูลอย่างต่อเนื่องถ้า RUN/HOLD เป็น low ที่เวลาใดระหว่างการ คิวอินทรีเกต วงจรจะไปทำงานแบบ auto-zero แทนคือจะไม่แปลงข้อมูลใหม่

- Direct Mode เมื่อ MODE เป็น low จะเป็นการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์แบบโดยตรง



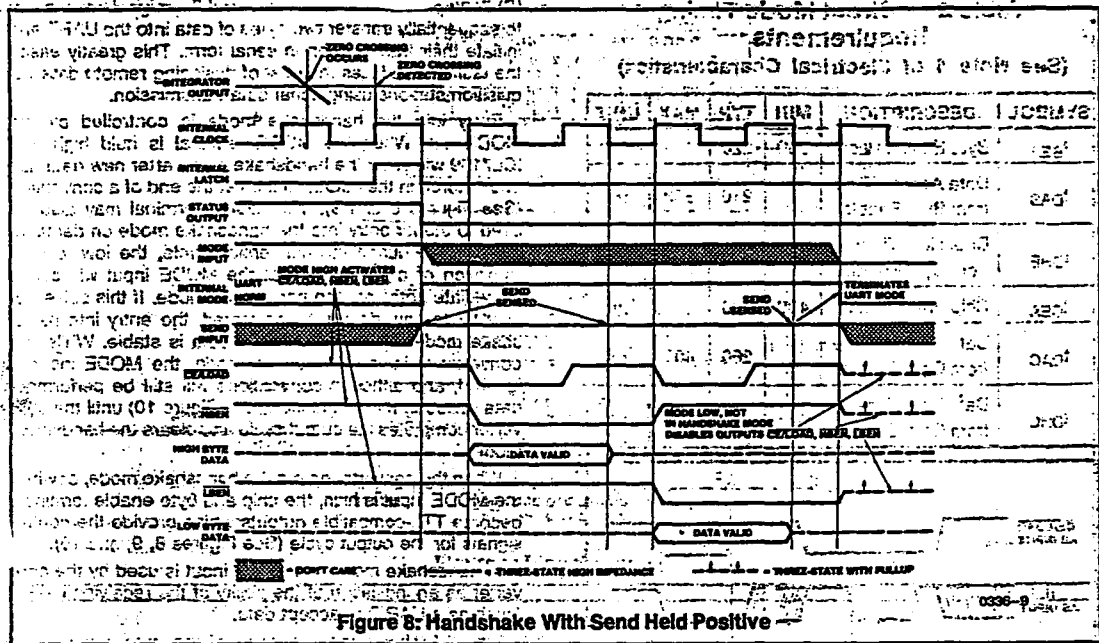
รูปที่ 4.8 แสดง timing diagram ของการติดต่อโดยตรง

**Table 2 — Direct Mode Timing Requirements**  
(See Note 4 of Electrical Characteristics)

SYMBOL	DESCRIPTION	MIN	TYP	MAX	UNIT
t <sub>BEA</sub>	Byte Enable Width	350	220		ns
t <sub>DAB</sub>	Data Access Time from Byte Enable		210	350	ns
t <sub>DHB</sub>	Data Hold Time from Byte Enable		150	300	ns
t <sub>CEA</sub>	Chip Enable Width	400	260		ns
t <sub>DAC</sub>	Data Access Time from Chip Enable		260	400	ns
t <sub>DHC</sub>	Data Hold Time from Chip Enable		240	400	ns

ตารางที่ 4.4 แสดงเวลาของขนาดของสัญญาณต่าง ๆ ของโหมดโดยตรง

- Handshake Mode เป็นการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ที่จะต้องมีการทำ handshake ซึ่งมีอยู่หลายแบบด้วยกันดังแสดงดังรูป 4.9



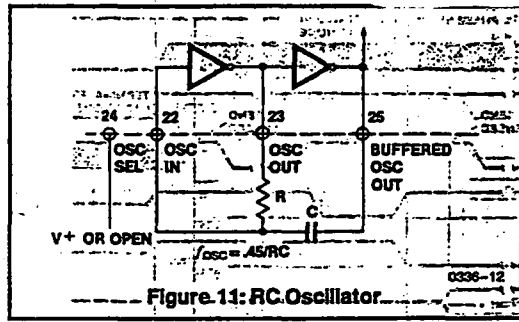
รูปที่ 4.9 แสดง timing diagram ของการติดต่อแบบ handshake

- Oscillator ICL7109 สามารถที่จะทำวงจร oscillator ที่มีอยู่ภายใน โดยต่ออุปกรณ์ภายนอกโดยเลือกได้ 2 แบบคือ ใช้ RC หรือใช้ crystal ซึ่งเลือกให้ oscillator select input เป็นตัวเลือกโดยเมื่อเป็น high หรือ open จะเป็นแบบ RC โดยต่อวงจรดังรูปที่ 4.10

โดยสามารถหาค่า  $\tau$  ได้จาก

$$f = 0.45 / (RC)$$

$$f = 8192 / \text{เวลาของการแปลง 1 ครั้ง}$$



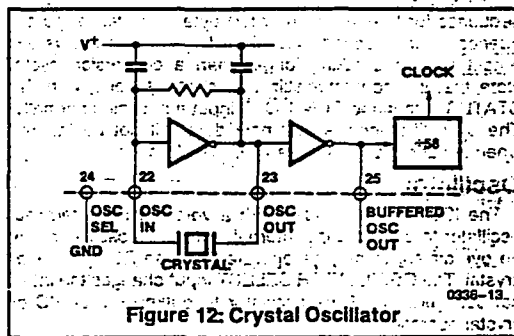
รูปที่ 4.10 แสดงการต่อวงจร oscillator แบบใช้ RC

ให้ใช้  $R = 100 \text{ k}$  เมื่อ oscillator select เป็น low จะใช้ crystal ตั้ง  
 แต่ 1-5 MHz ซึ่งความถี่ที่ crystal จะถูกหารด้วย 58 ซึ่งถ้าใช้การแปลงในอัตรา 7.5 ครั้ง  
 ต่อวินาที จะใช้ crystal ความถี่ 3.579 MHz ซึ่งสามารถหาเวลาในการ integration  
 ได้จาก

$$T_{INT} = (2048 \text{ clock periods}) * (T_{clock})$$

โดย  $T_{clock} = 58 / 3.579 \text{ MHz}$

โดยต่อวงจร oscillator ที่ใช้ crystal ตามรูป 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการต่อวงจร oscillator ที่ใช้ crystal

- Test Input เมื่อ test input มีระดับแรงดันเป็นครึ่งหนึ่งของ  $V^+$  เทียบ GND ทำให้ counter output latch จะทำงานซึ่งสามารถทดสอบได้ทุกเวลา เมื่อ test ต่อกับ GND จะทำให้ counter output เป็น high state และ internal clock จะไม่ทำงาน และเมื่อ อินพุตกลับไปเป็นครึ่งหนึ่งของ  $V^+$  เทียบ GND และให้ clock เข้าไป 1 ลูก counter output จะกลับเป็น low ทำให้ตรวจสอบได้ง่าย

## บทที่ 5

### สวิตช์และอุปกรณ์ทางแสง

สวิตช์ หรือ วงจรขับกระแสที่ประกอบไปด้วย ไดโอด ไตรโอด และ ออปโตคัปเปอร์ ซึ่งพื้นฐานของอุปกรณ์เหล่านี้ มีดังต่อไปนี้

#### 5.1 อุปกรณ์ทางแสง (OPTO ELECTRONIC DEVICES)

อุปกรณ์ทางแสง หมายถึง อุปกรณ์ที่มีแสงเป็นส่วนร่วมทั้งการกำเนิดแสงการรับแสง และการส่งแสง เช่น ไดโอดเปล่งแสง (Photo Diode), ตัวรับแสง (Photo-detector), ออปโต คัปเปอร์ (Opto Coupler) เป็นต้น

##### 5.1.1 ไดโอดเปล่งแสง (Photo Diode)

เป็นอุปกรณ์ทางแสงชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยรอยต่อ พี-เอ็น เมื่อทำการไบแอสกลับกับรอยต่อ ความกว้างของบริเวณดิวลิชันจะกว้างขึ้น เป็นสัดส่วนกับแรงดันที่ป้อนเข้าไปและอิเล็กตรอนจะพยายามวิ่งเข้าไปที่สารชนิดพี แต่พลังงานที่จะข้ามศักดาที่กั้นอยู่ไปนั้นมีได้น้อยมาก ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านมีน้อยเกือบเป็นศูนย์ แต่อิเล็กตรอนบางตัวจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อน จำนวนคู่ โฮล-อิเล็กตรอน จึงเกิดขึ้นและข้ามรอยต่อกลายเป็นกระแสรั่วไหลข้ามสนามของดิวลิชัน ค่ากระแสเนื่องจากแสงนี้มีค่าค่อนข้างต่ำมาก ดังนั้นการใช้งานของโฟโตไดโอดจะต้องมีตัวขยายกระแส

##### 5.1.2 ตัวรับแสง (Photodetector)

โฟโตดีเทคเตอร์เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นรูปพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงเป็นตัวจ่ายกระแสไบแอสให้ตัวขับกระแส ซึ่งจะถูกลบชดเชยโดยอัตราขยายกระแส ( $h_{FE}$ ) ของตัวขับกระแส นั้น ๆ ตัวขับกระแสมีหลายประเภท เช่น ทรานซิสเตอร์ ไตรโอด, ไดโอด ซึ่งจะเลือกใช้ตามงานที่เหมาะสม เช่น ไตรโอด, ไดโอด ใช้ในงานขับงานควบคุม

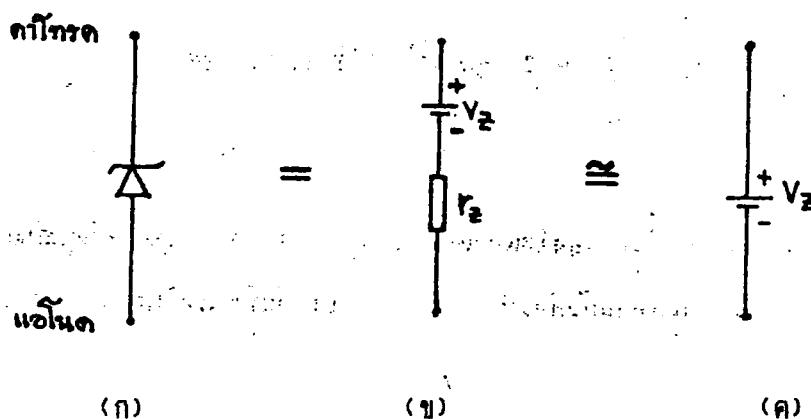
### 5.1.3 ออปโต คัปเลอร์ (Opto Coupler)

ออปโต คัปเลอร์ เป็นวงจรรวมที่มี ไดโอดเปล่งแสงและโฟโตทรานซิสเตอร์รวมอยู่ในตัวเดียวกัน สำหรับโครงงานพิเศษนี้เราใช้ออปโตคัปเลอร์เบอร์ MOC 3020 คุณสมบัติทั่วไป ไดโอดเป็นตัวขับไดโนแทนที่ที่รับแสงจากตัวไดโอด โดยที่ไดโอดนี้ใช้เป็นตัวทริกให้กับไทรแอกเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวไทรแอกมีค่าสูง จนทำให้ไทรแอกเสียหายได้และการที่ไดโอดสามารถนำกระแสได้สองทิศทาง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการควบคุมไฟสลับ ไดโอดเปล่งแสงที่ใช้เป็นแบบแสงอินฟราเรดทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ซึ่งต้องการกระแสสูงสุดไม่เกิน 50 mA ในการใช้งานทั่วไปจะใช้กระแสไหลผ่าน 30 mA ด้านเอาต์พุตเป็น ไทรแอกไวแสงที่ถูกควบคุมด้วยวงจรขั้วเกทที่จุดศูนย์ภายในไอซี โดยไทรแอกนี้สามารถทนกระแสได้ 100 mA และแรงดันได้ 400V แต่ถ้าต้องการขับโหลดที่ต้องการกระแสสูงๆ จะต้องนำไปต่อกับไทรแอกที่ทนกระแสสูงๆ อีกตัวหนึ่ง

### 5.2 อุปกรณ์สร้างสัญญาณทริกเกอร์

#### 5.2.1 ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode)

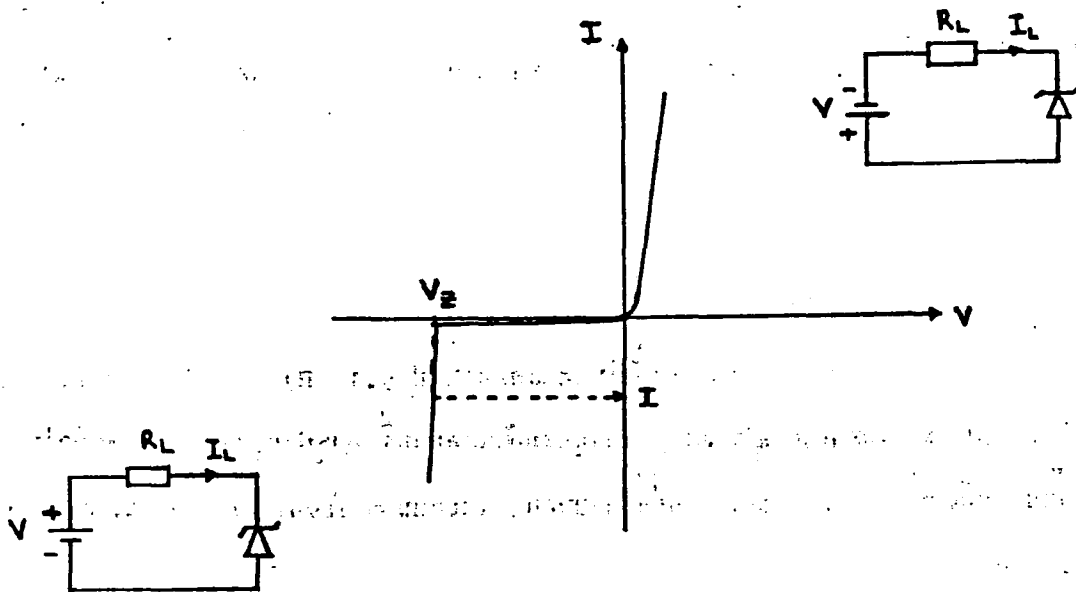
ซีเนอร์ไดโอดมีสัญลักษณ์โดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 5.1(ก) และเขียน equivalent circuit ได้เป็นความต้านทานค่าน้อย ๆ ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 5.1(ข) โดยทั่วไปความต้านทานนี้จะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานที่ต่อภายนอกเขียน equivalent ได้ดังรูป 5.1(ค)



รูปที่ 5.1 สัญลักษณ์ equivalent circuit ของซีเนอร์ไดโอด

คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดแสดงได้ ดังกราฟในรูปที่ 5.2 เมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับ ฟอว์เวิร์ดไบแอส คือ ขาแอนโอดได้รับแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทด ซีเนอร์ไดโอดจะนำ กระแส โดยมีคุณสมบัติเหมือนกับไดโอดเมื่อได้รับฟอว์เวิร์ดไบแอส แต่เมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับ รีเวิร์ดไบแอส คือ ขาแอนโอดได้รับแรงดันเป็นลบเมื่อเทียบกับแคโทดซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแส เมื่อแรงดันรีเวิร์ดไบแอสมากกว่าแรงดันพังทลายทางด้านรีเวิร์ด (reverse bias voltage =  $V_Z$ ) โดยที่แรงดันคร่อมซีเนอร์ไดโอดจะมีค่าค่อนข้างคงที่

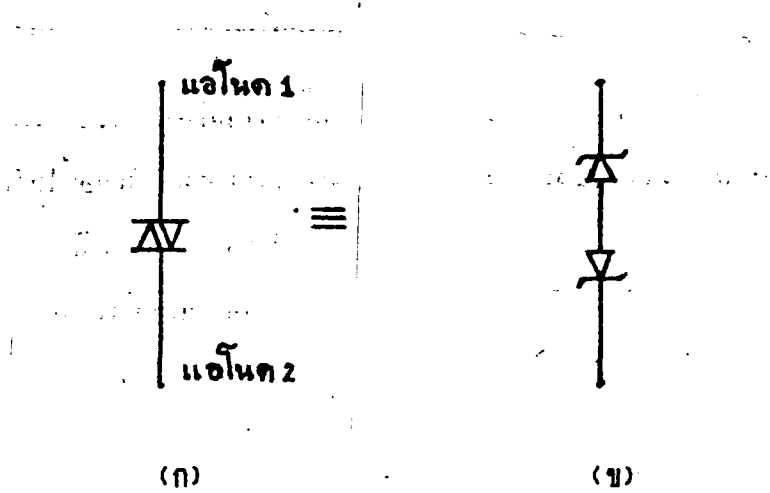
โดยทั่วไปจะนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ในวงจรกระแสที่ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจะโดย ประมาณเท่ากับ  $(V_S - V_Z)/R_L$  ซึ่งจะต้องไม่มากกว่าจำนวนวัตต์ของซีเนอร์ไดโอดทนได้ หากด้วยแรงดันพังทลายทางด้านรีเวิร์ดไบแอส แรงดันพังทลายทางด้านรีเวิร์ดนี้แล้วแต่ คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดแต่ละตัว



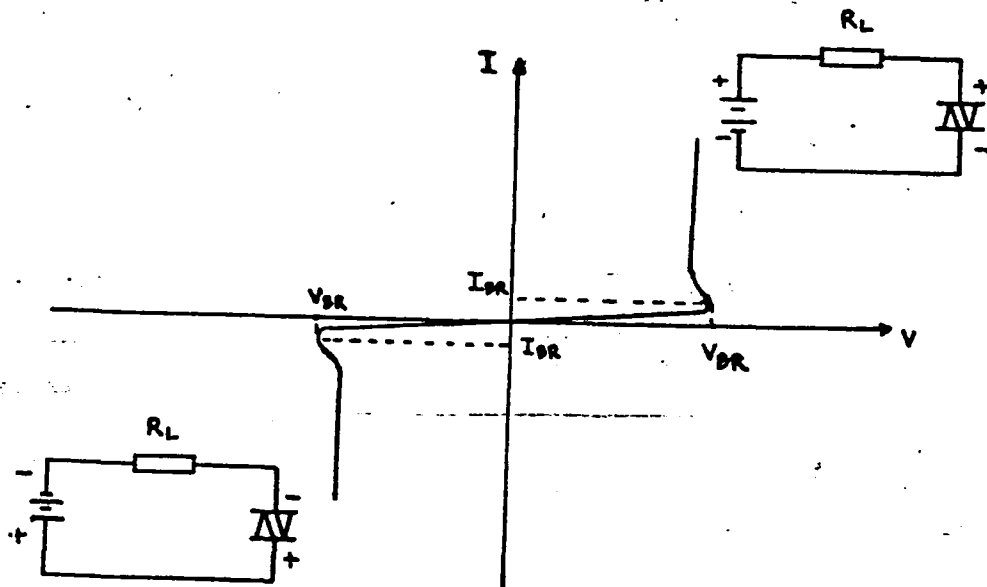
รูปที่ 5.2 คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

### 5.2.2 ไดแอต (Diac)

สัญลักษณ์ทั่วไปของไดแอตแสดงในรูปที่ 5.3 (ก) ไดแอตมีคุณสมบัติเหมือนกับซีเนอร์ ไดโอด 2 ตัวต่อกลับด้านกันดังรูปที่ 5.3 (ข) แรงดันที่ขั้วแอโนด 1 เป็นบวกเมื่อเทียบกับขั้วแอโนด 2 หรือแรงดันที่ขั้วแอโนด 2 เป็นบวกเมื่อเทียบกับขั้วแอโนด 1 ถ้าแรงดันมากกว่าแรงดันหนึ่ง ทลายแล้วไดแอตจะนำกระแส ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 สัญลักษณ์ของไดแอต

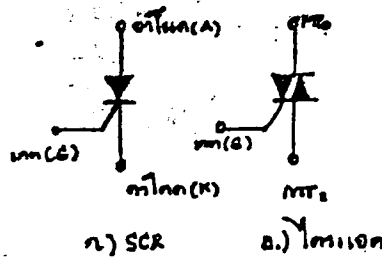


รูปที่ 5.4 คุณสมบัติของไดแอต

### 5.2.3 ไทริสเตอร์ (Thyristor)

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิด-เปิดได้ปกติโครงสร้างของไทริสเตอร์จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อ P>N-P>N ไทริสเตอร์อาจมีขาต่อใช้จำนวนตั้งแต่ 2 ขา ถึง 4 ขา และอาจจะเป็นชนิดนำกระแสในทิศทางเดียวหรือสองทิศทางก็ได้

การควบคุมโดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำให้มีประสิทธิภาพสามารถกระทำได้โดยใช้เอสซีอาร์ และ ไตรแอค ในรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ทั้งสอง ซึ่งมีส่วนที่เหมือนกันตรงที่มีขาให้กระแสไหลผ่านเข้า/ออก 2 ขา และมีขาเกตซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณคำสั่งว่าจะให้นำกระแสหรือไม่อีก 1 ขา กรณีของเอสซีอาร์ จะมีคุณสมบัติบางประการคล้ายกับตัวไดโอด คือ เอสซีอาร์ จะนำกระแสต่อ เมื่อมีสัญญาณคำสั่งมาเข้าที่ขาเกตและขาแอนโอดมีแรงดันไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาแคโทด ส่วนไตรแอคนั้นคล้ายกับเป็นเอสซีอาร์สองตัวขนานกันโดยหันหลังชนกัน ซึ่งทำให้ไตรแอคสามารถนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง คือ ไม่ว่าขา  $MT_2$  จะมีแรงดันไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบเมื่อเทียบกับ  $MT_1$  ก็ตาม ดังนั้นเมื่อใช้งานกับไฟสลับและให้สัญญาณเข้าที่ขาเกต เอสซีอาร์ จะนำกระแสเฉพาะในครึ่งช่วงคลื่นที่เป็นบวกเท่านั้น ในขณะที่ไตรแอคนำกระแสได้ทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบ

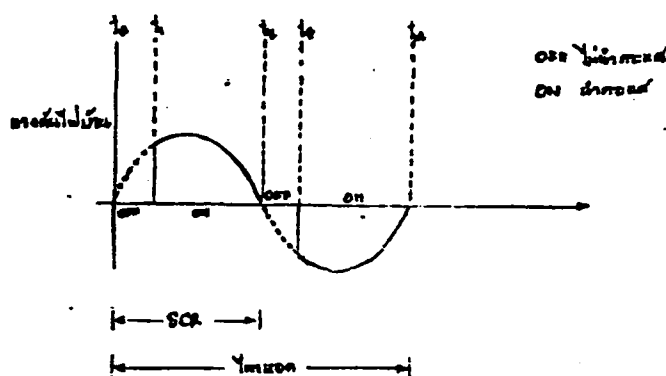


รูปที่ 5.5 แสดงคุณสมบัติของ เอสซีอาร์ และ ไตรแอค

เมื่อยังไม่มีการสแกนเข้ามามีขาต่อทั้งสองอย่าง คือ เอสซีอาร์และไตรแอคจะมีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทานที่มีค่าสูงมากจนเสมือนหนึ่งว่าเปิดวงจร เมื่อมีการสแกนที่มิชนาเดเนียงพอฉีดเข้าไปที่ขาเกตแล้ว การนำกระแสก็จะเริ่มขึ้นโดยความต้านทานภายในของอุปกรณ์ทั้งสองจะลดลงอย่างรวดเร็วลงไปสู่ค่าที่ต่ำมากและอุปกรณ์กึ่งตัวนำทั้งคู่จะอยู่ในสภานำกระแสไปเรื่อย ๆ

แม้ว่าจะเอากระแสเกทออกแล้วก็ตามจนกว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมันจะลดลงไปต่ำกว่าระดับกระแสยึด (holding current) วิธีที่ดีที่สุดที่ควรใช้ในการทำให้ เอสซีอาร์ หรือ ไตรแอดหยุดนำกระแสก็คือ ลดแรงดันคร่อมตัวมันให้เหลือศูนย์โวลต์ ซึ่งสภาวะนี้จะเกิดขึ้นสองครึ่งเสมอในหนึ่งช่วงคลื่น ถ้าหน่วงเวลาที่จะป้อนสัญญาณเกทออกไปกระตุ้นให้อุปกรณ์นำกระแสที่จุดหนึ่งจุดใดในช่วงคลื่น อุปกรณ์ทั้งสองนี้จะนำกระแสในช่วงเวลาที่เหลือของช่วงคลื่นนั้น ดังนั้นการควบคุมสัญญาณก็คือ การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายผ่านไปยังโหลดนั่นเอง

การทำงานของมันแสดงไว้แล้วใน รูปที่ 5.6 ที่เวลา  $t_0$  แรงดันในสายไฟบ้านเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งอุปกรณ์ทั้งสองต่างจะหยุดนำกระแส เอสซีอาร์ จะไม่นำกระแสในครึ่งช่วงลบที่ยังเหลืออยู่ แต่ ไตรแอดจะนำกระแสได้ถ้าเริ่มมีการให้สัญญาณเกทที่เวลา  $t_1$  อีกซึ่ง ไตรแอดจะนำกระแสไปจนหมดช่วงคลื่นที่ยังเหลืออยู่ จนมาถึงมาถึงจุดที่แรงดันเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งที่เวลา  $T_1$  ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองจะหยุดนำกระแส

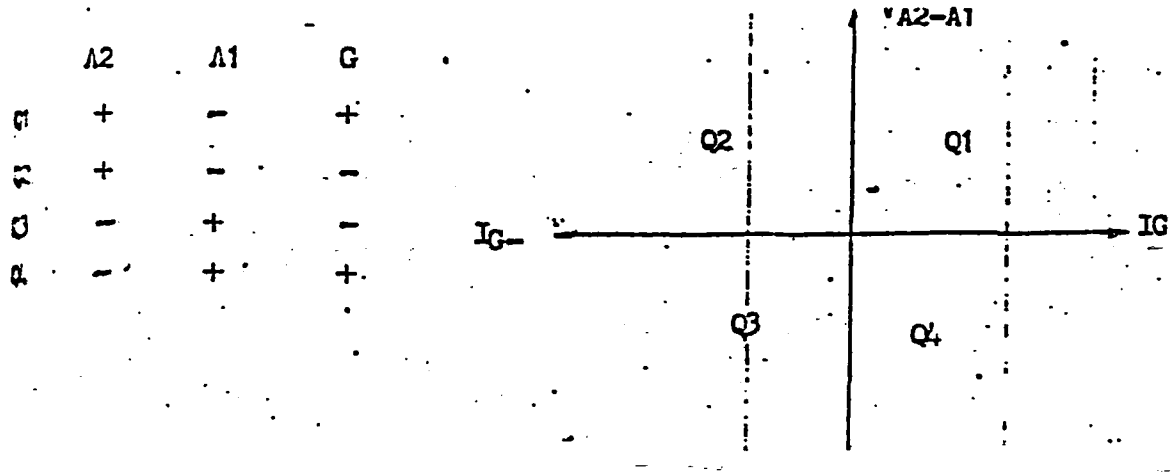


รูปที่ 5.6 แสดงรูปคลื่นการทำงานของ เอสซีอาร์และ ไตรแอด

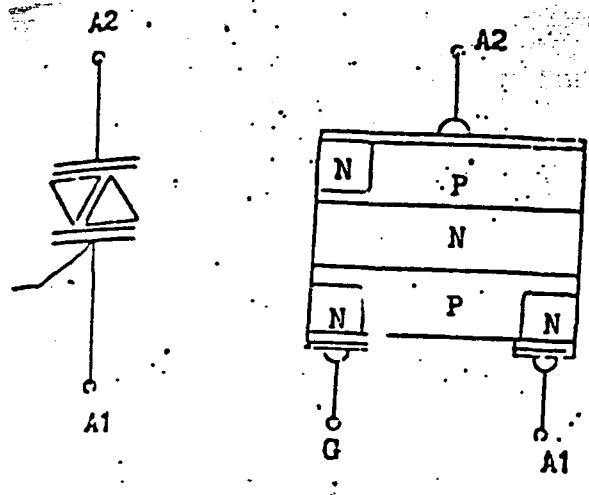
### 5.2.3.1 คุณสมบัติและการใช้งานของ ไตรแอด

5.2.3.1.1 โครงสร้างและลักษณะสมบัติ เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของ ไตรแอด เมื่อเปรียบเทียบกับ เอสซีอาร์ แล้วจะเห็นได้ว่าที่ขั้ว A1 A2 และ G จะสัมผัสกับเนื้อสารทั้งชนิด นี และ เอ็น ดังนั้น ไตรแอด จึงทำงานได้ทั้งด้านบวกและลบของไฟสลับ เพราะลักษณะของ ไตรแอด เหมือน เอสซีอาร์สองตัวต่อขนานกันโดยที่ขั้วแอนโอด และ แคโทด ต่อสลับกันและสามารถทริกให้ทำงานด้วยกระแสบวกหรือลบได้โดยทั่วไป ไตรแอดถูกใช้งานให้มีการนำกระแสได้ 4 แบบ

เรียกว่าควอดแรนท์ ดัง รูปที่ 5.7 แต่การใช้งานปกติมักใช้ในควอดแรนท์ 1 และ 3 เพราะมี ความไวต่อการทรึงสูงกว่า



รูปที่ 5.7 การทำงานของไตรแอดทั้ง 4 ควอดแรนท์



รูปที่ 5.8 โครงสร้างและลักษณะสมบัติ

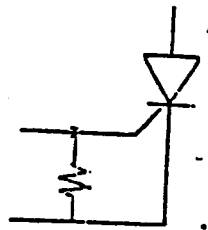
5.2.3.1.2 ข้อควรพิจารณาในการนำไดโอดไปใช้งาน กรณีควบคุมไฟสลั้บควรเลือกใช้ไดโอด การเลือกใช้ไดโอดให้เหมาะสมกับการใช้งานมีข้อควรพิจารณา คือ ชิดจำกัดแรงดัน ควรเลือกให้ทนมากกว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวอุปกรณ์เช่นไฟสลั้บ 220 โวลต์ จะมีค่าแรงดันสูงสุดตรงชอคคลื่นเป็น  $220 \times 2 = 308$  โวลต์ ทั้งด้านการนำกระแสตรงและกระแสสลับ กรณีทั่วไปใช้ไดโอดที่มีขนาด 400 โวลต์

สำหรับการใช้งานที่ปลอดภัย ชิดจำกัดกระแสต้องทนได้ไม่ต่ำกว่ากระแสไหลล (incandescent load) มีสูตรคำนวณดังนี้

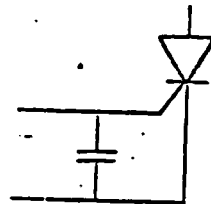
$$\text{กระแสจากโหลดความต้านทาน} < \text{กระแสของไดโอด} / 1.25$$

$$\text{กระแสจากขดลวดความร้อน} < \text{กระแสไดโอด} / 2$$

### 5.2.3.1.3 การต่อสัญญาณเข้าขาเกต



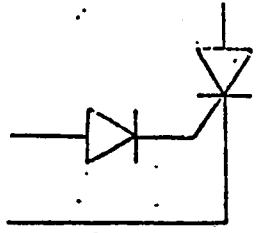
รูปที่ 5.9



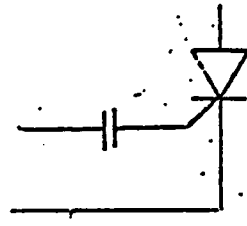
รูปที่ 5.10

รูปที่ 5.9 การต่อตัวต้านทานคร่อมเกต-แคโธด ของไดโอด มีผลให้ไดโอดนำกระแสได้ยากจากการกระชากของแรงดันไฟฟ้า การหยุดนำกระแสเร็วขึ้น ผลที่ตามมาจะต้องใช้กระแส ในการทำให้ไดโอดหยุด และทำงานสูงขึ้น

รูปที่ 5.10 การต่อตัวเก็บประจุคร่อม เกต-แคโธด ของไดโอดมีผลให้ไดโอดทนต่อการกระชากของแรงดันไฟฟ้าดีขึ้นไม่ทำงานได้ง่าย ขจัดสัญญาณรบกวนความถี่สูงได้ ผลที่ตามมาจะทำให้สัญญาณทริกมาช้าลง เวลาในการเริ่มทำงานช้าลง และเวลาในการหยุดทำงานช้าลง



รูปที่ 5.11



รูปที่ 5.12

รูปที่ 5.11 การต่อไดโอดอนุกรมขาเกทของไทรแอด ช่วยลดการทริกและป้องกัน ไทรแอดเสียหายได้

รูปที่ 5.12 การต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับขาเกทของไทรแอด มีผลทำให้เกิดการ แยกสัญญาณไฟตรงไม่ให้เข้าสู่ขาเกทแต่จะมีผลทำให้ไทรแอดนำกระแสได้ยาก กรณีที่สัญญาณทริก เป็นพัลส์แคบ ๆ

## บทที่ 6

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงการพิเศษนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องให้อาหารและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 ส่วนมีส่วนควบคุมการทำงานตัวเดียวกัน รายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

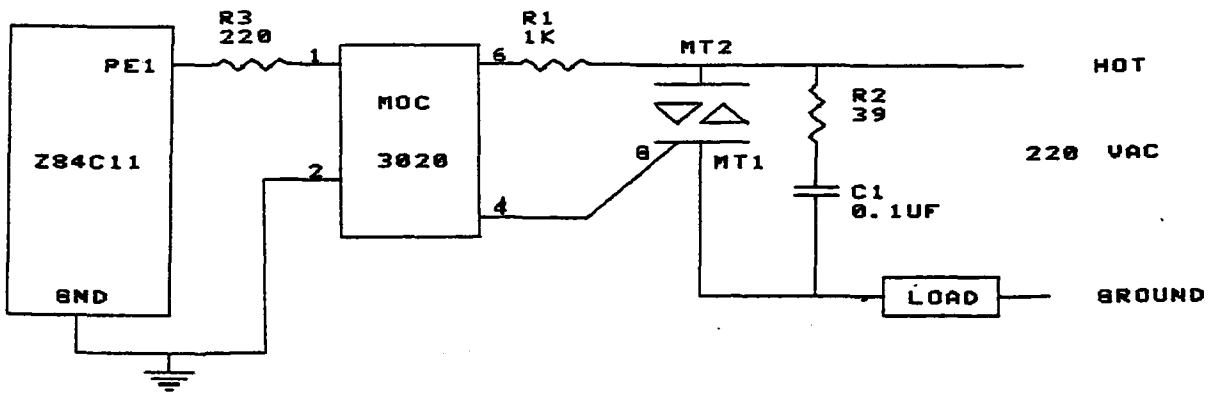
#### 6.1 ส่วนควบคุมการทำงาน

ขั้นตอนแรกในการทำโครงการพิเศษนี้ คือ เลือกส่วนควบคุมการทำงาน สำหรับโครงการพิเศษนี้ เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Z84C11 ควบคุมการทำงาน

#### 6.2 เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

ในส่วนของเครื่องให้อาหารนอกเหนือจากส่วนควบคุมการทำงานประกอบไปด้วย  
ถังเก็บอาหาร เลือกใช้ถังสังกะสีมีฝาปิดทรงกระบอกกรวยปริมาตร 1 ลูกบาศก์ฟุต  
ตัวดึงลิ้นสำหรับปิดปล่อยอาหาร เลือกใช้โซลินอยด์เบรก ขนาดแรงดึง 1 กิโลกรัม  
ตัวตั้งค่าเวลา ใช้คีย์บอร์ด 3\*4

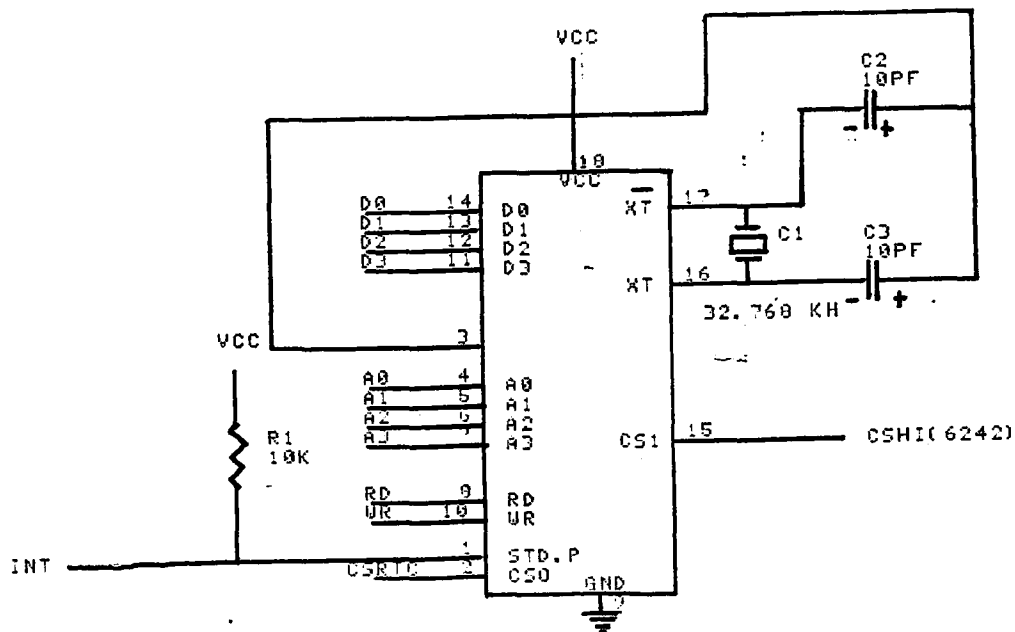
สวิทช์ หรือ วงจรขับกระแส ใช้ฮอปโตคัปเปอเรอร์ เบอร์ MOC 3020 เชื่อมต่อกับ  
ไดโอดขับสัญญาณให้กับไทรแอก (ไอซีเบอร์ T2500D) เป็นส่วนที่รับผลมาจากพอร์ต C บิตที่ 6 ของ  
Z84C11 เพื่อทำการทริกขาเกต แสดงวงจรดังรูป 6.1



รูป 6.1 แสดงวงจรขับกระแส

ส่วนแสดงผล โดยจอ LCD MODULE

อุปกรณ์ควบคุม โดยวงจรมานิก้า อาร์ ที ซี เป็นวงจรที่ใช้บอกเวลาจริงให้กับ Z84C11 โดยใช้ไอซีเบอร์ MSM 6242B สำหรับตั้งค่าเวลาในการให้อาหารปลา วงจรมานิก้า อาร์ ที ซี นี้จะต่อเข้ากับ สัญญาณ INT ของ Z84C11 ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรมานิก้า

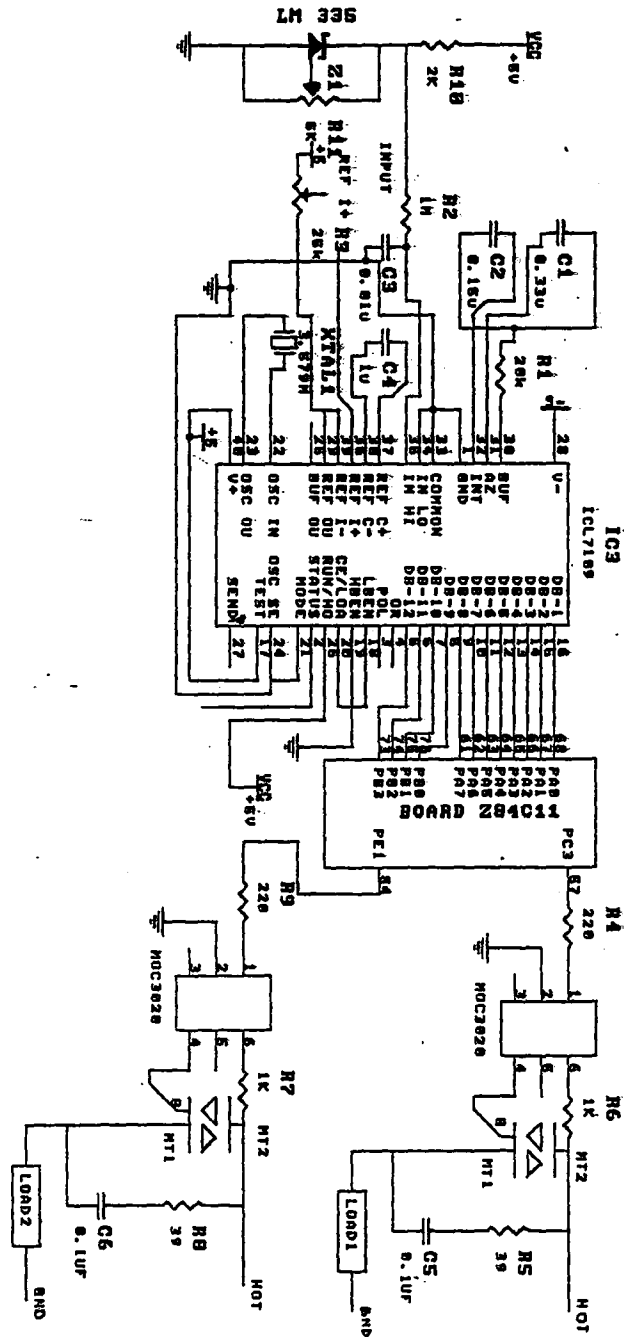


วงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอล ใช้ ICL7109 ซึ่งเป็น ADC ชนิด Dual Slope Integrating ขนาด 12 bit โดย ICL7109 เป็น IC CMOS ซึ่งกินกำลังไฟต่ำ และสามารถติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ง่าย โดยข้อมูลเอาต์พุต ( 12 bit, bit polarity และ bit overrange ) สามารถควบคุมได้โดยขาอินพุต 2 ขา และ chip select input ICL7109 จะรับสัญญาณจาก LM335 เมื่อแปลงสัญญาณแล้วจะส่งข้อมูลให้กับ Z84C11 ทางพอร์ต A 8 บิต และ พอร์ต B 4 บิตล่าง

สวิทช์ หรือ วงจรขั้วกระแส ใช้วงจรดังรูปที่ 6.2

ตัวทำความร้อน เลือกใช้แบบจุ่มและใช้ไฟฟ้า ขนาด 1 กิโลวัตต์

การทำงานของเครื่องจะได้ ความละเอียดของอุณหภูมิเท่ากับ 0.1 องศาเซลเซียส Z84C11 จะควบคุมตัวทำความร้อนให้ทำงานเมื่ออุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 26.5 องศาเซลเซียส โดยส่งค่า 00H ออกที่พอร์ต C และหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 29.5 องศาเซลเซียส โดยส่งค่า 0FH ออกที่พอร์ต C และจะมีการรับค่าใหม่เข้ามาเปรียบเทียบทุก ๆ 5 วินาที



รูป 6.4 วงจรเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

## บทที่ 7

### การทดลองและการใช้งาน

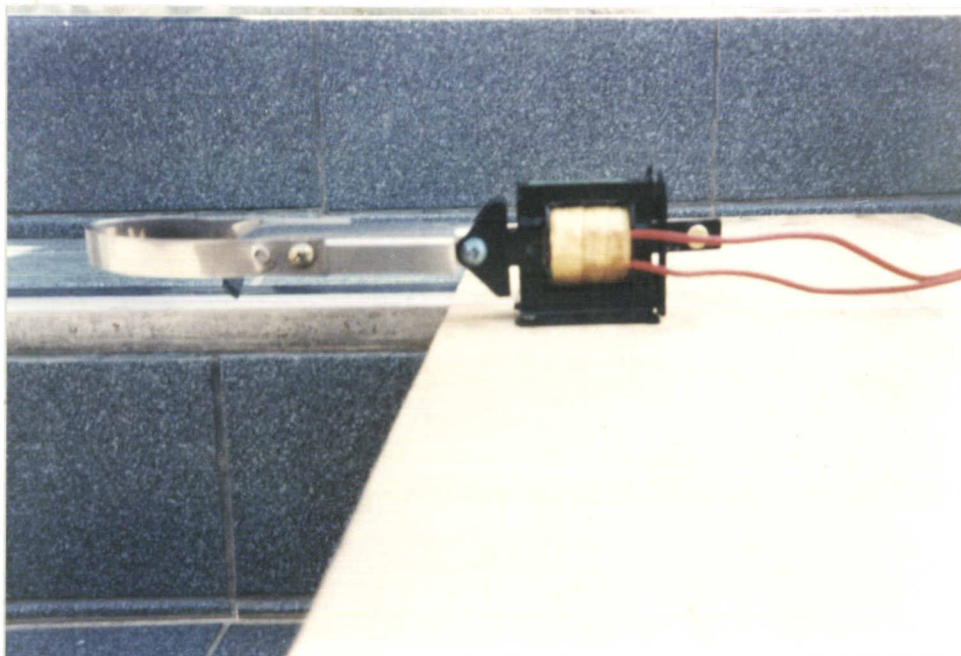
#### 7.1 เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

ในส่วนเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ เราได้ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 8.1 ซึ่งประกอบด้วย โซลินอยด์เบรกและ ที่ปล่อยอาหาร โดยใช้ Z84C11 เป็นตัวควบคุม ในการทดลองเราทำการ ตั้งค่าเวลาในการให้อาหาร 5 ครั้งต่อ/วัน ซึ่งปริมาณอาหารแต่ละครั้งประมาณ 200 กรัม โดย อาศัยการกดคีย์บอร์ดเป็นตัวตั้งเวลา

ผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อฐานเวลาจริงรันทมาถึงเวลาที่ตั้งไว้ Z84C11 จะไปควบคุมให้สวิทซ์การทำงานไปตรึงลิ้นของโซลินอยด์ให้เปิด ทำให้อาหารไหลตกลงมา ซึ่งปริมาณอาหาร 200 กรัม จะใช้เวลาในการไหลของอาหารประมาณ 5 วินาที จากนั้น Z84C11 จะไปควบคุมให้ สวิทซ์การทำงานตรึงโซลินอยด์ ทำให้ลิ้นเกิดการติงกลับและปิดช่องปล่อยอาหาร ทำให้อาหารหยุดไหล



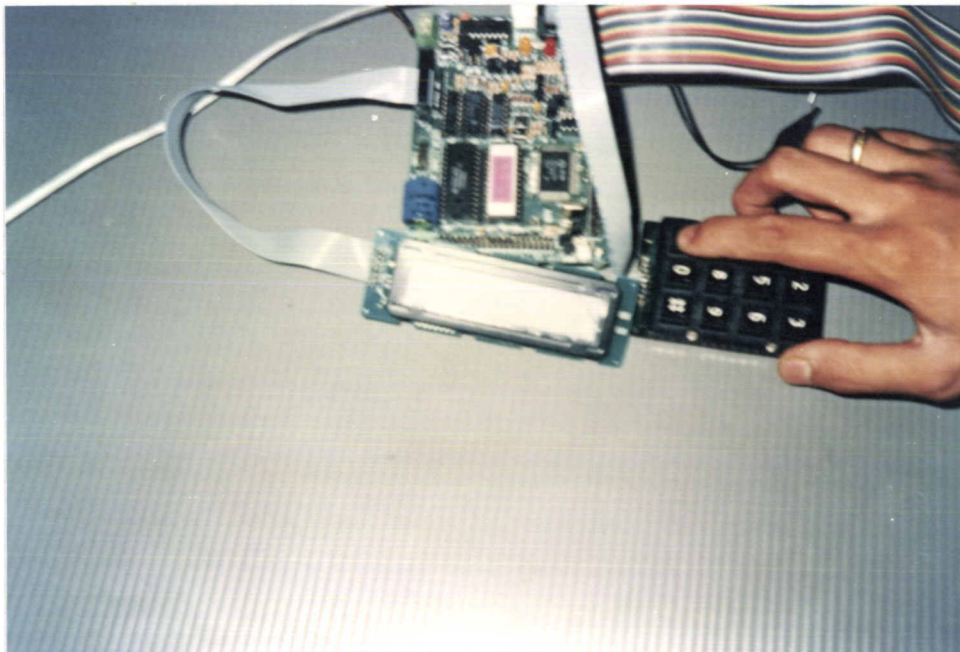
รูปที่ 7.1 อ่างเลี้ยงปลาที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้



รูปที่ 7.2 โซลินอยด์เบรก และ ลิน ปล่อยอาหาร



รูปที่ 7.3 บ่อเลี้ยงปลาเมื่อติดตั้งเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ



รูปที่ 7.4 แสดงการกดคีย์บอร์ดเพื่อตั้งเวลาในการปล่อยอาหาร

## 7.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

### 7.2.1 การเก็บข้อมูลที่ได้จากเอาท์พุทของ LM335 เปรียบเทียบกับค่าตามทฤษฎี ก่อนต่อเข้ากับวงจรควบคุมการทำงาน

ค่าอุณหภูมิ องศาเซลเซียส	แรงดันเอาท์พุท ที่วัดได้	ค่าแรงดัน ตามทฤษฎี	ค่าผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด
8	2.811	2.81	0.001	0.035
10	2.832	2.83	0.002	0.070
12	2.851	2.85	0.001	0.035
14	2.872	2.87	0.002	0.070
16	2.891	2.89	0.001	0.034
18	2.913	2.91	0.003	0.103
20	2.931	2.93	0.002	0.068
22	2.951	2.95	0.001	0.034
24	2.970	2.97	0.000	0.000
25	2.980	2.98	0.000	0.000
26	2.993	2.99	0.003	0.100
27	3.002	3.00	0.002	0.067
28	3.011	3.01	0.001	0.033
29	3.024	3.02	0.004	0.132
30	3.028	3.03	0.002	0.066

ตารางที่ 7.1 แสดงผลการบันทึกค่าแรงดันจากการตรวจวัดอุณหภูมิของ LM 335

ค่าอุณหภูมิ องศาเซลเซียส	แรงดันเอาท์พุท ที่วัดได้	ค่าแรงดัน ตามทฤษฎี	ค่าผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด
31	3.041	3.04	0.001	0.033
32	3.052	3.05	0.002	0.065
33	3.064	3.06	0.004	0.131
34	3.077	3.07	0.007	0.228
36	3.094	3.09	0.004	0.130
38	3.109	3.11	0.001	0.032
40	3.132	3.13	0.002	0.066
45	3.185	3.18	0.005	0.157
52	3.263	3.25	0.013	0.400
58	3.348	3.31	0.038	1.148
62	3.354	3.35	0.004	0.120
68	3.446	3.41	0.035	1.026

ตารางที่ 7.1 (ต่อ) แสดงผลการบันทึกค่าแรงดันจากการตรวจวัดอุณหภูมิของ LM 335

จากตารางที่ 7.1 เป็นผลการทดลองการวัดค่าอุณหภูมิ ของ LM 335 ในช่วงอุณหภูมิ  
กว้าง ๆ (6-68 องศาเซลเซียส) ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดที่มีความคลาด  
เคลื่อนค่อนข้างสูง แต่สำหรับวงจรที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้จริง ๆ แล้ว ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้  
ชนิดทริมพอดซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ ผลการทดลองที่ได้ แสดงดังตาราง 7.2

ค่าอุณหภูมิ องศาเซลเซียส	แรงดันเอาท์พุท ที่วัดได้	ค่าแรงดัน ตามทฤษฎี	ค่าผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด
25.0	2.980	2.980	0.00	0.00
25.5	2.985	2.985	0.00	0.00
26.0	2.990	2.990	0.00	0.00
26.5	2.995	2.995	0.00	0.00
27.0	3.000	3.000	0.00	0.00
27.2	3.002	3.002	0.00	0.00
27.4	3.004	3.004	0.00	0.00
27.6	3.006	3.006	0.00	0.00
27.8	3.008	3.008	0.00	0.00
28.0	3.010	3.010	0.00	0.00
28.2	3.012	3.012	0.00	0.00
28.4	3.014	3.014	0.00	0.00
28.6	3.016	3.016	0.00	0.00
28.8	3.018	3.018	0.00	0.00
29.0	3.020	3.020	0.00	0.00
29.2	3.022	3.022	0.00	0.00
29.4	3.024	3.024	0.00	0.00
29.6	3.026	3.026	0.00	0.00
29.8	3.028	3.028	0.00	0.00

ตาราง 7.2 แสดงค่าแรงดันที่วัดได้จาก วงจรที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ชนิดทริมพอดในช่วง  
อุณหภูมิที่ใช้งาน

ค่าอุณหภูมิ องศาเซลเซียส	แรงดันเอาท์พุท ที่วัดได้	ค่าแรงดัน ตามทฤษฎี	ค่าผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด
30.0	3.030	3.030	0.00	0.00
30.5	3.035	3.035	0.00	0.00
31.0	3.040	3.040	0.00	0.00
31.5	3.044	3.045	0.001	0.033
32.0	3.049	3.050	0.001	0.033
32.5	3.053	3.055	0.002	0.065
33.0	3.058	3.060	0.002	0.065

ตาราง 7.2 (ต่อ) แสดงค่าแรงดันที่วัดได้จาก วงจรที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้  
ชนิดทริมพอดในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน

อุณหภูมิที่ทำการทดลองเป็นอุณหภูมิในช่วงของการใช้งานของโครงการพิเศษนี้

อันดับเดิม องค์าเซลเซียส	อันดับใหม่ องค์าเซลเซียส	เวลาที่ใช้ วินาที
19	20	2.8
20	21	2.9
21	22	2.7
22	23	2.8
23	24	2.7
24	25	2.5
25	26	2.4
26	27	2.5
27	28	2.4
28	29	2.3
29	30	2.3
30	31	2.2
31	32	2.1
32	33	2.2
33	34	2.0
34	35	1.9
35	36	2.0
36	37	2.0
37	38	1.9

ตาราง 7.3 แสดงการใช้เวลาในการตรวจนับอันดับของ LM 335

ผลการทดลองแสดงค่าเวลาที่ LM 335 ใช้จากอันดับเริ่มต้นถึงอันดับสุดท้าย

7.2.2 การเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ ทำการทดลองและเก็บข้อมูล 3 ครั้ง ณ เวลาต่าง ๆ ดังนี้

ครั้งที่ 1

เวลา	อุณหภูมิ (องศา C)	เวลา	อุณหภูมิ (องศา C)
07.00	26.7	12.00	29.7
07.30	26.9	12.30	30.1
08.00	27.5	13.00	29.8
08.30	28.0	13.30	29.5
09.00	28.2	14.00	30.2
09.30	28.7	14.30	30.3
10.00	29.3	15.00	30.1
10.30	29.5	15.30	29.8
11.00	29.8	16.00	30.2
11.30	30.1	16.30	29.5
12.00	30.0	17.00	29.7

ตาราง 7.4 ข้อมูลการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2

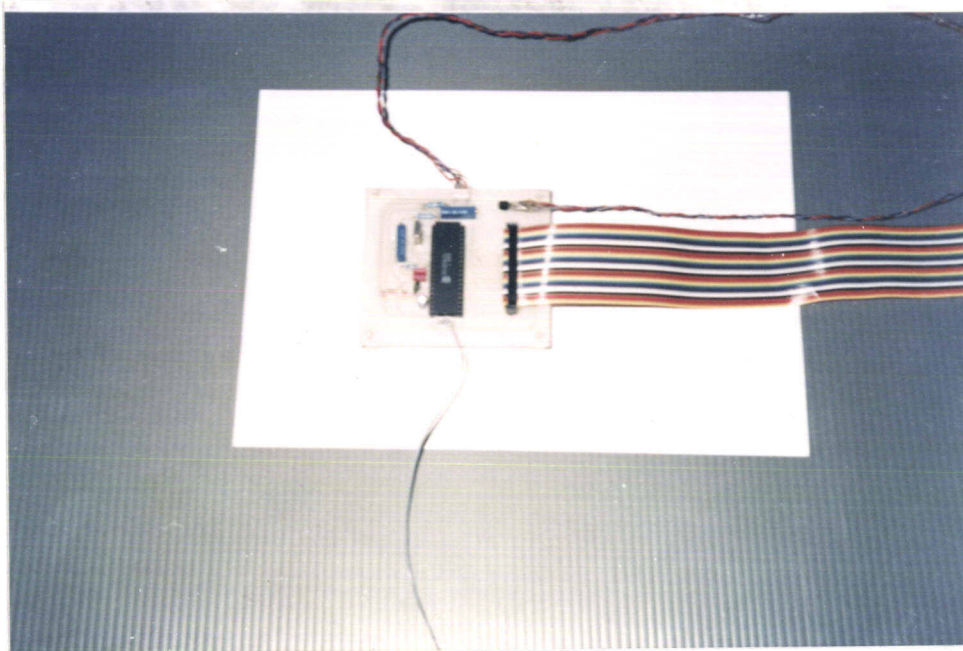
เวลา	อุณหภูมิ (องศา C)	เวลา	อุณหภูมิ (องศา C)
07.00	25.2	13.30	29.4
07.30	26.0	14.00	30.2
08.00	26.5	14.30	30.1
08.30	26.8	15.00	29.7
09.00	27.0	15.30	29.3
09.30	27.8	16.00	29.6
10.00	29.1	16.30	29.7
10.30	29.4	17.00	29.1
11.00	29.3	17.30	29.3
11.30	29.5	18.00	29.6
12.00	29.6	18.30	29.3
12.30	29.5	19.00	29.0
13.00	29.8	19.30	28.7

ตาราง 7.5 ข้อมูลการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ น้ำ ครั้งที่ 2

ครั้งที่ 3

เวลา	อุณหภูมิ (องศา C)	เวลา	อุณหภูมิ (องศา C)
14.00	29.7	18.20	29.2
14.20	29.9	18.40	29.5
14.40	29.5	19.00	29.4
15.00	29.7	19.20	29.7
15.20	29.2	19.40	29.6
15.40	29.7	20.00	29.3
16.00	29.8	20.20	29.0
16.20	29.2	20.40	28.8
16.40	29.0	21.00	28.9
17.00	28.8	21.20	29.1
17.20	28.5	21.40	29.2
17.40	28.7	22.00	28.5
18.00	29.0	22.20	28.7

ตาราง 7.6 ข้อมูลการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ น้ำ ครั้งที่ 3



รูปที่ 7.5 แผงวงจรเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ



รูปที่ 7.6 ตัวทำความร้อน



รูปที่ 7.8 การเก็บข้อมูลของอุณหภูมิและเวลาในบ่อเลี้ยงปลา

## บทที่ 8

### สรุปผลและวิจารณ์

#### 8.1 สรุปผล

##### 8.1.2 เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถตั้งเวลาในการให้อาหารปลาได้ โดยการกดคีย์บอร์ดและอาหารไหลลงสู่บ่อปลาตามเวลาที่ตั้งไว้ได้ โดยอาหารจะไหลแต่ละครั้งนาน 5 วินาที ได้ปริมาณอาหารครั้งละประมาณ 200 กรัม

##### 8.2.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ

สำหรับ LM335 อุณหภูมิที่ทำการทดลองเก็บข้อมูล เป็นอุณหภูมิในช่วงของการใช้งานของโครงการพิเศษ พบว่า ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 25 - 30 องศาเซลเซียส LM 335 จะมีความเที่ยงตรงสูงแต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ก็จะมี ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นด้วย

จากตารางที่ 7.3 เป็นผลการทดลองแสดงค่าเวลาที่ LM 335 ใช้จากอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิสุดท้าย ผลที่ได้สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น LM 335 จะมีความไวในการตรวจจับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากผลในตารางที่ 2 และ 3 สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความไวในการตรวจจับอุณหภูมิของ LM 335 จะเพิ่มขึ้นและจะเกิดความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นตามมาด้วย และสำหรับอุณหภูมิในช่วงของการใช้งานของโครงการพิเศษนี้ (27-30 องศาเซลเซียส) ค่าความคลาดเคลื่อนมีน้อยมากสามารถยอมรับได้ และเวลาที่ใช้จากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสุดท้าย ประมาณ 2.3 วินาที

และจากผลการทดลองที่ได้ สำหรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 27 - 30 องศาเซลเซียส มีค่าผิดพลาดสูงสุด + 0.3 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

## 8.2 ข้อเสนอนახ

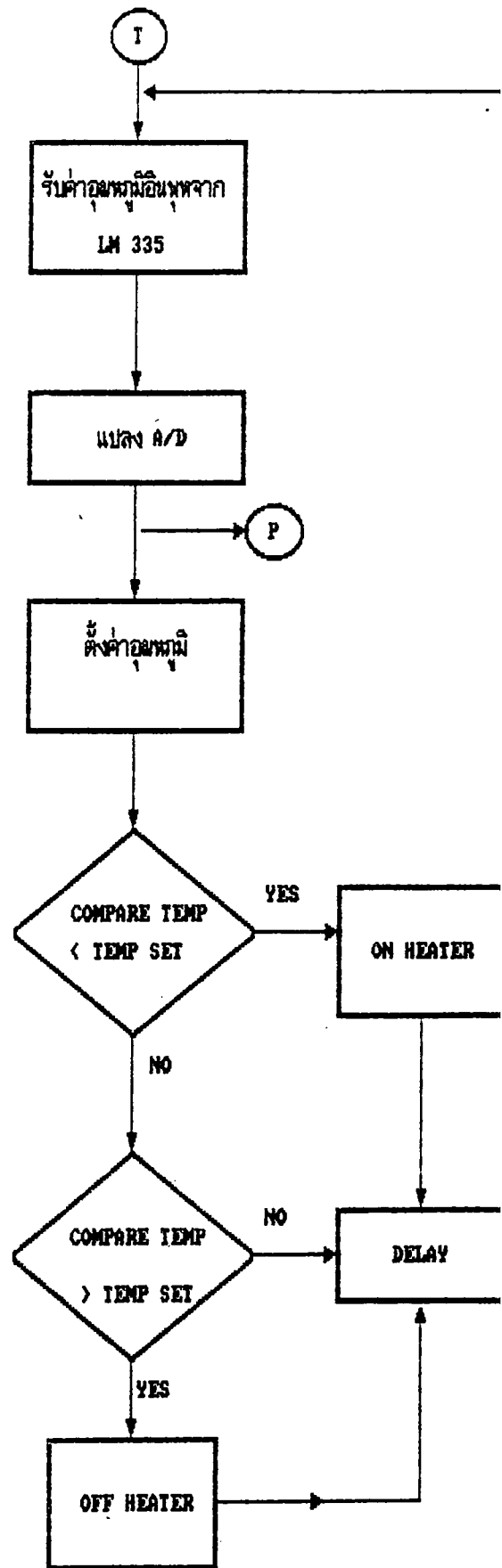
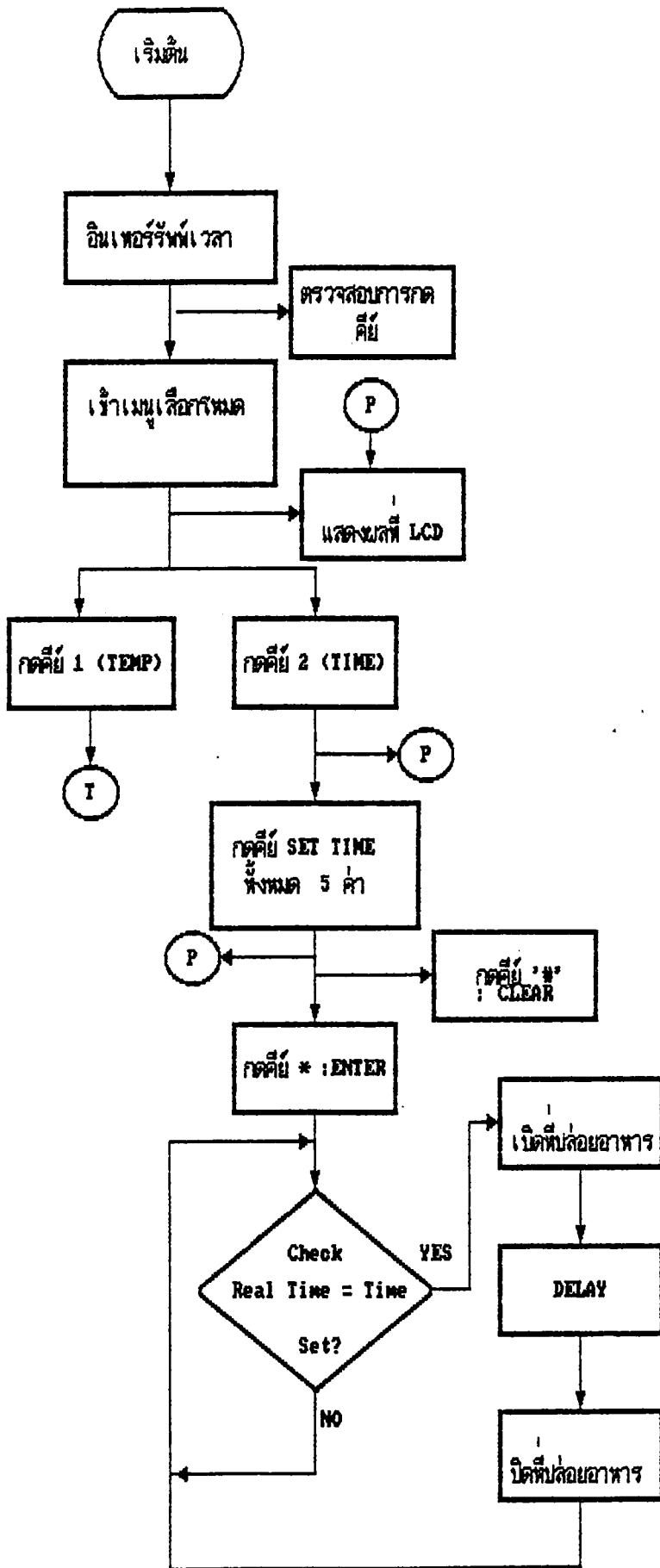
เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการให้อาหารปลาแต่ละครั้งได้จากการไหลครั้งละ 5 วินาที เป็นครั้งละ 10 วินาที หรือมากกว่านั้นโดยอาหารจะไหล 2 วินาที หยุดไหล 2 วินาที หรือตามความเหมาะสม ใช้ในกรณีปลาขนาดเล็กเพื่อป้องกันการตกค้างของอาหาร

เครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำสามารถใช้กับบ่อน้ำที่มีปริมาตรมากกว่าที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ได้ เนื่องจากส่วนควบคุมสามารถสั่งการทำงานให้กับตัวทำความร้อนได้ถึง 8 ตัว โดยการเพิ่มจำนวนวงจรสวิทช์การทำงานและตัวทำความร้อน

ภาคผนวก ก

# ภาคผนวก ก

## FLOW CHART



ภาคผนวก ข

# ภาคผนวก ข

## โปรแกรมการทำงาน

0000 CPU "Z80.TBL"

0000 HOF "INT8"

\*\*\*\*\*

; Program Monitor

; Eprom Version

; These interrupt address must be set correctly

;

; ADDRESS                      PROGRAM                      REMARK

;

;     0                      JUMP TO START PROGRAM                      START

;     38H                      JUMP TO RTC PROGRAM                      IM1

;     56H                      IRET                      NMIO

;

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

; VARIABLE

\*\*\*\*\* PORT LCD \*\*\*\*\*

0080 =             PDATA:     EQU     80H

0082 =             PSING:     EQU     82H

0084 =             PREAD:     EQU     84H

;

\*\*\*\*\* PORT CONTROL TEMP \*\*\*\*\*

0054 =       CONTA:     EQU  54H  
0050 =       PORTA:     EQU  50H  
0055 =       CONTB:     EQU  55H  
0051 =       PORTB:     EQU  51H  
0056 =       CONTC:     EQU  56H  
0052 =       PORTC:     EQU  52H

\*\*\*\*\*

;

\*\*\*\*\* PORT KEYBOARD \*\*\*\*\*

0030 =       PORTD:     EQU  30H  
0034 =       CONTD:     EQU  34H

\*\*\*\*\*

00A0 =       RTC:        EQU  0A0H  
00A0 =       SEC1:       EQU  RTC  
00A1 =       SEC10:      EQU  RTC+1  
00A2 =       MIN1:       EQU  RTC+2  
00A3 =       MIN10:     EQU  RTC+3  
00A4 =       HOUR1:      EQU  RTC+4  
00A5 =       HOUR10:     EQU  RTC+5  
00AD =       CREG\_D:     EQU  RTC+0DH  
00AE =       CREG\_E:     EQU  RTC+0EH  
00AF =       CREG\_F:     EQU  RTC+0FH  
003A =       COLON:     EQU  3AH  
0040 =       PORTE:     EQU  40H  
0044 =       CONTE:     EQU  44H  
9500 =       BUFF:       EQU  9500H  
9506 =       BUFFT1:    EQU  9506H

```

;*****
;
;           MAIN PROGRAM
;
;           START
;*****

0000          ORG   0000H

0000 C36800   MONIT_START:  JP  REAL_START

0038          ORG   0038H

0038 C39301   IM1_SUB:     JP  RTC_INT

0066          ORG   0066H

0066 ED45    NMI_SUB:     RETN

0068 F3      REAL_START:  DI                ; no accept NMI
0069 ED56                    IM 1          ; set interrupt to mode 1
006B 31609E                    LD SP, 9E60h ; set stack memory
006E 3E01    LD  A, 01H        ; set 24h or 12h
0070 D3AF                    OUT (CREG_F), A
0072 3E04                    LD  A, 04H
0074 D3AF                    OUT (CREG_F), A ; set 24h
0076 D3AE                    OUT (CREG_E), A ; set INT every 1 sec
0078 CDOF01   CALL SETTIME    ; get real time clock

007B FB      EI
007C CD8309   CALL CLRLCD
007F 21FB00   LD  HL, WAIT_DISPLAY

```

0082 CD9D09 CALL WRLCDLINE  
0085 CD9800 CALL TDELAY  
0088 CD8309 TIME: CALL CLRLCD  
008B CDD609 STOP: CALL SCAN  
008E FEFE CP OFEH  
0090 287A JR Z,TT  
0092 AF XOR A  
0093 CDCF01 CALL WRITE\_RTC  
0096 18F3 JR STOP

0098 C5 TDELAY: PUSH BC  
0099 E5 PUSH HL  
009A 064B LD B,75D  
009C 4B TDELAY1: LD C,B  
009D 06FA LD B,250D  
009F 2A0000 TDELAY2: LD HL,(00)  
00A2 2A0000 LD HL,(00)  
00A5 2A0000 LD HL,(00)  
00A8 2A0000 LD HL,(00)  
00AB 2A0000 LD HL,(00)  
00AE 2A0000 LD HL,(00)  
00B1 2A0000 LD HL,(00)  
00B4 2A0000 LD HL,(00)  
00B7 2A0000 LD HL,(00)  
00BA 2A0000 LD HL,(00)  
00BD 2A0000 LD HL,(00)  
00C0 2A0000 LD HL,(00)  
00C3 2A0000 LD HL,(00)  
00C6 2A0000 LD HL,(00)

```

00C9 2A0000      LD HL,(00)
00CC 2A0000      LD HL,(00)
00CF 2A0000      LD HL,(00)
00D2 2A0000      LD HL,(00)
00D5 2A0000      LD HL,(00)
00D8 2A0000      LD HL,(00)
00DB 2A0000      LD HL,(00)
00DE 2A0000      LD HL,(00)
00E1 2A0000      LD HL,(00)
00E4 2A0000      LD HL,(00)
00E7 2A0000      LD HL,(00)
00EA 2A0000      LD HL,(00)
00ED 2A0000      LD HL,(00)
00F0 10AD        DJNZ TDELAY2
00F2 41          LD B,C
00F3 10A7        DJNZ TDELAY1
00F5 E1          POP HL
00F6 C1          POP BC
00F7 C9          RET
00F8 5570646174WAIT_DISPLAY: DFB "Update RTC....  "

```

```

010C          TT:          ;DI
010C C39E02          JP MODE0

```

```

010F          SETTIME:  ;DI
010F CD6B09          CALL INIT

```

```

;-----
; show last hour
;_____

```

0112 3E07	LD A, 07 ; set time	
0114 D3AF	OUT (CREG_F), A	
0116 0E10	LD C, 10H	
0118 217F01	LD HL, DISPLAY1	
011B C0A0A	CALL DELAY1	
011E CD9D09	CALL WRLCDLINE	
0121 3E40	LD A, 40H	
0123 CD8E09	CALL GOTODDRAM	
0126 CD6C01	CALL CHECKKEY	; enter hour
0129 2839	JR Z, SETEND	
012B D3A5	OUT (HOUR10), A	
012D CD6C01	CALL CHECKKEY	
0130 2832	JR Z, SETEND	
0132 E60F	AND OFH	
0134 D3A4	OUT (HOUR1), A	
0136 163A	LD D, COLON	
0138 CDAC09	CALL WRLCDBYTE	
013B CD6C01	CALL CHECKKEY	; enter minute
013E 2824	JR Z, SETEND	
0140 E60F	AND OFH	
0142 D3A3	OUT (MIN10), A	
0144 CD6C01	CALL CHECKKEY	
0147 281B	JR Z, SETEND	
0149 E60F	AND OFH	
014B D3A2	OUT (MIN1), A	
014D 163A	LD D, COLON	

```

014F CDAC09          CALL WRLCDBYTE
0152 CD6C01          CALL CHECKKEY          ;enter second
0155 280D            JR Z, SETEND
0157 E60F            AND OFH
0159 D3A1            OUT (SEC10), A
015B CD6C01          CALL CHECKKEY
015E 2804            JR Z, SETEND
0160 E60F            AND OFH
0162 D3A0            OUT (SEC1), A

0164 AF              SETEND: XOR A
0165 D3AD            OUT (CREG_D), A
0167 3E04            LD A, 04H
0169 D3AF            OUT (CREG_F), A
016B C9              RET
016C CDC609          CHECKKEY: CALL SCAN_KEY
016F FE0B            CP OBH
0171 280B            JR Z, EXIT_CHECK
0173 F5              PUSH AF
0174 57              LD D, A
0175 CDAC09          CALL WRLCDBYTE
0178 7A              LD A, D
0179 D630            SUB 30H
017B 57              LD D, A
017C F1              POP AF
017D 7A              LD A, D
017E C9              EXIT_CHECK: RET
017F 456E746572DISPLAY1: DFB "Enter new time:  "

```

-----

```

0193 F5      RTC_INT:  PUSH AF
0194 C5              PUSH BC
0195 D5              PUSH DE
0196 E5              PUSH HL

0197 DBA5              IN A, (HOUR10)      ; write hour to buffer
0199 E60F              AND OFH
019B C630              ADD A, 30H
019D 210095           LD HL,BUFF
01A0 77              LD (HL),A
01A1 DBA4              IN A, (HOUR1)
01A3 E60F              AND OFH
01A5 C630              ADD A, 30H
01A7 23              INC HL
01A8 77              LD (HL),A

01A9 DBA3              IN A, (MIN10)      ; write minute to buffer
01AB E60F              AND OFH
01AD C630              ADD A, 30H
01AF 23              INC HL
01B0 77              LD (HL),A
01B1 DBA2              IN A, (MIN1)
01B3 E60F              AND OFH
01B5 C630              ADD A, 30H
01B7 23              INC HL
01B8 77              LD (HL),A

```

```

01B9 DBA1          IN A, (SEC10)    ; write second to buffer
01BB E60F          AND OFH
01BD C630          ADD A, 30H
01BF 23           INC HL
01C0 77           LD (HL),A
01C1 DBA0          IN A, (SEC1)
01C3 E60F          AND OFH
01C5 C630          ADD A, 30H
01C7 23           INC HL
01C8 77           LD (HL),A

01C9 E1           POP HL
01CA D1           POP DE
01CB C1           POP BC
01CC F1           POP AF

01CD FB           EI
01CE C9           RET

01CF E5          WRITE_RTC:  PUSH HL
01D0 D5           PUSH DE

01D1 CD8E09       CALL GOTODDRAM
01D4 210095       LD HL,BUFF
01D7 56           LD D,(HL)
01D8 CDAC09       CALL WRLCDBYTE    ; Write hour to LCD
01DB 23           INC HL
01DC 56           LD D,(HL)
01DD CDAC09       CALL WRLCDBYTE

```

```

01E0 23          INC HL
01E1 163A       LD D, COLON
01E3 CDAC09     CALL WRLCDBYTE      ; Write ':'

01E6 56         LD D,(HL)
01E7 CDAC09     CALL WRLCDBYTE      ; Write minute to LCD
01EA 23         INC HL
01EB 56         LD D,(HL)
01EC CDAC09     CALL WRLCDBYTE
01EF 23         INC HL
01F0 163A       LD D, COLON
01F2 CDAC09     CALL WRLCDBYTE      ; Write ':'

01F5 56         LD D,(HL)
01F6 CDAC09     CALL WRLCDBYTE      ; Write second to LCD
01F9 23         INC HL
01FA 56         LD D,(HL)
01FB CDAC09     CALL WRLCDBYTE

01FE D1         POP DE
01FF E1         POP HL

0200 C9         RET

0201          CHECK_TIME:
;*****
; SET TIME COMPARE REAL TIME

0201 F5         PUSH AF
0202 C5         PUSH BC

```

0203	D5		PUSH DE	
0204	E5		PUSH HL	
0205	DDE5		PUSH IX	
0207	1605		LD D,05H	; number of time
0209	DD210695		LD IX,BUFFT1	
020D	210095	CHKT1:	LD HL,BUFF	
0210	0606		LD B,06H	
0212	DD7E00	LOOPP1:	LD A,(IX+0)	
0215	BE		CP (HL)	
0216	2007		JR NZ,LOOPP2	
0218	23		INC HL	
0219	DD23		INC IX	
021B	10F5		DJNZ LOOPP1	
021D	180D		JR WAKE	
021F	15	LOOPP2:	DEC D	
0220	7A		LD A,D	
0221	FE00		CP 00H	
0223	2872		JR Z,T_EXIT	
0225	48		LD C,B	
0226	0600		LD B,0	
0228	DD09		ADD IX,BC	
022A	18E1		JR CHKT1	
022C	3EFF	WAKE:	LD A,OFFH	
022E	D344		OUT (CONTE),A	; give portc is output
0230	3EFF		LD A,OFFH	
0232	D340		OUT (PORTE),A	; set bit 1 of port is "1"

0234	C5	DELAYY:	PUSH	BC
0235	E5		PUSH	HL
0236	06FA		LD	B,250D
0238	48	DELAYY1:	LD	C,B
0239	06FA		LD	B,250D
023B	2A0000	DELAYY2:	LD	HL,(00)
023E	2A0000		LD	HL,(00)
0241	2A0000		LD	HL,(00)
0244	2A0000		LD	HL,(00)
0247	2A0000		LD	HL,(00)
024A	2A0000		LD	HL,(00)
024D	2A0000		LD	HL,(00)
0250	2A0000		LD	HL,(00)
0253	2A0000		LD	HL,(00)
0256	2A0000		LD	HL,(00)
0259	2A0000		LD	HL,(00)
025C	2A0000		LD	HL,(00)
025F	2A0000		LD	HL,(00)
0262	2A0000		LD	HL,(00)
0265	2A0000		LD	HL,(00)
0268	2A0000		LD	HL,(00)
026B	2A0000		LD	HL,(00)
026E	2A0000		LD	HL,(00)
0271	2A0000		LD	HL,(00)
0274	2A0000		LD	HL,(00)
0277	2A0000		LD	HL,(00)
027A	2A0000		LD	HL,(00)
027D	2A0000		LD	HL,(00)
0280	2A0000		LD	HL,(00)

```

0283 2A0000      LD HL,(00)
0286 2A0000      LD HL,(00)
0289 2A0000      LD HL,(00)
028C 10AD        DJNZ DELAYY2
028E 41          LD B,C
028F 10A7        DJNZ DELAYY1
0291 E1          POP HL
0292 C1          POP BC
0293 3E00        LD A,00H
0295 D340        OUT (PORTE),A
0297 DDE1      T_EXIT: POP IX
0299 E1          POP HL
029A D1          POP DE
029B C1          POP BC
029C F1          POP AF

029D C9          RET

```

```

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

```

```

09E CDA102  MODE0:  CALL MODE          ;select mode 1)TEMP  MODE
                                           ;                2)TIME  MODE

                                           ;RST 18

```

```

;*****

```

```

;*** SELECT MODE *****

```

```

;*****

```

```

02A1 CD8309  MODE:   CALL CLRLCD
02A4 21EC02      LD HL,TAB1      ; "SELECT MODE 1 OR 2 "
02A7 3E00        LD A,00H
02A9 CD8E09      CALL GOTODDRAM ;set position of cursor

```

```

02AC CD9D09      CALL WRLCDLINE    ;write line to LCD
02AF 210403      LD HL,TAB2       ; "Press Enter Key"
02B2 3E40        LD A,40H
02B4 CD8E09      CALL GOTODDRAM   ;set position of cursor
02B7 CD9D09      CALL WRLCDLINE   ;write line to LCD

02BA CDC609      CHK1: CALL SCAN_KEY ;scan keyboard for select modes
02BD FEFE        CP OFEH           ; OFEH = * FOR ENTER
02BF 20F9        JR NZ,CHK1
02C1 211C03      LD HL,TAB3       ;"1)TEMP  MODE"
02C4 3E00        LD A,00H
02C6 CD8E09      CALL GOTODDRAM
02C9 CD9D09      CALL WRLCDLINE
02CC 213403      LD HL,TAB4       ;"2)TIME  MODE"
02CF 3E40        LD A,40H
02D1 CD8E09      CALL GOTODDRAM
02D4 CD9D09      CALL WRLCDLINE

02D7 CDC609      CHK2: CALL SCAN_KEY ;scan keyboard for select modes
02DA FE31        CP 031H          ;press key "1"
02DC 2806        JR Z,TEMP       ;go to subroutine TEMPERATURE MODE
02DE FE32        CP 032H          ;press key "2"
02E0 2806        JR Z,TIME1     ;go to subroutine TIME  MODE
02E2 20F3        JR NZ,CHK2
02E4 CD4C03      TEMP: CALL TE_MODE
02E7 C9          RET
02E8 CD9007      TIME1: CALL TI_MODE
02EB C9          RET

```

```

02EC 202053454CTAB1: DFB " SELECT MODE 1 OR 2 "
0304 2020202020TAB2: DFB " PRESS * KEY "
031C 2031295445TAB3: DFB " 1)TEMPERATURE MODE "
0334 2032295449TAB4: DFB " 2)TIME MODE "

```

```

;
;*****
;***** TEMP MODE *****
;*****

```

```

034C TE_MODE:

```

```

034C CD8309 CALL CLRLCD
034F 216207 LD HL,TE_TABLE1
0352 3E00 LD A,00H
0354 CD8E09 CALL GOTODDRAM
0357 CD9D09 CALL WRLCDLINE
035A 217907 LD HL,TE_TABLE2
035D 3E40 LD A,40H
035F CD8E09 CALL GOTODDRAM
0362 CD9D09 CALL WRLCDLINE
0365 3E49 LD A,49H ;set address on LCD for cursor on
0367 CD8E09 CALL GOTODDRAM ;routine set address

```

```

;*****
; CONTROL TEMP
;*****
;

```

```

036A 3E00 LD A,00H
036C D354 OUT (CONTA),A

```

```

036E 3E00          LD  A,00H
0370 D355          OUT (CONTB),A
0372 3EFF          LD  A,OFFH
0374 D356          OUT (CONTC),A

;

0376 3E0B          START: LD A,11D
0378 CDCF01        CALL WRITE_RTC
037B CD0102        CALL CHECK_TIME

037E DB50          IN  A,(PORTA)      ; 8 bit up
0380 4F            LD  C,A
0381 DB51          IN  A,(PORTB)      ; 4 bit low
0383 E60F          AND OFH
0385 47            LD  B,A

0386 E5            CONVERT: PUSH HL
0387 C5            PUSH BC
0388 F5            PUSH AF
0389 DDE5          PUSH IX

038B 69            LD  L,C
038C 60            LD  H,B
038D 01720B        LD  BC,0B72H      ; 20 celciet
0390 E6FF          AND OFFH
0392 ED42          SBC HL,BC
0394 4D            LD  C,L
0395 0600          LD  B,0

;SLA C
;SLA C

```

0397 ED43009E		LD (9E00H),BC	
039B DD2A009E		LD IX,(9E00H)	
039F DD09		ADD IX,BC	
03A1 DD09		ADD IX,BC	
03A3 DD09		ADD IX,BC	
03A5 DD22009F		LD (9F00H),IX	
03A9 ED4B009F		LD BC,(9F00H)	
03AD 213E04		LD HL,POINT_TEMP	
03B0 09		ADD HL,BC	
03B1 3E49		LD A, 49H	
03B3 CD8E09		CALL GOTODDRAM	
03B6 0604		LD B,4	
03B8 56	CVT?1:	LD D,(HL)	
03B9 CDAC09		CALL WRLCDBYTE	
03BC 23		INC HL	
03BD 10F9		DJNZ CVT?1	
03BF 1620		LD D, 20H	; ' '
03C1 CDAC09		CALL WRLCDBYTE	
03C4 1643		LD D, 43H	; 'C'
03C6 CDAC09		CALL WRLCDBYTE	
03C9 DDE1		POP IX	
03CB F1		POP AF	
03CC C1		POP BC	
03CD E1		POP HL	
03CE C5		PUSH BC	
03CF 21C20B		LD HL,0BC2H	; 28 celciet
03D2 E6FF		AND OFFH	; clear carry
03D4 ED42		SBC HL,BC	; compare 12 bit

03D6 C1 POP BC  
03D7 D22904 JP NC,ON  
03DA 21CC0B LD HL,0BCCH ; 29 celciet  
03DD E6FF AND OFFH  
03DF ED42 SBC HL,BC  
03E1 D2E803 JP NC,DELAY

03E4 3E00 OFF: LD A,00H  
03E6 D352 OUT (PORTC),A

03E8 C5 DELAY: PUSH BC  
03E9 E5 PUSH HL  
03EA 064B LD B,75D  
03EC 4B DDELAY1: LD C,B  
03ED 06C8 LD B,200D  
03EF 2A0000 DDELAY2: LD HL,(00)  
03F2 2A0000 LD HL,(00)  
03F5 2A0000 LD HL,(00)  
03F8 2A0000 LD HL,(00)  
03FB 2A0000 LD HL,(00)  
03FE 2A0000 LD HL,(00)  
0401 2A0000 LD HL,(00)  
0404 2A0000 LD HL,(00)  
0407 2A0000 LD HL,(00)  
040A 2A0000 LD HL,(00)  
040D 2A0000 LD HL,(00)  
0410 2A0000 LD HL,(00)  
0413 2A0000 LD HL,(00)

```

0416 2A0000          LD HL,(00)
0419 2A0000          LD HL,(00)
041C 10D1           DJNZ DDELAY2
041E 41            LD B,C
041F 10CB           DJNZ DDELAY1
0421 E1            POP HL
0422 C1            POP BC
0423 CD3304         CALL CHK3
0426 C37603         JP START

0429 3EFF          ON: LD A,OFFH
042B D352          OUT (PORTC),A
042D C3E803         JP DELAY

0430 CD9D09         CALL WRLCQLINE

0433 CDD609        CHK3: CALL SCAN
0436 FE32          CP 032H
0438 2801          JR Z,TI_MODE1
043A C9            RET
043B C39007        TI_MODE1: JP TI_MODE

043E 32302E3032POINT_TEMP: DFB "20.0","20.1","20.2","20.3","20.4","20.5","20.
045E 32302E3832          DFB "20.8","20.9","21.0","21.1","21.2","21.3","21.
047E 32312E3632          DFB "21.6","21.7","21.8","21.9","22.0","22.1","22.
049E 32322E3432          DFB "22.4","22.5","22.6","22.7","22.8","22.9","23.
04BE 32332E3232          DFB "23.2","23.3","23.4","23.5","23.6","23.7","23.
04DE 32342E3032          DFB "24.0","24.1","24.2","24.3","24.4","24.5",
04F6 32342E3632          DFB "24.6","24.7","24.8","24.9","25.0","25.1","25.

```

```

0516 32352E3432      DFB "25.4","25.5","25.6","25.7","25.8","25.9","26.0
0536 32362E3232      DFB "26.2","26.3","26.4","26.5","26.6","26.7","26.8
0556 32372E3032      DFB "27.0","27.1","27.2","27.3","27.4","27.5","27.6
0576 32372E3832      DFB "27.8","27.9","28.0","28.1","28.2","28.3","28.4
0596 32382E3632      DFB "28.6","28.7","28.8","28.9","29.0","29.1","29.2
05B6 32392E3432      DFB "29.4","29.5","29.6","29.7","29.8","29.9","30.0
05D6 33302E3233      DFB "30.2","30.3","30.4","30.5","30.6","30.7","30.8
05F6 33312E3033      DFB "31.0","31.1","31.2","31.3","31.4","31.5","31.6
0616 33312E3833      DFB "31.8","31.9","32.0","32.1","32.2","32.3","32.4
0636 33322E3633      DFB "32.6","32.7","32.8","32.9","33.0","33.1","33.2
0656 33332E3433      DFB "33.4","33.5","33.6","33.7","33.8","33.9","34.0
0672 33342E3133      DFB "34.1","34.2","34.3","34.4","34.5","34.6","34.7
0692 33342E3933      DFB "34.9","35.0","35.1","35.2","35.3","35.4","35.5
06B2 33352E3733      DFB "35.7","35.8","35.9","36.0","36.1","36.2","36.3
06D2 33362E3533      DFB "36.5","36.6","36.7","36.8","36.9","37.0","37.1
06F2 33372E3333      DFB "37.3","37.4","37.5","37.6","37.7","37.8","37.9
0712 33382E3133      DFB "38.1","38.2","38.3","38.4","38.5","38.6","38.7
0732 33382E3933      DFB "38.9","39.0","39.1","39.2","39.3","39.4","39.5
0752 33392E3733      DFB "39.7","39.8","39.9","40.0"

```

```

0762 2054696D65TE_TABLE1: DFB " Time is:          "
0779 2054454D50TE_TABLE2: DFB " TEMP            "

```

```

;
;*****
;***** TIME MODE *****
;*****

```

```

0790 DD210695 TI_MODE: LD IX, BUFFT1
0794 CD8309      CALL CLRLCD

```

0797 21CF08	LD HL, TI_TABLE1	
079A 3E00	LD A, 00H	
079C CD8E09	CALL GOTODDRAM	
079F CD9D09	CALL WRLCDLINE	
07A2 21E908	LD HL, TI_TABLE2	
07A5 3E40	LD A, 40H	
07A7 CD8E09	CALL GOTODDRAM	
07AA CD9D09	CALL WRLCDLINE	
07AD 3E4C	LD A, 4CH	;set address on LCD for cursor on
07AF CD8E09	CALL GOTODDRAM	;routine set address
07B2 DDE5	PUSH IX	
07B4 E1	POP HL	
07B5 CD4908	CALL CHKK	
07BB 21CF08	LD HL, TI_TABLE1	
07BB 3E00	LD A, 00H	
07BD CD8E09	CALL GOTODDRAM	
07C0 CD9D09	CALL WRLCDLINE	
07C3 210309	LD HL, TI_TABLE3	
07C6 3E40	LD A, 40H	
07C8 CD8E09	CALL GOTODDRAM	
07CB CD9D09	CALL WRLCDLINE	
07CE 3E4C	LD A, 4CH	;set address on LCD for cursor
07D0 CD8E09	CALL GOTODDRAM	;routine set address
07D3 DDE5	PUSH IX	
07D5 E1	POP HL	
07D6 CD4908	CALL CHKK	
07D9 21CF08	LD HL, TI_TABLE1	
07DC 3E00	LD A, 00H	

07DE CD8E09	CALL GOTODDRAM
07E1 CD9D09	CALL WRLCDLINE
07E4 211D09	LD HL, TI_TABLE4
07E7 3E40	LD A, 40H
07E9 CD8E09	CALL GOTODDRAM
07EC CD9D09	CALL WRLCDLINE
07EF 3E4C	LD A, 4CH ;set address on LCD for cursor on
07F1 CD8E09	CALL GOTODDRAM ;routine set address
07F4 DDE5	PUSH IX
07F6 E1	POP HL
07F7 CD4908	CALL CHKK
07FA 21CF08	LD HL, TI_TABLE1
07FD 3E00	LD A, 00H
07FF CD8E09	CALL GOTODDRAM
0802 CD9D09	CALL WRLCDLINE
0805 213709	LD HL, TI_TABLE5
0808 3E40	LD A, 40H
080A CD8E09	CALL GOTODDRAM
080D CD9D09	CALL WRLCDLINE
0810 3E4C	LD A, 4CH ;set address on LCD for cursor on
0812 CD8E09	CALL GOTO ;routine set address
0815 DDE5	PUSH IX
0817 E1	POP HL
0818 CD4908	CALL CHKK
081B 21CF08	LD HL, TI_TABLE1
081E 3E00	LD A, 00H
0820 CD8E09	CALL GOTODDRAM

```

0823 CD9D09          CALL WRLCDLINE
0826 215109          LD HL, TI_TABLE6
0829 3E40            LD A, 40H
082B CD8E09          CALL GOTODDRAM
082E CD9D09          CALL WRLCDLINE
0831 3E4C            LD A, 4CH          ;set address on LCD for cursor on
0833 CD8E09          CALL GOTODDRAM    ;routine set address
0836 DDE5            PUSH IX
0838 E1              POP HL
0839 CD4908          CALL CHKK
083C CDC609          CHK4:  CALL SCAN_KEY
083F FEFE            CP OFEH
0841 2802            JR Z, RTCC1
0843 20F7            JR NZ, CHK4
0845 C38800          RTCC1: JP TIME
0848 C9              EXIT:  RET

0849 CD6508          CHKK:  CALL SET
084C CDC609          CALL SCAN_KEY
084F FEFF            CP OFFH          ;clear data
0851 200D            JR NZ, CHKK1
0853 01FAFF          LD BC, -6
0856 DD09            ADD IX, BC
0858 3E4C            LD A, 4CH
085A CD8E09          CALL GOTODDRAM
085D C34908          JP CHKK
0860 FEFE            CHKK1: CP OFEH
0862 20FC            JR NZ, CHKK1
0864 C9              RET

```

```

0865 CD6E08   SET:      CALL SET_TIME
0868 010600           LD BC, 6
086B DD09           ADD IX, BC
086D C9           RET

086E 0602   SET_TIME:  LD B, 2
0870 56   ST?1:      LD D,(HL)           ; write hour,min
0871 CDAC09           CALL WRLCDBYTE
0874 23           INC HL
0875 56           LD D,(HL)
0876 CDAC09           CALL WRLCDBYTE
0879 23           INC HL
087A 163A           LD D,": "
087C CDAC09           CALL WRLCDBYTE
087F 10EF           DJNZ ST?1
0881 56           LD D,(HL)           ; write sec
0882 CDAC09           CALL WRLCDBYTE
0885 23           INC HL
0886 56           LD D,(HL)
0887 CDAC09           CALL WRLCDBYTE

088A 3E4C           LD A,4CH
088C CD8E09           CALL GOTODDRAM
088F DDE5           PUSH IX
0891 E1           POP HL

0892 0602           LD B, 2
0894 CDB308   ST?2:      CALL CHECKKEY1       ; enter hour,min

```

0897 7A		LD A,D	
0898 77		LD (HL),A	
0899 23		INC HL	
089A CDB308		CALL CHECKKEY1	
089D 7A		LD A,D	
089E 77		LD (HL),A	
089F 23		INC HL	
08A0 163A		LD D,COLON	
08A2 CDAC09		CALL WRLCDBYTE	
08A5 10ED		DJNZ ST?2	
08A7 CDB308		CALL CHECKKEY1	; enter sec
08AA 7A		LD A,D	
08AB 77		LD (HL),A	
08AC 23		INC HL	
08AD CDB308		CALL CHECKKEY1	
08B0 7A		LD A,D	
08B1 77		LD (HL),A	
08B2 C9	EXITT:	RET	
08B3 CDC609	CHECKKEY1:	CALL SCAN_KEY	
08B6 FEFE		CP OFEH	; enter time when want not the
08B8 280C		JR Z,NEXT_SET	
08BA FE0B		CP 0BH	
08BC 2807		JR Z, EXIT_CHECK1	
08BE F5		PUSH AF	
08BF 57		LD D, A	
08C0 CDAC09		CALL WRLCDBYTE	
08C3 7A		LD A, D	

```

08C4 F1                POP AF
08C5 C9                EXIT_CHECK1: RET

08C6 010600           NEXT_SET:   LD BC, 6
08C9 DD09                ADD IX, BC
08CB D1                POP DE
08CC D1                POP DE
08CD D1                POP DE
08CE C9                RET

08CF 2054494D45T1_TABLE1: DFB " TIME MODE           "
08E9 2053455420T1_TABLE2: DFB " SET TIME1           "
0903 2053455420T1_TABLE3: DFB " SET TIME2           "
091D 2053455420T1_TABLE4: DFB " SET TIME3           "
0937 2053455420T1_TABLE5: DFB " SET TIME4           "
0951 2053455420T1_TABLE6: DFB " SET TIME5           "

;                LCD Module
;-----;

;*****;
;                INITIAL LCD                *
;                Input :    -                *
;                Return:    -                *
;                Destroy:   A                *
;                Call Function :  CLRLCD      *
;*****;
;
096B 3E38           INIT:   LD  A,00111000B    ;function set 38H

```

```

096D D380          OUT  (PDATA),A
096F CDOA0A       CALL DELAY1
0972 3E0F         LD   A,00001111B   ;display on/off control
                                     ;D=1 off,C=1 cursor on,B=1 blink

0974 D380          OUT  (PDATA),A
0976 CDOA0A       CALL DELAY1

0979 3E06         LD   A,00000110B   ;entry mode set
                                     ;I/D=1 increment,S=0 right

097B D380          OUT  (PDATA),A
097D CDOA0A       CALL DELAY1
0980 CD8309       CALL CLRLCD

```

```

;*****
;      Clear LCD      *
;      Input   :    - *
;      Return  :    - *
;      Destroy :    A  *
;      Call   :  DELAY1 *
;*****

```

```

0983 3E01  CLRLCD: LD  A, 00000001B   ;clear all display
0985 D380          OUT  (PDATA),A
0987 CDOA0A       CALL DELAY1
098A CD9609       CALL LCDREADY
098D C9           RET

```

```
;
```

```

;*****
;      Goto Display DATA RAM Address *
;      Input :   A = Address           *
;      Return:   -                     *
;      Destroy:  A                     *
;*****

```

```

098E CBFF      GOTODDRAM:  SET  7,A
0990 D380                OUT  (PDATA),A
0992 CD9609       CALL  LCDREADY
0995 C9          RET

```

```
;
```

```

0996 DB84      LCDREADY:  IN   A,(PREAD)
0998 CB7F                BIT  7,A
099A 20FA                JR   NZ,LCDREADY
099C C9          RET

```

```
;
```

```

;*****
;      Write STRING LCD                *
;      Input  : HL = point to data to write *
;              C = Number of charactor    *
;      Return :   -                     *
;      Destroy:  A                     *
;*****

```

```

099D C5      WRLCDLINE:  PUSH BC
099E D5                PUSH DE
099F 0614                LD   B,20

```

```

09A1 7E      TEST11:    LD   A,(HL)
09A2 57      LD   D,A
09A3 CDAC09  CALL WRLCDBYTE
09A6 23      INC HL
09A7 10F8    DJNZ TEST11
09A9 D1      POP DE
09AA C1      POP BC

```

```

09AB C9      RET

```

```
;
```

```
*****
```

```

;   WRITE BYTE  LCD      *
;   INPUT:   D = ASCII to write *
;   Return:   -          *
;   Destroy:  A          *

```

```
*****
```

```

09AC 7A      WRLCDBYTE: LD  A,D
09AD D382    OUT (PSING),A
09AF CD9609  CALL LCDREADY
09B2 C9      RET

```

```

09B3 D5      GOTOLCD:  PUSH DE
09B4 E60F    AND 0FH
09B6 C630    ADD A,30H
09B8 57      LD  D,A
09B9 7B      LD  A,E
09BA CDBF09  CALL WRLCD

```



```

09E3 7B          LD A,E
09E4 D330       OUT (PORTD),A
09E6 C5         PUSH BC
09E7 0603       LD B,03H      ;register.B for djnz-loop use KEY_COLUMN
09E9 DB30       IN A,(PORTD)    ;Input data from keyboard
09EB E6F0       AND OF0H      ;clear high nibble
09ED 4F         LD C,A
09EE CB11       RL C          ;seek free one time for bit 7 in 3*4 kb

09F0 CB11       KEY_COLUMN: RL C
09F2 3802       JR C,NEXT_KEY
09F4 7A         LD A,D
09F5 08         EX AF,AF'

09F6 14         NEXT_KEY: INC D
09F7 10F7       DJNZ KEY_COLUMN
09F9 C1         POP BC
09FA 10E5       DJNZ KEY_ROW
09FC 08         EX AF,AF'

09FD E5         CHANGEKEY: PUSH HL
09FE 21180A     LD HL, TABLE_KEY
0A01 47         LD B,A
0A02 04         INC B
0A03 23         LOOP: INC HL
0A04 10FD       DJNZ LOOP
0A06 7E         LD A,(HL)
0A07 E1         POP HL

```

0A08 C1 POP BC

0A09 C9 RET

0A0A C5 DELAY1: PUSH BC

0A0B 0680 LD B,80H

0A0D 10FE S\_DELAY1: DJNZ S\_DELAY1

0A0F C1 POP BC

0A10 C9 RET

0A11 C5 DELAY2: PUSH BC

0A12 06FF LD B,0FFH

0A14 10FE S\_DELAY2: DJNZ S\_DELAY2

0A16 C1 POP BC

0A17 C9 RET

0A18 0033323136TABLE\_KEY: DFB 00H,033H,032H,031H,036H,035H,034H,039H,038H,037H

0A23 30FE DFB 0FFH,030H,0FEH

-----

0000

END

9500 BUFF

9506 BUFFT1

09FD CHANGEKEY

016C CHECKKEY

08B3 CHECKKEY1

0201 CHECK\_TIME

02BA CHK1

02D7 CHK2

0433 CHK3

083C CHK4

0849 CHKK

0860 CHKK1

020D CHKT1

0983 CLRLCD

003A COLON

0054 CONTA

0055 CONTB

0056 CONTC

0034 CONTD

0044 CONTE

0386 CONVERT

00AD	CREG_D	00AE	CREG_E	00AF	CREG_F
03B8	CVT?1	03EC	DDELAY1	03EF	DDELAY2
03E8	DELAY	0A0A	DELAY1	0A11	DELAY2
0234	DELAYY	0238	DELAYY1	023B	DELAYY2
017F	DISPLAY1	0848	EXIT	08B2	EXITT
017E	EXIT_CHECK	08C5	EXIT_CHECK1	098E	GOTODDRAM
09B3	GOTOLCD	00A4	HOUR1	00A5	HOUR10
0038	IM1_SUB	096B	INIT	09F0	KEY_COLUMN
09E1	KEY_ROW	0996	LCDREADY	0A03	LOOP
0212	LOOPP1	021F	LOOPP2	00A2	MIN1
00A3	MIN10	02A1	MODE	029E	MODE0
0000	MONIT_START	09F6	NEXT_KEY	08C6	NEXT_SET
0066	NMI_SUB	03E4	OFF	0429	ON
0080	PDATA	043E	POINT_TEMP	0050	PORTA
0051	PORTB	0052	PORTC	0030	PORTD
0040	PORTE	0084	PREAD	09CE	PRESS
0082	PSING	0068	REAL_START	00A0	RTC
0845	RTCC1	0193	RTC_INT	09D6	SCAN
09C6	SCAN_KEY	00A0	SEC1	00A1	SEC10
0865	SET	0164	SETEND	010F	SETTIME
086E	SET_TIME	0870	ST?1	0894	ST?2
0376	START	008B	STOP	0A0D	S_DELAY1
0A14	S_DELAY2	02EC	TAB1	0304	TAB2
031C	TAB3	0334	TAB4	0A18	TABLE_KEY
0098	TDELAY	009C	TDELAY1	009F	TDELAY2
02E4	TEMP	09A1	TEST11	034C	TE_MODE
0762	TE_TABLE1	0779	TE_TABLE2	0088	TIME
02E8	TIME1	0790	TI_MODE	043B	TI_MODE1
08CF	TI_TABLE1	08E9	TI_TABLE2	0903	TI_TABLE3

091D TI\_TABLE4

010C TT

022C WAKE

09AC WRLCDBYTE

0937 TI\_TABLE5

0297 T\_EXIT

01CF WRITE\_RTC

099D WRLCDLINE

0951 TI\_TABLE6

00F8 WAIT\_DISPLAY

09BF WRLCD

**MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR**  
**TECHNICAL DATA**

**6-Pin DIP Optoisolators**  
**Triac Driver Output**

These devices consist of gallium-arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

- UL Recognized File Number E54915
- Output Driver Designed for 240 Vac Line
- $V_{ISO}$  Isolation Voltage of 7500 V Peak
- Similar to MOC3010 and MOC3011
- Standard 6-PIN Plastic DIP
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

**MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)**

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INFRARED EMITTING DIODE</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	3	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Triac Driver Derate above $25^\circ\text{C}$ .	$P_D$	100	mW
		1.33	mW/°C

**OUTPUT DRIVER**

Off-State Output Terminal Voltage	$V_{DRM}$	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	$I_{TSM}$	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	300	mW
		4	mW/°C

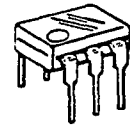
**TOTAL DEVICE**

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 5 Second Duration)	$V_{ISO}$	7500	Vac
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	330	mW
		4.4	mW/°C
Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	—	260	°C

(1) Isolation surge voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating.

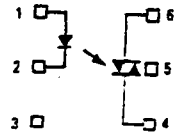
**MOC3020**  
**MOC3021**  
**MOC3022**  
**MOC3023**

**6-PIN DIP**  
**OPTOISOLATORS**  
**TRIAC DRIVER OUTPUT**

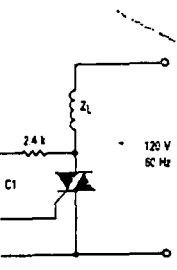


**CASE 730A-02**  
**PLASTIC**

**COUPLER SCHEMATIC**



1. ANODE
  2. CATHODE
  3. NC
  4. MAIN TERMINAL
  5. SUBSTRATE
  6. MAIN TERMINAL
- DO NOT CONNECT



**Sensitive Gate Triac**

① TOLERANCING PER ANSI  
 DIMENSION INCH  
 OF LEAD WHEN FORMED

SIZE	INCHES	
AX	MIN	MAX
20	0.320	0.360
60	0.240	0.260
08	0.115	0.200
30	0.016	0.026
77	0.040	0.070
	0.100 BSC	
20	0.008	0.017
54	0.015	0.100
	0.300 BSC	
1"	0"	15"
81	0.100	0.150

# MOC3020, MOC3021, MOC3022, MOC3023

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT LED</b>					
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	0.05	100	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.15	1.5	Volts
<b>OUTPUT DETECTOR (<math>I_F = 0</math> unless otherwise noted)</b>					
Peak Blocking Current, Either Direction (Rated $V_{DRM}$ , Note 1)	$I_{DRM}$	—	10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction ( $I_{TM} = 100\text{ mA Peak}$ )	$V_{TM}$	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage (Figure 7, Note 2)	$dv/dt$	—	10	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
<b>COUPLED</b>					
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V, Note 3)	$I_{FT}$	—	15	30	mA
MOC3020		—	8	15	
MOC3021		—	—	10	
MOC3022		—	—	5	
Holding Current, Either Direction	$I_H$	—	100	—	$\mu\text{A}$

- Notes: 1. Test voltage must be applied within  $dv/dt$  rating.  
 2. This is static  $dv/dt$ . See Figure 7 for test circuit. Commutating  $dv/dt$  is a function of the load-driving thyristor(s) only.  
 3. All devices are guaranteed to trigger at an  $I_F$  value less than or equal to max  $I_{FT}$ . Therefore, recommended operating  $I_F$  lies between max  $I_{FT}$  (30 mA for MOC3020, 15 mA for MOC3021, 10 mA for MOC3022, 5 mA for MOC3023) and absolute max  $I_F$  (160 mA).

## TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_A = 25^\circ\text{C}$

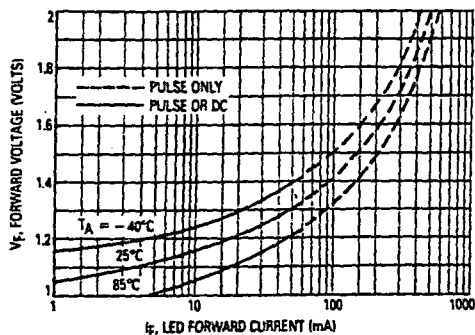


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

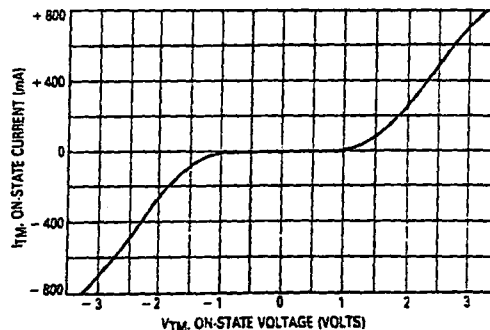


Figure 2. On-State Characteristics

# MOC3020, MOC3021, MOC3022, MOC3023

k	Unit
---	------

0	$\mu A$
5	Volts

0	nA
5	Volts
-	V/ $\mu s$

0	mA
5	$\mu A$

lies between max

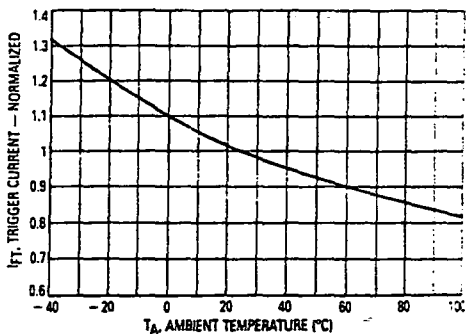


Figure 3. Trigger Current versus Temperature

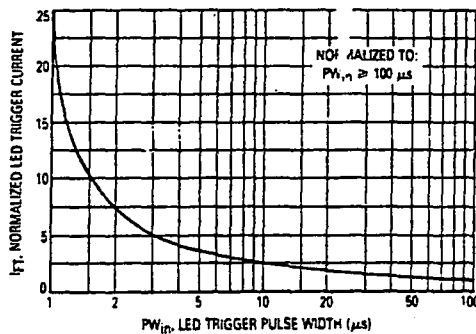


Figure 4. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

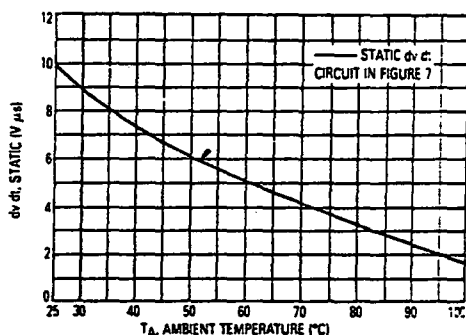


Figure 5. dv/dt versus Temperature

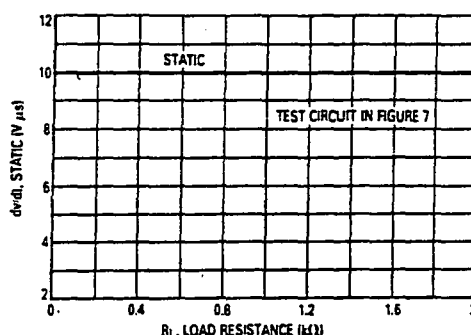
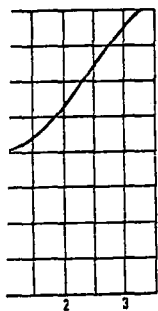
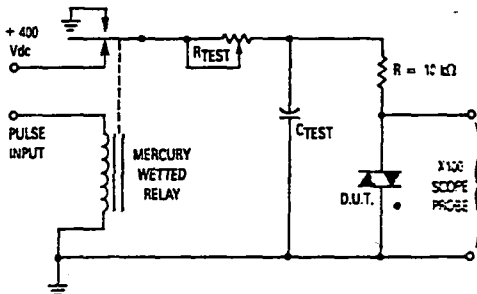


Figure 6. dv/dt versus Load Resistance



TSJ

eristics



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable  $R_{TEST}$  allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering.  $\tau_{RC}$  is measured at this point and recorded.

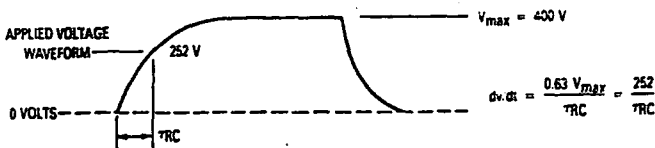
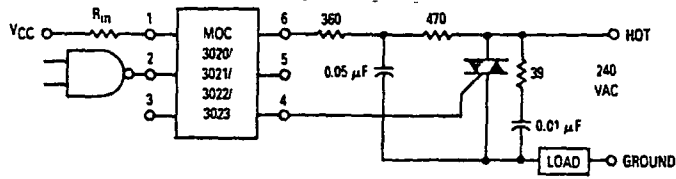


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

# MOC3020, MOC3021, MOC3022, MOC3023



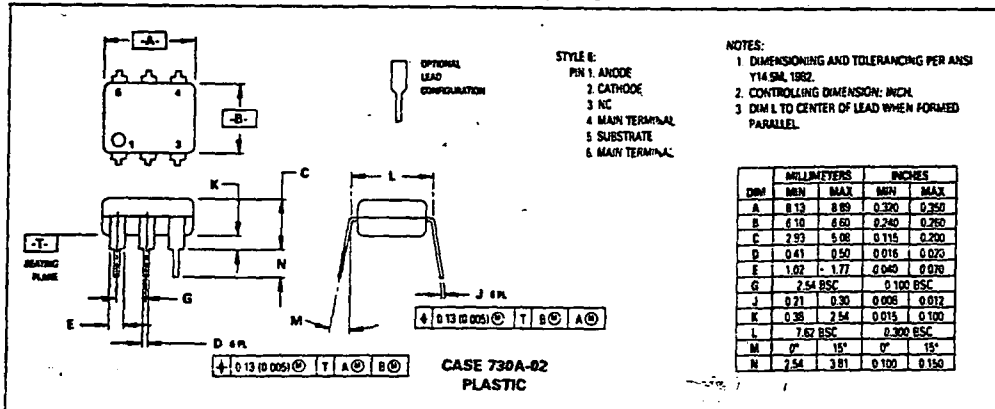
\*This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.  
Additional information on the use of optically coupled triac drivers is available in Application Note AN-780A.

In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

The 39 ohm resistor and 0.01  $\mu$ F capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05  $\mu$ F capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Typical Application Circuit

## OUTLINE DIMENSIONS





# LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

## General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

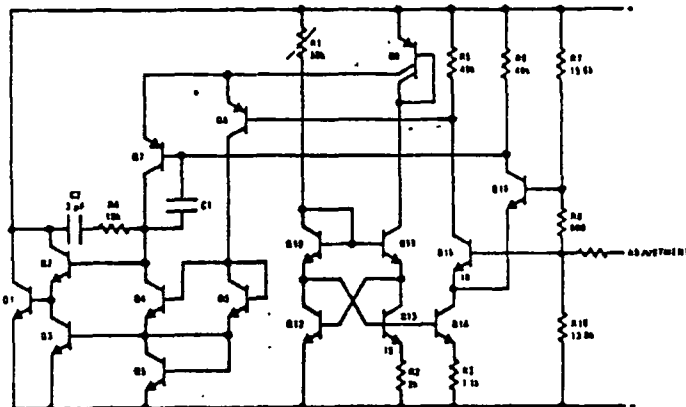
Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-48 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

## Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

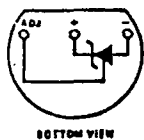
## Schematic Diagram



TL/M/5696-1

## Connection Diagrams

TO-92  
Plastic Package



BOTTOM VIEW

Order Number LM335Z or LM335AZ  
See NS Package Number Z03A

TO-48  
Metal Can Package\*



BOTTOM VIEW

TL/M/5696-8

\*Case is connected to negative pin  
Order Number LM135H, LM235H,  
LM335H, LM135AH, LM235AH or LM335AH  
See NS Package Number H03H

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A

### Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 4)

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C

### Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		
TO-92 Package:		260°C
TO-46 Package:		300°C

### Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

### Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

### Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		$\Omega$
Output Voltage Temperature Coefficient			+ 10			+ 10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/ky

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

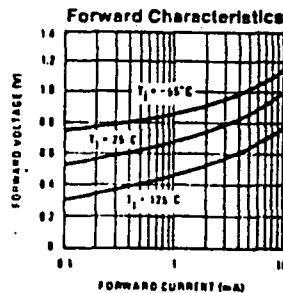
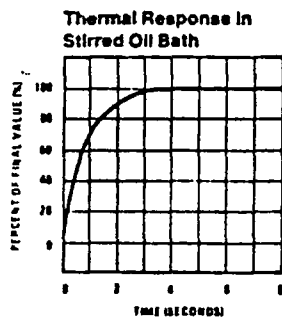
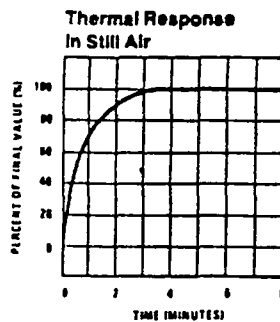
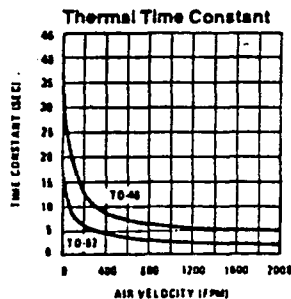
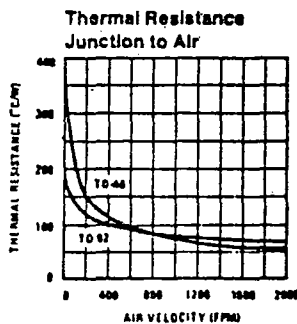
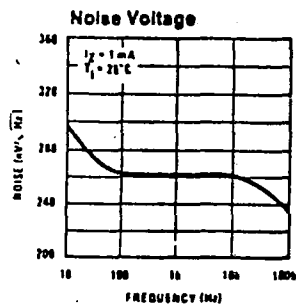
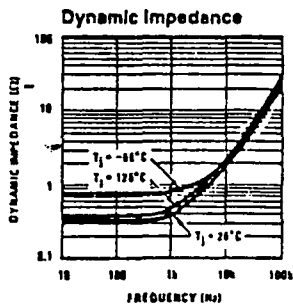
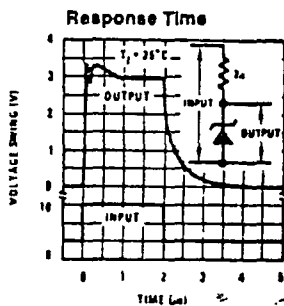
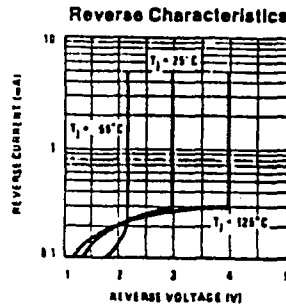
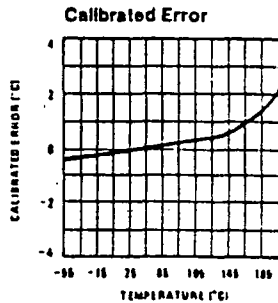
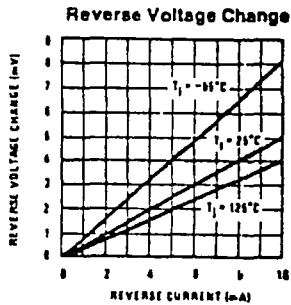
Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

Note 3: Thermal Resistance  
 $\theta_{JA}$  (junction to ambient) TO-92 TO-46  
 202°C/W 400°C/W  
 $\theta_{JC}$  (junction to case) 170°C/W N/A

Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

# Typical Performance Characteristics

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A



## Application Hints

### CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T<sub>0</sub> is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

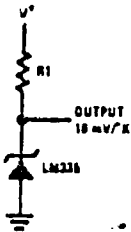
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

### WATERPROOFING SENSORS

Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/8" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

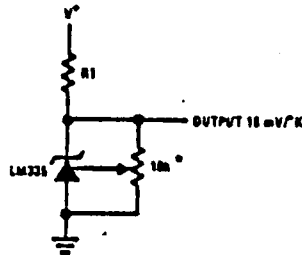
## Typical Applications

### Basic Temperature Sensor



TL/H/5698-2

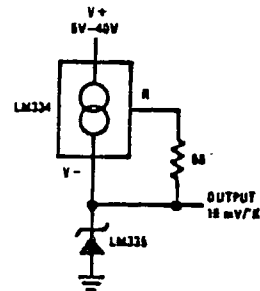
### Calibrated Sensor



TL/H/5698-9

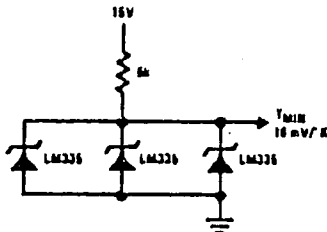
\*Calibrate for 2.982V at 25°C

### Wide Operating Supply



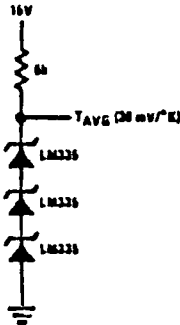
TL/H/5698-10

### Minimum Temperature Sensing



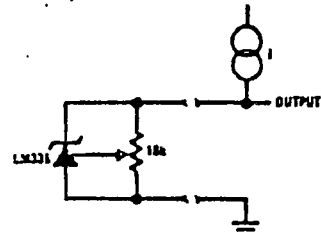
TL/H/5698-4

### Average Temperature Sensing



TL/H/5698-18

### Remote Temperature Sensing



TL/H/5698-18

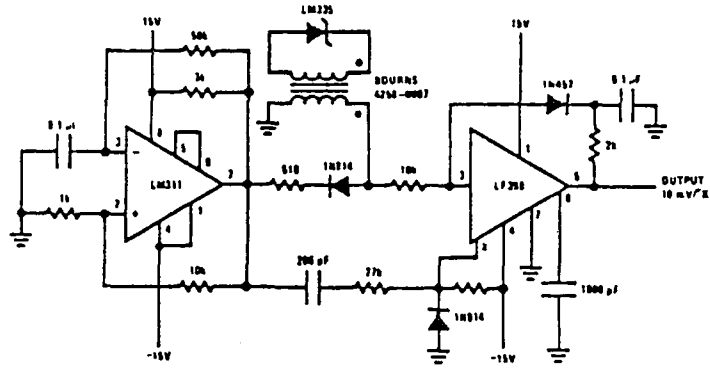
Wire length for 1°C error due to wire drop

AWG	I <sub>R</sub> = 1 mA	I <sub>R</sub> = 0.5 mA*
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

\*For I<sub>R</sub> = 0.5 mA, the trim pot must be deleted

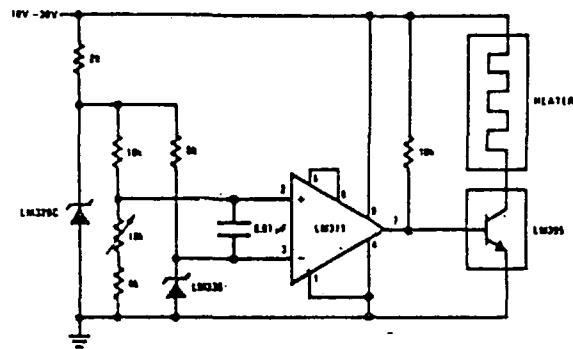
Typical Applications (Continued)

Isolated Temperature Sensor



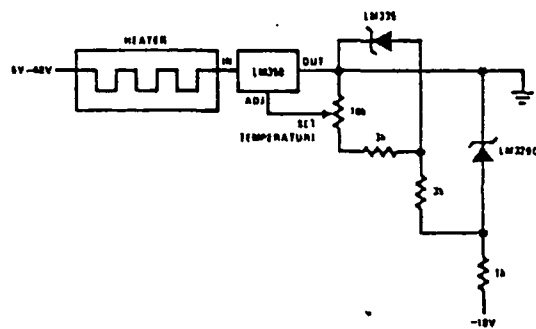
TL/H/5698-20

Simple Temperature Controller



TL/H/5698-5

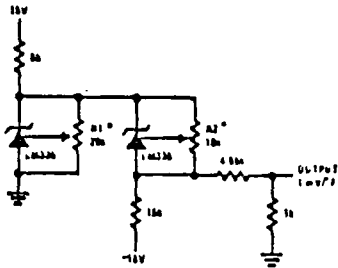
Simple Temperature Control



TL/H/5698-21

## Typical Applications (Continued)

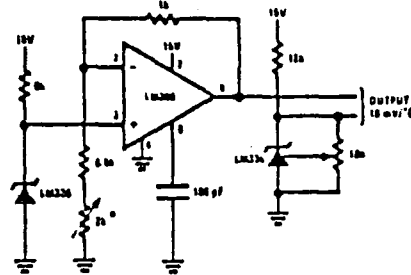
### Ground Referred Fahrenheit Thermometer



TL/M/5698-22

\*Adjust R2 for 2.554V across LM336.  
Adjust R1 for correct output.

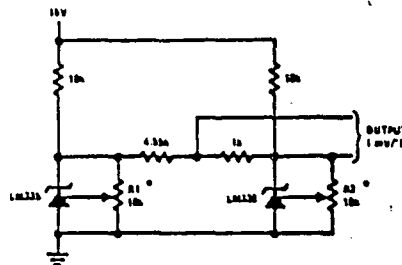
### Centigrade Thermometer



TL/M/5698-23

\*Adjust for 2.7315V at output of LM308

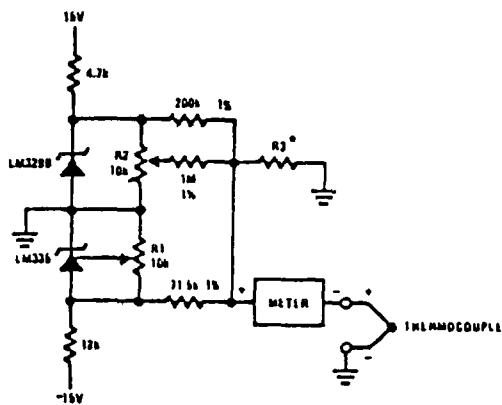
### Fahrenheit Thermometer



TL/M/5698-24

\*To calibrate adjust R2 for 2.554V across LM336.  
Adjust R1 for correct output.

### THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION - Compensation for Grounded Thermocouple



TL/M/5698-8

\*Select R3 for proper thermocouple type

THERMO- COUPLE	R3 (± 1%)	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.3 μV/°C
T	308Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.8Ω	6.4 μV/°C

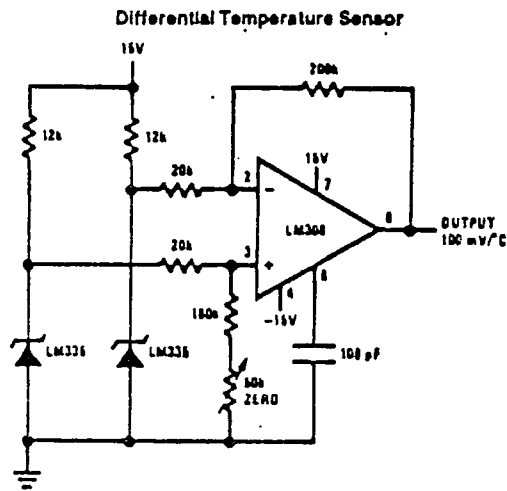
Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances

1. Short LM329B
2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature (in degrees K) across R3.
3. Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

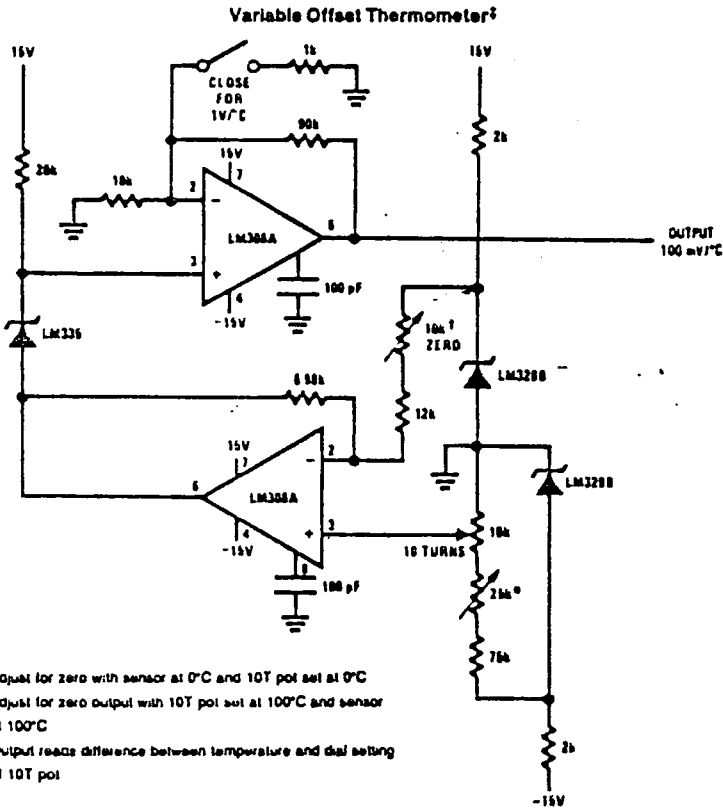
J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.78 mV	S	1.768 mV



Typical Applications (Continued)



TL/H/5608-14



TL/H/5608-15



# ICL7109

## 12-Bit $\mu$ P-Compatible A/D Converter

ICL7109

### GENERAL DESCRIPTION

The ICL7109 is a high performance, CMOS, low power integrating A/D converter designed to easily interface with microprocessors.

The output data (12 bits, polarity and overrange) may be directly accessed under control of two byte enable inputs and a chip select input for a simple parallel bus interface. A UART handshake mode is provided to allow the ICL7109 to work with industry-standard UARTs in providing serial data transmission, ideal for remote data logging applications. The RUN/HOLD input and STATUS output allow monitoring and control of conversion timing.

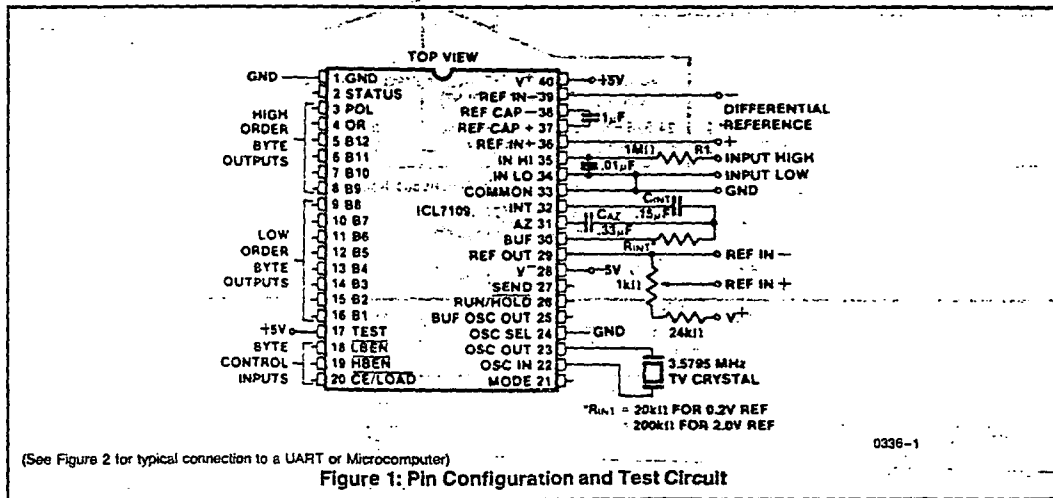
The ICL7109 provides the user with the high accuracy, low noise, low drift, versatility and economy of the dual-slope integrating A/D converter. Features like true differential input and reference, drift of less than  $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , maximum input bias current of  $10\text{pA}$ , and typical power consumption of  $20\text{mW}$  make the ICL7109 an attractive per-channel alternative to analog multiplexing for many data acquisition applications.

### FEATURES

- 12 Bit Binary (Plus Polarity and Overrange) Dual Slope Integrating Analog-to-Digital Converter
- Byte-Organized TTL-Compatible Three-State Outputs and UART Handshake Mode for Simple Parallel or Serial Interfacing to Microprocessor Systems
- RUN/HOLD Input and STATUS Output Can Be Used to Monitor and Control Conversion Timing
- True Differential Input and Differential Reference
- Low Noise — Typically  $15\mu\text{V p-p}$
- $1\text{pA}$  Typical Input Current
- Operates At Up to 30 Conversions Per Second
- On-Chip Oscillator Operates With Inexpensive  $3.58\text{MHz}$  TV Crystal Giving 7.5 Conversions Per Second for 60Hz Rejection May Also Be Used With An RC Network Oscillator for Other Clock Frequencies

### ORDERING INFORMATION

Part Number	Temp. Range	Package
ICL7109MDL	$-55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	40-Pin Ceramic DIP
ICL7109IDL	$-25^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$	40-Pin Ceramic DIP
ICL7109IJL	$-25^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$	40-Pin Cerdip
ICL7109CPL	$0^\circ\text{C}$ to $70^\circ\text{C}$	40-Pin Plastic DIP



HARRIS SEMICONDUCTOR'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONVOITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Positive Supply Voltage (GND to V+)	+6.2V	Power Dissipation (Note 3)	500mW @ +70°C
Negative Supply Voltage (GND to V-)	-9V	Ceramic Package	500mW @ +70°C
Analog Input Voltage (Lo or Hi) (Note 1)	V+ to V-	Plastic Package	500mW @ +70°C
Reference Input Voltage (Lo or Hi) (Note 1)	V+ to V-	Operating Temperature	
Digital Input Voltage (Pins 2-27) (Note 2)	V+ +0.3V	Ceramic Package (MDL)	-55°C to +125°C
	GND -0.3V	Ceramic Package (IDL)	-25°C to +85°C
		Plastic Package (CPL)	0°C to +70°C
		Storage Temperature	-65°C to +150°C
		Lead Temperature (Soldering, 10sec)	+300°C

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

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (V+ = +5V, V- = -5V; GND = 0V, TA = 25°C, fCLK = 3.58 MHz, unless otherwise indicated.) Test circuit as shown on first page of this data sheet.

**ANALOG SECTION**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
	Zero Input Reading	VIN = 0.0000V VREF = 204.8 mV	-0000	±0000	+0000	Counts
	Ratiometric Error(4)	VIN = VREF = 204.8 mV	-3		0	Counts
	Non-Linearity (Max deviation from best straight line fit)	Full Scale = 409.6mV to 2.048V Over full operating temperature range. (Note 4), (Note 6)	-1	±2	+1	Counts
	Roll-over Error (difference in reading for equal pos. and neg. inputs near full scale)	Full Scale = 409.6mV to 2.048V (Note 5), (Note 6)	-1	±2	+1	Counts
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	VCM ±1V, VIN = 0V Full Scale = 409.6mV		±50		µV/V
VCMR	Input Common Mode Range	Input Hi, Input Lo, Common (Note 4)	V- +1.5		V+ -1.0	V
En	Noise (p-p value not exceeded 95% of time)	VIN = 0V Full Scale = 409.6mV		±15		µV
IILK	Leakage current at Input	VIN = 0 All devices at 25°C ICL7109CPL 0°C ≤ TA ≤ +70°C (Note 4) ICL7109IDL -25°C ≤ TA ≤ +85°C (Note 4) ICL7109MDL -55°C ≤ TA ≤ +125°C		1 20 100 2	10 100 250 5	pA pA pA nA
	Zero Reading Drift	VIN = 0V R1 = 0Ω (Note 4)		0.2	1	µV/°C
	Scale Factor Temperature Coefficient	VIN = 408.9mV = >7770g reading Ext. Ref. 0 ppm/°C (Note 4)		-1	5	ppm/°C
I+	Supply Current V+ to GND	VIN = 0, Crystal Osc 3.58MHz test circuit		700	1500	µA
ISUPP	Supply Current V+ to V-	Pins 2-21, 25, 26, 27, 29; open		700	1500	µA
VREF	Ref Out Voltage	Referred to V+, 25kΩ between V+ and REF OUT	-2.4	-2.8	-3.2	V
	Ref Out Temp. Coefficient	25kΩ between V+ and REF OUT		80		ppm/°C

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V^+ = +5V$ ,  $V^- = -5V$ ,  $GND = 0V$ ,  $A_A = 25^\circ C$  unless otherwise indicated.) Test circuit as shown on first page of this data sheet. (Continued)

**DIGITAL SECTION**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$V_{OH}$	Output High Voltage	$I_{OUT} = 100\mu A$ Pins 2-16, 18, 19, 20	3.5	4.3	5.0	V
$V_{OL}$	Output Low Voltage	$I_{OUT} = 1.6mA$	0.2	0.4	0.7	V
	Output Leakage Current	Pins 3-16 high impedance	±0.1			$\mu A$
	Control I/O Pullup Current	Pins 18, 19, 20 $V_{OUT} = V^+ - 3V$ MODE input at GND	5			$\mu A$
	Control I/O Loading	FBEN Pin 19 LBEN Pin 18 (Note 4)	50			pF
$V_{IH}$	Input High Voltage	Pins 18-21, 26, 27 referred to GND	3.0			V
$V_{IL}$	Input Low Voltage	Pins 18-21, 26, 27 referred to GND				V
	Input Pull-up Current	Pins 26, 27 $V_{OUT} = V^+ - 3V$	5			$\mu A$
	Input Pull-up Current	Pins 17, 24 $V_{OUT} = V^+ - 3V$	25			$\mu A$
	Input Pull-down Current	Pin 21 $V_{OUT} = GND + 3V$	5			$\mu A$
$I_{OH}$	Oscillator Output	High				$mA$
$I_{OL}$	Current	Low				$mA$
$I_{BOH}$	Buffered Oscillator	High				$mA$
$I_{BOOL}$	Output Current	Low				$mA$
$t_w$	MODE Input Pulse Width	(Note 4)	50			ns

- NOTES: 1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to  $\pm 100\mu A$ .  
 2. Due to the SCR structure inherent in the process used to fabricate these devices, connecting any digital inputs or outputs to voltages greater than  $V^+$  or less than GND may cause destructive device latchup. For this reason it is recommended that no inputs from sources other than the same power supply be applied to the ICL7109 before its power supply is established, and that in multiple supply systems the supply to the ICL7109 be activated last.  
 3. This limit refers to that of the package and will not be obtained during normal operation.  
 4. This parameter is not production tested, but is guaranteed by design.  
 5. Roll-over error for  $T_A = -55^\circ C$  to  $+125^\circ C$  is  $\pm 3$  counts maximum.  
 6. A full scale voltage of 2.048V is used because a full scale voltage of 4.096V exceeds the device's Common Mode Voltage Range.  
 7. For CerDip package the Ratio-metric error can be  $-4$  (Min).

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

TABLE 1: Pin Assignment and Function Description

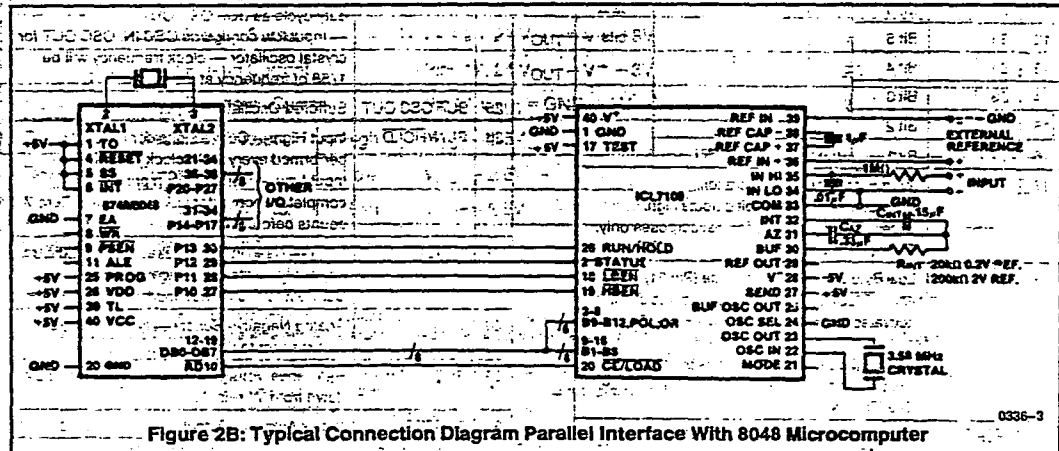
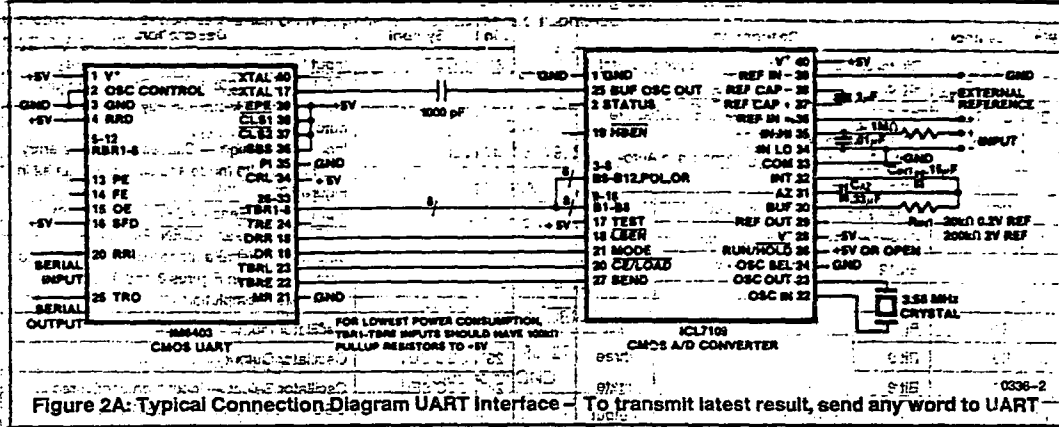
Pin	Symbol	Description
1	GND	Digital Ground, 0V. Ground return for all digital logic.
2	STATUS	Output High during integrate and deintegrate until data is latched. Output Low when analog section is in Auto-Zero configuration.
3	POL	Polarity — HI for Positive input.
4	OR	Overrange — HI if Overranged.
5	B12	Bit 12 (Most Significant Bit)
6	B11	Bit 11
7	B10	Bit 10
8	B9	Bit 9
9	B8	Bit 8
10	B7	Bit 7
11	B6	Bit 6
12	B5	Bit 5
13	B4	Bit 4
14	B3	Bit 3
15	B2	Bit 2
16	B1	Bit 1 (Least Significant Bit)
17	TEST	Input High — Normal Operation. Input Low — Forces all bit outputs high. Note: This input is used for test purposes only. Tie high if not used.
18	LBEN	Low Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates low order byte outputs B1 — B8. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a low byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
19	HBEN	High Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates high order byte outputs B9 — B12. POL, OR. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a high byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
20	CE/LOAD	Chip Enable Load — With Mode (Pin 21) low, CE/LOAD serves as a master output enable. When high, B1 — B12, POL, OR outputs are disabled. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a load strobe used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.

All three state output data bits

Pin	Symbol	Description
21	MODE	Input Low — Direct output mode where CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19) and LBEN (Pin 18) act as inputs directly controlling byte outputs. Input Pulsed High — Causes immediate entry into handshake mode and output of data as in Figure 10. Input High — Enables CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19), and LBEN (Pin 18) as outputs, handshake mode will be entered and data output as in Figures 8 and 9 at conversion completion.
22	OSC IN	Oscillator Input
23	OSC OUT	Oscillator Output
24	OSC SEL	Oscillator Select — Input high configures OSC IN, OSC OUT, BUF OSC OUT as RC oscillator — clock will be same phase and duty cycle as BUF OSC OUT. Input low configures OSC IN, OSC OUT for crystal oscillator — clock frequency will be 1/58 of frequency at BUF OSC OUT.
25	BUF OSC OUT	Buffered Oscillator Output
26	RUN/HOLD	Input High — Conversions continuously performed every 8192 clock pulses. Input Low — Conversion in progress completed, converter will stop in Auto-Zero 7 counts before integrate.
27	SEND	Input — Used in handshake mode to indicate ability of an external device to accept data. Connect to +5V if not used.
28	V-	Analog Negative Supply — Nominally -5V with respect to GND (Pin 1).
29	REF OUT	Reference Voltage Output — Nominally 2.8V down from V+ (Pin 40).
30	BUFFER	Buffer Amplifier Output
31	AUTO-ZERO	Auto-Zero Node — Inside foil of C <sub>A2</sub>
32	INTEGRATOR	Integrator Output — Outside foil of C <sub>INT</sub>
33	COMMON	Analog Common — System is Auto-Zeroed to COMMON
34	INPUT LO	Differential Input Low Side
35	INPUT HI	Differential Input High Side
36	REF IN +	Differential Reference Input Positive
37	REF CAP +	Reference Capacitor Positive
38	REF CAP -	Reference Capacitor Negative
39	REF IN -	Differential Reference Input Negative
40	V+	Positive Supply Voltage — Nominally +5V with respect to GND (Pin 1).

Note: All digital levels are positive true.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.



**DETAILED DESCRIPTION**

**Analog Section**

Figure 3 shows the equivalent circuit of the Analog Section of the ICL7109. When the RUN/HOLD input is left open or connected to V+, the circuit will perform conversions at a rate determined by the clock frequency (8192 clock periods per cycle). Each measurement cycle is divided into three phases as shown in Figure 4. They are (1) Auto-Zero (AZ), (2) Signal Integrate (INT) and (3) Deintegrate (DE).

**Auto-Zero Phase**

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from their pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C<sub>AZ</sub> to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the AZ accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than 10µV.

NOTE: All typical values have been characterized but are not listed.

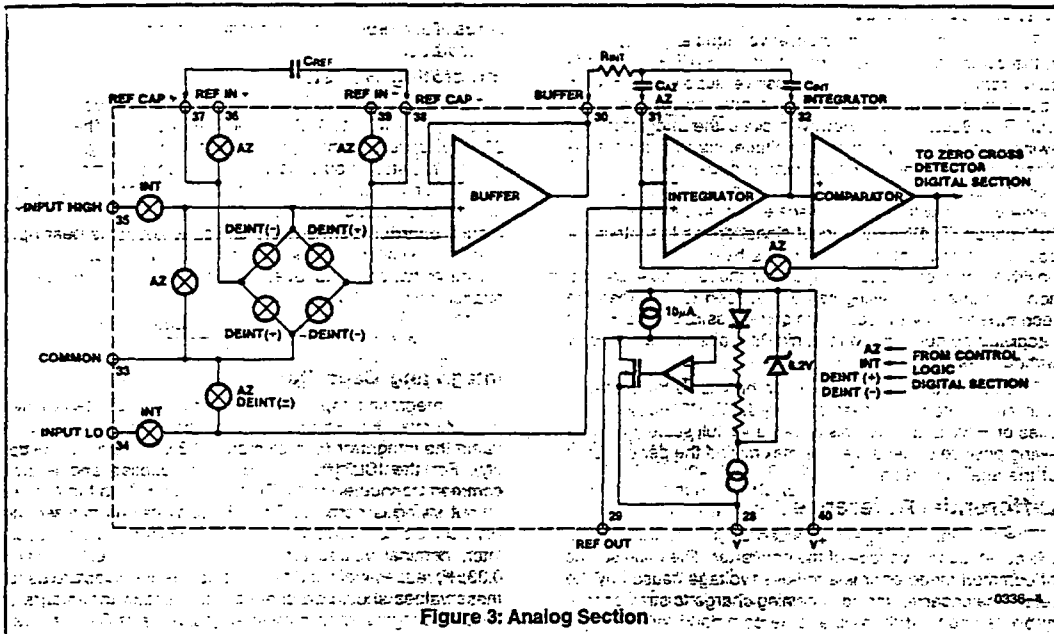


Figure 3: Analog Section

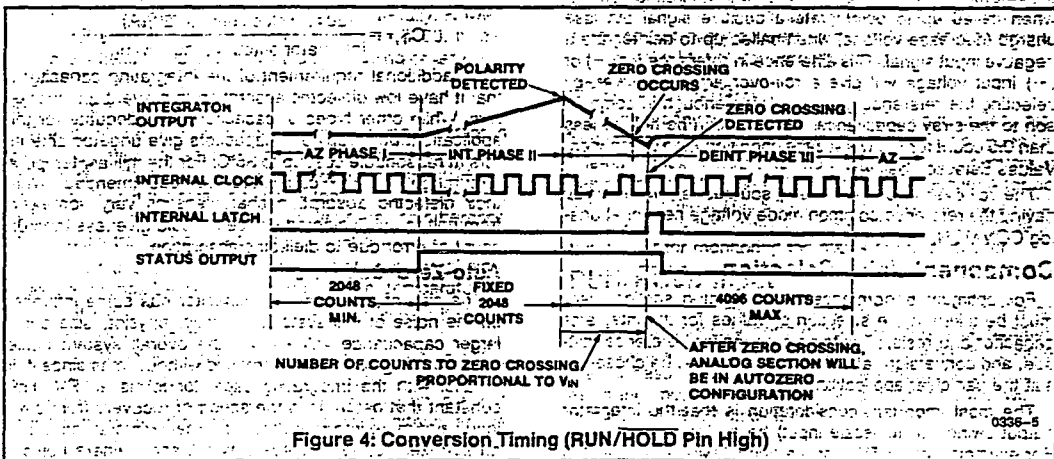


Figure 4: Conversion Timing (RUN/HOLD Pin High)

**Signal Integrate Phase**

During signal integrate the auto-zero loop is opened, the internal short is removed and the internal high and low inputs are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time of 2048 clock periods. Note that this differential voltage must be within the common mode range of the inputs. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

**De-Integrate Phase**

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged (during auto-zero) reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero crossing (established in Auto Zero) with a fixed slope. Thus the time for the output to return to zero (represented by the number of clock periods counted) is proportional to the input signal.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested

**Differential Input**

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically, from 1.0 volts below the positive supply, to 1.5 volts above the negative supply. In this range the system has a CMRR of 86dB typical. However, since the integrator also swings with the common mode voltage, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator swing can be reduced to less than the recommended 4V full scale with some loss of accuracy. The integrator output can swing within 0.3 volts of either supply without loss of linearity.

The ICL7109 has, however, been optimized for operation with analog common near digital ground. With power supplies of  $\pm 5V$  and  $-5V$ , this allows a 4V full scale integrator swing positive or negative thus maximizing the performance of the analog section.

**Differential Reference**

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to deintegrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to deintegrate a negative input signal. This difference in reference for (+) or (-) input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count for the worst case condition (see Component Values Selection below).

The roll-over error from these sources is minimized by having the reference common mode voltage near or at analog COMMON.

**Component Value Selection**

For optimum performance of the analog section, care must be taken in the selection of values for the integrator capacitor and resistor, auto-zero capacitor, reference voltage, and conversion rate. These values must be chosen to suit the particular application.

The most important consideration is that the integrator output swing (for full-scale input) be as large as possible. For example, with  $\pm 5V$  supplies and COMMON connected to GND, the nominal integrator output swing at full scale is  $\pm 4V$ . Since the integrator output can go to 0.3V from either supply without significantly affecting linearity, a 4V integrator output swing allows 0.7V for variations in output swing due to component value and oscillator tolerances. With  $\pm 5V$  supplies and a common mode range of  $\pm 1V$  required, the component values should be selected to provide  $\pm 3V$  integrator output swing. Noise and rollover errors will be slightly worse than in the  $\pm 4V$  case. For larger common mode voltage ranges, the integrator output swing must be

reduced further. This will increase both noise and rollover errors. To improve the performance, supplies of  $\pm 6V$  may be used.

**Integrating Resistor**

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with  $100\mu A$  of quiescent current. They supply  $20\mu A$  of drive current with negligible non-linearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 4.096 volt full scale,  $200k\Omega$  is near optimum and similarly a  $20k\Omega$  for a 409.6mV scale. For other values of full scale voltage,  $R_{INT}$  should be chosen by the relation

$$R_{INT} = \frac{\text{full scale voltage}}{20\mu A}$$

**Integrating Capacitor**

The integrating capacitor  $C_{INT}$  should be selected to give the maximum integrator output voltage swing without saturating the integrator (approximately 0.3 volt from either supply). For the ICL7109 with  $\pm 5$  volt supplies and analog common connected to GND, a  $\pm 3.5$  to  $\pm 4$  volt integrator output swing is nominal. For 7-1/2 conversions per second (61.72KHz clock frequency) as provided by the crystal oscillator, nominal values for  $C_{INT}$  and  $C_{AZ}$  are  $0.15\mu F$  and  $0.33\mu F$ , respectively. If different clock frequencies are used, these values should be changed to maintain the integrator output voltage swing. In general, the value of  $C_{INT}$  is given by

$$C_{INT} = \frac{(2048 \times \text{clock period})(20\mu A)}{\text{integrator output voltage swing}} \mu F$$

An additional requirement of the integrating capacitor is that it have low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost up to 85°C. For the military temperature range, Teflon® capacitors are recommended. While their dielectric absorption characteristics vary somewhat from unit to unit, selected devices should give less than 0.5 count of error due to dielectric absorption.

**Auto-Zero Capacitor**

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system: a smaller physical size and a larger capacitance value lower the overall system noise. However,  $C_{AZ}$  cannot be increased without limits since it, in parallel with the integrating capacitor, forms an R-C time constant that determines the speed of recovery from overloads and more important the error that exists at the end of an auto-zero cycle. For 409.6mV full scale where noise is very important and the integrating resistor small, a value of  $C_{AZ}$  twice  $C_{INT}$  is optimum. Similarly for 4.096V full scale where recovery is more important than noise, a value of  $C_{AZ}$  equal to half of  $C_{INT}$  is recommended.

For optimal rejection of stray pickup, the outer foil of  $C_{AZ}$  should be connected to the R-C summing junction and the inner foil to pin 31. Similarly the outer foil of  $C_{INT}$  should be connected to pin 32 and the inner foil to the R-C summing junction. Teflon® or equivalent, capacitors are recommended above 85°C for their low leakage characteristics.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

**Reference Capacitor**

A 1  $\mu$ F capacitor gives good results in most applications. However, where a large reference common mode voltage exists (i.e. the reference low is not at analog common) and a 409.6mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally 10  $\mu$ F will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance. Again, Teflon<sup>®</sup>, or equivalent capacitors should be used for temperatures above 85°C for their low leakage characteristics.

**Reference Voltage**

The analog input required to generate a full-scale output of 4096 counts is  $V_{IN} = 2V_{REF}$ . Thus for a normalized scale, a reference of 2.048V should be used for a 4.096V full scale, and 204.8mV should be used for a 0.4096V full scale. However, in many applications where the A/D is sensing the output of a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the absolute output voltage to be measured and a desired digital output. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.682V. Instead of dividing the input down to 409.6mV, the input voltage should be measured directly and a reference voltage of 0.341V should be used. Suitable values for integrating resistor and capacitor are 33k $\Omega$  and 0.15  $\mu$ F. This avoids a divider on the input. Another advantage of this system occurs when a zero reading is desired for non-zero input. Temperature and weight measurements with an offset of tare are examples. The offset may be introduced by connecting the voltage output of the transducer between common and analog high, and the offset voltage between common and analog low, observing polarities carefully. However, in processor-based systems using the ICL7109, it may be more efficient to perform this type of scaling or tare subtraction digitally using software.

**Reference Sources**

The stability of the reference voltage is a major factor in the overall absolute accuracy of the converter. The resolution of the ICL7109 at 12 bits is one part in 4096, or 244ppm. Thus if the reference has a temperature coefficient of 80ppm/°C (onboard reference) a temperature difference of 3°C will introduce a one-bit absolute error.

For this reason, it is recommended that an external high-quality reference be used where the ambient temperature is not controlled or where high-accuracy absolute measurements are being made.

The ICL7109 provides a REFERENCE OUTPUT (pin 29) which may be used with a resistive divider to generate a suitable reference voltage. This output will sink up to about 20mA without significant variation in output voltage, and is provided with a pullup bias device which sources about 10  $\mu$ A. The output voltage is nominally 2.8V below  $V^+$ , and has a temperature coefficient of  $\pm 80$ ppm/°C typ. When using the onboard reference, REF OUT (Pin 29) should be connected to REF- (pin 39), and REF+ should be connected to the wiper of a precision potentiometer between REF OUT and  $V^+$ . The circuit for a 204.8mV reference is shown in the test circuit. For a 2.048mV reference, the fixed resistor should be removed, and a 25k $\Omega$  precision potentiometer between REF OUT and  $V^+$  should be used.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

Note that if pins 29 and 39 are tied together and pins 39 and 40 accidentally shorted (e.g., during testing), the reference supply will sink enough current to destroy the device. This can be avoided by placing a 1k $\Omega$  resistor in series with pin 39.

**DETAILED DESCRIPTION****Digital Section**

The digital section includes the clock oscillator and scaling circuit, a 12-bit binary counter with output latches and TTL-compatible three-state output drivers, polarity, over-range and control logic, and UART handshake logic, as shown in Figure 5.

Throughout this description, logic levels will be referred to as "low" or "high". The actual logic levels are defined in the Electrical Characteristics Table. For minimum power consumption, all inputs should swing from GND (low) to  $V^+$  (high). Inputs driven from TTL gates should have 3-5k $\Omega$  pullup resistors added for maximum noise immunity.

**MODE Input**

The MODE input is used to control the output mode of the converter. When the MODE pin is low or left open (this input is provided with a pulldown resistor to ensure a low level when the pin is left open), the converter is in its "Direct" output mode, where the output data is directly accessible under the control of the chip and byte enable inputs. When the MODE input is pulsed high, the converter enters the UART handshake mode and outputs the data in two bytes, then returns to "direct" mode. When the MODE input is left high, the converter will output data in the handshake mode at the end of every conversion cycle. (See section entitled "Handshake Mode" for further details).

**STATUS Output**

During a conversion cycle, the STATUS output goes high at the beginning of Signal Integrate (Phase II), and goes low one-half clock period after new data from the conversion has been stored in the output latches. See Figure 4 for details of this timing. This signal may be used as a "data valid" flag (data never changes while STATUS is low) to drive interrupts, or for monitoring the status of the converter.

**RUN/HOLD Input**

When the RUN/HOLD input is high, or left open, the circuit will continuously perform conversion cycles, updating the output latches after zero crossing during the Deintegrate (Phase III) portion of the conversion cycle (See Figure 4). In this mode of operation, the conversion cycle will be performed in 8192 clock periods, regardless of the resulting value.

If RUN/HOLD goes low at any time during Deintegrate (Phase III) after the zero crossing has occurred, the circuit will immediately terminate Deintegrate and jump to Auto-Zero. This feature can be used to eliminate the time spent in Deintegrate after the zero-crossing. If RUN/HOLD stays or goes low, the converter will ensure minimum Auto-Zero time, and then wait in Auto-Zero until the RUN/HOLD input goes high. The converter will begin the Integrate (Phase II) portion of the next conversion (and the STATUS output will go high) seven clock periods after the high level is detected at RUN/HOLD. See Figure 6 for details.

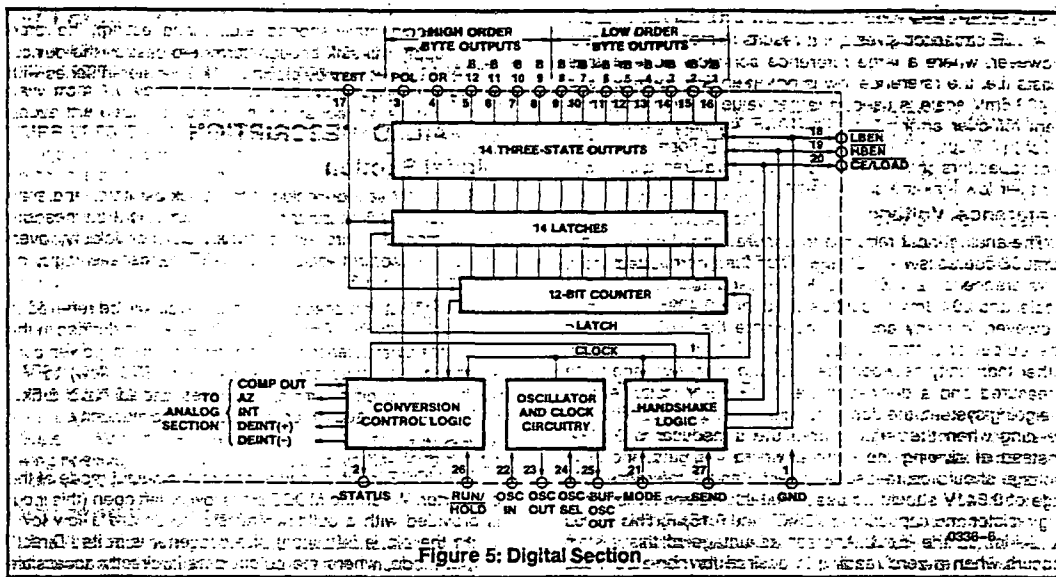


Figure 5: Digital Section

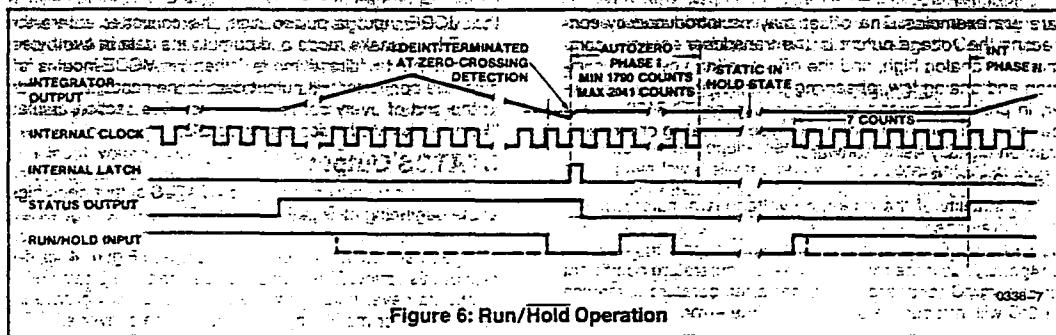


Figure 6: Run/Hold Operation

Using the RUN/HOLD input in this manner allows an easy "convert on demand" interface to be used. The converter may be held at idle in auto-zero with RUN/HOLD low. When RUN/HOLD goes high the conversion is started, and when the STATUS output goes low the new data is valid (or transferred to the UART — see Handshake Mode). RUN/HOLD may now be taken low which terminates deintegrate and ensures a minimum Auto-Zero time before the next conversion.

Alternately, RUN/HOLD can be used to minimize conversion time by ensuring that it goes low during Deintegrate, after zero crossing, and goes high after the hold point is reached. The required activity on the RUN/HOLD input can be provided by connecting it to the Buffered Oscillator Output. In this mode the conversion time is dependent on the input value measured. Also refer to Harris Application Bulletin A032 for a discussion of the effects this will have on Auto-Zero performance.

If the RUN/HOLD input goes low and stays low during Auto-Zero (Phase I), the converter will simply stop at the end of Auto-Zero and wait for RUN/HOLD to go high. As above, Integrate (Phase II) begins seven clock periods after the high level is detected.

**Direct Mode**

When the MODE pin is left at a low level, the data outputs (bits 1 through 8: low order byte, bits 9 through 12: polarity and over-range high order byte) are accessible under control of the byte and chip enable terminals as inputs. These three inputs are all active low, and are provided with pullup resistors to ensure an inactive high level when left open. When the chip enable input is low, taking a byte enable input low will allow the outputs of that byte to become active (three-stated on). This allows a variety of parallel data accessing techniques to be used, as shown in the section entitled "Interfacing". The timing requirements for these outputs are shown in Figure 7 and Table 2.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

Table 2— Direct Mode Timing Requirements (See Note 4 of Electrical Characteristics)

SYMBOL	DESCRIPTION	MIN	TYP	MAX	UNIT
t <sub>BEA</sub>	Byte Enable Width	350	220		ns
t <sub>DAB</sub>	Data Access Time from Byte Enable		210	350	ns
t <sub>DHB</sub>	Data Hold Time from Byte Enable		150	300	ns
t <sub>CEA</sub>	Chip Enable Width	400	260		ns
t <sub>DAC</sub>	Data Access Time from Chip Enable		260	400	ns
t <sub>DHC</sub>	Data Hold Time from Chip Enable		240	400	ns

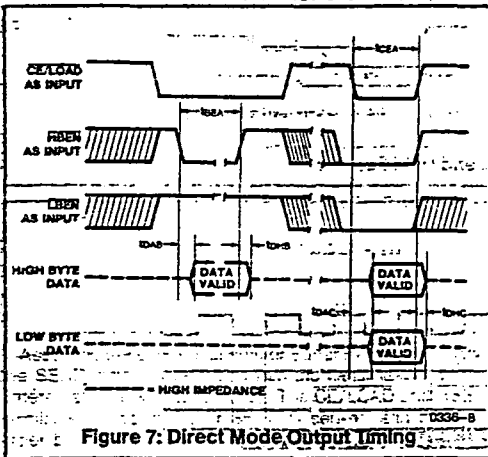


Figure 7: Direct Mode Output Timing

It should be noted that these control inputs are asynchronous with respect to the converter clock — the data may be accessed at any time. Thus it is possible to access the latches while they are being updated, which could lead to erroneous data. Synchronizing the access of the latches with the conversion cycle by monitoring the STATUS output will prevent this. Data is never updated while STATUS is low.

Handshake Mode

The handshake output mode is provided as an alternative means of interfacing the ICL7109 to digital systems, where the A/D converter becomes active in controlling the flow of data instead of passively responding to chip and byte enable inputs. This mode is specifically designed to allow a direct interface between the ICL7109 and industry-standard UARTs (such as the Harris IM6402/3) with no external logic required. When triggered into the handshake mode, the

ICL7109 provides all the control and flag signals necessary to sequentially transfer two bytes of data into the UART and initiate their transmission in serial form. This greatly eases the task and reduces the cost of designing remote data acquisition stations using serial data transmission.

Entry into the handshake mode is controlled by the MODE pin. When the MODE terminal is held high, the ICL7109 will enter the handshake mode after new data has been stored in the output latches at the end of a conversion (See Figures 8 and 9). The MODE terminal may also be used to trigger entry into the handshake mode on demand. At any time during the conversion cycle, the low to high transition of a short pulse at the MODE input will cause immediate entry into the handshake mode. If this pulse occurs while new data is being stored, the entry into handshake mode is delayed until the data is stable. While the converter is in the handshake mode, the MODE input is ignored, and although conversions will still be performed, data updating will be inhibited (See Figure 10) until the converter completes the output cycle and clears the handshake mode.

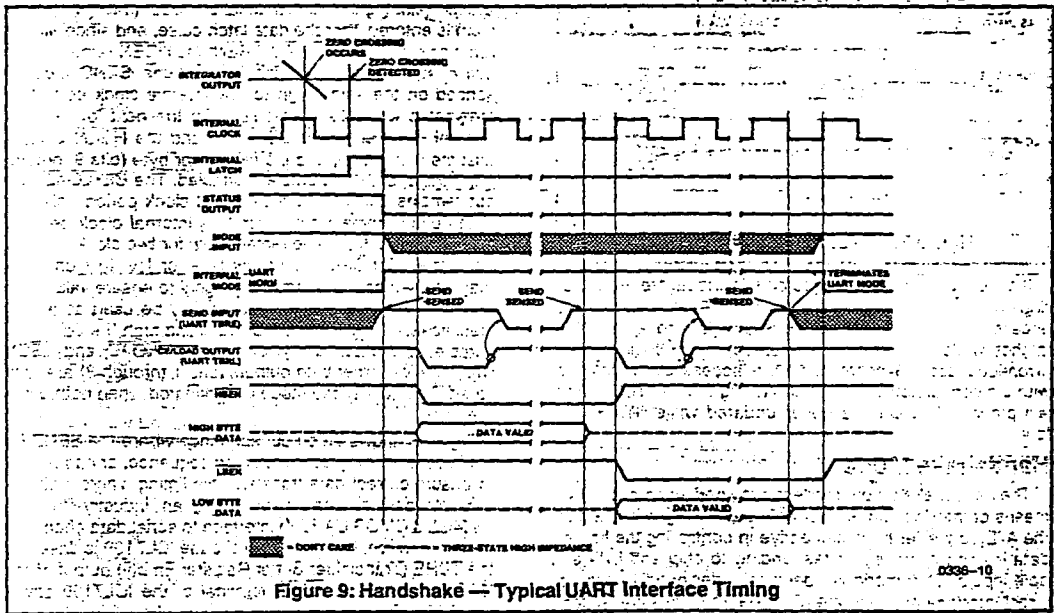
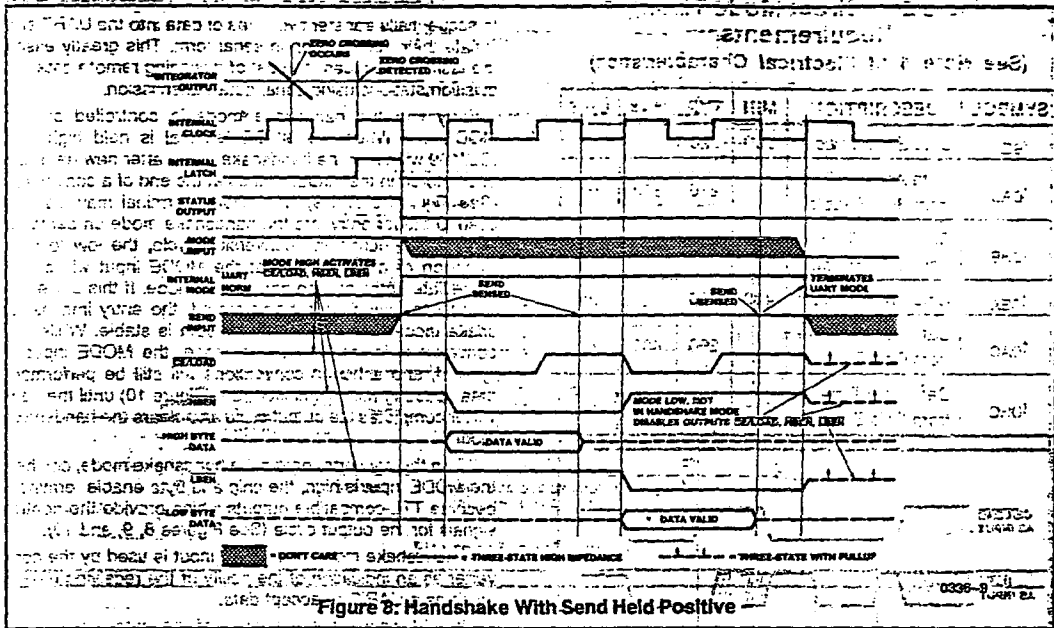
When the converter enters the handshake mode, or when the MODE input is high, the chip and byte enable terminals become TTL-compatible outputs which provide the control signals for the output cycle (See Figures 8, 9, and 10).

In handshake mode, the SEND input is used by the converter as an indication of the ability of the receiving device (such as a UART) to accept data.

Figure 8 shows the sequence of the output cycle with SEND held high. The handshake mode (internal MODE high) is entered after the data latch pulse, and since MODE remains high the CE/LOAD, LBEN and HBEN terminals are active as outputs. The high level at the SEND input is sensed on the same high to low internal clock edge that terminates the data latch pulse. On the next low to high internal clock edge the CE/LOAD and the HBEN outputs assume a low level, and the high-order byte (bits 9 through 12, POL and OR) outputs are enabled. The CE/LOAD output remains low for one full internal clock period only; the data outputs remain active for 1-1/2 internal clock periods; and the high byte enable remains low for two clock periods. Thus the CE/LOAD output low level or low to high edge may be used as a synchronizing signal to ensure valid data; and the byte enable as an output may be used as a byte identification flag. With SEND remaining high the converter completes the output cycle using CE/LOAD and LBEN while the low order byte outputs (bits 1 through 8) are activated. The handshake mode is terminated when both bytes are sent.

Figure 9 shows an output sequence where the SEND input is used to delay portions of the sequence, or handshake to ensure correct data transfer. This timing diagram shows the relationships that occur using an industry-standard IM6402/3 CMOS UART to interface to serial data channels. In this interface, the SEND input to the ICL7109 is driven by the TBRE (Transmitter Buffer Register Empty) output of the UART, and the CE/LOAD terminal of the ICL7109 drives the TBRL (Transmitter Buffer Register Load) input to the UART. The data outputs are paralleled into the eight Transmitter Buffer Register inputs.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.



NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

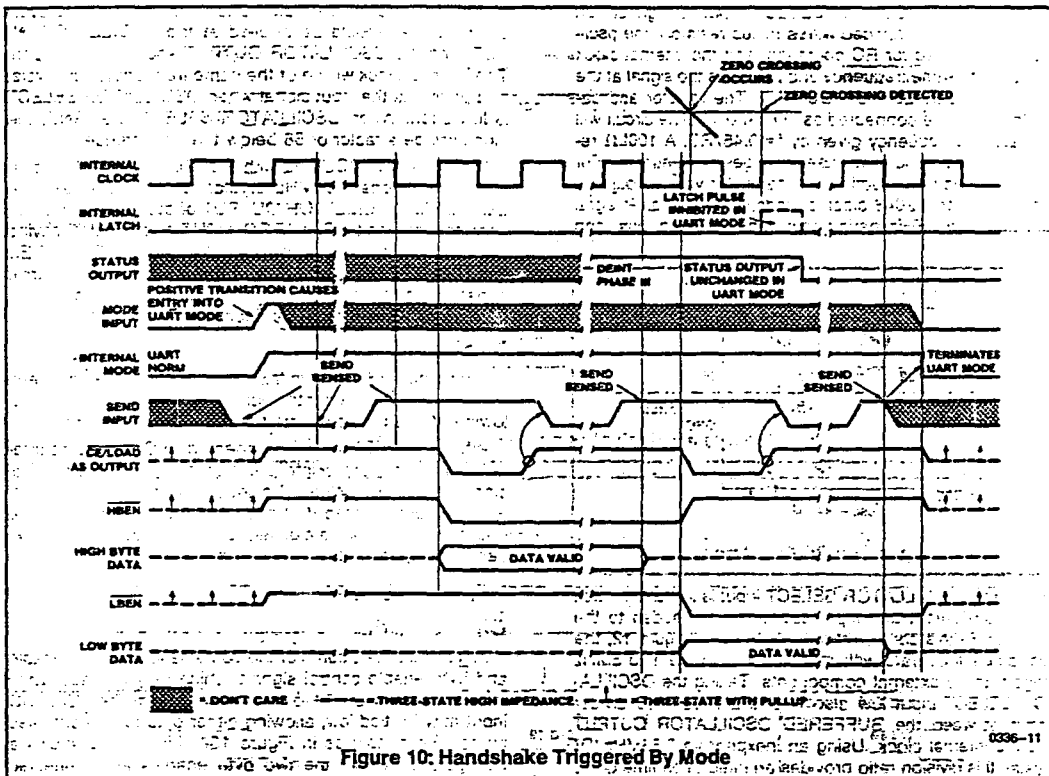


Figure 10: Handshake Triggered By Mode

Assuming the UART Transmitter Buffer Register is empty, the SEND input will be high when the handshake mode is entered after new data is stored. The CE/LOAD and HBEN terminals will go low after SEND is sensed, and the high order byte outputs become active. When CE/LOAD goes high at the end of one clock period, the high order byte data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register. The UART TBRE output will now go low, which halts the output cycle with the HBEN output low, and the high order byte outputs active. When the UART has transferred the data to the Transmitter Register and cleared the Transmitter Buffer Register, the TBRE returns high. On the next ICL7109 internal clock high to low edge, the high order byte outputs are disabled, and one-half internal clock later, the HBEN output returns high. At the same time, the CE/LOAD and LBEN outputs go low, and the low order byte outputs become active. Similarly, when the CE/LOAD returns high at the end of one clock period, the low order data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register, and TBRE again goes low. When TBRE returns to a high it will be sensed on the next ICL7109 internal clock high to low edge, disabling the data outputs. One-half internal clock later, the handshake mode will be cleared, and the CE/LOAD, HBEN, and LBEN terminals return high and stay active (as long as MODE stays high).

With the MODE input remaining high as in these examples, the converter will output the results of every conversion except those completed during a handshake operation. By triggering the converter into handshake mode with a low to high edge on the MODE input, handshake output sequences may be performed on demand. Figure 10 shows a handshake output sequence triggered by such an edge. In addition, the SEND input is shown as being low when the converter enters handshake mode. In this case, the whole output sequence is controlled by the SEND input, and the sequence for the first (high order) byte is similar to the sequence for the second byte. This diagram also shows the output sequence taking longer than a conversion cycle. Note that the converter still makes conversions, with the STATUS output and RUN/HOLD input functioning normally. The only difference is that new data will not be latched when in handshake mode, and is therefore lost.

**Oscillator**

The ICL7109 is provided with a versatile three terminal oscillator to generate the internal clock. The oscillator may be overdriven, or may be operated with an RC network or crystal. The OSCILLATOR SELECT input changes the internal configuration of the oscillator to optimize it for RC or crystal operation.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

When the OSCILLATOR SELECT input is high or left open (the input is provided with a pullup resistor), the oscillator is configured for RC operation; and the internal clock will be of the same frequency and phase as the signal at the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT. The resistor and capacitor should be connected as in Figure 11. The circuit will oscillate at a frequency given by  $f \approx 0.45/RC$ . A 100k resistor is recommended for useful ranges of frequency. For optimum 60Hz line rejection, the capacitor value should be chosen such that 2048 clock periods is close to an integral multiple of the 60Hz period (but should not be less than 50pF).

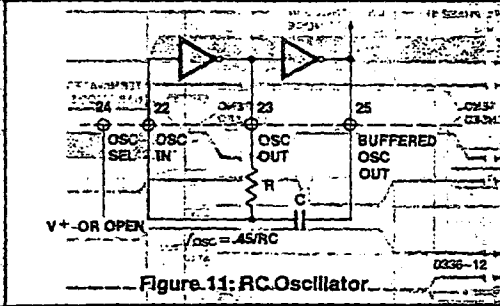


Figure 11: RC Oscillator

When the OSCILLATOR SELECT input is low a feedback device and output and input capacitors are added to the oscillator. In this configuration, as shown in Figure 12, the oscillator will operate with most crystals in the 1 to 5MHz range with no external components. Taking the OSCILLATOR SELECT input low also inserts a fixed 58 divider circuit between the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT and the internal clock. Using an inexpensive 3.58MHz TV crystal, this division ratio provides an integration time given by:

$$T_{INT} = (2048 \text{ clock periods}) \times (T_{clock}) = 33.18 \text{ ms}$$

$$\text{where } T_{clock} = \frac{1}{58 \times 3.58 \text{ MHz}}$$

This time is very close to two 60Hz periods or 33.33ms. The error is less than one percent, which will give better than 40dB 60Hz rejection. The converter will operate reliably at conversion rates of up to 30 per second, which corresponds to a clock frequency of 245.8kHz.

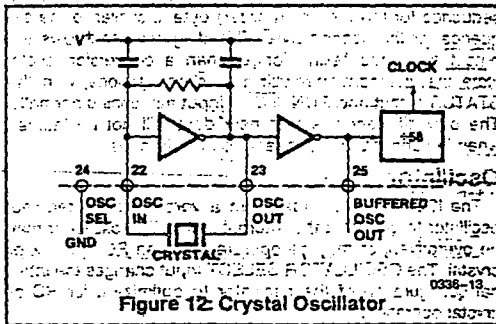


Figure 12: Crystal Oscillator

at any time the oscillator is to be overdriven, the overdriving signal should be applied at the OSCILLATOR INPUT, and the OSCILLATOR OUTPUT should be left open. The internal clock will be of the same frequency, duty cycle, and phase as the input signal when OSCILLATOR SELECT is left open. When OSCILLATOR SELECT is at GND, the clock will be a factor of 58 below the input frequency.

When using the ICL7109 with the TM6403 UART, it is possible to use one 3.58MHz crystal for both devices. The BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT of the ICL7109 may be used to drive the OSCILLATOR INPUT of the UART, saving the need for a second crystal. However, the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT does not have a great deal of drive capability, and when driving more than one slave device, external buffering should be used.

**Test Input**

When the TEST input is taken to a level halfway between V+ and GND, the counter output latches are enabled, allowing the counter contents to be examined anytime.

When the TEST input is connected to GND, the counter outputs are all forced into the high state, and the internal clock is disabled. When the input returns to the 1/2 (V+ - GND) voltage (or to V+) and one clock is applied, all the counter outputs will be clocked to the low state. This allows easy testing of the counter and its outputs.

**INTERFACING**

**Direct Mode**

Figure 13 shows some of the combinations of chip enable and byte enable control signals which may be used when interfacing the ICL7109 to parallel data lines. The CE/LOAD input may be tied low, allowing either byte to be controlled by its own enable as in Figure 13A. Figure 13B shows a configuration where the two byte enables are connected together. In this configuration, the CE/LOAD serves as a chip enable, and the HBEN and LBEN may be connected to GND or serve as a second chip enable. The 14 data outputs will all be enabled simultaneously. Figure 13C shows the HBEN and LBEN as flag inputs, and CE/LOAD as a master enable, which could be the READ strobe available from most microprocessors.

Figure 14 shows an approach to interfacing several ICL7109s to a bus, ganging the HBEN and LBEN signals to several converters together, and using the CE/LOAD inputs (perhaps decoded from an address) to select the desired converter.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

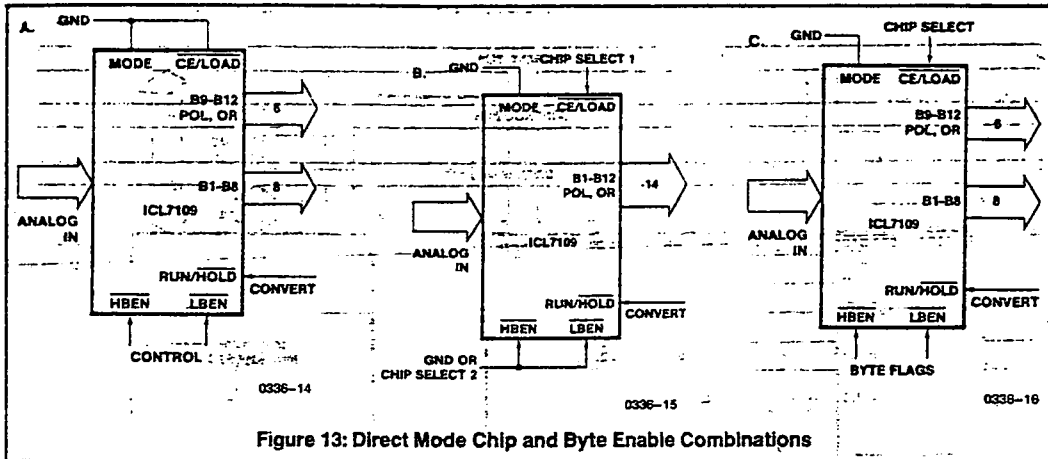


Figure 13: Direct Mode Chip and Byte Enable Combinations

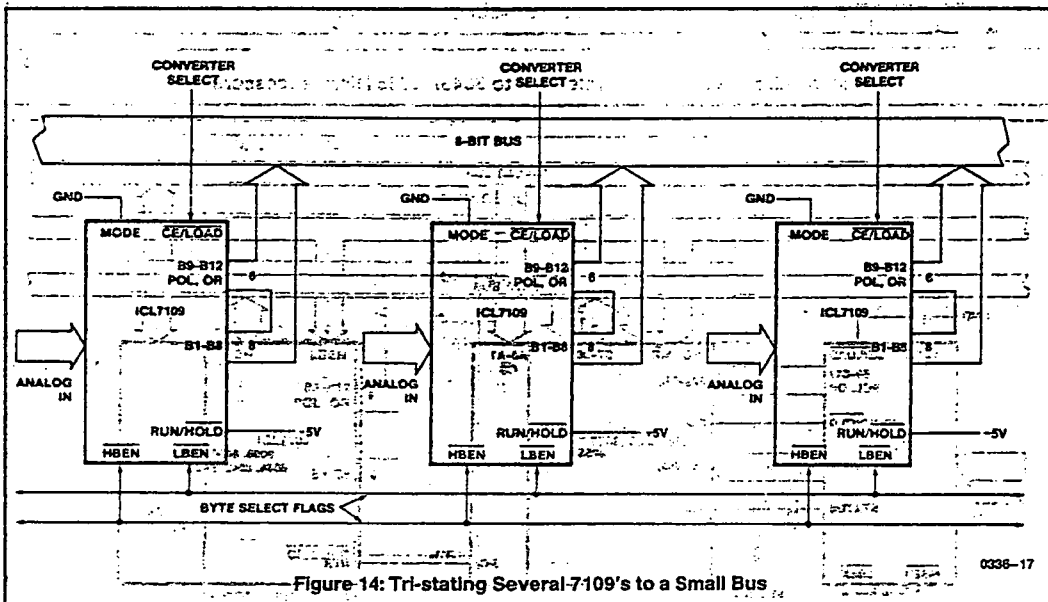


Figure 14: Tri-stating Several 7-109's to a Small Bus

Some practical circuits utilizing the parallel three-state output capabilities of the ICL7109 are shown in Figures 15 through 20. Figure 15 shows a straightforward application to the Intel 8048/80/85 microprocessors via an 8255 PPI where the ICL7109 data outputs are active at all times. The I/O ports of an 8155 may be used in the same way. This interface can be used in a read-anytime mode, although a read, performed while the data latches are being updated, will lead to scrambled data. This will occur very rarely, in the proportion of setup-skew times to conversion time. One way to overcome this is to read the STATUS output as well, and if it is high, read the data again after a delay of more than 1/2

converter clock period. If STATUS is now low, the second reading is correct, and if it is still high, the first reading is correct. Alternatively, this timing problem is completely avoided by using a read-after-update sequence, as shown in Figure 16. Here the high to low transition of the STATUS output drives an interrupt to the microprocessor causing it to access the data latches. This application also shows the RUN/HOLD input being used to initiate conversions under software control.

A similar interface to Motorola MC6800 or Rockwell R650X systems is shown in Figure 17. The high to low transition of the STATUS output generates an interrupt via the

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

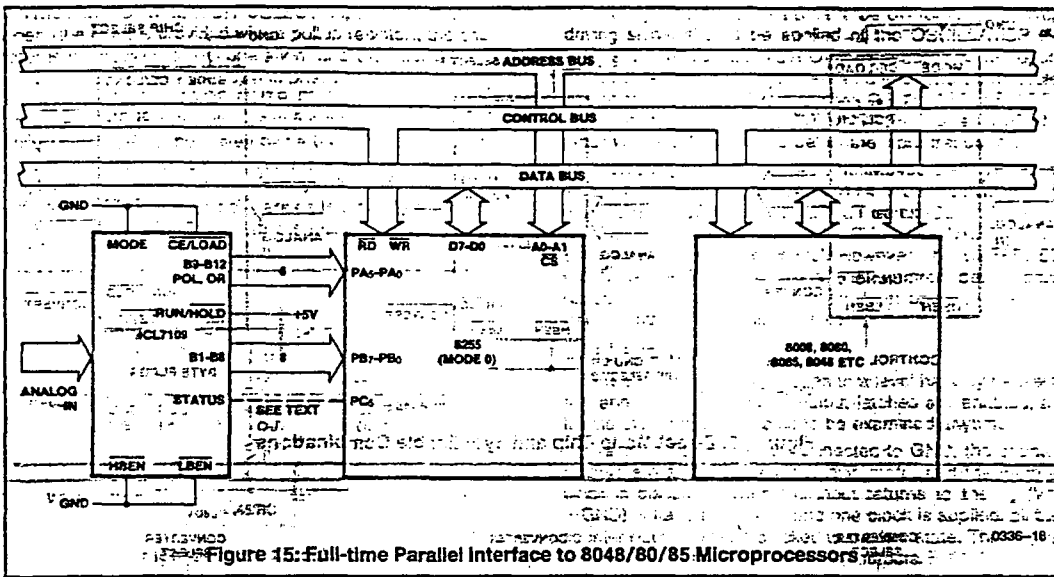


Figure 15: Full-time Parallel Interface to 8048/80/85 Microprocessors

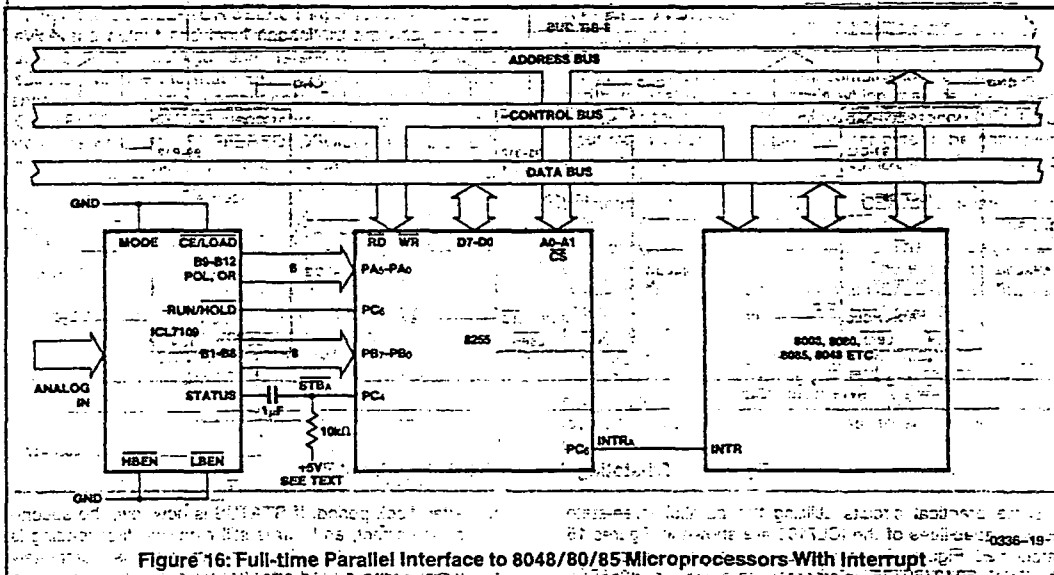


Figure 16: Full-time Parallel Interface to 8048/80/85 Microprocessors With Interrupt

Control Register B CB1 line. Note that CB2 controls the RUN/HOLD pin through Control Register B, allowing software-controlled initiation of conversions in this system as well.

The three-state output capability of the ICL7109 allows direct interfacing to most microprocessor buses. Examples of this are shown in Figures 18 and 19. It is necessary to carefully consider the system timing in this type of interface,

to be sure that requirements for setup and hold times, and minimum pulse widths are met. Note also the drive limitations on long buses. Generally this type of interface is only favored if the memory peripheral address density is low so that simple address decoding can be used. Interrupt handling can also require many additional components, and using an interface device will usually simplify the system in this case.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

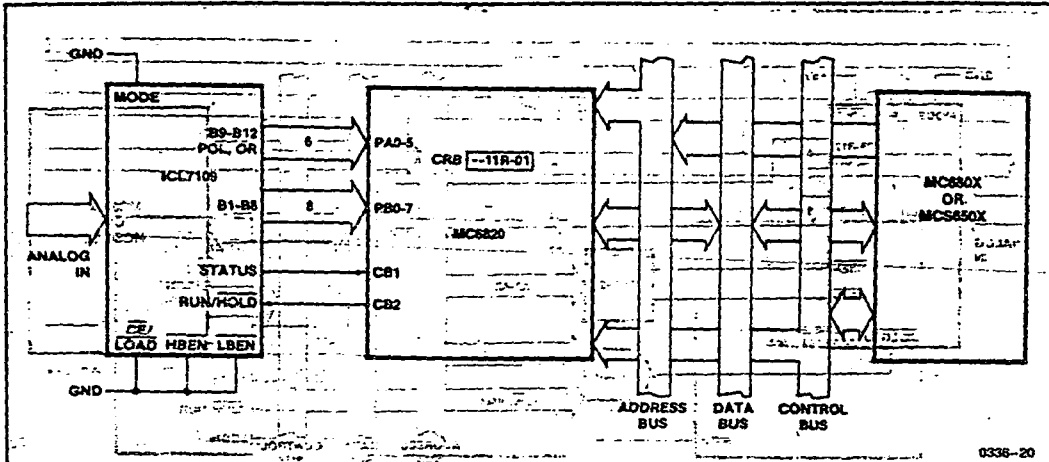


Figure 17: Full-time Parallel Interface to MC680X or MCS650X Microprocessors

0336-20

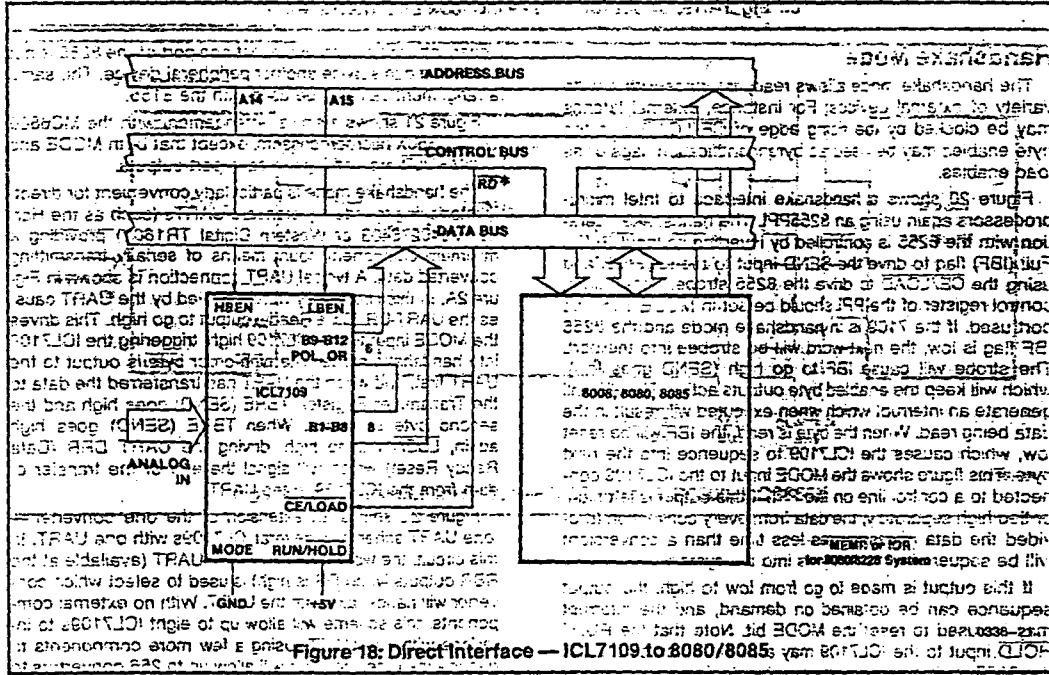


Figure 18: Direct Interface — ICL7109 to 8080/8085

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

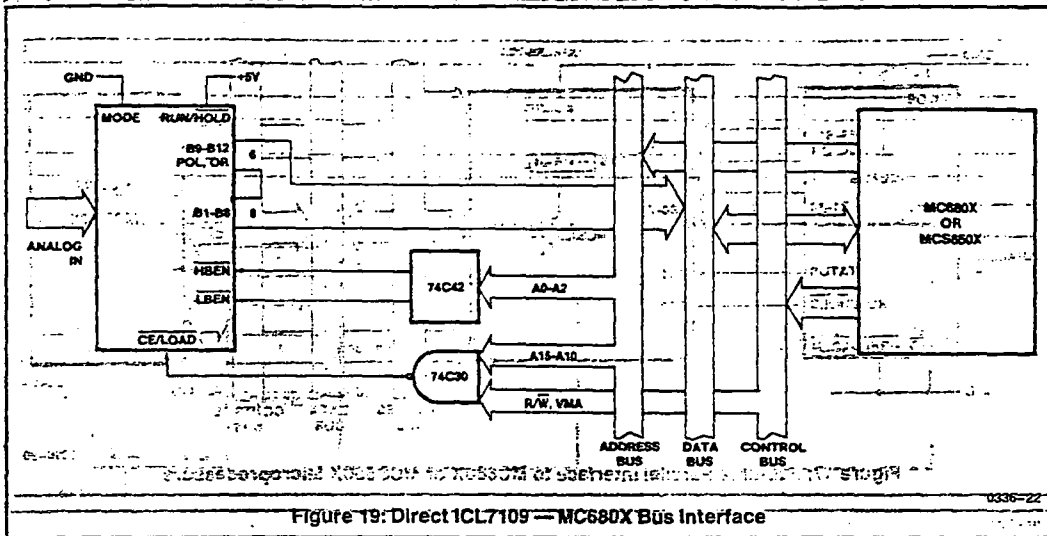


Figure 19: Direct ICL7109 - MC680X Bus Interface

**Handshake Mode**

The handshake mode allows ready interface with a wide variety of external devices. For instance, external latches may be clocked by the rising edge of CE/LOAD, and the byte enables may be used as byte identification flags or as load enables.

Figure 20 shows a handshake interface to Intel microprocessors again using an 8255PPI. The handshake operation with the 8255 is controlled by inverting its Input Buffer Full (IBF) flag to drive the SEND input to the ICL7109, and using the CE/LOAD to drive the 8255 strobe. The internal control register of the PPI should be set in MODE 1 for the port used. If the 7109 is in handshake mode and the 8255 IBF flag is low, the next word will be strobed into the port. The strobe will cause IBF to go high (SEND goes low), which will keep the enabled byte outputs active. The PPI will generate an interrupt which when executed will result in the data being read. When the byte is read, the IBF will be reset low, which causes the ICL7109 to sequence into the next byte. This figure shows the MODE input to the ICL7109 connected to a control line on the PPI. If this output is left high, or tied high separately, the data from every conversion (provided the data access takes less time than a conversion) will be sequenced in two bytes into the system.

If this output is made to go from low to high, the output sequence can be obtained on demand, and the interrupt may be used to reset the MODE bit. Note that the RUN/HOLD input to the ICL7109 may also be driven by a bit of the 8255 so that conversions may be obtained on command

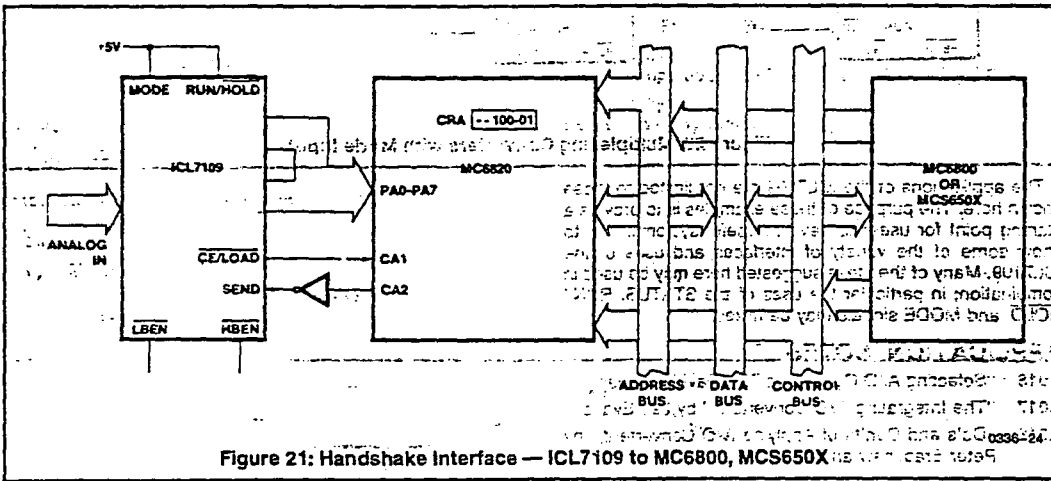
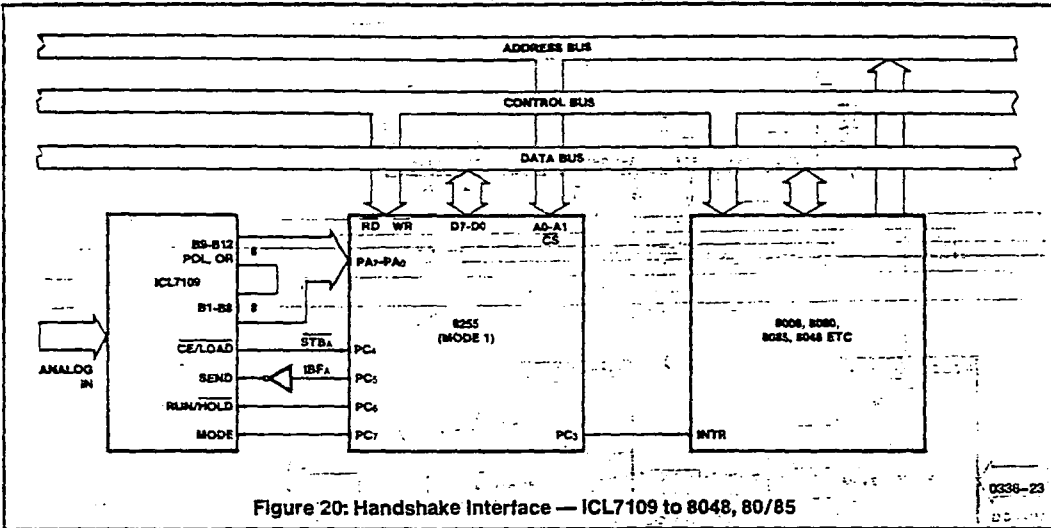
under software control. Note that one port of the 8255 is not used, and can service another peripheral device. The same arrangement can also be used with the 8155.

Figure 21 shows a similar arrangement with the MC6800 or MC6805X microprocessors, except that both MODE and RUN/HOLD are tied high to save port outputs.

The handshake mode is particularly convenient for direct interfacing to industry standard UARTs (such as the Harris IM6402/6403 or Western Digital TR1602) providing a minimum component count means of serially transmitting converted data. A typical UART connection is shown in Figure 2A. In this circuit, any word received by the UART causes the UART DR (Data Ready) output to go high. This drives the MODE input to the ICL7109 high, triggering the ICL7109 into handshake mode. The high order byte is output to the UART first, and when the UART has transferred the data to the Transmitter Register, TBRE (SEND) goes high and the second byte is output. When TBRE (SEND) goes high again, LBEN will go high, driving the UART DRR (Data Ready Reset) which will signal the end of the transfer of data from the ICL7109 to the UART.

Figure 22 shows an extension of the one converter - one UART scheme to several ICL7109s with one UART. In this circuit, the word received by the UART (available at the RBR outputs when DR is high) is used to select which converter will handshake with the UART. With no external components, this scheme will allow up to eight ICL7109s to interface with one UART. Using a few more components to decode the received word will allow up to 256 converters to be accessed on one serial line.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.



3

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

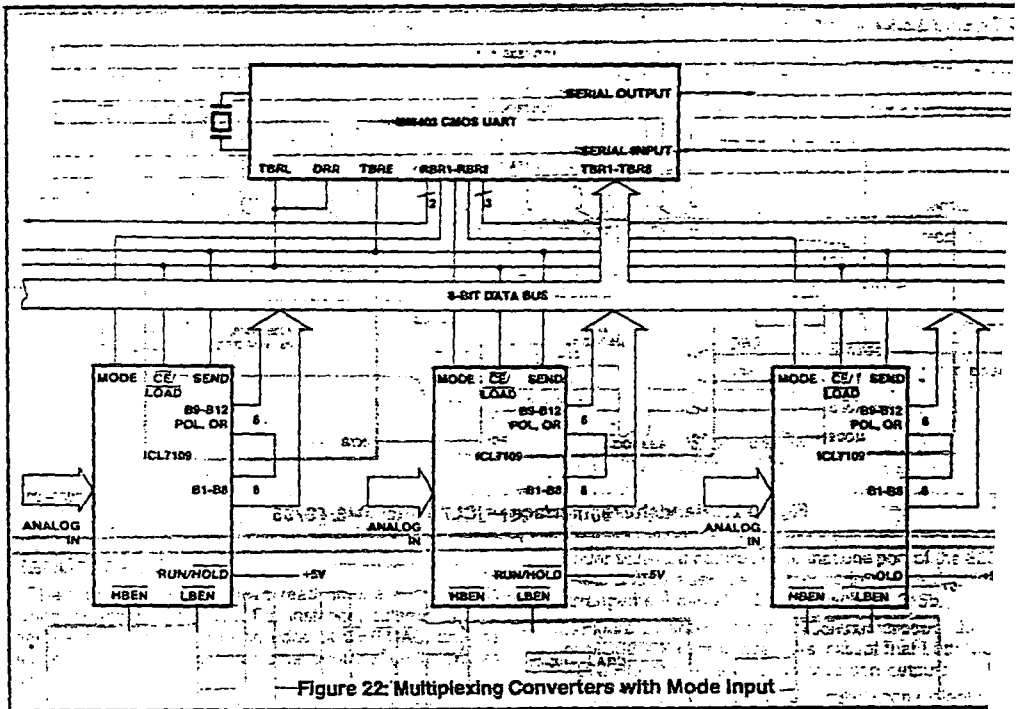


Figure 22: Multiplexing Converters with Mode Input

The applications of the ICL7109 are not limited to those shown here. The purpose of these examples is to provide a starting point for users to develop useful systems, and to show some of the variety of interfaces and uses of the ICL7109. Many of the ideas suggested here may be used in combination; in particular the uses of the STATUS, RUN/HOLD, and MODE signals may be mixed.

**APPLICATION NOTES**

- A016 "Selecting A/D Converters," by David Fullagar
- A017 "The Integrating A/D Converters," by Lee Evans
- A018 "Do's and Don'ts of Applying A/D Converters," by Peter Bradshaw and Skip Osgood
- A030 "The ICL7104 - A Binary Output A/D Converter for Microprocessors," by Peter Bradshaw
- A032 "Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7106 Family," by Peter Bradshaw
- R005 "Interfacing Data Converters & Microprocessors," by Peter Bradshaw et al, Electronics, Dec. 9, 1976.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

**ICL7109  
INTEGRATING A/D CONVERTER  
EQUATIONS**

**Oscillator Frequency**  
 $f_{osc} = 0.45/RC$   
 $C_{osc} > 50 \text{ pF}; R_{osc} > 50 \text{ k}\Omega$   
 $f_{osc \text{ typ.}} = 60 \text{ kHz}$   
 or  
 $f_{osc} = 3.58 \text{ MHz Crystal}$

**Oscillator Period**  
 $t_{osc} = RC/0.45$   
 $t_{osc} = 1/3.58 \text{ MHz (Crystal)}$

**Integration Clock Frequency**  
 $f_{clock} = f_{osc} \text{ (RC Mode)}$   
 $f_{clock} = f_{osc}/58 \text{ (Crystal)}$   
 $f_{clock} = 1/t_{clock}$

**Integration Period**  
 $t_{int} = 2048 \times t_{clock}$

**60/50 Hz Rejection Criterion**  
 $t_{int}/160 \text{ Hz or } t_{int}/150 \text{ Hz} = \text{Integer}$

**Optimum Integration Current**  
 $I_{int} = 20.0 \mu\text{A}$

**Full Scale Analog Input Voltage**  
 $V_{inFS} \text{ Typically} = 200 \text{ mV or } 2.0\text{V}$

**Integrate Resistor**  
 $R_{int} = \frac{V_{inFS}}{I_{int}}$

**Integrate Capacitor**  
 $C_{int} = \frac{(t_{int})(I_{int})}{V_{int}}$

**Display Count**  
 $COUNT = 2048 \times \frac{V_{in}}{V_{REF}}$

**Conversion Cycle**  
 $t_{cyc} = t_{clock} \times 8192$   
 (In Free-Run Mode,  $R_{int}/HOLD = 1$ )  
 when  $f_{clock} = 60 \text{ kHz}, t_{cyc} = 133 \text{ ms}$

**Common Mode Input Voltage**  
 $(V^+ + 1.0\text{V}) < V_{in} < (V^- - 0.5\text{V})$

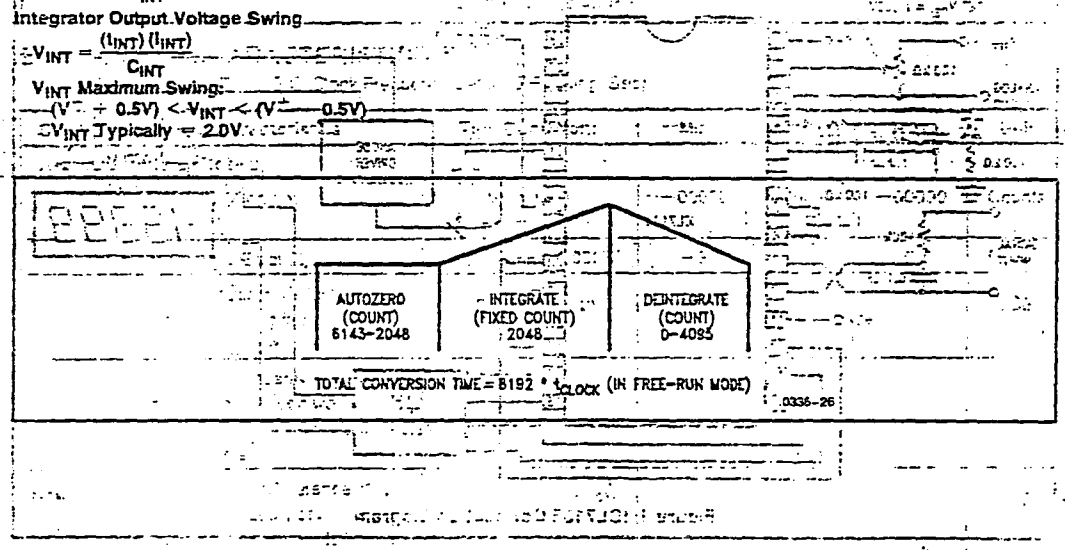
**Auto Zero Capacitor**  
 $0.01 \mu\text{F} < C_{AZ} < 1.0 \mu\text{F}$

**Reference Capacitor**  
 $0.1 \mu\text{F} < C_{REF} < 1.0 \mu\text{F}$

**$V_{REF}$**   
 Biased between  $V^+$  and  $V^-$   
 $V_{REF} = V^+ - 2.8\text{V}$   
 Regulation lost when  $V^+ \text{ to } V^- \leq 64\text{V}$   
 If  $V_{REF}$  is not used, float output pin.

**Power Supply: Dual  $\pm 5.0\text{V}$**   
 $V^+ = +5.0 \text{ to GND}$   
 $V^- = -5.0 \text{ to GND}$

**Output Type:**  
 Binary Amplitude with Polarity and Overage Bits  
 Tips: Always tie TEST pin HIGH.  
 Don't leave any inputs floating.



NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

เอกสารอ้างอิง

1. ชัยवाल โชติวารินทร์ , LM335 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ , วารสารเซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ 76 , พ.ศ.2530
2. ทีมงาน ETT , CP-Z84C11 PLUS I/O CONTROLLER , กันยายน พ.ศ.2534
3. อุดมศักดิ์ อึ้งสิน , POWER ELECTRONIC I , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4. เปรมจิตร วิสุทธิศิริ , พื้นฐานวงจร แอกต์ ดิกเอ ตอน 2 วงจรแปลงอะนาลอกเป็นดิจิตอล , วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 103 , พ.ศ.2534
5. มานะศิลป์ นิรมัสาร , ระบบนำร่องในอาคาร , พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท เอ็ม แอนด์ อี จำกัด และ ซีแอลยูเคชั่น จำกัด, กันยายน 2533
6. HARRIS SEMICONDUCTOR, ICL 7109 12 BIT  $\mu$ P-COMPITIBLE A/D CONVERTER
7. ANTIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION, LINEAR DATABOOK 1, (1988)

### ประวัติผู้เขียน

นายประวิทย์ หัตถโชติ เกิดวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2515 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา และเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษา ณ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2533 เลขประจำตัว 33504020

นางสาวปณัญชรัตน์ แก้วทิพนเตร เกิดวันที่ 3 มกราคม 2515 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนชลกันยานุกูล จังหวัดชลบุรี และเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษา ณ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2533 เลขประจำตัว 33504021