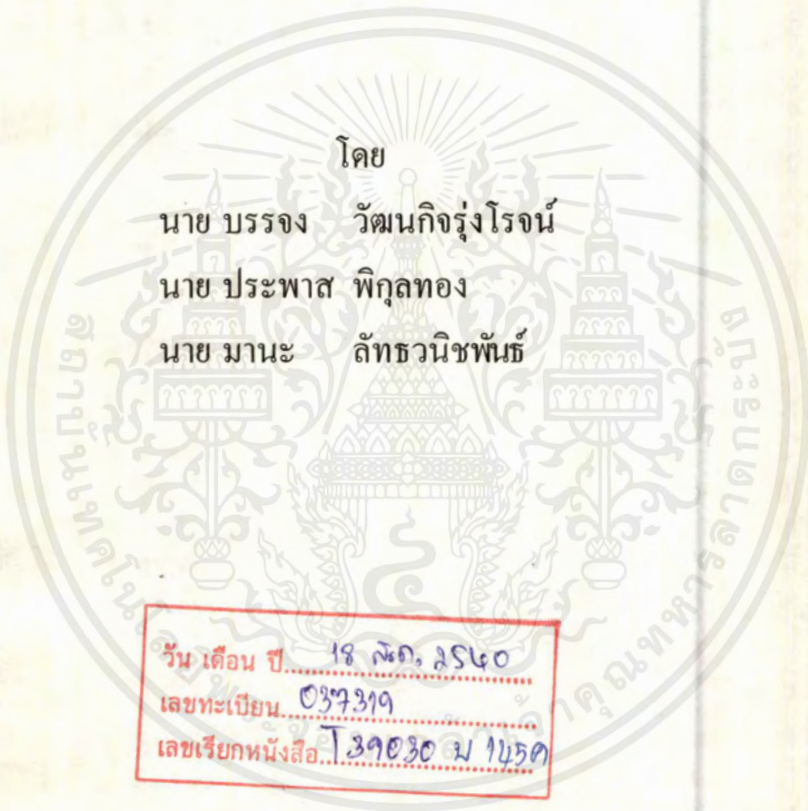




เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8 ช่องด้วยฟัซซี่ลอจิก
8 Channel Fuzzy Logic Control Temperature



โดย
นาย บรรจง วัฒนกิจรุ่งโรจน์
นาย ประพาส พิกุลทอง
นาย มานะ ลัทธวินิชพันธ์

วัน เดือน ปี... 18 กค, 2540
เลขทะเบียน... 037319
เลขเรียกหนังสือ... 139030 ม 1บรรด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 037319
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8 ช่องด้วยฟัซซี่ลอจิก
8 Channel Fuzzy Logic Control Temperature

โดย

นาย บรรจง วัฒนกิจรุ่งโรจน์ รหัส 37013025

นาย ประพาส พิกุลทอง รหัส 37013030

นาย มานะ ลัทธวนิชพันธ์ รหัส 37013033

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ : เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8 ช่องด้วยพีซีซีลอจิก

จัดทำโดย : นาย บรรจง วัฒนกิจรุ่งโรจน์ รหัสประจำตัว 37013025
: นาย ประพาส พิกุลทอง รหัสประจำตัว 37013030
: นาย มานะ ลัทธวินิชพันธ์ รหัสประจำตัว 37013033



ดร. ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

(อาจารย์ที่ปรึกษา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ : เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8 ช่องด้วยพีเอสแอลจิก
โดย : นาย บรรจง วัฒนกิจรุ่งโรจน์ รหัสประจำตัว 37013025
: นาย ประพาส พิกุลทอง รหัสประจำตัว 37013030
: นาย มานะ ลัทธวินิชพันธ์ รหัสประจำตัว 37013033
ภาควิชา : วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสวี
ปีการศึกษา : 2539

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำทฤษฎีพีเอสแอลจิกมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ ความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะใช้กับการควบคุมและประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์อุณหภูมิจะถูกตรวจจับโดยตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Thermocouple) ซึ่งจะได้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าระดับต่ำๆ จากนั้นจะนำไปขยายและแปลงเป็นกระแส 4-20 mA ซึ่งเป็นมาตรฐานในการส่งสัญญาณในงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่งจากเตาอบ มาที่ห้องควบคุมซึ่งสามารถควบคุมได้พร้อมกัน 8 ช่องสัญญาณ ใช้การประมวลผลด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก เพื่อแสดงขึ้นทางหน้าจอ และเก็บผลในแต่ละช่องรวมทั้งการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ด้วยการคำนวณแบบพีเอสแอลจิก

Project Report Title : 8 Channel Fuzzy Logic Control Temperature
By : Mr. Bunjong Wattanakijrungron 37013025
: Mr. Prapas Pikulthong 37013030
: Mr. Mana Latthawanidphan 37013033
Project Report Advisor : Dr. Yuttapong Rangsanseri
Acadame Year : 1996

Abstract

The fuzzy logic is adopted to control the temperature of oven for industrial factory. It controls and complied status by computer. The thermocouple will detect temperature , which output a low voltage,after that it must be amplified and converted to 4-20 milliamps current for standard transmission process in industrial line , which was sent from oven control room to proceed by visual basic program in order to display data to monitor and all 8 channel will controled in same time.Data was processs by fuzzy logic math

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญาานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากอาจารย์ ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในด้านการศึกษาและสนับสนุนในด้านต่างๆ ตลอดจนช่วยจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญภาพ | VII |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 บทนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ | 3 |
| 1.3 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ | 3 |
| 2. ทฤษฎีและหลักการของระบบควบคุม | 5 |
| 2.1 ทฤษฎีระบบควบคุม | 5 |
| 2.1.1 การควบคุมในกระบวนการ | 5 |
| 2.1.2 การทำงานของระบบควบคุม | 6 |
| 2.1.3 กิริยาการควบคุม | 7 |
| 2.1.4 ชนิดต่างๆ ของตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้งานอุตสาหกรรม | 7 |
| 2.1.5 นิยามของคำต่างๆ ในระบบควบคุม | 8 |
| 2.2 ส่วนตรวจจับและแปลงสัญญาณ | 9 |
| 2.2.1 ทฤษฎี | 9 |
| 2.2.2 การวัดอุณหภูมิ | 10 |
| 2.2.3 เทอร์โมคัปเปิล | 11 |
| 2.2.4 อุณหภูมิจุดต่ออ้างอิง | 13 |
| 2.3 ส่วนที่ใช้ในการปรับแต่งสัญญาณ | 14 |
| 2.4 ส่วนควบคุม (Control) | 15 |
| 2.4.1 การควบคุมความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Control) | 15 |
| 2.4.2 พื้นฐานของวงจรรีบ | 16 |
| 2.4.3 Three Phase Control | 18 |
| 2.5 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) | 20 |
| 2.5.1 ประวัติของ ระบบควบคุมแบบฟัซซี | 20 |
| 2.5.2 ทฤษฎีฟัซซีเซตและฟัซซีลอจิก (Fuzzy Set and Fuzzy Logic) | 22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.5.3 การประยุกต์ใช้งานของพีซีลอจิก | 24 |
| 2.6 ส่วนที่ใช้แสดงผล (Display) | 28 |
| 3. ระบบการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ | 29 |
| 3.1. ข้อมูลที่ได้มาได้อย่างไร (Data Acquisition) | 29 |
| 3.1.1 ระบบการได้มาของข้อมูล (Data Acquisition System) | 29 |
| 3.2 การแปลงสัญญาณทางดิจิทัลไปเป็นสัญญาณทางอนาลอก | 32 |
| 3.2.1 แบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า | 34 |
| 3.2.2 แบบใช้ตัวต้านทาน 2 ค่า (R/2R Ladder D/A Converter) | 35 |
| 3.3 การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) | 36 |
| 3.4 การรับและส่งสัญญาณในรูปของกระแสและแรงดัน | 37 |
| 3.4.1 การแปลงแรงดันเป็นกระแส (Voltage to Current Conversion) | 38 |
| 3.4.2 การแปลงกระแสไปเป็นแรงดัน | 42 |
| 3.5 อินพุตและเอาต์พุตพอร์ตของ IBM PC | 45 |
| 3.5.1 รายละเอียดของสัญญาณต่างๆ บนสล็อตที่ใช้ในโครงการ | 45 |
| 4. การออกแบบและการสร้าง | 49 |
| 4.1 การออกแบบวงจรมหาสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล | 49 |
| 4.2 การออกแบบวงจรถดเชยรอยต่อที่เย็น | 50 |
| 4.3 การออกแบบวงจรมแปลงแรงดันไปเป็นกระแส | 52 |
| 4.3.1 ภาคเอาต์พุตของวงจรวัดอุณหภูมิ | 53 |
| 4.3.2 ภาคเอาต์พุตของวงจรมแปลงสัญญาณดิจิทัลไป เป็นสัญญาณอนาลอก | 53 |
| 4.4 การออกแบบวงจรมแปลงกระแสเป็นแรงดัน | 54 |
| 4.4.1 ภาคอินพุตของวงจรมควบคุมกำลังงาน | 54 |
| 4.4.2 ภาคอินพุตของวงจรมแปลงสัญญาณอนาลอกไป เป็นสัญญาณดิจิทัล | 55 |
| 4.5 การออกแบบวงจรมแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาลอก | 56 |
| 4.6 การแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล | 58 |
| 4.6.1 รายละเอียดการนำเอาไอซี MAX199 ไปใช้งาน | 60 |

สารบัญ(ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.7 แนวความคิดในการออกแบบวงจรควบคุมขบวนการ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวสั่งการ | 65 |
| 4.8 การนำระบบฟัซซี่ลอจิกคอนโทรลไปใช้ควบคุมกระบวนการ | 83 |
| 4.9 ขั้นตอนการออกแบบซอฟต์แวร์ | 83 |
| 4.9.1 ค่าอินพุตของฟัซซี่ | 83 |
| 4.9.2 กฎของการตีความหมาย (Rule Evaluation) | 84 |
| 4.9.3 ค่าเอาต์พุตของ Defuzzification | 86 |
| 5.การพัฒนาโปรแกรม | 89 |
| 5.1 แนะนำ Visual Basic | 89 |
| 5.2 หลักการโปรแกรมเชิงภาพของ Visual Basic | 90 |
| 5.3 FLOWCHART แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิด้วยฟัซซี่ลอจิก | 92 |
| - การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (USER INTERFACE) | 100 |
| - การเขียนโปรแกรมประมวลผลฟัซซี่ลอจิก | 114 |
| 6. การทดลองและผลการทดลอง | 122 |
| 6.1 การทดลองของวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล | 122 |
| 6.2 การทดลองของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล | 123 |
| 6.3 การทดลองของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นอนาลอก | 124 |
| 6.4 การทดลองของวงจรควบคุม | 125 |
| - วิธีการทดลอง | 125 |
| - ผลการทดลอง | 125 |
| 7. สรุปผลการทดลอง | 130 |
| บรรณานุกรม | 132 |
| ภาคผนวก | 133 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8 ช่องด้วยพีซีลอจิก | 3 |
| รูปที่ 2 ระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ | 6 |
| รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของระบบลูปปิด หรือระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ | 6 |
| รูปที่ 4 Controlling Element or Controller ของระบบควบคุมอัตโนมัติ | 7 |
| รูปที่ 5 แสดงวงจรสมมูลของเทอร์โมคัปเปิล | 10 |
| รูปที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน | 13 |
| รูปที่ 7 แสดงวงจรขับพื้นฐาน | 16 |
| รูปที่ 8 แสดงคุณสมบัติทางแรงดัน-กระแสของไตรแอก | 16 |
| รูปที่ 9 แสดงรูปคลื่นของวงจรขับพื้นฐาน | 17 |
| รูปที่ 10 แสดงวงจรขับโดยใช้เฮสซีอาต่อขนานกันแบบกลับหัวกัน | 18 |
| รูปที่ 11 แสดงวงจรควบคุมกำลังงานแบบ Pulse Width Control | 19 |
| รูปที่ 12 แสดงรูปคลื่นของตัวควบคุมอุณหภูมิ | 19 |
| รูปที่ 13 เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและ เอาต์พุตของผู้ควบคุม เป็นอินพุตของขบวนการหรือการควบคุมอินพุต | 25 |
| รูปที่ 14 โครงสร้างพื้นฐานของระบบพีซีลอจิก | 27 |
| รูปที่ 15 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมป้อนกลับด้วย ระบบควบคุมแบบพีซี | 28 |
| รูปที่ 16 แสดงระบบ DAS ที่มีช่องสัญญาณเดียว | 29 |
| รูปที่ 17 แสดงวงจร Sample and Hold | 30 |
| รูปที่ 18 Multichannel DAS โดยการใช้ AMUX และ ADC ในตัวเดียวกัน | 31 |
| รูปที่ 19 Multichannel DAS โดยการใช้ DMUX และแยก ADC แยกออกจากกัน | 32 |
| รูปที่ 20 แสดงเทคนิคพื้นฐานการแปลง D/A ,Continuous binary-weighted | 33 |
| รูปที่ 21 แสดงไดอะแกรมหน้าที่โดยทั่วไปของวงจรแปลง D/A | 33 |
| รูปที่ 22 แสดงเทคนิคการแปลง D/A แบบ Successively weighted binary quads | 34 |
| รูปที่ 23 แสดงวงจรแปลง D/A แบบ R-2R | 35 |
| รูปที่ 24 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร Successive Approximation | 36 |
| รูปที่ 25 แสดงสัญญาณการทำงานของวงจร Successive Approximation | 37 |
| รูปที่ 26 แสดงวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแสแบบง่าย ๆ | 38 |
| รูปที่ 27 แสดงการเพิ่มค่ากระแสของวงจรแปลงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแส | 39 |
| รูปที่ 28 แสดงการปรับค่าออปเซ็ทของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแส | 41 |
| รูปที่ 29 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันแบบกราวด์อ้างอิง | 43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 30 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันแบบกราวด์ลอย | 44 |
| รูปที่ 31 แสดงแผนผังการถอดรหัสแอดเดรสของ I/O พอร์ต | 46 |
| รูปที่ 32 วงจรขยายสัญญาณแบบ noninverting amplifier | 49 |
| รูปที่ 33 แสดงความต้านทานทางด้านอินพุตของออปแอมป์ | 49 |
| รูปที่ 34 วงจรขยายสัญญาณที่มีการชดเชยการเปลี่ยนอุณหภูมิห้อง | 51 |
| รูปที่ 35 วงจรชดเชยความผิดพลาดอันเนื่องจากแรงดันออฟเซต | 51 |
| รูปที่ 36 แสดงการปรับค่าออฟเซตของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแส | 52 |
| รูปที่ 37 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันแบบกราวด์ลอย | 54 |
| รูปที่ 38 แสดงโครงสร้างภายในไอซีเบอร์ MX7228 | 56 |
| รูปที่ 39 แสดงการต่อไอซีเบอร์ MX7228 ใช้งาน | 57 |
| รูปที่ 40 แสดงไดอะแกรมเวลาในช่วงการเขียน | 58 |
| รูปที่ 41 แสดงการต่อไอซีเบอร์ MAX199 ใช้งาน | 59 |
| รูปที่ 42 แสดงการต่อแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้กับขา REFADJ | 63 |
| รูปที่ 43 แสดงวงจรการปรับแหล่งจ่ายอ้างอิง | 63 |
| รูปที่ 44 แสดงไดอะแกรมเวลาการแปลงเมื่อใช้ในโหมด Internal Acquisition | 64 |
| รูปที่ 45 แสดงไดอะแกรมเวลาในการแปลงเมื่อใช้ในโหมด External Acquisition | 65 |
| รูปที่ 46 แสดงวงจรถอดรหัสโดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS688 | 66 |
| รูปที่ 47 แสดงวงจรบัฟเฟอร์ | 67 |
| รูปที่ 48 แสดงวงจรถอดรหัสแยกส่วนที่รับและ ส่งข้อมูลออกจากกัน | 67 |
| รูปที่ 49 แสดงวงจรรวมในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับขบวนการ | 68 |
| รูปที่ 50 รูปการ์ตูนเตอร์เฟลที่ออกแบบสำเร็จแล้ว | 79 |
| รูปที่ 51 รูปวงจรควบคุมกำลังงานขณะที่ต่ออยู่บนแผงเอสซีอาร์ | 79 |
| รูปที่ 52 รูปวงจรควบคุมกำลังงานและวงจรวัดอุณหภูมิ | 80 |
| รูปที่ 53 รูปกล่องต่อสายพร้อมสายอินเตอร์เฟลกับคอมพิวเตอร์ | 80 |
| รูปที่ 54 แสดงวงจรทั้งหมดส่วนที่ใช้ในการแปลงแรงดันเป็นกระแส | 81 |
| รูปที่ 55 แสดงวงจรทั้งหมดส่วนที่ใช้ในการแปลงกระแสเป็นแรงดัน | 82 |
| รูปที่ 56 กราฟความเป็นสมาชิกของข้อผิดพลาดของอุณหภูมิ | 84 |
| รูปที่ 57 กราฟความเป็นสมาชิกของข้อผิดพลาดของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง | 85 |
| รูปที่ 58 กราฟความเป็นสมาชิกของค่าอุณหภูมิที่ผิดพลาดเกิดจากการเปลี่ยนแปลง | 87 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 59 กราฟความเป็นสมาชิกของค่าอุณหภูมิที่ผิดพลาด | 87 |
| รูปที่ 60 แสดงเมนูหลักของโปรแกรม | 92 |
| รูปที่ 61 แสดง FlowChart ของเมนู File | 93 |
| รูปที่ 62 แสดง FlowChart ของเมนูย่อยของเมนู File | 94 |
| รูปที่ 63 แสดง FlowChart ของการทำงานในช่องสัญญาณที่ 1 | 95 |
| รูปที่ 64 แสดง FlowChart ของเมนู View และเมนูย่อยต่าง ๆ | 96 |
| รูปที่ 65 แสดง FlowChart ของการประมวลผลค่าพีเอสซีลอจิก | 97 |
| รูปที่ 66 แสดง FlowChart ของการทำงานในเมนู Graph Viewer | 98 |
| รูปที่ 67 FlowChart แสดงเมนูย่อยของเมนู Windows | 99 |
| รูปที่ 68 เมนู About | 100 |
| รูปที่ 69 แสดงรูปฟอร์มหลัก (FRMMDI.FRM) | 100 |
| รูปที่ 70 แสดงเมนูย่อยของเมนู Run | 101 |
| รูปที่ 71 แสดงรูปฟอร์ม FrMCh1.Frm ซึ่งเป็นฟอร์มลูก (MDI Child) ของฟอร์ม FrmMdi.Frm | 101 |
| รูปที่ 72 แสดงเมนูย่อยของเมนู View | 102 |
| รูปที่ 73 แสดงฟอร์ม BmpView.FRM ขณะออกแบบ | 102 |
| รูปที่ 74 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Open File | 103 |
| รูปที่ 75 แสดงฟอร์มลูก Gphic Viewer ขณะที่โหลดรูปที่บันทึกขึ้นมาดู | 103 |
| รูปที่ 76 แสดงเมนูย่อยของเมนู Windows | 103 |
| รูปที่ 77 แสดงบ็อกซ์ข้อความรายละเอียดเกี่ยวกับคณะผู้จัดทำ | 104 |
| รูปที่ 78 แสดงฟอร์มช่องสัญญาณที่ 1 ขณะออกแบบและคอนโทรลต่าง ๆ ที่ใช้แสดงผล | 104 |
| รูปที่ 79 แสดงอินพุตบ็อกซ์ซึ่งมีค่าตายตัว (Default) 300 องศาเซลเซียส | 109 |
| รูปที่ 80 แสดงบ็อกซ์ข้อความเมื่อมีการตั้งอุณหภูมิภายนอกที่กำหนด | 110 |
| รูปที่ 81 แสดงอินพุตบ็อกซ์รับค่าเวลาที่บันทึกกราฟมีค่าตายตัวเท่ากับ 5 นาที | 111 |
| รูปที่ 82 แสดงบ็อกซ์ข้อความเตือนการตั้งค่าต่ำกว่าขอบเขต | 112 |
| รูปที่ 83 แสดงวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลและวงจรชดเชยอุณหภูมิ | 122 |
| รูปที่ 84 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล | 123 |
| รูปที่ 85 แสดงวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นอนาลอก | 124 |
| รูปที่ 86 แสดงวงจรการควบคุม | 125 |
| รูปที่ 87 แสดงการต่อวงจรใช้งานจริง | 128 |
| รูปที่ 88 แสดงวงจรควบคุมความร้อนกับเตาอบในขณะใช้งาน | 128 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 89 แสดงการต่อวงจรควบคุมความร้อนของเตาอบ | 129 |
| รูปที่ 90 แสดงสภาพภายในของเตาอบ | 129 |
| รูปที่ 91 แสดงสัญญาณรบกวนที่วัดได้จากวงจรขณะใช้งาน | 131 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

การควบคุมกระบวนการได้มีการพัฒนามาโดยตลอด และ เป็นไปอย่างรวดเร็วจากการวัดและควบคุมด้วยมือมาเป็นระบบอัตโนมัติ (Automatic Control) จนในปัจจุบันได้มีการเริ่มนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในระบบควบคุม ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถควบคุม ระบบที่สลับซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก

การควบคุมอัตโนมัติในระบบกายภาพใด ๆ คือ การบังคับให้ระบบนั้นทำงานในลักษณะที่จะนำมาซึ่งผลงาน (OUTPUT) ที่มีคุณสมบัติสอดคล้องหรือเป็นไปตามเป้าหมาย (INPUT) ด้วยตัวมันเองซึ่งก็ได้มีการพัฒนากันมาโดยตลอด และการพัฒนาจนกระทั่งได้นำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการควบคุม ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมระบบที่ซับซ้อนได้ดีกว่าระบบเก่ามาก

เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำงานให้มีคุณภาพของระบบได้ดีกว่า และก็ได้มีการเปรียบเทียบกันโดยดูจากการตอบสนองของระบบที่มี การตอบสนองแม่นยำกว่า ระบบที่ให้ การตอบสนองที่เฉื่อยช้า (Sluggish) และระบบที่ให้การตอบสนองที่เสถียร (Stable) ย่อมดีกว่า ระบบที่ให้การตอบสนองที่รุนแรง (Violent or Unstable response) หรือควบคุมไม่ได้จึงอาจกล่าวได้ว่า คุณภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติไม่ว่าจะนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้หรือไม่นั้นคุณภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติก็นำมายถึง

1.1.1 ความแม่นยำ (Accuracy)

1.1.2. ความรวดเร็ว (Speed)

1.1.3. ความเสถียร (Stable)

ของการตอบสนอง (Response) ของระบบนั้นๆ

ดังนั้นจึงสามารถนำคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวควบคุมระบบที่ยู่งยากได้ โดยคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ได้หลายๆ ตัว ในการที่จะนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมระบบนั้น จะต้องมีความเข้าใจการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์และ ส่วนของซอฟต์แวร์ คือทางด้านโปรแกรม จึงสามารถควบคุมระบบด้วยคอมพิวเตอร์ได้

หลักการทั่วไปของระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์นั้นจะทำการอ่านข้อมูลจากตัววัด (Signal Condition) เข้ามาและเนื่องจากเราสามารถควบคุมได้หลายแขนงแลจึงมีชุดมัลติเพล็กซ์เป็นตัวเลือกสัญญาณอนาลอกเข้ามาจากนั้นก็ทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวไป เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถทำการประมวลผลหรือคำนวณโดยใช้โปรแกรมของคอมพิวเตอร์ ค่าที่คำนวณได้จะส่งออกเป็นสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นจึงทำแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก และขณะเดียวกันคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวเลือกว่าจะให้ส่งสัญญาณไปควบคุมแขนงใดโดยผ่านทางวงจรมัลติเพล็กซ์ ซึ่งขบวนการควบคุมทางอุตสาหกรรมมีวิธีการในการควบคุมหลายวิธีซึ่งโดยปกติแล้วเรามักใช้ตัวควบคุมแบบ PID ในการควบคุม แต่ในปัจจุบันกระบวนการทางอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งทำให้การควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID มีขีดจำกัดอยู่ระดับหนึ่ง และเนื่องจากความซับซ้อนของกระบวนการ ทำให้การหารูปแบบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระบวนการ ออกมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำได้ลำบากจึงเริ่มมีการคิดวิธีการควบคุมแบบใหม่ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการในการควบคุมกระบวนการที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาหลายวิธี ซึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ การควบคุมโดยการเลียนแบบความคิดของมนุษย์ ได้แก่ การควบคุมโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต

ระบบการควบคุมด้วยฟัซซีมีข้อดีด้วยกันหลายอย่างกล่าวคือ

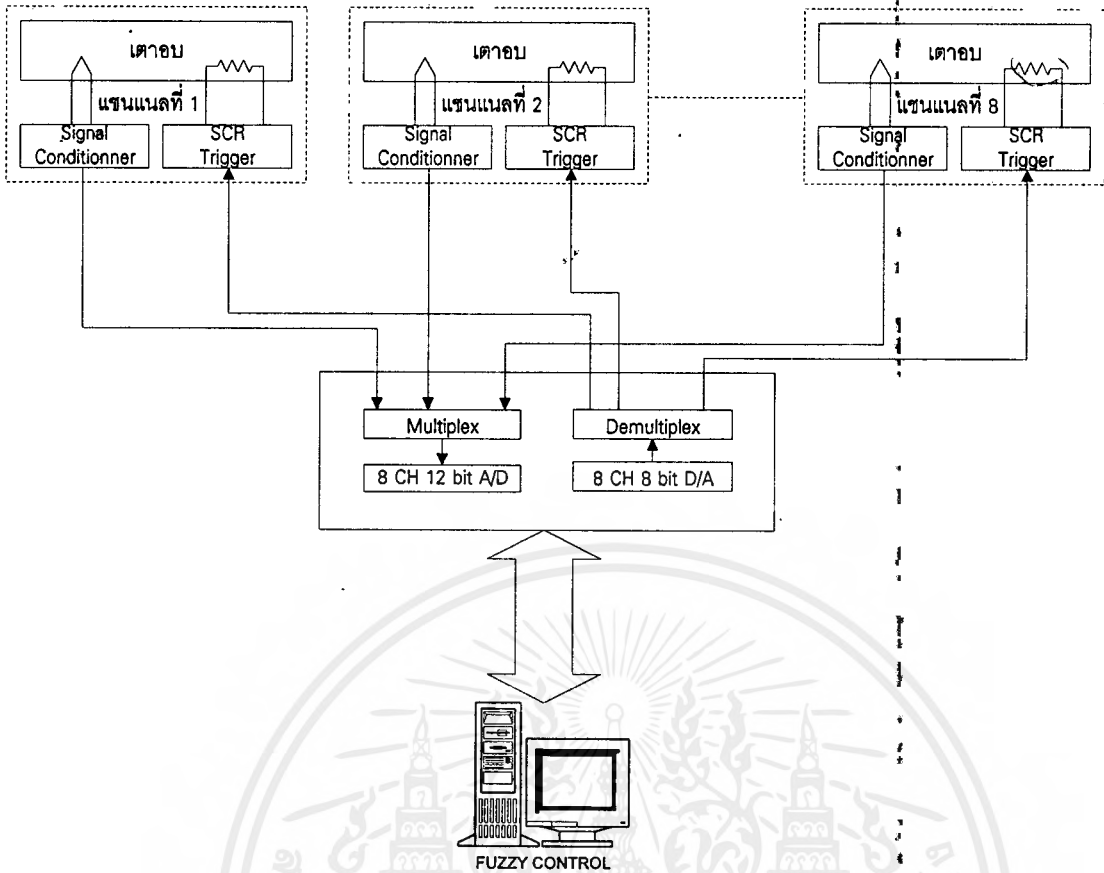
- ไม่ต้องการรายละเอียดที่ซับซ้อนในการออกแบบชุดควบคุมทำให้สามารถใช้งานกับระบบที่มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ดีกว่า
- แสดงด้วยกฎที่เราคุ้นเคยกันดี
- ด้วยการเลือกใช้ เซตที่แตกต่างกันของกฎของการควบคุมทำให้ระบบการควบคุมด้วยฟัซซีสามารถใช้ได้กับอินพุตในช่วงกว้าง
- สามารถนำความรู้และประสบการณ์ของผู้ควบคุมที่ไม่สามารถแสดงได้ด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการควบคุมได้
- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับระบบอย่างกะทันหันโดยมิได้คาดหมายระบบการควบคุมด้วยฟัซซีก็จะสามารถจัดการได้
- ระบบการควบคุมด้วยฟัซซีนั้นง่ายต่อการทำความเข้าใจทั้งนี้เพราะกฎของการควบคุมมีลักษณะคล้ายคลึงกับภาษาของมนุษย์ และไม่ต้องอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องอาศัยวิศวกรที่มีความชำนาญมากนักในการใช้งานตัวควบคุมฟัซซี

แต่ระบบการควบคุมด้วยฟัซซีถึงจะดีอย่างไรก็ยังมีข้อเสียอยู่ดังต่อไปนี้

- ไม่มีทฤษฎีที่ชัดเจนในการกำหนดกฎของการควบคุมและค่าความเป็นสมาชิก ทำให้การออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดต้องใช้เวลามากในการออกแบบ เพราะต้องใช้วิธีลอง ผิดลอง ถูกเนื่องจากกฎของการควบคุมและค่าความเป็นสมาชิกหนึ่งก็จะเหมาะสมกับระบบ หนึ่งๆ นั้น

สำหรับวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอนี้เป็นกรควบคุมกระบวนการโดยใช้ระบบควบคุม แบบฟัซซี ซึ่งอาศัยหลักการของฟัซซีเซต มาใช้ในการออกแบบตัวควบคุม (Controller) ส่วนกระบวนการที่จะทำการควบคุมนั้น เราจะนำไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ และยังสามารถนำไปใช้งานในระบบควบคุมอื่นๆ ได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระบบควบคุมนั้น

จากรูปที่ 1.1 จะแสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมอุณหภูมิหลายๆ แชนแนลโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม และหลักการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีลอจิก



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8 ช่องด้วยฟัซซี่ลอจิก

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาหลักการควบคุมขบวนการในระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์ ภา้รับและส่งสัญญาณในระยะไกลโดยใช้มาตรฐานกระแส 4-20 mA รวมถึงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับขบวนการ
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก ตลอดจนแนวทางในการนำทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกไปควบคุมขบวนการ
3. เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาหรือออกแบบโปรแกรม ให้สามารถควบคุมขบวนการได้
4. สามารถนำเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8 ช่องด้วยฟัซซี่ลอจิกไปใช้งาน

1.3 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

สามารถแบ่งเนื้อหาแล้วแยกเป็นบทๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงรายละเอียดเบื้องต้นในระบบควบคุมทางอนาลอก ทำไมจึงต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม, การควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิกมีข้อดีข้อเสียอย่างไรในการนำไปควบคุมอุณหภูมิหรือขบวนการ วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ และรายละเอียดเนื้อหาในบทต่างๆ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่ควรทราบเกี่ยวกับระบบควบคุมแบบต่างๆ , ระบบการวัดและแปลงสัญญาณ , มาตรฐานของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ , การชดเชยอุณหภูมิอ้างอิง , การปรับแต่งสัญญาณ การควบคุมกำลังงาน และทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎีเบื้องต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และหลักการพื้นฐานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งสัญญาณจากเตาอบเข้ากับคอมพิวเตอร์ ,การแปลงสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล ,การแปลงสัญญาณระหว่างแรงดันและกระแส พร้อมทั้งอธิบายถึงแผนผังไอโอพอร์ตที่ใช้ในการออกแบบและนำไปใช้งาน

บทที่ 4 การออกแบบและการสร้าง เป็นการนำเอาทฤษฎีในบทที่ 2 และ 3 ในแต่ละหัวข้อมาใช้ในการออกแบบและทำการสร้างชิ้นงานขึ้นใช้งาน

บทที่ 5 กล่าวถึงอัลกอริทึมของโปรแกรม หลักในการเขียนโปรแกรมในโครงงาน พร้อมทั้งอธิบายวิธีการใช้โปรแกรมหาดังกล่าว

บทที่ 6 ผลการทดลอง เป็นการนำเอาวงจรที่ได้ทำการออกแบบในบทที่ 4 และสร้างขึ้นมาทำการทดลองแล้วทำการบันทึกผลการทดลอง จากนั้นก็ทำการรวมวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้วนำไปทดลองควบคุมเตาอบจริง

บทที่ 7 วิจารณ์ และสรุปผล บทสรุปผลและแนวทางการพัฒนา กล่าวสรุปเนื้อหาของการทำงานปริญญา นิพนธ์ ที่ทำมารวมถึงปัญหาที่ประสบในการทำทดลอง และข้อเสนอแนะของแนวทางการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการของระบบควบคุม

2.1 ทฤษฎีระบบควบคุม

การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) มีบทบาทที่สำคัญต่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ และทางด้านวิศวกรรมศาสตร์เช่นในกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ความชื้น และอื่นๆ หรือในการควบคุมเครื่องยนต์กลไกต่างๆ ให้ทำงานตามที่ต้องการตลอดจนมีบทบาทที่สำคัญยิ่งต่อการพัฒนาทางด้านอวกาศ อารุณนาวิติ เป็นต้น ความรู้ทางด้านทฤษฎีและการทดลองเกี่ยวกับการควบคุมอัตโนมัติ ก็จะทำให้สามารถควบคุมระบบให้มีสมรรถนะ (Performance) ดีที่สุดและทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดี ลดต้นทุนการผลิต ฯลฯ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรจึงควรต้องมีความเข้าใจในสาขานี้เป็นอย่างดี

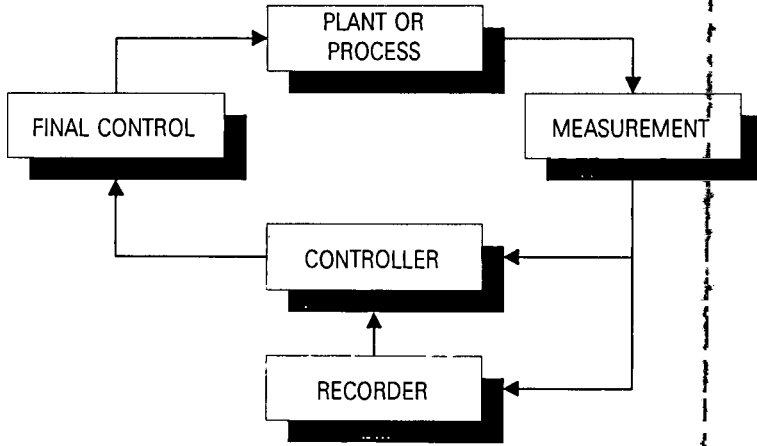
2.1.1 การควบคุมในกระบวนการ

ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม เพื่อให้ผลผลิตเป็นไปตามจุดมุ่งหมายนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล ระดับ ความชื้น และอื่นๆ ให้เป็นไปตามที่ต้องการ การควบคุมในกระบวนการที่นิยมใช้ก็คือ การควบคุมอัตโนมัติที่มีการป้อนกลับ (Closed-loop หรือ Feedback Control system) เพราะสามารถควบคุมระบบให้มีสมรรถนะที่ดีได้และทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดี ลดต้นทุนการผลิต ในรูปที่ 2.1 แสดงถึงส่วนต่างๆ ของระบบควบคุมกระบวนการที่มีการป้อนกลับ

A) ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed Loop หรือ Feed Back Control System)

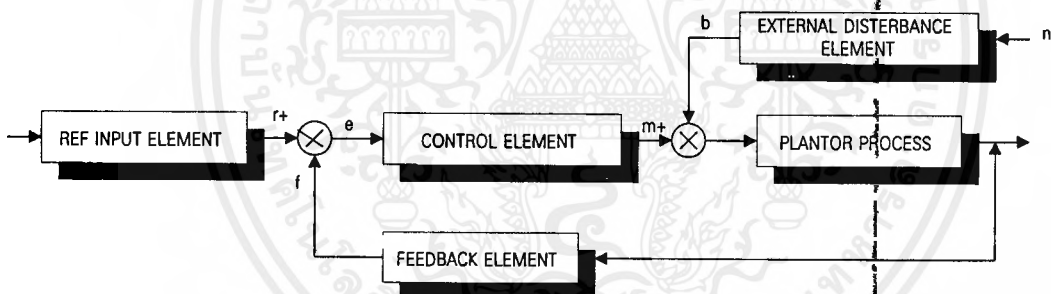
ระบบควบคุมแบบนี้เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งมีสัญญาณเอาต์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Closed Loop ก็คือระบบควบคุมป้อนกลับนั่นเอง สัญญาณค่าความผิดพลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณป้อนกลับ (Feed Back Signal) จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อที่จะลดค่าความผิดพลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าตามที่ต้องการ สัญญาณป้อนกลับนี้อาจจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตก็ได้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.2 เป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุตของระบบหรือตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม (Controlled Variable (c)) ถูกป้อนกลับมายังส่วนที่เป็นตัวควบคุมของระบบ เพื่อมาเปรียบเทียบกับตัวแปรอ้างอิง (Reference Variable (r)) โดยอาศัยเปรียบเทียบค่าตลอดเวลา และเนื่องจากโดยทั่วไปแล้วลักษณะของ Control Variable (c) และ Reference Variable (r) จะไม่เหมือนกันในลูปที่ป้อนกลับมา (Feed Back Loop) จึงมักประกอบด้วยอีลิเมนต์ของการป้อนกลับ (Feed Back element) ซึ่งทำหน้าที่รับ วัด ขยาย ลด หรือเปลี่ยนรูป Control Variable (c) ให้เป็นตัวแปรที่ป้อนกลับมา (Feed Back Variable (f)) ในช่วงการตอบสนองชั่วขณะ (Transient Response) ของระบบควบคุมประเภทนี้ ข้อผิดพลาด (Error ,หรือที่บางครั้งเรียกว่า Actuating



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ

Signal) ซึ่งมีสัญลักษณ์ e จะเปลี่ยนค่าตลอดเวลา ถึงแม้ว่า Reference Variable (r) จะไม่เปลี่ยนค่าก็ตาม เนื่องจาก Feed Back Variable (r) เปลี่ยนค่าตลอดเวลาเพราะ Control Variable (c) เปลี่ยนค่าตลอดเวลา ฉะนั้นส่วนที่เป็นแพลน (Plant) หรือส่วนที่เป็นต้นกำลังของระบบ การควบคุมประเภทนี้โดยทั่วไปแล้วจะทำงานด้วยอัตราที่ไม่คงที่ (ยกเว้นในระบบควบคุมแบบ ปิด-เปิด (ON-OFF Control))



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบลูปปิด หรือระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ

2.1.2 การทำงานของระบบควบคุม

การทำงานของระบบควบคุมสัญญาณที่ได้จากตัววัด จะถูกแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน โดยตัวส่งสัญญาณ แล้วส่งต่อไปยังตัวควบคุมเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ ตัวควบคุม จะทำการคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมส่งให้ตัวควบคุมสุดท้าย ทำการบังคับหรือควบคุมปริมาณของพลังงาน และ วัสดุที่ป้อนเข้ากระบวนการ เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณนั้น ซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่าที่เราวัดและควบคุม เช่น อัตราการไหล ระดับ และอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไปตามตัววัดจะทำการวัดใหม่แล้วส่งสัญญาณกลับมาที่ตัวควบคุม ทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายใหม่อีกเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าเป้าหมายเท่ากับค่าที่วัดได้

2.1.3 กิจการควบคุม (Control Action or Mode of Control Action)

ตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในระบบควบคุม จะทำหน้าที่เปรียบเทียบหาค่าความแตกต่าง (ความคลาดเคลื่อน) ระหว่างค่าของเอาต์พุตจริงของระบบกับค่าอินพุตอ้างอิง (ค่าที่ต้องการ) จากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมขึ้น เพื่อที่จะไปทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะของการสร้างสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมอัตโนมัติจะเรียกว่า Control Action

ชนิดของการควบคุม (Control Action) หมายถึง ชนิดหรือวิธีการทำงานของส่วนที่เป็นตัวควบคุมโดย Controlling Element หรือ Controller เพื่อที่แก้ไขความคลาดเคลื่อน (Corrective Action) ระหว่าง Output Variable (c) กับ Input Variable (r) ของทั้งระบบซึ่งได้แก่ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ออกจาก Controlling Element คือ Action Error หรือ Error Variable (e) ดังแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Controlling Element or Controller ของระบบควบคุมอัตโนมัติ

2.1.4 ชนิดต่างๆของตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้งานอุตสาหกรรม

ตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้งานอุตสาหกรรมสามารถจะจำแนกออกได้ตามลักษณะของกิจการควบคุม

ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง (TWO POSITION) หรือ แบบ ปิด-เปิด
2. ตัวควบคุมแบบ Proportional (P-Control)
3. ตัวควบคุมแบบ Integral (I-Control)
4. ตัวควบคุมแบบ Proportional + Integral (PI-Control)
5. ตัวควบคุมแบบ Proportional + Derivative (PD-Control)
6. ตัวควบคุมแบบ Proportional + Integral + Derivative (PID-Control)

ตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้น ส่วนใหญ่จะใช้ไฟฟ้าหรือแรงดันของของไหลเช่น น้ำมันหรือลมเป็นแหล่งจ่ายกำลัง ดังนั้นตัวควบคุมอัตโนมัติจึงอาจจะแบ่งออกตามลักษณะของกำลังงานของระบบได้ เช่น ตัวควบคุมแบบนิวแมติกส์ ตัวควบคุมแบบไฮดรอลิก หรือตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น การตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ตัวควบคุมแบบไหนจะต้องพิจารณาจากธรรมชาติของระบบ สภาพการทำงาน ความปลอดภัย ความเที่ยงตรง ความไวใจได้ ราคา ขนาดและน้ำหนัก และอื่นๆ

ข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากแก่การวิเคราะห์ วิจัยระบบควบคุมอัตโนมัติได้แก่ชนิดของการควบคุม และแบบของระบบควบคุมเพราะเป็นข้อมูลที่ทำให้ทราบถึงลักษณะการทำงานของระบบโดยทั่วไปทำให้สามารถทำนาย คุณสมบัติและการตอบสนองของระบบอย่างประมาณได้ ตัวควบคุมแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นในการใช้งานจึงควรเลือกใช้ตัวควบคุมให้ถูกต้องเพื่อจะได้ผลผลิต ที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 นิยามของคำต่างๆในระบบควบคุม

ในหัวข้อนี้จะให้นิยามหรือคำจำกัดความของคำต่างๆที่ใช้ในระบบควบคุมเบื้องต้น

- PLANT หมายถึง ระบบที่ถูกควบคุม (Controlled System) หรือ หมายถึง วัตถุทางกายภาพที่ถูกควบคุม เช่น เตาเผา เป็นต้น
- SYSTEM หรือระบบหมายถึง การรวบรวมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ ทำงานร่วมกันเข้าด้วยกันเพื่อทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง คำว่าระบบนี้ไม่จำเป็นจะต้องหมายถึง ระบบทางกายภาพเท่านั้นแต่ยังหมายถึงระบบอื่นๆด้วยเช่น ระบบทางเศรษฐศาสตร์ระบบทางชีววิทยา เป็นต้น
- .DISTURBANCE หมายถึง สัญญาณที่ไม่ต้องการที่รบกวน Plant หรือ ระบบที่จุดอื่นๆ ทำให้เอาต์พุตของระบบเปลี่ยนแปลงไป ถ้า Disturbance เกิดขึ้นในระบบซึ่ง ก็อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วจะเรียกว่า Internal Disturbance เกิดขึ้นภายนอกระบบก็จะถือว่า Disturbance นั้นเป็นอินพุตอันหนึ่งของระบบ
- FEED-BACK CONTROL SYSTEM หรือระบบควบคุมป้อนกลับเป็นระบบควบคุมที่ พยายามรักษาให้เอาต์พุตมีค่าตามความต้องการโดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับมาเทียบกับสัญญาณอินพุต การป้อนกลับ นี้จะเป็นการป้อนกลับแบบลบเพื่อให้สัญญาณผลต่างๆ ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต จากนั้นนำเอาสัญญาณผลต่างนี้ไปใช้ในการควบคุม
- PROCESS CONTROL SYSTEM หรือ Automatic Regulating System ซึ่งมีเอาต์พุตที่เป็นตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความดันอัตราการไหล ระดับของของเหลว pH และอื่นๆ นั้นจะเรียกว่า Process Control System การควบคุมกระบวนการนี้จะประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม
- MEASUREMENT หรือ ตัววัดคือ ตัววัดค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุม เช่น เทอร์โมคัปเปิล สำหรับวัดอุณหภูมิ แผ่นออริฟิซ (Orifice) สำหรับวัดอัตราการไหล
- TRANSMITTER หรือ ตัวส่ง คือตัวแปลงค่าสัญญาณที่วัดได้ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือเป็นสัญญาณนิวแมติกส์ (Pneumatic Signal) ในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมแบบนิวแมติกส์ จากนั้นจะส่งสัญญาณไฟฟ้า หรือนิวแมติกส์ นี้ไปยังตัวควบคุมที่อยู่ห่างไกลออกไป โดยทั้งไปตัวส่งสัญญาณแบบนิวแมติกส์จะสร้างสัญญาณที่มีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 3-5 PSI สำหรับช่วงของการวัด 0-100% นั่นก็คือ ถ้าค่าที่วัดได้มีค่า 0 % แล้วตัวส่งสัญญาณจะสร้างสัญญาณนิวแมติกส์ 3 PSI ส่งไปยังตัวควบคุมและที่ 100% ก็ส่งสัญญาณออกไป 15 PSI สำหรับในกรณีของตัวส่งสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์ นั้นจะสร้างสัญญาณ เอาต์พุตที่เป็นแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสออกมา โดยทั่วไปแล้วจะสร้างแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลต์ หรือกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ ออกมาเป็นสัดส่วนกับค่าของตัวแปร ที่วัดได้ในช่วง 0-100 °C

- CONTROLLER หรือตัวควบคุม คือตัวเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากการวัดกับค่าเป้าหมาย (Set Point) แล้วทำการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมเพื่อส่งเป็นสัญญาณควบคุมออกไปควบคุมกระบวนการ แบบของการควบคุมมีหลายแบบ เช่น ON-OFF Control, P Control, I Control, PI Control, PD Control, PID Control
- FINAL CONTROL หรือตัวควบคุมสุดท้ายคือตัวที่รับสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุมแล้วทำการบังคับหรือควบคุมปริมาณของพลังงาน หรือ วัสดุเข้ากระบวนการให้เป็นไปตามสัญญาณนั้น เช่นวาล์วควบคุม, รีเลย์, มอเตอร์, ปั๊มที่ปรับความเร็วได้ เป็นต้น
- RECORDER หรือตัวบันทึก คือตัวแสดงผลหรือบันทึกสัญญาณของการวัด

2.2 ส่วนตรวจจับและแปลงสัญญาณ (Sensor & Transducer)

การตรวจจับอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งสามารถให้ผลตอบสนองในช่วงการทำงานที่ต้องการเป็นเส้นตรง เทอร์โมคัปเปิลจะแปลงอุณหภูมิที่ตรวจจับได้เป็นสัญญาณไฟฟ้า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้ทราบค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ได้

2.2.1 ทฤษฎี

อุณหภูมิ คือระดับของความร้อน หรือความเย็นของวัตถุ หรือสภาพแวดล้อมที่กล่าวถึงจุดอ้างอิงที่แน่นอน ในปี ค.ศ. 1592 กาลิเลโอ ได้ค้นพบเครื่องมือวัดอุณหภูมิเป็นครั้งแรก เขาใช้แอลกอฮอล์ใส่ลงในหลอดแก้วขนาดเล็ก และพบว่าระดับของเหลวในหลอดแก้วจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แต่ใช้งานได้ไม่ดีนัก เพราะปลายหลอดแก้วเปิดสู่บรรยากาศ ทำให้มีผลกระทบจากความดันบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลง

หน่วยของอุณหภูมิที่นิยมคือ ฟาเรนไฮต์ (FAHRENHEIT) กำหนดสเกลขึ้นมาโดย Dabule Gabriel Fahrenheit ช่วง ค.ศ. 1686-1736 , เซลเซียส (CELSIUS) กำหนดสเกลขึ้นมาโดย Anders Celsius โดยให้จุดแข็งของน้ำเป็น 100 องศา และจุดเดือดของน้ำเป็น 0 องศา ต่อมา Uppsala Pniversity จะเปลี่ยนสเกลของเซลเซียสให้จุดน้ำแข็งเป็น 0 องศาและให้จุดเดือดของน้ำเป็น 100 องศา , ลอร์ด เคลวิน (KELVIN) กำหนดจุด ทริปเปิล (Triple point) ของน้ำเท่ากับ 273.16 °K และกำหนดจุดอุณหภูมิศูนย์สมบูรณ์ ณ จุดที่ไม่มีพลังงานความร้อนอยู่ในอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมที่สารต่างๆ

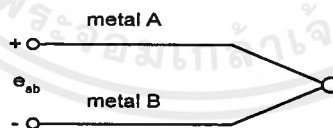
$$\begin{aligned}
 ^\circ\text{C} &= \frac{5}{9} (^\circ\text{F} - 32) \\
 ^\circ\text{F} &= \frac{9}{5} ^\circ\text{C} + 32 \\
 ^\circ\text{K} &= ^\circ\text{C} + 273.15
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

2.2.2 การวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิโดยพื้นฐานใช้หลักการหด และขยายตัวของปรอทในแท่งแก้ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปรอทจะขยายตัวในทางตรงกันข้ามปรอทจะหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลงระดับปรอทที่บรรจุในแท่งแก้วจะถูกทำเกล้อออกมาเพื่อสื่อความหมายของค่าอุณหภูมิ ยังมีวิธีการวัดอุณหภูมิอีกหลายวิธี เช่น วัดการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ การใช้คุณสมบัติของสารที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (เช่น ค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำ) หรือใช้คุณสมบัติฟิสิกส์ทางไฟฟ้า (เช่น หลักการของเทอร์โมคัปเปิล)

2.2.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นทรานสดิวเซอร์ (Temperature Transducer) ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกัน 2 ชิ้นมาต่อเชื่อมปลายเข้าด้วยกัน สามารถทำงานได้โดยอาศัยปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) พลังงานความร้อนจะทำให้ระดับพลังงานในอะตอมของโลหะเปลี่ยนไป ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มมากขึ้นในเนื้อโลหะ โดยความหนาแน่นของอิเล็กตรอนก็จะสูงขึ้น ในโลหะต่างชนิดกันความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะต่างกัน เมื่อได้รับพลังงานความร้อนที่ระดับเดียวกัน การที่นำโลหะ 2 ชนิดมาต่อเข้าด้วยกันก็จะเกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าขึ้นถ้าเราเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างของโลหะทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน (จุดดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการวัด และ สายจากจุดที่วัดเราเรียกว่า จุดอ้างอิง (Reference Junction)) จากนั้นให้ความร้อนแก่จุดวัดทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิด Thermal Electromotive Force ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลวนในรูปของโลหะทั้งสอง และถ้าเราสลับอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้าน ก็จะมีกระแสไหลสวนทางกับทิศทางเดิมเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิต่างๆที่เกิดขึ้นตามวงจรรูปที่ 2.4 และยังพบว่าปริมาณกระแสเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้าน ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล เรียกว่า Seebeck Effect ถูกค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Thomas Seebeck เมื่อปี ค.ศ. 1821 แรงดันที่ปลายทั้งสองด้านจึงมีชื่อเรียกว่า Seebeck Voltage เพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้ค้นพบ



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรมูลของเทอร์โมคัปเปิล

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเป็นไปตามสมการ (2.2)

$$e_{AB} = \beta \Delta T \quad (2.2)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นจริงอยู่ในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ เท่านั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลจะให้แรงดัน Seebeck มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโลหะทั้งสองชนิดที่นำมาทำ เราเรียกว่า ความสามารถที่จะกำเนิดแรงดันดังกล่าวต่อการเปลี่ยนไปของ อุณหภูมิว่า ความไว (Sensivity หรือ Seebeck เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coefficient) มีหน่วยเป็น $\mu V/ ^\circ C$ โดยค่านี้ของโลหะชนิดต่างๆจะกำหนดจากการนำโลหะชนิดนั้นมาต่อเป็นเทอร์โมคัปเปิลกับพลาทินัม โดยค่าอุณหภูมิอ้างอิงจะอ้างอิงที่จุด $273.15 ^\circ K$ หรือ $0 ^\circ C$ การจับคู่ของโลหะทั้งสองชนิดที่ไม่ใช่พลาทินัม (Platinum) จะได้ค่าความไวใหม่อีกค่าหนึ่ง เช่นการจับคู่กันของโครเมิล (Chromel) กับอลูเมล (Alumel) จะได้ค่าความไวเท่ากับ $25 - (-15) = 40 \mu V/ ^\circ C$

การจับคู่ของโลหะแต่ละชนิดจะได้คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลที่แตกต่างกันทั้งทางด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ค่าความไว และคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งได้แก่ความมีเสถียรภาพ และความเฉื่อยทางเคมี คือการที่จะไม่รวมตัวกับโลหะอื่น ที่จะทำให้คุณสมบัติ ทางไฟฟ้าเปลี่ยนไป ทำให้การวัดอุณหภูมิเกิดการผิดพลาด ดังนั้นเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดจึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานแต่ละอย่างต่างกัน

โดยทั่วไปเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานในปัจจุบันได้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานไว้ 7 แบบด้วยกันเพื่อให้บริษัทผู้ผลิตต่างๆ ใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน

A) ชนิดบี (Type B, Platinum -30% Rhodium (+) V.S.Platinum-6% Rhodium (-))

ผลิตรั้งแรกในประเทศเยอรมันให้คุณสมบัติแรงเคลื่อนไฟฟ้าดังรูป ในช่วงอุณหภูมิ $0-42 ^\circ C$ จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นสองค่า (Double-Value Region) ในกรณีนี้ให้ Reference Junction เป็น $0 ^\circ C$ ดังนั้นในการใช้งานต้องเลือกใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า $42 ^\circ C$ เพราะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่า $42 ^\circ C$ นั้น มิลลิ โวลต์ที่วัดได้ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นอุณหภูมิเท่าใด

เทอร์โมคัปเปิลชนิดบีนี้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในกรณีสายหรือจุดวัดเป็นแบบเปลือยวัดในสภาวะบรรยากาศเป็นออกซิไดซิง (Oxidizing) หรืออินเนอร์ดแอตโมสเฟียร์ (Inert Atmosphere) ได้อุณหภูมิสูงถึง $1704 ^\circ C$ ถ้านำไปใช้วัดในบรรยากาศที่เป็นสุญญากาศ (Vacuum) ไม่สมควร ถ้าใช้ Atmosphere หรือบริเวณที่มีไอโลหะ แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ต้องมี หลอดป้องกัน (Protecting Tube) หุ้มป้องกันสายเทอร์โมคัปเปิลไม่ให้สัมผัสโดยตรงกับสภาพเช่นนี้ และห้ามใช้ด้วยการใส่สายเทอร์โมคัปเปิล โดยตรงในหลอดป้องกันที่เป็นโลหะ

B) ชนิดเอส (Type S, Platinum -10% Rhodium(+) V.S.Platinum(-))

ผลิตรั้งแรกโดย Le chatelier ในปี คศ. 1886 สามารถใช้งานในสภาพที่เป็นออกซิไดซิง (Oxidizing) หรืออินเนอร์ดแอตโมสเฟียร์ (Inert Atmosphere) ได้ต่อเนื่องในสภาพอุณหภูมิได้สูงถึง $1400 ^\circ C$ ไม่เหมาะกับการใช้งานสำหรับสภาวะงานที่เป็น Reducing ,Vacuum หรือสภาพงานที่มีไอของโลหะ เช่นตะกั่ว สังกะสี และไอของโลหะ เช่นซิลเฟอร์อาเซนิก ฟอสฟอรัส ซึ่งจะให้มีอายุการใช้งานสั้นลง ถ้าจำเป็นต้องใช้จะต้องป้องกันด้วยหลอดป้องกันที่เป็นโลหะ สายที่เป็นเส้นบวกที่มีส่วนผสมของโรเดียม เมื่อใช้งานในสภาวะใช้งานปกติประมาณ 10 ปี โรเดียมจะค่อยๆ เปลี่ยนสภาพไปเป็นพาราเดียมซึ่งทำให้คุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไป

C) ชนิดอาร์ (Type R, Plainum -130% Rhodium(+) V.S.Platinum(-))

ผลที่ได้จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อนมากกว่าแบบชนิดเอสคุณสมบัติและการใช้เหมือนกับชนิดเอส

D) ชนิดเจ (Type J, Iron(+) V.S.Constantan(-))

เนื่องจากพลาทินัมเป็นธาตุที่มีราคาแพง เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกลง ได้มีการค้นคว้าหาวัสดุที่มีราคาถูกกว่า จึงมีแบบต่างๆ เกิดขึ้นอีกในชนิดเอสเส้นบวก จะทำด้วยเหล็ก เส้นลวดทำด้วย Constantan ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างนิกเกิลกับทองแดง คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบชนิดเจ เหมาะสำหรับงานที่เป็น Vacuum Oxidizing ,Reducing หรือ Inert ที่อุณหภูมิไม่เกิน 760 °C ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C และที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 °C จะต้องใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ จะช่วยให้อายุการใช้งานยืนยาวขึ้น จากการใช้งานสภาพใช้งานปกติพบว่าใน 20 ปี ในเนื้อเหล็กจะมีส่วนผสมของแมงกานีสเพิ่มขึ้น 0.5%

E) ชนิดเค (Type K,Nickel -10% Chromium(+) V.S.Nickel -5% Aluminum หรือ Silicon (-))

เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม เพราะราคาถูกกว่าตระกูลพลาทินัมและวัดอุณหภูมิได้สูงกว่า สามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 องศาเซลเซียส **ข้อควรระวัง** ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเคสัมผัสโดยตรง

- ในสภาวะงานที่เป็น Reducing หรือใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing และ Reducing
- สภาวะงานที่มีไอของซัลเฟอร์ เพราะซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิลโดยเฉพาะลวด จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
- สภาวะงานที่เป็น Vacuum ยกเว้นในช่วงเวลาสั้นๆ

F) ชนิดที (Type T,Copper(+) V.S.Constantan(-))

เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำ กว่าจุดเยือกแข็งของน้ำปกติสามารถวัดอุณหภูมิต่ำได้ถึง -184 °C แต่อุณหภูมิทางบวกวัดได้ต่ำกว่าแบบอื่นๆ มีความทนต่อการกัดกร่อนเนื่องจากความชื้นได้ดี สามารถใช้งานในสภาพที่เป็น Vacuum,Oxidizing ,Reducing และ Inert ได้ดี ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีโดยตรง

G) ชนิดอี (Type E,Nickel -10% Chromium(+) V.S.Constantan(-))

เป็นแบบที่ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าดูความร้อนมากที่สุดกว่าทุกแบบที่กล่าวมาแล้วอุณหภูมิใช้งานปกติอยู่ระหว่าง -250 °C ถึง 871 °C เหมาะสมสำหรับการใช้งานในสภาวะ Oxidizing และ Reducing ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ คล้ายกับเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค

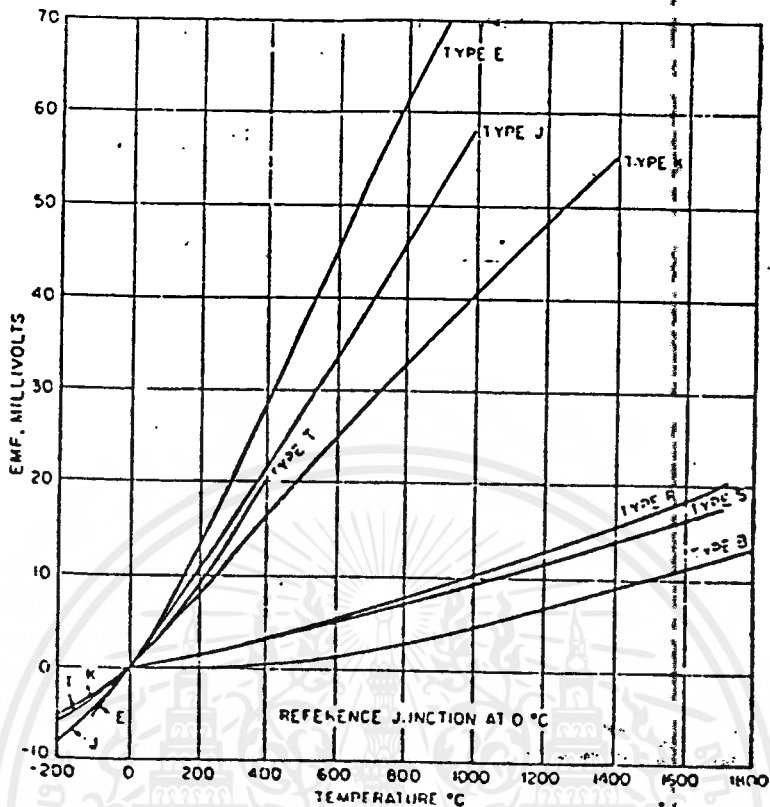
ส่วนรูปที่ 2.3 นั้นเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน จะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลชนิดเคนั้นเหมาะสมกับการใช้งานช่วงอุณหภูมิดังกล่าวที่สุด

จากตารางที่ 2.1 พิจารณาเทอร์โมคัปเปิลชนิดเคจะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานเป็น

0 ถึง 1372 องศาเซลเซียสจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 0 ถึง 54.875 โวลต์

0 ถึง 400 องศาเซลเซียสจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 0 ถึง 400 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

ดังนั้นการคำนวณวงจรไฟฟ้าซึ่งจะนำไปใช้ในวงจรควบคุมจะต้องอยู่ในขอบเขตจำกัดนี้

จากตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทั้งทางด้านส่วนผสม, ย่านอุณหภูมิที่ใช้ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ

2.2.4 อุณหภูมิจุดต่ออ้างอิง (Reference Junction Temperature)

ในการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดนั้น ต้องอาศัยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จากข้อกำหนดนี้จะเป็นข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่จะต้องมีการชดเชยค่าอุณหภูมิบรรยากาศ เพื่อให้ค่าสัญญาณที่ตรวจจับได้นั้นเป็นค่าถูกต้องมากที่สุด ตามปกติอุณหภูมิที่ทุกคนเข้าใจเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ (0°C) นั่นคือเราให้จุดเยือกแข็งของน้ำเป็นตัวเปรียบเทียบ (Reference) ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิของบรรยากาศ T_1 กับการตรวจจับความร้อนจากอุปกรณ์ที่มีความร้อน T_2 เมื่อเราใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ถ้าเราไม่มีตัวเปรียบเทียบ ค่าที่อ่านได้จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ T_1 และ T_2 ซึ่งจะไม่ตรงกับค่าที่ควรจะเป็นนั่นคือ อุณหภูมิที่อ่านได้จะเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าบรรยากาศแทนที่ จะอ่านได้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ T_2 กับอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เพราะฉะนั้นเราจึงต้องสร้างจุดเปรียบเทียบเพื่อที่จะได้สามารถอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| แบบ | ส่วนผสม | ย่านอุณหภูมิใช้งาน | | แรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่ได้ mV |
|-----|---|--------------------|--------------|------------------------------|
| | | °C | °F | |
| B | แพลตินัม -30% โรเดียม แพลตินัม -6% โรเดียม | 0 to 1820 | 32 to 3310 | 0 to 13.814 |
| R | แพลตินัม -13% โรเดียม แพลตินัม | -50 to 1768 | -60 to 3210 | 0.226 to 21.108 |
| S | แพลตินัม -10% โรเดียม แพลตินัม | -50 to 1768 | -60 to 3210 | 0.236 to 18.698 |
| J | เหล็ก/คอนสแตนแตน | -210 to 760 | -350 to 1400 | 8.096 to 42.922 |
| K | โครเมล/อลูเมล | -270 to 1372 | -450 to 2500 | 6.458 to 54.875 |
| T | ทองแดง/คอนสแตนแตน | -270 to 400 | -450 to 750 | 6.258 to 20.869 |
| E | โครเมล/คอนสแตนแตน | -270 to 1000 | -450 to 1830 | 9.835 to 76.358 |

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียสได้อย่างถูกต้อง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้อ่างน้ำแข็งเป็นตัวเปรียบเทียบแทนที่เราจะใช้อ่างน้ำแข็ง ก็จะเป็นการสะดวกกว่าถ้าเราใช้เทคนิคการชดเชยอุณหภูมิโดยใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าเป็นตัวชดเชยแทนแรงดันที่ ชดเชยจะรวมเข้ากับเทอร์โมคัปเปิล ดังนั้นความต่างศักย์ของรอยต่ออ่างอิงจะเสมือนอยู่ที่ 0 องศาเซลเซียส แม้ว่าจริงๆ แล้วมันอยู่ที่อุณหภูมิอื่นๆ ก็ตาม แรงดันที่เพิ่มขึ้นมานี้สามารถทำให้แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ เช่นเดียวกันกับเทอร์โมคัปเปิล ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิของบรรยากาศจึงไม่มีผลต่อเอาต์พุตของวงจร

อุณหภูมิจุดอ่างอิงนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาอีกประการหนึ่งคือ การที่อุณหภูมิจุดต่ออ่างอิงคงที่ เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งการแก้ไขด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าซึ่งจะนำมากล่าวในหัวข้อถัดไป

2.3 ส่วนที่ใช้ในการปรับแต่งสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับจากเทอร์โมคัปเปิลนั้นยังมีค่าน้อยอยู่มาก (เป็นมิลลิโวลต์) จึงไม่สามารถนำไปใช้กับวงจรอื่นๆ หรือกับวงจรควบคุมได้ ดังนั้นในส่วนที่ใช้ในการปรับแต่งสัญญาณจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ขยายสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อทำการขยายสัญญาณจากระดับมิลลิโวลต์ให้เป็นโวลต์ จากนั้นจึงนำสัญญาณนั้นไปทำการปรับแต่งเพื่อความเหมาะสมกับอุปกรณ์ ที่ใช้งานอยู่

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ตรวจวัดจะเป็นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่ง ไปเป็นพลังงานอีก รูปแบบหนึ่งเช่นจากพลังงานความร้อนเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า งานเสียงเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น พลังงานที่ถูกเปลี่ยนแปลงและถูกตรวจจับได้นี้มักจะเป็นพลังงานซึ่งยังไม่เหมาะสมจะนำไปใช้งานโดยตรง จึง จำเป็นที่จะต้องมียุติกรณ์ขยายพลังงานให้เหมาะสมที่จะใช้งานต่อไป สำหรับในโครงการเล่นนี้จะใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วงจรรขยายสัญญาณไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับโครงการนี้จะใช้ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเทอร์มิคัปเปิลให้เป็นสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ ต่อไป

2.4 ส่วนควบคุม (Control)

ในวงจรการควบคุม โครงการนี้ได้ออกแบบให้เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้ทฤษฎีของพัลส์ที่ลอจิกในการควบคุมระบบทางอุตสาหกรรมได้ทุกระบบ เช่นในระบบควบคุมความร้อน , ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบต่างๆ , ระบบควบคุมความดัน และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเป็นสมาชิกของพัลส์เงื่อนไข และการสร้างขอบเขตของระบบที่จะนำไปควบคุม

เมื่อค่าตรวจจับได้ในกระบวนการว่ามีค่าเท่าใดก็จะนำค่านั้นมาคำนวณห้วงพัลส์ที่ออกมาเป็นค่ากึ่งกลางแล้วจึงนำค่าดังกล่าวมาควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ไปตามสัญญาณที่ได้รับเข้ามากับความความเป็นสมาชิก ที่ตั้งไว้ แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากส่วนควบคุมนี้ก็จะเป็นเข้าวงจรควบคุมความกว้างของพัลส์เพื่อจ่ายกระแสให้กับโหลดต่างๆ กันออกไปด้วย

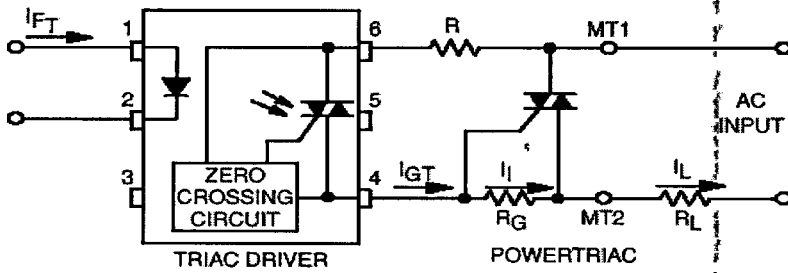
2.4.1 การควบคุมความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Control)

การควบคุมเฟสที่ต้นนั้น จะใช้วิธีที่เรียกว่าอานาลอกเฟสคอลโทรล (Analog Phase Control) เป็นการควบคุมจ่ายสัญญาณพัลส์ทริก (Pulse trig) ซึ่งจะเป็นการนำสัญญาณไปควบคุมการใช้การจ่ายกระแสของอุปกรณ์กระแสไฟฟ้า ซึ่งจะจ่ายให้ถึงอุปกรณ์สร้างความร้อนในลำดับต่อไป โครงการนี้ได้ใช้ ไตรแอก ในการควบคุมการจ่ายกระแสให้กับอุปกรณ์สร้างความร้อน

MOC3083 เป็นหนึ่งในตระกูลของวงจรถับด้วยไตรแอกที่แยกกันด้วยแสง (optically isolate triac driver) ซึ่งมีราคาที่ไม่แพง, ง่ายและ สามารถใช้แก้ปัญหาการเชื่อมต่อได้ดีนำไปใช้งานระหว่งวงจรถับทางไฟตรงที่มีกระแสต่ำเช่นลอจิกเกต และไมโครคอมพิวเตอร์ กับภาระทางด้านไฟฟ้ากำลัง (เช่น 110V, 220V หรือ 380 V, เฟสเดียวหรือ 3 เฟส)

อุปกรณ์นั้นจะมีการเตรียมกระแสสูงพอที่จะกระตุ้นที่ขาเกต , แรงดันค่าสูงที่ป้อนให้กับไตรแอกเตอร์ ขณะที่มีการรับรองว่าอนวนนั้นสามารถทนได้ถึง 7.5 KV ด้วยแรงดันที่อยู่ระหว่างสายและวงจรถับ โดยรวมแล้ว Zero Crossing Switch บนชิป detector แยกกระแสรวม และผลที่เกิดจากการรบกวนของสนามแม่เหล็ก (EMI) และสามารถวางใจถึงปัญหา ในการนำไปใช้งานหลายๆอย่าง,ทนต่อแรงดันชั่วครวได้สูงถึง 5000 V/ μ S ประกอบกับค่าความจุที่ใช้ดับปลิงสัญญาณต่ำ, ความต้านทานที่แยกกันสูง และมีปริมาณอัตรา V_{DRM} สูงถึง 800 V

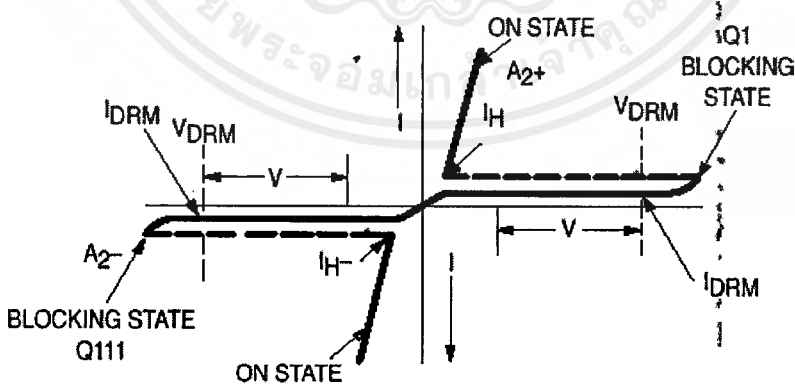
2.4.2 พื้นฐานของวงจรขับ



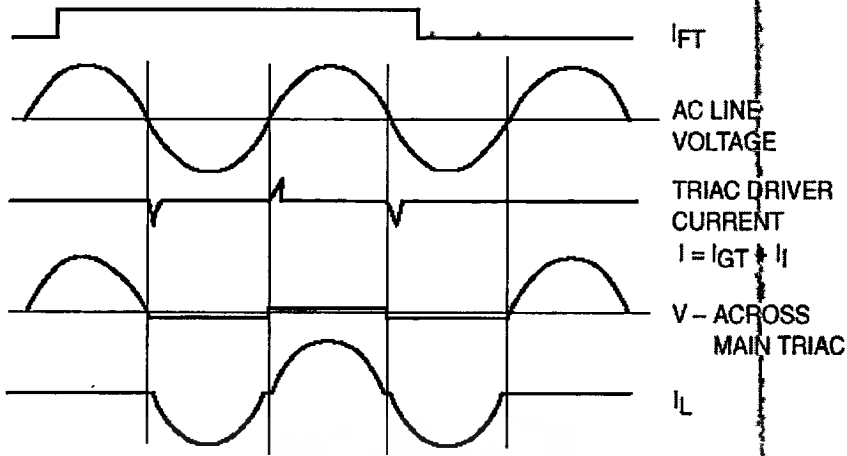
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรขับพื้นฐาน

สมมติให้วงจรที่แสดงดังรูปที่ 2.4 อยู่ในสถานะการป้องกันหรือสถานะปิด (ซึ่งหมายความว่าถึง $I_F=0$) แรงดันไฟสลับจะไปปรากฏที่เทอร์มินัลหลักของทั้งไดรแอกและตัวขับไดรแอก เมื่อเวลาที่กระแส LED (I_{FT}) มีค่ามากพอก็จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายและทำให้แรงดันไฟสลับลดลงต่ำกว่า ค่าแรงดันที่มีอยู่ (I_H ในรูปที่ 2.5) ก็จะทำให้ไดรแอกค้างสถานะเปิดไว้ การกระทำนี้จะนำกระแสเกิดในการกระตุ้นไดรแอกหลัก ซึ่งจากสถานะการป้องกันลงไปเป็นนำกระแสเต็มที จากการกระตุ้นครั้งหนึ่งจะทำให้แรงดันตกคล่อมเทอร์มินัลหลักมีค่าลดต่ำลง ทำให้ไดรแอกกลับไปสู่สถานะปิด แม้แต่เวลาที่ I_{FT} เข้ามา

ค่ากำลังจากไดรแอกที่ยังเหลืออยู่ในสถานะตัวนำ จนกระทั่งกระแสที่ตกลง ที่ไหลต่ำกว่า ค่ากำลังของไดรแอกที่กระแสไหลตั้ง โดยตำแหน่งที่ปรากฏนั้นๆ ทุกๆครั้งไซเคิล ค่าดีวีดีไซเคิลที่จริงของเพื่อขับไดรแอกที่สั้นมากๆ (ใน 1-3 μS) เมื่อเวลา I_{FT} มีการแสดงตัว, ค่ากำลังของไดรแอกก็ถูกกระตุ้นอีกครั้ง ทุกๆครั้งไซเคิลของแรงดันไฟสลับ จนกระทั่ง I_{FT} เป็นสวิตซ์ปิดและกำลังของไดรแอกมีการผ่านจุดที่กระแสเป็นศูนย์ (ดูรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติทางแรงดัน-กระแสของไดรแอก



รูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นของวงจรขับพื้นฐาน

ค่าความต้านทาน R (แสดงในรูปที่ 2.4) จะไม่มีอัตราเมื่อเวลา R_L เป็นความต้านทานภาระเนื่องจากกระแสจะถูกจำกัดด้วยค่ากระแสกระตุ้นที่เกต (I_{GT}) ของกำลังไทรแอก อย่างไรก็ตามค่าความต้านทาน R (ประกอบกับค่า R -C Snubber Network) เป็นไปได้ที่จะสงวนไว้ จุดทำลายของตัวขับไทรแอก ในการนำไปใช้งานเมื่อโหลดมีค่าอินดักแตนซ์มีค่าสูงๆ

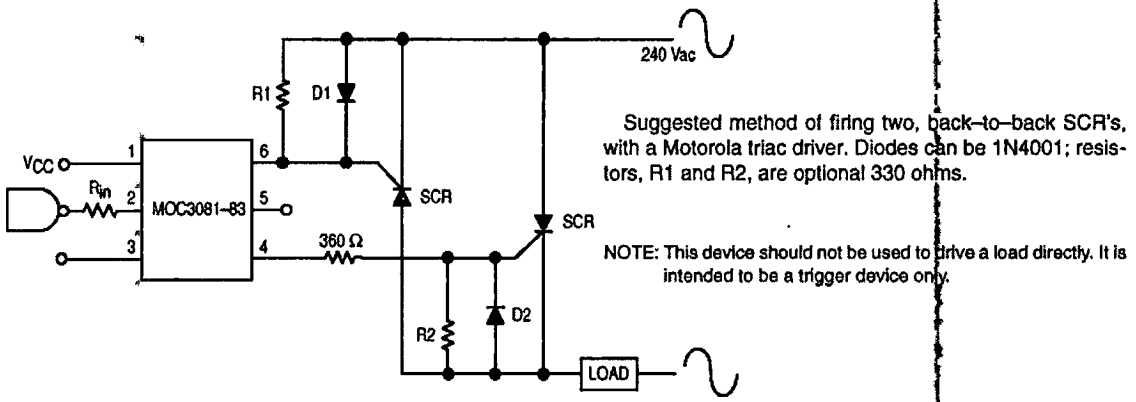
การควบคุมเฟสโดยไม่เจตนาของไทรแอกหลักอาจเกิดขึ้นถ้าความต้านทาน R จำกัดกระแสด้วยค่าที่มีค่าสูง โดยหน้าที่ของความต้านทานคือการจำกัดกระแสที่ไหลผ่านตัวขับไทรแอกในกรณีไทรแอกหลักจะมีแรงขับไปสู่สถานะที่ไม่เป็นตัวนำจะปิดยอดคลื่นของแรงดันไฟ และเรื่องราวของพลังงานใน Snubber capacitor ที่จะคายประจุให้กับตัวขับไทรแอก เราสามารถคำนวณค่ากระแสความต้านทานที่จำกัดได้ แสดงค่าที่ต่ำกว่า 220 V ที่นำไปใช้งาน โดยสมมติให้แรงดันไฟ 220 V_{RMS} โดยเราสมมติ ให้ค่าขดที่เข้ากันของวงจรขับ (ปกติจะมีค่าเป็น 10 μS สูงสุดเป็นเวลาเป็นช่วง เป็น 1 แอมแปร์) ดังนั้น

$$R = \frac{V_{peak}}{I_{peak}} = \frac{220\sqrt{2}}{1} = 311 \Omega$$

ควรจะเลือกค่าความต้านทานมาตรฐานมากกว่า 311 Ω หรือ 330 Ω

ค่าความต้านทานที่เกต R_G (แสดงในรูปที่ 2.4) เป็นจำเป็นเท่านั้น เมื่อความต้านทานภายในของเกตของไทรแอกหรือเอสซีอาจะมีค่าสูงมากซึ่งเป็นกรณีกับความไวของเกตของไทรแอก อุปกรณ์นั้นจะมีการแสดงที่แย่มากๆ มีการปลอดภัยต่อการรบกวน และสามารถเสถียรด้วยค่า R_G โดยค่าความต้านทานของเกตในกรณีนี้จะอยู่ระหว่าง 100 และ 500 การออกแบบควรจะทราบค่านั้นของความต้านทานเกตโดยเพิ่มค่ากระแสกระตุ้น (I_{GT}) ที่ต้องการเนื่องจาก R_G drain ในต่างของ I_{GT} off เราจะใช้ความต้านทานเกตประกอบกับความต้านทานจำกัดกระแส R สามารถให้ผลโดยไม่เจตนาคือการหน่วงหรือการเลื่อนเฟสออกไประหว่าง จุดที่ตัดกับ "0" และเวลาที่มีการกระตุ้น ค่าเพาเวอร์ไทรแอก

ข้อเสนอแนะ เราอาจจะใช้เอสซีอาต่อกลับหัวกันทำหน้าที่แทนไทรแอกได้เพื่อแบ่งภาระให้แก่เอสซีอาแต่ละตัว
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



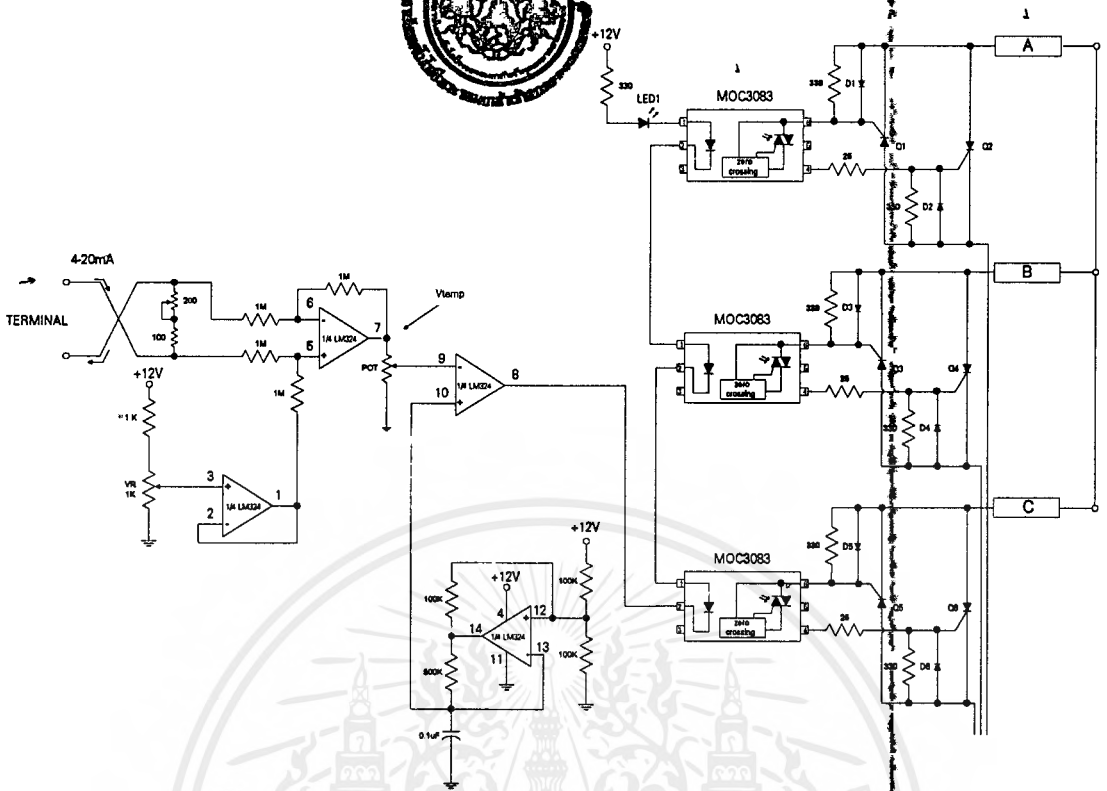
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรขับโดยใช้เอสซีอาร์ต่อขนานกันแบบกลับหัวกัน

2.4.3 Three Phase Control

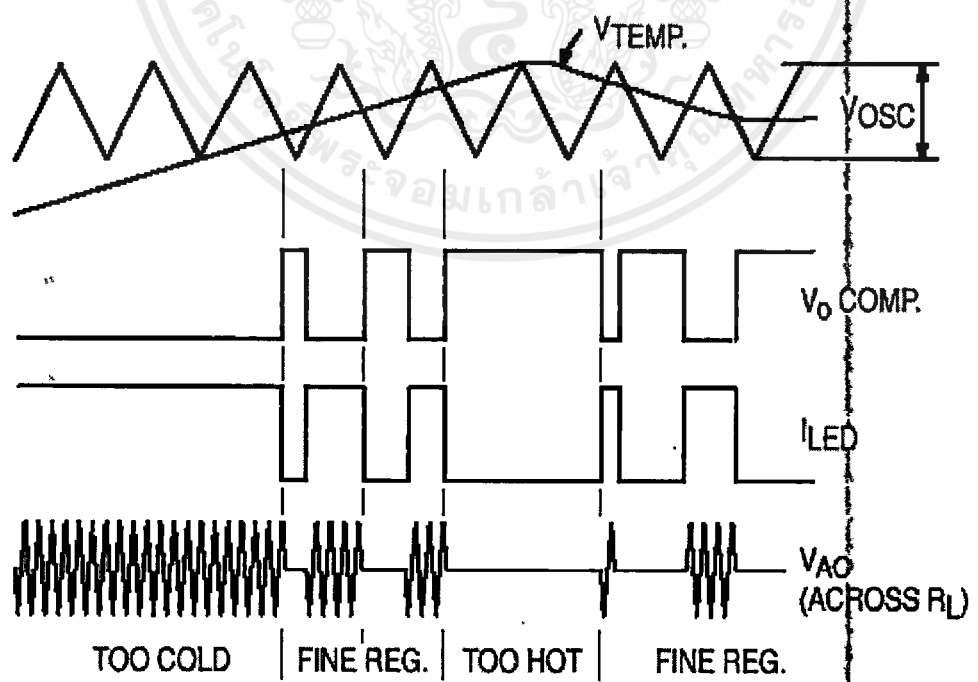
เกิดขึ้นจากความต้องการใช้โซลิตสเตรทสวิทช์ (Solid State Switching) ในการควบคุมความร้อนทางไฟสลับ (ac power) และในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆในโรงงานอุตสาหกรรมจึงจำต้อง เพิ่มวงจรไดรแอกขึ้นในการควบคุมกำลังเป็น 3 เฟส โดยเราจะแยกส่วนของวงจรทางด้านไฟตรงออกจากทางด้านไฟสลับซึ่งบ่อยครั้งที่การควบคุมกำลังของไดรแอกและโหลดควรจะมีคุณสมบัติที่

ในวงจรควบคุมระบบกำลังที่หลายๆเฟสนั้นเราต้องแยกตัวควบคุมของแต่ละเฟสออกจากกัน เพราะว่าจุดร่วมของวงจรทางด้านไฟตรงไม่สามารถอ้างถึงเส้นที่รวมในทุกๆเฟสได้ โดย MOC3083 ก็เป็นตระกูลที่มีคุณสมบัติของสถานะปิดเป็นการป้องกันแรงดันได้สูง และยังสามารถในการแยกตัวขับไดรแอกออกจากกันได้สูง ผลกระทบของวงจรควบคุมคือทำให้มีจำนวนอุปกรณ์น้อยลง แสดงดังรูป 2.8 ซึ่งในแต่ละเฟสจะถูกแยกออกจากกันโดยไดรแอกกำลังกับสแน็บเบอร์เน็ตเวิร์ค (R_s, C_s) ที่เพิ่มเข้ามา และเราก็จะแยกตัวขับไดรแอกด้วยความต้านทานจำกัดกระแส R โดย LED ทุกตัวที่ต่ออนุกรมอยู่สามารถที่จะควบคุมโดยใช้ลอจิกเกตหรือตัวควบคุมเพียงตัวเดียว ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2.8

เมื่อมี I_f เข้ามาจะทำให้เกิดเริ่มต้นขึ้นโดยตัวขับเอสซีอาร์ทั้ง 6 ตัว ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของแรงดันที่ "0" ระหว่างเฟส A และ B หรือ B และ C หรือ C และ A (ซึ่งจะปรากฏขึ้นที่มุม 60 องศาของทางด้านแรงดันไฟสลับ) จะสวิทช์ "เปิด" เป็นอันดับแรก ตัวขับตัวที่ 3 (จนกระทั่งอยู่ในสถานะปิด) สวิทช์ "เปิด" เมื่อเวลาที่ความแตกต่างของแรงดันระหว่างเฟสซึ่งประมาณค่าว่ามีแรงดันเดียวกันเป็น ผลของแรงดัน (แรงดันที่ซ้อนทับกันอยู่) ของเฟสที่สวิทช์ "เปิด" อยู่แล้ว รับประกันได้ว่าที่กระแสเป็น "0" จะ turn on ของทั้ง 3 สาขาของโหลดซึ่งจะมีลักษณะการต่อแบบ Y และแบบ Δ เมื่อ LED เป็นสวิทช์ "ปิด" โดยจะสวิทช์ "ปิด" ทุกๆเฟส เมื่อกระแส (ความแตกต่างของแรงดัน) ระหว่าง 2 เฟสจาก 3 เฟส ที่ตกลงต่ำกว่ากระแส Holding ของไดรแอกกำลัง จากการสวิทช์ทั้งสองเฟส "ปิด" สร้างกระแสที่ "0" ในเฟสที่เหลือที่ไดรแอกตัวที่ 3 สวิทช์ "เปิด" ที่เวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรควบคุมกำลังงานแบบ Pulse Width Control



รูปที่ 2.9 แสดงรูปคลื่นของตัวควบคุมอุณหภูมิ

2.5 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)

ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมมีวิธีการในการควบคุมหลายวิธีซึ่งโดยปกติแล้วเรามักใช้ตัวควบคุมแบบ PID ในการควบคุม แต่ในปัจจุบันกระบวนการทางอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งทำให้การควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID มีขีดจำกัดอยู่ระดับหนึ่ง และเนื่องจากความซับซ้อนของกระบวนการทำให้การหารูปแบบของกระบวนการ ออกมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำได้ลำบากจึงเริ่มมีการคิดวิธีการควบคุมแบบใหม่ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการในการควบคุมกระบวนการที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาหลายวิธี ซึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ การควบคุมโดยการเลียนแบบความคิดของมนุษย์ ได้แก่การควบคุมโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต

สำหรับวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอนี้เป็นการควบคุมกระบวนการโดยใช้ระบบควบคุม แบบฟัซซี ซึ่งอาศัยหลักการของฟัซซีเซต มาใช้ในการออกแบบตัวควบคุม (Controller) ส่วนกระบวนการที่จะทำการควบคุมนั้นเราจะนำไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ และยังสามารถนำไปใช้งานในระบบควบคุมอื่นๆได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระบบควบคุมนั้น

ระบบควบคุมแบบฟัซซี เป็นระบบที่เรียกว่ากฎพื้นฐานของระบบ (rule-based system) ซึ่งหมายความว่าจะมีกฎของฟัซซี (Fuzzy Rule) เป็นตัวตัดสินใจการทำงานของระบบควบคุมนั้นให้มีการปรับเปลี่ยนไปตามผลกระทบที่เกิดขึ้นในระบบ จุดมุ่งหมายของระบบควบคุมแบบฟัซซีก็คือการให้ fuzzy rule-based system นี้เข้าไปแทนการควบคุมแบบเก่าซึ่งใช้มนุษย์เป็นผู้ควบคุม (skilled human operator)

2.5.1 ประวัติของ ระบบควบคุมแบบฟัซซี

การวิจัยทางด้าน ระบบควบคุมแบบฟัซซี และโมเดลทางฟัซซี (fuzzy modeling) มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่ศาสตราจารย์ Lotfy A.Zadeh แห่งมหาวิทยาลัย Berkly ได้เสนอหลักการทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีฟัซซีเซตขึ้นมาเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1965 ทฤษฎี ฟัซซีเซต และอัลกอริทึมของฟัซซี (FUZZY ALGORITHM) ได้นำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมเป็นครั้งแรกโดยใช้ควบคุมเครื่องทำความร้อน (Steam engine) โดย Professor Mamdani แห่ง London University ในปี ค.ศ.1974 มีการอภิปรายถึงสถานะปัจจุบันของผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับ ระบบควบคุมแบบฟัซซี โดย Mamdani และ Sembi ในปี ค.ศ. 1980 . Willaey ,Malvache และ hammad ได้เสนอวิธีการสร้าง ระบบควบคุมแบบฟัซซี ขึ้นมาจากพื้นฐานของ fuzzy model ของ control process (1997) แนวคิดของ fuzzy algorithm ได้ถูกนำไปใช้ในการควบคุมความเร็วของ D.C. motor โดย Mangin (1977) และ Willaey ,Malvache (1978,1979) ,Braae ,Rutherford (1979) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการสร้าง ระบบควบคุมแบบ Fuzzy Model Braae ,Rutherford ได้เสนอ Linguistic analysis ของ ระบบควบคุมแบบ Fuzzy Model Application ของ ระบบควบคุมแบบฟัซซี สำหรับระบบซึ่งเป็น Multimention ,nonlinear และมี deadtime ได้ถูกสร้างขึ้นโดย Mamdani และ Procyk (1979) Algorithm สำหรับตรวจสอบฟัซซีได้รับการเสนอจาก Czogala และ Pedrycz (1981) และ tong (1979) ได้เสนอแนวทางสำหรับการสร้างต้นแบบ (fuzzy model) ซึ่งประกอบด้วย Verballisation, Fuzzyfication และ Indentification

ทฤษฎีฟัซซีได้นำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายในทศวรรษที่ 80 และได้รับการพัฒนาต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

2.5.2 ทฤษฎีฟัซซีเซตและฟัซซีลอจิก (Fuzzy Set and Fuzzy Logic)

ระบบควบคุมแบบฟัซซี มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีฟัซซีลอจิก และจากทฤษฎีฟัซซีเซต โดยฟัซซีลอจิกมีพื้นฐานอยู่บนทฤษฎีฟัซซีเซต ซึ่งจะช่วยให้สามารถอธิบายการปฏิบัติการและกฎการควบคุมของระบบที่เป็นคำพูดได้ชัดเจนมากขึ้น หลักสำคัญของทฤษฎีฟัซซีเซต คือ การยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะตามเซตเพียงบางส่วนเท่านั้นเข้ามาเป็นสมาชิก ซึ่งแตกต่างกับทฤษฎีเซตดั้งเดิม ซึ่งจะเน้นชัดเจนว่าเป็นสมาชิกของเซตหรือไม่เท่านั้น ไม่มีการเป็นสมาชิกของเซตเพียงบางส่วน ต่อไปเราจะกล่าวถึงรายละเอียดของทฤษฎีข้างต้นและการนำทฤษฎีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบตามลำดับ

A) คลิชเซต (CRISP SET)

ทฤษฎีคลิชเซต เป็นทฤษฎีเซตที่เรารู้จักกันดีโดยหลักการพื้นฐานของคลิชเซตมีดังนี้

1. การเป็นสมาชิกของเซต

“ถ้า x เป็นสมาชิกของเซต A ” จะใช้สัญลักษณ์

$$x \in A$$

“ถ้า x ไม่เป็นสมาชิกของเซต A ” จะใช้สัญลักษณ์

$$x \notin A$$

ซึ่งในคลิชเซตนี้จะระบุชัดเจนว่าสมาชิกของ Universe เป็นสมาชิกของเซต A หรือไม่ ซึ่งสามารถแทนค่าระดับการเป็นสมาชิก (Membership Function) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ μ_A ดังนี้

$$\mu_A(x) = 1 \quad \text{ก็ต่อเมื่อ} \quad x \in A$$

$$\mu_A(x) = 0 \quad \text{ก็ต่อเมื่อ} \quad x \notin A$$

2. การเป็นสับเซต

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกเซต B จะเรียกว่า เซต A เป็นสับเซตของเซต B ”

เราใช้สัญลักษณ์การเป็นสับเซตดังนี้

$$A \subseteq B$$

3. การเท่ากันของเซต

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B เราจะเรียกว่า เซต A เท่ากับเซต B ”

เราใช้สัญลักษณ์การเท่ากันดังนี้

$$A = B$$

4. การไม่เท่ากันของเซต

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต A ไม่เท่ากับสมาชิกทุกตัวของเซต B เราจะเรียกว่า เซต A ไม่เท่ากับเซต B ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A \neq B$$

5. การเป็นสับเซตแท้

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสับเซตของเซต B และเซต A ไม่เท่ากับเซต B เราจะเรียกว่าเซต A เป็นสับเซตแท้ของเซต B”

เราใช้สัญลักษณ์การเป็นสับเซตแท้ดังนี้

$$A \subset B$$

6. การปฏิบัติงานเบื้องต้นของเซตได้แก่

- Complement เป็นการสร้างเซตใหม่โดยสมาชิกของเซตจะไม่เป็นสมาชิกของเซต A เลย

$$\text{Complement } A = A'$$

- Union เป็นการสร้างเซตใหม่โดยสมาชิกของเซตใหม่จะมีสมาชิกของทุกเซตรวมอยู่
- Intersection เป็นการสร้างเซตใหม่โดยสมาชิกของเซตใหม่จะมีสมาชิกซึ่งเป็นสมาชิกของทุกเซต

C) ฟัซซีเซต

ทฤษฎีฟัซซีเซตเป็นการรวมสมาชิกของหลาย ๆ คลิเซตที่มีอยู่จริงและพอจะมีลักษณะเข้ารวมกลุ่มได้ ฟัซซีเซตยอมรับการเป็นสมาชิกของสมาชิกที่มีลักษณะตามเซตเป็นบางส่วนซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ละน้อย ระหว่างการมีคุณสมบัติของการเป็นสมาชิกอย่างครบถ้วนกับไม่มีคุณสมบัติของการเป็นสมาชิกเลย แม้ว่าจะไม่พร้อมกันก็ตาม จึงสามารถใช้ฟัซซีเซตไปทำงานร่วมกับคลิเซตได้

1 การเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

ในระบบคลิเซตจะกำหนดเพียงว่า x เป็นสมาชิกของเซต A หรือไม่เป็นสมาชิกของเซต A โดยแทนด้วยฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็น 0 หรือ 1 แต่ ฟัซซีเซต จะยอมรับสมาชิกบางส่วนที่มีลักษณะที่ถูกเพียงบางส่วนและผิดเพียงบางส่วนไม่มีขอบเขตแน่นอน การประยุกต์ใช้ทฤษฎี ฟัซซีเซต จะต้องแสดงค่าระดับซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้ที่จะเป็นสมาชิกของเซตหรือฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกโดยใช้สัญลักษณ์ μ แทนค่าระดับความเป็นสมาชิกซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนี้

$$\mu_A(x) \rightarrow [0, 1]$$

หมายความว่า ระดับการเป็นสมาชิก (Grade of membership หรือ Degree of membership) ของ X ใน ฟัซซีเซต A อยู่ในช่วงทั้งหมดจาก 0 ถึง 1 เมื่อประยุกต์เข้ากับ ฟัซซีลอจิก ค่า μ จะถูกเรียกว่า ค่าความจริงที่แสดงค่าระดับขอบเขตของเซตคือ $0 \leq X \leq 1$

โดยถ้าค่าสูงแสดงว่ามีความเป็นสมาชิกมาก ถ้าค่าต่ำแสดงว่ามีความเป็นสมาชิกก็น้อย ค่า 0 จะหมายถึงไม่เป็นสมาชิกเลย และ 1 คือเป็นสมาชิกอย่างสมบูรณ์

ขอเน้นว่าฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก ของ ฟัซซีเซต ถึงแม้ว่าจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 แต่อย่านำไปสับสนกับความน่าจะเป็น (Probability) ของฟัซซีเซต เป็นรูปแบบหนึ่งของความไม่แน่นอน (Uncertainty) และโดยธรรมชาติฟัซซีเซตเป็นคณิตศาสตร์ที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับสถิติ

2. นิยามที่ ฟัซซีเซต ขยายมาจากคลิซเซต

- ฟัซซีเซตจะว่างก็ต่อเมื่อฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ ฟัซซีเซต นั้นเป็น 0 ตลอดทั้ง X
- ฟัซซีเซต A และ B จะเท่ากัน ก็ต่อเมื่อ $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ สำหรับทุก x ใน X เขียนแทนด้วย $A=B$

- Subset หรือ Containment นิยามโดย

$$A \subset B \leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$$

- Compliment ของ ฟัซซีเซต A เขียนแทนด้วย A' นิยามโดย

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

- Union ของ ฟัซซีเซต A และ B ซึ่งมีฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ และ $\mu_B(x)$ ตามลำดับสามารถแทนด้วย ฟัซซีเซต C โดยฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ ฟัซซีเซต C กำหนดโดย

$$\mu_C(x) = \text{Max}[\mu_A(x), \mu_B(x)] \text{ หรืออาจเขียนย่อเป็น } \mu_C = \mu_A \vee \mu_B(x)$$

- Intersection ของ ฟัซซีเซต A และ B ซึ่งมีฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ และ $\mu_B(x)$ ตามลำดับสามารถแทนด้วย ฟัซซีเซต C โดยฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ ฟัซซีเซต C กำหนดโดย

$$\mu_C(x) = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)] \text{ หรืออาจเขียนย่อเป็น } \mu_C = \mu_A \wedge \mu_B(x)$$

อย่างไรก็ตามไม่มีหลักตายตัวว่า การ Union ต้องใช้ Max Operation การ Intersection ต้องใช้ Min Operation หรือการ Complement ต้องใช้ $\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$ ดังนั้นเพื่อให้ general มากขึ้นจึงมีนิยามสัจพจน์ (Axiom) ปฏิบัติการแต่ละชนิดดังนี้

- Complement $C : [0,1] \rightarrow [0,1]$

Axiom C1 : $c(0) = 1$ และ $c(1) = 0$ หมายความว่าสามารถครอบคลุมคลิซเซต

Axiom C2 : สำหรับทุก $a, b \in [0,1]$ ถ้า $a < b$ แล้ว $C(a) \geq C(b)$ หมายความว่า C เป็น Monotonic nonincreasing

ทุกๆ การปฏิบัติที่ ถือว่าเป็นการ Complement ได้อย่างน้อยที่สุดจะต้องสอดคล้องกับสัจพจน์ทั้งสอง

- Union $U : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

Axiom U1 : $U(0,0) = 0 ; U(0,1) = U(1,0) = U(1,1) = 1$ นั้นหมายความว่า จะต้องสามารถครอบคลุมคลิซเซต

Axiom U2 : $U(a,b) = U(b,a)$; มีคุณสมบัติการสลับที่

Axiom U3 : ถ้า $a \leq a'$ และ $b \leq b'$ แล้ว $U(a,b) \leq U(a',b')$ หมายความว่า U เป็น Monotonic

Axiom U4 : $U(U(a,b),c) = U(a,U(b,c))$; มีคุณสมบัติการจัดหมู่

ทุกๆ การปฏิบัติที่ ถือว่าเป็นการ Union ได้อย่างน้อยที่สุดจะต้องสอดคล้องกับสัจพจน์ทั้งสิ้น

- Intersection $I : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

Axiom I1 : $I(1,1) = 1 ; I(0,1) = I(1,0) = I(0,0) = 0$ นั้นหมายความว่า จะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถครอบคลุมคลิซเซ็ท

Axiom I2 : $I(a,b) = I(b,a)$; มีคุณสมบัติการสลับที่

Axiom I3 : ถ้า $a \leq a'$ และ $b \leq b'$ แล้ว $I(a,b) \leq I(a',b')$ หมายความว่า I เป็น

Monotonic

Axiom I4 : $I(I(a,b),c) = I(a,I(b,c))$; มีคุณสมบัติการจัดหมู่

ทุกๆ การปฏิบัติที่ถือว่าเป็นการ Intersection ได้อย่างน้อยที่สุดจะต้องสอดคล้องกับสัจพจน์ทั้งสิ้น

D) ฟัซซีลอจิก

ฟัซซีลอจิกจะมีการกระทำทางลอจิกเพื่อรวมค่าลอจิกต่างๆ ให้เป็นค่าฟัซซีลอจิกคล้ายตัวแปรในระบบลอจิก 2 ระดับ โดยจะต้องมีกำหนดลักษณะความหมายให้แตกต่างกันแต่ใช้คำสั่งทางลอจิกที่เหมือนกันคือ AND, OR และ NOT ความหมายต่างๆ ในระบบฟัซซี ถูกกำหนดโดย L.A. Zadeh ผู้คิดค้นระบบฟัซซีลอจิก

การ AND ของฟัซซีลอจิก

ตามคำจำกัดความของ Zadeh คือ ค่าความจริงที่น้อยที่สุด นั่นคือสำหรับค่าฟัซซี A และ B

$$\mu(A \text{ AND } B) = \min(\mu_A, \mu_B)$$

การ OR ของฟัซซีลอจิก

ตามคำจำกัดความของ Zadeh คือ ค่าความจริงเป็นค่ามากที่สุด

$$\mu(A \text{ OR } B) = \max(\mu_A, \mu_B)$$

การ NOT ของฟัซซีลอจิก

$$\mu(\text{NOT } A) = 1 - \mu_A$$

ซึ่งการกระทำทั้ง 3 นี้ เป็นสมมูลของการกระทำในลอจิก 2 ระดับสำหรับค่า μ มีค่าอยู่ระหว่าง "0" ถึง "1"

2.5.3 การประยุกต์ใช้งานของฟัซซีลอจิก

โดยทั่วไปจะมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานแบ่งได้ 3 ส่วนหลักคือ

- การเปลี่ยนคลิซเซ็ทเป็นฟัซซีเซ็ท (FUZZIER)
- กฎการวินิจฉัย (INFERENCE MECHANISM THAT EMPLOYS RULED-)
- การเปลี่ยนฟัซซีเซ็ทเป็นคลิซเซ็ท (DEFUZZIFIER)

ในการใช้กับระบบจะต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของฟัซซีโดเมน เคลื่อนย้ายประมวลผลข้อมูลแล้วเปลี่ยนกลับให้อยู่ในรูปคลิซโดเมนตามเดิมซึ่งเหมือนกับการกระทำทางอนาลอกคือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่จะง่ายกว่าโดเมนเวลา ในระบบฟัซซี กฎพื้นฐานสามารถอธิบายการทำงานของระบบในรูปของฟัซซีได้ง่าย ดังนั้นเราจะเปลี่ยนค่าอินพุตในรูปของคลิซเซ็ทไปอยู่ในฟัซซีโดเมน มากกว่าจะเปลี่ยนจากฟัซซีไปอยู่ในรูปคลิซโดเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A) กฎการวินิจฉัย

สำหรับกฎการวินิจฉัยค่าอินพุตและค่าความจริง จะสนับสนุนเงื่อนไขสำหรับการสร้างส่วน กำหนดรูปแบบฟัซซี่ช่วงปกติฟัซซี่ คอมไพเลอร์ จะสุ่มค่าของอินพุตและนำมาวินิจฉัยค่า เพื่อให้ได้ผล ออกมาทางเอาต์พุตของระบบตามทฤษฎี ระบบจะรวมเอาค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของอินพุต เพื่อนำมา วินิจฉัยและประมวลผลแต่จริงๆ แล้วการครอบคลุมค่าเหล่านี้ไม่จำเป็นในการใช้งานปกติ

กฎการวินิจฉัยนั้นได้มาจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของผู้ควบคุมเป็น อินพุตของขบวนการหรือการควบคุมอินพุต (ci) เราจะสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังนี้คือ

IF er = LN AND ce = LN THEN ci = LP

OR

IF er = SN AND ce = SN THEN ci = SP

OR

หมายเหตุ : LN = Large Negative

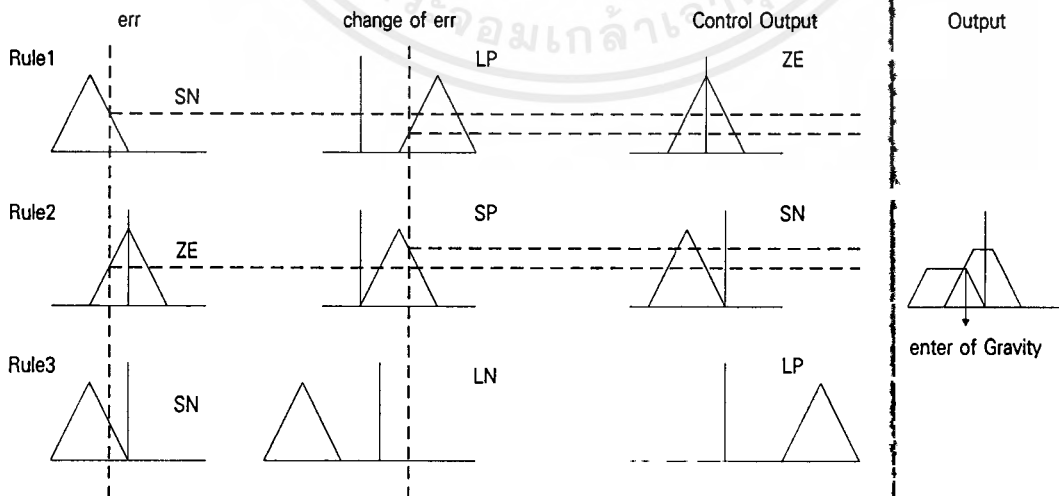
SN = Small Negative

LP = Large Positive

SP = Small Positive

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนำมาแสดงได้ดังรูป 2.10

ซึ่งเมื่อนำ rule ทั้งหมดมารวมเข้าด้วยกัน ก็จะได้รูป Membership Function ของ Control Input โดยจะนำไปหาค่าของ Control Input ที่ต้องการได้ต่อไป



รูปที่ 2.10 เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและ เอาต์พุตของผู้ควบคุม เป็นอินพุตของขบวนการหรือการควบคุมอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B) วิธีการ DEFUZZIFIER

มีเทคนิคและวิธีการในการเปลี่ยนฟัซซีเป็นคลิชเซตมีอยู่หลายเทคนิค ซึ่งจะกล่าวถึงเป็นบางเทคนิคดัง

นี้

1. เทคนิค Maximizer เลือกค่าสูงสุดจากหลายๆ แบบมาเพียงหนึ่ง

เป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิก จากการกระทำหลายๆ แบบ แล้วเลือกการทำเพียงหนึ่งรูปแบบ ถ้าหากเกิดการกระทำที่มีค่า μ สูงสุดเท่ากับ 2 อย่างจะต้องใช้รูปการแก้ปัญหาอีกลักษณะหนึ่ง คือ ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าเอาต์พุต หรือเลือกการกระทำที่สัมพันธ์กับค่าระบบพื้นฐาน ถึงแม้เทคนิค Maximizer จะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่ก็ไม่มี ประสิทธิภาพเท่าที่ควร

2. ทฤษฎีค่าน้ำหนักเฉลี่ย

จะใช้ค่าเฉลี่ยของการกระทำหลังจากการกำหนดค่าระดับการเป็นสมาชิกไว้ล่วงหน้าแล้วเป็นวิธีที่ง่ายและใช้การคำนวณเพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังให้ค่าที่ไม่ค่อยชัดเจน เช่นเดียวกับเทคนิค Maximizer ที่เกิดความไม่ชัดเจนก็เพราะว่าค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันของการเป็นสมาชิกมีค่าเอาต์พุตมากกว่าหนึ่งค่าต่อค่า μ ที่กำหนดให้ ค่าเอาต์พุตฟังก์ชันของการเป็นสมาชิก มีลักษณะคล้ายกับรูปประมิตหรือประมิตตัดยอด ถ้า $\mu = 0.5$ ค่าเอาต์พุตมาจากค่าฟังก์ชันของขอบสัญญาณทั้งด้านขาขึ้นและขาลง ถ้า $\mu = 1$ จะมีค่าตรงกับช่วงของสัญญาณที่เกิดขึ้นทั้งหมด

วิธีการกำจัดความไม่ชัดเจนสามารถทำได้ด้วยกระบวนการแดมปีงค่าในฟังก์ชันเอาต์พุต ด้วยค่าที่แน่นอนให้กลับไปอยู่ในฟังก์ชันอินพุต ซึ่งเป็นวิธีที่น่าเบื่อ และไม่สามารถใช้ค่าที่เป็นค่าตรงข้ามของฟังก์ชันอินพุตในการวิเคราะห์ด้วย

3. กรรมวิธีค่าศูนย์กลาง

เป็นการแสดงค่าเอาต์พุตที่สัมพันธ์กับค่าจุดศูนย์กลางมวลของเอาต์พุตในระดับที่ทำงานเพราะว่าเราไม่ใช้ค่าขอบของฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก และจะไม่เกิดความไม่ชัดเจนอีกต่อไปกรรมวิธีค่าศูนย์กลางเป็นการคำนวณที่แน่นอนและเป็นการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในวิธีอื่นๆค่าศูนย์กลางมักจะสัมพันธ์กับค่าเอาต์พุตหนึ่งค่า ผลที่ได้จะเป็นการกระทำอย่างหยาบๆ ภายในช่วงของเอาต์พุต กฎทุกๆ ไปจะต้องมีการปฏิบัติเพียงจุดเดียวของแต่ละระบบ ในกรณีที่ต้องทำพร้อมๆ กันหลายๆ ในการกระทำหนึ่งครั้ง จะต้องเกิดการซ้อนทับกันของค่าฟังก์ชันอินพุตของระดับการเป็นสมาชิก เพื่อแก้ไขความไม่ต่อเนื่องของเอาต์พุต ถึงแม้ว่าจะมีข้อบกพร่องแต่ก็เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการรวมกัน และการแปลงค่าฟัซซีกลับคืน

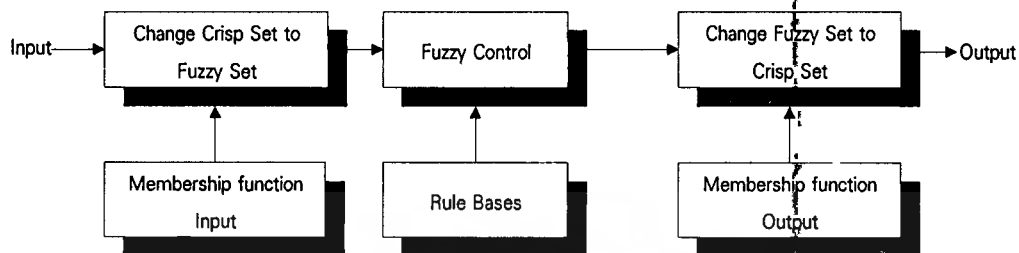
กรรมวิธีนี้จะรวมค่าเอาต์พุตของการกระทำหลายๆ ค่า เป็นค่าค่าเดียวสำหรับใช้ในระบบ และค่าเอาต์พุตเดี่ยวนี้นี้เป็นค่าน้ำหนักเฉลี่ยของศูนย์กลางของ แต่ละฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก

4. กรรมวิธีซึ่งเกิดตัน : สังเคราะห์เอาเอาต์พุตเดียว

เป็นเทคนิคพิเศษของแบบกรรมวิธีค่าศูนย์กลาง หรือ จะเรียกอีกอย่างหนึ่งคือ กรรมวิธี REMAINING COMBINATION/DEFUZZIFICATION วิธีนี้เป็นการนำค่าฟัซซุตของฟัซซีเซตมาใช้ใหม่ เป็นค่าเอาต์พุตค่าเดียวโดยใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยจากการกระทำรวมกันหลายๆ อย่าง วิธีนี้ได้ค่าความถูกต้องน้อยกว่ากรรมวิธีค่าศูนย์กลาง และยังคงต้องการการซ้อนทับกันของอินพุตฟังก์ชัน เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่ต่อเนื่องของเอาต์พุต ด้วยหลักการและการคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก ประกอบกับยังไม่มีใครคิดค้นวิธีใหม่และดีกว่านี้ กรรมวิธีนี้จึงน่าที่จะใช้แทนกรรมวิธีค่าศูนย์กลางได้ดีที่สุด

โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซีลอจิกแสดงดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซีลอจิก

สำหรับวิทยานิพนธ์ที่น่าเสนอจะใช้หลักการ Defuzzifier กรรมวิธีค่าศูนย์กลาง ซึ่งระบบควบคุมป้อนกลับสามารถแสดงดังรูป

C) หลักการหากฎของฟัซซีคอนโทรล (ระบบควบคุมแบบฟัซซี Rule)

ในการออกแบบฟัซซีคอนโทรลนั้น ปัญหาสำคัญอันหนึ่งคือการหากฎของฟัซซีคอนโทรลที่เหมาะสม ซึ่งวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้จริงในงานการควบคุมขบวนการมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

1. จากความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ

ระบบควบคุมแบบฟัซซีส่วนมากจะได้รับการออกแบบขึ้นโดยอ้างอิงกับความรู้ และประสบการณ์ของวิศวกรควบคุมซึ่งอันที่จริงแล้วก็สามารถกล่าวได้ว่า ระบบควบคุมแบบฟัซซี นั้นเป็นการประยุกต์ที่สามารถที่ใช้ได้จริง อันแรกทางด้านระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) เลยทีเดียว

การออกแบบด้วยวิธีนี้เหมาะกับระบบที่ผู้ควบคุม ควบคุมเป็นหลักสำคัญ กฎของการควบคุม นั้นก็จะได้มาจากการแสดงรายการวิธีการควบคุมต่างๆ โดยวิศวกรควบคุม แต่ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือ ส่วนมากผู้ควบคุมจะไม่สามารถถ่ายทอดความรู้ที่มีออกมาได้เป็นลายลักษณ์อักษรโดยเฉพาะเมื่อระบบมีความซับซ้อนมาก

2. จากการจำลองลักษณะการทำงานของผู้ควบคุม

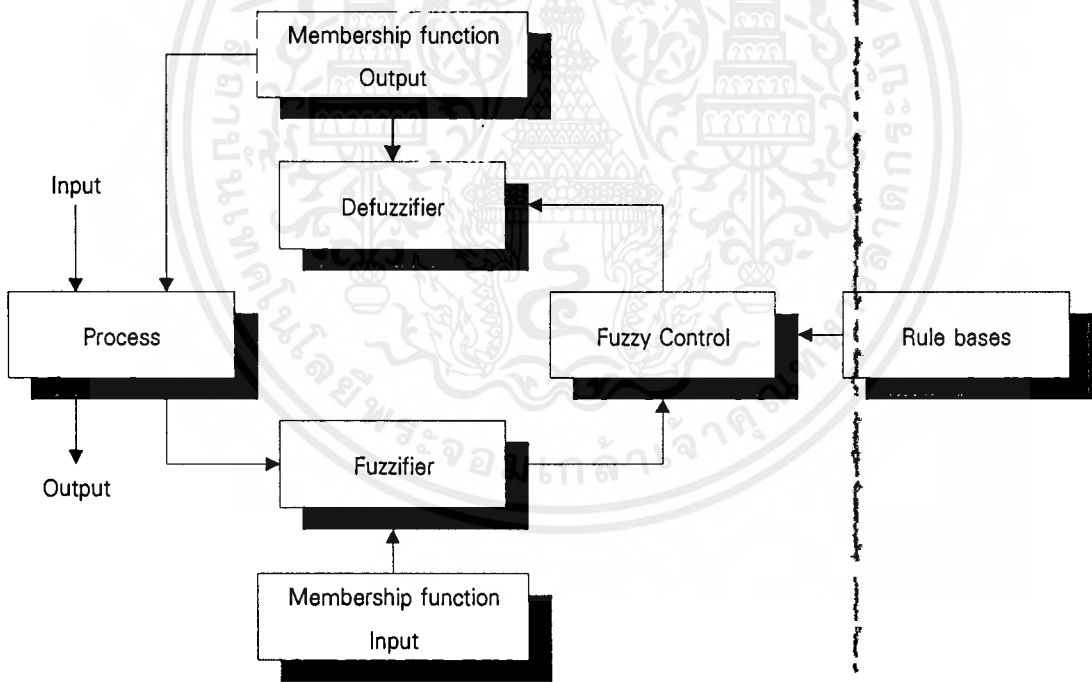
เมื่อทักษะของผู้ควบคุมเป็นสิ่งสำคัญ จึงจำเป็นมากที่จะหากฎของการควบคุมฟัซซีมาจากการจำลองลักษณะการทำงานของผู้ควบคุม ซึ่งวิธีนี้สามารถเป็นไปได้ที่จะแปลงการทำงานของผู้ควบคุมมาเป็นอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุม (Controller) วิธีนี้ก็จะค่อนข้างคล้ายคลึงกับการจำลองกระบวนการ แต่ว่าการจำลองการทำงานของผู้ควบคุมนั้นจะง่ายกว่าการจำลองกระบวนการ เพราะอินพุตของระบบจะหาได้ง่ายกว่าแต่สถานการณ์จริง นั้นก็ควรจะรวมวิธีที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน

3. จากการจำลองกระบวนการ

เอกสารนี้ ในวิธีแรกนั้นจะมีพื้นฐานมาจากความคิดที่ว่าๆ ที่เกี่ยวกับคุณลักษณะของกระบวนการ เช่น ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตเพิ่มขึ้นเมื่ออินพุตเพิ่มขึ้น ,กระบวนการที่มีการล่าช้าของเวลา (timelag) ฯลฯ ส่วนวิธีที่ 2 จะใช้เฉพาะตัวแปรที่มีให้แก่ผู้ควบคุมกระบวนการ ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้จะใช้ได้เฉพาะในกรณีที่ผู้ควบคุมมีบทบาทสำคัญกระบวนการเท่านั้น แต่ถ้าไม่ต้องการขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมและต้องการให้ผลการควบคุมดีกว่าการควบคุมด้วยผู้ควบคุมก็จะมีวิธีการออกแบบอีกวิธีหนึ่งคือ การจำลองกระบวนการซึ่งจะเป็นวิธีที่ซับซ้อนกว่า ซึ่งการออกแบบด้วยวิธีนี้ได้มีการศึกษาวิจัยมาหลายครั้งด้วยกัน การจำลองกระบวนการในที่นี้จะเป็นการแสดงคุณลักษณะของขบวนการออกมาด้วยพีเอสซีซีต โดยพิจารณาจากอินพุต ,ตัวแปรสถานะ และเอาต์พุตมีแนวทางการคิดสองทางด้วยกันในการออกแบบ ระบบควบคุมแบบพีเอสซีซีจากการจำลอง Fuzzy

- ทางแรก คือ การออกแบบให้กฎของการควบคุมนั้นทำการชดเชยลักษณะที่ไม่ต้องการของกระบวนการเพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ
- ทางที่สอง คือ เป็นไปตามทฤษฎีของการควบคุมที่ดีที่สุด (Optimal Control) ซึ่งจะให้โครงสร้าง และพารามิเตอร์ (Parameter) ของกฎของการควบคุมทำให้ระบบที่มี ระบบควบคุมแบบพีเอสซีซีควบคุมอยู่นั้นเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ



รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมป้อนกลับด้วย ระบบควบคุมแบบพีเอสซีซี

2.6 ส่วนที่ใช้แสดงผล (Display)

การแสดงผลจะใช้ค่าที่วัดได้จากการะบวนการ และค่าที่ได้ตั้งไว้ การแสดงผลจะแสดงบนจอคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic) ในการรับค่าเข้ามา ประมวลผลออกเป็นกราฟ พร้อมทั้งมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดอื่นๆ ส่วนรายละเอียดของส่วนนี้จะขอกล่าวไว้ในส่วนของ Software ในภายหลังในบทที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

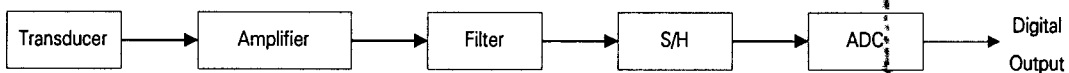
เป็นระบบควบคุมที่นำเอาคอมพิวเตอร์มาทำงานแทนเครื่องควบคุมแบบทั่วไปที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ซึ่งมักจะเป็นระบบการควบคุมแบบอนาลอก ในงานควบคุมที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูงมากนัก, มีการใช้งานที่ง่าย, ราคาไม่แพง, มีการปรับเปลี่ยนค่าได้ง่าย, ประกอบสร้างได้ง่าย รวมทั้งมีการคำนวณการชดเชย dead-time ซึ่งระบบดังกล่าวก็เพียงพอแล้ว แต่อย่างไรก็ตามระบบการควบคุมดังกล่าวก็ยังมีขอบเขตจำกัดในหลายๆอย่างด้วยกัน ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ทางอนาลอกที่มีความเที่ยงตรงสูงที่ความเร็วดิจิทัลต่ำนั้นมักจะมีราคาแพง, ในการปรับค่าต่างๆให้เข้ากันได้กับค่าคงที่ที่มีความเป็นอิสระสูงให้กับตัวควบคุมแบบ PID ค่อนข้างจะยุ่งยากมาก, ในการเปลี่ยนจากตัวควบคุมหนึ่งไปเป็นตัวควบคุมชนิดอื่นนั้นก็จำเป็นต้องนำตัวควบคุมตัวใหม่มาเปลี่ยนแทน บางทีก็ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์, มีการวางสายใหม่, การคำนวณการหน่วงเวลาเพื่อป้อนให้กับตัวควบคุม และการชดเชย dead-time นั้นก็เป็นเรื่องที่เข้าใจยาก, ความไม่เที่ยงตรง, ขนาดที่ใหญ่เกะกะ, ทั้งยังอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ก็ยังมีราคาแพง ถ้าวงจรที่ทำงานคำนวณนั้นต้องการใช้อยู่ตลอดเวลา

3.1 ข้อมูลที่ได้มาได้อย่างไร (Data Acquisition)

เป็นการใช้ประโยชน์จากกำลังไฟฟ้า ให้มีราคาที่ต่ำ (ในรูปแบบของไมโครโปรเซสเซอร์) มีการสร้างให้มีการนำไปใช้งานกว้างๆ สำหรับงานด้านกำลังไฟฟ้า เนื่องจากในหลายๆ งานต้องการการเชื่อมต่อของสัญญาณอนาลอกเข้ากับขบวนการทางดิจิทัล (หรือไมโครคอมพิวเตอร์ได้), สามารถควบคุมอุปกรณ์ทางอนาลอกได้ที่หลายๆ ตัว, สามารถควบคุมได้ด้วยตัวเอง, มีความแม่นยำสูง, ราคาของไอซีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน รวมทั้งยังสามารถแปลงสัญญาณของระบบที่มีความซับซ้อนหลายช่องสัญญาณได้โดยตรง

3.1.1 ระบบการแปลงข้อมูล (Data Acquisition System)

A) ระบบแชนแนลเดียว (Single Channel System)



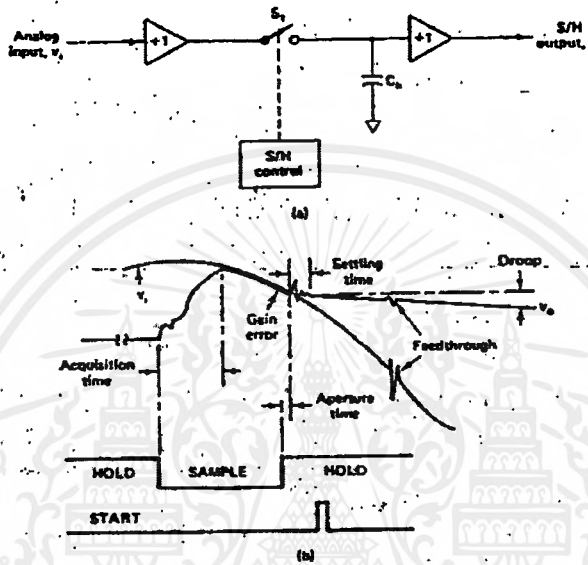
รูปที่ 3.1 แสดงระบบ DAS ที่มีช่องสัญญาณเดียว

จากรูปที่ 3.1 เป็นระบบ DAS แบบที่มีช่องสัญญาณเดียว สัญญาณจากทรานสดิวเซอร์โดยทั่วไปจะมีขนาดสัญญาณต่ำ ซึ่งจะมีทั้งสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ และสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย ซึ่งจะต้องทำให้เป็นเชิงเส้นเสียก่อน วงจรขยาย , วงจรกรอง (Filter) และส่วนประกอบอื่นๆจะถูกนำมาใช้เพื่อที่จะแลกเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สถานะของสัญญาณเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสม แล้วจึงส่งให้แก่วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป

ในส่วนของวงจรสุ่มและดึงข้อมูล (Sample & Hold Circuits , S/H) นั้นจะช่วยลดความผิดพลาดต่างๆ ในการแปลงสัญญาณ เมื่ออินพุตเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับเวลาในการแปลงของวงจร S/H นี้จำเป็นสำหรับระบบที่มีช่องสัญญาณหลายๆ ช่องโดยจะดึงข้อมูลที่สุ่ม (Sample) จากช่องสัญญาณใดๆ เพื่อทำการแปลงสัญญาณ ในขณะที่ มัลติเพล็กซ์ก็ยังคงสุ่มสัญญาณช่องถัดไปอยู่



a) รูปวงจรรายอย่าง (b) รูปสัญญาณ
รูปที่ 3.2 แสดงวงจร Sample and Hold

จากรูปที่ 3.2 S1 จะปิดเมื่อได้รับคำสั่งการ Sample แล้วตัวเก็บประจุ C_h จะเริ่มประจุจนกระทั่งถึงระดับของสัญญาณอินพุต จะใช้ช่วงเวลาที่คงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่าช่วงเวลากการแปลงข้อมูล (Acquisition Time) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_h จะคงสถานะเอาไว้ในระดับเดียวกับสัญญาณอินพุตเมื่อมี คำสั่ง Hold เข้ามา จะทำให้สวิตช์ S1 เปิด แต่จะทำงานหลังจากผ่านไป ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งช่วงระยะเวลาดังกล่าวเรียกว่า Aperture Time Delay (t_a) ซึ่งจะเป็นกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตสูงสุด ที่จะทำให้เกิดการแปลงสัญญาณที่ถูกต้องที่สุด หลังจาก S1 เปิด จะต้องใช้ช่วงเวลา Setting Time ก่อนที่เอาต์พุตของวงจร S/H จะคงที่ที่ค่าๆ หนึ่งและ สามารถที่จะใช้ในการแปลงได้ ในความเป็นจริงจะไม่คงที่แต่จะลดลงไปเรื่อยๆตามเวลา เนื่องจากค่าความจุที่ปนเข้ามาจะสามารถเป็นเหตุให้ การเปลี่ยนแปลงของอินพุตที่มีขนาดใหญ่ที่ไปปรากฏที่เอาต์พุตของวงจร S/H มีขนาดลดลง ซึ่งเรียกเหตุการณ์นี้ว่า Feedthrough

ค่าความจุของ C_h ที่มีค่าต่ำๆ จะลดช่วงเวลาในการเดินทางของข้อมูล (Acquisition Time) แต่จะเพิ่มการลดลงของสัญญาณ Drop ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าความจุของ C มีค่ามากๆ จะทำให้การลดลงของสัญญาณมีค่าน้อยลงแต่ Acquisition Time จะมากขึ้น ในการนำเอาวงจร S/H มาใช้กับวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะต้องให้ช่วงเวลา Hold มีค่าไม่มากกว่าเวลาการแปลงสัญญาณของวงจรเปลี่ยนอนาลอกเป็นดิจิตอลใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาลอกเป็น ดิจิตอลมากเกินไป ดังนั้นการเลือกค่าความจุของ C นั้นเราสามารถประมาณเท่ากับผลรวมของช่วงเวลาการลดลงของสัญญาณ (Total Drop) ที่อยู่ระหว่างการแปลง การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ เพื่อให้ Acquisition Time ที่ดีที่สุดก็คือ การรักษา Droop ในการแปลงสัญญาณให้ต่ำกว่า ๗ LSB การเลือกชนิดของตัวเก็บประจุก็สำคัญมาก เพราะการดูดกลืนของสาร Dielectric ของตัวเก็บประจุจะเป็นตัวก่อให้เกิดความผิดพลาดมากมาย โดยตัวเก็บประจุที่เหมาะสม ได้แก่ Polypropylene ,Polystyrene ,Teflon ส่วน Mica และ Polycarbonate ก็พอใช้ได้ แต่ Ceramic จะมีการดูดกลืน Dielectric สูง ไม่ควรนำมาใช้

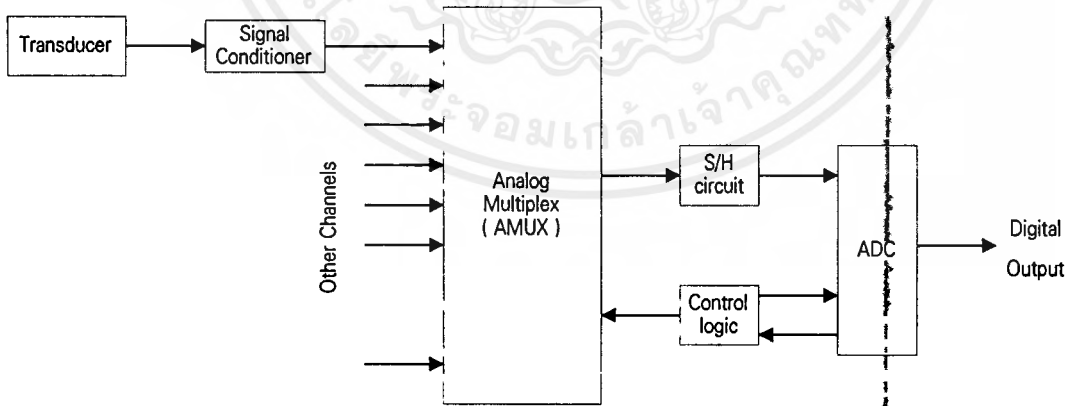
โดยทั่วไปวงจร S/H จะมี Acquisition Time เท่ากับ 4 uS สำหรับ Accuracy เท่ากับ 0.1 % หรือ 10-20 uS สำหรับ Accuracy เท่ากับ 0.01 %

B) ระบบหลายช่องสัญญาณ (Multichannel Systems)

ระบบการทำงานที่มีหลายๆ ช่องสัญญาณอนาลอกอื่นๆ โดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธีที่ใช้กัน วิธีที่ใช้มากโดยให้มัลติเพล็กซ์ (Multiplex) สัญญาณอินพุตทั้งหมด แล้วใช้วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพียงตัวเดียวในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล และอีกวิธีหนึ่ง คือใช้วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในทุกช่องสัญญาณที่ใช้งาน และวิธีหลังนี้เริ่มใช้กันมากเนื่องจากราคาของวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลถูกลง

1) การมัลติเพล็กซ์แบบอนาลอก (Analog Multiplex)

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรที่ใช้โดยทั่วไปของ Analog Multiplex Data Acquisition System จะเห็นว่า Multiplex ถูกต่อเพื่อเลือกช่องสัญญาณแล้วส่งให้วงจร S/H ซึ่งจะ Sample และ Hold ข้อมูลให้แก่วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อทำการแปลง ซึ่งขณะที่ MUX เลือกสัญญาณช่องอื่นให้วงจร S/H อยู่นั้น



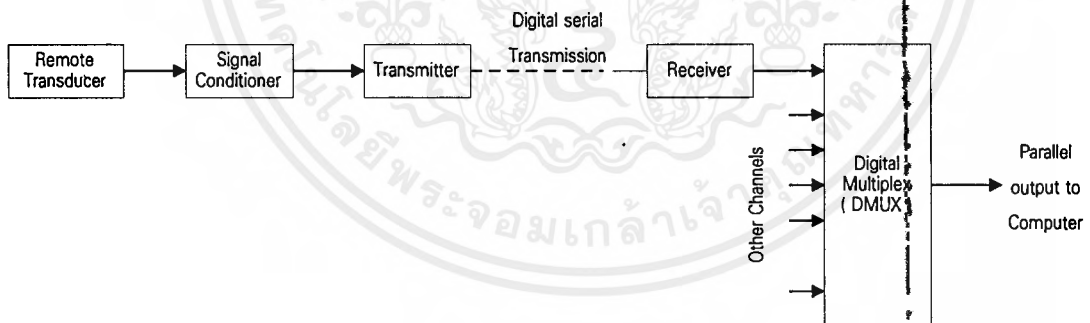
รูปที่ 3.3 Multichannel DAS โดยการใช้ AMUX และ ADC ในตัวเดียวกัน

วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลก็ยังคงทำงานต่อไป จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นว่า Multiplexer Switching และการตั้งค่าคาบเวลา (Setting Time) ไม่มีผลกระทบกับอัตราการส่งผ่านข้อมูลของระบบมัลติเพล็กซ์แบบอนาลอก (Analog Multiplex) มักจะมี 4 ,8 และ 16 ช่องโดยออกแบบเป็นแบบมีเอาต์พุตเพียงเอาต์พุตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พุดเดียว (Single End) หรือสามารถป้อนสัญญาณให้กับอินพุตได้แตกต่างกัน (Differential Input Signal Multiplex) ที่ดีควรจะทำงานแบบหยุดก่อนทำต่อไป (Break-Before-Make) เพื่อให้แน่ใจว่าอินพุตทั้งสอง แชนแนลไม่ได้ต่อกัน ข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกใช้ Analog Multiplex คือค่าความต้านทานของตัวเอง , กระแสรั่วไหล , การส่งถ่ายข้อมูลที่ถูกต้อง (Transfer Accuracy) , การสูญเสียระหว่างสาย (Crosstalk) และการตั้งค่าคาบเวลา (Setting Time ค่าความต้านทานจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม ซึ่งจะทำให้เกิดผิดพลาดได้ แต่เราสามารถลดค่าผิดพลาดดังกล่าวโดยทำให้ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของ MUX มีค่า สูง มากๆ วงจร S/H ก็มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นมันจะช่วยให้ความ ผิดพลาดลดน้อยลงส่วน Transfer Accuracy เป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดจากการส่งผ่านข้อมูลของอินพุตและ Crosstalk เป็นผลมาจากค่า การคับปลิ่งระหว่างอินพุตและเอาต์พุตขณะหยุดใช้ช่องสัญญาณ และ Setting Time เป็นช่วงเวลาที่จะทำให้ เอาต์พุตของ MUX มีเสถียรภาพภายในย่านที่กำหนดไว้ประมาณเท่ากับสัญญาณอินพุตของช่องนั้นๆ โดยผู้ ออกแบบต้องรู้พารามิเตอร์เหล่านี้เพื่อให้แน่ใจว่าวงจร S/H จะไม่ทำงานจนกระทั่งเอาต์พุตของ MUX มีเสถียร ภาพ (Stabilized)

2) การแปลงแบบขนาน (Parallel Conversion)

ในระบบ Parallel Data Acquisition จะแยก ADC ไปใช้ในแต่ละช่อง (ดูรูปที่ 3.4) จะมีข้อดีในทาง อุตสาหกรรมที่ซึ่ง Transducer ถูกวางอยู่ทั้งในบริเวณกว้างที่เต็มไปด้วยสัญญาณรบกวน การติดตั้งให้ ADC ใกล้กับ Transducer และการส่งข้อมูลที่ถูกลบเป็นดิจิตอลจะลดสัญญาณรบกวนลงได้ดีกว่าการส่งสัญญาณ อนุาลอก นอกจากนี้ การแยก ADC ยังทำให้อัตราการสุ่มต่อช่องสูงขึ้นด้วย

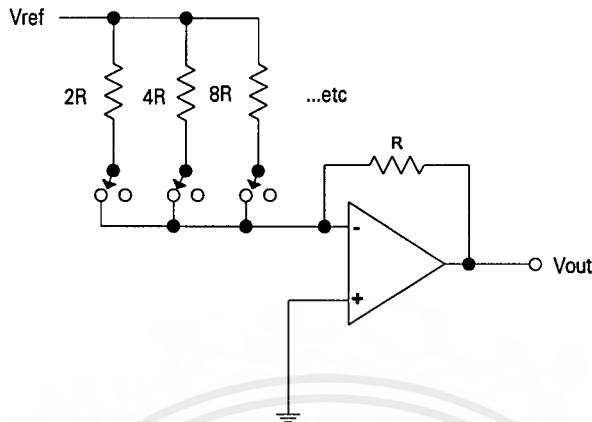


รูปที่ 3.4 Multichannel DAS โดยการใช DMUX และแยก ADC แยกออกจากกัน

3.2 การแปลงสัญญาณทางดิจิตอลไปเป็นสัญญาณทางอนุาลอก

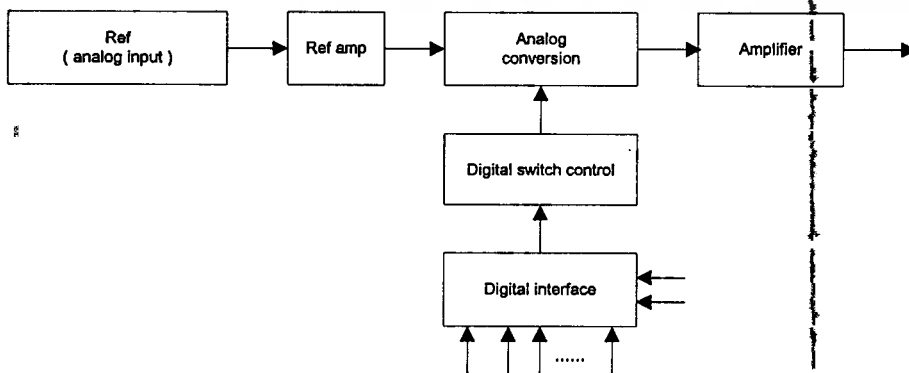
เป็นการแปลงรหัสดิจิตอลไปเป็นพารามิเตอร์ทางอนุาลอกโดยใช้อัตราการเปิดปิดหลายๆครั้งต่อเนื่อกัน (Switching Successive Ratio) ของน้ำหนักบิตทางอนุาลอกเข้ากับจุดรวมของผลรวม หลักการของน้ำหนัก ไบนารี (binary weight) คือการปิดเปิดสวิตช์ด้วยระดับทางอนุาลอกแสดงดังรูป 3.5 จะมีการต่อออป-แอมป์ใน ลักษณะของวงจรรขยายผลรวมแบบกลับเฟส (Inverting Summing Mode) ซึ่งมันเป็นการเพิ่มค่ากระแสเป็น ลำดับทางไบนารี, $V_{ref}/2R$, $V_{ref}/4R$ และอื่นๆ การปิดเปิดนั้นแสดงให้เห็นแบบง่ายๆเพียงชั่วเดียว ใช้อุปกรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงตัวเดียวซึ่งสามารถต่อเข้ากับความต้านทานที่ต้องการหรือปิดกับโหนดผลรวมหรือโดยทั่วไปเรียกว่า รหัสดิจิทัล



รูปที่ 3.5 แสดงเทคนิคพื้นฐานการแปลง D/A ,Continuous binary-weighted

จากไดอะแกรมในรูปที่ 3.6 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบที่ใช้ในการสร้างตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาล็อก จะมีบางไดอะแกรมที่จำเป็นต้องรวมอยู่ในทุกๆอุปกรณ์ซึ่งมีใช้กันในตลาด อย่างไรก็ตามส่วนที่แสดงอยู่ด้านในเส้นประจะเป็นส่วนประกอบที่ต้องการน้อยที่สุด การควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ดิจิทัลนั้น จำเป็นต้องมีมาตรฐานในการแปลงระดับลอจิก (TTL, CMOS และอื่นๆ) ไปเป็นระดับทางอนาล็อกที่ใช้ในการขับสวิตช์ วงจรขยายนั้นจะต้องอ้างอิงคุณสมบัติในหลายๆ กรณีที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักบิตของอนาล็อกสวิตช์กับแหล่งอ้างอิงภายนอก ในตัวแปลงส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยการอ้างอิงทางอนาล็อก (analog reference) และเอาต์พุตของวงจรถ่าย ซึ่งมีการเปลี่ยนค่ากระแสเอาต์พุตไปเป็นแรงดัน กลุ่มของคอนเวอเตอร์ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลและ การเปลี่ยนแปลงหน้าที่ในการควบคุมแบบดิจิทัลแบบอื่นๆในแพ็คเกจเดียวกัน เหตุผลทางสถาปัตยกรรมของจุดที่ไม่ทำงานของคอนเวอเตอร์ซึ่งละเอียดอ่อนมากมาเป็นตัวแปลงที่เป็นไอซี (Integrate circuit converter) มีหลายชนิดด้วยกันที่มีอุปกรณ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่อยู่บนนั้น ลดความยุ่งยากทางด้านขนาดของชิป

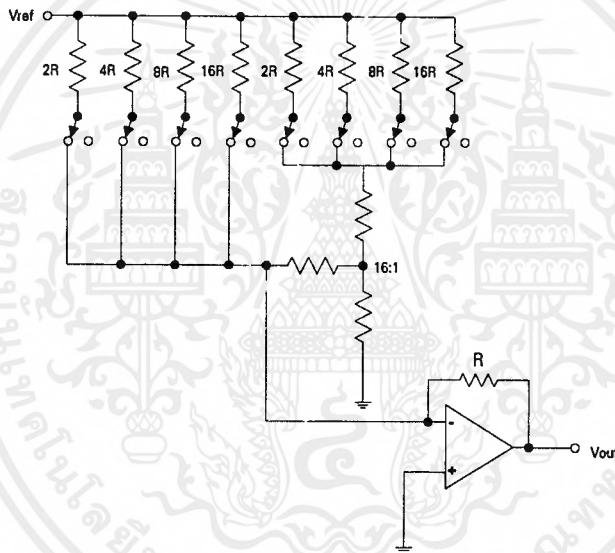


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในทางกฎหมายและใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาลอกสามารถที่จะนำค่าดิจิทัลออกมาควบคุม potentiometer ทำให้เกิดสัญญาณอนาลอกทางเอาต์พุต โดยทั่วไปจะเป็นส่วนหนึ่งของค่าเต็มสเกลที่ตั้งไว้ ค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุต จะขึ้นอยู่กับค่าแหล่งจ่ายอ้างอิงซึ่งถูกเลือกจากการกำหนดค่าเต็มสเกลของเอาต์พุต ค่าแหล่งอ้างอิงอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามการตอบสนองกับค่าสัญญาณอนาลอกเอาต์พุตที่ได้เป็นสัดส่วนกับจำนวนบิตของเลขดิจิทัลกับสัญญาณอนาลอกทางอินพุต

3.2.1 แบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า (Binary Weighted Resistor D/A Converter)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกใช้ตัวต้านทานต่างๆ และออปแอมป์เพื่อเปลี่ยนระดับสัญญาณลอจิก 2 ระดับเป็นแรงดันที่ได้สัดส่วนกัน รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลขนาด 4 บิต ออปแอมป์ที่ใช้มีอัตราขยายสูงมาก มีความต้านทานด้านเอาต์พุตต่ำ ความต้านทานด้านอินพุตมีค่าสูงมากซึ่งสำคัญที่สุด



รูปที่ 3.7 แสดงเทคนิคการแปลง D/A แบบ Successively weighted binary quads

ที่จะต้องตระหนักไว้ก็คือ สัญญาณที่เอาต์พุตถูกป้อนกลับมายังอินพุตแบบกลับเฟส (การป้อนกลับแบบลบ) เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส เอาต์พุตของออปแอมป์จะเป็นตัวจ่ายหรือรับกระแส เพื่อให้แรงดันที่เปรียบเทียบกันนั้น มีค่าเดียวกัน วงจรในรูปที่ 3.7 ต่อขาไม่กลับเฟสลงกราวด์ ดังนั้นที่ขากลับเฟสก็จะมีแรงดัน 0 โวลต์ ด้วยโดยไม่ได้ต่อลงกราวด์โดยตรงจึงถูกเรียกว่ากราวด์เทียม (Virtual Ground)

เมื่อเปลี่ยนการปิดเปิดสวิตช์ไปเรื่อยๆ จะได้แรงดันเอาต์พุตค่าต่างๆ กันกระแสที่ผ่านสวิตช์แต่ละตัวจะถูกรวมกันที่จุดกราวด์เทียมแล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันที่เอาต์พุต โดยค่าความต้านทานในป้อนกลับ R_f แรงดันที่เอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเป็นระดับๆ เหมือนขั้นบันได ดังนั้น 4 บิตจึงได้ 15 ระดับ แต่ละระดับต่างกัน 0.5 โวลต์ อาจกำหนดระยะเวลาห่างของแต่ละระดับได้โดยเปลี่ยนขนาดของ R_f แต่ถ้า R_f มีค่ามากเกินไประดับบนสุดจะขับออปแอมป์ถึงจุดอิ่มตัว

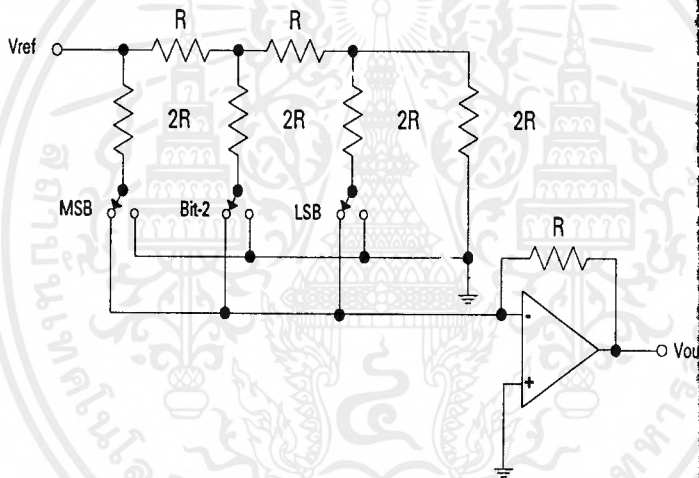
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 แบบใช้ตัวต้านทาน 2 ค่า (R/2R Ladder D/A Converter)

เมื่อวงจรดีทูเอ มีขนาดมากกว่า 4 บิต วงจรตาม รูปที่ 3.7 จะเกิดปัญหาเนื่องจากต้องการค่าความต้านทานที่ช่วงกว้างมาก วิธีที่ใช้หลักการไบนารีเวทเหมือนกัน แต่ใช้ความต้านทานเพียง 2 ค่า แสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งกระแสจะถูกเปลี่ยนค่าแรงดันโดยออปแอมป์และตัวต้านทานป้อนกลับ R_f เหมือนวงจรในรูปที่ 3.7 วิธีนี้เรียกว่าการใช้ความต้านทาน 2 ค่า

เทคโนโลยีการแปลงแบบเก่า 2 แบบจะเป็น continuous binary weight และ successive weight converter แสดงดังรูป 3.7 ในทางกลับกัน R-2R หรือ current switching ladder เป็นการออกแบบไอซีแบบใหม่ มันจะอ้างถึงการกระทำในหลายๆอย่างและปรับปรุงให้มีประโยชน์มากขึ้นดังนี้

1. ค่าความต้านทานแลดเดอร์นั้นทำให้มันทำงานได้ด้วยตัวมันเองที่มีการป้อนไบอัสเดียวกันให้กับ สวิตช์แบบง่าย ๆ เป็นการดำเนินงานของกระแสกับกราวด์ หรือ ค่าเอาต์พุตที่ไหลของจุดกราวด์เสมือนของวงจร ขยายลักษณะดังกล่าวทำให้มีความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรแปลง D/A แบบ R-2R

2. ทำให้มีแรงดันตกคร่อมสวิตช์น้อย (และคงที่) ทำให้มีการออกแบบวงจรง่ายขึ้น และให้เสถียรภาพ ดีขึ้นมีอิสระในการนำไปใช้

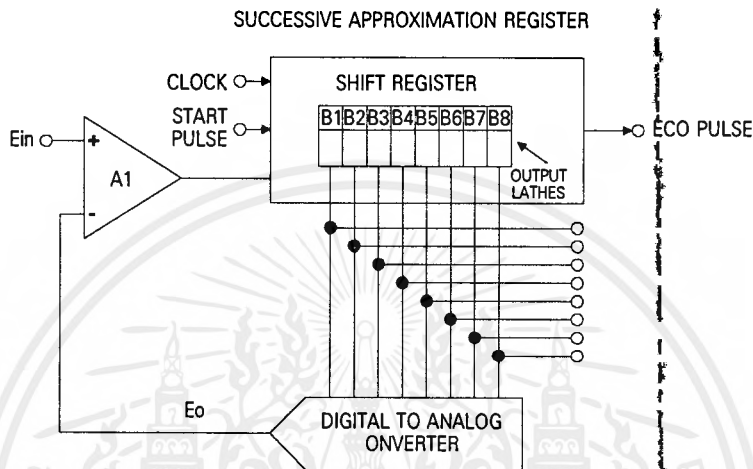
3. ใช้ค่าความต้านทานเพียง 2 ค่าเท่านั้นที่ต้องการปรับ แต่งให้ราบเรียบเป็นไปทางอุดมคติ วงจรแปลงแบบ R-2R แสดงดังรูปที่ 3.8

อีกทางหนึ่งคือ R-2R ladder นั้นสามารถขยายได้ถึง 16 บิต DAC แต่อย่างไรก็ตามวงจรเหล่านี้ก็ ต้องการค่าความต้านทานที่พอดีมากๆ เพื่อให้เข้ากันได้และ ชั้นระหว่างช่องว่างจะเป็นส่วนที่รับรองว่าจะราบเรียบแค่ไหนใน 16 bit R-2R ladder DAC ยอมให้มีจุดวิกฤตที่มีค่ามากได้ โดยค่าส่วนใหญ่ที่ 15th LSB จะเป็นปิด และค่าบิตสำคัญสูงสุดจะเปิด ซึ่งถ้าค่า MSB มีค่ามากกว่า 0.015 % ของค่าการแปลงต่ำสุดนั้นก็จะเป็นราบเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นเป็นสิ่งจำเป็นมากเพราะจะทำให้เครื่องมือทางดิจิทัล หรือเครื่องคอมพิวเตอร์รับรู้และ ทำการตอบสนองกับสัญญาณอนาลอกที่เข้ามาได้ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกให้เป็นเลขฐานสองเสียก่อน วิธีที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่ใช้ในโครงการนี้คือแบบ Successive Approximation A/D



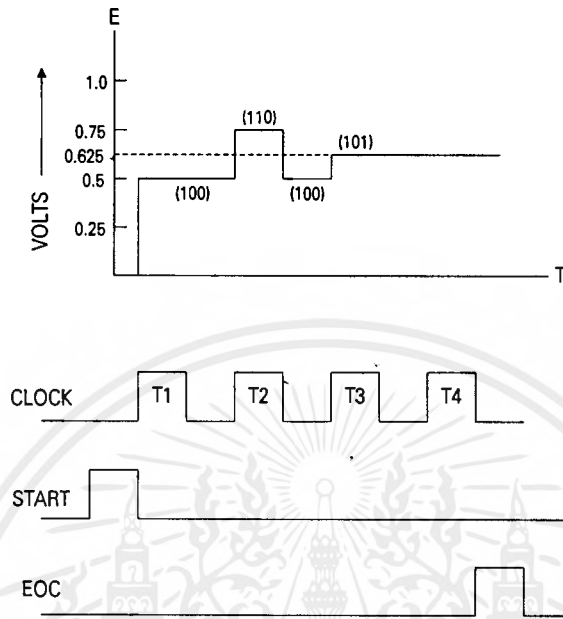
รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร Successive Approximation

วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากกับไมโครโปรเซสเซอร์เพราะมีความเร็วสูง จำนวนบิตสูง แต่ราคาต่ำ หลักการก็คือเริ่มทำการเดาค่าของเอาต์พุตที่จะเปลี่ยนเป็น อนาลอกไว้ก่อนแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าอินพุตจริงที่เข้ามา ค่าที่เดาไว้จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็จะขึ้นอยู่กับกรนำมาเปรียบเทียบกับกัน เช่นสมมุติว่าทำการประมาณค่า 8 บิต เริ่มเดาครั้งแรกควรจะเป็น 1000 000 ถ้าค่า อินพุตจริงที่เข้ามามากกว่าค่าอนาลอกของ 1000 0000 แล้วมันจะทำการเดาค่าอินพุตจริงยังมีค่ามากกว่าอีก ก็จะเดาเพิ่ม ขึ้นเป็น 1110 0000 ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะเดาค่าอินพุตจริงที่เข้ามาได้ถูกต้อง จากรูปที่ 3.9 อธิบายได้ดังนี้คือเมื่อ Successive Approximation (SA) Register ได้รับ Start Pulse ทุกบิตจะรีเซ็ตเป็น "0" บิต B₇ จะต่อกับ MSB ของ DAC เมื่อสัญญาณคล็อก ลูกแรกเข้ามาหลังจากมี Start Pulse เกิดขึ้นแล้วบิต B₇ จะรีเซ็ตเป็น "1" ชั่วคราวซึ่งจะทำให้เอาต์พุตของ DAC เป็น 1000 0000 ถ้าแรงดันที่ไม่ทราบค่าทางอินพุตมากกว่าระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตของ DAC เอาต์พุตแลตซ์จะยังคงรีเซ็ต B₇ ให้เป็น "1"

แต่ถ้าแรงดันทางด้านอินพุตมีค่ามากกว่าแรงดันทางเอาต์พุตของ DAC B₇ จะรีเซ็ตเป็น "0" หลังจากนั้น SA รีจิสเตอร์จะเลื่อนไปทางขวา 1 บิตแล้ว เริ่มทำการทดสอบเหมือนกับที่ 1 เมื่อทำการทดสอบจนถึงบิตสุดท้าย SA รีจิสเตอร์จะแสดงสัญญาณว่าเกินออกมาใน -Clock Pulse ต่อมา ดังนั้นถ้าต้องการ N บิตจะต้องใช้ช่วงเวลาในการเปลี่ยนข้อมูล 1 ข้อมูลเท่ากับ N+1 Clock Pulse

จากรูปที่ 3.10 อธิบายได้ดังนี้คือ จากรูปสมมุติว่าแรงดันเต็มสเกลเป็น 1 โวลต์ และค่าแรงดันอินพุต (E_{in}) เป็น 0.625 โวลต์ สว่างไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ที่เวลา T_1 SA ADC ได้รับ Start Pulse รีจิสเตอร์ B_1 จะเป็น B_1 จะเป็น "1" ทำให้เอาต์พุตขณะนี้เป็น 100 ดังนั้นสเกลของ DAC จะเป็น 0.5 V ผลการทดสอบแสดงว่า E_{in} ยังคงมากกว่า E_o ดังนั้นแลตซ์ B_1 จะยังคงเช็ดเป็น "1" เอาต์พุตก็ยังคงเป็น 100



รูปที่ 3.10 แสดงสัญญาณการทำงานของวงจร Successive Approximation

2. ที่เวลา T_2 ซึ่งเป็น Clock Pulse ถัดต่อมา รีจิสเตอร์ B_2 จะถูกเช็ดให้เป็น "1" เอาต์พุตในขณะนี้จะเป็น 110 แรงดัน E_o ในขณะนี้จะเป็น 0.75 V ในขณะนี้ E_{in} จะน้อยกว่า E_o ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรรีจิสเตอร์ B_2 จะรีเช็ดเป็น "0" เอาต์พุตขณะนี้เป็น 100

3. ที่เวลา T_3 เอาต์พุตของบิต B_3 จะถูกเช็ดเป็น "1" ดังนั้นเอาต์พุตเป็น 101 ค่าแรงดัน E_o ขณะนี้เท่ากับ 0.625 V ดังนั้นแรงดัน $E_o = E_{in}$ ผลแลตซ์สำหรับบิต B_3 จะเช็ดเป็น "1" ทำให้ได้เอาต์พุตเป็น 101

4. ที่เวลา T_4 จะเกิดสัญญาณ Over Flow ขึ้นเพื่อทำให้วงจรภายนอกรู้ว่าข้อมูลบนสายเอาต์พุตนี้เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังนั้น Control Logic จะส่งสัญญาณ EOC Pulse ออกมา ดังนั้นช่วงเวลาในการเปลี่ยนของ SA ADC ที่มีขนาด 8 บิตจะกินเวลาเท่ากับ $3+1 = 4$ Clock Pulse

3.4 การรับและส่งสัญญาณในรูปของกระแสและแรงดัน

ในการส่งสัญญาณแรงดันไปยังปลายทางในระยะไกลนั้นอาจเกิดปัญหาขึ้นมากมายซึ่งเกิดจากความต้านทานอนุกรมระหว่างเอาต์พุตของ Signal Conditioner กับโหลด สาเหตุเหล่านี้ขึ้นอยู่กับระยะทาง, สายที่ใช้, คุณภาพ และ การสร้างการเชื่อมต่อว่าดีแค่ไหน ถึงแม้ว่าจะสูญเสียไปกับตัวต้านทานที่อนุกรมอยู่ดังที่ได้กล่าวไปแล้วเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์เท่านั้น แต่ก็ยังเป็นเหตุอันสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเกือบทุกๆ แห่งจะมีลักษณะการส่งที่คล้ายกันโดยส่งออกไปเป็นรูปอนุกรม ซึ่งการแปลงสัญญาณไปเป็นกระแสแล้วส่งออกไป โดยเราจะสมมุติให้โหลดภาระนั้นรับสัญญาณ (หรือกระแส) ได้ทั้งหมดที่ส่งมาโดยไม่มีการสูญเสียอันเนื่องจากความต้านทานของสายหรือการเชื่อมต่อที่ไม่ดี

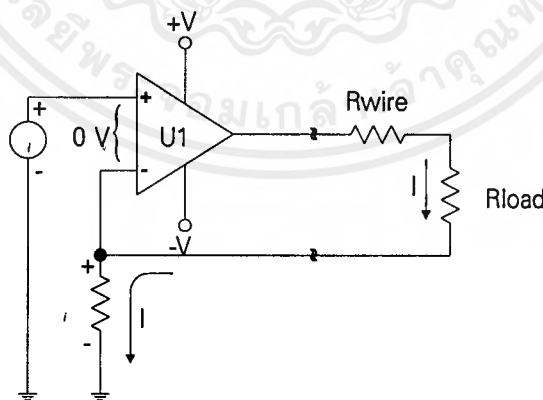
3.4.1 การแปลงแรงดันเป็นกระแส (Voltage to Current Conversion)

ประเภทของการแปลงแรงดันไปเป็นกระแส นั้นขึ้นอยู่กับความต้านทานของโหลดหรือ ไม่ก็เป็นโหลดลอยหรือไม่ผูกติดกับกราวด์ ลักษณะของโหลดลอยนั้นจะดีกว่าแบบอ้างอิงกราวด์โดยมันจะยอมให้นำเทคนิคแบบคอมมอนโหมดรีเจค (Common Mode Reject) เข้ามาใช้ทางด้านเครื่องรับเพื่อลดสัญญาณรบกวนอันเนื่องจากการเหนี่ยวนำ ซึ่งอีกแบบหนึ่งก็คือแบบกราวด์โหลด ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ขับสัญญาณไปให้กับตัวภาระที่ต่อกับกราวด์ เพราะเนื่องจากการแสดงผลและการควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะกระทำในลักษณะเดียวกันและปลอดภัยกว่า

A) การแปลงแรงดันไปเป็นกระแสแบบโหลดลอย (Floating Load)

จากรูปที่ 3.11 เป็นวงจรการแปลงแรงดันไปเป็นกระแสอย่างง่ายๆ เป็นลักษณะวงจรรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) จะมีลักษณะการส่งกระแสออกเป็นวงปิดไปยังโหลดที่อยู่ไกล ซึ่งสัญญาณจะถูกขับอยู่ด้านบนบนของส่วนของการป้อนกลับทางด้านลบ จากการวิเคราะห์จะเห็นว่าวงจรมันจะทำงานด้วยตัวมันเองแบบง่ายๆ เนื่องจากออปแอมป์จะทำงานแบบวงปิดแรงดันที่ขาอินอินเวอร์ตึงก็จะไปปรากฏที่ขาอินเวอร์ตึง ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R เป็น

$$I = \frac{e_{th}}{R}$$



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแสแบบง่าย ๆ

เนื่องจากค่าความต้านทานภายในออปแอมป์มีค่าสูงมากจึงทำให้ไม่มีกระแสไหลออกจากขาอินเวอร์ต ดังนั้นกระแสที่ได้จะได้อาจมาจากวงรูปของกระแส ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาหลายๆ จุดด้วยกันดังนี้

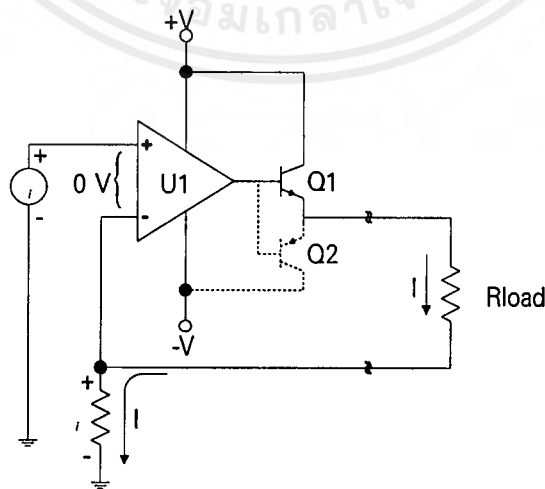
1. พิจารณาจากวงจรที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งค่าความต้านทานในวงรูปที่ใช้ในการส่ง ($R_{loop}=R_{wire}+R_{load}$) ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดผลกระทบใดๆ ต่อจำนวนของกระแสทั้งหมด แต่ความต้านทาน R_{loop} จะมีผลกระทบต่อค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_{loop}}{R}\right) \cdot e_{in} < V_{SAT} \quad (3.1)$$

ซึ่งจะต้องดูแลรักษาค่าความต้านทาน R_{loop} ให้น้อยไว้เพื่อทำให้ออปแอมป์อิ่มตัว

2. พิจารณาว่าออปแอมป์ที่ใช้สามารถกำเนิดกระแสที่ต้องการได้หรือไม่ โดยมาตรฐานที่ใช้ในการส่งมีอยู่หลายอย่างด้วยกันที่เรียกว่า 20 mA หรือ 60 mA ซึ่งทั้งสองมาตรฐานนั้นก็ยังสามารถส่งกระแสข้ามไปยังออปแอมป์ปลายทางให้ได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามท่านอาจจะต้องขยายกระแสให้มากขึ้นโดยใช้ทรานซิสเตอร์ (ดูรูปที่ 3.12) เพราะว่าทรานซิสเตอร์ภายในเป็นวงป้อนกลับแบบลบ ทำให้ออปแอมป์มีการชดเชยค่าออปเซ็ท, ไบอัส และความไม่เป็นเชิงเส้นของออปแอมป์ได้อัตโนมัติ ถ้าสัญญาณที่เข้ามีค่าเป็นทั้งบวกและลบ ท่านจะต้องเพิ่มทรานซิสเตอร์ Q_2 เป็นแบบ PNP ลงไปคอมพลีเมนต์กับทรานซิสเตอร์ Q_1 โดยมันจะทำการดึงกระแสทางด้านลบ

3. พิจารณาทางด้านกระแสจากโหลดซึ่งจะต้องวกกลับมาตามสายไปยังออปแอมป์ (และ R) มันไม่สามารถที่จะขับข้ามไปยังโหลดกับกราวด์ได้โดยตรง ในส่วนนี้จึงเป็น สัญญาณลอยและต้องการสายสองเส้นที่จะใช้ในการเดินทางของกระแส ซึ่งมีทิศทางการไหลของกระแสเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ลักษณะประจำตัวของสัญญาณที่ใช้ในการส่งก็จะต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับท่านจะยอมให้มีการใช้ความแตกต่างนั้นหรือมีการใช้วงจรตัดสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมดนอยซ์ (Common Mode Noise) ในเครื่องวัดที่โหลดเพื่อตัดสัญญาณรบกวนนั้นทิ้งไปก่อนที่จะส่งมาบนสายระหว่างการส่ง



รูปที่ 3.12 แสดงการเพิ่มค่ากระแสของวงจรแปลงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พิจารณาในกรณีที่โหลดเปิด ซึ่งเป็นกรณีที่แย่ที่สุดโดยการเปิดโหลดจะเหมือนกับการถอดการป้อนกลับแบบลบออกและส่งผลทำให้ออปแอมป์เข้าสู่สภาวะอิมิตัว ในอีกกรณีคือเมื่อมีการช็อตโหลดทำให้วงจรมีการป้อนกลับในลักษณะวงจรแบบโวลต์เตจฟอลโลเวอร์ (Voltage Follower) สัญญาณกระแสจะไม่เกิดผลกระทบบิตๆ

5. ในกรณีสุดท้ายเป็นลักษณะของอินเวอร์ตติ้งแอมป์มีไว้กันแหล่งจ่ายแรงดัน ป้องกันโหลด ท่านควร จะสร้างวงจรแปลงแรงดันไปเป็นกระแสโดยใช้วงจรขยายแบบกลับเฟส แต่อย่างไรก็ตามกระแสที่ส่งเป็นวงนั้น จำเป็นต้องมาจากแหล่งจ่ายแรงดัน เนื่องจากโหลดเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดที่จะทำการดึงกระแสจากแหล่งจ่ายแรงดัน (หรือจากเซนเซอร์) ซึ่งไม่ขอแนะนำให้ใช้ลักษณะของอินเวอร์ตติ้งแอมป์

จากรูปที่ 3.12 เมื่อมีปัญหาเพิ่มขึ้นอีกอย่างหนึ่งคือ

$$e_{in} = 0$$

$$I_L = 0$$

กระแสที่เป็น "0" จะไปปรากฏที่โหลด ซึ่งเป็นไปได้ทั้งกรณีที่วงรูปของกระแสเปิดหรือไม่ก็การส่งทาง อิเล็กทรอนิกส์เกิดผิดพลาด

$$I_L = 0$$

กระแสก็จะตกลงมาเป็น "0" ที่โหลดก็จะมีการตอบสนองถ้า

$$e_{in} = 0$$

ในการส่ง วิธีนี้จำเป็นต้องยอมให้โหลดมีความแตกต่างกันระหว่างที่ไม่มีสัญญาณ

$$I_L = 0$$

และถ้าใช้ให้อินพุต

$$e_{in} = 0$$

ท่านก็สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยการปรับค่าออปเซิตให้กับ

$$e_{in} = 0 \text{ หรือ } e_{in} = \text{ค่าต่ำสุด}$$

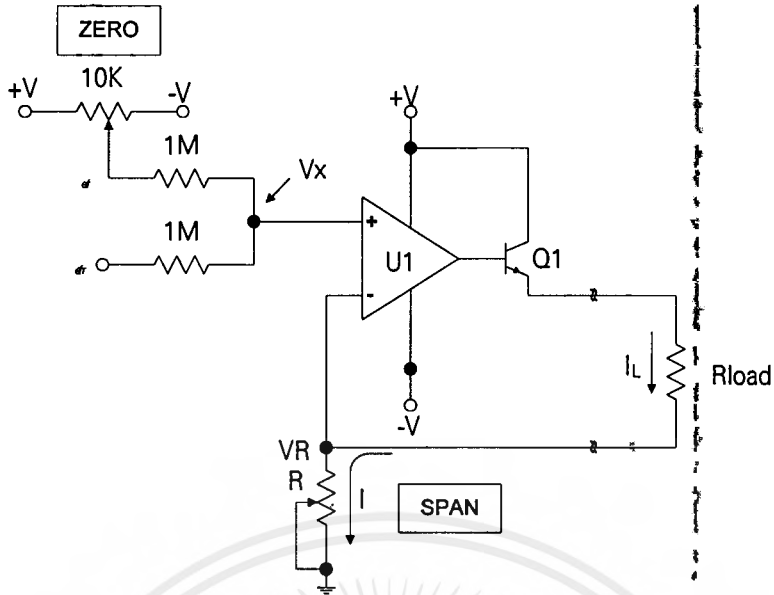
$$I_L = I(0) > 0$$

ซึ่งค่าแรงดันอินพุตจะมีค่าน้อยมากเกือบจะเท่ากับ "0" จะทำให้เกิดรูปกระแสที่ไม่เป็น "0" ในส่วนของวงจร ออปเซิตนี้จะมีการใช้สัญญาณซึ่งจะทำให้เกิดกระแสมากกว่าหรือเท่ากับ $I(0)$ ได้ถ้า

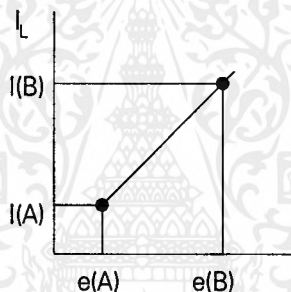
$$I_L = 0$$

วงจรจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้น

จากรูปที่ 3.13(a) จะเป็นการปรับค่าออปเซิตของวงจรแปลงแรงดันไปเป็นกระแส ซึ่งจะนำมาแทนวงจร ขยายแบบไม่กลับเฟสในรูปที่ 3.12 โดยใช้วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส โดยกระแสที่เอาต์พุตขณะที่มีการ เชื่อมต่อจะกำหนดโดยแรงดันอินพุต e_{in} และแรงดันอ้างอิง e_{ref} โดยความต้านทานอินพุตทั้งสองตัวมีค่าเป็น $1 \text{ M}\Omega$ จำเป็นต้องมีค่าใหญ่พอเพื่อจะเก็บรักษาค่าแหล่งจ่ายแรงดันนั้นไว้อันเนื่องจากการดึงกระแสของโหลดได้



(a) schematic



(b) transfer curve

รูปที่ 3.13 แสดงการปรับค่าออปเซิตของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแส

จากรูปที่ 3.13(b) เป็นแสดงกราฟของแรงดันอินพุตกับกระแสเอาต์พุต จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น และสามารถเปลี่ยนตำแหน่งไปยังที่ต่างๆได้ จากรายละเอียดของทั้งสองส่วนด้านบน คือ $e(A), I(A)$ และ $e(B), I(B)$ (เป็นจุดสุดท้ายของสาย) ให้ค่าแรงดันอินพุตเหล่านี้เป็น $e(A)$ ก็จะเกิดกระแสเป็น $I(A)$ และในลักษณะเดียวกัน บ้อนแรงดันอินพุตเป็น $e(B)$ ก็จะทำให้เกิดกระแสเป็น $I(B)$ ท่านก็สามารถกำหนดค่าความต้องการของวงจรได้โดย

$$R = \frac{e(B) - e(A)}{2[I(B) - I(A)]} \tag{3.2}$$

และ

$$e_{ref} = 2RI(B) - e(B) \tag{3.3}$$

ท่านก็สามารถหาที่มาของสมการได้ เพราะออปแอมป์มีการป้อนกลับแบบลบ

$$V_x = V_R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_L = \frac{V_X}{R} \quad (3.4)$$

ผลรวมจากลูปจาก e_{in} ไปยัง e_{ref} (และข้ามค่าความต้านทาน $10\text{ K}\Omega$ เมื่อเทียบกับค่าความต้านทาน $1\text{ M}\Omega$)

$$e_{in} - I_{in}(1\text{M}\Omega) - I_{in}(1\text{M}\Omega) - e_{ref} = 0$$

แก้สมการหาค่า I_{in} จะได้

$$I_{in} = \frac{e_{in} - e_{ref}}{2\text{M}\Omega} \quad (3.5)$$

ผลรวมของลูปจาก e_{in} ไปยัง V_X จะประกอบด้วย

$$e_{in} - I_{in}(1\text{M}\Omega) - V_X = 0 \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} V_X &= e_{in} - \frac{(e_{in} - e_{ref})}{(2\text{M}\Omega)}(1\text{M}\Omega) \\ &= \frac{e_{in} + e_{ref}}{2} \end{aligned} \quad (3.7)$$

นำสมการที่ 3.7 ไปแทนในสมการที่ 3.4 เราจะได้

$$I_L = \frac{e_{in} + e_{ref}}{2R} \quad (3.8)$$

จากสมการที่ 3.8 เป็นสมการ Transfer ของวงจรในรูปที่ 3.20(a) มันเป็นสมการของสายในรูปที่ 3.13(b)

ที่จุด A

$$I(A) = \frac{e(A) + e_{ref}}{2R}$$

ที่จุด B

$$I(B) = \frac{e(B) + e_{ref}}{2R}$$

จากสมการทั้งสองจุดเราจะได้ว่า

$$2RI(B) = e(B) + e_{ref} \quad (3.9)$$

$$2RI(A) = e(A) + e_{ref} \quad (3.10)$$

นำสมการที่ 3.9 ลบกับสมการที่ 3.10 เพื่อตัด e_{ref} ทิ้งไปจะได้

$$2R [I(B) - I(A)] = e(B) - e(A)$$

หรือ

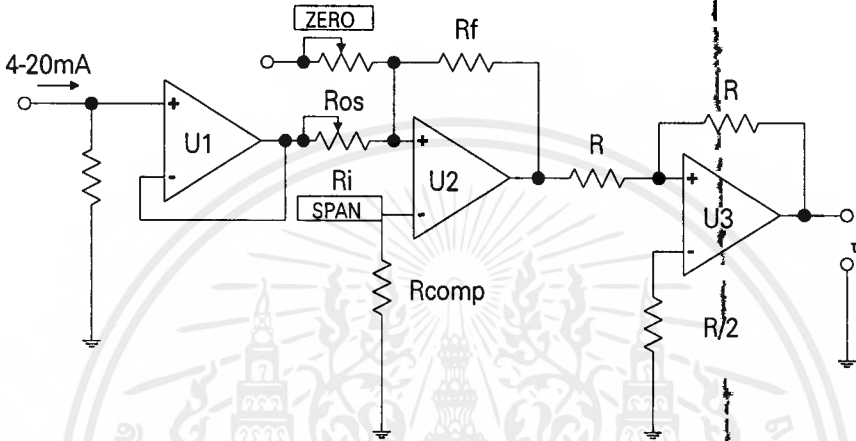
$$R = \frac{e(B) - e(A)}{2 [I(B) - I(A)]}$$

แก้สมการที่ 3.9 หาค่า e_{ref} จะได้

$$e_{ref} = 2R I(B) - e(B)$$

3.4.2 การแปลงกระแสไปเป็นแรงดัน

ในการนำสัญญาณกระแสไปใช้งานจริงในสถานที่ต่าง ๆ มันจำเป็นต้องมีการ เปลี่ยนสัญญาณกระแสนั้นกลับมาเป็นสัญญาณแรงดันเสียก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานโดยการใช้ตัวต้านทานมาต่อเป็นโหลดที่อ้างอิงกราวด์จากรูปที่ 3.14 ซึ่งตัวส่งกระแสจะถูกแปลงไปเป็นแรงดันโดยความต้านทาน R_L โดยมีไอซี U1 ซึ่งต่อในลักษณะของโวลต์เตจฟอลโลเวอร์ (Voltage Follower) ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ใช้แยกค่าความต้านทาน R_L กับ R_i และมี U2 ,U3 เป็นตัวมาตรฐานของตัวแปลง ZERO และ SPAN

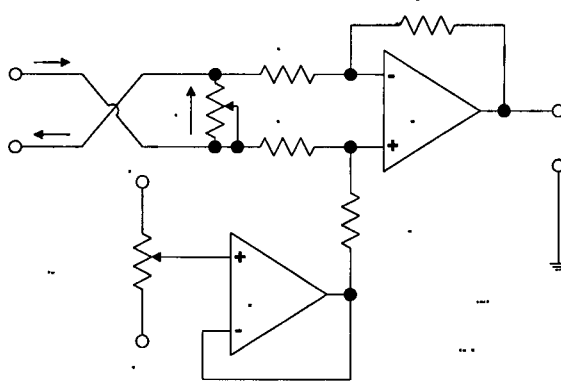


รูปที่ 3.14 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันแบบกราวด์อ้างอิง

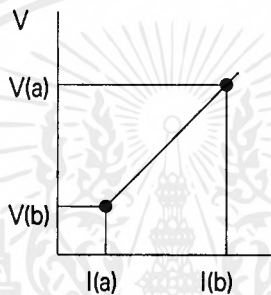
แต่การแปลงแบบกราวด์โวลต์จะมีปัญหาอยู่หลายอย่างดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้กระแสกราวด์ที่วกกลับมาระหว่างตัวส่งและตัวรับ และความต้านทานบางตัวในสายก็เป็นเหตุให้มีการเพิ่มแรงดันที่ตก-คร่อมในสายทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในการปรับค่าเอาต์พุต ปกติครั้งที่ค่าความแตกต่างของแรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างจุดกราวด์หลายๆ ค่าในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งโดยปกติแล้วมักจะใช้เป็น 60 Hz และมีการสุม่การเปิดปิดของเครื่องจักรส่วนนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้ากราวด์ขึ้นกับส่วนของสัญญาณที่ส่งไปไว้ล่วงหน้าได้ และไม่สามารถยอมรับพฤติกรรมในระบบควบคุมนั้นได้

การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการใช้โวลต์ลอย กระแสนั้นจะถูกส่งออกมา และ วกลับมาจากโวลต์มาตามความยาวของสายเกลียวคู่ (Twisted Pair) สัญญาณรบกวนต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนจุดต่อของสายจะไปปรากฏที่จุดสุดท้ายของโวลต์เสมือน ถ้าแรงดันที่จุดสุดท้ายทั้งสองจุดของโวลต์ตกลงหรือต่ำลง โดยมีค่าแรงดันเป็นค่าเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่เกิดความแตกต่างของศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อคร่อมโวลต์ จึงสามารถตัดสัญญาณรบกวนใหม่คร่อมทิ้งได้โดยเสมือนค่าความแตกต่างของศักดาไฟฟ้าระหว่างกราวด์ของทางเครื่องส่งและกราวด์ของทางเครื่องรับจะแสดงขึ้นไว้บนสายที่ทำการส่งออกไปทั้งคู่มี ลักษณะเป็นแบบโวลต์ลอย ในส่วนนี้ด้วย ซึ่งเป็นโหมครวมที่จะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันที่ตกคร่อมโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) schematic



(b) transfer curve

รูปที่ 3.15 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันแบบกราวด์ลอย

ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์นั้นต้องการสถานะของแรงดันจากโหลดลอย แสดงดังรูปที่ 3.15 ซึ่งการส่งกระแสจะถูกแปลงกลับมาเป็นค่าความแตกต่างของแรงดัน โดยใช้ R_{SPAN} ลักษณะการต่อใช้งานของออปแอมป์ U1 และความต้านทาน R_i และ R_f จะอยู่ในลักษณะของวงจรรขยายความแตกต่าง โดยจะเป็นตัวประกันว่าแรงดันความแตกต่างที่ตกคร่อม R_{SPAN} และค่าอัตราขยายเป็น $\frac{R_f}{R_i}$ เป็นตัวจำกัดกราวด์อ้างอิง ให้เอาต์พุตโดยมีการป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดจากโหลด เพื่อแน่ใจว่าค่า

$$R_i \gg R_{SPAN}$$

การปรับค่าออปเซ็ทหรือค่า '0' สามารถทำได้โดยการปรับค่า R_{POT} และ U2 การควบคุมออปเซ็ทเอาต์พุตของวงจรเครื่องวัด เอาต์พุตจาก U1 จะขึ้นอยู่กับกระแส I, โหลดความต้านทาน R_{SPAN} , เกณฑ์อัตราขยาย $\frac{R_f}{R_i}$ และแรงดัน Zero Offset V_z

$$V_{OUT} = \frac{R_f}{R_i} I R_{SPAN} + V_z \quad (3.11)$$

ในการเลือกอุปกรณ์ ZERO และ SPAN ที่ถูกต้องให้ดูจากกราฟรูปที่ 3.15(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุด a

$$V(a) = \frac{R_f}{R_i} I(a) R_{SPAN} + V_z \quad (3.12)$$

ที่จุด b

$$V(b) = \frac{R_f}{R_i} I(b) R_{SPAN} + V_z \quad (3.13)$$

นำสมการที่ 3.12 ไปลบกับสมการที่ 3.13 จะได้

$$\begin{aligned} V(b) - V(a) &= \frac{R_f}{R_i} I(b) R_{SPAN} - \frac{R_f}{R_i} I(a) R_{SPAN} \\ &= \frac{R_f}{R_i} R_{SPAN} [I(b) - I(a)] \end{aligned}$$

แก้สมการหาค่า R_{SPAN}

$$R_{SPAN} = \frac{V(b) - V(a)}{\frac{R_f}{R_i} [I(b) - I(a)]} \quad (3.14)$$

แก้สมการที่ 3.12 หาค่า V_z

$$V_z = V(a) - \frac{R_f}{R_i} I(a) R_{SPAN} \quad (3.15)$$

3.5 อินพุตและเอาต์พุตพอร์ตของ IBM PC

ใน IBM PC ใช้สัญญาณจากแอดเดรส A0-A9 ในการกำหนดตำแหน่งพอร์ต ซึ่งจากสายสัญญาณแอดเดรสจะสามารถกำหนดตำแหน่งพอร์ตได้ถึง 1024 ตำแหน่งโดยแผนผังแอดเดรสของพอร์ตอินพุตและ เอาต์พุต (I/O PORT ADDRESS MAP) จะแยกออกเป็นสองส่วนจากรูปที่ 3.16 ตำแหน่งเริ่มต้นตั้งแต่ 0000H จนถึง 01 FFH จะกำหนดให้เป็นส่วนที่ใช้กับระบบ ตำแหน่งที่เหลือตั้งแต่ 0200H จนถึง 3FFFH ใช้ในส่วนของการ์ดภายนอก (FEATURE CARD PORTS) โดยตำแหน่งที่ 0300H จนถึง 030FH เราสามารถนำไปใช้ในการออกแบบโครงการ

3.5.1 รายละเอียดของสัญญาณต่างๆ บนสล็อตที่ใช้ในโครงการ

| แอดเดรส | | | | แอดเดรสที่ใช้ | | | |
|-------------|-----|-------------|--------------------------------|---------------|-------|-------------|------------------------|
| 0200H | 1 | 0200H | NOT USE | 0000H | | 000H-001FH | DMA CHIP (8237A-5) |
| 0201H | 1 | 0201H | GAME CONTROL ADAPTER | 01FFH | 32 | | |
| 0202H-0277H | 118 | 0202H-0277H | NOT USE | 0020H | 32 | 0020H-0021H | INTERUPT CHIP (8259A) |
| 0278H | 8 | 0278H-027FH | PRINTER PORT ADAPTER 2 | 003FH | | | |
| 027FH | | | | 0040H | 32 | 0040H-0043H | TIMER COUNTER (8253-5) |
| 0280H | 120 | 0280H-02F7H | NOT USE | 005FH | | | |
| 02F8H | 8 | 02F8H-02FFH | SERIAL PORT ADAPTER | 0060H | 32 | 0060H-0063H | I/O PORT (8255A-5) |
| 0300H | 120 | 0300H-0377H | NOT USE | 007FH | | | |
| 0378H | 8 | 0378H-037FH | PRINTER ADAPTER 1 | 0080H | 32 | 0080H-0083H | DMA PAGE REGISTERS |
| 037FH | | | | 009FH | | | |
| 0380H | 48 | 0380H-03AFH | NOT USE | 00A0H | 32 | 00A0H | NMI MASK REGISTER |
| 03AFH | | | | 00BFH | | | |
| 03B0H | 16 | 03B0H-03BFH | MONOCHROME AND PRINTER ADAPTER | 00C0H | | | |
| 03BFH | | | | | 320 | | |
| 03C0H | 16 | 03C0H-03CFH | NOT USE | 01FFH | | | |
| 03CFH | | | | | | | |
| 03D0H | 16 | 03D0H-03DFH | COLOR GRAPHICS ADAPTER | 0000H | 512 | 0000H-01FFH | I/O บนเมนบอร์ด |
| 03DFH | | | | 01FFH | | | |
| 03E0H | 16 | 03E0H-03EFH | NOT USE | 0200H | 512 | 0200H-03FFH | ให้สล็อตต่างๆ |
| 03EFH | | | | 03FFH | | | |
| 03F0H | 8 | 03F0H-03F7H | พืลอปบีคัสโคโรที อะแดปเตอร์ | 0400H | | | |
| 03F7H | | | | | 64512 | 0400H-FFFFH | ใช้ไม่ได้ |
| 03F8H | 8 | 03F8H-03FFH | SERIAL PORT ADAPTER | | | | |
| 03FFH | | | | FFFFH | | | |

รูปที่ 3.16 แสดงแผนผังการถอดรหัสแอดเดรสของ I/O พอร์ต

A0-A19 (Address Bus ; ขา A13-A12) :

ขาสัญญาณทั้ง 20 ขา นี้เป็นเอาต์พุตซึ่งใช้สำหรับกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำ หรืออุปกรณ์ I/O ที่ 8088 ต้องการติดต่อด้วย โดยที่สัญญาณ A0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit) และ A19 จะมีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit) สำหรับค่าแอดเดรสบนบัสแอสเดรส A0-A19 นี้ จะถูกกำหนดโดย 8088 ในระหว่างขบวนการอ่าน/เขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O แต่ในช่วงของขบวนการ DMA นั้น DMA Controller จะเป็นผู้กำหนดค่าแอดเดรสบนบัสแอสเดรสเอง (ในระหว่างนี้ 8088 จะถูกตัดออกจากระบบ)

จะเห็นได้ว่าจำนวนเส้นแอดเดรสนี้มีอยู่ 20 เส้น ซึ่งสามารถที่จะอ้างแอดเดรสของหน่วยความจำได้ถึง 1 Mbytes แต่อย่างไรก็ตามจะมีแอดเดรสบางแอดเดรสที่ถูกใช้งานโดย IBM/PC อยู่ก่อนแล้วคือแอดเดรสสำหรับหน่วยความจำ ROM อีก 48 Kbytes ซึ่งถูกจัดในช่วงของแอดเดรสบนสุดใน 1 Mbytes คือ OFCOOH จนถึง OFFFFH (สำหรับ IBM PC/XT จะเป็น 64 Kbytes)

สำหรับการอ้างแอดเดรสของพอร์ต I/O นั้น จะใช้เส้นแอดเดรสเพียง 16 เส้น คือ A0-A15 ซึ่งจะทำการอ้างแอดเดรสของพอร์ตได้ 64 K พอร์ตโดยผ่านทางชุดคำสั่ง IN และ OUT ส่วนเส้นแอดเดรสที่เหลือคือ A16-A19 นั้นจะไม่ถูกใช้งานอย่างไรก็ตามภายใน IBM/PC จะใช้เส้นแอดเดรสในการอ้างแอดเดรสของพอร์ตเพียง 10 เส้น คือจาก A0-A9 และค่าแอดเดรสที่ใช้งานจะต้องอยู่ในช่วง 0200H จนถึง 03FFH เท่านั้น (รายละเอียดจะได้กล่าวในเรื่องของการถอดรหัสแอดเดรส I/O พอร์ต)

D0-D7 (Data Bus ; ขา A9-A2) :

ขาสัญญาณนี้จะเป็นแบบ Bi-directional ซึ่งต่อกับบัสข้อมูลของระบบเพื่อทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างพอร์ต I/O กับ IBM/PC โดยบิต D0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุดและบิต D7 จะมีบิตนัยสำคัญสูงสุด

สำหรับในบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย 8088 นั้น ข้อมูลจะถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูลก่อนที่สัญญาณ \overline{IOW} (ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับพอร์ต) หรือ \overline{MEMW} (ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับหน่วยความจำ) จะเปลี่ยนจากลอจิก '0' เป็นลอจิก '1' (ขอบขาขึ้น) ของสัญญาณ \overline{IOW} หรือ \overline{MEMW} นี้ จะถูกใช้เพื่อส่งให้พอร์ต I/O หรือหน่วยความจำที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้นรับข้อมูลไปเก็บไว้

สำหรับในบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย 8088 นั้น พอร์ต I/O หน่วยความจำที่ถูกอ้างถึงจะติดต่อส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลก่อนที่สัญญาณ \overline{IOR} (ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจากพอร์ต) หรือ \overline{MEMR} (ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ) จะเปลี่ยนจากลอจิก '0' เป็นลอจิก '1' (ขอบขาลง)

\overline{IOR} (I/O Read ; ขา B14) :

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาต์พุตแอกทีฟที่ลอจิก '0' ที่สร้างขึ้นโดย 8288 Bus Controller เพื่อใช้ในการแสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้น เป็นบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O เพื่อให้พอร์ต I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้นส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลโดยข้อมูลจะต้องถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูลก่อนขอบขาขึ้นของสัญญาณ \overline{IOR} ประมาณ 30 นาโนวินาที เพื่อให้มั่นใจได้ว่า 8088 สามารถรับข้อมูลได้ถูกต้อง สำหรับในขบวนการ DMA 8237A-5 DMA Controller จะทำการสร้างสัญญาณ \overline{IOR} เอง โดยที่ค่าแอดเดรสที่อยู่บนบัสแอดเดรสจะเป็นค่าแอดเดรสของหน่วยความจำ (แทนที่จะเป็นแอดเดรสของพอร์ต I/O) ที่พอร์ต I/O ที่ขา DMA ต้องการจะนำข้อมูลไปเก็บการที่พอร์ต I/O จะส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล นั้นจะอาศัยสัญญาณ \overline{DACK} จาก DMA Controller เป็นตัวกำหนดเช่นกรณีที่สัญญาณ $\overline{DACK1}$ แอกทีฟก็จะแสดงว่าพอร์ต I/O ที่จะต้องส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลก็คือพอร์ต I/O ที่ขอ DMA ผ่านทางแชนแนลที่ 1 (DRQ1) เป็นต้น

\overline{IOW} (I/O Write ; ขา B13) :

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาต์พุตแอกทีฟที่ลอจิก '0' ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย 8288 Bus Controller เพื่อใช้แสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นนี้เป็นบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลลงพอร์ต I/O เพื่อให้พอร์ต I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้นรับข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลไปเก็บไว้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากในเวลาที่สัญญาณ \overline{IOW} นี้แอกทีฟ (ลอจิก "0") นั้นข้อมูลบนบัสข้อมูลอาจจะยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในกรณีของขอบขาขึ้นของสัญญาณ \overline{IOW} แทนขอบขาลงในการทำให้พอร์ต I/O ที่เกี่ยวข้องรับข้อมูลไปเก็บไว้ เพื่อให้ข้อมูลบนบัสข้อมูลสมบูรณ์เสียก่อนสำหรับในขบวนการ DMA นั้น DMA-Controller จะทำการสร้างสัญญาณ \overline{IOW} เอง โดยที่ค่าแอดเดรสที่อยู่บนบัสแอดเดรสจะเป็นค่าแอดเดรสของหน่วยความจำที่พอร์ต I/O ที่ขอ DMA ต้องการจะอ่านข้อมูล

AEN (Address Enable ; ขา A11) :

สัญญาณนี้เป็นเอาต์พุตที่ใช้ในการแสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สัญญาณ AEN แยกที่ฟ (ลอจิก "1") นั้น เป็นบัสไซเคิล ของขบวนการ DMA

สำหรับบนเมนบอร์ดของ IBM/PC นั้น จะใช้สัญญาณนี้ในการดิสเอเบิล (Disable) 8288 Bus Controller และจะใช้ดิสเอเบิลพอร์ต I/O ต่างๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับขบวนการ DMA ที่เกิดขึ้นนี้ ที่จำเป็นต้องทำเช่นนี้ก็เพราะในระหว่างขบวนการ DMA นั้น 8237A-5 จะส่งแอดเดรสของหน่วยความจำออกมาบนบัสแอดเดรส และจะทำให้สัญญาณ IOR หรือ IOW แยกที่ฟด้วย ดังนั้นถ้าไม่ทำการดิสเอเบิลพอร์ต I/O ที่ไม่เกี่ยวข้องไว้ ก็อาจจะทำให้พอร์ต I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสของหน่วยความจำ) นั้น ทำการอ่านหรือส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

บัสของแหล่งจ่ายไฟของระบบ + 5 Vdc (ขา B3 และ B29) :

ขาทั้งสองนี้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC 5 V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง $\pm 5\%$ คืออยู่ช่วง 4.75 ถึง 5.25 Vdc

บัสของแหล่งจ่ายไฟของระบบ + 12 Vdc (ขา B9) :

ขาทั้งสองนี้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC 12 V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง $\pm 5\%$ คืออยู่ช่วง 11.4 ถึง 12.6 Vdc

บัสของแหล่งจ่ายไฟของระบบ - 5 Vdc (ขา B5) :

ขาทั้งสองนี้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC -5 V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง $\pm 10\%$ คืออยู่ช่วง -5.5 ถึง -4.5 Vdc

บัสของแหล่งจ่ายไฟของระบบ -12 Vdc (ขา B7) :

ขาทั้งสองนี้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC -12 V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง $\pm 10\%$ คืออยู่ช่วง -13.2 ถึง -10.8 Vdc

บัสของแหล่งจ่ายไฟของระบบกราวด์ (ขา B1, B10, B31) :

ขาทั้งสามนี้จะต่อเข้ากับกราวด์ของระบบ

ส่วนรายละเอียดของสัญญาณพอร์ตอื่นๆ สามารถหว่านได้ทั่วไปจากหนังสือเกี่ยวกับโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายใน IBM/PC

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้าง

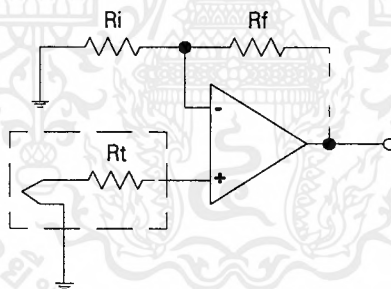
4.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล

ทฤษฎีและหลักการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งทำมาจากโครเมล (CHROMEL) อลูเมล (ALUMEL) ซึ่งได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา $40.7 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ เราต้องทำการขยายสัญญาณดังกล่าวด้วยออปแอมป์ (OPAMP, Operational Amplifier) ซึ่งต่ออยู่ในลักษณะวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier) ให้ได้เอาต์พุตออกมาประมาณ $5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$

เหตุที่ต้องใช้เพราะว่าในการขยายสัญญาณอินพุตต่างๆ จากเทอร์โมคัปเปิลจำเป็นต้องมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง และให้แรงดันค่าออฟเซต (OFF SET) ต่างๆ ที่ให้เอาต์พุตเป็นแรงดันออกมาใกล้เคียงศูนย์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่อินพุตเป็นศูนย์

จากสูตรการคำนวณค่าอัตราขยายของเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสไปตามสมการ

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยาย (A}_v\text{)} &= \frac{V_o}{V_i} = \frac{5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}}{40.7 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}} \\ &= 122.85 \end{aligned}$$

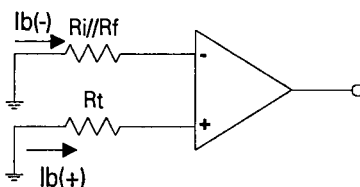


รูปที่ 4.1 วงจรขยายสัญญาณแบบ noninverting amplifier

และอัตราขยายของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสจะเท่ากับ

$$= 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$\therefore R_f = 121.85 R_i$$



รูปที่ 4.2 แสดงความต้านทานทางด้านอินพุตของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าความต้านทานส่วนใหญ่ของเทอร์โมคัปเปิลแบบ CA คือ R_t มีค่าเท่ากับ 422Ω จากวงจรค่าความต้านทานที่ขั้วอินเวอร์ต (-) ของออปแอมป์มีค่าเท่ากับ $R_f // R_i$ ในทางอุดมคตินั้น ความแตกต่างของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์จะเป็นศูนย์โวลต์ เมื่อพิจารณารูป 4.2 $I_{b(+)}$ และ $I_{b(-)}$ เป็นกระแสไบอัส Differential Input ภายในจะได้ความสัมพันธ์สมการความแตกต่างของศักดาอินพุตออปแอมป์ดังนี้

$$I_{b(+)} R_t - I_{b(-)} R_f // R_i = 0$$

$$I_{b(+)} R_t = I_{b(-)} R_f // R_i$$

$$\therefore R_t = R_f // R_i$$

เนื่องจาก $R_f \gg R_i$ จะได้

$$\therefore R_t = R_i$$

$$\text{แล้ว } R_i = 422 \Omega$$

ดังนั้นจาก $R_f = 121.85 R_i$

$$R_f = 51.12 \text{ k}\Omega$$

4.2 การออกแบบวงจรชดเชยรอยต่อที่เย็น (Thermocouple Cold Junction Compensation)

การชดเชยรอยต่อที่เย็นของเทอร์โมคัปเปิล มีวิธีการชดเชยได้ 2 วิธี

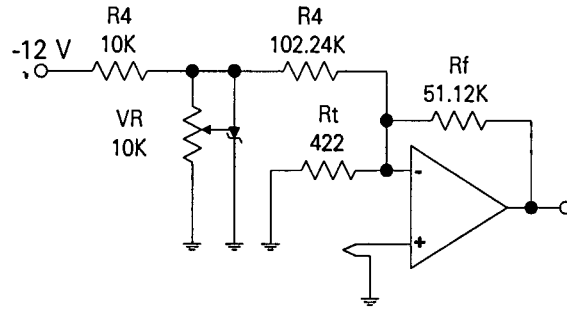
A) เป็นการชดเชยในรูปของแรงดัน VPTAT (Voltage in the case of linearity Proportional To Absolute Temperature)

B) เป็นการชดเชยในรูปของกระแส IPTAT (Current in the case of linearity Proportional To Absolute Temperature)

ในที่นี้จะเป็นการชดเชยรอยต่อที่เย็นของเทอร์โมคัปเปิลในแบบของแรงดัน โดยใช้ IC เบอร์ LM335 โดยทั่วๆ ไปแล้ว โครงสร้างการทำงานของ LM335 ก็ทำงานเช่นเดียวกับซีเนอริไดโอด ดังรูป 4.3 แต่มีคุณสมบัติที่เด่น กล่าวคือ LM335 มีความลิเนียร์ดี ระหว่างแรงดัน และอุณหภูมิ นอกจากนี้แรงดันยังลดลงเป็นศูนย์ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และแรงดันเอาต์พุตยังแปรผันกับอุณหภูมิสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 10 มิลลิโวลต์ ต่อองศาเคลวิน ($^{\circ}\text{K}$) และใช้งานกับอุณหภูมิตั้งแต่ 0-100 องศาซึ่งครอบคลุมอุณหภูมิห้องได้อย่างเพียงพอ ทำให้เราใช้ IC LM335 ชดเชยอุณหภูมิห้องและ สามารถเปลี่ยนค่าไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องได้ โดยค่า R_f จะเป็นตัวกำหนดกระแสที่ไหลผ่านอุปรกรณ์ตัวนี้ ตามปกติอุปรกรณ์ตัวนี้สามารถทำงานในย่านตั้งแต่ 400 ไมโครแอมป์ถึง 5 มิลลิแอมป์ โดยเสมือนกับว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวมันเลย

จากการออกแบบเราจะเห็นว่าเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลมีการเปลี่ยนแปลง 10 มิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียส และเอาต์พุตที่ได้จาก LM335 ซึ่งเป็นตัวชดเชยรอยต่อที่เย็น ก็มีการเปลี่ยนแปลง 10 มิลลิโวลต์เท่ากับ โดยเอาต์พุตของ LM335 จะป้อนเข้าสู่วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) และเกณฑ์การขยายต้องเท่ากับ -1 เพราะเราต้องการเอาต์พุตของ LM335 และออปแอมป์มีขนาดเท่ากับที่อินพุตของวงจรขยายที่จะต้องไปหักล้างกับโวลเตจของเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



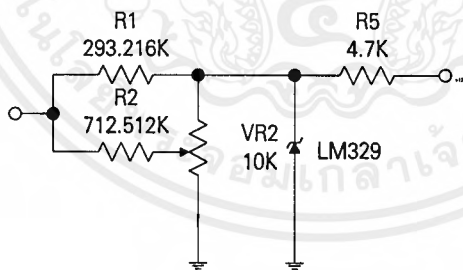
รูปที่ 4.3 วงจรขยายสัญญาณที่มีการชดเชยการเปลี่ยนอุณหภูมิห้อง

ดังนั้นที่อุณหภูมิอ้างอิง 25 องศาเซลเซียส แรงดันที่เอาต์พุตจึงมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= (5 \cdot 10^{-3}) (273+25) \\ &= 1.49 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันที่ได้จากวงจรชดเชยรอยต่อที่เย็นซึ่งชดเชยที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) นั้นมีค่าเท่ากับ 2.98 โวลต์ซึ่งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล ต้องมีค่าเท่ากับ 0.25 โวลต์ ที่อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เท่าๆ กัน จะเห็นว่ามีความดันเกินอยู่ 2.98 - 0.25 = 2.73 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าแรงดันผิดพลาด (error) เกิดขึ้น ในทางปฏิบัติแล้วออปแอมป์จะเกิดออฟเซตโวลเตจ (offset voltage) ขึ้นภายในตัวไอซีเอง และขยายออกมาที่เอาต์พุตด้วย

$$V_{OUT} (\text{error}) = 2.73 \text{ volt} + \text{off set voltage of opamp}$$



รูปที่ 4.4 วงจรชดเชยความผิดพลาดอันเนื่องมาจากแรงดันออฟเซต

ดังนั้นเราจึงต้องป้อนแรงดันเข้าที่ขาอินเวอร์ติงของออปแอมป์เพื่อแก้แรงดันที่เกินมาคือ 2.73 โวลต์แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถแก้ค่าผิดพลาดเนื่องจากออฟเซตได้ดังนี้

โดยใช้ LM329 ซึ่งเป็น Precision Reference Diode ที่มีคุณสมบัติเสมือนซีเนอร์ไดโอด รักษาแรงเคลื่อน 6.9 โวลต์ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากประมาณ 0.001%/°C หรือ 0.069 mV/°C เท่านั้น จากวงจรเป็นการออกแบบให้มีการชดเชยอุณหภูมิในช่วง -30 °C ถึง 70 °C ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า Vz จะอยู่ในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง Vz ที่ ระดับอุณหภูมิ -30 °C จะได้เท่ากับ 2.73-0.3 = 2.43 V นี้จะใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_z ที่ระดับอุณหภูมิ 70°C จะได้เท่ากับ $2.73+0.7 = 3.43\text{ V}$

โดยมี R_3, R_4 และ VR_2 เป็นตัวกำหนดค่าแรงดันซึ่งจะได้แรงดันออกมาในช่วง -2.43 ถึง -3.43 โวลต์ เพื่อที่จะไปหักค่าผิดพลาดคือ 2.73 โวลต์ เราสามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน R_3 และ R_4 ได้ดังนี้

$$R_1 = \frac{6.9 * 103,263}{2.43} = 293,216 \ \Omega$$

$$R_2 = \frac{6.9 * 103,263}{1} = 712,512 \ \Omega$$

ส่วนค่า R_5 เป็นตัวกำหนดกระแสที่ไหลผ่าน LM329 เท่ากับ 1.1 มิลลิแอมป์ (ค่า breakdown ที่ $> 1\text{ mA}$) จะได้

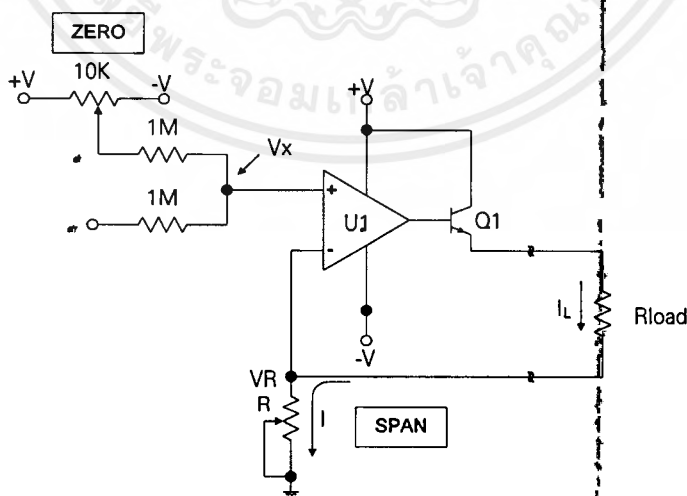
$$R_5 = \frac{(12 - 6.9)}{1.1 * 10^{-3}} = 4.63 \text{ กิโลโอห์ม}$$

เลือกใช้ค่าความต้านทาน $R_5 = 4.7$ กิโลโอห์ม

จากการออกแบบดังกล่าวข้างต้นจะได้ดังวงจรในรูปที่ 4.4 ซึ่งจะทำให้เราได้เอาต์พุตของวงจรวัด 10 มิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียส ย่านของกรวัดคือ 0 ถึง 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำได้ค่าเอาต์พุตของวงจรวัดเปลี่ยนแปลงอยู่ในย่าน 0 ถึง 10 โวลต์

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ในขบวนการควบคุมที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์นั้นมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอก ที่ได้จากการวัดให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น อินพุตของวงจรมารับสัญญาณอนาลอกได้เพียง 0 ถึง 4 โวลต์เท่านั้น ซึ่งเราจะต้องทำการบิบบ้านของโวลต์เต็ม 0 ถึง 10 โวลต์ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ในย่าน 0 ถึง 4 โวลต์ ซึ่งจะใช้วงจรอินสตุเม้นแอมป์ไฟเออร์ (Instrument Amplifier) ในการบิบบ้านของกรวัด

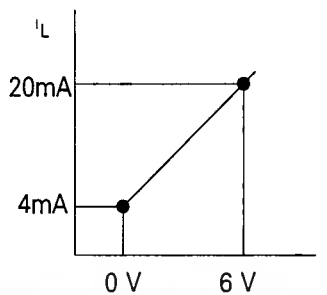
4.3 การออกแบบวงจรแปลงแรงดันไปเป็นกระแส



รูปที่ 4.5 แสดงการปรับค่าออฟเซตของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าไปเป็นกระแส

4.3.1 ภาคเอาต์พุตของวงจรวัตต์คอนทราสต์

การออกแบบวงจรออปติคัลของวงจรการแปลงแรงดันเป็นกระแสโดยใช้วงจรในรูปแบบที่ 4.5 กำหนดให้กระแสที่ 4 mA มีค่าแรงดันอินพุตเป็น 0 โวลต์ และที่ 20 mA เมื่อมีแรงดันอินพุตเป็น 6 โวลต์



$$e(A) = 0 \text{ V} \quad I(A) = 4 \text{ mA}$$

$$e(B) = 6 \text{ V} \quad I(B) = 20 \text{ mA}$$

$$R = \frac{e(B) - e(A)}{2 [I(B) - I(A)]}$$

$$= \frac{6 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2 [20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}]}$$

จะได้ค่าความต้านทานเท่ากับ

$$R = 187.5 \text{ โอห์ม}$$

เราเลือกค่าความต้านทานคงที่เป็น 100 โอห์ม ต่อกับค่าความต้านทานปรับค่าได้ 100 โอห์มใส่ไว้ในวงจร

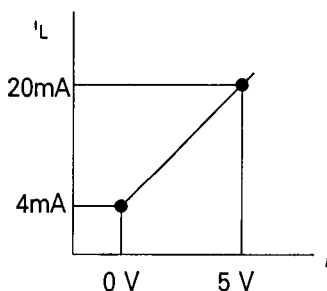
$$e_{ref} = 2RI(B) - e(B)$$

$$= 2(187.5)(20 \text{ mA}) - (6 \text{ V})$$

$$= 1.5 \text{ V}$$

4.3.2 ภาคเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาล็อก

การออกแบบวงจรออปติคัลของวงจรการแปลงแรงดันเป็นกระแสโดยใช้วงจรในรูปแบบที่ 4.5 กำหนดให้กระแสที่ 4 mA มีแรงดันอินพุตเป็น 0 โวลต์ และที่ 20 mA เมื่อมีแรงดันอินพุตเป็น 5 โวลต์



$$e(A) = 0 \text{ V} \quad I(A) = 4 \text{ mA}$$

$$e(B) = 5 \text{ V} \quad I(B) = 20 \text{ mA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกวีเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \frac{e(B) - e(A)}{2 [I(B) - I(A)]}$$

$$= \frac{5 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2 [20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}]}$$

จะได้ค่าความต้านทานเท่ากับ

$$R = 156.25 \text{ โอห์ม}$$

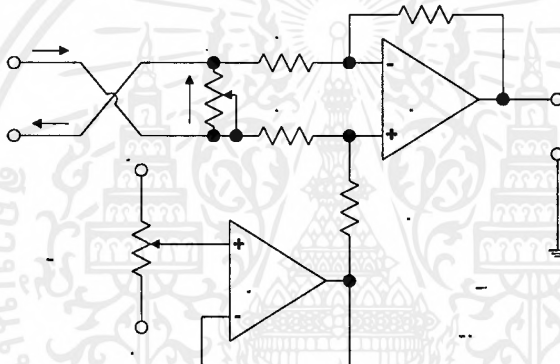
เราเลือกค่าความต้านทานคงที่เป็น 100 โอห์มต่อกับค่าความต้านทานปรับค่าได้ 100 โอห์มใส่ไว้ในวงจร

$$e_{ref} = 2RI(B) - e(B)$$

$$= 2(156.25)(20 \text{ mA}) - (5 \text{ V})$$

$$= 1.25 \text{ V}$$

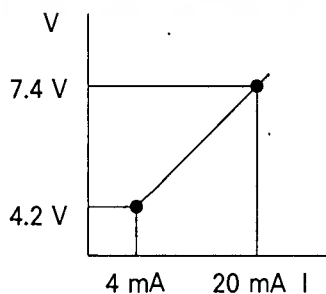
4.4 การออกแบบวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันแบบกราวด์ลอย

4.4.1 ภาควินพุตของวงจรควบคุมกำลังงาน

ออกแบบวงจรแปลงกระแสไปเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบกราวด์ลอย โดยจะแปลงค่ากระแส 4-20 mA ไปเป็นแรงดันในการควบคุมชุดควบคุมกำลังงานมีแรงดันเป็น 4.2 V ถึง 7.4 V โดยใช้วงจรในรูปที่ 4.6



$$I(a) = 4 \text{ mA} \qquad V(a) = 4.2 \text{ V}$$

$$I(b) = 20 \text{ mA} \qquad V(b) = 7.4 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกค่า $\frac{R_f}{R_i} = 1$ จะเห็นได้จากสมการ

$$R_{SPAN} = \frac{(7.4 - 4.2) V}{1(20 - 4) mA} = \frac{3.2 V}{16 mA} = 200 \Omega$$

เลือกใช้ค่าความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 200Ω ต่อกันกับตัวต้านทาน 100Ω

เนื่องจากค่าความต้านทาน $R_i \gg R_{SPAN}$ มากๆ ดังนั้นเราจึงเลือกค่าความต้านทาน R_i เป็น $1 M\Omega$ และ

จาก

$$\frac{R_f}{R_i} = 1$$

เพราะฉะนั้นค่าความต้านทาน R_f จึงเท่ากับ

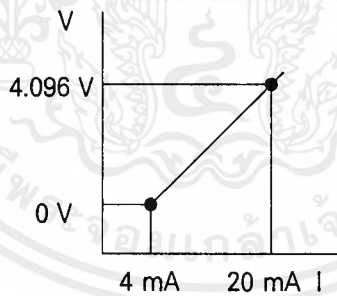
$$R_f = R_i = 1 M\Omega$$

จากสมการจะเป็นการหาค่า V_z

$$V_z = 4.2 V - [1(4mA)200] = 3.4 V$$

4.4.2 ภาคอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล

ออกแบบวงจรแปลงกระแสไปเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบกราวด์ลอย โดยจะแปลงค่ากระแส $4-20 mA$ ไปเป็นแรงดันในการควบคุมชุดเฟสคอนโทรลมีแรงดันเป็น $0 V$ ถึง $4.096 V$ โดยใช้วงจรในรูปที่ 4.6



$$I(a) = 4 mA$$

$$V(a) = 0 V$$

$$I(b) = 20 mA$$

$$V(b) = 4.096 V$$

เลือกค่า $\frac{R_f}{R_i} = 1$ จะเห็นได้จากสมการ

$$R_{SPAN} = \frac{(4.096 - 0) V}{1(20 - 4) mA} = \frac{4.096 V}{16 mA} = 256 \Omega$$

เลือกใช้ค่าความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 200Ω ต่อกันกับตัวต้านทาน 100Ω

เนื่องจากค่าความต้านทาน $R_i \gg R_{SPAN}$ มากๆ ดังนั้นเราจึงเลือกค่าความต้านทาน R_i เป็น $1 M\Omega$ และ

จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{R_f}{R_i} = 1$$

เพราะฉะนั้นค่าความต้านทาน R_f จึงเท่ากับ

$$R_f = R_i = 1\text{M}\Omega$$

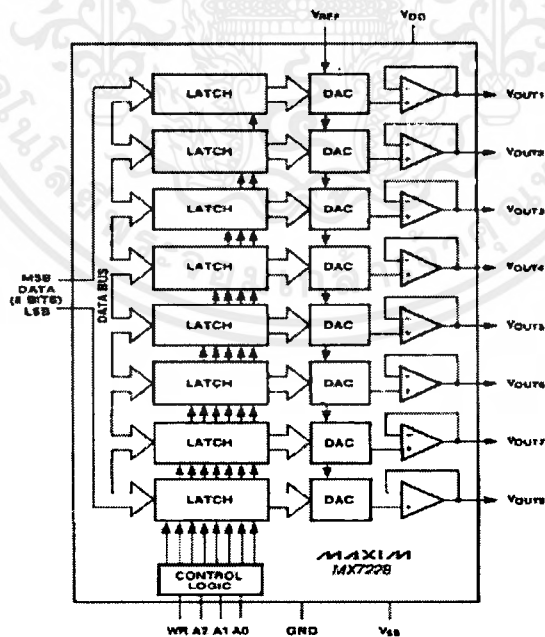
จากสมการจะเป็นการหาค่า V_z

$$V_z = 0\text{ V} - [1(4\text{mA})256] = -1.024\text{ V}$$

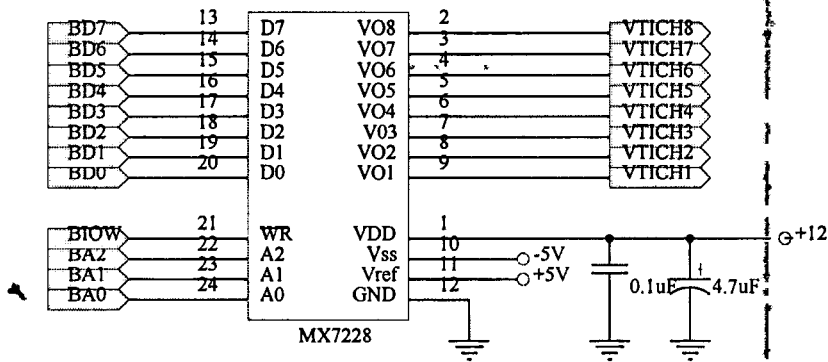
4.5 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาลอก

จากความต้องการวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิตไปเป็นสัญญาณอนาลอกโดยมีเอาต์พุตเป็น 8 แชนแนล จากการค้นหาข้อมูลพบว่าไอซีเบอร์ MX7228 ของ MAXIM ก็เป็นตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นอนาลอกที่มีคุณสมบัติข้างต้นดังที่ได้กล่าวไปแล้ว และยังเป็นที่ยอมรับใช้อย่างกว้างขวางง่ายต่อการใช้งานภายในจะประกอบไปด้วยวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิตไปเป็นสัญญาณแรงดันทางเอาต์พุตเป็นตัวแยกด้านอินพุตแลตช์ (input latch) และ บัฟเฟอร์เอาต์พุตออกจากกัน เพื่อการเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ และ TTL/CMOS ง่ายขึ้น MX7228 นั้นยังสามารถปรับย่านการปฏิบัติที่เกี่ยย่นอุณหภูมิที่กำหนดได้จากภายนอก

การส่งถ่ายข้อมูลภายในจะส่งข้อมูลลงไปเป็นข้อมูลชั่วคราวโดยมีบัสรวมเดียวกันเดียวกันขนาด 8 บิตแบบ TTL/CMOS ซึ่งสามารถใช้ติดต่อเข้ากับบัสอินพุตของคอมพิวเตอร์ได้ และมีลอจิกอินพุต A_0 , A_1 และ A_2 เป็นตัวควบคุมการเลือกช่องสัญญาณเอาต์พุต ซึ่ง DAC จะเริ่มทำงานหลังจากที่ขา \overline{WR} มีค่าเป็น "0"



รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างภายในไอซีเบอร์ MX7228



รูปที่ 4.8 แสดงการต่อไอซีเบอร์ MX7228 ใช้งาน

| WR | A2 | A1 | A0 | OPERATION |
|----|----|----|----|-------------------------------------|
| H | X | X | X | No operation Device not selected |
| L | L | L | L | DAC 1 Transparent |
| R | L | L | L | DAC 1 Latched |
| L | L | L | H | DAC 2 Transparent |
| L | L | H | L | DAC 3 Transparent |
| L | L | H | H | DAC 4 Transparent |
| L | H | L | L | DAC 5 Transparent |
| L | H | L | H | DAC 6 Transparent |
| L | H | H | L | DAC 7 Transparent |
| L | H | H | H | DAC 8 Transparent |

H = High State, L = Low State, X = Don't Care, R = Rising Edge

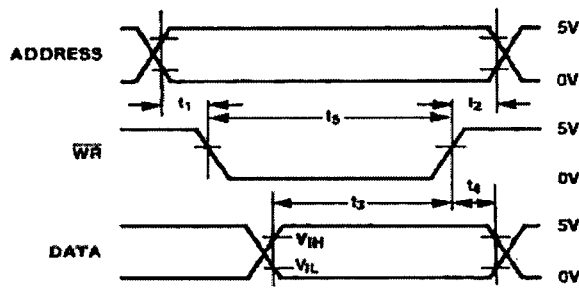
ตารางที่ 4.1 เป็นตารางความจริงของลอจิกในการควบคุม

ตารางที่ 4.1 จะเป็นตารางความจริงของการควบคุม เมื่อขา \overline{WR} เป็น low และมีการเลือกแชนแนล โดยป้อนข้อมูลให้กับขา A_0 , A_1 และ A_2 เป็นไปตามตารางที่ 3.1 จะแลตซ์ค่าอินพุตของตัวเลือก DAC และผลการตอบสนอง ทางเอาต์พุตของ DAC กับค่าสัญญาณอนาลอกทางเอาต์พุตขึ้นอยู่กับบิตข้อมูล ข้อมูลนั้นจะถูกแลตซ์ลงไป ที่แอดเดรสที่ทำการเลือกไว้ การแลตซ์ของ DAC ขึ้นอยู่กับขอบขาขึ้นของสัญญาณ \overline{WR} รูปที่ 4.9 แสดงไดอะแกรมเวลาของไอซี MX7228

แหล่งจ่ายไฟอ้างอิงที่เข้ามาให้กับ DAC ทั้ง 8 ตัวใน MX7228 จะใช้แหล่งจ่ายอ้างอิง (V_{REF}) และกราวด์เดียวกันร่วมกัน

- แรงดันอ้างอิงทางอินพุต

ค่าแรงดันที่จุด V_{REF} จะเป็นการตั้งค่าเต็มสเกลเอาต์พุตของ DAC โดยค่าอิมพีแดนซ์อินพุตของขา V_{REF} จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ป้อนให้ โดยค่าต่ำสุดจะมีค่าประมาณ 2 กิโลโห์ม จะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลที่ป้อนให้กับอินพุต



รูปที่ 4.9 แสดงไดอะแกรมเวลาในช่วงการเขียน

ของ DAC ทั้ง 8 ตัว เป็น 01010101 โดยค่าสูงสุดจะมีค่าไม่จำกัดซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลที่ป้อนให้กับอินพุตของ ทั้ง 8 บิตเป็น 00000000 เพราะค่าความต้านทานอินพุตที่ V_{REF} จะขึ้นอยู่กับการหีส ค่าแหล่งจ่ายอ้างอิงของ DAC นั้น ไม่ควรจะมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์มากกว่า 4 โอห์มค่าความจุที่ V_{REF} ก็เช่นเดียวกันขึ้นอยู่กับการหีสและเปลี่ยนแปลงจาก 120 pF ถึง 350 pF

แรงดันเอาต์พุตสามารถที่จะแทนด้วยดิจิตอลที่สามารถโปรแกรมแหล่งจ่ายแรงดันดังเช่น

$$V_{OUT} = N_b * \frac{V_{REF}}{256}$$

เมื่อ N_b เป็นค่าเลขของ DAC เป็นรหัสไบนารีอินพุต

จากวงจรเราจะตั้งค่าเอาต์พุตที่ไปขับภาคควบคุมกำลังงานไว้ 0V-5V ดังนั้นเราจึงต้องป้อนแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้กับขา V_{REF} เป็น 5 V

● แหล่งจ่ายกำลังและย่านการทำงานที่อ้างอิง

MX7228 จะทำงานได้ระหว่าง $+12 \pm 10\%$ และ $+15 V \pm 10\%$ (10.8 V ถึง 16.5 V) และค่า V_{SS} จาก 0 ถึง -5.5 V อย่างไรก็ตามค่าข้อมูลที่เกิดผิดพลาดขึ้นที่ "0" ก็สามารถแก้ไขได้โดยป้อนแรงดันให้กับ V_{SS} มีเท่ากับ -5 V

ข้อควรจำ DAC และ บัฟเฟอร์จะทำงานได้นั้นต้องมีแรงดันที่ V_{REF} ต่ำกว่า V_{DD} อย่างน้อย 3.5 V

4.6 การแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล

จากวงจรใช้งานจริงๆ นั้นในตอนแรกใช้ ไอซีที่แปลงสัญญาณ อนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถที่จะเก็บค่าได้ 256 บิตเท่านั้น ฉะนั้นในการวัดอุณหภูมิสูงเป็น 1000 องศาเซลเซียส นั้นเราจำเป็นจะต้องเก็บค่าของข้อมูลให้ได้ถึง 1000 ค่า ซึ่งก็คือ $2^{10} = 1024$ ค่าจะได้ว่า 1 บิตแทนอุณหภูมิ 1 ต่อ 1 องศา ซึ่งนับว่าละเอียดทีเดียว แต่ถ้าเรานำไปวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูงกว่า 1000 องศาค่าดังกล่าวก็ยังไม่ละเอียดพอและ เพื่อให้ทำงานได้ในย่านกว้างเราจึง เลือกใช้ไอซีซึ่งมีขนาด 12 บิตก็จะเก็บข้อมูลได้ $2^{12} = 4096$ ระดับ ซึ่งสามารถนำไปวัดอุณหภูมิเดอบได้สูงถึง 4000 องศาเซลเซียส ฉะนั้นจากคู่มือไอซีพบว่ามีไอซีที่มีระดับ 12 บิตด้วยกันหลายเบอร์ แต่ที่เราเลือกเบอร์ MAX199 เพราะนอกจากจะมีขนาดจำนวนบิต 12 บิตแล้วยังคุณสมบัติต่างดังนี้

- สามารถติดต่อหรือใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ได้ง่าย

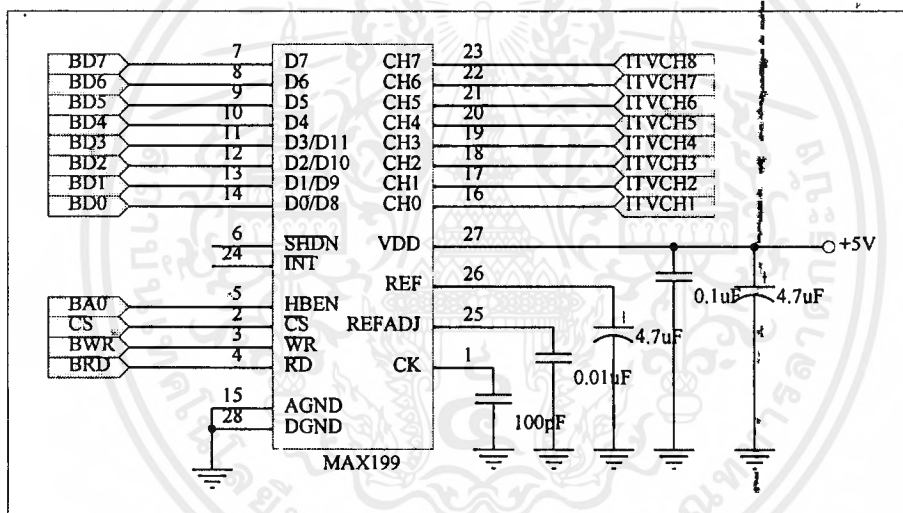
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นระบบการได้มาของข้อมูลขนาด 12 บิต ที่ต้องการแหล่งจ่ายชั่วคราว +5 V สำหรับการทำงาน และจะมีการแปลงสัญญาณอนาลอกได้สูงถึง ± 4 V ที่อินพุต ระบบที่จัดให้จะมีทั้งหมด 8 แชนแนล และจัดให้เข้ากันได้กับการเชื่อมต่อแบบมาตรฐานคือ 4mA - 20mA ได้

- มีการป้องกันข้อผิดพลาดของตัวแปลงได้ถึง ± 16.5 V ในสภาวะที่เกิดข้อผิดพลาดขึ้นในแชนแนลใด แชนแนลหนึ่ง จะไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกแชนแนล

- มี bandwidth track/hold 5 MHz ,100 kpsps throughout rate ,สัญญาณนาฬิกาป้อนได้จากภายในหรือภายนอก ,การควบคุมแปลงข้อมูลสามารถควบคุมได้จากภายในหรือภายนอก ,การเชื่อมต่อแบบขนาน 4+8 และจะทำงานได้ด้วยค่าแหล่งจ่ายอ้างอิงจากภายใน 4.096 V หรือจากภายนอก

- ส่วนทาง hardware ที่ขา $\overline{\text{SHDN}}$ จะเป็นโหมด power-down ที่สามารถโปรแกรมได้ 2 โหมด (STBYPD ,FULLPD) จัดให้มีค่ากระแส Shutdown ต่ำระหว่างที่มีการแปลงใน STBYPD mode จะมีการใช้บัฟเฟอร์อ้างอิงที่ยังทำงานในการตัดค่า Start-up delay ออก



รูปที่ 4.10 แสดงการต่อไอซีเบอร์ MAX199 ใช้งาน

- ภายในจะมีการเชื่อมต่ออินพุตเอาต์พุต 3 สถานะคือสามารถรับข้อมูล และส่งข้อมูลโดยผ่านทาง บัสข้อมูล 8 บิตเดียวกันโดยมีขา $\overline{\text{RD}}$ และขา $\overline{\text{WR}}$ เป็นตัวควบคุมสถานะดังกล่าวโดยเมื่อไม่มีการเลือกใช้ พอร์ตก็มีสภาวะทางเอาต์พุตและอินพุตมีค่าอิมพีแดนซ์สูง จึงทำให้สามารถนำมาเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์

- ภายในไอซี MAX199 ยังประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบ Successive Approximation และมิววงจร Track/Hold ทางด้านอินพุตจะรับสัญญาณอนาลอกและ ทางด้านเอาต์พุตจะให้สัญญาณดิจิตอลขนาด 12 บิต มีการจัดรูปแบบเอาต์พุตเป็นแบบขนานเพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ และ ไอซี TTL/CMOS

4.6.1 รายละเอียดการนำเอาไอซี MAX199 ไปใช้งาน

- โหมดเพาเวอร์ดาวน์ (Power Down Mode)

เป็นโหมดที่ใช้ในการประหยัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งตัวแปลงสามารถอยู่ในโหมด Shutdown ที่มีค่ากระแสต่ำระหว่างที่มีการแปลงได้ โดยการเลือก STBYPD หรือ FULLPD จากการตั้งโปรแกรมค่า PD0 และ PD1 ในไบต์ควบคุม เมื่อมีการอ้างอิง Power-down ด้วยซอฟต์แวร์ มันจะให้ผลหลังจากการแปลงสิ้นสุดลงเท่านั้นในทุกๆ โหมด Power-down การเชื่อมต่อกับงานที่เหลืออยู่และการอ่านผลจากการแปลงนั้นจะมีการป้องกันค่าแรงดันเกินในทุกๆ โหมด Power-down ซึ่งอุปกรณ์จะกลับมาทำงานเป็นปกติเมื่อมีขอบขาลงอินพุตแรกๆ ของ \overline{WR} ระหว่างที่มีการเขียน .

การควบคุมทางฮาร์ดแวร์ (FULLPD) ในโหมด power-down จะวาง ค่าขา \overline{SHDN} เป็น low เมื่อ hardware shutdown ถูกอ้างถึงจะเกิดผลกระทบขึ้นทันที และทำให้การแปลงสิ้นสุดลง

- การป้องกันและย่านแหล่งจ่ายของอินพุต (Input Range and Protection)

เราสามารถโปรแกรมเลือกย่านของแหล่งจ่ายอินพุตได้โดยการเลือกค่าแหล่งจ่ายอ้างอิง ซึ่งมีอยู่หลายย่านด้วยกันดังนี้ $\pm V_{REF}$, $\pm V_{REF}/2$, 0 ถึง V_{REF} หรือ 0 ถึง $V_{REF}/2$ โดยการตั้งค่าบิตควบคุมที่เหมาะสม (บิต D3 , D4) ในไบต์ควบคุม (ดูตารางที่ 4.2 และ 4.3) เมื่อแหล่งจ่ายอ้างอิงจากภายนอกเข้ามาที่ขา REFADJ ค่าแรงดันที่ REF ได้เป็น $V_{REF} = 1.6384 * V_{REFADJ}$ (2.4 V V_{REF} 4.18 V)

ที่อินพุตในแต่ละแกนแนลจะมีการป้องกันแรงดันเกินไว้ ± 16.5 V การป้องกันดังกล่าวจะทำงานได้ อุปกรณ์นั้นต้องอยู่ในโหมด Power-down

| D7 (MSB) | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 (LSB) |
|----------|-----|--------|-----|-----|----|----|----------|
| PD1 | PD0 | ACQMOD | RNG | BIP | A2 | A1 | A0 |

| BIT | NAME | DESCRIPTION |
|---------|------------|---|
| 7, 6 | PD1, PD0 | These two bits select the clock and power-down modes (Table 3). |
| 5 | ACQMOD | 0 = internally controlled acquisition (6 clock cycles), 1 = externally controlled acquisition |
| 4 | RNG | Selects the full-scale voltage magnitude at the input (Table 2). |
| 3 | BIP | Selects unipolar or bipolar conversion mode (Table 2). |
| 2, 1, 0 | A2, A1, A0 | These are address bits for the input mux to select the "on" channel (Table 4). |

ตารางที่ 4.2 แสดงรูปแบบของไบต์ควบคุม

| BIP | RNG | INPUT RANGE (V) |
|-----|-----|------------------|
| 0 | 0 | 0 to $V_{REF}/2$ |
| 0 | 1 | 0 to V_{REF} |
| 1 | 0 | $\pm V_{REF}/2$ |
| 1 | 1 | $\pm V_{REF}$ |

ตารางที่ 4.3 แสดงการเลือกย่านและขั้ว

| PD1 | PDO | DEVICE MODE |
|-----|-----|---|
| 0 | 0 | Normal Operation / External Clock Mode |
| 0 | 1 | Normal Operation / Internal Clock Mode |
| 1 | 0 | Standby Power-Down (STBYPD); clock mode is unaffected |
| 1 | 1 | Full Power-Down (FULLPD); clock mode is unaffected |

ตารางที่ 4.4 แสดงการเลือกสัญญาณนาฬิกาและ Power-Down

- การเชื่อมต่อทางดิจิทัล (Digital Interface)

ข้อมูลทางด้านอินพุตและเอาต์พุตจะมีลักษณะเป็นมัลติเพิลิก 3 สถานะมีการเชื่อมต่อแบบขนาน ลักษณะของอินพุตและ เอาต์พุต (I/O) จะเป็นแบบขนานเพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ ขา \overline{CS} , \overline{WR} และ \overline{RD} จะเป็นขาควบคุมการอ่านและเขียน ขา \overline{CS} จะเป็นสัญญาณมาตรฐานที่ใช้เลือกชิปให้สามารถทำงานได้กับไมโครโปรเซสเซอร์ โดยผ่านทางพอร์ตอินพุตและ เอาต์พุต (I/O) เมื่อเป็น high มันจะไม่สามารถใช้ขาอินพุต \overline{WR} , \overline{RD} และทำให้การเชื่อมต่ออยู่ในสถานะ high Z

- รูปแบบของทางอินพุต (Input Format)

ค่าไบต์ควบคุมจะถูกแลตซ์ลงไปในกลุ่มบิต D7-D0 ระหว่างที่ไซเคิลเขียนเข้ามา จากตารางที่ 4.2 เป็นการแสดงรูปแบบของไบต์ควบคุม

| A2 | A1 | A0 | CH0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 |
|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 0 | * | | | | | | | |
| 0 | 0 | 1 | | * | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | | | * | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | | | | * | | | | |
| 1 | 0 | 0 | | | | | * | | | |
| 1 | 0 | 1 | | | | | | * | | |
| 1 | 1 | 0 | | | | | | | * | |
| 1 | 1 | 1 | | | | | | | | * |

ตารางที่ 4.5 แสดงการเลือกช่องสัญญาณ

| PIN | HBEN = LOW | HBEN = HIGH |
|-----|------------|-----------------------------|
| D0 | B0 (LSB) | B8 |
| D1 | B1 | B9 |
| D2 | B2 | B10 |
| D3 | B3 | B11 (MSB) |
| D4 | B4 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |
| D5 | B5 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |
| D6 | B6 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |
| D7 | B7 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |

ตารางที่ 4.6 แสดงบัสข้อมูลทางเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปแบบของข้อมูลทางเอาต์พุต (Output Data-Format)

รูปแบบของข้อมูลทางเอาต์พุตจะเป็นไบนารีเมื่ออยู่ในโหมดยูนิโพล่า (Unipolar) และจะเป็นทวิคอมพลีเมนต์ไบนารี (two complement binary) ในโหมดไบโพล่า (bipolar) เมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลออก \overline{CS} , \overline{RD} จะต้องเป็น low และ HBEN เป็น low จะเป็นการอ่านข้อมูล 8 บิตล่าง และเมื่อ HBEN เป็น high ก็จะเป็นการอ่านข้อมูลจากบิตที่มีความสำคัญสูงสุด (MSB) ขนาด 4 บิตคือ D4-D7 และข้อมูลเอาต์พุตบิต D4-D7 จะถูกเซตเป็น low (ในโหมด Unipolar) หรือเซตเป็นมีค่าของ MSB (อยู่ในโหมด Bipolar) จากตารางที่ 3.6

- โหมดสัญญาณนาฬิกา (Clock Mode)

MAX199 สามารถทำงานได้ด้วยสัญญาณนาฬิกาจากภายในหรือภายนอกก็ได้ โดยเราจะเลือกโหมดสัญญาณนาฬิกาได้จากบิตควบคุม (D6 ,D7) การเปลี่ยนแปลงบิตไปเป็นโหมด power-down จะไม่มีผลกระทบต่อโหมดสัญญาณนาฬิกา แต่ในโหมด power-up มักจะตั้งให้ใช้โหมดสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

จากโครงการเราเลือกใช้โหมดสัญญาณนาฬิกาภายใน (Internal Clock Mode) ได้โดยบิตควบคุม D7=0 และ D6=1 โดยมีตัวเก็บประจุขนาด 100 pF ระหว่างขา CLK กับกราวด์ เมื่อเลือกโหมดนี้อุปกรณ์จะเป็นอิสระจากไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งจะเป็นภาระต่อการทำงานของ SAR Conversion Clock ซึ่งปกติจะเซตค่าความถี่ไว้เป็น 1.56 MHz

- แหล่งจ่ายอ้างอิง (Internal หรือ External Reference)

MAX199 สามารถทำงานได้ทั้งจากแหล่งจ่ายอ้างอิงภายในหรือภายนอก โดยแหล่งจ่ายอ้างอิงจากภายนอกจะถูกต่อเข้ากับขา REF หรือขา REFADJ แสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งการใช้ขา REF อินพุตโดยตรงจะเป็นการยกเลิกตัวบัพเฟอร์ภายในโดยต่อ V_{REFADJ} เข้ากับ V_{DD} แต่การใช้ขา REFADJ เป็นการกำจัดอินพุตที่ต้องการของแหล่งจ่ายอ้างอิงจากภายนอก เมื่อค่าอ้างอิงที่เข้ามาที่ REFADJ เราจะบายพาสด้วยตัวเก็บประจุค่า 0.01 uF ที่ขา REFADJ กับขา AGND

- แหล่งจ่ายอ้างอิงภายใน (Internal Reference)

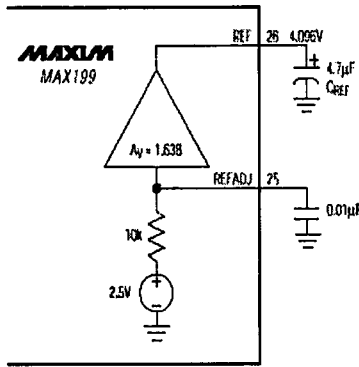
การปรับค่าแหล่งจ่ายอ้างอิงภายใน 2.5 V ด้วยค่าอัตราขยายเป็น 1.6384 ผ่านบัพเฟอร์ของ REFADJ จัดแรงดันให้เป็น 4.096 V โดยมีตัวเก็บประจุค่า 4.7 uF ต่อเข้ากับขา REF กับขา AGND และที่ขา REFADJ ก็มีตัวเก็บประจุค่า 0.01 uF ต่อกับขา AGND ด้วย แรงดันอ้างอิงภายในจะสามารถปรับได้เป็น $\pm 1.5\%$ (± 65 LSBs) ด้วยวงจรการปรับค่าอ้างอิงแสดงดังรูปที่ 4.12

ค่ารหัสเอาต์พุตของ MAX199 จะเป็นไบนารีเมื่ออยู่ในโหมด Unipolar ด้วยค่า $1 \text{ LSB} = \frac{FS}{4096}$ และ

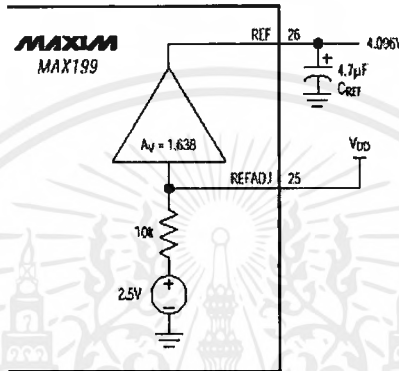
two complement binary ในโหมด Bipolar ด้วยค่า $1 \text{ LSB} = 2 \frac{|FS|}{4096}$

- เราจะเริ่มการแปลงอย่างไร

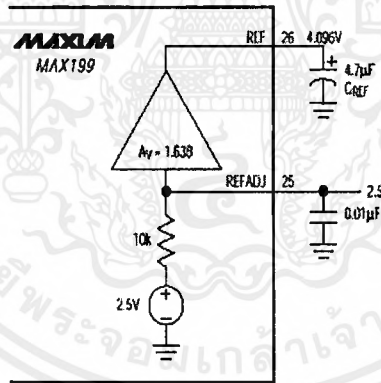
การแปลงนั้นจะเริ่มจากการเขียนข้อมูลในการเลือกแชนแนลของมัลติเพล็กซ์ และโหมดการทำงานของ MAX199 ให้อยู่ในโหมด Unipolar หรือ Bipolar อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยพัลส์เขียน (write pulse , $\overline{WR} + \overline{CS}$)



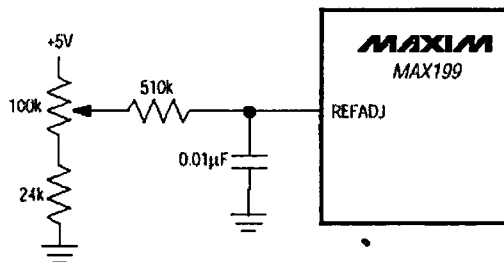
(a) แสดงการป้อนแรงดันอ้างอิงโดยใช้แหล่งจ่ายภายใน



(b) แสดงการป้อนแรงดันอ้างอิงจากแหล่งจ่ายภายนอก



แสดงการป้อนแรงดันอ้างอิงจากภายนอก โดยมีการขับอยู่ภายใน รูปที่ 4.11 แสดงการต่อแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้กับขา REFADJ



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรการปรับแหล่งจ่ายอ้างอิง

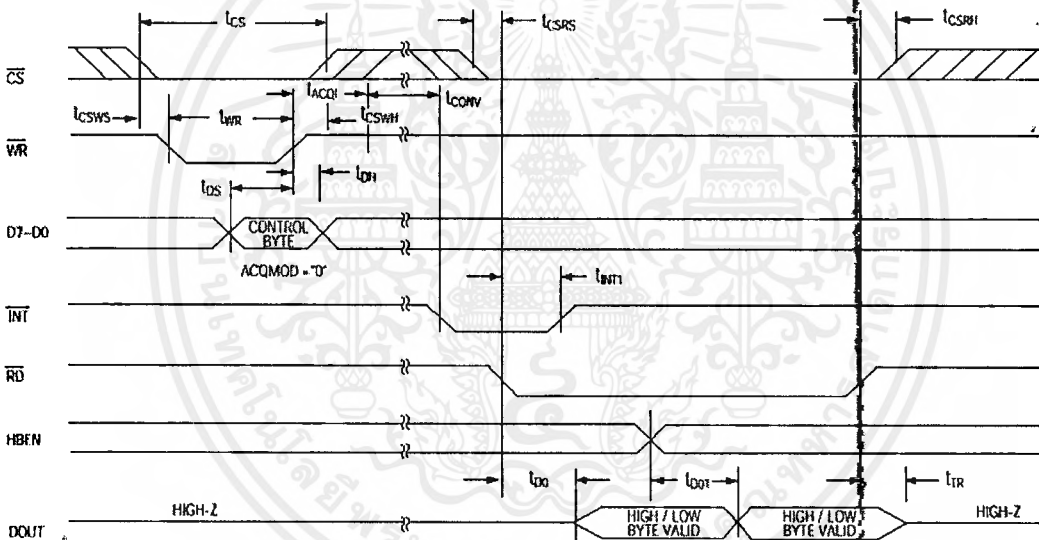
สามารถเริ่มจากช่วงเวลาที่ได้รับข้อมูลหรือ เริ่มต้นจากช่วงเวลาที่ได้รับข้อมูลมาบวกกับเวลาที่ใช้ในการแปลง การสุ่มเป็นช่วงๆ จะไปปรากฏที่ช่วงเวลาสุดท้ายที่ได้รับข้อมูลภายใน โดยบิต ACQMOD อยู่ในไบต์ควบคุมซึ่งอ้างถึง 2 ส่วนที่เพิ่มเติม เพื่อให้ได้สัญญาณมา : ภายในหรือภายนอก โดยคาบของการแปลงสุดท้ายจะเป็นไซเคิล 12 CLOCK ในทั้งโหมดสัญญาณภายในหรือภายนอก หรือโหมดการได้มาของข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่ง

การเขียนการควบคุมไบต์ใหม่ระหว่างรอบของการแปลงที่ล้มเหลวในขบวนการ และเริ่มช่วงเวลาการรับข้อมูล (acquisition interval) ใหม่

- การรับข้อมูลมาจากภายใน (Internal Acquisition)

จะเลือกการรับข้อมูลมาจากภายในได้โดยเขียนไบต์ควบคุมด้วยบิต ACQMOD ให้ชัดเจน (ACQMOD=0) เหตุนี้ พัลส์เขียน (write pulse) จะเป็นการเริ่มช่วงเวลาในการรับข้อมูลระหว่างเวลาภายใน โดยเริ่มการแปลงเมื่อไซเคิลของช่วงเวลาการรับข้อมูลเป็น 6 clock (3 μ S กับ $f_{CLK} = 2$ MHz) สุดท้าย ดูรูปที่

4.13

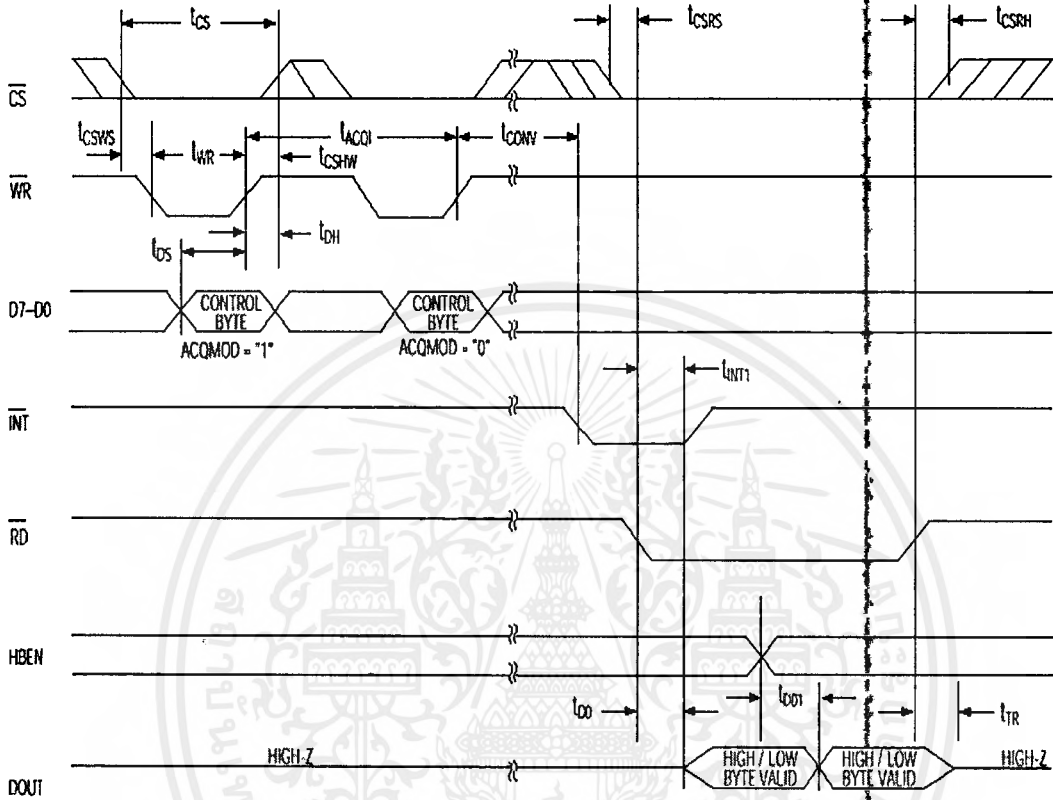


รูปที่ 4.13 แสดงไดอะแกรมเวลาการแปลงเมื่อใช้ในโหมด Internal Acquisition

- การรับข้อมูลมาจากภายนอก (External Acquisition)

การใช้โหมดเวลาใน external acquisition เพื่อให้ได้การควบคุมที่แน่นอนของช่องว่างในการสุ่ม (sampling aperture) และหรือ ไม่ขึ้นอยู่กับการควบคุมของการรับข้อมูล และเวลาในการแปลง ซึ่งจะควบคุมการรับข้อมูลโดยผู้ใช้ และเริ่มการแปลงด้วยพัลส์เขียน (write pulse) ที่แยกกัน 2 พัลส์ โดยพัลส์อันแรกจะเขียนโดย ACQMOD=1 เริ่มต้นโดยไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงเวลาในการรับข้อมูล พัลส์เขียนที่ 2 จะเขียนด้วยค่า ACQMOD=0 จะเป็นการรับข้อมูลสุดท้าย และเริ่มการแปลงบนขอบขาขึ้น \overline{WR} (รูปที่ 4.14) อย่างไรก็ตามถ้าไบต์ควบคุมที่ 2 บรรจุ ACQMOD=1 จะไม่มีการจำกัดช่วงเวลาการรับข้อมูลก็คือเริ่มต้นใหม่

ค่าบิตแอดเดรส (address bit) สำหรับค่าอินพุตของมัลติเพล็กซ์ (input MUX) จำเป็นต้องมีค่าเดียวกันบนพัลส์เขียน (write pulse) ที่ 1 และ 2 , บิต power down (PD1 , PD2) จะสามารถสุมุมติให้เป็นค่าใหม่บน write pulse ที่ 2 (ดูที่โหมด power mode)



รูปที่ 4.14 แสดงไดอะแกรมเวลาในการแปลงเมื่อใช้โหมด External Acquisition

● เราจะอ่านการแปลงอย่างไร

โดยมาตรฐานของสัญญาณการอินเทอร์พรัต (\overline{INT}) ซึ่งจัดให้อุปกรณ์ยอมอ้างอิงเข้ากับไมโคร-โปรเซสเซอร์เมื่อมีการแปลงมีจุดสุดท้ายและใช้ผลนั้นให้เกิดประโยชน์ โดย \overline{INT} จะลงเป็น low เมื่อการแปลงนั้นสมบูรณ์และข้อมูลเอาต์พุตพร้อม (รูปที่ 4.13 และ 4.14) มันก็จะกลับเป็น high เมื่อรอบของการอ่านอันแรกหรือถ้ามีไบต์ควบคุมอันใหม่เขียนมา

4.7 แนวความคิดในการออกแบบวงจรควบคุมขบวนการ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวสั่งการ

ซึ่งในการนำไมโครคอมพิวเตอร์นั้นมาใช้ในระบบควบคุม ปัญหาที่คือเราจะควบคุมขบวนการนั้นได้อย่างไร ขบวนการนั้นจะติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้อย่างไร ทำอย่างไรจึงจะทำให้คอมพิวเตอร์รับรู้สัญญาณทางด้านขบวนการ และคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณกลับไปควบคุมขบวนการนั้นได้อย่างไร ปัญหาเหล่านี้เราต้องออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อให้คอมพิวเตอร์กับขบวนการเข้ากันได้โดยจะแบ่งส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกันออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

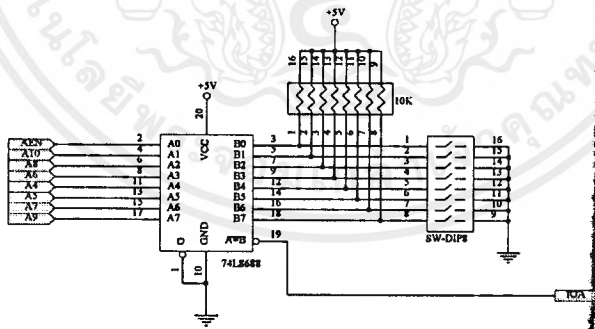
อีกสำรับเป็นอีกสำรับที่ส่งไว้ในสำรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1. ส่วนของการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ (Interface)
- 2. ส่วนที่ใช้ในการแยกและรวมสัญญาณ (Multiplex and Demultiplex)

ไมโครคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน มักจะเป็น เครื่อง IBMPC ซึ่งมีทั้งแบบ XT และ AT จะมีข้อก่เกิดสล๊อตแบบ 62 ขาทั้งหมด 8 สล๊อต ซึ่งเราสามารถใส่สล๊อตดังกล่าวในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ ในการเลือกใช้สล๊อตที่เหลือยกเว้นสล๊อตที่ 8 ซึ่งจะมีการกำหนดขนาดของสัญญาณในแต่ละ ละขาไม่เหมือนกัน

ในการออกแบบนั้นเราต้องอ่านและเขียนข้อมูลจากกระบวนการ โดยสามารถเลือกได้ว่าจะทำที่พอร์ตใด ได้จากแผนผังไอโอ (I/O MAP) ใน IBM PC นั้นเราจะใช้สัญญาณจากแอดเดรส A0-A9 ในการกำหนดตำแหน่งพอร์ต ซึ่งจากสายสัญญาณแอดเดรสจะสามารถกำหนดตำแหน่งพอร์ตได้ถึง 1024 ตำแหน่งโดยแผนผังตำแหน่งพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต จะแยกออกเป็นสองส่วนจากรูปที่ 3.23 ตำแหน่งจะเริ่มต้นตั้งแต่ 0000H จนถึง 01FFH จะกำหนดให้เป็นส่วนที่ใช้กับระบบ ตำแหน่งที่เหลือตั้งแต่ 0200H จนถึง 3FFFH ใช้ในส่วนของพอร์ตที่ต่อใช้งานโดยตำแหน่งที่ 0300H ถึง 030FH เราจะใช้ในการออกแบบโครงงาน และสัญญาณ AEN (Address Enable) , \overline{IOR} , \overline{IOW} มาใช้ในการควบคุมวงจรถอดรหัสเพื่อไม่ให้ I/O พอร์ต ไปยุ่งเกี่ยวกับการทำ DMA ของคอมพิวเตอร์

การออกแบบ สิ่งแรกที่เราต้องทำคือทำการเลือกช่วงตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้งาน จากนั้นจึงออกแบบวงจรถอดรหัสซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.15 โดยใช้ชิปเบอร์ 74LS688 เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณโดยค่าแอดเดรสกำหนดได้โดยการปรับตั้งสวิตช์ให้ตรงกับแอดเดรสที่ต้องการ เอาต์พุตที่ได้ก็คือสัญญาณ \overline{IOA} ซึ่งจะนำไปต่อเข้ากับขาอินพุตของบัฟเฟอร์ไอซีเบอร์ 74LS245 เมื่อแอดเดรสที่กำหนดไว้ตรงกับค่าที่ตั้งสวิตช์ไว้ เอาต์พุตที่ได้คือสัญญาณในการเลือกเพื่อให้ไอซีทำงาน และทำให้สามารถที่จะรับหรือส่งข้อมูลได้

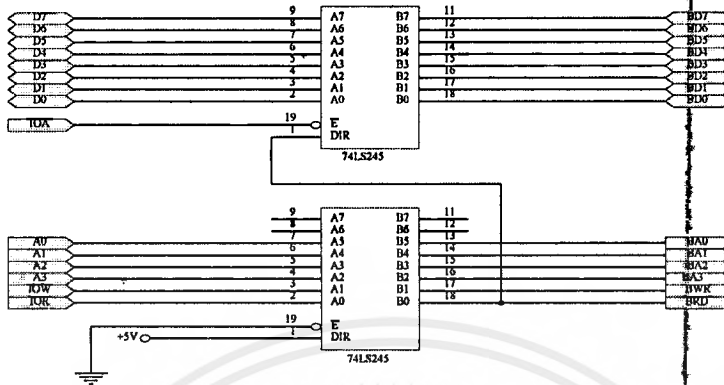


รูปที่ 4.15 แสดงวงจรถอดรหัสโดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS688

จากลักษณะวงจรในรูปที่ 4.15 เราเลือกพอร์ตที่ใช้งานในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ในช่วง 300H-30FH ซึ่งจากพอร์ตเหล่านี้จะต้องใช้ตำแหน่งแอดเดรสที่ถอดรหัสตั้งแต่ A0-A9 ซึ่งสภาวะของการถอดรหัสจะกำหนดได้เป็นดังนี้

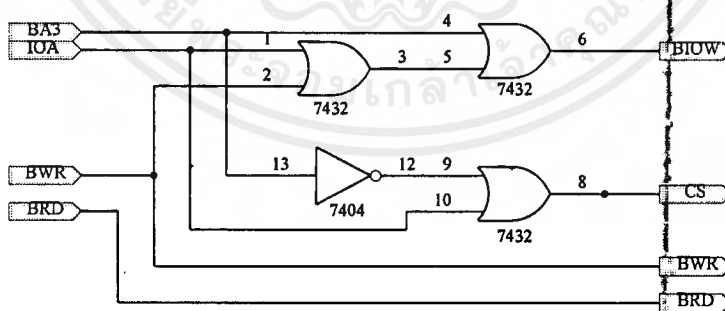
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| AEN | A9 | A8 | A7 | A6 | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 | A0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | X | X | X | X |



รูปที่ 4.16 แสดงวงจรบัฟเฟอร์

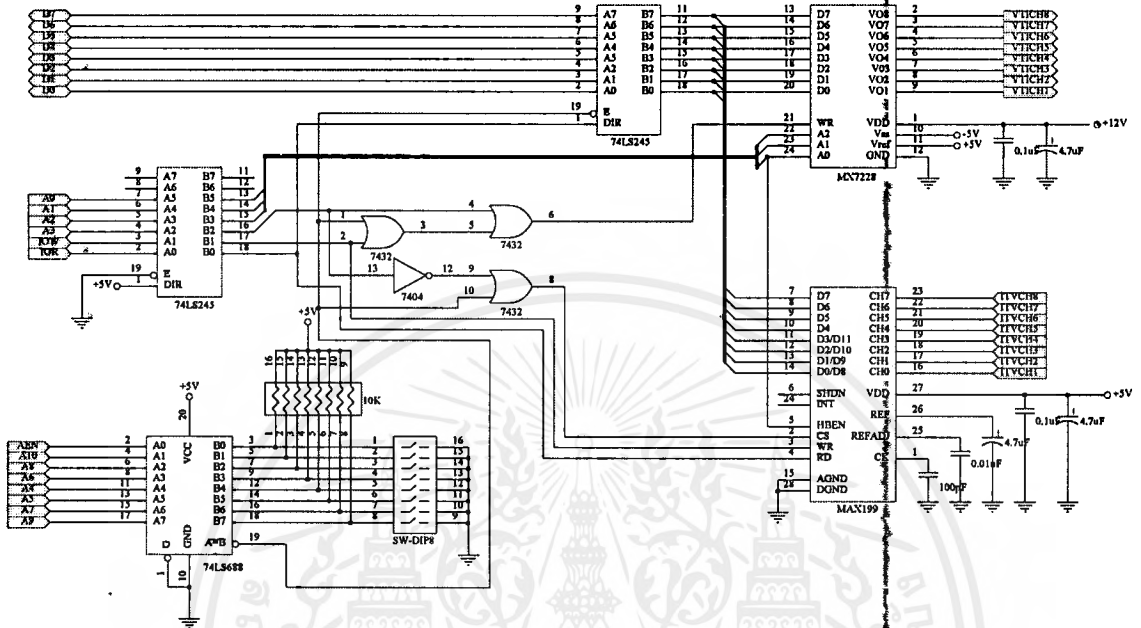
จากรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ที่ใช้ในโครงงานนี้ โดยในรูปที่ 4.16 เป็นวงจรบัฟเฟอร์ โดยจะเป็น บัฟเฟอร์ ให้แก่ ข้อมูล (DATA) ,แอดเดรส (ADDRESS) และ บัสควบคุม (CONTROL BUS) โดยที่มี 74LS245 เป็นบัฟเฟอร์ 2 ทิศทาง ซึ่งจะควบคุมการอ่านและเขียนโดยสัญญาณ \overline{BRD} กล่าวคือเมื่อ \overline{BRD} เป็น "1" หรือ พอร์ตเบอร์ 308H-30FH จะเป็นการอ่านค่าจากภายนอกเข้ามาประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ และเมื่อสัญญาณ \overline{BRD} เป็น "0" หรือพอร์ตเบอร์ 300H-307H จะเป็นการนำเอาค่าที่คอมพิวเตอร์ประมวลผลข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเป็น ระดับแรงดันสัญญาณส่งออกไปควบคุมระบบ



รูปที่ 4.17 แสดงวงจรถอดรหัสแยกส่วนที่รับและ ส่งข้อมูลออกจากกัน

จากลักษณะวงจรในรูปที่ 4.17 เราจะแบ่งพอร์ตที่ใช้งานในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ในช่วง 300H-30FH ออก เป็น 2 ช่วงโดยช่วงแรกตั้งแต่ตำแหน่งแอดเดรสที่ 300H - 307H เป็นตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้ในการส่งข้อมูลออกไปตั้งที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ในช่วงที่ 2 ตั้งแต่ตำแหน่งแอดเดรสที่ 308H - 30FH เป็นตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้ในการรับข้อมูลจาก ADC ซึ่งจากพอร์ตเหล่านี้เราสามารถออกแบบให้ถอดรหัสตำแหน่งแอดเดรสดังกล่าวได้ดังนี้

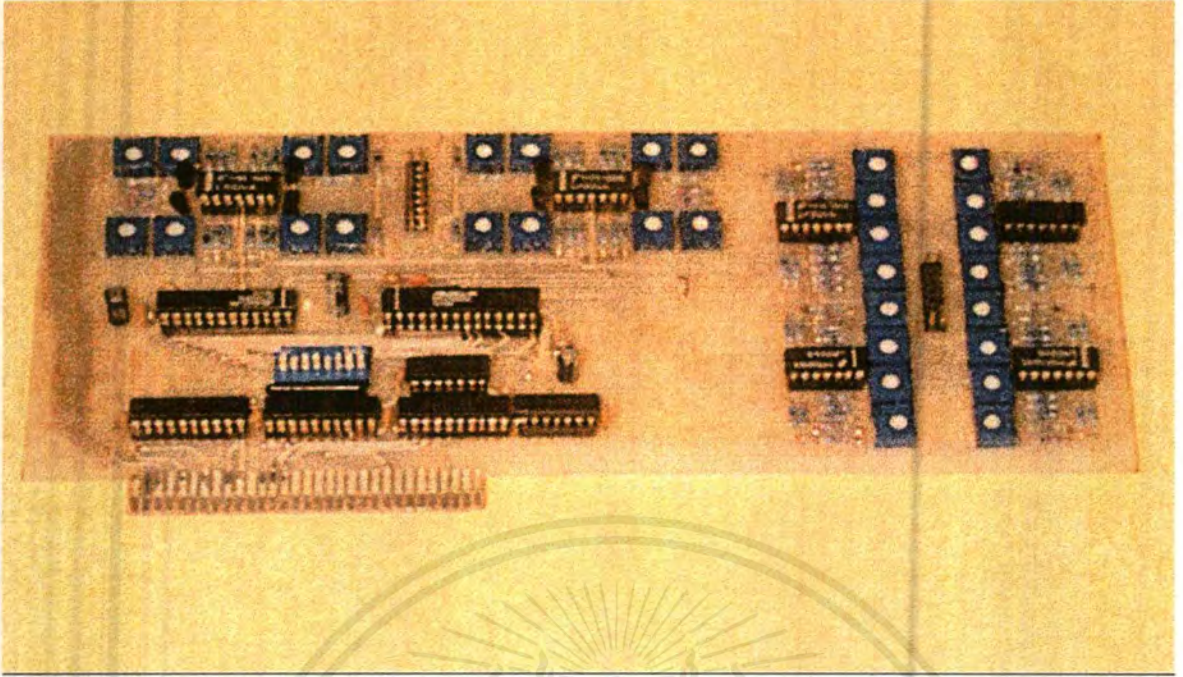
| | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| AEN | A9 | A8 | A7 | A6 | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 | A0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | X | X | X |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | X | X | X |



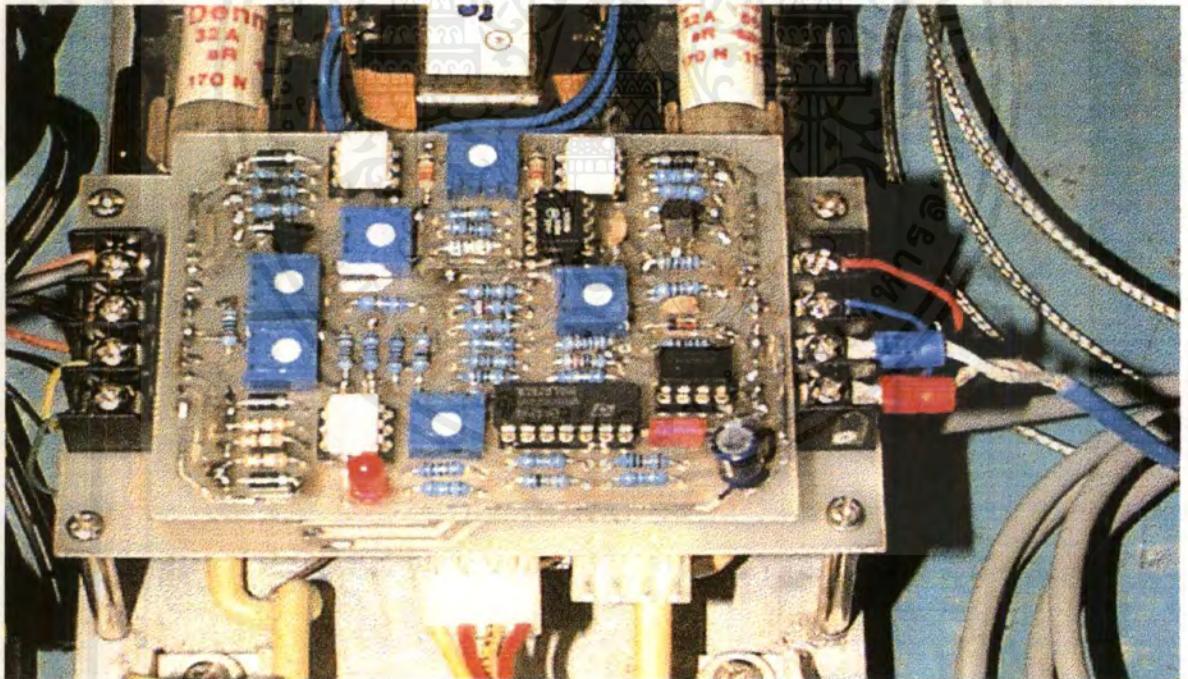
รูปที่ 4.18 แสดงวงจรรวมในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับขบวนการ

ในส่วนของมัลติเพล็กซ์และ ตี้มัลติเพล็กซ์จะเกี่ยวข้องกับการรับข้อมูลจากเครื่องมื่อวัดและ การส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภาคสุดท้ายของระบบควบคุม จากระบบคอมพิวเตอร์ที่มีบัสข้อมูลเพียงชุดเดียว เมื่อต้องการส่งหรือรับข้อมูลหลายๆ แชนแนลจะต้องถอดรหัสสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นจากการกำหนดของโปรแกรม ในโครงงานนี้สามารถรับและส่งได้ 8 แชนแนล ซึ่งเราจะใช้อีซีสำเร็จรูปเบอร์ MAX199 เป็นตัวมัลติเพล็กซ์ ประกอบอยู่ในซึ่งรายละเอียดในการเลือกแชนแนล , การควบคุมต่างๆได้กล่าวไปแล้วในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล โดยมันจะรับข้อมูลจากวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันที่ส่งมาจากวงจรวัดค่าอุณหภูมิเข้ามาแปลงค่าสัญญาณแรงดันดังกล่าวเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยวงจร ADC เพื่อนำสัญญาณดิจิตอลดังกล่าวไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่ละแชนแนลตามลำดับ ซึ่งใช้หลักการควบคุมของพีซีลอจิก และ เบอร์ MX7228 เป็นตัวตี้มัลติเพล็กซ์ประกอบอยู่ในซึ่งรายละเอียดในการเลือกแชนแนล , การควบคุมต่างๆได้กล่าวไปแล้วในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล เรื่องลักษณะการต่อใช้งาน โดยคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณไปให้กับไอซี MX7228 แล้วทำการแลตซ์ค้างไว้ทำให้ค่าแรงดันทางเอาต์พุตของไอซีมีค่าคงที่ จะเปลี่ยนค่าที่ต่อเมื่อมีการป้อนข้อมูลเข้ามาใหม่ สัญญาณดังกล่าวจะส่งออกไปเข้าภาควงจรแปลงแรงดันไปเป็นกระแสไปควบคุมที่ใช้ในการควบคุมเตาอบ จากรูปที่ 4.18 เป็นแสดงวงจรรวมที่ได้ออกแบบไว้เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

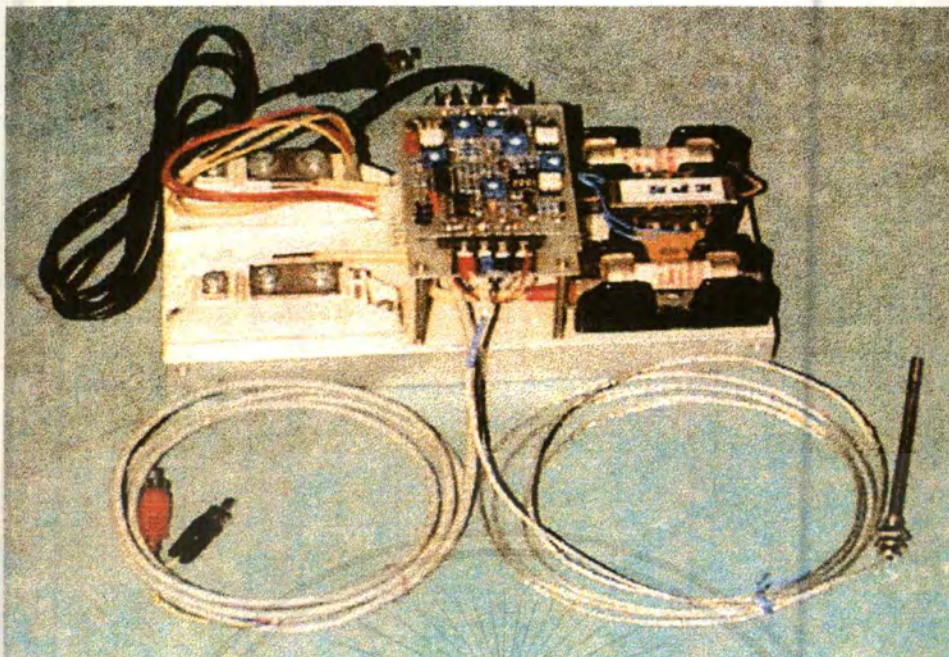


รูปที่ 4.19 รูปการ์ดอินเตอร์เฟซที่ออกแบบสำเร็จแล้ว

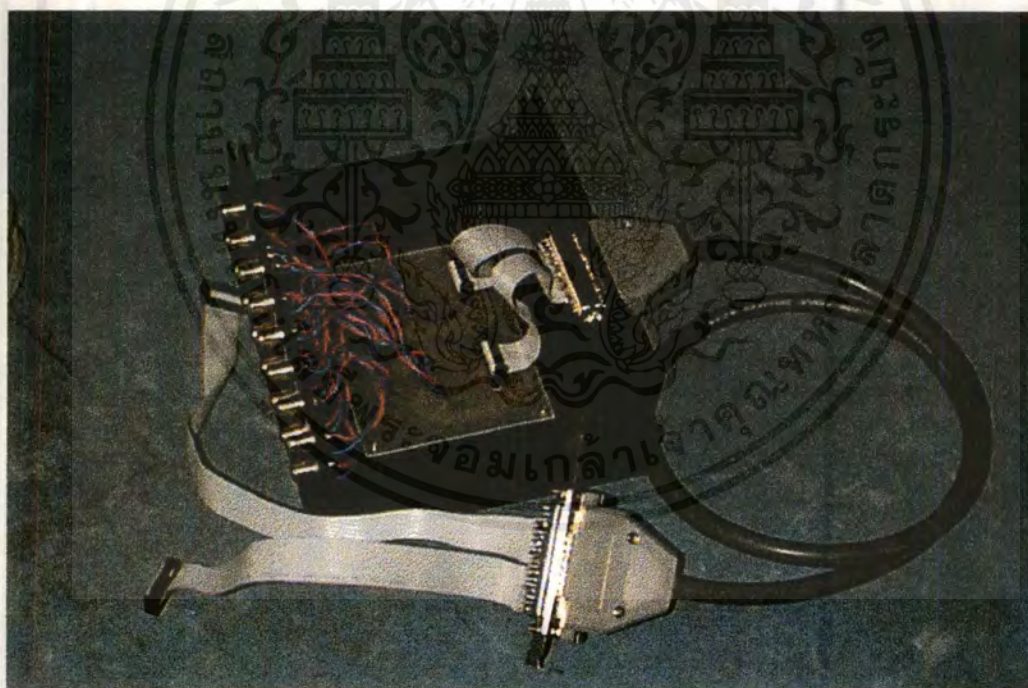


รูปที่ 4.20 รูปวงจรควบคุมกำลังงานขณะที่ต่ออยู่บนแผงเอสซีอาร์

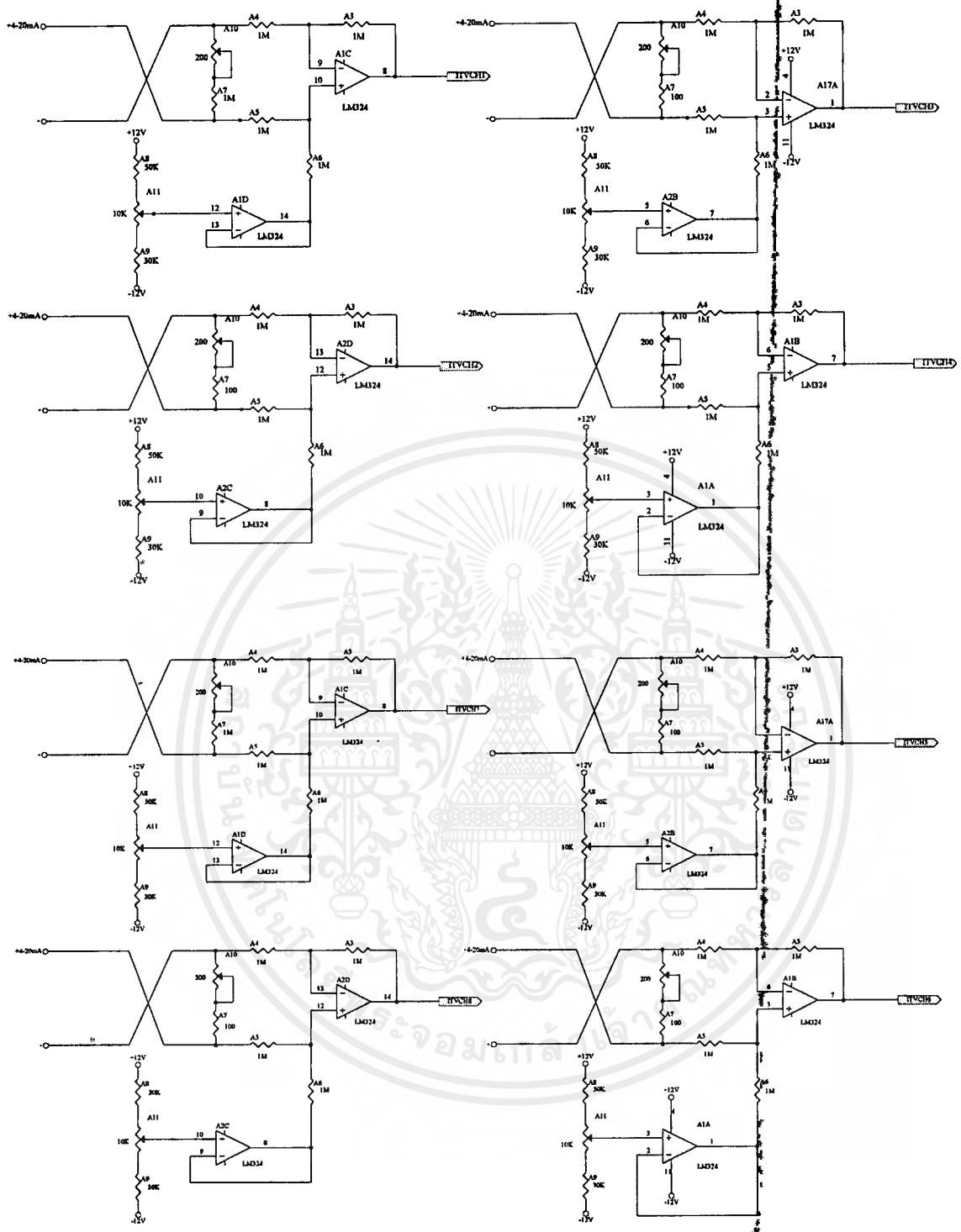
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 รูปวงจรควบคุมกำลังงานและวงจรวัดอุณหภูมิ

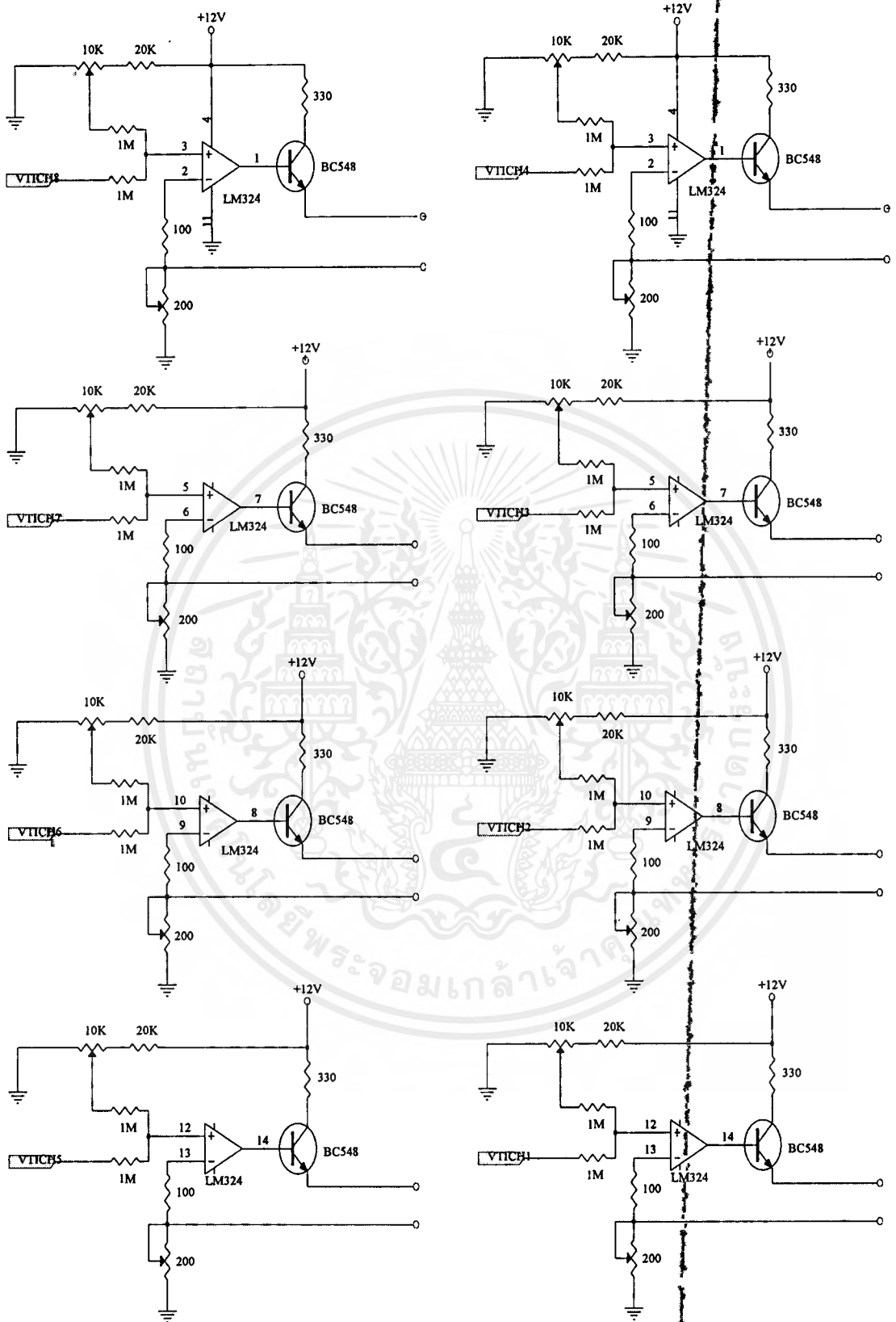


รูปที่ 4.22 รูปกล่องต่อสายพร้อมสายอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.23 แสดงวงจรทั้งหมดส่วนที่ใช้ในการแปลงแรงดันเป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงวงจรทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงกระแสเป็นแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การนำระบบฟuzzyลอจิกคอนโทรลไปใช้ควบคุมกระบวนการ

เมื่อเซนเซอร์ (SENSOR) ตรวจรับค่าอุณหภูมิแล้วแปลงเป็นแรงดันส่งกลับมาทำให้เราทราบค่าปัจจุบัน (PRESENT VALUE) นั้นมีค่าเป็นเท่าใด และทำการเปรียบเทียบผลต่างของค่านั้นว่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ (SET POINT) อยู่เท่าใด สำหรับในระบบ PID ค่าที่นำมาเปรียบเทียบจะเป็นผลเชิงตัวเลขเพื่อนำไปประมวลผลทางคณิตศาสตร์ และให้ค่าควบคุมนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป แต่ในระบบฟuzzyค่าที่ได้จะถูกมาเปรียบเทียบเป็น 5 ระดับดังนี้

1. PV มากกว่า SP มาก (LP ,LARGE POSITIVE)
2. PV มากกว่าค่า SP ปานกลาง (SP ,SMALL POSITIVE)
3. PV เท่ากับ SP (ZE ,ZERO)
4. PV น้อยกว่า SP ปานกลาง (SN ,SMALL NEGATIVE)
5. PV น้อยกว่า SP มาก (LN , LARGE NEGATIVE)

การตัดสินใจว่าผลต่างระหว่าง SP และ PV จะเป็นค่าใดในค่าต่างๆ 5 ค่าข้างต้นจะเป็นไปตามผลของทฤษฎีฟuzzyลอจิก ดังนั้นค่าความผิดพลาดต่างๆ จึงสามารถเป็นสมาชิกของค่าระดับต่างๆ ได้พร้อมกันหลายค่า และระดับความเป็นสมาชิกต่างๆ กัน เราอาจแบ่งแยกให้เด็ดขาดได้โดยการใช้ค่าการหาค่ากลางแบบถ่วงน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้เป็นค่าใดค่าหนึ่งโดยเด็ดขาดตัวอย่างเช่น $SP=8$ $PV=12$ $ER=4$ ซึ่งค่า -4 จะมีระดับความเป็นสมาชิกรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 คือเป็นได้ทั้งและส่วนจะเป็นอะไรนั้นต้องหาค่ากลางอีกครั้งหนึ่งในระบบการควบคุมแบบ PID ในพจน์ D สามารถหาได้จากค่าผลต่างของค่าผิดพลาดตลอดเวลา ในระบบฟuzzy พจน์ D ก็มีใช้เช่นกันแต่เราเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (CHANGE OF ERROR) และเช่นเดียวกันกับข้อผิดพลาด (ERROR) ค่าที่ใช้ในการคำนวณในระบบฟuzzy จะมีการแบ่งระดับ CE เป็น 5 ระดับและถูกแบ่งแยกโดยเด็ดขาดด้วยการคิดค่ากลางแบบถ่วงน้ำหนักค่าที่ได้จะถูกนำมากระทำทางตรรกะตามทฤษฎีฟuzzy เซ็ต ค่าที่ได้จะถูกนำมาหาค่ากลางแบบถ่วงน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

4.9 ขั้นตอนการออกแบบซอฟต์แวร์

เรานำทฤษฎีฟuzzyลอจิกของศาสตราจารย์ Lotfi Zadeh มาประยุกต์ใช้โดยทำได้ดังนี้

4.9.1 ค่าอินพุตของฟuzzy

เราจะนำค่าอุณหภูมิอินพุตที่ได้มาจากค่าองศาของสมาชิกโดยเราจะแปลงค่าอุณหภูมิอินพุตดังกล่าวเป็นอินพุตของระบบฟuzzyได้ 2 ค่าคือ

- A) ค่าผิดพลาดของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔE) = $E(t) - E(t-1)$
- B) ค่าผิดพลาดของอุณหภูมิ $E(t)$ = ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ - $T(t)$

เมื่อ

ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ คือ ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ณ. เตาอบ

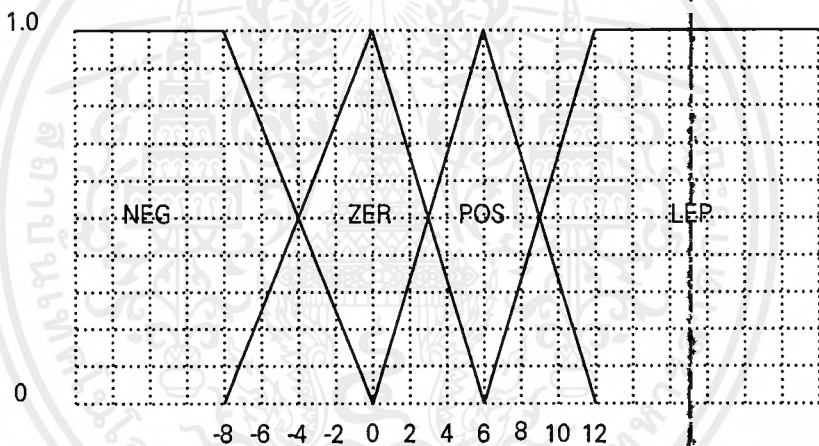
$T(t)$ คือ อุณหภูมิที่วัดได้ในขณะนั้น

$E(t-1)$ คือ ค่าผิดพลาดของอุณหภูมิก่อนหน้านี้

ΔE คือ ค่าผิดพลาดของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

โดยจากตัวแปรทางอินพุตทั้งสองตัวนี้ $E(t)$ และ $E(t-1)$ จะต้องนำมาผ่านขั้นตอนของการ Fuzzification ให้อยู่ในรูปของค่าฟัซซีอินพุต เมื่อได้ค่าฟัซซีอินพุตแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับกราฟความเป็นสมาชิก (รูปที่ 4.25 และ 4.26) ซึ่งเกิดจากการกำหนดขึ้นมาก่อน แล้วค่อยๆทำการปรับกราฟจนได้กราฟที่มีสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยที่ข้อผิดพลาดและข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจะใช้กราฟความเป็นสมาชิกคนละกราฟกัน ซึ่งในแต่ละกราฟจะมี จำนวนเทอมเท่ากับ 5 ดังแสดงดังในรูปที่ 4.25 และ 4.26

- | | | |
|-------|---------------------------|----------------------|
| เมื่อ | LN = LARGE NEGATIVE | NEG = NEGATIVE |
| | Z = ZERO | ZER = ZERO |
| | SP = SMALL POSITIVE | POS = POSITIVE |
| | LP = LARGE POSITIVE | LEP = LARGE POSITIVE |
| | VLP = VERY LARGE POSITIVE | |

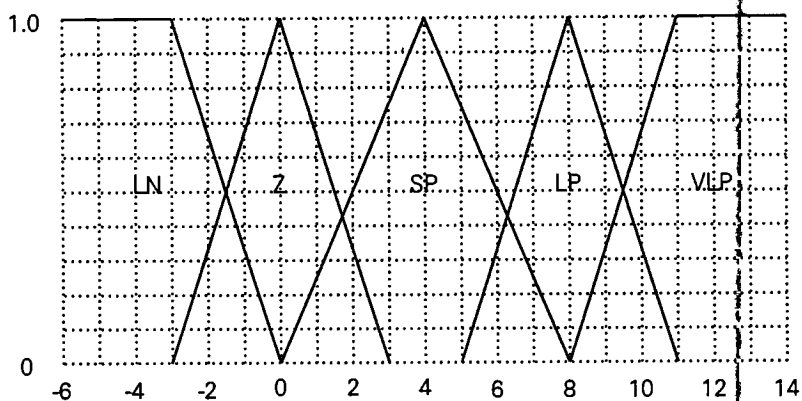


รูปที่ 4.25 กราฟความเป็นสมาชิกของข้อผิดพลาดของอุณหภูมิ

4.9.2 กฎของการตีความหมาย (Rule Evaluation)

การคำนวณค่าตามกฎการที่ตั้งไว้ โดยอาศัยค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ได้การเปรียบเทียบค่า ฟัซซีอินพุตกับกราฟความเป็นสมาชิก (รูปที่ 4.21) เป็นตัวกำหนดความสำคัญของกฎแต่ละกฎ โดยอาศัย เทคนิคของค่ากฎของค่าที่น้อยที่สุด ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัว ในส่วนเงื่อนไขคือ ข้อผิดพลาดและข้อผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง ตามกฎของฟัซซี IF/THEN ดังตารางที่ 4.7

จากตารางที่ 4.7 นั้นค่าสถานะเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากแต่ละป้ายในส่วนเงื่อนไขของแต่ละตัว



รูปที่ 4.26 กราฟความเป็นสมาชิกของข้อผิดพลาดของอุดมคติที่เปลี่ยนแปลง

| กฎ IF/THEN | ข้อผิดพลาดของอุดมคติ | ข้อผิดพลาดของอุดมคติที่เปลี่ยนแปลง | สถานะของเตาอบ |
|------------|----------------------|------------------------------------|---------------|
| 1 | NEG | LN | 0 |
| 2 | NEG | LE | 0 |
| 3 | NEG | SP | 0 |
| 4 | NEG | LP | 0 |
| 5 | NEG | VLP | 0 |
| 6 | ZERO | LN | 4 |
| 7 | ZERO | ZE | 8 |
| 8 | ZERO | SP | 0 |
| 9 | ZERO | LP | 8 |
| 10 | ZERO | VLP | 4 |
| 11 | POS | LN | 128 |
| 12 | POS | ZE | 128 |
| 13 | POS | SP | 128 |
| 14 | POS | LP | 128 |
| 15 | POS | VLP | 128 |
| 16 | LEP | LN | 255 |
| 17 | LEP | ZE | 255 |
| 18 | LEP | SP | 255 |
| 19 | LEP | LP | 255 |
| 20 | LEP | VLP | 255 |

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงกฎของฟัซซี IF/THEN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาตินำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 ค่าเอาต์พุตของ Defuzzification

เป็นขั้นตอนที่นำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนกฎของการตีความหมายเพื่อหาค่าฟัซซีเอาต์พุตซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบตามกฎต่างๆแล้ว จะเห็นได้ว่าถ้ามีการคำนวณตามกฎการควบคุม แล้วนำเพียงกฎใดกฎหนึ่งมาใช้จะทำให้ผลการควบคุมระบบผิดพลาดได้จึงนำค่าเอาต์พุตของกฎต่างๆ มาหาค่าเอาต์พุตที่จะใช้ในการควบคุมระบบ โดยใช้การคำนวณแบบจุดศูนย์กลางของมวล (Center of Gravity) คำนวณผลลัพธ์ออกมา โดยค่าของจุดศูนย์กลางถ่วงสำหรับตัวแปรเอาต์พุตของเตาอบได้

หลังจากการที่ได้ทำการคำนวณตามกฎของการตีความหมาย และทำการหาค่าจุดศูนย์กลางของมวลแล้วสามารถเขียนตารางของฟัซซีเอาต์พุตสำหรับค่าที่ผิดพลาดและข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงต่างๆได้ดังตารางที่ 4.8

หลังจากที่ได้ทำ Defuzzification แล้วก็จะได้ผลลัพธ์ของการคำนวณในรูปของฟัซซีเอาต์พุตซึ่งค่าของฟัซซีเอาต์พุตนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมเตาอบได้โดยตรงจึงผ่านขบวนการที่จะทำการเปลี่ยนให้ค่าของฟัซซีเอาต์พุตนั้นสามารถนำไปใช้ในการควบคุมเตาอบได้ซึ่งวิธีการก็คือจะนำค่า ฟัซซีเอาต์พุตไปเปรียบเทียบกับตารางเอาต์พุต ซึ่งเป็นขบวนการกลับกันกับการหาค่าของฟัซซีอินพุต เพื่อหาสถานะการทำงานของเตาอบ เมื่อได้ทำการเปลี่ยนค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นสถานะการทำงานของตัวทำความร้อน (Heater) เรียกร้อยแล้วก็จะได้สถานะการทำงานของตัวทำความร้อนที่เกิดข้อผิดพลาดของอุณหภูมิและข้อผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงต่างๆ

| Ch. Ejr. Error | -6 | -4 | -2 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| -8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -6 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| -4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| -2 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| 0 | 3 | 3 | 4 | 6 | 42 | 3 | 3 | 5 | 4 | 3 |
| 2 | 28 | 28 | 39 | 30 | 60 | 41 | 41 | 29 | 53 | 44 |
| 4 | 65 | 65 | 66 | 67 | 128 | 60 | 60 | 66 | 78 | 86 |
| 6 | 127 | 127 | 127 | 128 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 |
| 8 | 170 | 170 | 178 | 171 | 184 | 170 | 184 | 170 | 204 | 170 |

ตารางที่ 4.8 ตารางที่แสดงค่าเอาต์พุตจากการคำนวณโดยกฎของฟัซซี

จากขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมาเราจะทำการทดลองหาค่าฟัซซีเอาต์พุตหนึ่งค่า โดยในตอนแรกเราจะสมมุติค่าต่างๆดังต่อไปนี้

เอกสารนี้ คำนวณที่ติดตั้งไว้เท่ากับ 100 องศา เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$E(t) = 98$ องศา

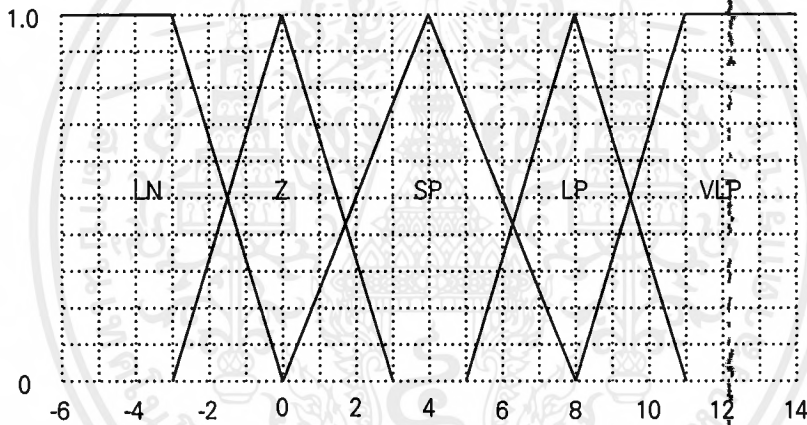
$E(t-1) = 90$ องศา

ดังนั้นนำค่าเหล่านี้เข้าสู่ขั้นตอนวิธี Fuzzification แปลงเป็นค่าฟัซซีอินพุตจะได้ค่า

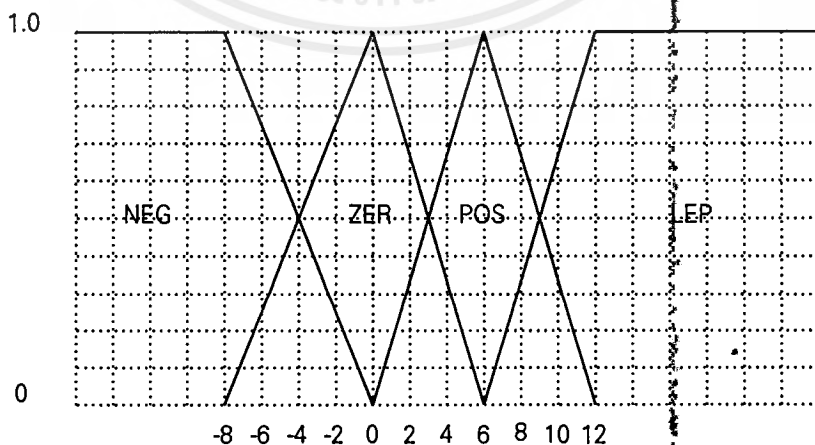
ค่าอุณหภูมิที่เกิดผิดพลาดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 8 องศา

ค่าอุณหภูมิที่เกิดผิดพลาดเท่ากับ 2 องศา

เมื่อนำค่าอุณหภูมิที่เกิดผิดพลาดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 8 ไปหาค่าความเป็นสมาชิกจากกราฟรูปที่ 4.25 ไปตัดกราฟ LARGE POSITIVE ที่มีค่าสมาชิกเท่ากับ 1 ดังแสดงในกราฟรูป 4.27 และในทำนองเดียวกันเมื่อนำค่าอุณหภูมิที่เกิดผิดพลาดเท่ากับ 2 ไปหาค่าความเป็นสมาชิกจากกราฟรูปที่ 4.26 โดยลากเส้นตรงไปตัดกราฟ ZERO ที่มีความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.65 และเมื่อลากเส้นตรงไปตัดกราฟ POSITIVE ที่มีความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.35 แสดงในรูป ที่ 4.28



รูปที่ 4.27 กราฟความเป็นสมาชิกของค่าอุณหภูมิที่เกิดผิดพลาดเกิดจากการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.28 กราฟความเป็นสมาชิกของค่าอุณหภูมิที่เกิดผิดพลาด

จากนั้นนำค่าความเป็นสมาชิกที่ได้เหล่านั้นเข้าสู่ขั้นตอนของกฎการตีความหมายโดยนำไปเปรียบเทียบหากฎที่จะตกกฎจากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าจะตกกฎที่ 14 ซึ่งให้ค่าเอาต์พุตเป็น 128 และตกกฎที่ 9 ซึ่งให้ค่าเอาต์พุตเป็น 8 และใช้เทคนิค SMALLEST ในแต่ละกฎที่ได้จะทำให้ได้ค่าความเป็นสมาชิกขององศาของกฎที่ 9 เป็น 8 เช่นเดียวกันนำค่าที่ได้จากขั้นตอนของกฎในการตีความหมายนำเข้าสู่ขั้นตอน Defuzzification ของเอาต์พุตโดยใช้การคำนวณแบบจุดศูนย์กลางของมวล เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของเอาต์พุตออกมาโดยมีสูตรการคำนวณว่า

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (u_n - U_n)}{\sum_{i=1}^n u_n}$$

เมื่อ I = ผลที่ได้วิธี การหาจุดศูนย์กลางของมวล

u_n = ค่าความเป็นสมาชิกขององศา

U_n = สถานะจากกฎ IF/THEN

ดังนั้น I เท่ากับ

$$I = \frac{(128 * 0.35) + (8 * 0.65)}{0.35 + 0.65} = 50$$

ซึ่งเป็นค่าที่ตรงกับในตารางที่ 4.7 จะได้ค่าของฟัซซีเอาต์พุตคือ 50 ที่มีอุณหภูมิผิดพลาดเท่ากับ 2 และอุณหภูมิที่ผิดพลาดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 8 และในการหาค่าฟัซซีเอาต์พุตที่อุณหภูมิอื่นๆก็ทำนองเดียวกัน

บทที่ 5

การพัฒนาโปรแกรม

5.1 แนะนำ Visual Basic

แอปพลิเคชันบน Microsoft Windows ให้ความตื่นตาตื่นใจและความง่ายต่อการใช้งานกับผู้ใช้ ด้วยการติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิก มีภาพ แสง สี ที่ชวนสนใจว่าการใช้งานในเท็กซโอมดบน DOS แต่เบื้องหลังของการพัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นมา นั้น มีเพียงผู้เขียนโปรแกรมเท่านั้นที่รู้ว่ายุ่งยากและลำบากเพียงใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสมัยเริ่มแรก มีเพียงภาษา C และชุด Software Development Kit (SDK) ของ Microsoft เท่านั้น ผู้พัฒนาต้องมีความรู้ความเข้าใจในภาษาและการทำงานของ Windows เป็นอย่างดี ที่สำคัญคือต้องรู้และเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ได้อย่างคล่องแคล่ว และเข้าใจการใช้พอยเตอร์และหลักการของภาษาอย่างถ่องแท้ สิ่งเหล่านี้นับว่าเป็นเรื่องลำบากมากสำหรับโปรแกรมเมอร์สมัครเล่น ในการที่จะสร้างแอปพลิเคชันสำหรับ Windows ขึ้นมาสักตัว

นั่นเป็นยุคแรกของการพัฒนาโปรแกรมบน Windows ต่อมารูปการณ์ได้เปลี่ยนไปเมื่อบริษัท Borland International หรือที่เรียกย่อๆ กันว่า Borland ได้นำเสนอผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า Turbo Pascal for Windows ซึ่งให้ความง่ายในการเขียนโปรแกรมบน Windows ด้วยลักษณะคำสั่งและการใช้งานเหมือน Turbo Pascal เวอร์ชันบน DOS ที่มีนิยมใช้กันมากมายและมีความคุ้นเคยดี ถือได้ว่าเป็นการลดความซับซ้อนในการพัฒนาแอปพลิเคชันบน Windows ลงได้ระดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีซอฟต์แวร์อีกหลายตัวด้วยกัน ที่มาช่วยในการสร้างแอปพลิเคชันบน Windows เช่นโปรแกรม Toolbooks หรือ WindowsMaker ที่ทำงานในลักษณะของ program generator คือผู้ใช้ออกแบบเมนู , องค์ประกอบต่างๆ ไม้วินโดว์และกำหนดเงื่อนไขในการทำงาน หลังจากนั้นซอฟต์แวร์พวกนี้จะสร้างซอร์สโปรแกรมในภาษา C มาให้ เพื่อให้ผู้ใช้แก้ไขและคอมไพล์เป็นไฟล์ที่ทำงานได้ต่อไป

ทั้ง Turbo Pascal for Windows, Toolbooks และกลุ่ม program generator ต่างก็เป็นเครื่องมือที่เป็นทางเลือกอื่นนอกเหนือจากภาษา C และชุด SDK ไม่ว่าจะ เป็น Turbo Pascal for Windows หรือ Toolbooks ต่างก็ปลดตัวเองออกจากพันธนาการของ SDK โดยเฉพาะ Borland ถึงกับกล่าวว่าหากใช้ Turbo Pascal หรือ Turbo C for Windows แล้วผู้ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมายุ่งเกี่ยวกับ SDK อีกต่อไป

แต่ทุกคนคงไม่ลืมว่าหนึ่งในภาษาแรกๆ ที่ผู้สนใจการเขียนโปรแกรมจะเรียนกันก็คือภาษา BASIC ซึ่งมีจุดเด่นตรงความง่ายสะดวกต่อการเขียนและเรียนรู้ และทาง Microsoft เองคงจะรู้ถึงจุดดีนี้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังรู้ว่าแนวโน้มของผู้ใช้จะนิยมพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาใช้เองมีมากขึ้น หรือนักพัฒนามืออาชีพก็ต้องการความสะดวกและง่ายในการพัฒนาแอปพลิเคชันบน Windows มากขึ้นนอกจากนี้ตัวของ Bill Gates ประธานบริษัท Microsoft เองก็มีจุดกำเนิดในวงการคอมพิวเตอร์ด้วยตัวแปลภาษา

Basic จึงไม่แปลกอะไรที่ Microsoft จะมีตัวแปล Basic สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันบน Windows โดยให้ชื่อว่า Visual Basic ที่ง่ายต่อการใช้งาน ในขณะที่เดียวกันก็ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมตามแบบฉบับของ Basic ด้วย และที่สำคัญคือไม่ต้องใช้ชุด SDK อีก

5.2 หลักการโปรแกรมเชิงภาพของ Visual Basic

ใน Visual Basic นั้นการพัฒนาและการเขียนโปรแกรมจะเป็นไปในอีกรูปแบบหนึ่งกล่าวคือ ใน การเขียนโปรแกรมแบบเดิมนั้นเราจะต้องออกแบบหน้าจอ ระบุตำแหน่งการแสดงผล คิดหาขั้นตอนการทำงาน และอื่นๆ จากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรม โปรแกรมที่ได้จะอธิบายและ สั่งงานคอมพิวเตอร์ไป เป็นลำดับไป แต่ใน Visual Basic จะใช้หลักการของภาพ และการมองเห็น โดยเริ่มจากการออกแบบ วินโดว์ย่อย หรือที่ใน Visual Basic เรียกว่าฟอร์ม ในฟอร์มจะประกอบด้วยสิ่งต่างๆที่เราทำงานด้วย หรือ เรียกว่าเป็น Object เช่นข้อความ , ช่องรับข้อความ , Scroll Bar หรือ ปุ่ม (Button) เมื่อกำหนดสิ่งเหล่านี้ ครบตามความต้องการแล้วจึงระบุว่าจะประกอบแต่ละอย่างจะทำงานอย่างไร โดยเขียนโปรแกรม ย่อยๆปะเข้าไปกับ Object เหล่านี้ ที่ต้องทำแบบนี้เพราะว่าการทำงานใน Windows เป็นแบบที่เรียกว่า Event-Driven คือขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ (Event) การเขียนโปรแกรมแบบเดิมคือสั่งงานตามลำดับจะยุ่งยาก มาก หรือบางกรณีอาจทำไม่ได้เลย เพราะอย่าลืมว่า ในขณะที่ใดขณะหนึ่งนั้น ในระบบไม่ใช่จะมีเพียงงาน ของเราเท่านั้นที่รันอยู่ Windows จะต้องจัดการกับทุก งานที่ทำงานในขณะนั้นทั้งหมดไปพร้อมๆกัน ใน ขณะที่โปรแกรมแสดงหน้าจอสำหรับรับอินพุต ผู้ใช้อาจพิมพ์ข้อมูลเข้าไปแต่โดยดี หรืออาจอยู่ไม่สุข ใช้ เมาส์เลื่อนไปคลิกตรงนั้นตรงนี้ได้โดยอิสระ ทำให้ยากที่จะเขียนโปรแกรมธรรมดาให้คอยดักเส้นทางการ ทำงานในการรับอินพุตว่าจะเกิดอะไรขึ้นตรงไหนได้ จึงต้องใช้รูปแบบการโปรแกรมในลักษณะ Event Driven ดังกล่าวซึ่ง Object แต่ละตัวจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นกับ มันได้หลายอย่าง ถ้าเราสนใจเฉพาะ เหตุการณ์ใดก็เขียนโปรแกรมสั่งงานให้คอยดักหรือ ทำงานเฉพาะเหตุการณ์นั้นๆ ได้ เช่น ถ้าสิ่งที่เราสนใจ เป็นปุ่มควบคุมและเราต้องการให้ทำงานเมื่อคลิก หรือ ดับเบิลคลิกก็ระบุไว้ หากมีการคลิกที่ปุ่มควบคุม นี้โปรแกรมจะต้องทำอย่างไร หรือถ้ามีการ ดับเบิลคลิกจะต้องทำอย่างไร ส่วนเหตุการณ์อื่นที่ไม่ได้ระบุไว้ จะไม่มีผลต่อ Object นั้น

จากแนวทางนี้จะเห็นว่ามีลักษณะเป็นธรรมชาติมาก คือกำหนดหน้าตาของจอภาพ หรือส่วน ติดต่อผู้ใช้แล้วระบุไว้ถ้าเกิดเหตุการณ์อย่างนี้กับสิ่งนี้จะต้องทำอย่างไรซึ่งโปรแกรมที่เราจะเขียนกันนี้ก็คือส่วนที่จะบอกว่า "จะต้องทำอย่างไร" นั่นเอง

นอกจาก Object จะมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆที่กำหนดแล้วยังมีอีกเรื่องหนึ่งที่จะขอ กล่าวคือทุก Object จะมีลักษณะหรือคุณสมบัติ (Property) ของตัวเองเช่นช่องรับข้อความ (Text Box) จะมีชื่อ , ความกว้าง , ความสูง , สี โดยเราสามารถอ้างถึง หรือเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านี้ได้ขณะที่

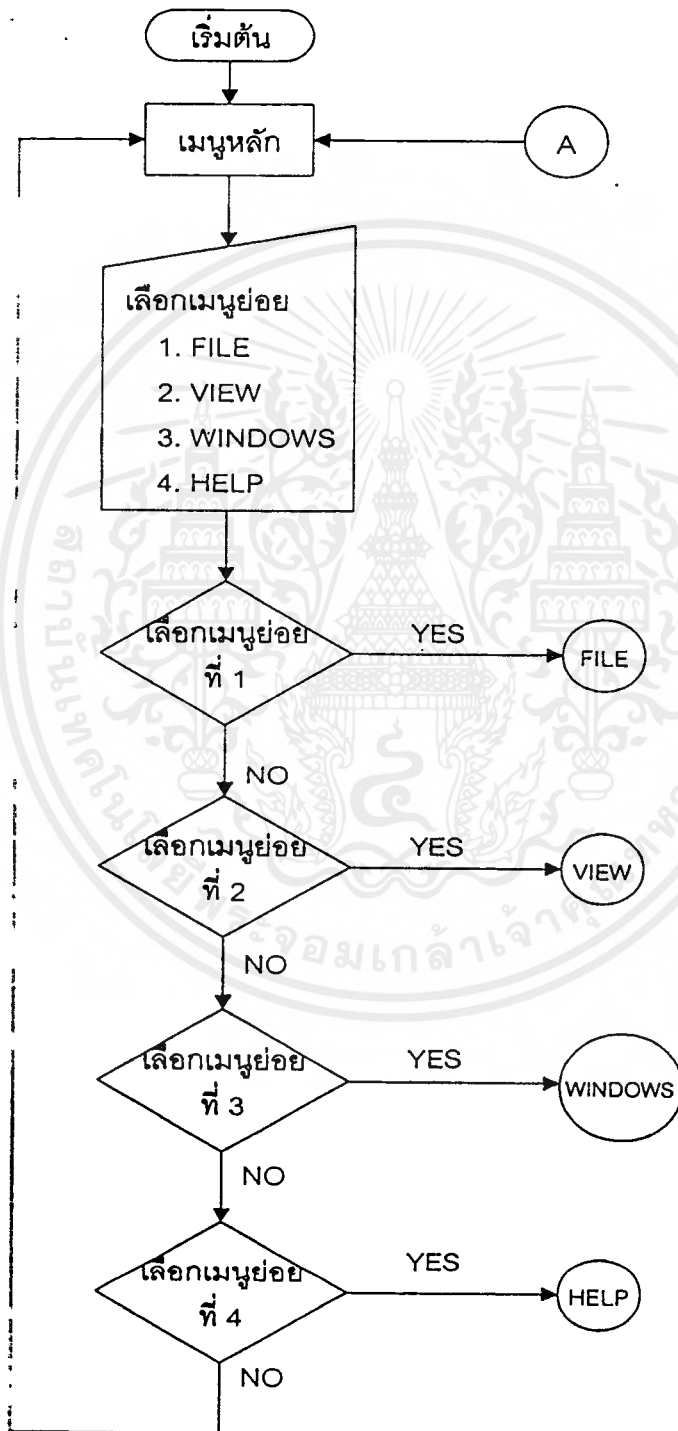
โปรแกรมทำงานอยู่เป็นต้นว่าหากไม่มีการป้อนข้อมูลจะแสดงด้วยสีหนึ่ง หรืออาจไม่แสดงบนจอภาพเลย

ในการที่จะกระทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งกับ Object นั้น จะมีสิ่งที่เรียกว่า Method ซึ่งเปรียบเปรียบเทียบเหมือนเป็นกระบวนการทำงานของ Object ซึ่ง Object แต่ละแบบก็อาจจะมี Method ที่แตกต่างกันออกไป เช่น ถ้าต้องการสั่งให้เลื่อนตำแหน่งของข้อความ (Label) ก็จะมีกระบวนการ หรือ Method ชื่อ Move ของ Label เพื่อทำงานนี้โดยสั่งว่า Label.Move = ตำแหน่งที่จะย้ายไปโดยการสั่งพิมพ์ก็มี Method ชื่อ Print เป็นต้น ถ้าพูดไปแล้ว Method ก็คล้ายๆกับ คำสั่งที่ใช้กับ Object แต่ละชนิดนั่นเอง

โดยสรุปแล้วรูปแบบของหลักการของ Visual Basic ก็คือเริ่มจากการออกแบบจอภาพและเขียนโปรแกรมสำหรับแต่ละ Event ปะเข้าไปยัง Object ต่างๆให้ทำงานตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดย Object จะมีคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ของตัวเอง

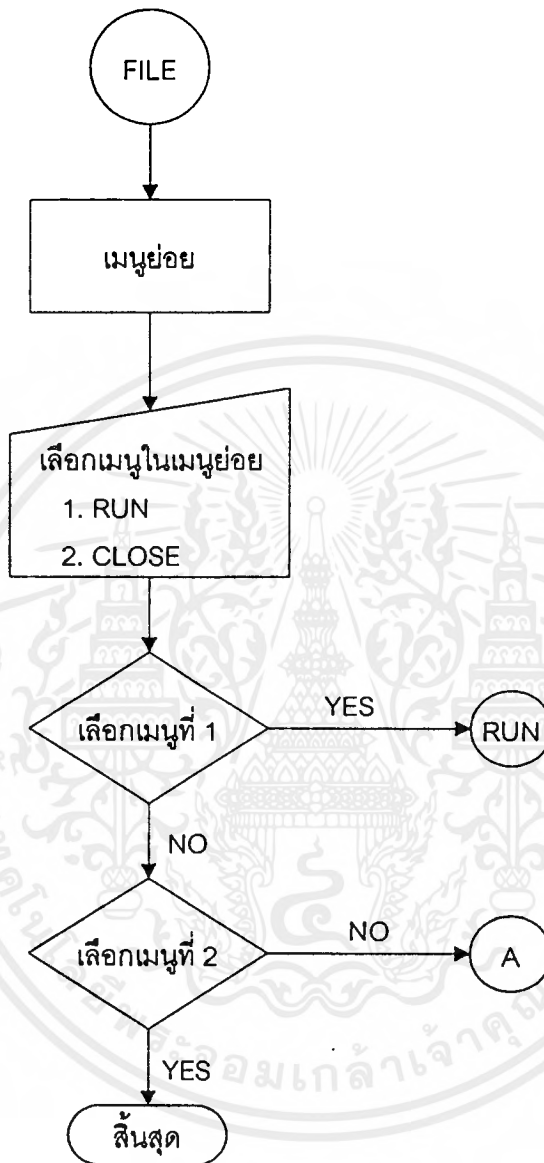
ในการออกแบบโปรแกรมจะมีแนวทางการใช้งานโปรแกรมวิธีการและขั้นตอนการประมวลผลต่าง ๆ ดังได้แสดงเป็น FlowChart รูปต่าง ๆ ดังนี้

5.3 FLOWCHART แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิด้วยพีซีที่ลจจิก

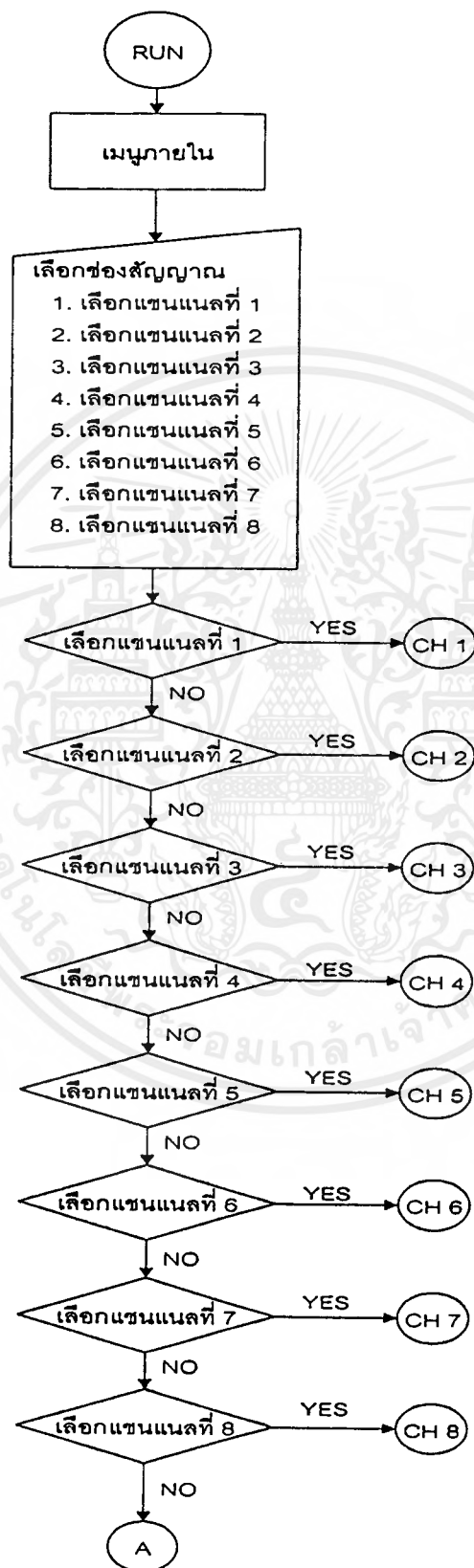


รูปที่ 5.1 แสดงเมนูหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

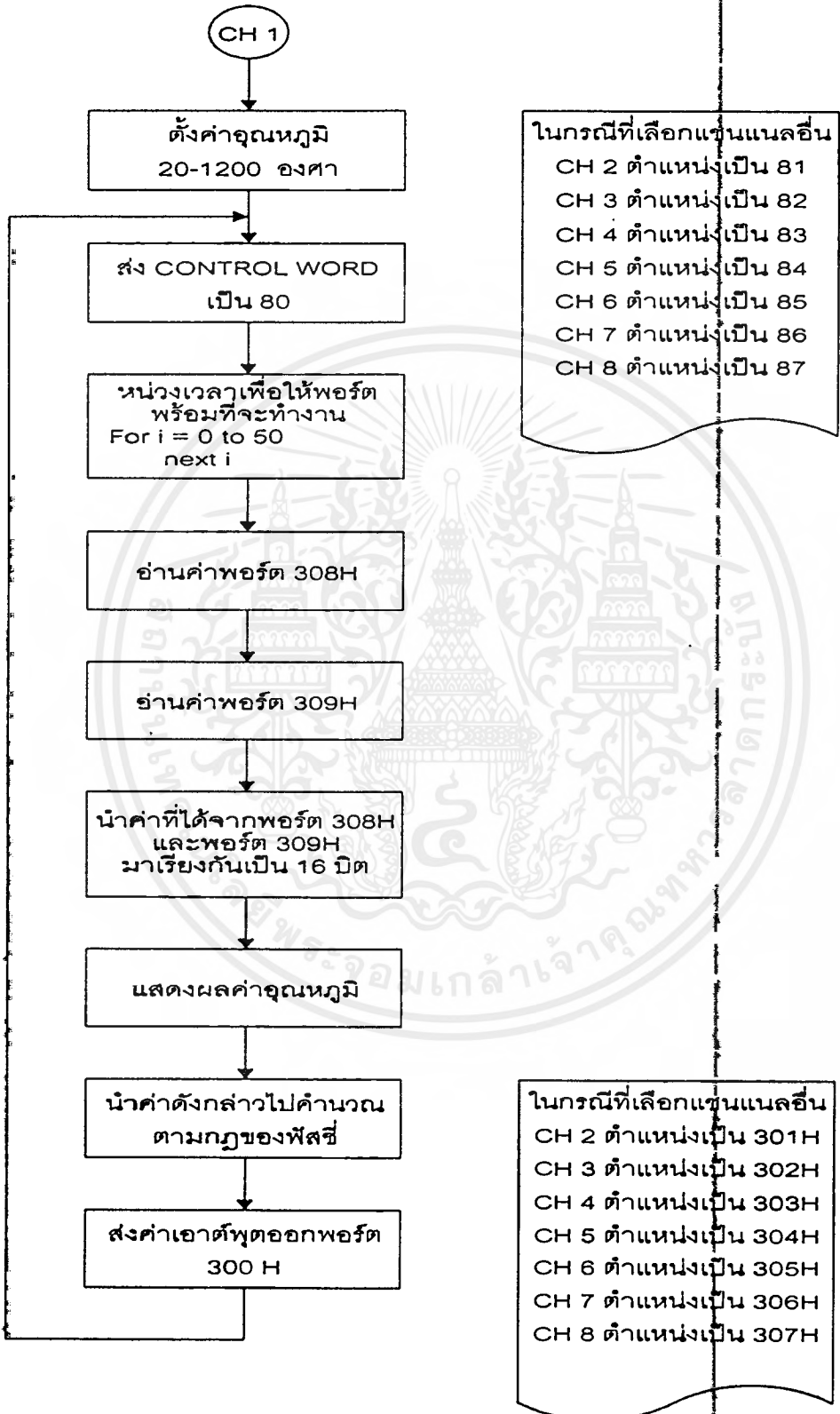


รูปที่ 5.2 แสดง FlowChart ของเมนู File



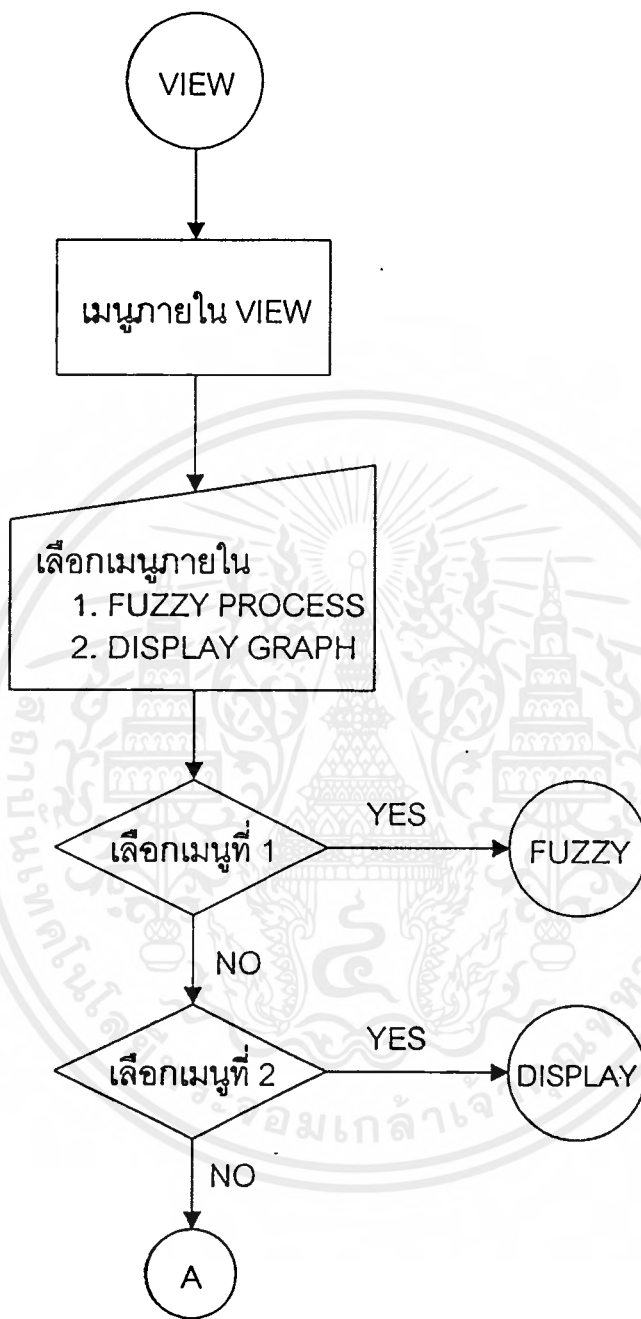
รูปที่ 5.3 แสดง FlowChart ของเมนูย่อยของเมนู File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

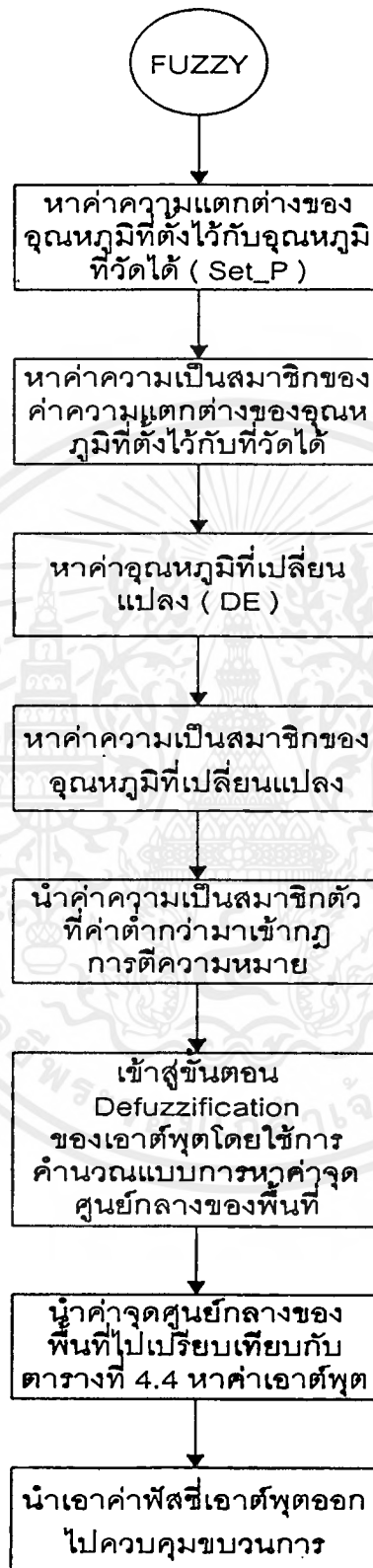


รูปที่ 5.4 แสดง FlowChart ของการทำงานในห้องปฏิบัติการที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

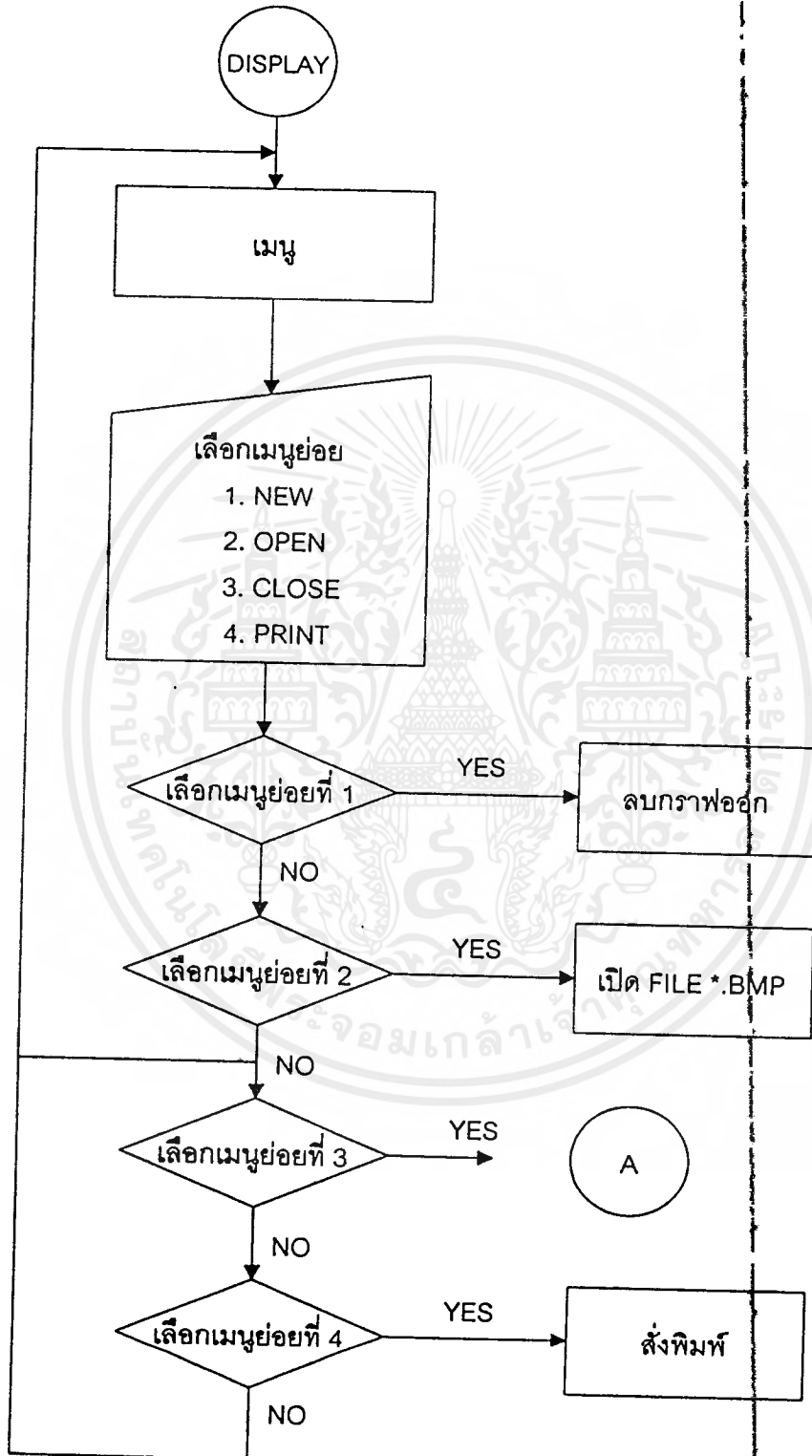


รูปที่ 5.5 แสดง FlowChart ของเมนู View และเมนูย่อยต่าง ๆ



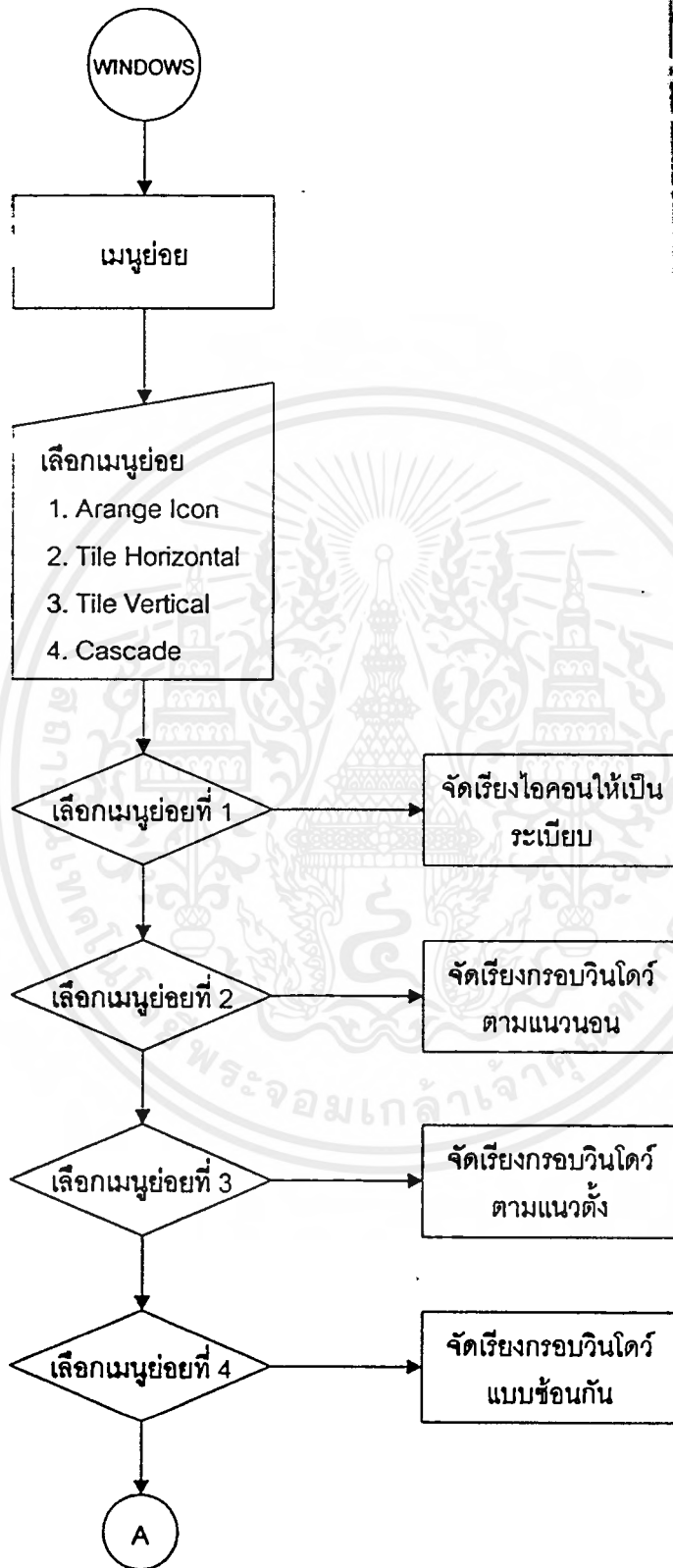
รูปที่ 5.6 แสดง FlowChart ของการประมวลผลค่าฟัซซีลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

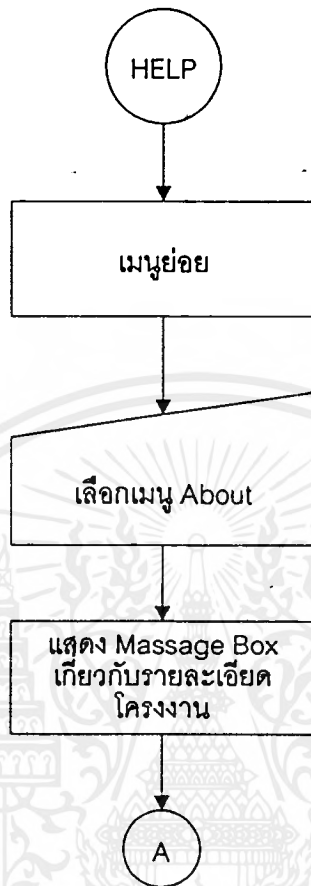


รูปที่ 5.7 แสดง FlowChart ของการทำงานในเมนู Graph Viewer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 FlowChart แสดงเมนูย่อยของเมนู Windows

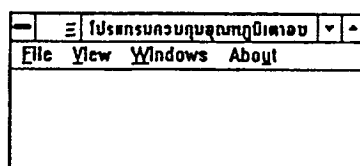


รูปที่ 5.9 เมนู About

ซึ่งใน Flow Chart แต่ละรูปได้นำไปทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทำงานตามวัตถุประสงค์ในบล็อกต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (USER INTERFACE)

1. สร้างฟอร์มหลักขึ้นก่อนตั้งให้เป็นฟอร์มแม่ชื่อ FRMMDI.FRM ซึ่งจะบรรจุเมนูหลักต่าง ๆ ในการรันโปรแกรมแต่ละช่องสัญญาณ(ช่องที่ 1-8) ฟอร์มแสดงผลกราฟที่ถูกเก็บค่าไว้ เมนูการจัดเรียงฟอร์มของช่องสัญญาณต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.10

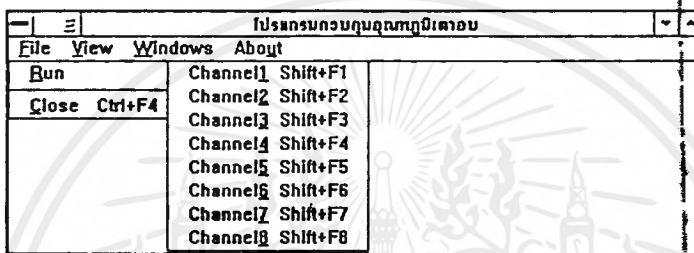


รูปที่ 5.10 แสดงรูปฟอร์มหลัก (FRMMDI.FRM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

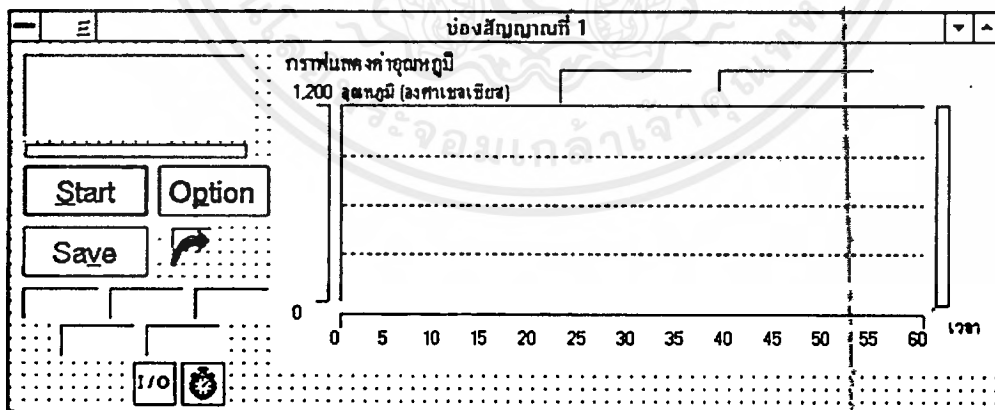
ซึ่งจะประกอบด้วยเมนู 4 ชนิดคือ

1. เมนู File ซึ่งจะมีเมนูย่อย Run และ Close ดังรูปที่ 5.11 ในเมนู Run จะมีเมนูย่อยอีก 8 เมนูคือ
 - 1.1 Channel1 ถึง Channel8 มีการใช้แป้นลัด (Short Cut Key) เป็น Shift ร่วมกับ F1 ถึง F8 ซึ่งเมนูเหล่านี้จะเป็นการเปิดฟอร์มลูกทั้ง 8 ฟอร์มขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิได้ออบ
 - 1.2 เมนูย่อยอีกเมนูหนึ่งของเมนู File คือเมนู Close ซึ่งใช้แป้นลัด Control (Ctrl) ร่วมกับแป้น F4 ซึ่งจะเป็นคำสั่งออกจากโปรแกรมหลักดังรูป 5.11



รูปที่ 5.11 แสดงเมนูย่อยของเมนู Run

ในเมนู Channel1 ถึง Channel8 จะเป็นฟอร์มลูกซึ่งมีขนาดคงที่มีคอนโทรลต่าง ๆ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 5.12

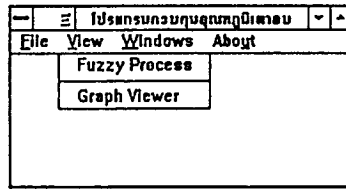


รูปที่ 5.12 แสดงรูปฟอร์ม FrMCh1.Frm ซึ่งเป็นฟอร์มลูก (MDI Child) ของฟอร์ม FrmMdi.Frm

2. เมนู View ดังรูปที่ 5.13 ประกอบด้วยเมนูย่อย 2 เมนูคือ

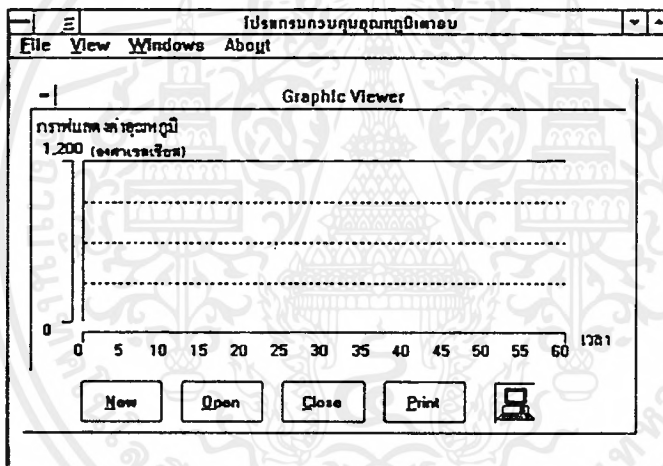
- 2.1 Fuzzy Process จะเป็นการแสดงค่าของฟัซซีลอจิกในการประมวลผลอุณหภูมิที่รับเข้ามา
ออกเป็นค่าเอิร์ทพุตดังรูป 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงเมนูย่อยของเมนู View

2.2 เมนู Graph Viewer จะใช้สำหรับเรียกกราฟที่เก็บบันทึกค่าอุณหภูมิของห้องสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งจะบอกจากชื่อไฟล์ที่เก็บเช่น 1_2_30.BMP จะหมายถึงรูปของห้องสัญญาณที่ 1 เก็บบันทึกค่าเมื่อเวลา 2 นาฬิกา 30 นาที เป็นต้นซึ่งเมนูนี้จะมีลักษณะดังนี้

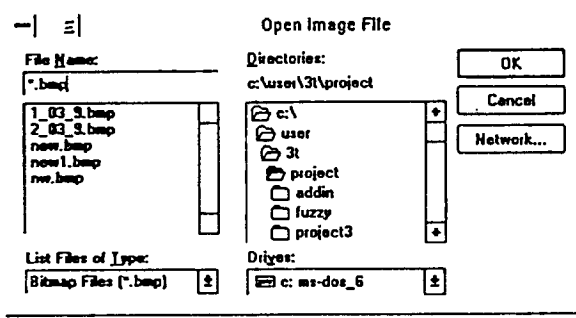


รูปที่ 5.14 แสดงฟอร์ม BmpView.FRM ขณะออกแบบ

ในฟอร์มนี้จะมีปุ่มคำสั่ง 4 ปุ่ม ซึ่งแต่ละปุ่มจะมีการใช้งานดังนี้

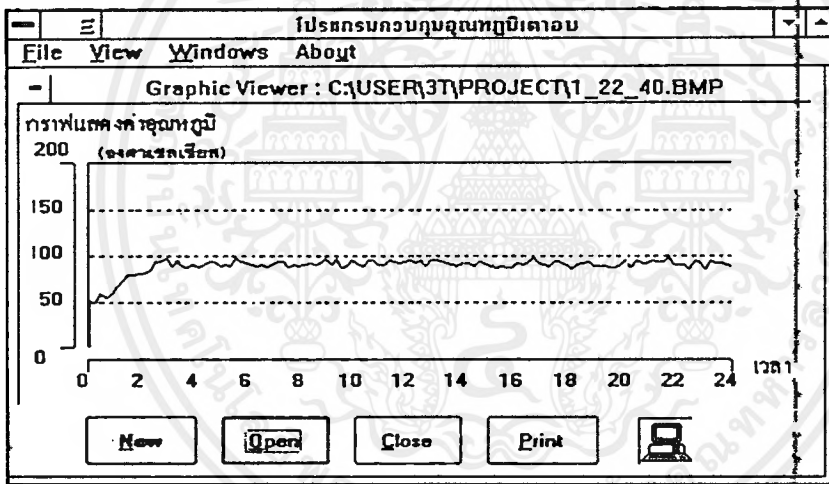
- ปุ่ม New จะใช้สำหรับเคลียร์รูปภาพในส่วนแสดงผล
- ปุ่ม Open จะใช้สำหรับการเปิดรูปภาพซึ่งเราเก็บเป็นฟอร์แมต .BMP เท่านั้นซึ่งเมื่อกดปุ่มนี้

จะมีบ็อกซ์ Open แสดงดังรูป 5.15



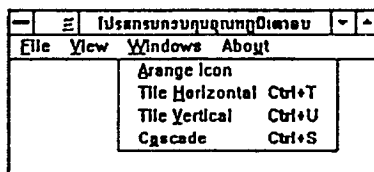
รูปที่ 5.15 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Open File

ผู้ใช้สามารถเลือกแหล่งของไฟล์และชื่อไฟล์ที่จะเปิดได้ตามที่ต้องการเมื่อเลือกเสร็จแล้วกดปุ่ม OK เพื่อเปิดรูปหรือกดปุ่ม Cancel เพื่อยกเลิกการเปิดรูป เมื่อเลือกรูปที่ต้องการได้แล้วฟอร์มจะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 5.16 แสดงฟอร์มลูก Gphic Viewer ขณะที่โหลดรูปที่บันทึกขึ้นมา

3. เมนู Windows จะประกอบด้วยเมนูย่อยอีก 4 เมื่อดังรูปที่ 5.17 ซึ่งในเมนูย่อยนี้จะประกอบด้วย



รูปที่ 5.17 แสดงเมนูย่อยของเมนู Windows

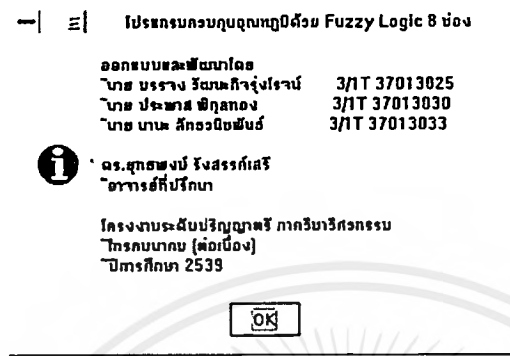
3.1 เมนู Arrange Icon ทำหน้าที่จัดเรียงไอคอน

3.2 เมนู Tile Horizontal ทำหน้าที่จัดเรียงฟอร์มลูกตามแนวนอนมีแป้นลัดคือ ปุ่ม Ctrl ร่วมกับ T ซึ่งดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เมนู Tile Vertical ทำหน้าที่จัดเรียงฟอร์มลูกตามแนวตั้งมีแป้นลัดคือ ปุ่ม Ctrl ร่วมกับ U

3.4 เมนู Cascade ทำหน้าที่จัดเรียงฟอร์มลูกซ้อนทับกันมีแป้นลัดคือ ปุ่ม Ctrl ร่วมกับ S

4 เมนู About จะเป็นการแสดงบ็อกซ์ข้อความเกี่ยวกับคณะผู้จัดทำดังรูปที่ 5.18



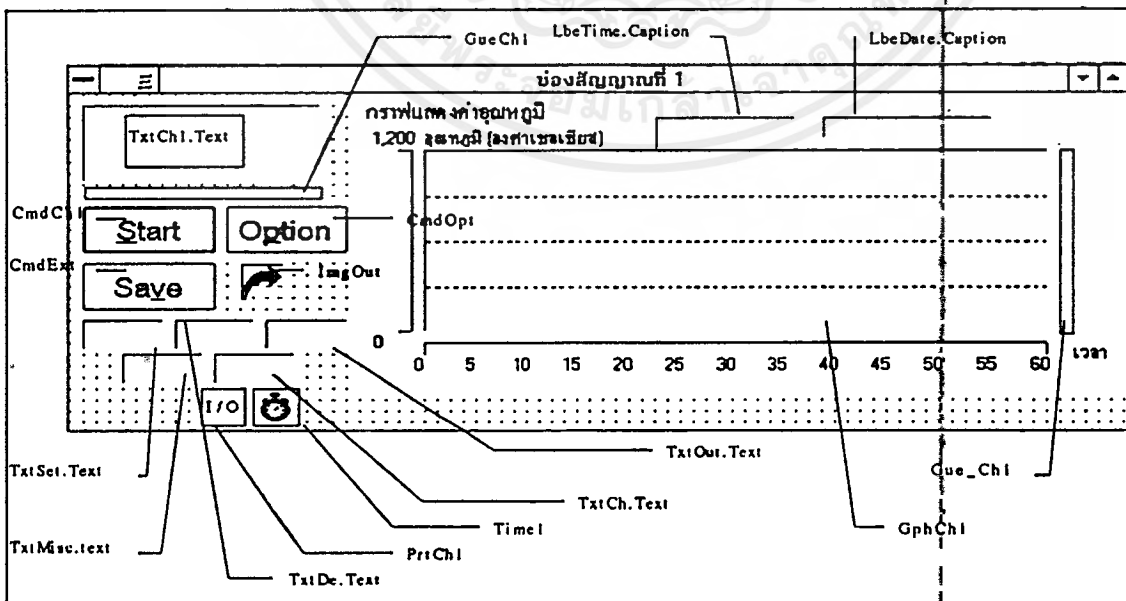
รูปที่ 5.18 แสดงบ็อกซ์ข้อความรายละเอียดเกี่ยวกับคณะผู้จัดทำ

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมตอบสนองเหตุการณ์และการทำงานของส่วนควบคุมอุณหภูมิ

เมื่อการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้เรียบร้อยแล้วจึงเริ่มทำการเขียนโปรแกรมตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ รวมทั้งโปรแกรมในการประมวลผลฟัซซี่ลอจิกซึ่งจะได้แสดงไว้เพียง 1 ช่องสัญญาณส่วนโปรแกรมทั้งหมดจะมีอยู่ในภาคผนวก

การเขียนโปรแกรมตอบสนองการทำงานในช่องสัญญาณที่ 1

ในเมนู Channel1 ถึง Channel8 จะมีลักษณะเหมือนกันดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 แสดงฟอร์มช่องสัญญาณที่ 1 ขณะออกแบบและคอนโทรลต่าง ๆ ที่ใช้แสดงผล

จากรูปจะมีคอนโทรลต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่ดังนี้

- คอนโทรล TxtCh1 จะใช้ในการแสดงผลค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเตาอบมีค่าเป็นองศาเซลเซียส โดยจะใช้ค่าที่อ่านมาได้จากคอนโทรล PntCh1 ซึ่งจะมีค่าเป็นเลขฐาน 10 ซึ่งจากวงจรที่ใช้จะมีค่า 12 บิตประกอบด้วยบิตสูงและบิตต่ำซึ่งจะอ่านได้ทีละ 8 บิต นำค่าทั้ง 2 มารวมกันโดยทำการแปลงให้เป็นเลขฐาน 16 ก่อนแล้วจึงแปลงเป็นเลขฐาน 10 ในม่อีกครั้งหนึ่งโดยใช้โปรแกรมในการแปลงดังนี้

' ส่วนการอ่านข้อมูล

' อ่านค่าจาก Port ทั้งบิตสูงและบิตต่ำ

```
PrtCh1.Bits = 8 ' กำหนดจำนวนบิตที่ใช้
PrtCh1.Port = 776 ' เลือก Port # 308H (8 บิตล่าง)
PrtCh1.Data = 81 ' กำหนด Control Word 51H
PrtCh1.Action = 2 ' เขียนออก Port
Do Until Dy > 50 ' หน่วงเวลาการอ่าน, เขียน Port
Dy = Dy + 1
Loop
PrtCh1.Action = 1 ' อ่าน Port 308H
Loww = PrtCh1.Data ' กำหนดตัวแปร = ค่าที่อ่านได้
PrtCh1.Port = 777 ' เลือก Port # 309H (8 บิตบน)
PrtCh1.Action = 1 ' อ่าน Port 309H
Heigh = PrtCh1.Data ' กำหนดตัวแปร = ค่าที่อ่านได้
```

' นำค่าที่อ่านได้มาแปลงเป็นเลขฐาน 10

```
If Loww < 16 Then
    Hexi = Hex(Heigh) & (0 & Hex(Loww))
Else
    Hexi = Hex(Heigh) & Hex(Loww)
End If
CurrentNum = Val("&h" & Trim$(Hexi) & "&")
Disp = (Format$(CurrentNum)) * (1200 / 4096) ' แสดงค่าที่อ่านจาก port
TxtCh1.Text = Disp ' ให้ TxtCh1 แสดงค่าตัวแปร Disp
```

ตัวแปร Disp จะมีการคูณด้วยค่า (1200/4096) ซึ่งมาจากค่าอุณหภูมิสูงสุด 1200 องศาเซลเซียสหารด้วยค่าระดับการแปลงสัญญาณของไอซีเอชทูดี 12 บิตซึ่งมีทั้งหมด 4096 ระดับดังนั้นค่าไออาร์ทีพุดจึงสามารถแสดงเป็นค่าอุณหภูมิจริงได้

- คอนโทรล PnCh1 เป็นคอนโทรลสำคัญที่ใช้ในการติดต่อกับพอร์ทดาว์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ทีละ 8 หรือ 16 บิตโดยขีดที่ค่าพอร์ตบิต Bits เช่น "PnCh1.Bits = 8" หมายถึงกำหนดให้คอนโทรล PnCh1 อ่านหรือเขียนค่าที่พอร์ตครั้งละ 8 บิตเป็นต้นนอกจากนี้ยังมีพอร์ตบิตอื่น ๆ ในการทำงานอีกได้แก่

Port ซึ่งใช้กำหนดหมายเลขพอร์ตที่จะอ่านหรือเขียนเป็นเลขฐาน 10 ตั้งแต่หมายเลข 0 - 65535

Data ซึ่งจะใช้รับหรือส่งข้อมูลที่อ่านได้จากพอร์ตที่กำหนด

Action กำหนดให้คอนโทรลทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลโดยถ้า Action = 1 หมายถึงการอ่านค่าจากพอร์ต และ Action = 2 หมายถึงการเขียนค่าออกพอร์ต

- คอนโทรล Time1 ใช้ในการควบคุมคาบเวลาเพื่อปรับปรุงการแสดงผลค่าอุณหภูมิ, กราฟ และการประมวลผลฟลัสซีลอคจิกโดยการควบคุมพอร์ตบิต Interval เช่น "Time1.Interval = 2" หมายถึงกำหนดให้คาบเวลาที่ทำการหน่วงเวลามีค่าเท่ากับ 2 วินาทีเป็นต้น

- คอนโทรล GueCh1 เป็นการแสดงผลค่าเอาท์พุทที่ส่งออกไปควบคุมวงจรควบคุมเตาอบมีค่าตั้งแต่ 0 - 255 ฐาน 10 ซึ่งจะแสดงผลเป็นกราฟแท่งสีต่าง ๆ กันตามค่าที่แสดงโดยถ้าค่าเท่ากับ 255 จะมีสีแดงถ้าสูงกว่า 127 แต่ไม่ถึง 255 จะมีสีน้ำเงินถ้าต่ำกว่า 127 จะเป็นสีเขียวโดยการกำหนดในโปรแกรมดังนี้

```
If OUT = 255 Then
```

```
    GueCh1.ForeCclor = &HFF      'กำหนดให้ GueCh1 มีสีแดงถ้าตัวแปร OUT มีค่าเท่ากับ 255
```

```
Elsif OUT <= 127 Then
```

```
    GueCh1.ForeCclor = &H80F80    'กำหนดให้ GueCh1 มีสีน้ำเงินถ้าตัวแปร OUT มีค่าน้อยกว่า 127
```

```
End If
```

- คอนโทรล LbeTime ใช้แสดงชื่อไฟล์รูปภาพที่จะเก็บโดยมีรูปแบบ CH_Time.BMP เช่น 1_12_30.BMP หมายถึงรูปของช่องสัญญาณที่ 1 เก็บเมื่อเวลา 12:30 น. ซึ่งเก็บในฟอร์แมท BMP เป็นต้น

- คอนโทรล LbeDate จะแสดงวันเวลาปัจจุบันในรูปแบบ mm/dd/yy hh/mm/ss คือ เดือน/วันที่/ปี ชั่วโมง/นาฬิกา/วินาที

- คอนโทรล Gue_Ch1 เป็นคอนโทรลแกนเวดจ์แสดงผลระดับอุณหภูมิที่วัดได้ซึ่งจะมีสเกลเท่ากับกราฟที่ใช้แสดงผล (คอนโทรล GphCh1) ซึ่งสีที่แสดงจะมีค่าเหมือนกับคอนโทรล TxtCh1 ดังนี้

```
If Ch1 < Disp Then
```

```
    txtCh1.ForeColor = &HFF&      'กำหนดTxtCh1ให้มีสีแดงเมื่ออุณหภูมิมากกว่า SET POPINT
```

```
    Gue_Ch1.ForeColor = &HFF&      'กำหนดGue_Ch1ให้มีสีแดงเมื่ออุณหภูมิมากกว่า SET POPINT
```

```
Elsif Disp = Ch1 Then
```

```
    txtCh1.ForeColor = &HFF00FF    'กำหนด TxtCh1 ให้มีชมพูเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ SET POPINT
```

```
Gue_Ch1.ForeColor = &HFF00FF 'กำหนดGue_Ch1ให้มีชมพูเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ SET POPINT
```

```
Else:
```

```
txtCh1.ForeColor = &HFF0000 'กำหนด TxtCh1ให้มีสีน้ำเงินเมื่ออุณหภูมิน้อยกว่า SET POPINT
```

```
Gue_Ch1.ForeColor = &HFF0000 'กำหนดGue_Ch1ให้มีน้ำเงินเมื่ออุณหภูมิน้อยกว่า SET POPINT
```

```
End If
```

- คอนโทรล CmdCh1 เป็นปุ่มคำสั่งที่ใช้ในการเริ่มทำงานโดยใช้พรอบเพอร์ติ Caption แสดงตัวหนังสือบนปุ่มเป็น Start และ Stop เมื่อยังไม่ได้เริ่มทำงานจะมี Caption เป็น Start และจะเปลี่ยนเป็น Stop หลังจากเริ่มทำงานซึ่งจะอยู่ในโพรซีเยอร์ย่อยมีการตอบสนองคำสั่งต่าง ๆ ดังนี้

```
Private Sub Cmdch1_Click()
```

```
Select Case Runch1
```

```
Case False
```

```
Runch1 = True
```

```
cmdch1.Caption = '&Close'
```

```
txt1.Enabled = False
```

```
Ch1 = InputBox("โปรดตั้งค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)", "ช่องสัญญาณที่ 1", 300)
```

```
' นำค่าที่ได้จาก input box มาแสดงที่ text box
```

```
If Ch1 = Cancel Then
```

```
txt1.Text = ""
```

```
cmdch1.Caption = '&Close'
```

```
cmdch1.Value = False
```

```
GoTo line1:
```

```
Elseif Ch1 <= 20 Then
```

```
'ส่งข้อความเตือน
```

```
MsgBox 'คุณไม่สามารถตั้งอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส', 16, 'โปรแกรมพบข้อผิดพลาด'
```

```
txt1.Text = ""
```

```
cmdch1.Caption = '&Close'
```

```
cmdch1.Value = False
```

```
GoTo line2:
```

```
Elseif Ch1 < 1000 Then
```

```
' Run Program+fuzzylogic & plot graph
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

txt1.Enabled = True
Time1.Interval = 3000 'set interval
txt1.ForeColor = &HC0 'กำหนดสีแดงให้ text box
txt1.Text = Ch1 'กำหนดค่าที่ text box
Lbport.Caption = Ch1
gphch1.Cls
gphch1.CurrentX = 0
gphch1.CurrentY = 100
Xb = 0
Ya = 1500
X = 0
X1 = 0
Delay
'Delay1
Elseif Ch1 > 1200 Then
'ส่งข้อความเตือน
MsgBox 'คุณไม่สามารถตั้งอุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส', 16, 'โปรแกรมพบข้อผิดพลาด'

txt1.Text = ""
cmdch1.Caption = '&Close'
cmdch1.Value = False
GoTo line2:
End If

```

Case True.

line1:

```

Runch1 = False
cmdch1.Caption = '&Start'
Time1.Enabled = False
txt1.Text = "" 'clear text box
Unload FrmCh1
FrmCh1.Show
Xa = 0
Ya = 0

```

```
Xb = 0
```

```
Yb = 0
```

```
Exit Sub
```

```
line2:
```

```
Runch1 = False
```

```
cmdch1.Caption = '&Start'
```

```
Time1.Enabled = False
```

```
txt1.Text = "" 'clear text box
```

```
Unload FrmCh1
```

```
FrmCh1.Show
```

```
Xa = 0
```

```
Ya = 0
```

```
Xb = 0
```

```
Yb = 0
```

```
Cmdch1_Click
```

```
Exit Sub
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

โดยเมื่อกดปุ่ม Start จะแสดงอินพุตบ็อกซ์ให้ทำการตั้งค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 20 -1200 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 5.20

—| ≡ | ช่องสัญญาณที่ 1

โปรดตั้งอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

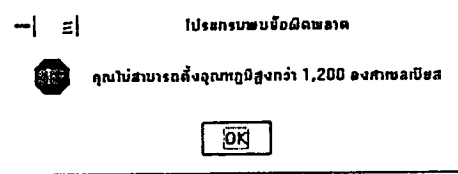
300

OK

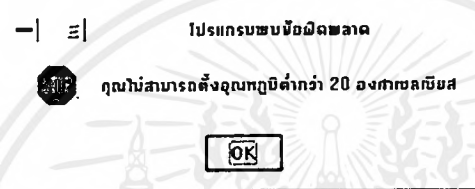
Cancel

รูปที่ 5.20 แสดงอินพุตบ็อกซ์ซึ่งมีค่าตายตัว (Default) 300 องศาเซลเซียส

ซึ่งถ้าเลือกค่าที่อยู่ในย่านดังกล่าวโปรแกรมจะทำงานต่อเก็บค่าและประมวลผลอุณหภูมิต่อไป แต่ถ้าเกิดอุณหภูมิไม่อยู่ในย่าน (มากกว่า 1200 หรือ น้อยกว่า 20 องศาเซลเซียส) จะมีบ็อกซ์ข้อความดังนี้ปรากฏ



และ



รูปที่ 5.21 แสดงบ็อกซ์ข้อความเมื่อมีการตั้งอุณหภูมินอกย่านที่กำหนด

- คอนโทรล ImgOut ทำหน้าที่ปิดฟอร์ม FrmCh1 หยุดการทำงานและควบคุมเตาอบอยู่ในโปรแกรมย่อยมีการตอบสนองการทำงานดังนี้

```
Private Sub ImgOut_Click()
PrtCh1.Data = 0 ' กำหนดค่า 0 ให้กับ PrtCh1
PrtCh1.Action = 2 ' เขียนออก Port
Unload FrmCh1 ' ปิดฟอร์ม FrmCh1
End Sub
```

- คอนโทรล CmdOpt หรือปุ่ม Option ใช้สำหรับตั้งค่าเวลาที่จะเก็บค่าลงในกราฟโดยจะแสดงอินพุตบ็อกซ์ให้ตั้งค่าง่ายๆ

ช่องสัญญาณที่ 1

โปรดตั้งเวลาที่จะบันทึกค่า (นาทีก)

5

OK

Cancel

รูปที่ 5.22 แสดงอินพุตบ็อกซ์รับค่าเวลาที่จะบันทึกกราฟมีค่าตายตัวเท่ากับ 5 นาที ซึ่งอยู่ในโปรแกรมย่อยตอบสนองการทำงานดังนี้

```
Private Sub CmdOpt_Click()
Opt = Lbe1.Caption
Opt = InputBox("โปรดตั้งเวลาที่จะบันทึกค่า (นาทีก)", "ช่องสัญญาณที่ 1", 5)
If Opt = "" Then
Opt = Lbe1.Caption
Elseif Opt < 0.2 Then
MsgBox "ไม่สามารถตั้งค่าต่ำกว่านี้ได้, 16, ห้ามตั้งค่าต่ำ"
CmdOpt_Click
Elseif Opt >= 0.2 Then Opt = Lbe1.Caption
Opt = InputBox("โปรดตั้งเวลาที่จะบันทึกค่า (นาทีก)", "ช่องสัญญาณที่ 1", 5)
Lbe1.Caption = Opt
Lbe2.Caption = 2 * Opt
Lbe3.Caption = 3 * Opt
Lbe4.Caption = 4 * Opt
Lbe5.Caption = 5 * Opt
```

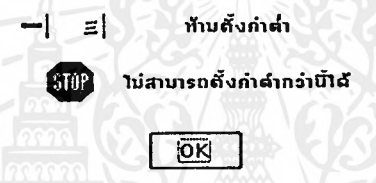
```

Lbe6.Caption = 6 * Opt
Lbe7.Caption = 7 * Opt
Lbe8.Caption = 8 * Opt
Lbe9.Caption = 9 * Opt
Lbe10.Caption = 10 * Opt
Lbe11.Caption = 11 * Opt
Lbe12.Caption = 12 * Opt

```

End Sub

ซึ่งค่าของตัวแปร Opt ไม่สามารถตั้งค่าต่ำกว่า 0.2 วินาทีต่อ 1 ช่องเวลา ถ้าตั้งค่าต่ำกว่านี้จะมีบ็อกซ์ข้อความดังนี้



รูปที่ 5.23 แสดงบ็อกซ์ข้อความเตือนการตั้งค่าต่ำกว่าขอบเขต

- คอนโทรล TxtSet ใช้ในการแสดงค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ตั้งกับค่าอุณหภูมิจริงดังนี้

```

Set_P = (Ch1 - txtCh1.Text)   'ให้ตัวแปร Set_p เท่ากับค่า ตัวแปร Ch1 - ข้อความที่ TxtCh1
TxtSet.Text = Set_P          ' ให้ตัวแปร Set_P แสดงค่าที่คอนโทรล TxtSet

```

คอนโทรล TxtDe ใช้แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่วัดได้

```

DE = (Disp - Temp)          'ให้ตัวแปร DE เท่ากับค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
TxtDe.Text = DE             ' ให้ตัวแปร DE แสดงค่าที่คอนโทรล TxtDe

```

- คอนโทรล TxtOut ใช้แสดงค่าเอาต์พุตที่ส่งไปควบคุมวงจรควบคุมเตาอบที่ได้มาจากการประมวลผลที่เสร็จลจจิก

- คอนโทรล TxtCh ใช้แสดงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ตอนที่ทำการรันโปรแกรม

- คอนโทรล GphCh1 เป็นคอนโทรล Picture ที่ใช้พล็อตกราฟค่าของอุณหภูมิที่วัดได้สัมพันธ์กับเวลาที่เก็บและสามารถเก็บบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล BMP เมื่อกราฟรันครบ 120 ค่าโดยอัตโนมัติซึ่งมีโปรแกรมในการสร้างกราฟดังนี้

| | |
|--|--|
| gphCh1.ScaleHeight = 1200 | ' กำหนดค่าสเกลความสูง |
| gphCh1.ScaleWidth = 120 | ' กำหนดค่าสเกลความกว้าง |
| Yb = Val(1200 - txtCh1.Text) | ' กำหนดตัวแปร Yb เท่ากับค่า 1200 - ค่าที่คอนโทรล TxtCh1 |
| gphCh1.AutoRedraw = True | ' ให้คอนโทรล GphCh1 สามารถวาดภาพลงไปได้ |
| gphCh1.Line (Xb, Yb)-(Xa, Ya), QBColor(12) | ' วาดเส้นลงบนคอนโทรล GphCh1 ตามตำแหน่งต่าง ๆ |
| Xb = (Xb + 1) | ' เพิ่มค่าให้ตัวแปร Xb 1 ค่า |
| Xa = Xb - 1 | ' ลดค่าตัวแปร Xa 1 ค่า |
| Ya = Yb | ' ให้ตัวแปร Ya = Yb |
| If Xa = 120 Then | ' เมื่อค่า Xa = 120 ให้ทำคำสั่งต่อไปนี้ |
| Xa = 0 | ' เคลียร์ค่า Xa |
| Xb = 0 | ' เคลียร์ค่า Xb |
| Ya = 1200 | ' ตั้งค่า Ya = 1200 |
| X = 0 | ' เคลียร์ค่า X |
| X1 = 0 | ' เคลียร์ค่า X1 |
| gphCh1.AutoRedraw = True | ' ให้คอนโทรล GphCh1 สามารถวาดภาพลงไปได้ |
| SavePicture gphCh1.Image, Pri | ' เก็บไฟล์ที่อยู่ในคอนโทรล GphCh1 ให้มีชื่อตามตัวแปร Pri |
| gphCh1.Cls | ' เคลียร์กราฟคอนโทรล GphCh1 |
| Beep | ' ส่งเสียงเมื่อนับถึง 120 ค่า |

การเขียนโปรแกรมประมวลผลฟัซซี่ลอจิก

ในการเขียนโปรแกรมประมวลผลสัญญาณอุณหภูมิที่วัดได้กับค่าเซตพอยท์ที่ตั้งไว้เพื่อทำการควบคุมค่าอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการนั้นจะต้องพิจารณาร่วมกับบทที่ 4 เรื่องของฟัซซี่ลอจิกที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยขั้นแรกจะทำการหาค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรแต่ละตัวก่อนเริ่มจากตัวแปร DE ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งหาได้จากค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในปัจจุบันลบค่าที่วัดได้ก่อนหน้า 1 คำนำค่าจากตัวแปร DE ที่ได้มาหาค่าความเป็นสมาชิกจากกราฟรูปที่ 4.5 โดยใช้กฎของสามเหลี่ยมซึ่งเรารู้ค่าแกนนอนและด้าน 1 ด้านเขียนเงื่อนไขที่ทำให้ได้ค่าที่เป็นจริงโดยเก็บอยู่ใน Private Sub Procedure ที่ชื่อว่า Fuzzy_Logic_Process

นอกจากตัวแปร DE ที่นำมาใช้ในการหาค่าความเป็นสมาชิกยังมีอินพุตในการประมวลผลฟัซซี่อีกตัวหนึ่งคือตัวแปร Set_P ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ลบด้วยค่าอุณหภูมิปัจจุบันนำมาหาค่าความเป็นสมาชิกตามกราฟรูปที่ 4.4 ซึ่งอยู่ใน Private Sub Procedure เดียวกันนี้

```
Private Sub Fuzzy_Logic_Process()
' Change Of Temperature input ;DE
' Negative
If DE <= 0 Then
    If DE < -3 Then
        LN = 1
    ElseIf DE >= -3 And DE <= 0 Then
        LN = (DE / -3)
    End If
Else: LN = 0
End If
' Zero
If DE >= -3 And DE <= 3 Then
    If DE >= -3 And DE <= 0 Then
        ZE = 1 - (DE / -3)
    ElseIf DE >= 0 And DE <= 3 Then
        ZE = 1 - (DE / 3)
    ElseIf DE > 3 Then
        ZE = 0
    End If
Else: ZE = 0
End If
```

' Small Positive ; SP

If DE \geq 0 And DE \leq 8 Then

If DE \leq 4 And 0 \leq DE Then

$$SP = (DE / 4)$$

Elseif DE $>$ 4 And DE \leq 8 Then

$$SP = 1 - ((DE - 4) / 4)$$

End If

Else

$$SP = 0$$

End If

' Lage Positive ; LP

If DE \geq 5 And DE \leq 11 Then

If DE \leq 8 And 5 \leq DE Then

$$LP = ((DE - 5) / 3)$$

Elseif DE \geq 8 And DE $<$ 11 Then

$$LP = 1 - ((DE - 8) / 3)$$

End If

If DE $>$ 11 Then

$$LP = 0$$

End If

Else: LP = 0

End If

' Very Large Positive

If DE \geq 8 Then

If DE $>$ 11 Then

$$VLP = 1$$

Elseif DE \geq 8 And DE \leq 11 Then

$$VLP = ((DE - 8) / 3)$$

End If

Else: VLP = 0

End If

'Error Between Setpoint and Temperature

' NEGATIVE

```

If Set_P <= 0 Then
  If Set_P <= -8 Then
    Neg = 1
  Elseif Set_P <= 0 And Set_P > -8 Then
    Neg = 1 - ((Set_P + 8) / 8)
  End If
' Set_P = Neg
Else: Neg = 0
End If
' ZERO
If Set_P >= -8 And Set_P <= 6 Then
  If Set_P <= 0 And Set_P >= -8 Then
    Zero = 1 - (Set_P / -8)
  Elseif Set_P > 0 And 6 >= Set_P Then
    Zero = 1 - (Set_P / 6)
  End If
Else: Zero = 0
End If
' Small POSITIVE ; SM
If Set_P >= 0 And Set_P < 12 Then
  If Set_P >= 0 And 6 > Set_P Then
    Pos = (Set_P / 6)
  Elseif Set_P >= 6 And 12 > Set_P Then
    Pos = 1 - (Set_P - 6) / 6
  End If
Else: Pos = 0
End If
' LARGE ERROR POSITIVE ; LEP
If Set_P > 6 Then
  If Set_P > 12 Then
    LEP = 1
  Elseif Set_P > 6 And Set_P <= 12 Then
    LEP = ((Set_P - 6) / 6)

```

```

End If
Else: LEP = 0
End If
End Sub

```

เมื่อนำค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรทั้งสองได้แล้วก็นำมาเข้ากฎและให้ค่าน้ำหนักตามตารางที่ 4.2 โดยตามกฎของฟัซซี่ลอจิกจะเป็นการนำค่าตัวแปรที่มีค่าความเป็นสมานน้อยกว่ามาใช้จึงต้องเขียนเงื่อนไขเพื่อนำค่าตัวแปรที่น้อยกว่าไปใช้ในการรวมผลค่าเอาท์พุตและให้ค่าน้ำหนัก

เงื่อนไขการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของอินพุตทั้งสองตามกฎจากตารางที่ 4.2 จะอยู่ใน Private Sub Procedure Rule และเก็บค่าที่เปรียบเทียบไว้ในตัวแปรต่าง ๆ กัน

```

Private Sub Rule()
'RULE BASE
If Neg < LN Then ' กำหนดเงื่อนไข ถ้าตัวแปร Neg น้อยกว่าตัวแปร LN เป็นจริง ดังนั้น
    OFF1 = Neg ' ให้ตัวแปร Off1 = ตัวแปร Neg
Else: OFF1 = LN ' ถ้าตัวแปร Neg น้อยกว่าตัวแปร LN เป็นเท็จ ดังนั้น ให้ตัวแปร Off1 = ตัวแปร LN
End If ' จบเงื่อนไข
If Neg < ZE Then
    OFF2 = Neg
Else: OFF2 = ZE
End If
If Neg < SP Then
    OFF3 = Neg
Else: OFF3 = SP
End If
If Neg < LP Then
    OFF4 = Neg
Else: OFF4 = LP
End If
If Neg < VLP Then
    OFF5 = Neg
Else: OFF5 = VLP
End If

```

.....
 If Zero < LN Then

 OFF6 = Zero

Else: OFF6 = LN

End If

If Zero < ZE Then

 OFF7 = Zero

Else: OFF7 = ZE

End If

If Zero < SP Then

 OFF8 = Zero

Else: OFF8 = SP

End If

If Zero < LP Then

 OFF9 = Zero

Else: OFF9 = LP

End If

If Zero < VLP Then

 OFF10 = Zero

Else: OFF10 = Zero

End If

.....
 If Pos < LN Then

 ON11 = Pos

Else: ON11 = LN

End If

If Pos < ZE Then

 ON12 = Pos

Else: ON12 = ZE

End If

If Pos < SP Then

 ON13 = Pos

Else: ON13 = SP



```

End If
If Pos < LP Then
    ON14 = Pos
Else: ON14 = LP
End If
If Pos < VLP Then
    ON15 = Pos
Else: ON15 = VLP
End If
.....
If LEP < SP Then
    ON16 = LEP
Else: ON16 = SP
End If
If LEP < LP Then
    ON17 = LEP
Else: ON17 = LP
End If
If LEP < VLP Then
    ON18 = LEP
Else: ON18 = VLP
End If
If LEP < LN Then
    ON19 = LEP
Else: ON19 = LN
End If
If LEP < ZE Then
    ON20 = LEP
Else: ON20 = ZE
End If
End Sub

```



เมื่อได้ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่มีค่าน้อยกว่าแล้วจะนำค่าดังกล่าวไปหาค่ารวมเก็บไว้ในตัวแปร TOTOFF และ TOTON จากนั้นนำค่าตัวแปร OFF และ ON ที่ได้มาจากการเข้ากฎมาทำการใส่ค่าน้ำหนักเฉลี่ยตามตารางที่ 4.2 จากนั้นนำไปเข้าสู่ศรหาค่าศูนย์ถ่วงของค่าเอาต์พุตที่จะนำไปควบคุมต่อไป

Private Sub OUTPUT()

'SUMMATION OF ON AND OFF

TOTOFF = OFF1 + OFF2 + OFF3 + OFF4 + OFF5 + OFF6 + OFF7 + OFF8 + OFF9 + OFF10

TOTON = ON11 + ON12 + ON13 + ON14 + ON15 + ON16 + ON17 + ON18 + ON19 + ON20

'CENTRODE OF OUTPUT

'WIEGHT OF RULE_ AND ON

Rule_1 = OFF1 * 0

Rule_2 = OFF2 * 0

Rule_3 = OFF3 * 0

Rule_4 = OFF4 * 0

Rule_5 = OFF5 * 0

Rule_6 = OFF6 * 4

Rule_7 = OFF7 * 8

Rule_8 = OFF8 * 0

Rule_9 = OFF9 * 8

Rule_10 = OFF10 * 4

Rule_11 = ON11 * 128

Rule_12 = ON12 * 128

Rule_13 = ON13 * 128

Rule_14 = ON14 * 128

Rule_15 = ON15 * 128

Rule_16 = ON16 * 255

Rule_17 = ON17 * 255

Rule_18 = ON18 * 255

Rule_19 = ON19 * 255

Rule_20 = ON20 * 255

CT = (Rule_1 + Rule_2 + Rule_3 + Rule_4 + Rule_5 + Rule_6 + Rule_7 + Rule_8 + Rule_9 +
Rule_10 + Rule_11 + Rule_12 + Rule_13 + Rule_14 + Rule_15 + Rule_16 + Rule_17 +
Rule_18 + Rule_19 + Rule_20)

```

OUT = CT / (TOTOFF + TOTON) ' ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการหาค่าจุดศูนย์ถ่วง
'ส่งค่าควบคุม PORT
PrtCh1.Bits = 8 ' กำหนดจำนวนบิต
PrtCh1.Port = 769 ' กำหนด Port #301H
PrtCh1.Data = OUT ' กำหนดค่าที่จะส่งออก Port
PrtCh1.Action = 2 ' ส่งค่าออก Port
If OUT = 255 Then
    GueCh1.ForeColor = &HFF
Elseif OUT <= 127 Then
    GueCh1.ForeColor = &H80FF80
End If
GueCh1.Value = OUT ' แสดงค่า OUT PUT ที่แถว 1
End Sub

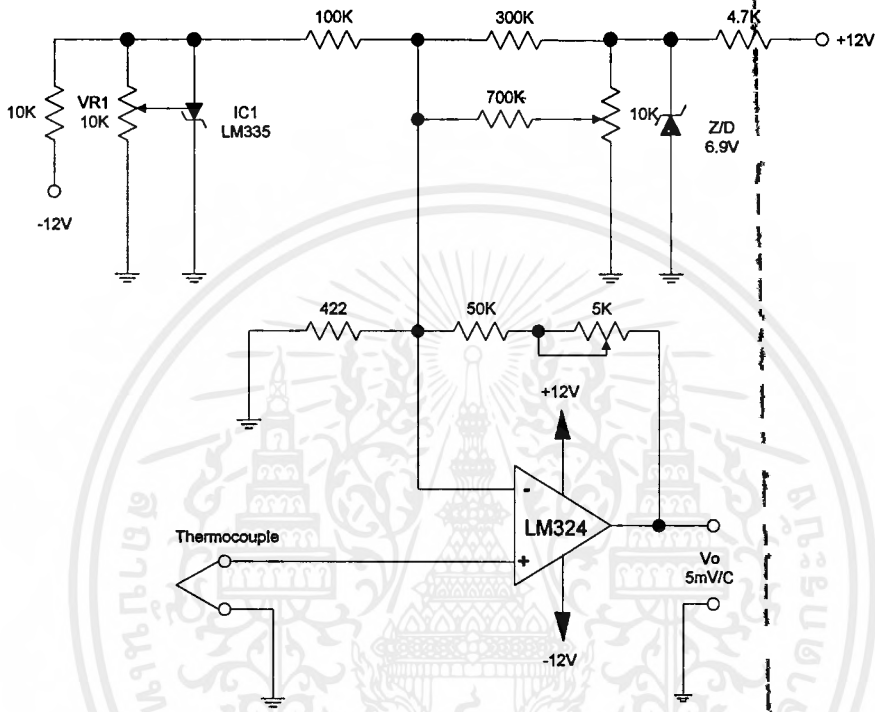
```



บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 การทดลองของวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 6.1 แสดงวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลและวงจรชดเชยอุณหภูมิ

วิธีการทดลอง

1. ต่อดังรูปที่ 6.1
2. นำเทอร์โมคัปเปิลไปวัดอุณหภูมิภายในเตาอบ ซึ่งมีเรทราบค่าอุณหภูมิว่ามีค่าเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส
3. ทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิลก่อนโดยทำการปรับค่า VR₁ 5K ให้ได้ค่าความต้านทานประมาณเท่ากับ 103 Kโอห์ม เพื่อให้ได้อัตราขยายเท่ากับ 122.85 ดังที่อธิบายไปแล้ว
4. ทำการช้อตขา Noninverting ของออปแอมป์เบอร์ LM324 และ เอาต์พุตของ LM329 กับกราวด์
5. ปรับค่า VR₁ ให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 2.982 โวลต์ ซึ่งขณะนั้นมีอุณหภูมิห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
6. ทำการเปิดจุดที่ทำกรช้อตที่เอาต์พุตของ LM329 และปรับค่าความต้านทาน 10 K จนมีค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 246 mV ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

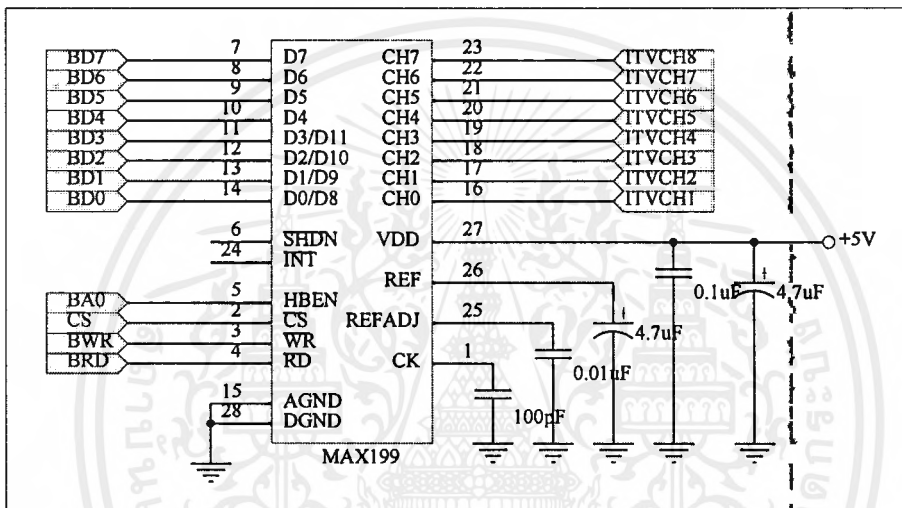
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปลอดภัยที่ทำการซื้อตออกแล้ว ทำการวัดค่าแรงดัน บนที่ผลการทดลองที่ได้

ผลการทดลอง

| อุณหภูมิที่วัด | แรงดันที่วัดได้ |
|------------------|-----------------|
| 100 องศาเซลเซียส | 0.5 โวลต์ |

6.2 การทดลองของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล

วิธีการทดลอง

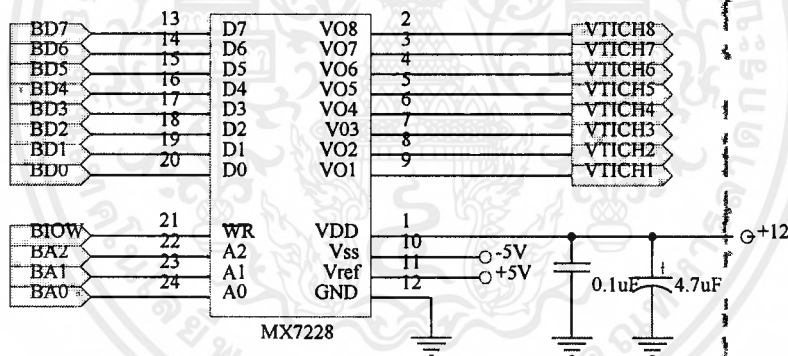
1. ต่ วงจรดังรูปที่ 6.2
2. ป้อนสัญญาณการเลือกใช้ไอซีที่ขา CS เป็น low
3. ป้อนข้อมูลเข้าที่ขา BA0-BA7 เป็น 51H เพื่อทำการ initial ไอซี พร้อมกับส่งสัญญาณ WR เป็น low และ RD เป็น high
4. ป้อนแรงดันเข้าที่ขา CH0 ลองปรับเปลี่ยนค่าแรงดันดู
5. ส่งสัญญาณให้ที่ขา WR เป็น high และ RD เป็น low กับสัญญาณที่ขา HBEN เป็น low สังเกตผลการทดลอง
6. ส่งสัญญาณให้ที่ขา WR เป็น high และ RD เป็น low กับสัญญาณที่ขา HBEN เป็น high สังเกตผลการทดลอง
7. ลองปรับเปลี่ยนช่องสัญญาณโดยป้อนข้อมูลที่ขา BA0-BA7 ตามตารางที่ 3.5 โดยทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 3-6

ผลการทดลอง

วัดเซนแนลที่ 1

| แรงดันที่ทำการป้อน | สัญญาณที่ขาPOL | สัญญาณที่ขาOR | B12B11B10B9B8B7B6B5B4B3B2B1 |
|--------------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0000 0000 0000 |
| 0.5 | 1 | 0 | 0001 111 0100 |
| 1.5 | 1 | 0 | 0101 1101 1100 |
| 2.5 | 1 | 0 | 1001 1100 0100 |
| 3.5 | 1 | 0 | 1101 1010 1100 |
| 4.5 | 1 | 1 | 0001 1001 0100 |

6.3 การทดลองของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นอนาลอก



รูปที่ 6.3 แสดงวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นอนาลอก

วิธีการทดลอง

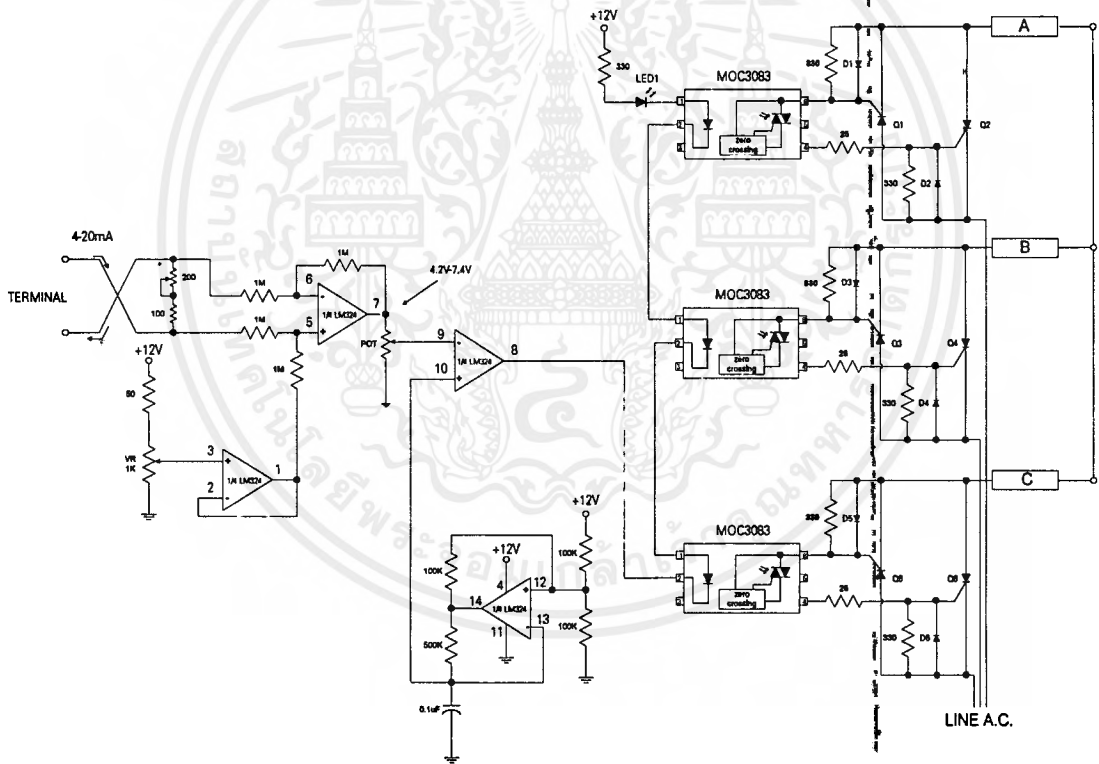
1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 6.3
2. ป้อนข้อมูล 0H เข้าที่ขา BA0-BA2 เพื่อเลือกเซนแนลที่ 0
3. ป้อนข้อมูลต่างๆ ให้กับขา BA0-BA7 พร้อมกับป้อนขา WR เป็น low สังเกตผลการทดลอง
4. ทำการปรับเปลี่ยนเซนแนลของเอาต์พุต โดยการป้อนค่ารหัสตามตารางที่ 3.1 แล้วทำซ้ำตามข้อ

2-3

ผลการทดลอง

| ข้อมูลที่ป้อนให้ | | | | | | | | ระดับแรงดันที่เอาต์พุต |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|
| A8 | A7 | A6 | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3.3 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.4 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |

6.4 การทดลองของวงจรควบคุม



รูปที่ 6.4 แสดงวงจรการควบคุม

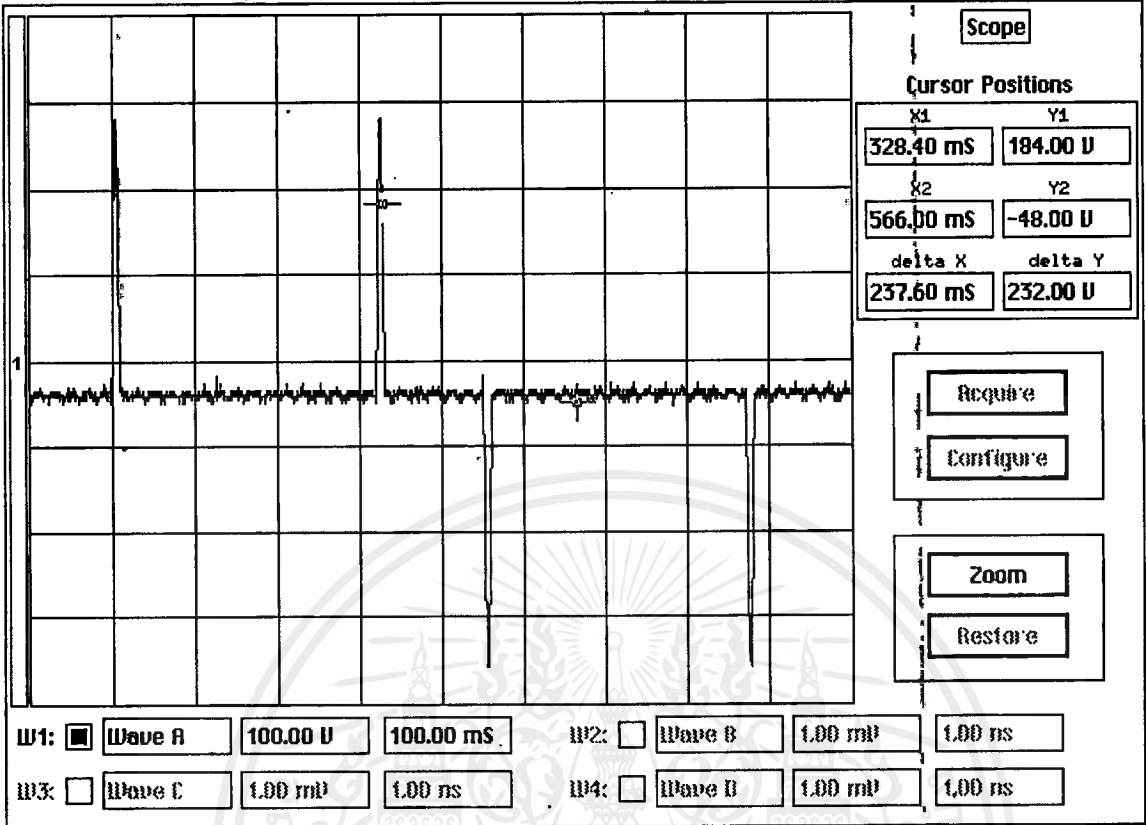
วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูป 6.4
2. ทดลองป้อนกระแสที่ระดับต่างๆ กันให้กับอินพุตของวงจร แล้วสังเกตผลการทดลองจากสโคปดังนี้

ผลการทดลอง

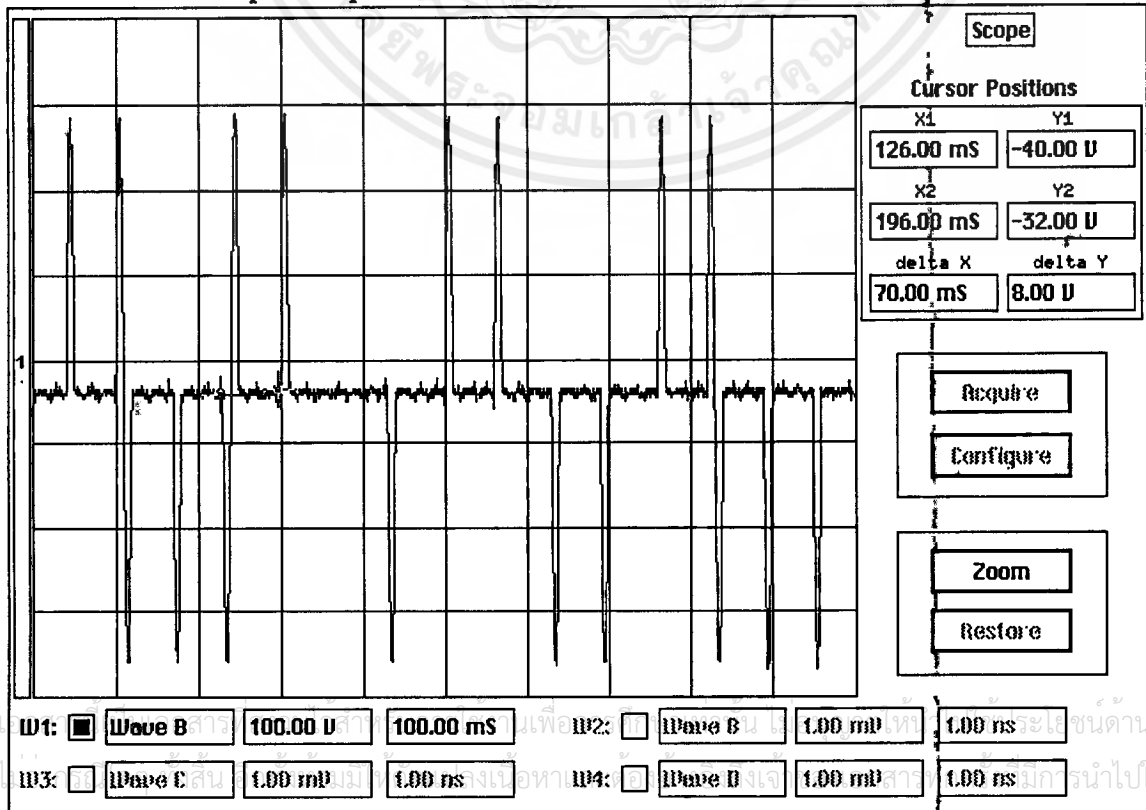
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File Edit Scope Help



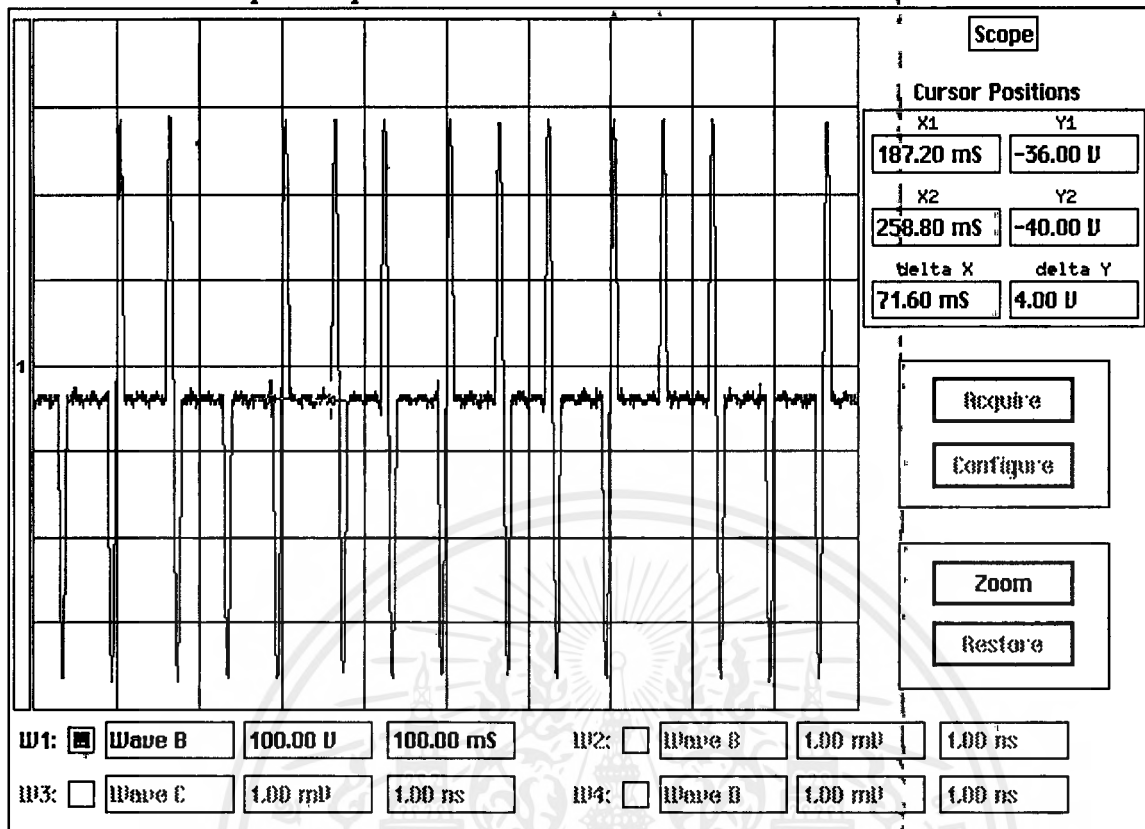
INPUT 8 mA

File Edit Scope Help



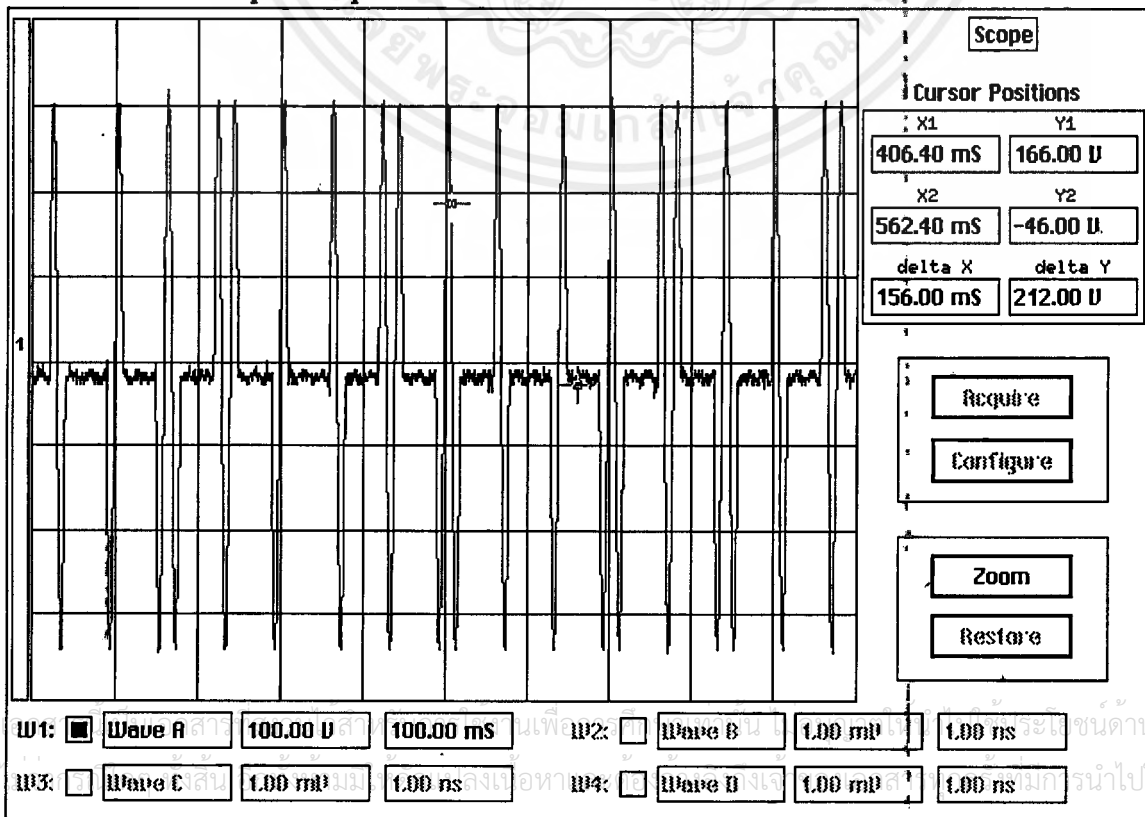
INPUT 10 mA

File Edit Scope Help



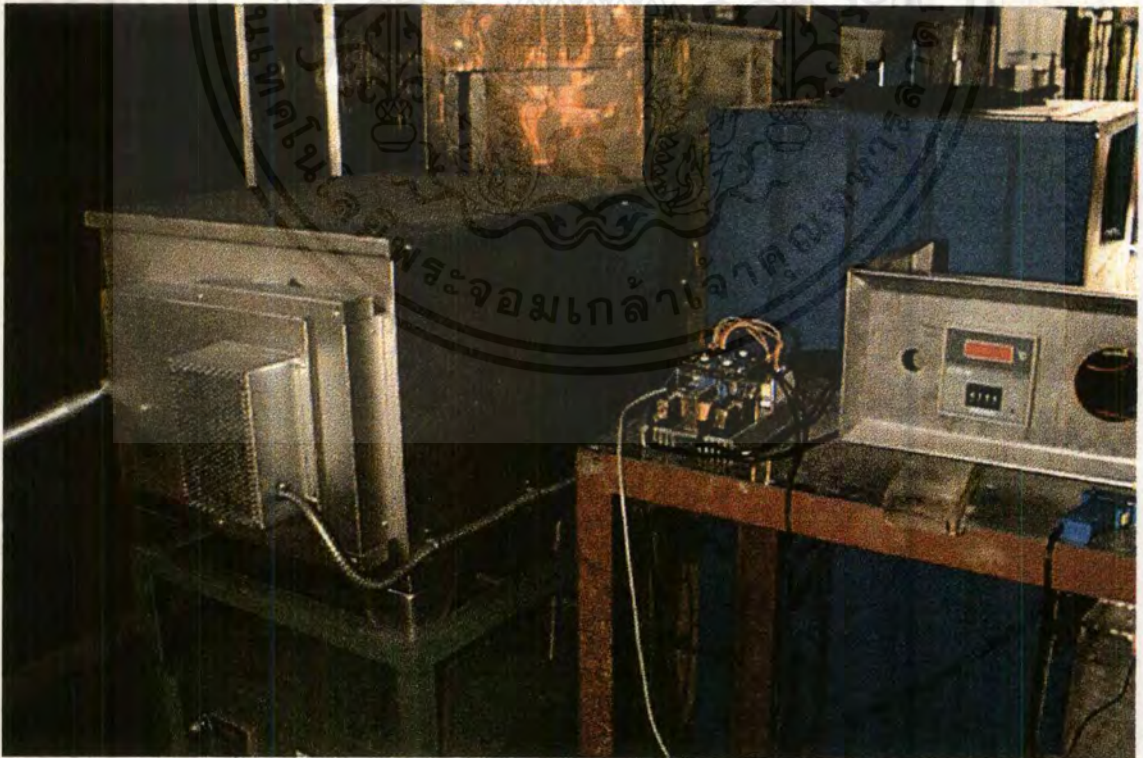
INPUT 12 mA

File Edit Scope Help



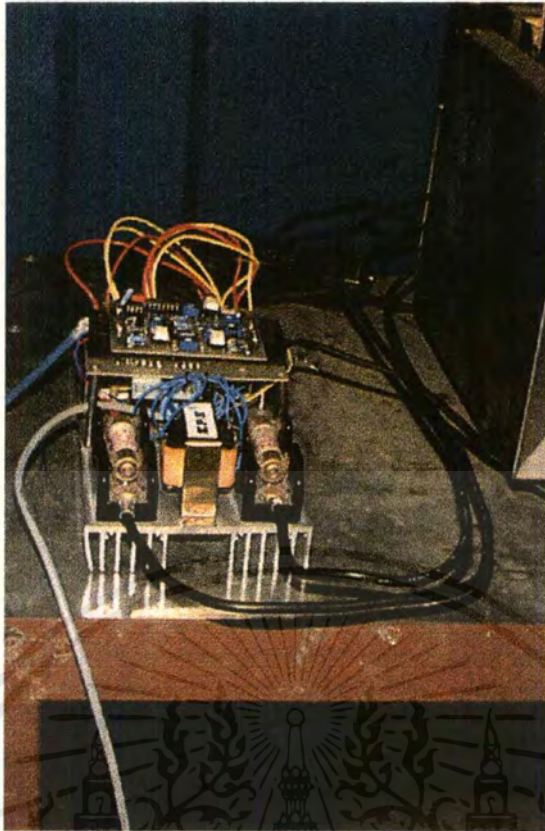


รูปที่ 6.5 แสดงการต่อวงจรใช้งานจริง

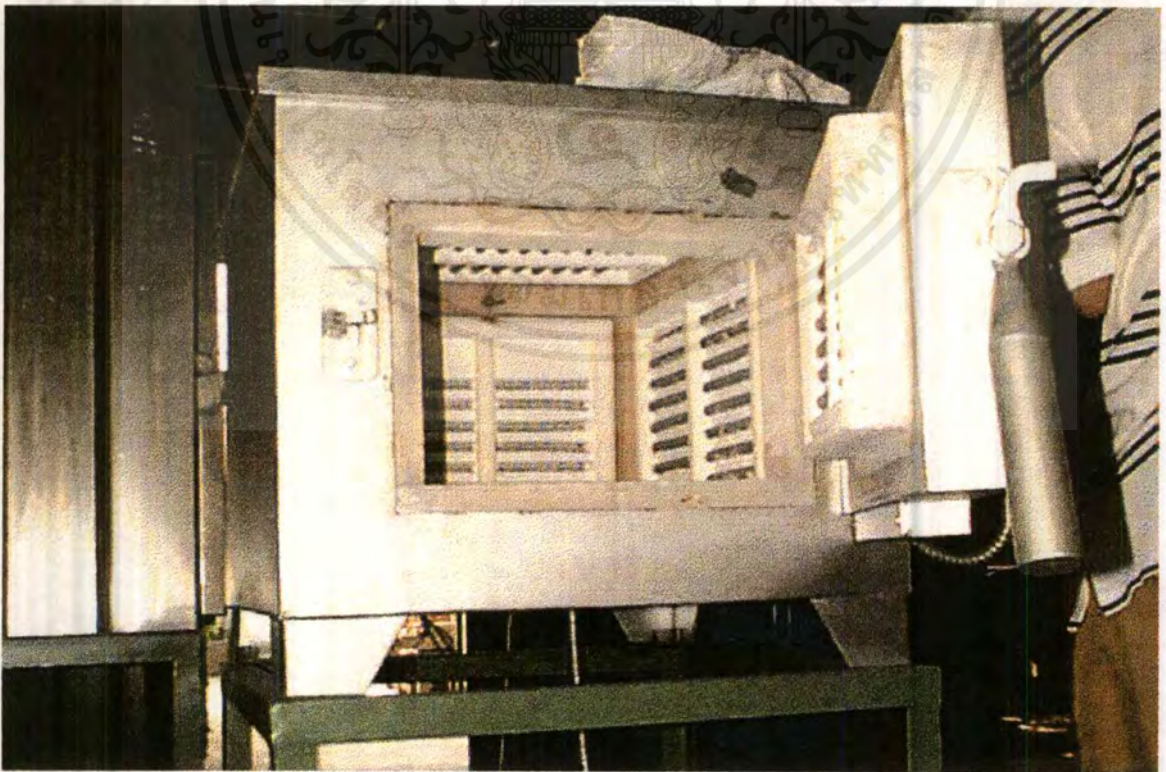


รูปที่ 6.6 แสดงวงจรควบคุมความร้อนกับเตาอบในขณะที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้



รูปที่ 6.7 แสดงการต่อวงจรควบคุมความร้อนของเตาอบ



รูปที่ 6.8 แสดงสภาพภายในของเตาอบ

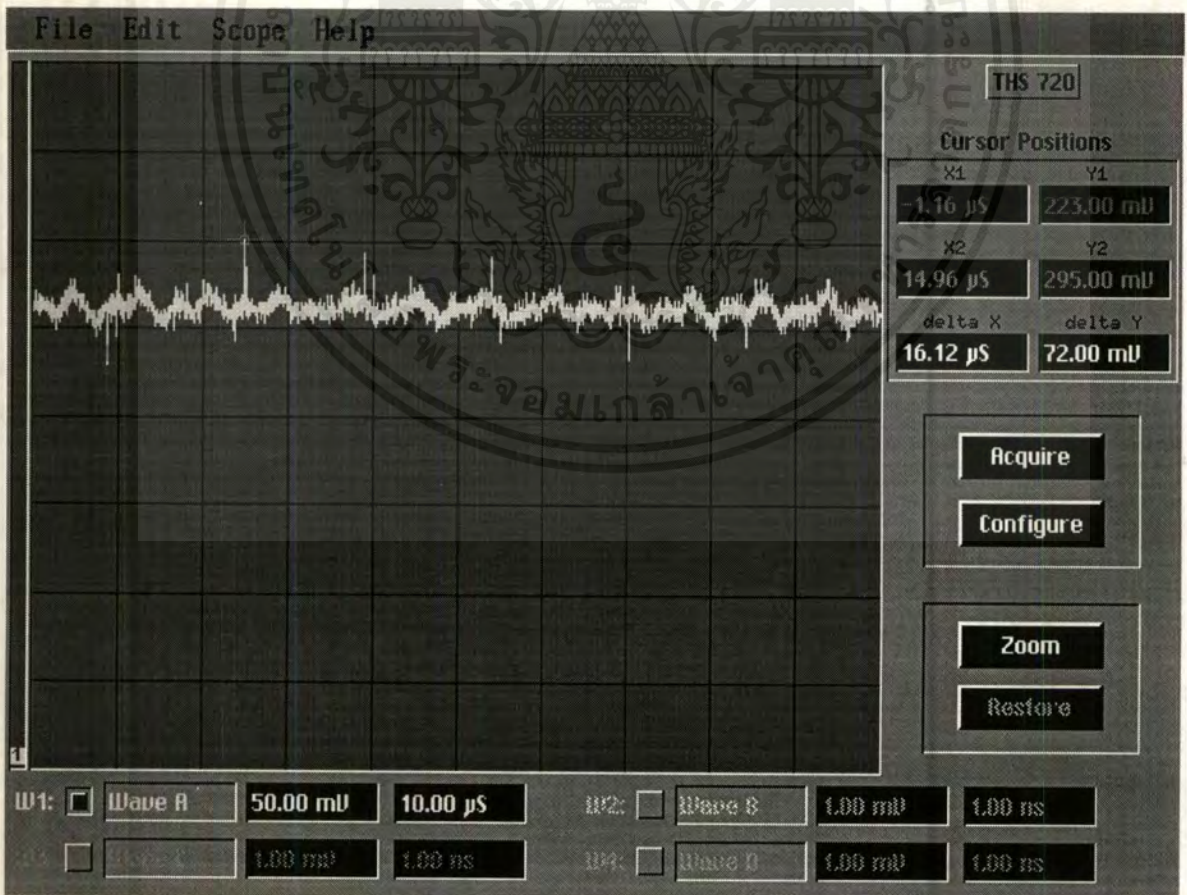
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

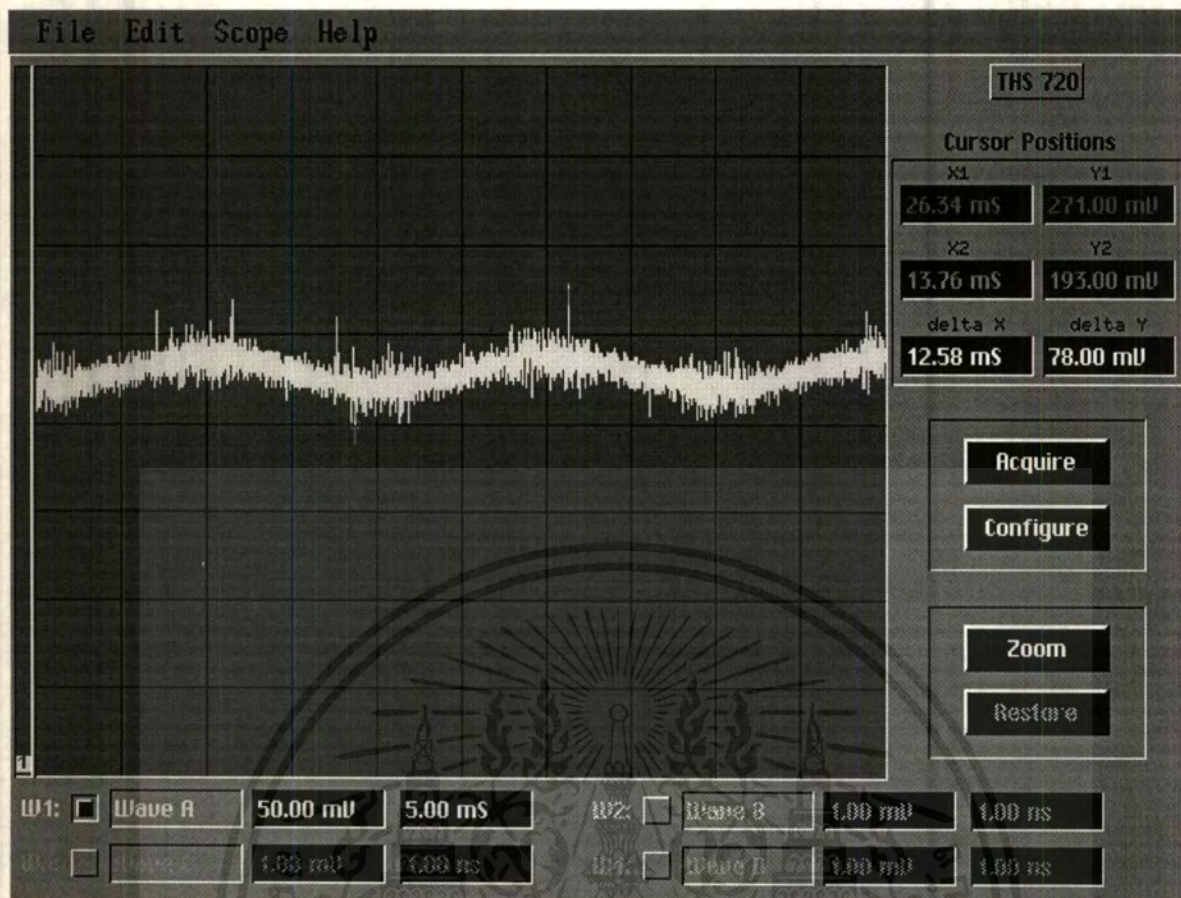
สรุปผลการทดลอง

จากการที่ได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลทั้งหมดในการทำโครงการ ซึ่งได้ทำการทดลองวัดค่าต่าง ๆ ในแต่ละวงจรซึ่งแทบจะไม่พบปัญหาได้นอกจากปัญหาเล็ก ๆ น้อย ๆ เช่น อุปกรณ์บางตัวไม่สามารถหาซื้อได้ในท้องตลาดต้องรอให้มีการนำเข้าอุปกรณ์ จึงทำให้เสียเวลาในการทดลองไปบ้าง เป็นต้น แต่ก็ไม่ได้เป็นปัญหามากนักในการทดลอง นอกจากนั้นเมื่อนำวงจรทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันแล้วทำการวัดค่า ปรากฏว่าทั้งหมดสามารถต่อใช้งานร่วมกันได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ยกเว้นปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากแหล่งจ่ายสวิตซ์ซิ่งของคอมพิวเตอร์ทำให้สัญญาณที่ได้รับเข้ามาจากตัววัดอุณหภูมิเกิดการผิดพลาดเป็นผลให้ค่าที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์เกิดการสวิงของสัญญาณมาก ดังนั้นจึงทำให้การควบคุมเกิดการผิดพลาดขึ้น

จากการทดลองได้นำตัวเก็บประจุค่าประมาณ $2,000 \mu\text{F}$ ไปตกร่วมที่เอาต์พุตของวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันบนการ์ดอินเตอร์เฟส ผลทำให้สามารถลดสัญญาณรบกวนดังกล่าวได้มากทีเดียว ซึ่งจากการวัดสัญญาณรบกวนจะได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงสัญญาณรบกวนที่วัดได้จากวงจรขณะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

DIDIER DUBOIS ,HENRI PRADE Fuzzy sets and system ACADEMIC PRESS ,INC

J. MICHAEL JACOB. INDUSTRIAL CONTROL ELECTRONICS APPLICATION AND DESIGN. New Jersey ,PRENTICE HALL 1988

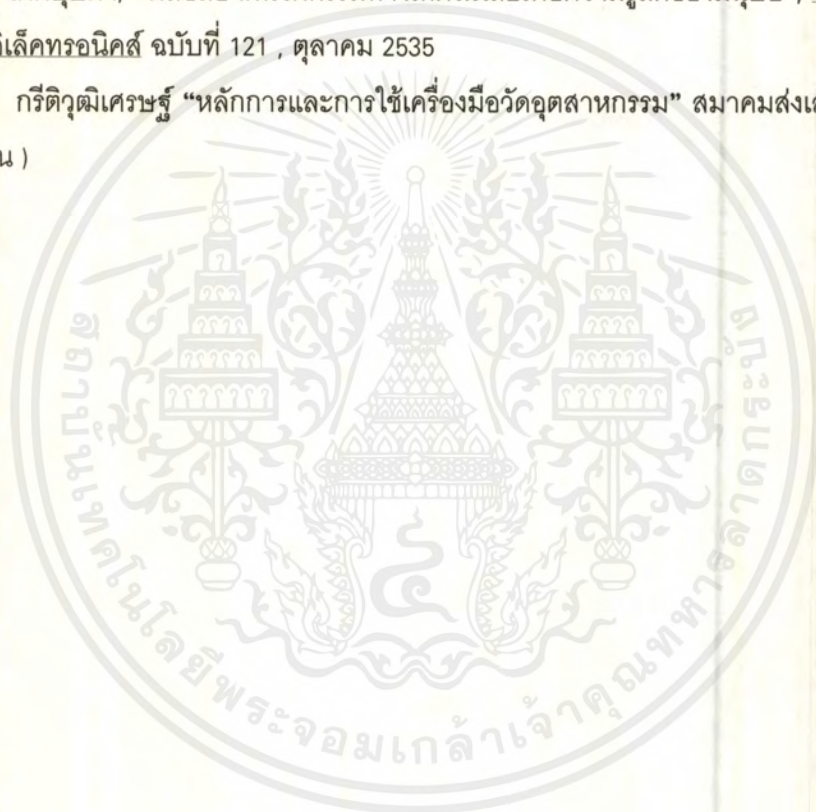
Lotfi A. Zadeh ; The calculus of fuzzy if/then rules. , AI EXPERT , March , 1992, pp 23-27

Y.F. LI ,C.C. LAV ,DEVELOPMENT OF FUZZY ALGORITHMS FOR SERVO SYSTEM , IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE ,APRIL 1989

กิตติ ตีระเศรษฐ์ , อุปกรณ์วัดและควบคุมขบวนการ พิมพ์ครั้งที่ 2,กรุงเทพมหานคร,2537

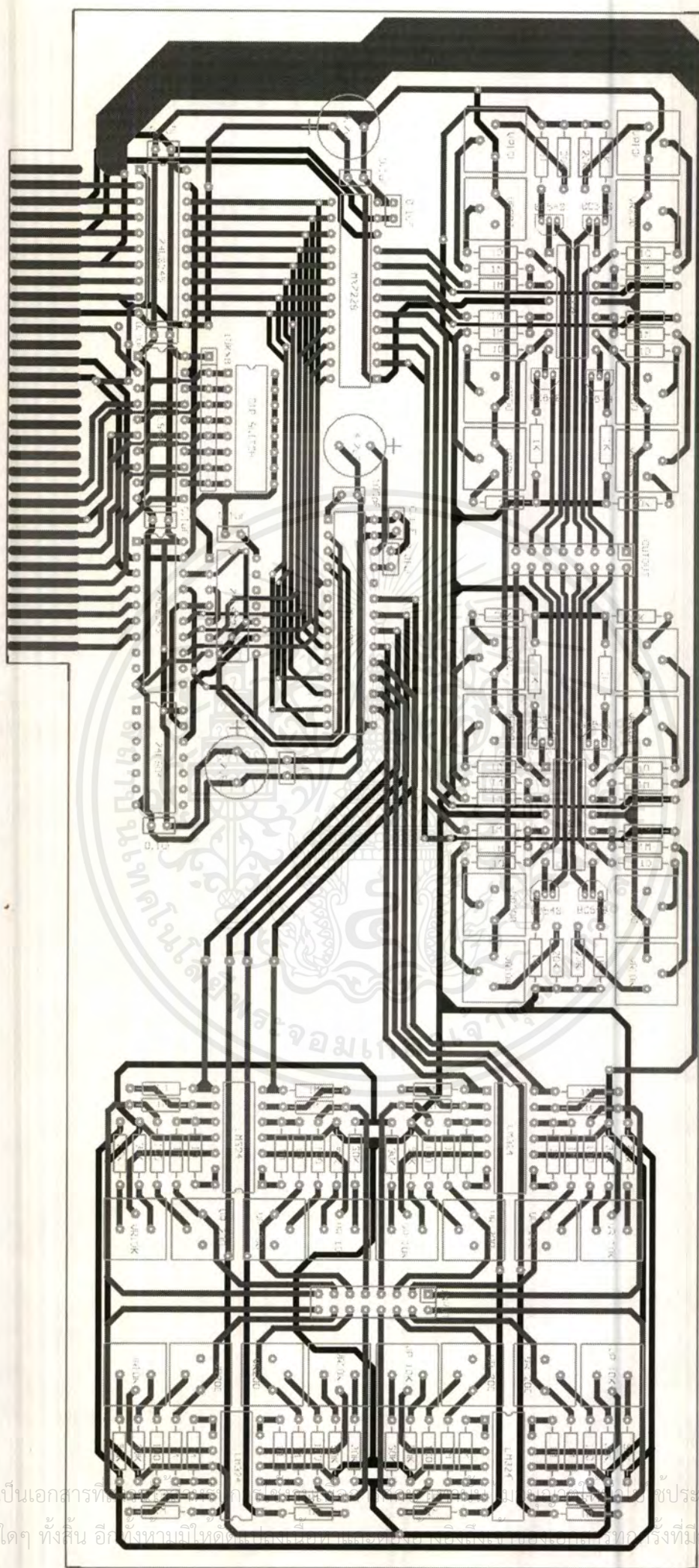
สิทธิชัย เดตบุปผา, “ฟัซซี่ลอจิกนวัตกรรมทางเทคโนโลยีเพื่อความรู้สึทของมนุษย์”, วารสารเคมีคอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 121 , ตุลาคม 2535

สมศักดิ์ กริทธิวุฒิศาสตร์ “หลักการและการใช้เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

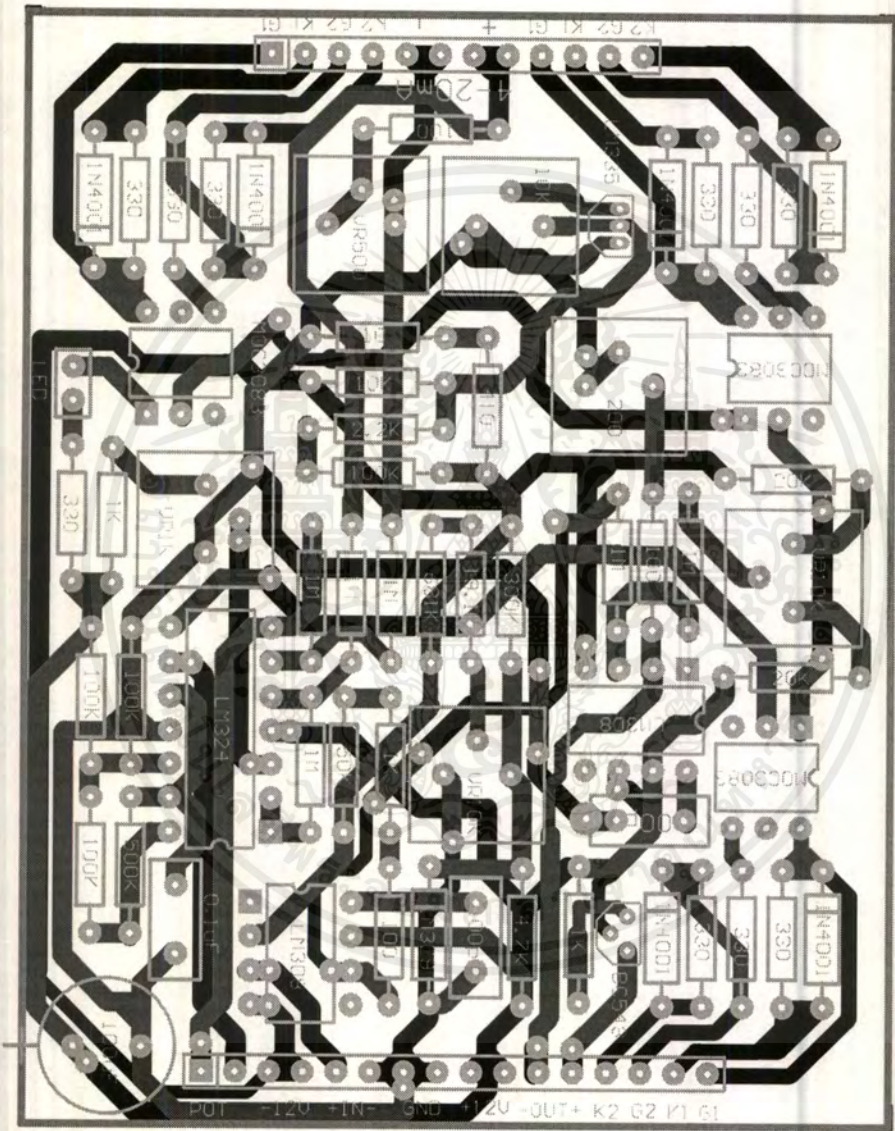




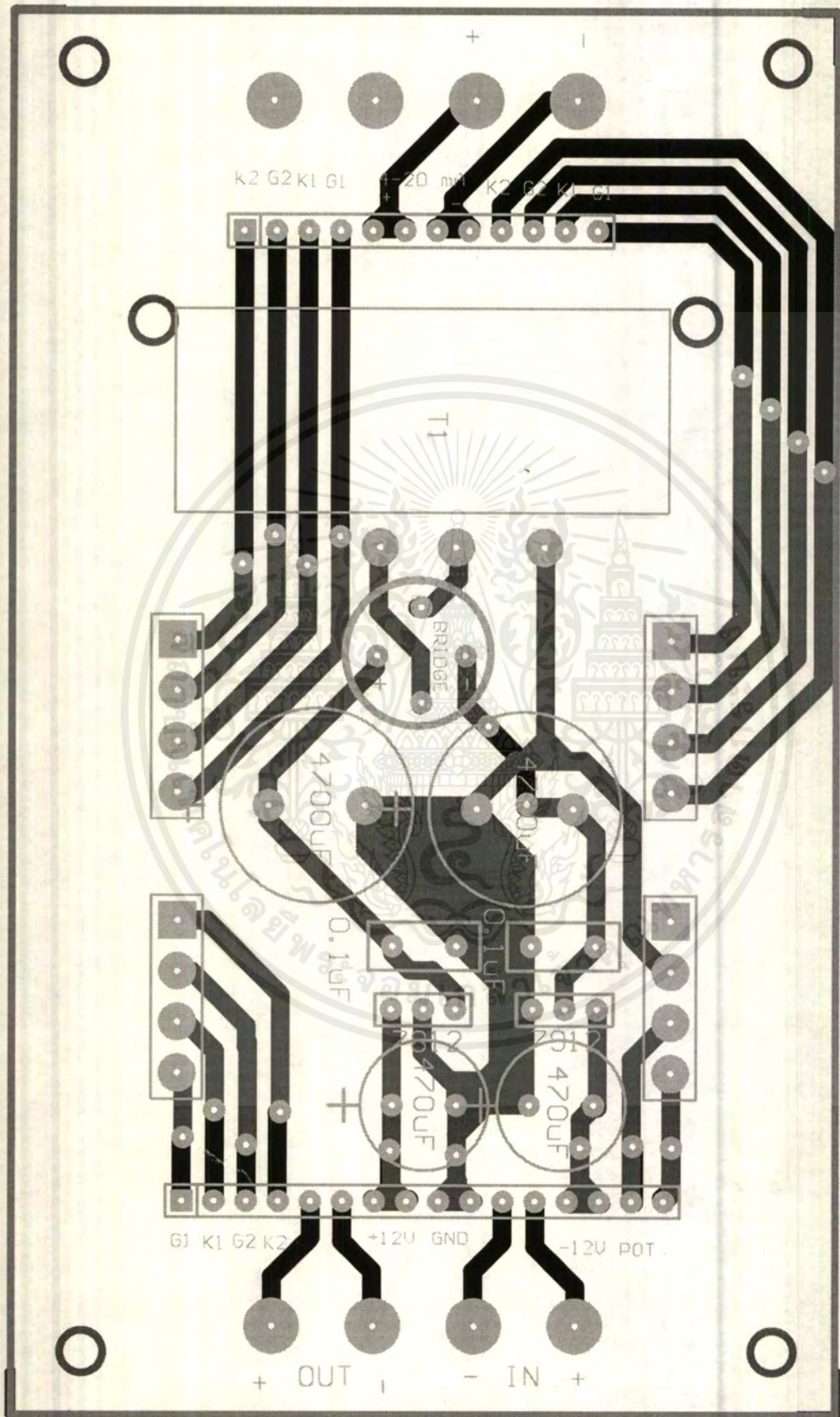
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง... รั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VERSION 4.00

Begin VB.MDIForm FrmMdi AutoShowChildren= 0 'False

BackColor= &H8000000C&

Caption = "โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิเตาอบ"

ClientHeight = 7155

ClientLeft= 4980

ClientTop= 1710

ClientWidth = 9915

Height = 7785

Icon = "FRMMAIN.frx":0000

Left = 4950

LinkTopic = "MDIForm1"

Top = 1110

Width = 9975

Begin VB.Menu MnuFile

Caption = "&File"

Begin VB.Menu MnuRun

Caption = "&Run"

Begin VB.Menu MnuCh1

Caption = "Channel&1"

Shortcut = "+{F1}"

End

Begin VB.Menu MnuCh2

Caption = "Channel&2"

Shortcut = "+{F2}"

End

Begin VB.Menu MnuCh3

Caption = "Channel&3"

Shortcut = "+{F3}"

End

```
Begin VB.Menu MnuCh4
Caption      =      "Channel&4"
Shortcut    =      "+{F4}"
End
```

```
Begin VB.Menu MnuCh5
Caption      =      "Channel&5"
Shortcut    =      "+{F5}"
End
```

```
Begin VB.Menu MnuCh6
Caption      =      "Channel&6"
Shortcut    =      "+{F6}"
End
```

```
Begin VB.Menu MnuCh7
Caption      =      "Channel&7"
Shortcut    =      "+{F7}"
End
```

```
Begin VB.Menu MnuCh8
Caption      =      "Channel&8"
Shortcut    =      "+{F8}"
End
```

```
End
Begin VB.Menu MnuIns1
```

```
Caption      =      " "
```

```
End
```

```
Begin VB.Menu MnuClose
```

```
Caption      =      "&Close"
```

```
Shortcut    =      "^{F4}"
```

```
End
```

```
End
```

```
Begin VB.Menu MnuView
```

```

Caption      = '&View'
Begin VB.Menu MnuTemp
    Caption      = 'Fuzzy Process'
End
Begin VB.Menu ins
    Caption      = ' '
End
Begin VB.Menu MnuGraph
    Caption      = 'Graph Viwer'
End
End
Begin VB.Menu MnuWindow
    Caption      = '&Windows'
    Begin VB.Menu MnuArange
        Caption      = '&Arange Icon'
    End
    Begin VB.Menu MnuTile
        Caption      = 'Tile &Horizontal'
        Shortcut      = ^T
    End
    Begin VB.Menu MnuVer
        Caption      = 'Tile &Vertical'
        Shortcut      = ^U
    End
    Begin VB.Menu MnuCascade
        Caption      = 'C&ascade'
        Shortcut      = ^S
    End
End
End
Begin VB.Menu MnuAbout
    Caption      = 'Abo&ut'

```

Attribute VB_Name = "FrmMdi"

Attribute VB_Creatable = False

Attribute VB_Exposed = False

Private Sub MDIForm_Load()

'FrmCh1.Show

'FrmCh2.Show

'FrmCh3.Show

'Form1.Show

'FrmCh4.Show

PauseTime = 5 ' Set duration.

Start = Timer ' Set start time. FrmPic.CurrentX = 100

FrmPic.CurrentY = 100

FrmPic.Show

Do While Timer < Start + PauseTime

 DoEvents ' Yield to other processes.

Loop

Unload FrmPic

End Sub

Private Sub MnuAbout_Click()

' Declare local variables.

Dim MsgText

Dim CR

Dim PB

' Initialize paragraph break local variable.

CR = Chr\$(10) & Chr\$(15)

PB = Chr\$(10) & Chr\$(13) & Chr\$(10) & Chr\$(13)

' Define message text.

MsgText = "ออกแบบและพัฒนาโดย"

MsgText = MsgText & CR & "นาย บรรจง วัฒนะภิกขุรังโรจน์ 3/1T 37013025"

MsgText = MsgText & CR & "นาย ประพาส พิภูลทอง 3/1T 37013030"

MsgText = MsgText & CR & "นาย มานะ ลัทธนิพนธ์ 3/1T 37013033"

MsgText = MsgText & PB & "ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสวี "

MsgText = MsgText & CR & "อาจารย์ที่ปรึกษา"

MsgText = MsgText & PB & "โครงการระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรม"

MsgText = MsgText & CR & "ไตรมาสแรก (ต่อเนื่อง)"

MsgText = MsgText & CR & "ปีการศึกษา 2539"

' Display the message.

MsgBox MsgText, 64, "โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิด้วย Fuzzy Logic 8 ช่อง" End Sub

Private Sub MnuArrange_Click()

FrmMdi.Arrange vbArrangeIcons

End Sub

Private Sub MnuCascade_Click()

FrmMdi.Arrange vbCascade

End Sub

Private Sub MnuCh1_Click()

FrmCh1.Show

End Sub

Private Sub MnuCh2_Click()

FrmCh2.Show

End Sub

Private Sub MnuCh3_Click()

FrmCh3.Show

End Sub

Private Sub MnuCh4_Click()

FrmCh4.Show

End Sub

Private Sub MnuCh5_Click()

FrmCh5.Show

End Sub

Private Sub MnuCh6_Click()

```
'FrmCh6.Show
End Sub
Private Sub MnuCh7_Click()
'FrmCh7.Show
End Sub
Private Sub MnuCh8_Click()
'FrmCh8.Show
End Sub
Private Sub MnuClose_Click()
End
End Sub
Private Sub MnuGraph_Click()
FrmGraph.Show
End Sub
Private Sub MnuTemp_Click()
FrmFuzzy.Show
End Sub
Private Sub MnuTile_Click()
FrmMdi.Arrange vbTileHorizontal
End Sub
Private Sub MnuVer_Click()
FrmMdi.Arrange vbTileVertical
End Sub
Public Sub main()

End Sub
```



FRMCH1.FRM

VERSION 4.00

Begin VB.Form FrmCh1

| | | |
|---------------|---|---------------------|
| AutoRedraw | = | -1 'True |
| BackColor | = | &H00C0C0C0& |
| BorderStyle | = | 4 'Fixed ToolWindow |
| Caption | = | 'ช่องสัญญาณที่ 1' |
| ClientHeight | = | 3165 |
| ClientLeft | = | 105 |
| ClientTop | = | 1410 |
| ClientWidth | = | 9750 |
| Height | = | 3510 |
| Icon = | | "FRMCH1_1.frx":0000 |
| Left = | | 75 |
| MaxButton | = | 0 'False |
| MDIChild | = | -1 'True |
| MinButton | = | 0 'False |
| ScaleHeight | = | 3165 |
| ScaleWidth | = | 9750 |
| ShowInTaskbar | = | 0 'False |
| Top = | | 1095 |
| Width | = | 9810 |

Begin VB.TextBox TxtCh

| | | |
|-----------|---|-------------|
| Alignment | = | 2 'Center |
| ForeColor | = | &H00C000C0& |
| Height | = | 315 |
| Left | = | 1320 |
| MaxLength | = | 7 |
| TabIndex | = | 31 |
| Top | = | 2760 |

```
Private Sub MnuCh6_Click()
'FrmCh6.Show
End Sub
Private Sub MnuCh7_Click()
'FrmCh7.Show
End Sub
Private Sub MnuCh8_Click()
'FrmCh8.Show
End Sub
Private Sub MnuClose_Click()
End
End Sub
Private Sub MnuGraph_Click()
FrmGraph.Show
End Sub
Private Sub MnuTemp_Click()
FrmFuzzy.Show
End Sub
Private Sub MnuTile_Click()
FrmMdi.Arrange vbTileHorizontal
End Sub
Private Sub MnuVer_Click()
FrmMdi.Arrange vbTileVertical
End Sub
Public Sub main()
End Sub
```



```
Width = 735
End
Begin VB.TextBox TxtMisc
Alignment = 2 'Center
ForeColor = &H00C000C0&
Height = 315
Left = 480
MaxLength = 7
TabIndex = 30
Top = 2760
Width = 735
End
Begin VB.TextBox TxtOut
Alignment = 2 'Center
ForeColor = &H00C000C0&
Height = 315
Left = 1800
MaxLength = 7
TabIndex = 29
Top = 2400
Width = 735
End
Begin VB.TextBox TxtDE
Alignment = 2 'Center
ForeColor = &H00C000C0&
Height = 315
Left = 960
MaxLength = 7
TabIndex = 28
Top = 2400
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Width = 735
End
Begin VB.TextBox TxtSet
Alignment = 2 'Center
ForeColor = &H00C000C0&
Height = 315
Left = 120
MaxLength = 7
TabIndex = 27
Top = 2400
Width = 735
End
Begin VB.TextBox TxtCh1
Alignment = 1 'Right Justify
BackColor = &H00FFFFFF&
Enabled = 0 'False
BeginProperty Font
name = "Arial"
charset = 1
weight = 400
size = 30
underline = 0 'False
italic = 0 'False
striketrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H00FF0000&
Height = 795
Left = 120
MaxLength = 6
TabIndex = 24

```

```
Top = 120
Width = 2175
End
```

```
Begin VB.CommandButton CmdExt
```

```
Caption = "Sa&ve"
```

```
BeginProperty Font
```

```
name = "Arial"
```

```
charset = 1
```

```
weight = 400
```

```
size = 14.25
```

```
underline = 0 'False
```

```
italic = 0 'False
```

```
strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
```

```
Height = 495
```

```
Left = 120
```

```
TabIndex = 22
```

```
Top = 1800
```

```
Width = 1215
```

```
End
```

```
Begin VB.CommandButton CmdOpt
```

```
Caption = "O&ption"
```

```
BeginProperty Font
```

```
name = "Arial"
```

```
charset = 1
```

```
weight = 400
```

```
size = 14.25
```

```
underline = 0 'False
```

```
italic = 0 'False
```

```
strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
Height = 495
Left = 1440
TabIndex = 21
Top = 1200
Width = 1095
```

End

Begin VB.CommandButton CmdCh1

```
Caption = "&Start"
Default = -1 'True
```

BeginProperty Font

```
name = "MS Sans Serif"
charset = 1
weight = 400
size = 13.5
underline = 0 'False
italic = 0 'False
strikethrough = 0 'False
```

EndProperty

```
Height = 510
Left = 120
TabIndex = 20
Top = 1200
Width = 1215
```

End

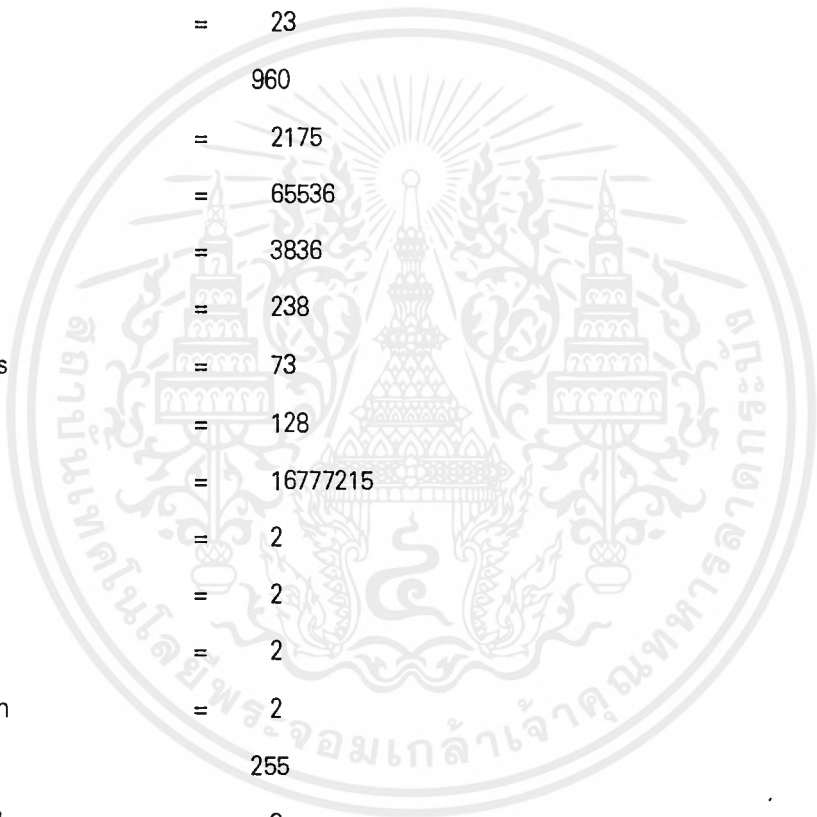
Begin VBX.Portz PrtCh1

```
Bits = 8
Data = 0
Left = 1200
Port = 0
```

```

Top = 3120
End
Begin VB.Timer Time1
Left = 1680
Top = 3120
End
Begin GaugeLib.Gauge GueCh1
Height = 135
Left = 120
TabIndex = 23
Top = 960
Width = 2175
_version = 65536
_extentx = 3836
_extenty = 238
_stockprops = 73
forecolor = 128
backcolor = 16777215
innertop = 2
innerleft = 2
innerright = 2
innerbottom = 2
max = 255
needlewidth = 3
End
Begin VB.Timer Timer2
Left = 720
Top = 3120
End
Begin VB.Frame FrameCh1

```



```

BackColor          =      &H00C0E0FF&
Caption            =      'กราฟแสดงค่าอุณหภูมิ'
BeginProperty Font
    name            =      'AngsanaUPC'
    charset         =      1
    weight          =      400
    size            =      14.25
    underline       =      0 'False'
    italic          =      0 'False'
    strikethrough   =      0 'False'
EndProperty
Height             =      3135
Left =              2640
TabIndex          =      0
Top =              0
Width             =      7095
Begin VB.PictureBox GphCh1
    AutoRedraw      = -1 'True'
    AutoSize        = -1 'True'
    BackColor       =      &H00C0C0C0&
    FillColor       =      &H00E0E0E0&
    ForeColor       =      &H00C0E0FF&
    Height          =      1935
    Left =          600
    MouseIcon       =      'FRMCH1_1.frx':0442
    MousePointer    =      3 'I-Beam'
    ScaleHeight     =      1200
    ScaleMode       =      0 'User'
    ScaleWidth      =      240
    TabIndex        =      1

```

```
Top = 600
Width = 5775
Begin VB.Line Line36
    BorderColor = &H00FFFFFF&
    BorderStyle = 3 'Dot
    X1 = 220.574
    X2 = 220.574
    Y1 = 0
    Y2 = 1209.449
```

End

```
Begin VB.Line Line35 BorderColor = &H00FFFFFF&
    BorderStyle = 3 'Dot
    X1 = 200.522
    X2 = 200.522
    Y1 = 0
    Y2 = 1209.449
```

End

```
Begin VB.Line Line34 BorderColor = &H00FFFFFF&
    BorderStyle = 3 'Dot
    X1 = 180.47
    X2 = 180.47
    Y1 = 0
    Y2 = 1209.449
```

End

```
Begin VB.Line Line33 BorderColor = &H00FFFFFF&
    BorderStyle = 3 'Dot
    X1 = 160.418
    X2 = 160.418
    Y1 = 0
    Y2 = 1209.449
```

End

Begin VB.Line Line32 BorderColor = &H00FFFFFF&

BorderStyle = 3 'Dot

X1 = 140.366

X2 = 140.366

Y1 = 0

Y2 = 1209.449

End

Begin VB.Line Line31 BorderColor = &H00FFFFFF&

BorderStyle = 3 'Dot

X1 = 120.313

X2 = 120.313

Y1 = 0

Y2 = 1209.449

End

Begin VB.Line Line30 BorderColor = &H00FFFFFF&

BorderStyle = 3 'Dot

X1 = 100.261

X2 = 100.261

Y1 = 0

Y2 = 1209.449

End

Begin VB.Line Line29 BorderColor = &H00FFFFFF&

BorderStyle = 3 'Dot

X1 = 80.209

X2 = 80.209

Y1 = 0

Y2 = 1209.449

End

Begin VB.Line Line28 BorderColor = &H00FFFFFF&

```
BorderStyle = 3 'Dot
X1 = 60.157
X2 = 60.157
Y1 = 0
Y2 = 1209.449
End
Begin VB.Line Line27 BorderColor = &H00FFFFFF&
BorderStyle = 3 'Dot
X1 = 40.104
X2 = 40.104
Y1 = 0
Y2 = 1209.449
End
Begin VB.Line Line26 BorderColor = &H00FFFFFF&
BorderStyle = 3 'Dot
X1 = 20.052
X2 = 20.052
Y1 = 0
Y2 = 1209.449
End
Begin VB.Line Line25 BorderColor = &H00FF0000&
BorderStyle = 3 'Dot
X1 = 0
X2 = 240.627
Y1 = 302.362
Y2 = 302.362
End
Begin VB.Line Line24 BorderColor = &H00FF0000&
BorderStyle = 3 'Dot
X1 = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

X2                = 240
Y1                = 604.724
Y2                = 604.724
End
Begin VB.Line Line23 BorderColor = &H00FFFFFF&
    BorderStyle    = 3 'Dot
    X1              = 0
    X2              = 242.298
    Y1              = 1209.449
    Y2              = 1209.449
End
Begin VB.Line Line22
    BorderColor     = &H00FF0000&
    BorderStyle     = 3 'Dot
    X1              = 0
    X2              = 240
    Y1              = 907.087
    Y2              = 907.087
End
End
Begin GaugeLib.Gauge Gue_Ch1
    Height          = 1965
    Left            = 6480
    TabIndex        = 19
    Top             = 600
    Width           = 135
    _version        = 65536
    _extentx        = 238
    _extenty        = 3466
    _stockprops     = 73

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
forecolor = 255
backcolor = 16777215
innertop = 2
innerleft = 2
innerright = 2
innerbottom = 2
max = 1500
style = 1
needlewidth = 1
mouseicon = "FRMCH1_1.frx":0884
```

End

Begin VB.Label LbeDate

```
BackColor = &H00C0E0FF&
BorderStyle = 1 'Fixed Single
Height = 255
Left = 4320
TabIndex = 26
Top = 240
Width = 1575
```

End

Begin VB.Label LbeTime

```
BackColor = &H00C0E0FF&
BorderStyle = 1 'Fixed Single
Height = 375
Left = 3000
TabIndex = 25
Top = 240
Width = 1095
```

End

Begin VB.Line Line43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X1 = 480
X2 = 480
Y1 = 600
Y2 = 2520

End

Begin VB.Line Line42

X1 = 360
X2 = 480
Y1 = 600
Y2 = 600

End

Begin VB.Line Line41

X1 = 360
X2 = 480
Y1 = 2520
Y2 = 2520

End

Begin VB.Line Line40

X1 = 600
X2 = 6360
Y1 = 2640
Y2 = 2640

End

Begin VB.Line Line39

X1 = 600
X2 = 600
Y1 = 2760
Y2 = 2640

End

Begin VB.Line Line38

```

X1 = 6360
X2 = 6360
Y1 = 2760
Y2 = 2640
End
Begin VB.Label Label34
    BackColor = &H00C0E0FF&
    Caption = 'อุณหภูมิจากเซ็นเซอร์'
    Height = 255
    Left = 600
    TabIndex = 18
    Top = 360
    Width = 1815
End
Begin VB.Label Label33
    BackColor = &H00C0E0FF&
    Caption = 'เวลา'
    Height = 255
    Left = 6600
    TabIndex = 17
    Top = 2640
    Width = 375
End
Begin VB.Label Label32 Alignment = 2 'Center
    BackColor = &H00C0E0FF&
    Caption = '0'
    Height = 255
    Left = 360
    TabIndex = 16
    Top = 2760

```

```
Width = 375
End
Begin VB.Label Label31 BackColor= &H00C0E0FF&
Caption = '0'
Height = 255
Left = 120
TabIndex = 15
Top = 2520
Width = 255
```

```
End
Begin VB.Label Label30 BackColor= &H00C0E0FF&
Caption = '1,200'
Height = 255
Left = 120
TabIndex = 14
Top = 360
Width = 495
```

```
End
Begin VB.Label Lbe1
Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '5'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 840
TabIndex = 13
Top = 2760
Width = 375
```

```
End
```

Begin VB.Label Lbe2

Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '10'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 1320
TabIndex = 12
Top = 2760
Width = 375

End

Begin VB.Label Lbe3

Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '15'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 1800
TabIndex = 11
Top = 2760
Width = 375

End

Begin VB.Label Lbe4

Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '20'
ForeColor = &H80000008&

```
Height = 255
Left = 2280
TabIndex = 10
Top = 2760
Width = 375
```

End

Begin VB.Label Lbe5

```
Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '25'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 2760
TabIndex = 9
Top = 2760
Width = 375
```

End

Begin VB.Label Lbe6

```
Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '30'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 3240
TabIndex = 8
Top = 2760
Width = 375
```

End

Begin VB.Label Lbe7

Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '35'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 3720
TabIndex = 7
Top = 2760
Width = 375

End

Begin VB.Label Lbe8

Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '40'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 4200
TabIndex = 6
Top = 2760
Width = 375

End

Begin VB.Label Lbe9

Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '45'
ForeColor = &H80000008&

```
Height = 255
Left = 4680
TabIndex = 5
Top = 2760
Width = 375
```

End

Begin VB.Label Lbe10

```
Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = "50"
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 5160
TabIndex = 4
Top = 2760
Width = 375
```

End

Begin VB.Label Lbe11

```
Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = "55"
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 5640
TabIndex = 3
Top = 2760
Width = 375
```

End

Begin VB.Label Lbe12

Alignment = 2 'Center
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H00C0E0FF&
Caption = '60'
ForeColor = &H80000008&
Height = 255
Left = 6120
TabIndex = 2
Top = 2760
Width = 375

End

End

Begin VB.Image ImgOut

BorderStyle = 1 'Fixed Single
Height = 420
Left = 1560
Picture = "FRMCH1_1.frx":0CD6
Stretch = -1 'True
Top = 1800
Width = 420

End

Begin MSComDlg.CommonDialog CommonDialog1 Left = 2160

Top = 3120
_version = 65536
_extentx = 847
_extenty = 847
_stockprops = 0
copies = 1
max = 10

```

Attribute VB_Name = "FrmCh1"
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_Exposed = False

Option Explicit

Dim X, X1, Xa, Ya, Xb, Yb 'Graph Variable

Dim Heigh, Loww, Hexi As Variant

Dim CurrentNum As Variant

Dim Pri As String

Dim A, B, C, Opt, MyTime, MyStr

Dim Ch1On, Ch1Off

Dim Runch1, Ch1 As Integer

Dim XX, Disp As Single

Dim Neg, Pos, Zero, SMP, LEP, LN, ZE, SP, LP, VLP As Single

Dim Err, Set_P, DE, CT As Single

Dim OUT As Integer

Dim TOTOFF, TOTON As Single

Dim Rule_1, Rule_2, Rule_3, Rule_4, Rule_5, Rule_6, Rule_7, Rule_8, Rule_9, Rule_10 As Single

Dim Rule_11, Rule_12, Rule_13, Rule_14, Rule_15, Rule_16, Rule_18, Rule_19, Rule_20, Rule_17 As Single

Dim ON11, ON12, ON13, ON14, ON15, ON16, ON17, ON18, ON19, ON20 As Single

Dim OFF1, OFF2, OFF3, OFF4, OFF5, OFF6, OFF7, OFF8, OFF9, OFF10 As String

Dim Cool, Temp, Hot, Mid, Low, Mid_O, High As Single

Private Sub Form_Load()

'Timer2.Interval = 1000 ' Set Timer interval.

A = True

B = 0

C = 0

' LbeDate.Caption = Now

'MyTime = Time

'MyStr = Format(MyTime, "hh_m")

End Sub

```

```
Private Sub Cmdch1_Click()
```

```
Select Case Runch1
```

```
Case False
```

```
Runch1 = True
```

```
cmdch1.Caption = "&Stop"
```

```
TxtCh1.Enabled = False
```

```
Ch1 = InputBox("โปรดตั้งค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ", "ช่องสัญญาณที่ 1", 300)
```

```
' นำค่าที่ได้จาก input box มาแสดงที่ text box
```

```
    If Ch1 < 20 Then
```

```
        'ส่งข้อความเตือน
```

```
        MsgBox "คุณไม่สามารถตั้งอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส", 16, "โปรแกรมพบข้อผิดพลาด" TxtCh1.Text = ""
```

```
        cmdch1.Caption = "&Close" cmdch1.Value = False GoTo
```

```
        line2:
```

```
        Elseif Ch1 <= 1200 Then
```

```
        ' Run Program+fuzzylogic & plot graph
```

```
        TxtCh1.Enabled = True
```

```
        Time1.Interval = 1000 'set interval TxtCh1.ForeColor = &
```

```
        HC0 'กำหนดสีแดง
```

```
        'ให้ text box TxtCh1.Text = Ch1 'กำหนดค่าที่ text box '
```

```
        Lbport.Caption = Ch1
```

```
        gphch1.Cls gphch1.CurrentX = 0 gphch1.CurrentY =
```

```
        100 Xb = 0
```

```
        Ya = 1200
```

```
        X = 0
```

```
        X1 = 0
```

```
        Delay
```

```
        Elseif Ch1 > 1200 Then 'ส่งข้อความเตือน
```

```
        MsgBox "คุณไม่สามารถตั้งอุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส", 16, "โปรแกรมพบข้อผิดพลาด" TxtCh1.Text = ""
```

```
cmdch1.Caption = "&Close" cmdch1.Value = False GoTo
```

```
line2:
```

```
Else
```

```
TxtCh1.Text = "" cmdch1.Caption = "&Close"
```

```
cmdch1.Value = False GoTo line1:
```

```
End If
```

```
Case True
```

```
line1:
```

```
Runch1 = False
```

```
cmdch1.Caption = "&Start"
```

```
Time1.Enabled = False
```

```
PrtCh1.Data = 0
```

```
PrtCh1.Action = 2 'เขียนออก Port TxtCh1.Text = "" 'clear text box Unload
```

```
FrmCh1
```

```
FrmCh1.Show
```

```
Xa = 0
```

```
Ya = 0
```

```
Xb = 0
```

```
Yb = 0
```

```
Exit Sub
```

```
line2:
```

```
Runch1 = False
```

```
cmdch1.Caption = "&Start" Time1.Enabled = False
```

```
TxtCh1.Text = "" 'clear text box Unload FrmCh1
```

```
FrmCh1.Show
```

```
Xa = 0
```

```
Ya = 0
```

```
Xb = 0
```

```
Yb = 0
```

```
Cmdch1_Click
```

Exit Sub

End Select

End Sub

Private Sub CmdExt_Click()

SavePicture gphch1.Image, Pri ' Save picture to file. End Sub

Private Sub ImgOut_Click()

PrtCh1.Data = 0

PrtCh1.Action = 2 ' เขียนออก Port

Unload FrmCh1

End Sub

Private Sub Time1_Timer()

Dim Dy

Time1.Interval = 2000 ' set interval = 1 Sec.

MyTime = Time

MyStr = Format(MyTime, "hh_m")

LbeDate.Caption = Now

LbeTime.Caption = "1" & "_" & MyStr & "." & "BMP" Pri = LbeTime.Caption

' ส่วนการอ่านข้อมูล

' อ่านค่าจาก Port ทั้งบิตสูงและบิตต่ำ

PrtCh1.Bits = 8 ' กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ PrtCh1.Port = 776 ' เลือก Port # 308H (8

บิตล่าง) PrtCh1.Data = 86 ' กำหนด Control Word

' PrtCh1.Action = 2 ' เขียนออก Port

Do Until Dy > 50 ' หน่วงเวลาการอ่าน,เขียน Port

Dy = Dy + 1

Loop

PrtCh1.Action = 1 ' อ่าน Port 308H

Loww = PrtCh1.Data ' กำหนดตัวแปร = ค่าที่อ่านได้

PrtCh1.Port = 777 ' เลือก Port # 301H (8 บิตบน)

PrtCh1.Action = 1 ' อ่าน Port 309H

Heigh = PrtCh1.Data ' กำหนดตัวแปร = ค่าที่อ่านได้ ' นำค่าที่อ่านได้มาแปลงเป็นเลข

ฐาน 10

If Loww < 16 Then

Hexi = Hex(Heigh) & (0 & Hex(Loww))

Else

Hexi = Hex(Heigh) & Hex(Loww)

End If

CurrentNum = Val("&h" & Trim\$(Hexi) & "&") TxtCh1.ForeColor = &HFF0000 ' "

กำหนดสี

Disp = (Format\$(CurrentNum)) * (1200 / 4096) ' แสดงค่าจาก port ' กำหนดค่าตัวแปร

Fuzzy

TxtCh1.Text = Disp

TxtCh.Text = Ch1

If TxtCh1.Text > Ch1 Then

TxtCh1.ForeColor = &HFF&

Gue_ch1.ForeColor = &HFF&

Elseif TxtCh1.Text = Ch1 Then

TxtCh1.ForeColor = &HFF00FF

Gue_ch1.ForeColor = &HFF00FF

Else:

TxtCh1.ForeColor = &HFF0000

Gue_ch1.ForeColor = &HFF0000

End If

Set_P = (Ch1 - TxtCh1.Text) ' ค่า ERROR Set Point DE = (Disp - Temp) ' ค่าอุณหภูมิ

ที่เพิ่มขึ้น

Temp = Disp

TxtMisc.Text = C

B = B + 1

C = C + 1

txtset.Text = Set_P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

txtde.Text = DE
txtout.Text = OUT
' นำผลที่ได้ไปประมวลผล Fuzzy Logic ทุกๆ 10 วินาที If A = True Then
Fuzzy_Logic_Process
Rule
OUTPUT
A = False
End If
If B >= 5 Then
Fuzzy_Logic_Process
Rule
OUTPUT
B = 0
End If
If C >= (Opt * 3) Then
C = 0
Gue_ch1.Value = TxtCh1.Text ' แสดงค่าที่เกจ 2 gphch1.ScaleHeight = 1200
แสดงผลกราฟ gphch1.ScaleWidth = 120
Yb = Val(1200 - TxtCh1.Text)
gphch1.AutoRedraw = True
gphch1.Line (Xb, Yb)-(Xa, Ya), QBColor(12)
Xb = (Xb + 1)
Xa = Xb - 1
Ya = Yb
If Xa = 120 Then
Xa = 0
Xb = 0
Ya = 1200
X = 0
X1 = 0

```

```

gphch1.AutoRedraw = True
SavePicture gphch1.Image, Pri ' Save picture to file. gphch1.Cls
Beep ' ส่งเสียงเมื่อนับถึง 120 ค่า
End If
End If
End Sub
Private Sub Delay()
Dim Start
Dim Check
Start = Time1
Do Until Check >= Start + 1
    Check = Time1
Loop
End Sub
Private Sub Fuzzy_Logic_Process()
' Change Of Temperature input ;DE
' Negative
If DE <= 0 Then
    If DE < -3 Then
        LN = 1
    ElseIf DE >= -3 And DE <= 0 Then
        LN = (DE / -3)
    End If
Else: LN = 0
End If
' Zero
If DE >= -3 And DE <= 3 Then
    If DE >= -3 And DE <= 0 Then
        ZE = 1 - (DE / -3)
    ElseIf DE >= 0 And DE <= 3 Then

```

$$ZE = 1 - (DE / 3)$$

Elseif DE > 3 Then

$$ZE = 0$$

End If

Else: ZE = 0

End If

' Small Positive ; SP

If DE >= 0 And DE <= 8 Then

If DE <= 4 And 0 <= DE Then

$$SP = (DE / 4)$$

Elseif DE > 4 And DE <= 8 Then

$$SP = 1 - ((DE - 4) / 4)$$

End If

Else

$$SP = 0$$

End If

' Large Positive ; LP

If DE >= 5 And DE <= 11 Then

If DE <= 8 And 5 <= DE Then

$$LP = ((DE - 5) / 3)$$

Elseif DE >= 8 And DE < 11 Then

$$LP = 1 - ((DE - 8) / 3)$$

End If

If DE > 11 Then

$$LP = 0$$

End If

Else: LP = 0

End If

' Very Large Positive

If DE >= 8 Then

```

If DE > 11 Then
    VLP = 1
Elseif DE >= 8 And DE <= 11 Then VLP = ((DE - 8) / 3)
End If
Else: VLP = 0
End If
'Error Between Setpoint and Temperature***** (edit 5 Feb)*** ' NEGATIVE
If Set_P <= 0 Then
    If Set_P <= -8 Then
        Neg = 1
    Elseif Set_P <= 0 And Set_P > -8 Then
        Neg = 1 - ((Set_P + 8) / 8)
    End If
' Set_P = Neg
Else: Neg = 0
End If
' ZERO
If Set_P >= -8 And Set_P <= 6 Then
    If Set_P <= 0 And Set_P >= -8 Then
        Zero = 1 - (Set_P / -8)
    Elseif Set_P > 0 And 6 >= Set_P Then Zero = 1 - (Set_P / 6)
    End If
Else: Zero = 0
End If
' Small POSITIVE ; SM
If Set_P >= 0 And Set_P < 12 Then
    If Set_P >= 0 And 6 > Set_P Then
        Pos = (Set_P / 6)
    Elseif Set_P >= 6 And 12 > Set_P Then Pos = 1 - (Set_P - 6) / 6
    End If

```

Else: Pos = 0

End If

' LARGE ERROR POSITIVE ; LEP

If Set_P > 6 Then

 If Set_P > 12 Then

 LEP = 1

 Elseif Set_P > 6 And Set_P <= 12 Then LEP = ((Set_P - 6) / 6)

 End If

Else: LEP = 0

End If

End Sub

Private Sub Rule()

'RULE BASE

If Neg < LN Then

 OFF1 = Neg

Else: OFF1 = LN

End If

If Neg < ZE Then

 OFF2 = Neg

Else: OFF2 = ZE

End If

If Neg < SP Then

 OFF3 = Neg

Else: OFF3 = SP

End If

If Neg < LP Then

 OFF4 = Neg

Else: OFF4 = LP

End If

If Neg < VLP Then



OFF5 = Neg
Else: OFF5 = VLP
End If
'.....

If Zero < LN Then
OFF6 = Zero
Else: OFF6 = LN
End If

If Zero < ZE Then
OFF7 = Zero
Else: OFF7 = ZE
End If

If Zero < SP Then
OFF8 = Zero
Else: OFF8 = SP
End If

If Zero < LP Then
OFF9 = Zero
Else: OFF9 = LP
End If

If Zero < VLP Then
OFF10 = Zero
Else: OFF10 = Zero
End If
'.....

If Pos < LN Then
ON11 = Pos
Else: ON11 = LN
End If

If Pos < ZE Then



ON12 = Pos

Else: ON12 = ZE

End If

If Pos < SP Then

ON13 = Pos

Else: ON13 = SP

End If

If Pos < LP Then

ON14 = Pos

Else: ON14 = LP

End If

If Pos < VLP Then

ON15 = Pos

Else: ON15 = VLP

End If

If LEP < SP Then

ON16 = LEP

Else: ON16 = SP

End If

If LEP < LP Then

ON17 = LEP

Else: ON17 = LP

End If

If LEP < VLP Then

ON18 = LEP

Else: ON18 = VLP

End If

If LEP < LN Then

ON19 = LEP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Else: ON19 = LN

End If

If LEP < ZE Then

ON20 = LEP

Else: ON20 = ZE

End If

End Sub

Private Sub OUTPUT()

'SUMMATION OF ON AND OFF

TOTOFF = OFF1 + OFF2 + OFF3 + OFF4 + OFF5 + OFF6 + OFF7 + OFF8 + OFF9 + OFF10 TOTON

= ON11 + ON12 +

ON13 + ON14 + ON15 + ON16 + ON17 + ON18 + ON19 + ON20 'CENTRODE OF OUTPUT

'WIEGHT OF Rule_ AND ON

Rule_1 = OFF1 * 0

Rule_2 = OFF2 * 0

Rule_3 = OFF3 * 0

Rule_4 = OFF4 * 0

Rule_5 = OFF5 * 0

Rule_6 = OFF6 * 4

Rule_7 = OFF7 * 8

Rule_8 = OFF8 * 0

Rule_9 = OFF9 * 8

Rule_10 = OFF10 * 4

Rule_11 = ON11 * 128

Rule_12 = ON12 * 128

Rule_13 = ON13 * 128

Rule_14 = ON14 * 128

Rule_15 = ON15 * 128

Rule_16 = ON16 * 255

Rule_17 = ON17 * 255



Rule_18 = ON18 * 255

Rule_19 = ON19 * 255

Rule_20 = ON20 * 255

CT = (Rule_1 + Rule_2 + Rule_3 + Rule_4 + Rule_5 + Rule_6 + Rule_7 + Rule_8 + Rule_9 + Rule_10 + Rule_11 + Rule_12 + Rule_13 + Rule_14 + Rule_15 + Rule_16 + Rule_17 + Rule_18 + Rule_19 + Rule_20)

OUT = CT / (TOTOFF + TOTON)

'ส่งค่าควบคุม PORT

PrtCh1.Bits = 8 ' กำหนดจำนวนบิต PrtCh1.Port = 768 ' กำหนด Port #300H PrtCh1.Data =

OUT ' กำหนดค่าที่จะส่งออก Port PrtCh1.Action = 2 ' ส่งค่าออก Port

GueCh1.Value = OUT ' แสดงค่า OUT PUT ที่จอ 1 End Sub

Private Sub CmdOpt_Click()

Opt = Lbe1.Caption

Opt = InputBox("โปรดตั้งเวลาที่จะบันทึกค่า (นาทื) ", "ช่องสัญญาณที่ 1", 5) If Opt = "" Then

Opt = Lbe1.Caption

Elseif Opt < 0.2 Then

MsgBox "ไม่สามารถตั้งค่าต่ำกว่านี้ได้", 16, "ห้ามตั้งค่าต่ำ" CmdOpt_Click

Elseif Opt >= 0.2 Then

Lbe1.Caption = Opt

Lbe2.Caption = 2 * Opt

Lbe3.Caption = 3 * Opt

Lbe4.Caption = 4 * Opt

Lbe5.Caption = 5 * Opt

Lbe6.Caption = 6 * Opt Lbe7.Caption = 7 * Opt Lbe8.Caption = 8 * Opt Lbe9.Caption = 9

* Opt Lbe10.Caption = 10 * Opt Lbe11.Caption = 11 * Opt Lbe12.Caption = 12 * Opt

Else

MsgBox "ไม่สามารถตั้งค่านี้ได้", 16, "ห้ามตั้งค่า" End If

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIEWBMP.FRM

```
Option Explicit
Dim LoadPicFlag%
Private Sub CmdNew_Click()
    ' Hide and clear Picture2.
    Picture2.Visible = False
    Picture2.Picture = LoadPicture()
    Caption = "Graphic Viewer"
    LoadPicFlag% = False
End Sub
Private Sub CmdOpen_Click()
    Dim Filename$
    On Error Resume Next
    ' Open dialogbox.
    CMDialog1.Flags = &H1000& Or &H4&
    CMDialog1.Action = 1
    If Err = 32755 Then Exit Sub
    Filename$ = CMDialog1.FileName
    Picture2.Picture = LoadPicture(Filename$)
    Picture2.Visible = True
    LoadPicFlag% = True
    Caption = "Graphic Viewer : " & Filename$
End Sub
Private Sub Cmdprint_Click()
    Dim Msg ' Declare variable.
    On Error GoTo ErrorHandler ' Set up error handler.
    PrintForm ' Print form.
    Exit Sub
ErrorHandler:
    Msg = "The form can't be printed."
    MsgBox Msg ' Display message.
    Resume Next
End Sub
Private Sub Form_Load()
    LoadPicFlag% = False
End Sub
Private Sub CmdClose_Click()
    Unload FrmGraph
End Sub
```

LM124/LM224/LM324/LM2902

Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

Advantages

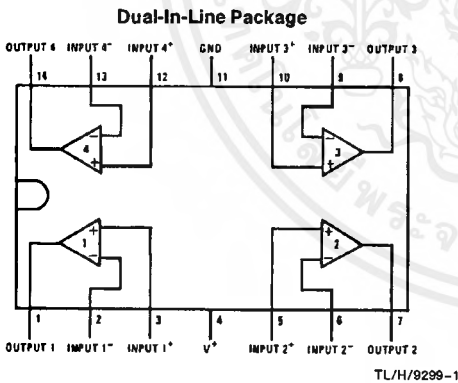
- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows direct sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply 3V to 32V
 - or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV and offset current 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to $V^+ - 1.5V$

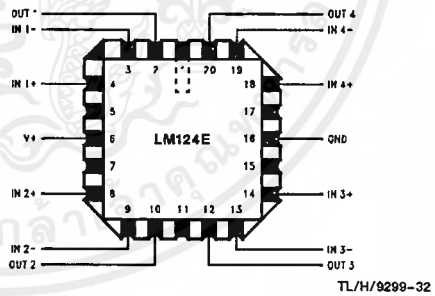
LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

Connection Diagram

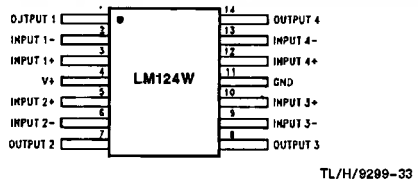


Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883**, LM124AJ/883*, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N
See NS Package Number J14A, M14A or N14A



Order Number LM124AE/883 or LM124E/883
See NS Package Number E20A



Order Number LM124AW/883 or LM124W/883
See NS Package Number W14B

*LM124A available per JM38510/11006
**LM124 available per JM38510/11005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 9)

| | LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A | LM2902 | LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A | LM2902 |
|---------------------------------------|---|----------------|---|-----------------|
| Supply Voltage, V^+ | 32V | 26V | –65°C to +150°C | –65°C to +150°C |
| Differential Input Voltage | 32V | 26V | –65°C to +150°C | 260°C |
| Input Voltage | –0.3V to +32V | –0.3V to +26V | Storage Temperature Range | 260°C |
| Input Current | 50 mA | 50 mA | Lead Temperature (Soldering, 10 seconds) | 260°C |
| Power Dissipation (Note 1) | 1130 mW | 1130 mW | Soldering Information | 260°C |
| Molded DIP | 1260 mW | 1260 mW | Dual-In-Line Package | 260°C |
| Cavity DIP | 800 mW | 800 mW | Soldering (10 seconds) | 215°C |
| Small Outline Package | | | Vapor Phase (60 seconds) | 220°C |
| Output Short-Circuit to GND | | | Infrared (15 seconds) | 220°C |
| (One Amplifier) (Note 2) | | | See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices. | 250V |
| $V^+ \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$ | | | ESD Tolerance (Note 10) | 250V |
| Operating Temperature Range | Continuous | Continuous | | |
| LM324/LM324A | 0°C to +70°C | –40°C to +85°C | | |
| LM224/LM224A | –25°C to +85°C | | | |
| LM124/LM124A | –55°C to +125°C | | | |

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$, (Note 4), unless otherwise stated

| Parameter | Conditions | LM124A | | LM224A | | LM324A | | LM124/LM224 | | LM324 | | LM2902 | | Units |
|--|---|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|--------|-------------|-------|
| | | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | |
| Input Offset Voltage | (Note 5) $T_A = 25^\circ C$ | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 5 | 2 | 7 | 2 | 7 | mV |
| Input Bias Current (Note 6) | $I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$; $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$ | 20 | 50 | 40 | 80 | 45 | 100 | 45 | 150 | 45 | 250 | 45 | 250 | nA |
| Input Offset Current | $I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$; $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$ | 2 | 10 | 2 | 15 | 5 | 30 | 5 | 30 | 5 | 50 | 5 | 50 | nA |
| Input Common-Mode Voltage Range (Note 7) | $V^+ = 30V$, (LM2902, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | 0 | $V^+ - 1.5$ | V |
| Supply Current | Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$ | 1.5 | 3 | 1.5 | 3 | 1.5 | 3 | 1.5 | 3 | 1.5 | 3 | 1.5 | 3 | mA |
| Large Signal Voltage Gain | $V^+ = 15V$, $R_L \geq 2 k\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$ | 0.7 | 1.2 | 0.7 | 1.2 | 0.7 | 1.2 | 0.7 | 1.2 | 0.7 | 1.2 | 0.7 | 1.2 | V/mV |
| Common-Mode Rejection Ratio | DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$ | 70 | 85 | 70 | 85 | 65 | 85 | 70 | 85 | 65 | 85 | 50 | 70 | dB |
| Power Supply Rejection Ratio | $V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$ | 65 | 100 | 65 | 100 | 65 | 100 | 65 | 100 | 65 | 100 | 50 | 100 | dB |

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$ (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

| Parameter | Conditions | LM124A | | LM224A | | LM324A | | LM124/LM224 | | LM324 | | LM2902 | | Units |
|--|--|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|-------------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|------------------------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8) | $f = 1 \text{ kHz}$ to 20 kHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred) | - | - | -120 | - | - | - | -120 | - | - | - | - | - | dB |
| Output Current | Source $V_{IN}^+ = 1V, V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$ | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | mA |
| | Sink $V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$ | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | |
| Short Circuit to Ground | $V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 200 \text{ mV}, T_A = 25^\circ\text{C}$ | 12 | 50 | 12 | 50 | 12 | 50 | 12 | 50 | 12 | 50 | 12 | 50 | μA |
| | (Note 2) $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ\text{C}$ | 40 | 60 | 40 | 60 | 40 | 60 | 40 | 60 | 40 | 60 | 40 | 60 | |
| Input Offset Voltage | (Note 5) | 4 | | 4 | | 5 | | 7 | | 9 | | 10 | | mV |
| Input Offset Voltage Drift | $R_S = 0\Omega$ | 7 | 20 | 7 | 20 | 7 | 30 | 7 | 30 | 7 | 30 | 7 | 30 | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Input Offset Current | $ I_{IN(+)} - I_{IN(-)} , V_{CM} = 0V$ | 30 | | 30 | | 75 | | 100 | | 150 | | 200 | | nA |
| Input Offset Current Drift | $R_S = 0\Omega$ | 10 | 200 | 10 | 200 | 10 | 300 | 10 | 300 | 10 | 300 | 10 | 300 | $\text{pA}/^\circ\text{C}$ |
| Input Bias Current | $ I_{IN(+)} $ or $ I_{IN(-)} $ | 40 | 100 | 40 | 100 | 40 | 200 | 40 | 300 | 40 | 500 | 40 | 500 | nA |
| Input Common-Mode Voltage Range (Note 7) | $V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$) | 0 | $V^+ - 2$ | 0 | $V^+ - 2$ | 0 | $V^+ - 2$ | 0 | $V^+ - 2$ | 0 | $V^+ - 2$ | 0 | $V^+ - 2$ | V |
| Large Signal Voltage Gain | $V^+ = +15V$ (V_O Swing = 1V to 11V) $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ | 25 | | 25 | | 15 | | 25 | | 15 | | 15 | | V/mV |
| | $V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$) | 26 | | 26 | | 26 | | 26 | | 26 | | 22 | | |
| Output Voltage Swing | $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ | 27 | 28 | 27 | 28 | 27 | 28 | 27 | 28 | 27 | 28 | 23 | 24 | V |
| | $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ | 27 | 28 | 27 | 28 | 27 | 28 | 27 | 28 | 27 | 28 | 23 | 24 | |
| V_{OL} | $V^+ = 5V, R_L = 10 \text{ k}\Omega$ | 5 | 20 | 5 | 20 | 5 | 20 | 5 | 20 | 5 | 20 | 5 | 100 | mV |

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$ (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

| Parameter | Conditions | LM124A | | LM224A | | LM324A | | LM124/LM224 | | LM324 | | Units | | |
|----------------|------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|-------------|-----|-------|-----|-------|-----|----|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Output Current | Source | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | mA |
| | Sink | 10 | 15 | 5 | 8 | 5 | 8 | 5 | 8 | 5 | 8 | 5 | 8 | |

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $88^\circ C/W$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a $+150^\circ C$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate of to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of $+15V$, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3V$ (at $25^\circ C$).

Note 4: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$, the LM324/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2902 specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 5: $V_O \approx 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from $5V$ to $30V$; and over the full input common-mode range ($0V$ to $V^+ - 1.5V$) for LM2902, V^+ from $5V$ to $25V$.

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

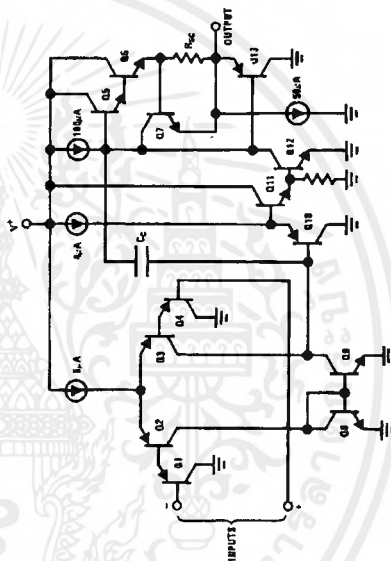
Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than $0.3V$ (at $25^\circ C$). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at $25^\circ C$), but either or both inputs can go to $+32V$ without damage ($+25V$ for LM2902), independent of the magnitude of V^+ .

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 9: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

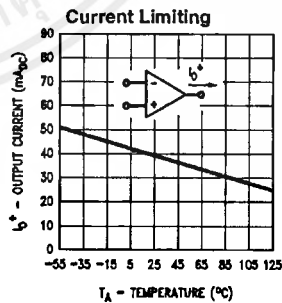
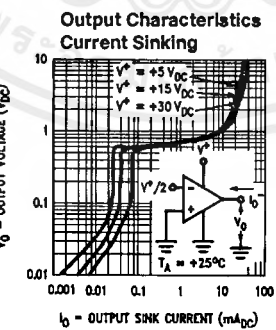
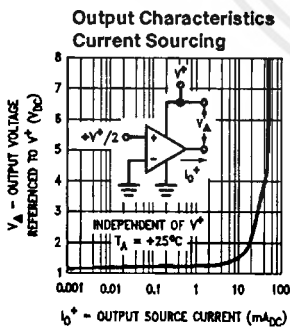
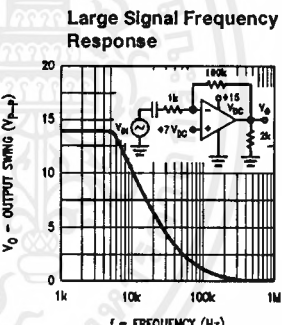
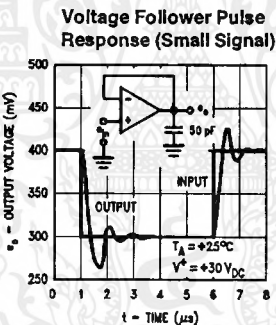
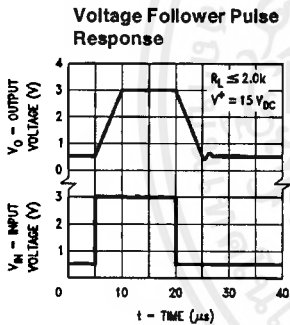
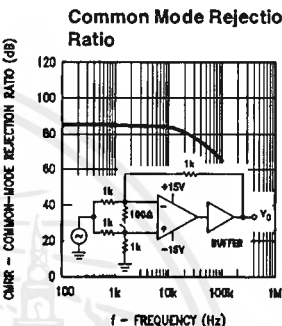
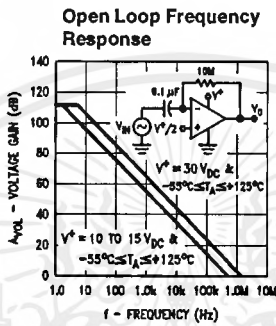
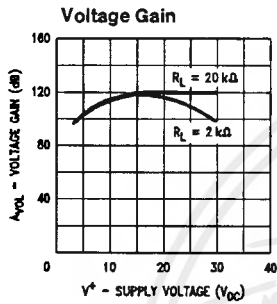
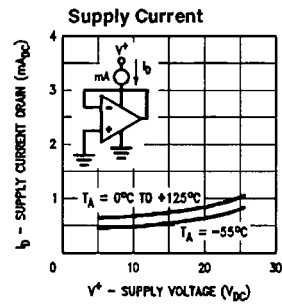
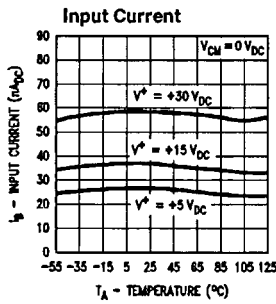
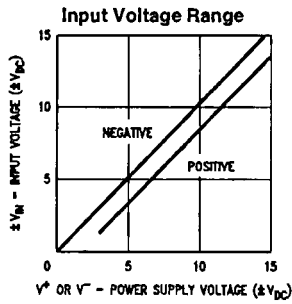
Note 10: Human body model, $1.5 k\Omega$ in series with $100 pF$.

Schematic Diagram (Each Amplifier)



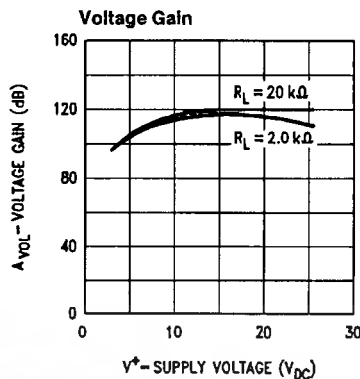
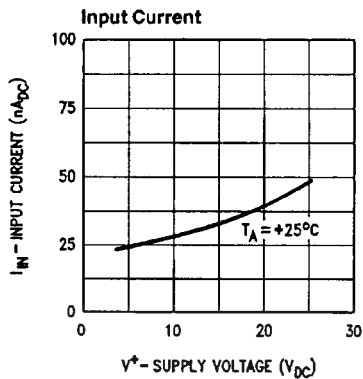
TL/H/0289-2

Typical Performance Characteristics



TL/H/8299-3

Typical Performance Characteristics (LM2902 only)



TL/H/9299-4

Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC}. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC}.

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14). Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than -0.3 V_{DC} (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

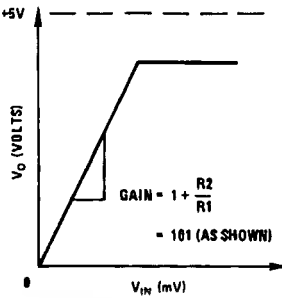
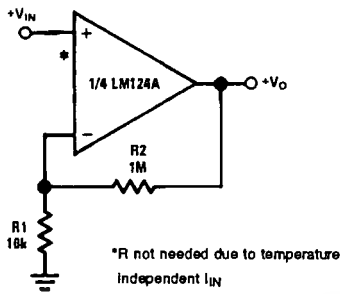
The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 3 V_{DC} to 30 V_{DC}.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of $V^+/2$) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

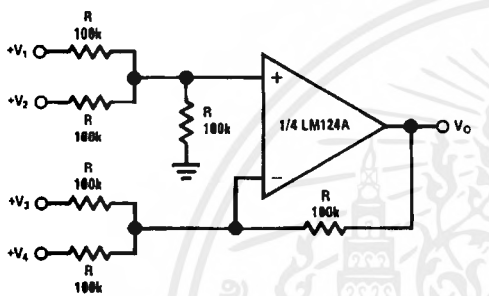
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$)

Non-Inverting DC Gain ($0V$ Input = $0V$ Output)



TL/H/9299-5

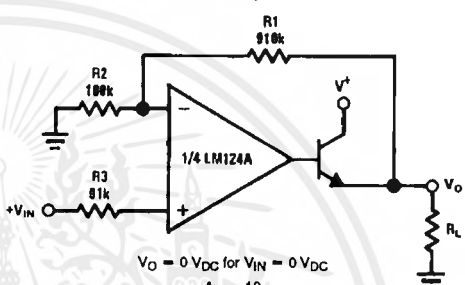
DC Summing Amplifier ($V_{IN'S} \geq 0 V_{DC}$ and $V_O \geq V_{DC}$)



Where: $V_O = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$
 $(V_1 + V_2) \geq (V_3 + V_4)$ to keep $V_O > 0 V_{DC}$

TL/H/9299-6

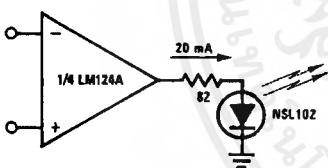
Power Amplifier



$V_O = 0 V_{DC}$ for $V_{IN} = 0 V_{DC}$
 $A_V = 10$

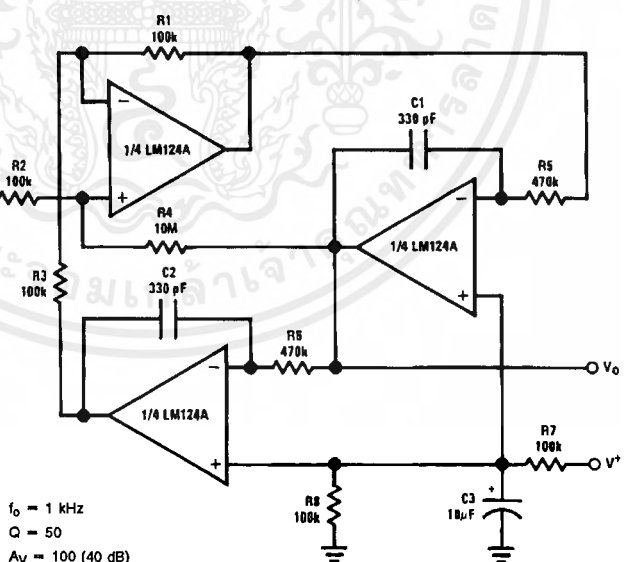
TL/H/9299-7

LED Driver



TL/H/9299-8

"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter

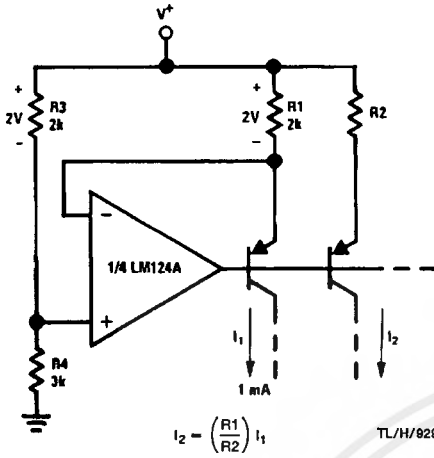


$f_o = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 50$
 $A_V = 100$ (40 dB)

TL/H/9299-9

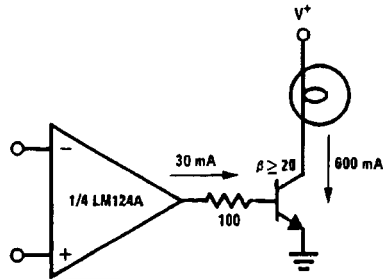
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Fixed Current Sources



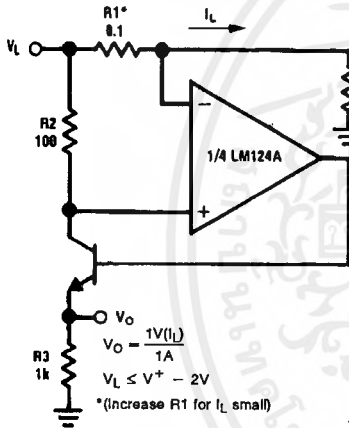
TL/H/9299-10

Lamp Driver



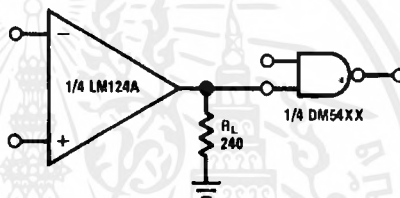
TL/H/9299-11

Current Monitor



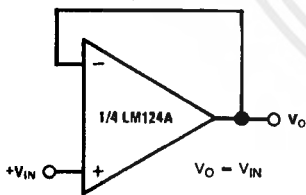
TL/H/9299-12

Driving TTL



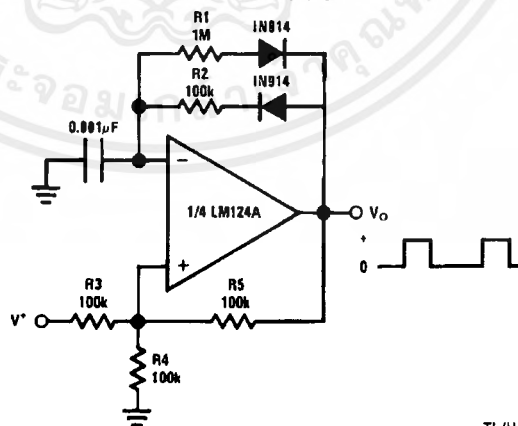
TL/H/9299-13

Voltage Follower



TL/H/9299-14

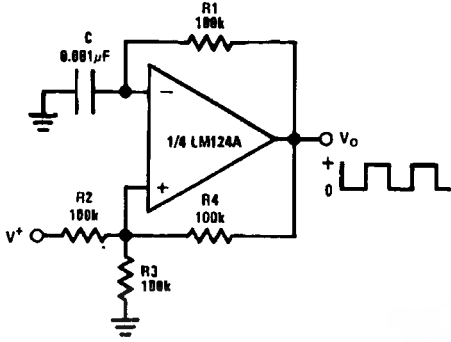
Pulse Generator



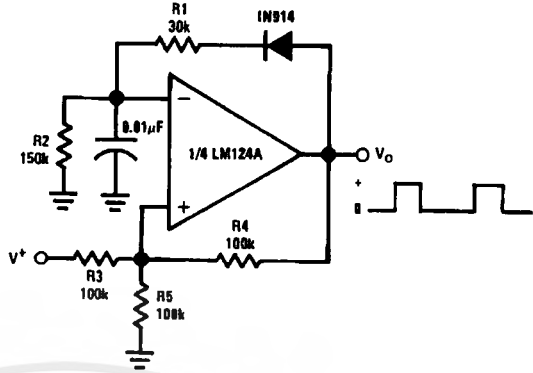
TL/H/9299-15

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

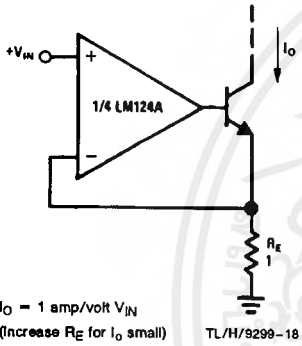
Squarewave Oscillator



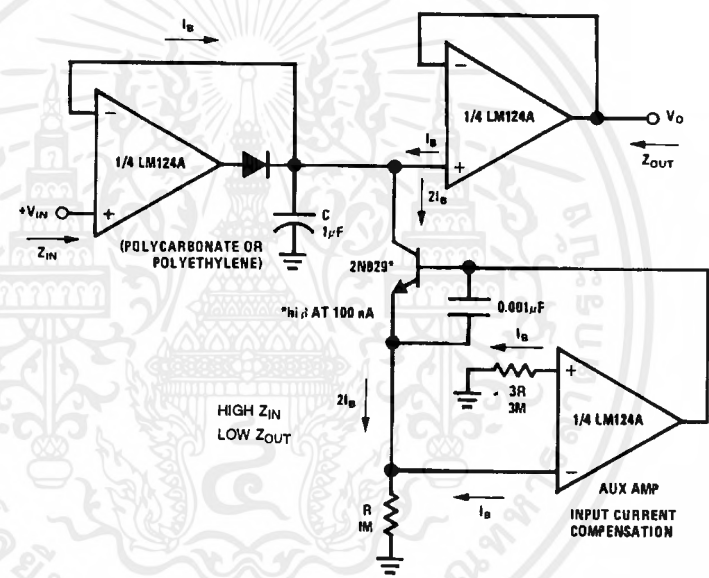
Pulse Generator



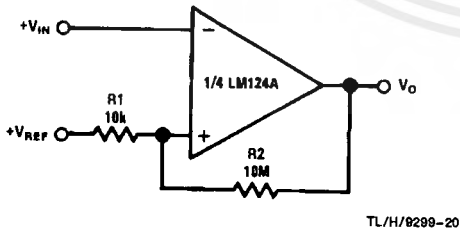
High Compliance Current Sink



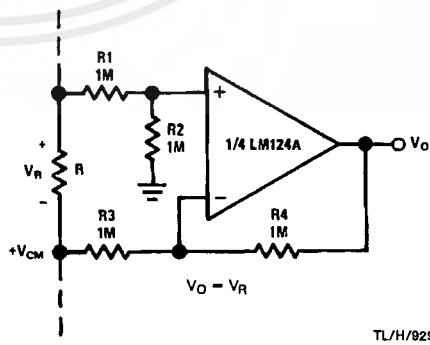
Low Drift Peak Detector



Comparator with Hysteresis



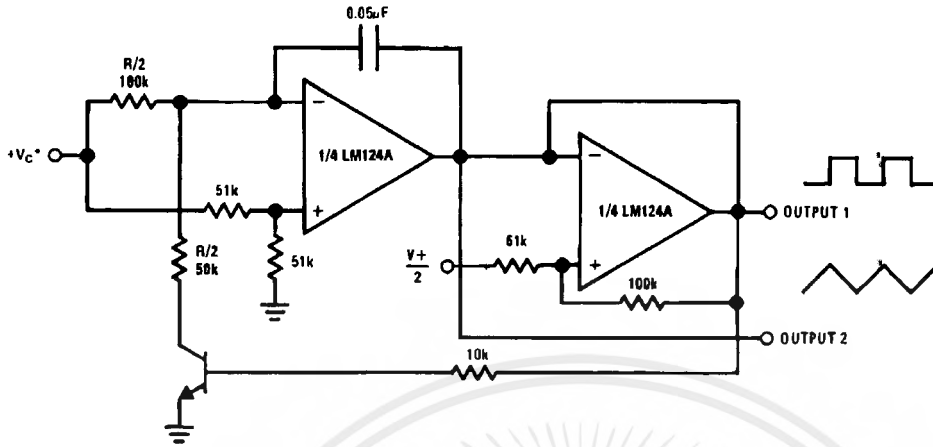
Ground Referencing a Differential Input Signal



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

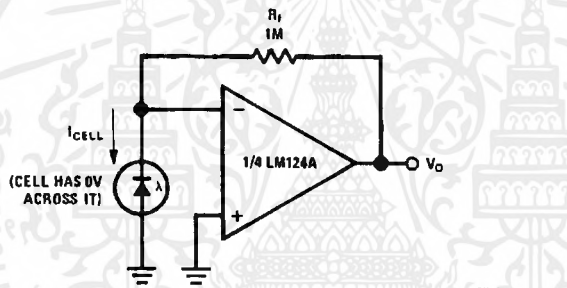
Voltage Controlled Oscillator Circuit



TL/H/9299-22

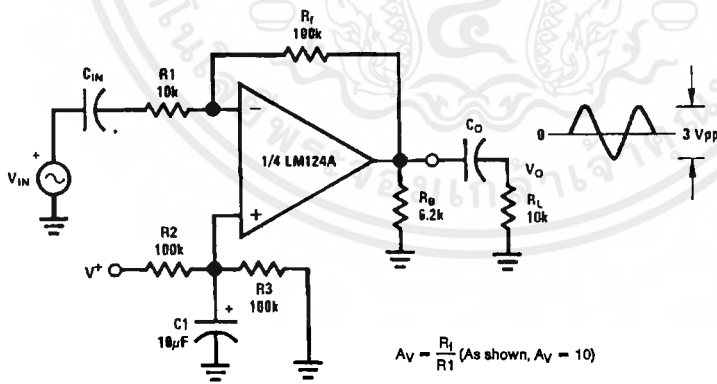
*Wide control voltage range: $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5 V_{DC})$

Photo Voltaic-Cell Amplifier



TL/H/9299-23

AC Coupled Inverting Amplifier

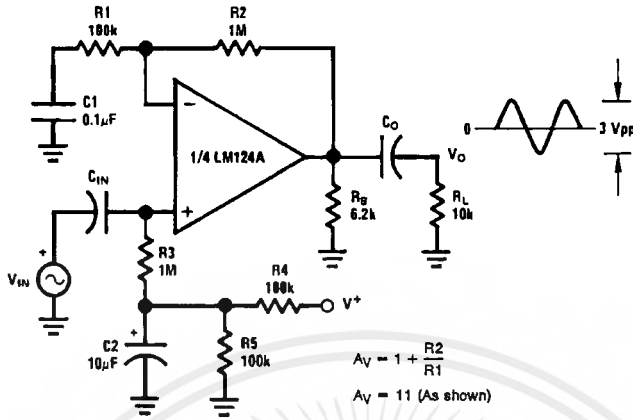


$$A_v = \frac{R_f}{R_1} \text{ (As shown, } A_v = 10 \text{)}$$

TL/H/9299-24

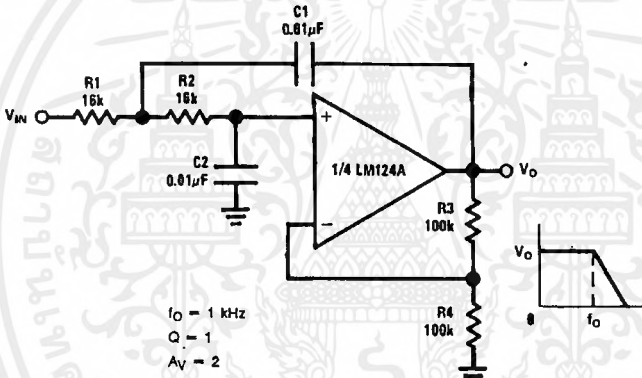
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier



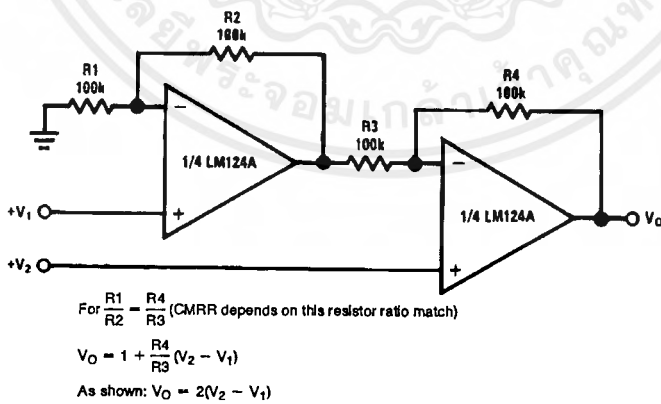
TL/H/9299-25

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



TL/H/9299-26

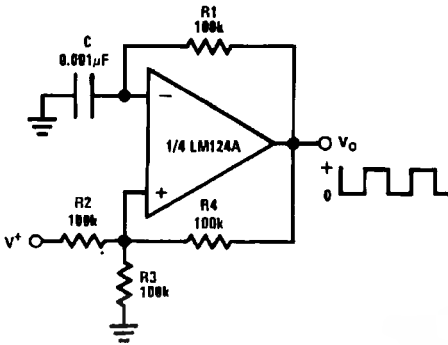
High Input Z, DC Differential Amplifier



TL/H/9299-27

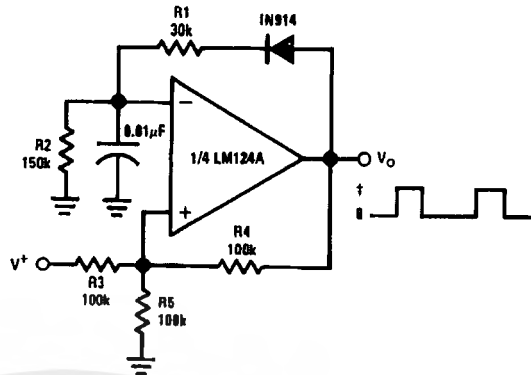
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Squarewave Oscillator



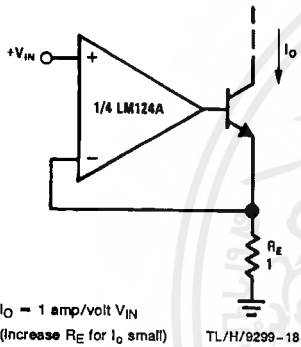
TL/H/9299-16

Pulse Generator



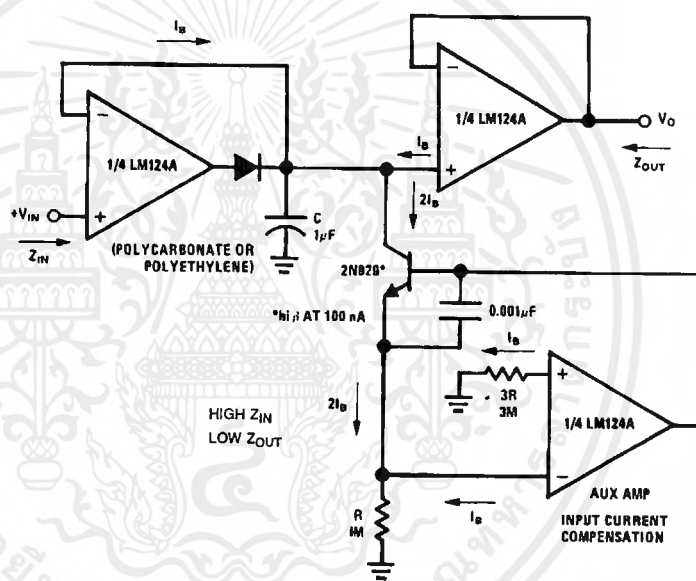
TL/H/9299-17

High Compliance Current Sink



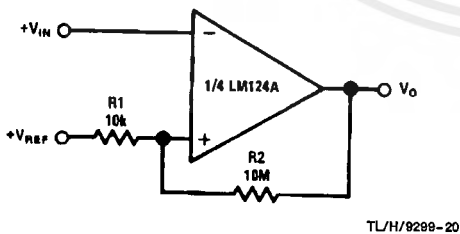
TL/H/9299-18

Low Drift Peak Detector



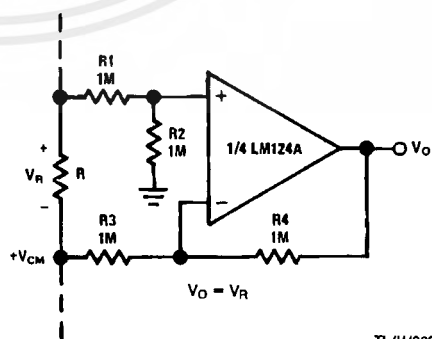
TL/H/9299-19

Comparator with Hysteresis



TL/H/9299-20

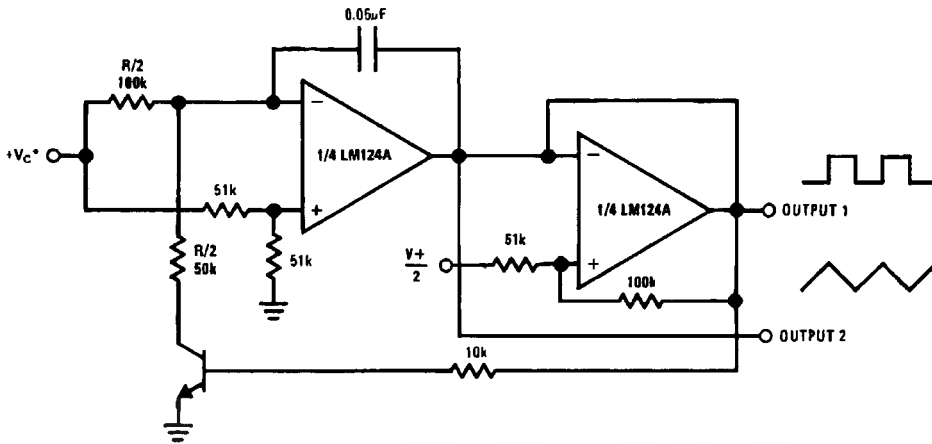
Ground Referencing a Differential Input Signal



TL/H/9299-21

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

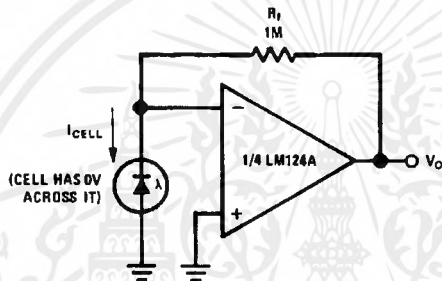
Voltage Controlled Oscillator Circuit



TL/H/9299-22

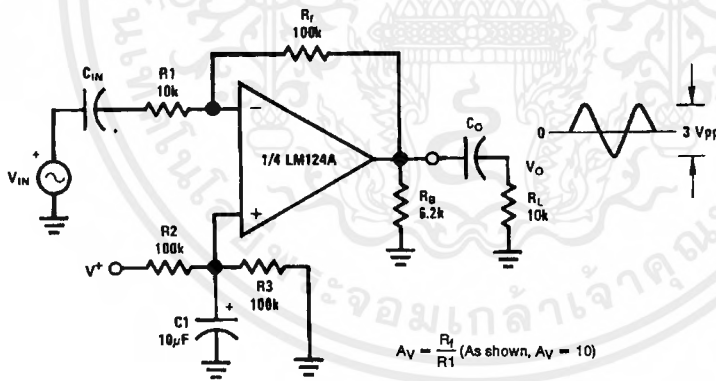
*Wide control voltage range: $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5 V_{DC})$

Photo Voltaic-Cell Amplifier



TL/H/9299-23

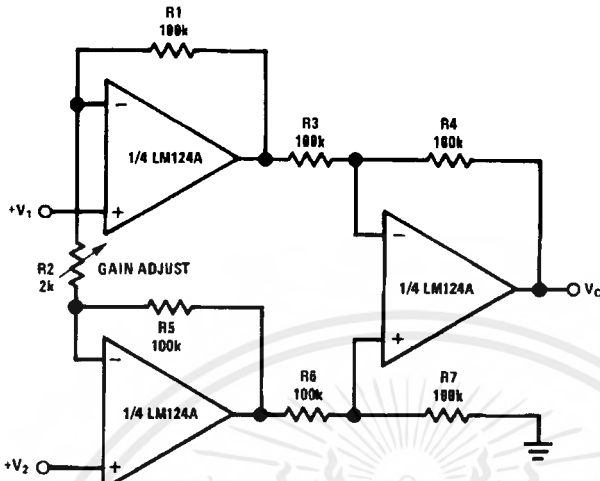
AC Coupled Inverting Amplifier



TL/H/9299-24

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



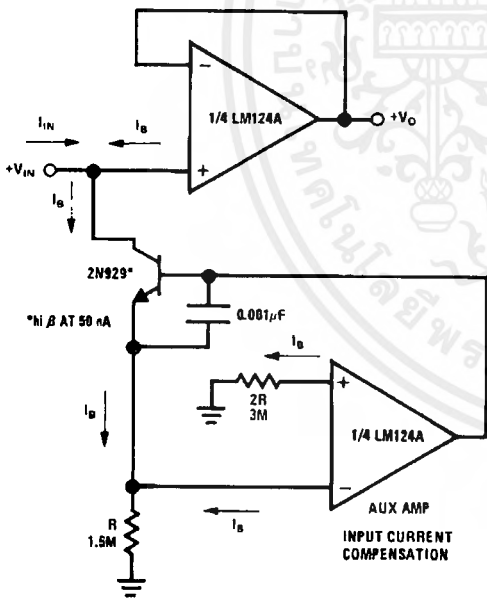
If $R1 = R5$ & $R3 = R4 = R6 = R7$ (CMRR depends on match)

$$V_O = 1 + \frac{2R1}{R2} (V_2 - V_1)$$

As shown $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

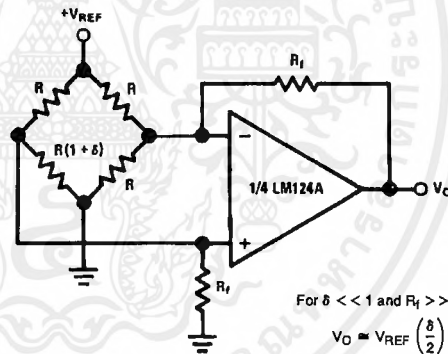
TL/H/9299-28

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



TL/H/9299-29

Bridge Current Amplifier



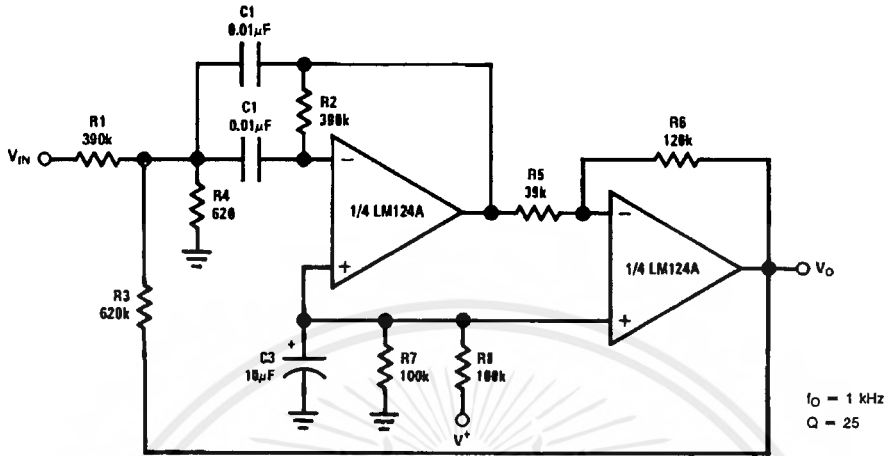
For $\delta \ll 1$ and $R_f \gg R$

$$V_O = V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

TL/H/9299-30

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

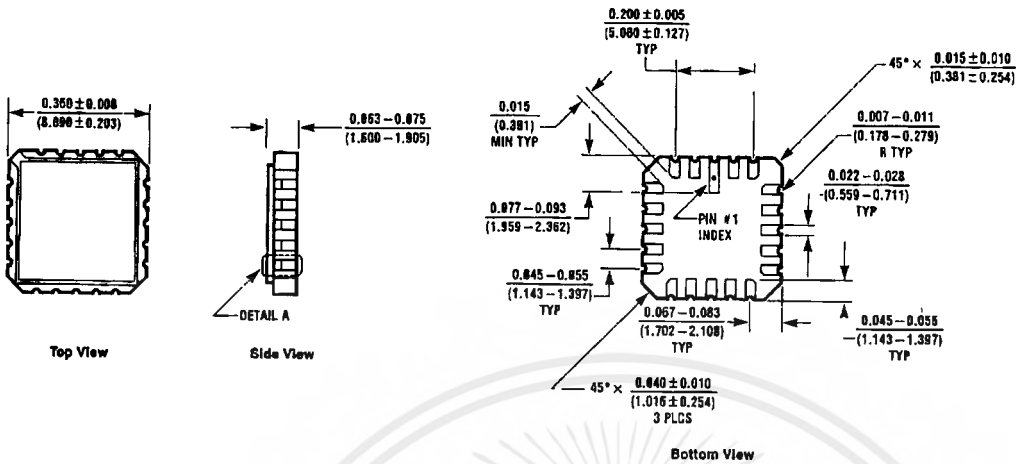
Bandpass Active Filter



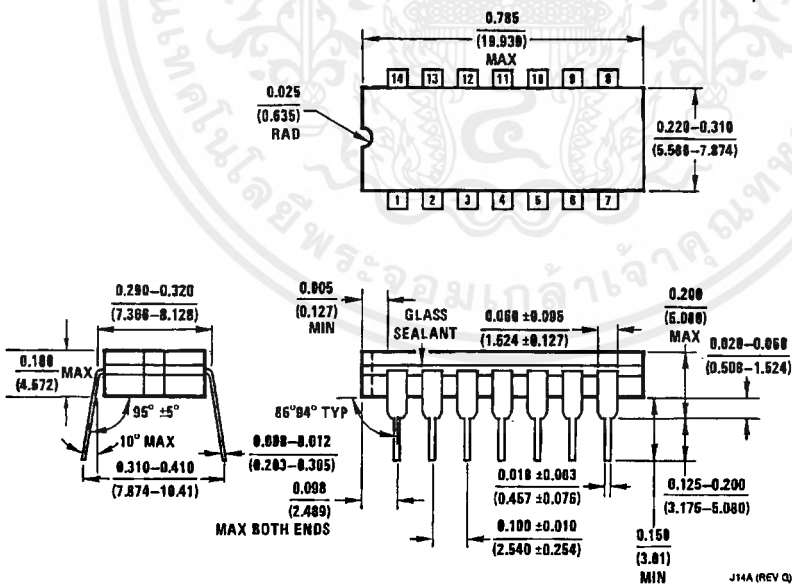
TL/H/0290-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)

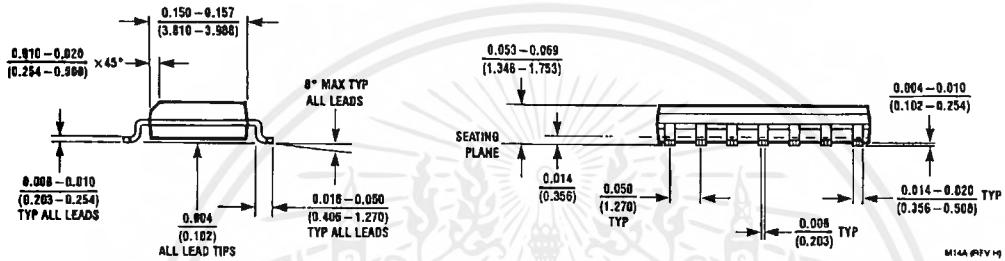
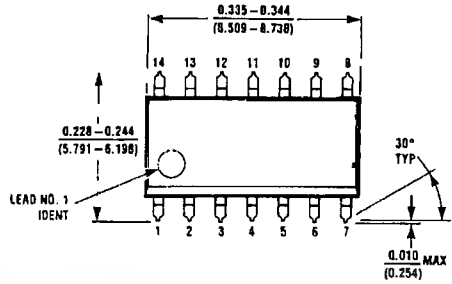


Leadless Chip Carrier Package
Order Number LM124AE/883 or LM124E/883
NS Package Number E20A

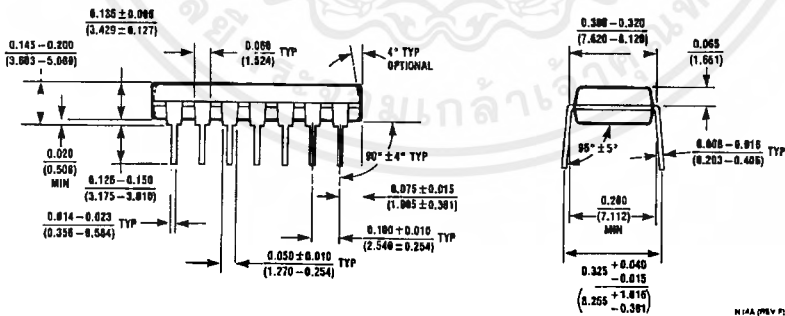
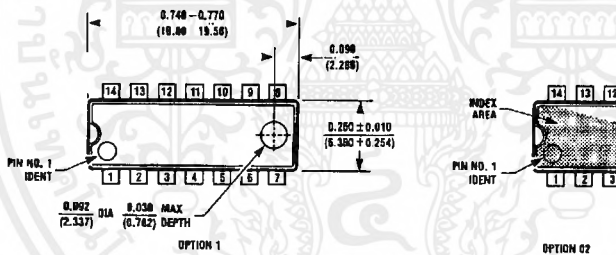


Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM124J, LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J
NS Package Number J14A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)

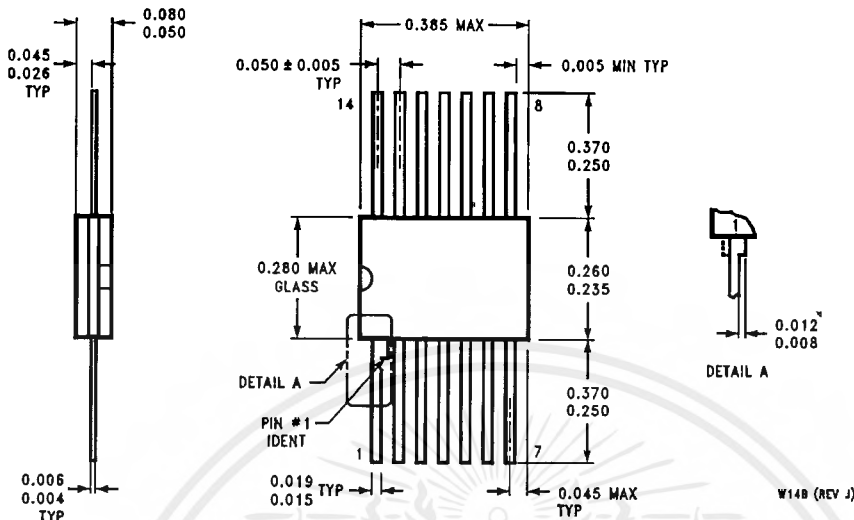


S.O. Package (M)
Order Number LM324M, LM324AM or LM2902M
NS Package Number M14A



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM324N, LM324AN or LM2902N
NS Package Number N14A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Ceramic Flatpak Package
Order Number LM124AW/883 or LM124W/883
NS Package Number W14B

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: enjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

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.

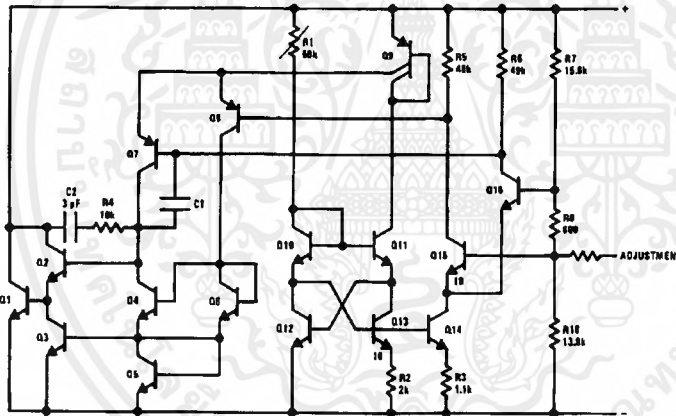
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C

temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 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

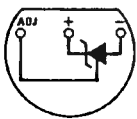
Schematic Diagram



TL/H/5698-1

Connection Diagrams

TO-92
Plastic Package

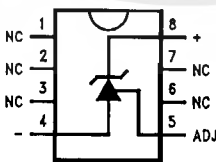


TL/H/5698-8

Bottom View

Order Number LM335Z or LM335AZ
See NS Package Number Z03A

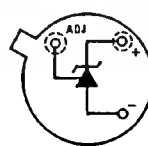
SO-8
Surface Mount Package



TL/H/5698-25

Order Number LM335M or
LM335AM
See NS Package Number M08A

TO-46
Metal Can Package*



TL/H/5698-26

Bottom View

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

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

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please 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 |
| SO-8 Package | -65°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 |
| SO-8 Package: | | 300°C |
| Vapor Phase (60 seconds) | | 215°C |
| Infrared (15 seconds) | | 220°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 | | Ω |
| Output Voltage Temperature Coefficient | | | +10 | | | +10 | | mV/°C |
| Time Constant | Still Air 100 ft/Min Air Stirred Oil | | 80 10 1 | | | 80 10 1 | | sec sec sec |
| Time Stability | $T_C = 125^\circ\text{C}$ | | 0.2 | | | 0.2 | | °C/hr |

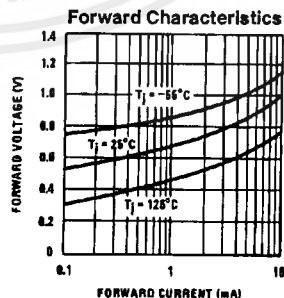
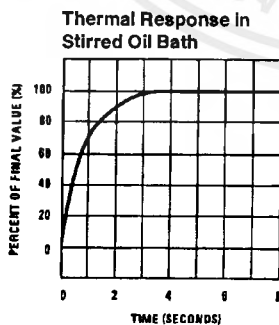
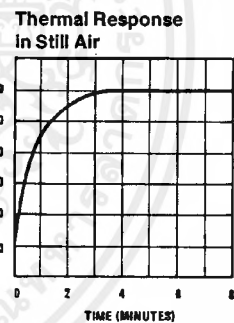
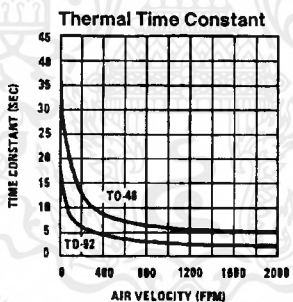
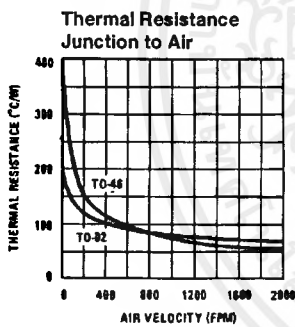
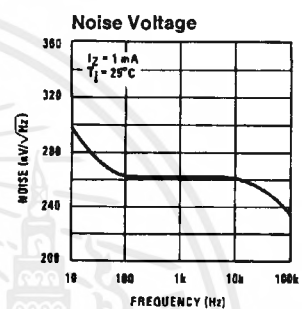
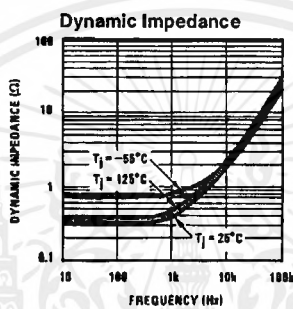
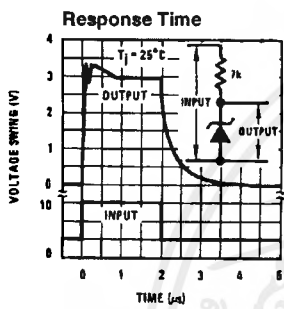
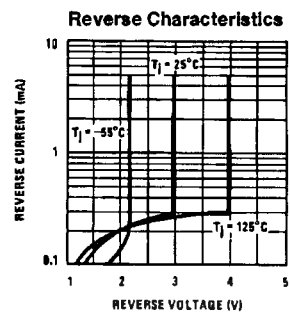
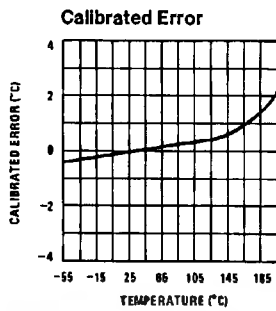
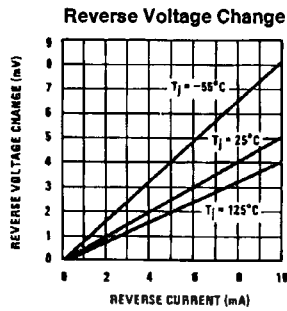
Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

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
 θ_{JA} (junction to ambient) 202°C/W TO-92 400°C/W TO-46 165°C/W SO-8
 θ_{JC} (junction to case) 170°C/W N/A N/A

Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

Typical Performance Characteristics



TL/H/5698-3

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 T₀ 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.

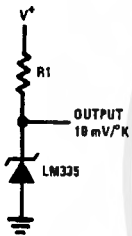
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error 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 1/2" 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.

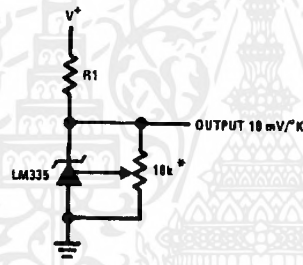
Typical Applications

Basic Temperature Sensor



TL/H/5698-2

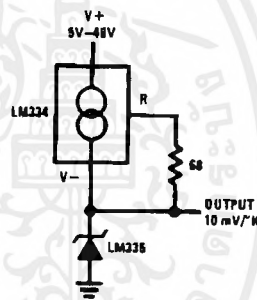
Calibrated Sensor



TL/H/5698-9

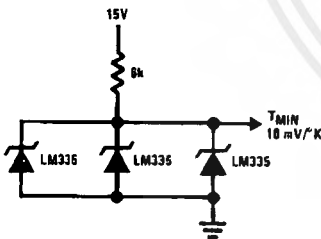
*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply



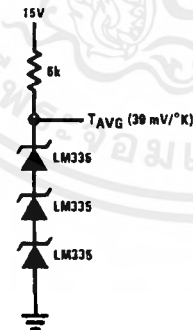
TL/H/5698-10

Minimum Temperature Sensing



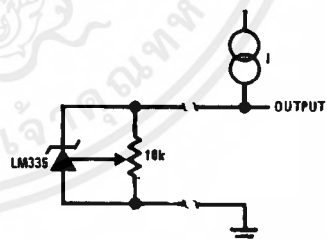
TL/H/5698-4

Average Temperature Sensing



TL/H/5698-18

Remote Temperature Sensing



TL/H/5698-19

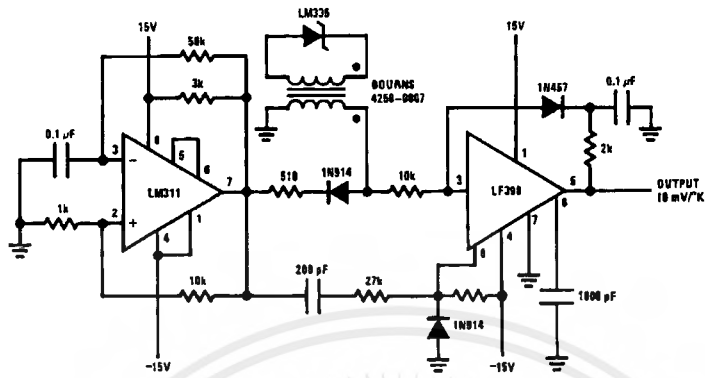
Wire length for 1°C error due to wire drop

| AWG | I _R = 1 mA | I _R = 0.5 mA* |
|-----|-----------------------|--------------------------|
| 14 | 4000 | 8000 |
| 16 | 2500 | 5000 |
| 18 | 1600 | 3200 |
| 20 | 1000 | 2000 |
| 22 | 625 | 1250 |
| 24 | 400 | 800 |

*For I_R = 0.5 mA, the trim pot must be deleted.

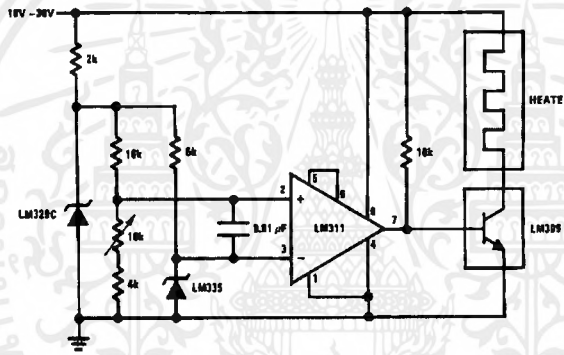
Typical Applications (Continued)

Isolated Temperature Sensor



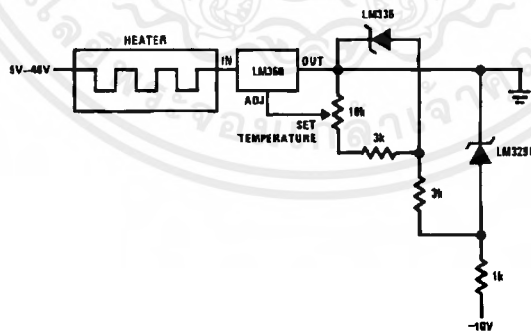
TL/H/5698-20

Simple Temperature Controller



TL/H/5698-5

Simple Temperature Control

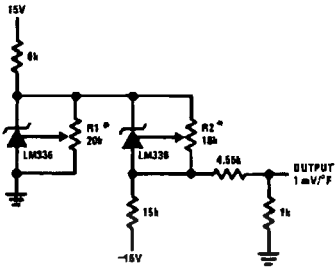


TL/H/5698-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

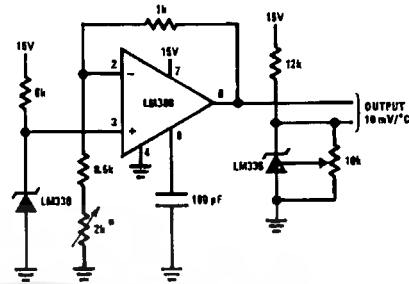
Ground Referred Fahrenheit Thermometer



TL/H/5698-22

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

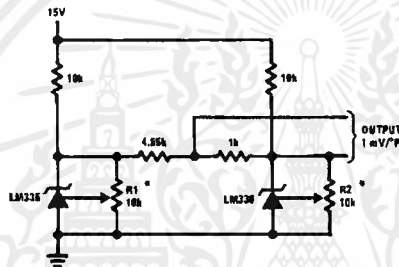
Centigrade Thermometer



TL/H/5698-23

*Adjust for 2.7315V at output of LM308

Fahrenheit Thermometer



TL/H/5698-24

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

THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION Compensation for Grounded Thermocouple

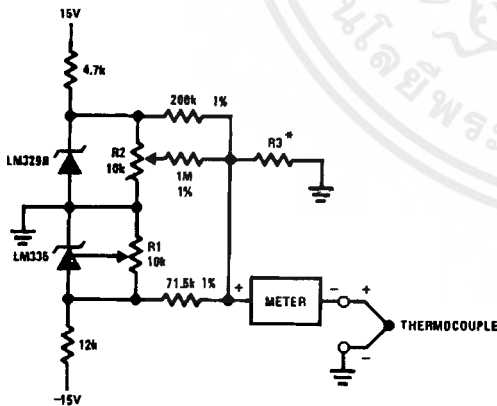
*Select R3 for proper thermocouple type

| 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

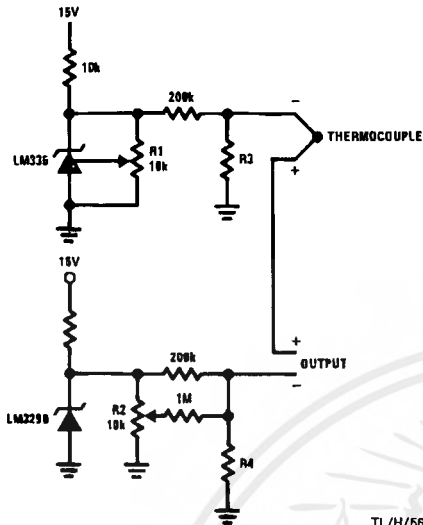
| | | | |
|---|----------|---|----------|
| J | 14.32 mV | K | 11.17 mV |
| T | 11.79 mV | S | 1.768 mV |



TL/H/5698-6

Typical Applications (Continued)

Single Power Supply Cold Junction Compensation



*Select R3 and R4 for thermocouple type

| THERMO-COUPLE | R3 | R4 | SEEBECK COEFFICIENT |
|---------------|-------|-------|-----------------------------------|
| J | 1.05K | 385Ω | 52.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| T | 856Ω | 315Ω | 42.8 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| K | 816Ω | 300Ω | 40.8 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| S | 128Ω | 46.3Ω | 6.4 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |

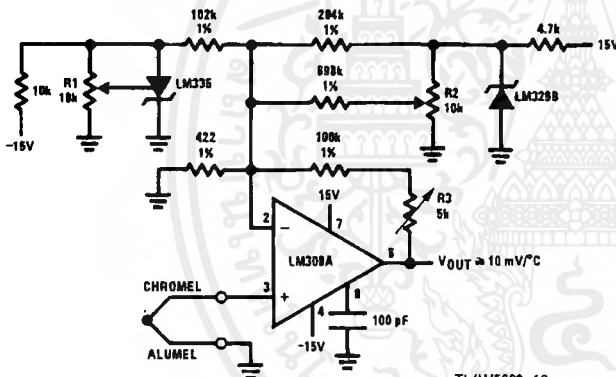
Adjustments:

1. Adjust R1 for the voltage across R3 equal to the Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin.
2. Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple

| | |
|---|----------|
| J | 14.32 mV |
| T | 11.79 mV |
| K | 11.17 mV |
| S | 1.768 mV |

TL/H/6698-11

Centigrade Calibrated Thermocouple Thermometer



Terminate thermocouple reference junction in close proximity to LM335.

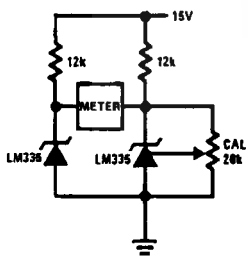
Adjustments:

1. Apply signal in place of thermocouple and adjust R3 for a gain of 245.7.
2. Short non-inverting input of LM308A and output of LM329B to ground.
3. Adjust R1 so that $V_{OUT} = 2.982\text{V} @ 25^\circ\text{C}$.
4. Remove short across LM329B and adjust R2 so that $V_{OUT} = 246 \text{ mV} @ 25^\circ\text{C}$.
5. Remove short across thermocouple.

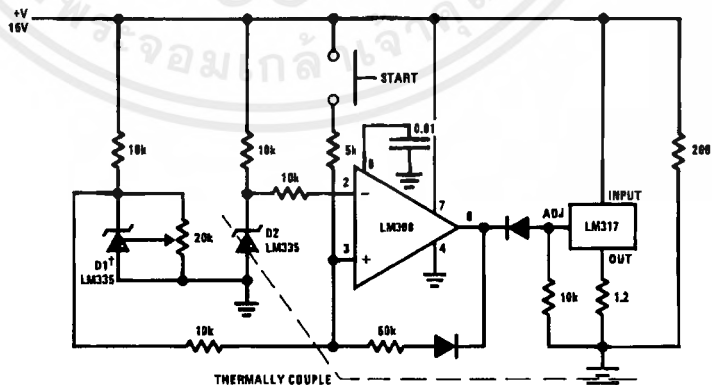
TL/H/6698-12

Fast Charger for Nickel-Cadmium Batteries

Differential Temperature Sensor



TL/H/6698-7

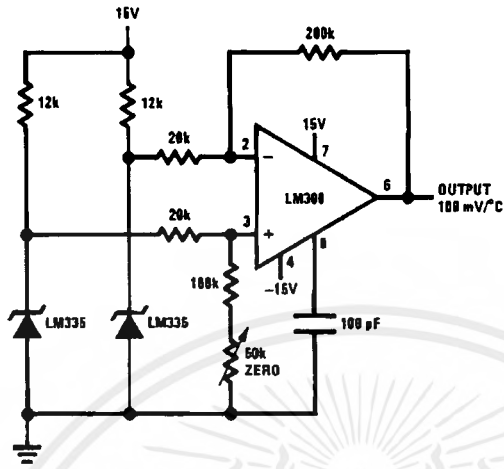


†Adjust D1 to 50 mV greater V_Z than D2.
Charge terminates on 5°C temperature rise. Couple D2 to battery.

TL/H/6698-13

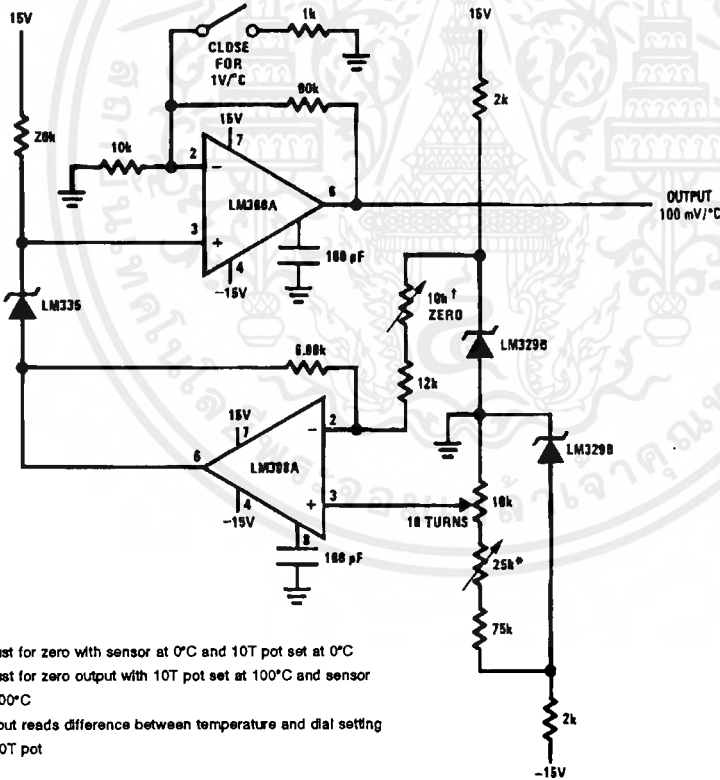
Typical Applications (Continued)

Differential Temperature Sensor



TL/H/5698-14

Variable Offset Thermometer[‡]



[†]Adjust for zero with sensor at 0°C and 10T pot set at 0°C

^{*}Adjust for zero output with 10T pot set at 100°C and sensor at 100°C

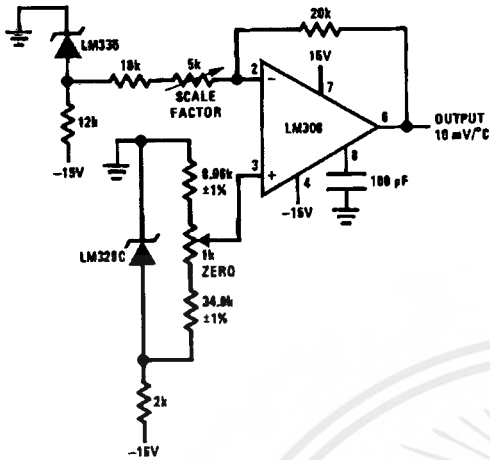
[‡]Output reads difference between temperature and dial setting of 10T pot

TL/H/5698-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Ground Referred Centigrade Thermometer



TL/H/5698-16

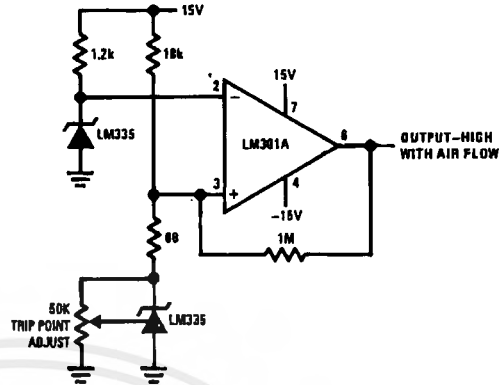
Definition of Terms

Operating Output Voltage: The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

Uncalibrated Temperature Error: The error between the operating output voltage at 10 mV/°K and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

Calibrated Temperature Error: The error between operating output voltage and case temperature at 10 mV/°K over a temperature range at a specified operating current with the 25°C error adjusted to zero.

Air Flow Detector*

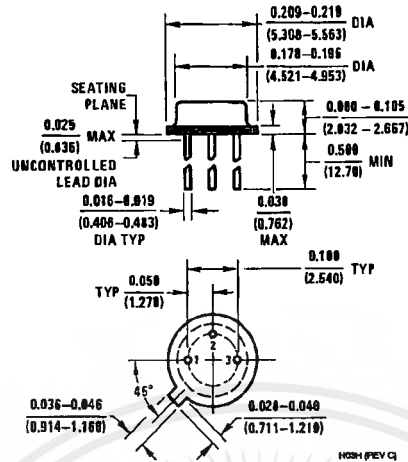


TL/H/5698-17

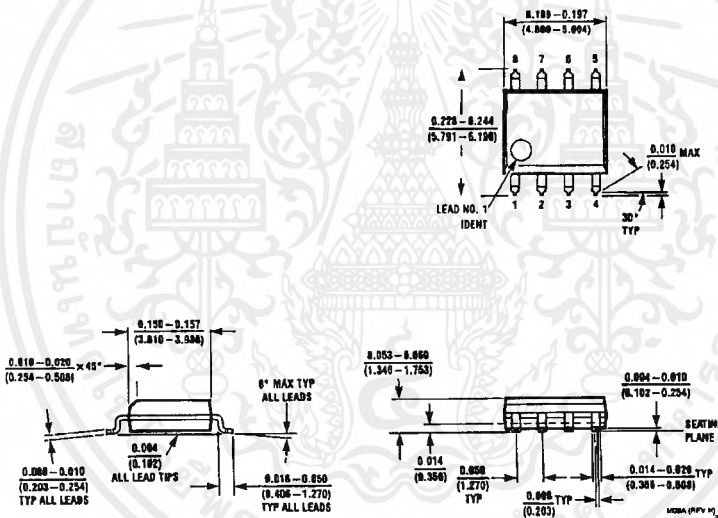
*Self heating is used to detect air flow



Physical Dimensions inches (millimeters)

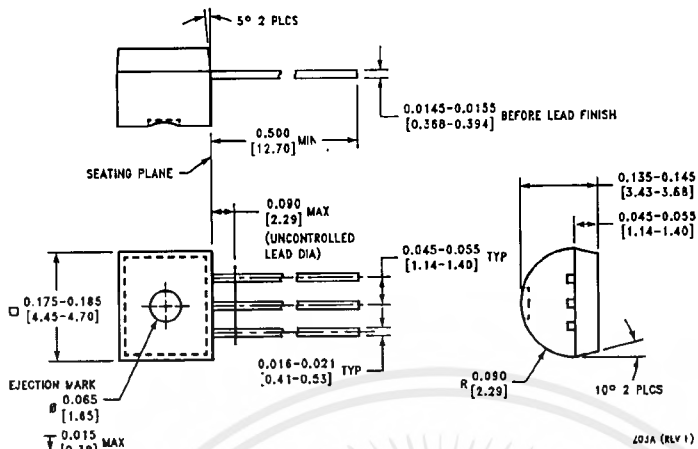


Metal Can Package (H)
 Order Number LM135H, LM235H, LM335H, LM135AH, LM235AH or LM335AH
 NS Package Number H03H



8-Lead Molded Small Outline Package (M)
 Order Number LM335M or LM335AM
 NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Plastic Package
Order Number LM335Z or LM335AZ
NS Package Z03A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: crjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 83 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.



Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

MAX199

General Description

The MAX199 multi-range, 12-bit data-acquisition system (DAS) requires only a single +5V supply for operation, and converts analog signals up to $\pm 4V$ at its inputs. This system provides eight analog input channels that are independently software programmable for a variety of ranges: $\pm V_{REF}$, $\pm V_{REF}/2$, $0V$ to V_{REF} , or $0V$ to $V_{REF}/2$. This increases effective dynamic range to 14 bits, and provides the user flexibility to interface 4mA-to-20mA, $\pm 12V$, and $\pm 15V$ powered sensors to a single +5V system. In addition, the converter is fault-protected to $\pm 16.5V$; a fault condition on any channel will **not** affect the conversion result of the selected channel. Other features include a 5MHz bandwidth track/hold, 100ksp/s throughput rate, internal/external clock, internal/external acquisition control, 8+4 parallel interface, and operation with an internal 4.096V or external reference.

A hardware \overline{SHDN} pin and two programmable power-down modes (STBYPD, FULLPD) provide low-current shutdown between conversions. In STBYPD mode, the reference buffer remains active, eliminating start-up delays.

The MAX199 employs a standard microprocessor (μP) interface. Its three-state data I/O interface is configured to operate with 8-bit data buses, and data-access and bus-release timing specifications are compatible with most popular μP s. All logic inputs and outputs are TTL/CMOS compatible.

The MAX199 is available in 28-pin DIP, wide SO, SSOP, and ceramic SB packages.

For a different combination of input ranges ($\pm 10V$, $\pm 5V$, $0V$ to $10V$, $0V$ to $5V$), see the MAX197 data sheet. For 12-bit bus interfaces, see the MAX196/MAX198 data sheet.

Applications

- Industrial-Control Systems
- Robotics
- Data-Acquisition Systems
- Automatic Testing Systems
- Medical Instruments
- Telecommunications

Functional Diagram appears at end of data sheet.



Maxim Integrated Products 1

Call toll free 1-800-722-8266 for free samples or literature.

Features

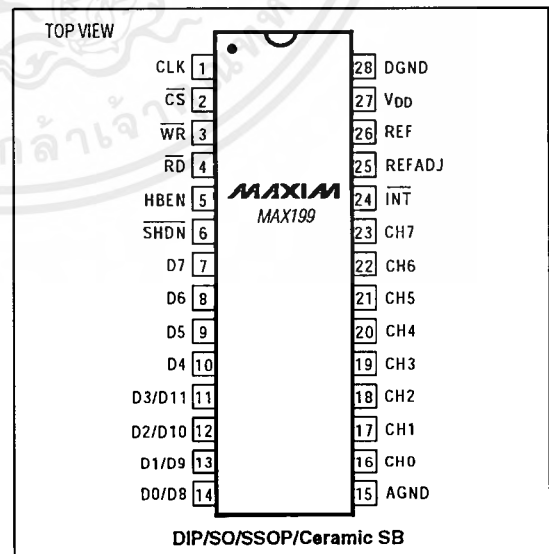
- ◆ 12-Bit Resolution, 1/2LSB Linearity
- ◆ Single +5V Operation
- ◆ Software-Selectable Input Ranges: $\pm V_{REF}$, $\pm V_{REF}/2$, $0V$ to V_{REF} , $0V$ to $V_{REF}/2$
- ◆ Internal 4.096V or External Reference
- ◆ Fault-Protected Input Multiplexer ($\pm 16.5V$)
- ◆ 8 Analog Input Channels
- ◆ 6 μs Conversion Time, 100ksp/s Sampling Rate
- ◆ Internal or External Acquisition Control
- ◆ Two Power-Down Modes
- ◆ Internal or External Clock

Ordering Information

| PART | TEMP. RANGE | PIN-PACKAGE |
|------------|----------------|-----------------------|
| MAX199ACNI | 0 °C to +70 °C | 28 Narrow Plastic DIP |
| MAX199BCNI | 0 °C to +70 °C | 28 Narrow Plastic DIP |
| MAX199ACWI | 0 °C to +70 °C | 28 Wide SO |
| MAX199BCWI | 0 °C to +70 °C | 28 Wide SO |
| MAX199ACAI | 0 °C to +70 °C | 28 SSOP |
| MAX199BCAI | 0 °C to +70 °C | 28 SSOP |
| MAX199BC/D | 0 °C to +70 °C | Dice* |

Ordering information continued at end of data sheet.
*Dice are specified at $T_A = +25^\circ C$, DC parameters only.

Pin Configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | | | |
|--|-----------------------------------|---|-------------------|
| V _{DD} to AGND..... | -0.3V to +7V | Wide SO (derate 12.50mW/ °C above +70 °C)..... | 1000mW |
| AGND to DGND..... | -0.3V to +0.3V | SSOP (derate 9.52mW/ °C above +70 °C) | 762mW |
| REF to AGND..... | -0.3V to (V _{DD} + 0.3V) | Narrow Ceramic SB (derate 20.00mW/ °C above +70 °C).. | 1600mW |
| REFADJ to AGND..... | -0.3V to (V _{DD} + 0.3V) | Operating Temperature Ranges | |
| Digital Inputs to DGND..... | -0.3V to (V _{DD} + 0.3V) | MAX199_C_..... | 0 °C to +70 °C |
| Digital Outputs to DGND..... | -0.3V to (V _{DD} + 0.3V) | MAX199_E_..... | -40 °C to +85 °C |
| CHO-CH7 to AGND | $\pm 16.5V$ | MAX199_M_..... | -55 °C to +125 °C |
| Continuous Power Dissipation (T _A = +70 °C) | | Storage Temperature Range..... | -65 °C to +150 °C |
| Narrow Plastic DIP (derate 14.29mW/ °C above +70 °C).... | 1143mW | Lead Temperature (soldering, 10séc)..... | +300 °C |

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{DD} = 5V \pm 5%; unipolar/bipolar range; external reference mode, V_{REF} = 4.096V; 4.7 μ F at REF pin; external clock, f_{CLK} = 2.0MHz with 50% duty cycle; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|----------|---|-----|-----------|-----------|-------|
| ACCURACY (Note 1) | | | | | | |
| Resolution | | | 12 | | | Bits |
| Integral Nonlinearity | INL | MAX199A | | | $\pm 1/2$ | LSB |
| | | MAX199B | | | ± 1 | |
| Differential Nonlinearity | DNL | | | | ± 1 | LSB |
| Offset Error | Unipolar | MAX199A | | | ± 3 | LSB |
| | | MAX199B | | | ± 5 | |
| | Bipolar | MAX199A | | | ± 5 | |
| | | MAX199B | | | ± 10 | |
| Channel-to-Channel Offset Error Matching | Unipolar | | | ± 0.1 | LSB | |
| | Bipolar | | | ± 0.5 | | |
| Gain Error (Note 2) | Unipolar | MAX199A | | | ± 7 | LSB |
| | | MAX199B | | | ± 10 | |
| | Bipolar | MAX199A | | | ± 7 | |
| | | MAX199B | | | ± 10 | |
| Gain Temperature Coefficient (Note 2) | Unipolar | | | 3 | ppm/ °C | |
| | Bipolar | | | 5 | | |
| DYNAMIC SPECIFICATIONS (10kHz sine-wave input, $\pm 4.096V_p$-p, f_{SAMPLE} = 100ksps) | | | | | | |
| Signal-to-Noise + Distortion Ratio | SINAD | MAX199A | 70 | | | dB |
| | | MAX199B | 69 | | | |
| Total Harmonic Distortion | THD | Up to the 5th harmonic | | -85 | -78 | dB |
| Spurious-Free Dynamic Range | SFDR | | 80 | | | dB |
| Channel-to-Channel Crosstalk | | 50kHz, V _{IN} = $\pm 4V$ (Note 3) | | -86 | | dB |
| Aperture Delay | | External CLK mode/external acquisition control | | 15 | | ns |
| Aperture Jitter | | External CLK mode/external acquisition control | | <50 | | ps |
| | | Internal CLK mode/internal acquisition control (Note 4) | | 10 | | ns |

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{DD} = 5V \pm 5\%$; unipolar/bipolar range; external reference mode, $V_{REF} = 4.096V$; $4.7\mu F$ at REF pin; external clock, $f_{CLK} = 2.0MHz$ with 50% duty cycle; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------|-------------|-----------------|
| ANALOG INPUT | | | | | | |
| Track/Hold Acquisition Time | | $f_{CLK} = 2.0MHz$ | | | 3 | μs |
| Small-Signal Bandwidth | | -3dB rolloff | $\pm V_{REF}$ range | 5 | | MHz |
| | | | $\pm V_{REF}/2$ range | 2.5 | | |
| | | | 0V to V_{REF} range | 2.5 | | |
| | | | 0V to $V_{REF}/2$ range | 1.25 | | |
| Input Voltage Range | | Unipolar (see Table 2) | 0 | | V_{REF} | V |
| | | | 0 | | $V_{REF}/2$ | |
| | | Bipolar (see Table 2) | $-V_{REF}$ | | V_{REF} | |
| | | | $-V_{REF}/2$ | | $V_{REF}/2$ | |
| Input Current | | Unipolar range | | 0.1 | 10 | μA |
| | | Bipolar | $\pm V_{REF}$ range | -1200 | 10 | |
| | | | $\pm V_{REF}/2$ range | -600 | 10 | |
| Input Dynamic Resistance | | Unipolar | | 40 | | $M\Omega$ |
| | | Bipolar | | 10 | | $k\Omega$ |
| Input Capacitance | | (Note 5) | | | 40 | pF |
| INTERNAL REFERENCE | | | | | | |
| REF Output Voltage | V_{REF} | $T_A = +25^\circ C$ | 4.076 | 4.096 | 4.116 | V |
| REF Output Tempco (Contact Maxim Applications for guaranteed temperature drift specifications) | TC V_{REF} | MAX199_C | | ± 15 | | ppm/ $^\circ C$ |
| | | MAX199_E | | ± 30 | | |
| | | MAX199_M | | ± 40 | | |
| Output Short-Circuit Current | | | | | 30 | mA |
| Load Regulation | | 0mA to 0.5mA output current (Note 6) | | | 7.5 | mV |
| | | 0mA to 0.1mA output current (Note 6) | | 0.8 | | |
| Capacitive Bypass at REF | | | 4.7 | | | μF |
| REFADJ Output Voltage | | | 2.465 | 2.500 | 2.535 | V |
| REFADJ Adjustment Range | | With recommended circuit (Figure 1) | | ± 1.5 | | % |
| Buffer Voltage Gain | | | | 1.6384 | | V/V |
| REFERENCE INPUT (Buffer disabled, reference input applied to REF pin) | | | | | | |
| Input Voltage Range | | | 2.4 | | 4.18 | V |
| Input Current | | $V_{REF} = 4.18V$ | Normal, or STANDBY power-down mode | | 400 | μA |
| | | | FULL power-down mode | | 1 | |
| Input Resistance | | Normal, or STANDBY power-down mode | 10 | | | $k\Omega$ |
| | | FULL power-down mode | 5 | | | $M\Omega$ |
| REFADJ Threshold for Buffer Disable | | | $V_{DD} - 50mV$ | | | V |

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{DD} = 5V \pm 5\%$; unipolar/bipolar range; external reference mode, $V_{REF} = 4.096V$; $4.7\mu F$ at REF pin; external clock, $f_{CLK} = 2.0MHz$ with 50% duty cycle; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS | |
|--|------------|---|----------------------|------|-----------|---------|---------|
| POWER REQUIREMENTS | | | | | | | |
| Supply Voltage | V_{DD} | | 4.75 | | 5.25 | V | |
| Supply Current | I_{DD} | Normal mode, bipolar ranges | | | 18 | mA | |
| | | Normal mode, unipolar ranges | | 6 | 10 | | |
| | | Standby power-down (STBYPD) | | 700 | | 850 | μA |
| | | Full power-down mode (FULLPD) (Note 7) | | 60 | | 120 | |
| Power-Supply Rejection Ratio (Note 8) | PSRR | External reference = 4.096V | | | $\pm 1/2$ | LSB | |
| | | Internal reference | | | $\pm 1/2$ | | |
| TIMING | | | | | | | |
| Internal Clock Frequency | f_{CLK} | $C_{CLK} = 100pF$ | 1.25 | 1.56 | 2.00 | MHz | |
| External Clock Frequency Range | f_{CLK} | | 0.1 | | 2.0 | MHz | |
| Acquisition Time | t_{ACQI} | Internal acquisition | External CLK | | 3.0 | μs | |
| | | | Internal CLK | | 3.0 | | 5.0 |
| | t_{ACQE} | External acquisition (Note 9) After FULLPD or STBYPD | | 3.0 | | | 5 |
| Conversion Time | t_{CONV} | External CLK | | 6.0 | | μs | |
| | | Internal CLK, $C_{CLK} = 100pF$ | | 6.0 | 7.7 | | 10.0 |
| Throughput Rate | | External CLK | | | | 100 | ksps |
| | | Internal CLK, $C_{CLK} = 100pF$ | | 62 | | | |
| Bandgap Reference Start-Up Time | | Power-up (Note 10) | | | 200 | μs | |
| Reference Buffer Settling | | To 0.1mV, REF bypass capacitor fully discharged | $C_{REF} = 4.7\mu F$ | | | 8 | ms |
| | | | $C_{REF} = 33\mu F$ | | | 60 | |
| DIGITAL INPUTS (D7-D0, CLK, RD, WR, CS, HBEN, SHDN) (Note 11) | | | | | | | |
| Input High Voltage | V_{INH} | | 2.4 | | | V | |
| Input Low Voltage | V_{INL} | | | | 0.8 | V | |
| Input Leakage Current | I_{IN} | $V_{IN} = 0V$ or V_{DD} | | | ± 10 | μA | |
| Input Capacitance | C_{IN} | (Note 5) | | | 15 | pF | |
| DIGITAL OUTPUTS (D7-D4, D3/D11, D2/D10, D1/D9, D0/D8, INT) | | | | | | | |
| Output Low Voltage | V_{OL} | $V_{DD} = 4.75V$, $I_{SINK} = 1.6mA$ | | | 0.4 | V | |
| Output High Voltage | V_{OH} | $V_{DD} = 4.75V$, $I_{SOURCE} = 1mA$ | $V_{DD} - 1$ | | | V | |
| Three-State Output Capacitance | C_{OUT} | (Note 5) | | | 15 | pF | |

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

TIMING CHARACTERISTICS

($V_{DD} = 5V \pm 5\%$; unipolar/bipolar range; external reference mode, $V_{REF} = 4.096V$; $4.7\mu F$ at REF pin; external clock, $f_{CLK} = 2.0MHz$ with 50% duty cycle; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| \overline{CS} Pulse Width | t_{CS} | | 80 | | | ns |
| \overline{WR} Pulse Width | t_{WR} | | 80 | | | ns |
| \overline{CS} to \overline{WR} Setup Time | t_{CSWS} | | 0 | | | ns |
| \overline{CS} to \overline{WR} Hold Time | t_{CSWH} | | 0 | | | ns |
| \overline{CS} to \overline{RD} Setup Time | t_{CSRS} | | 0 | | | ns |
| \overline{CS} to \overline{RD} Hold Time | t_{CSRH} | | 0 | | | ns |
| CLK to \overline{WR} Setup Time | t_{CWS} | | | | 100 | ns |
| CLK to \overline{WR} Hold Time | t_{CWH} | | | | 50 | ns |
| Data Valid to \overline{WR} Setup | t_{DS} | | 60 | | | ns |
| Data Valid to \overline{WR} Hold | t_{DH} | | 0 | | | ns |
| \overline{RD} Low to Output Data Valid | t_{DO} | Figure 2, $C_L = 100pF$ (Note 12) | | | 120 | ns |
| HBEN High or HBEN Low to Output Valid | t_{DO1} | Figure 2, $C_L = 100pF$ (Note 12) | | | 120 | ns |
| \overline{RD} High to Output Disable | t_{TR} | (Note 13) | | | 70 | ns |
| \overline{RD} Low to \overline{INT} High Delay | t_{INT1} | | | | 120 | ns |

Note 1: Accuracy specifications tested at $V_{DD} = 5.0V$. Performance at power-supply tolerance limits guaranteed by Power-Supply Rejection test. Tested for the $\pm 4.096V$ input range.

Note 2: External reference: $V_{REF} = 4.096V$, offset error nulled, ideal last code transition = $FS - 3/2LSB$.

Note 3: Ground "on" channel; sine wave applied to all "off" channels.

Note 4: Maximum full-power input frequency for 1LSB error with 10ns jitter = 3kHz.

Note 5: Guaranteed by design. Not tested.

Note 6: Use static loads only.

Note 7: Tested using internal reference.

Note 8: PSRR measured at full-scale. $V_{DD} = 4.75V$ to $5.25V$.

Note 9: External acquisition timing: starts at rising edge of \overline{WR} with control bit ACQMOD = low; ends at rising edge of \overline{WR} with ACQMOD = high.

Note 10: Not subject to production testing. Provided for design guidance only.

Note 11: All input control signals specified with $t_R = t_F = 5ns$ from a voltage level of 0.8V to 2.4V.

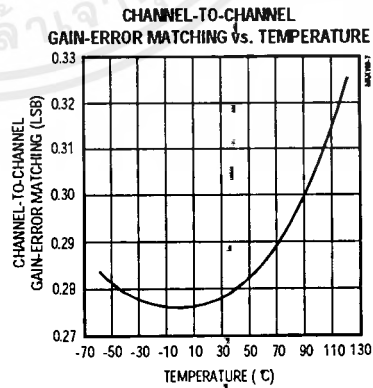
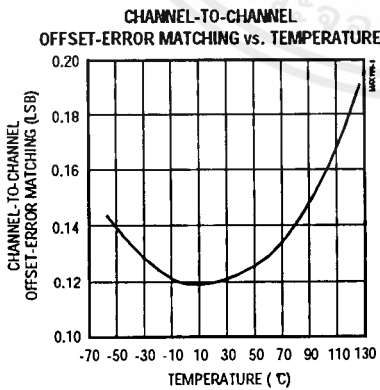
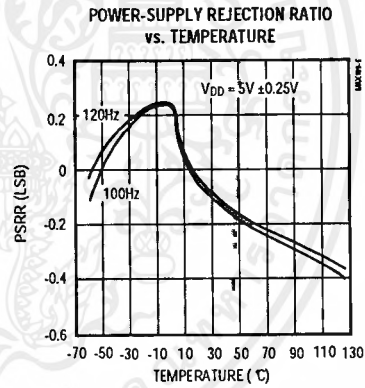
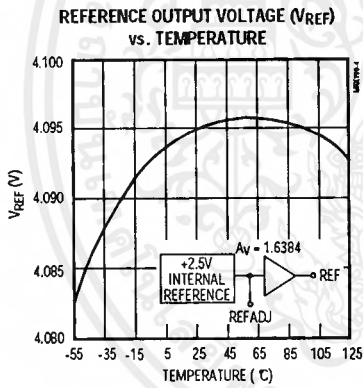
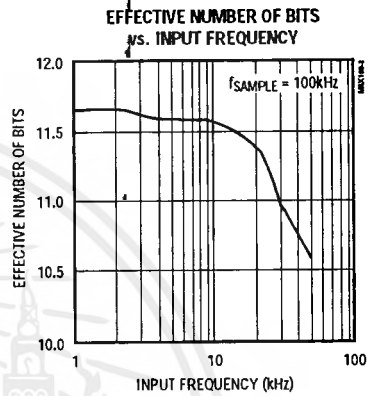
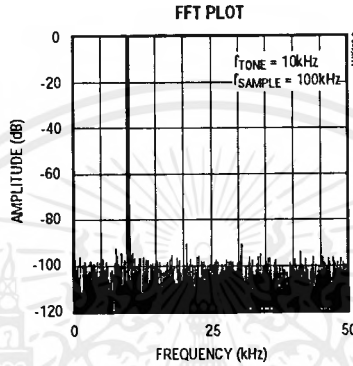
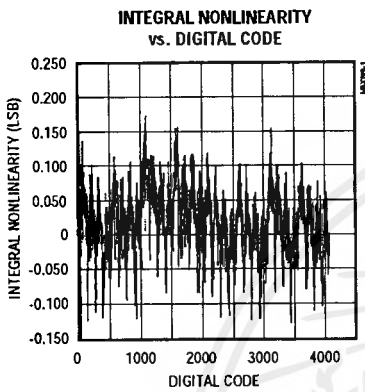
Note 12: t_{DO} and t_{DO1} are measured with the load circuits of Figure 2 and defined as the time required for an output to cross 0.8V or 2.4V.

Note 13: t_{TR} is defined as the time required for the data lines to change by 0.5V.

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

Typical Operating Characteristics

($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)



Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

Pin Description

| PIN | NAME | FUNCTION |
|-------|-------------------|--|
| 1 | CLK | Clock Input. In external clock mode, drive CLK with a TTL/CMOS compatible clock. In internal clock mode, place a capacitor (CCLK) from this pin to ground to set the internal clock frequency; $f_{CLK} = 1.56\text{MHz}$ typical with $C_{CLK} = 100\text{pF}$. |
| 2 | \overline{CS} | Chip Select, active low. |
| 3 | \overline{WR} | When \overline{CS} is low, in the internal acquisition mode, a rising edge on \overline{WR} latches in configuration data and starts an acquisition plus a conversion cycle. When \overline{CS} is low, in the external acquisition mode, the first rising edge on \overline{WR} starts an acquisition and a second rising edge on \overline{WR} ends acquisition and starts a conversion cycle. |
| 4 | \overline{RD} | When \overline{CS} is low, a falling edge on \overline{RD} will enable a read operation on the data bus. |
| 5 | HBEN | Used to multiplex the 12-bit conversion result. When high, the 4 MSBs are multiplexed on the data bus; when low, the 8 LSBs are available on the bus. |
| 6 | \overline{SHDN} | Shutdown. Puts the device into full power-down (FULLPD) mode when pulled low. |
| 7-10 | D7-D4 | Three-State Digital I/O |
| 11 | D3/D11 | Three-State Digital I/O. D3 output (HBEN = low), D11 output (HBEN = high). |
| 12 | D2/D10 | Three-State Digital I/O. D2 output (HBEN = low), D10 output (HBEN = high). |
| 13 | D1/D9 | Three-State Digital I/O. D1 output (HBEN = low), D9 output (HBEN = high). |
| 14 | D0/D8 | Three-State Digital I/O. D0 output (HBEN = low), D8 output (HBEN = high). D0 = ₄ LSB. |
| 15 | AGND | Analog Ground |
| 16-23 | CH0-CH7 | Analog Input Channels |
| 24 | \overline{INT} | \overline{INT} goes low when conversion is complete and output data is ready. |
| 25 | REFADJ | Bandgap Voltage-Reference Output / External Adjust Pin. Bypass with a $0.01\mu\text{F}$ capacitor to AGND. Connect to V_{DD} when using an external reference at the REF pin. |
| 26 | REF | Reference Buffer Output / ADC Reference Input. In internal reference mode, the reference buffer provides a 4.096V nominal output, externally adjustable at REFADJ. In external reference mode, disable the internal buffer by pulling REFADJ to V_{DD} . |
| 27 | V_{DD} | +5V Supply. Bypass with $0.1\mu\text{F}$ capacitor to AGND. |
| 28 | DGND | Digital Ground |

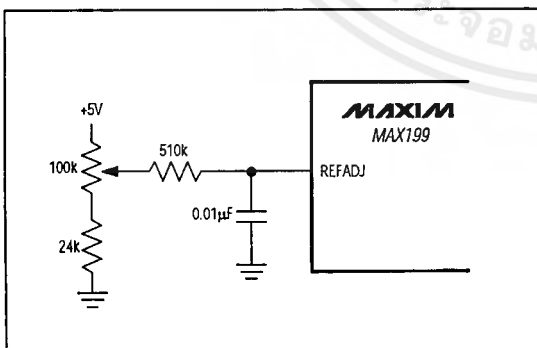


Figure 1. Reference-Adjust Circuit

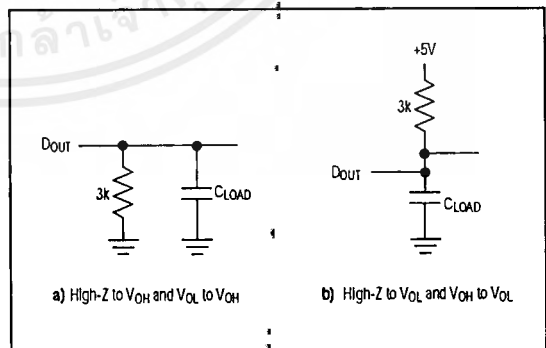


Figure 2. Load Circuits for Enable Time

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

Detailed Description

Converter Operation

The MAX199, a multi-range, fault-tolerant ADC, uses successive approximation and internal input track/hold (T/H) circuitry to convert an analog signal to a 12-bit digital output. The parallel-output format provides easy interface to microprocessors (μ Ps). Figure 3 shows the MAX199 in its simplest operational configuration.

Analog-Input Track/Hold

In the internal acquisition control mode (control bit D5 set to 0), the T/H enters its tracking mode on \overline{WR} 's rising edge, and enters its hold mode when the internally timed (6 clock cycles) acquisition interval ends. In bipolar mode, a low-impedance input source, which settles in less than $1.5\mu s$, is required to maintain conversion accuracy at the maximum conversion rate.

When configured for unipolar mode, the input does not need to be driven from a low-impedance source. The acquisition time (t_{AZ}) is a function of the source output resistance (R_S), the channel input resistance (R_{IN}), and the T/H capacitance.

Acquisition time is calculated by:

$$\text{For } 0V \text{ to } V_{REF}: t_{AZ} = 9 \times (R_S + R_{IN}) \times 16pF$$

$$\text{For } 0V \text{ to } V_{REF}/2: t_{AZ} = 9 \times (R_S + R_{IN}) \times 32pF$$

where $R_{IN} = 7k\Omega$, and t_{AZ} is never less than $2\mu s$ (0V to V_{REF} range) or $3\mu s$ (0V to $V_{REF}/2$ range).

In the external acquisition control mode ($D5 = 1$), the T/H enters its tracking mode on the first \overline{WR} rising edge and enters its hold mode when it detects the second \overline{WR} rising edge with $D5 = 0$. See the *External Acquisition* section.

Input Bandwidth

The ADC's input tracking circuitry has a 5MHz small-signal bandwidth. When using the internal acquisition mode with an external clock frequency of 2MHz, a 100ksp/s throughput rate can be achieved. It is possible to digitize high-speed transient events and measure periodic signals with bandwidths exceeding the ADC's sampling rate by using undersampling techniques. To avoid high-frequency signals being aliased into the frequency band of interest, anti-alias filtering is recommended (MAX274/MAX275 continuous-time filters).

Input Range and Protection

Figure 4 shows the equivalent input circuit. The MAX199 can be programmed for input ranges of $\pm V_{REF}$, $\pm V_{REF}/2$, 0V to V_{REF} , or 0V to $V_{REF}/2$ by setting the appropriate control bits ($D3$, $D4$) in the control byte (see Tables 1 and 2). When an external reference is applied at REFADJ, the voltage at REF is given by $V_{REF} = 1.6384 \times V_{REFADJ}$ ($2.4V < V_{REF} < 4.18V$).

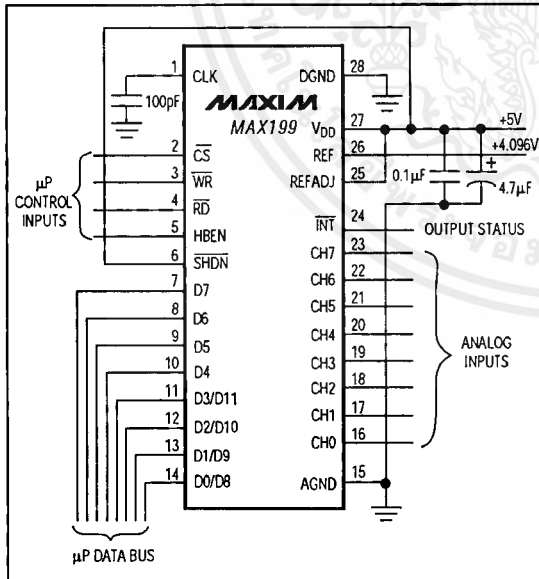


Figure 3. Operational Diagram

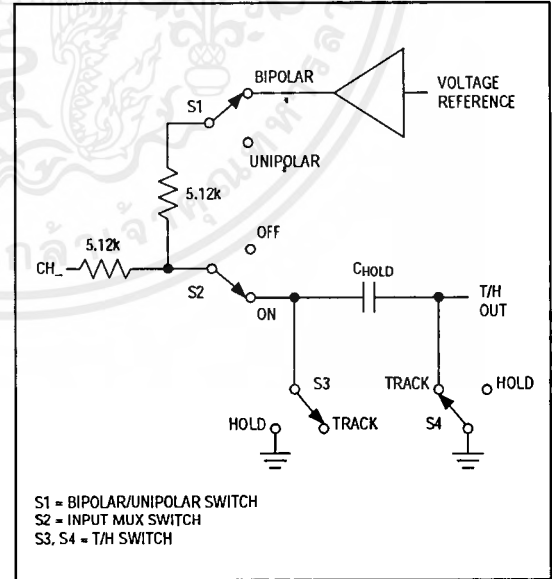


Figure 4. Equivalent Input Circuit

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

The input channels are overvoltage protected to $\pm 16.5V$. This protection is active even if the device is in power-down mode.

Even with $V_{DD} = 0V$, the input resistive network provides current-limiting that adequately protects the device.

Digital Interface

Input data (control byte) and output data are multiplexed on a three-state parallel interface. This parallel I/O can easily be interfaced with a μP . \overline{CS} , \overline{WR} , and \overline{RD} control the write and read operations. \overline{CS} is the standard chip-select signal, which enables a μP to address the MAX199 as an I/O port. When high, it disables the \overline{WR} and \overline{RD} inputs and forces the interface into a high-Z state.

Input Format

The control byte is latched into the device, on pins D7–D0, during a write cycle. Table 1 shows the control-byte format.

Output Data Format

The output data format is binary in unipolar mode and two's-complement binary in bipolar mode. When reading the output data, \overline{CS} and \overline{RD} must be low. When HBEN is low, the lower eight bits are read. When HBEN is high, the upper four MSBs are available and the output data bits D4–D7 are either set low (in unipolar mode) or set to the value of the MSB (in bipolar mode) (Table 5).

Table 1. Control-Byte Format

| D7 (MSB) | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 (LSB) |
|----------|-----|--------|-----|-----|----|----|----------|
| PD1 | PD0 | ACQMOD | RNG | BIP | A2 | A1 | A0 |

| BIT | NAME | DESCRIPTION |
|---------|------------|---|
| 7, 6 | PD1, PD0 | These two bits select the clock and power-down modes (Table 3). |
| 5 | ACQMOD | 0 = internally controlled acquisition (6 clock cycles), 1 = externally controlled acquisition |
| 4 | RNG | Selects the full-scale voltage magnitude at the input (Table 2). |
| 3 | BIP | Selects unipolar or bipolar conversion mode (Table 2). |
| 2, 1, 0 | A2, A1, A0 | These are address bits for the input mux to select the "on" channel (Table 4). |

Table 2. Range and Polarity Selection

| BIP | RNG | INPUT RANGE (V) |
|-----|-----|------------------|
| 0 | 0 | 0 to $V_{REF}/2$ |
| 0 | 1 | 0 to V_{REF} |
| 1 | 0 | $\pm V_{REF}/2$ |
| 1 | 1 | $\pm V_{REF}$ |

Table 3. Clock and Power-Down Selection

| PD1 | PD0 | DEVICE MODE |
|-----|-----|---|
| 0 | 0 | Normal Operation / External Clock Mode |
| 0 | 1 | Normal Operation / Internal Clock Mode |
| 1 | 0 | Standby Power-Down (STBYPD); clock mode is unaffected |
| 1 | 1 | Full Power-Down (FULLPD); clock mode is unaffected |

Table 4. Channel Selection

| A2 | A1 | A0 | CH0 | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 |
|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 0 | * | | | | | | | |
| 0 | 0 | 1 | | * | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | | | * | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | | | | * | | | | |
| 1 | 0 | 0 | | | | | * | | | |
| 1 | 0 | 1 | | | | | | * | | |
| 1 | 1 | 0 | | | | | | | * | |
| 1 | 1 | 1 | | | | | | | | * |

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

Table 5. Data-Bus Output

| PIN | HBEN = LOW | HBEN = HIGH |
|-----|------------|-----------------------------|
| D0 | B0 (LSB) | B8 |
| D1 | B1 | B9 |
| D2 | B2 | B10 |
| D3 | B3 | B11 (MSB) |
| D4 | B4 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |
| D5 | B5 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |
| D6 | B6 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |
| D7 | B7 | B11 (BIP = 1) / 0 (BIP = 0) |

How to Start a Conversion

Conversions are initiated with a write operation, which selects the mux channel and configures the MAX199 for either unipolar or bipolar input range. A write pulse (\overline{WR} + \overline{CS}) can either start an acquisition interval or initiate a combined acquisition plus conversion. The sampling interval occurs at the end of the acquisition interval. The ACQMOD bit in the input control byte offers two options for acquiring the signal: internal or external. The conversion period lasts for 12 clock cycles in either internal or external clock or acquisition mode.

Writing a new control byte during the conversion cycle will abort the conversion in progress and start a new acquisition interval.

Internal Acquisition

Select internal acquisition by writing the control byte with the ACQMOD bit cleared (ACQMOD = 0). This causes the write pulse to initiate an acquisition interval whose duration is internally timed. Conversion starts when this six-clock-cycle acquisition interval ($3\mu\text{s}$ with $f_{\text{CLK}} = 2\text{MHz}$) ends. See Figure 5.

External Acquisition

Use the external acquisition timing mode for precise control of the sampling aperture and/or independent control of acquisition and conversion times. The user controls acquisition and start-of-conversion with two separate write pulses. The first pulse, written with ACQMOD = 1, starts an acquisition interval of indeterminate length. The second write pulse, written with ACQMOD = 0, terminates acquisition and starts conversion on \overline{WR} 's rising edge (Figure 6). However, if the second control byte contains ACQMOD = 1, an indefinite acquisition interval is restarted.

The address bits for the input mux must have the same values on the first and second write pulses. Power-down mode bits (PD0, PD1) can assume new values on the second write pulse (see *Power-Down Mode*).

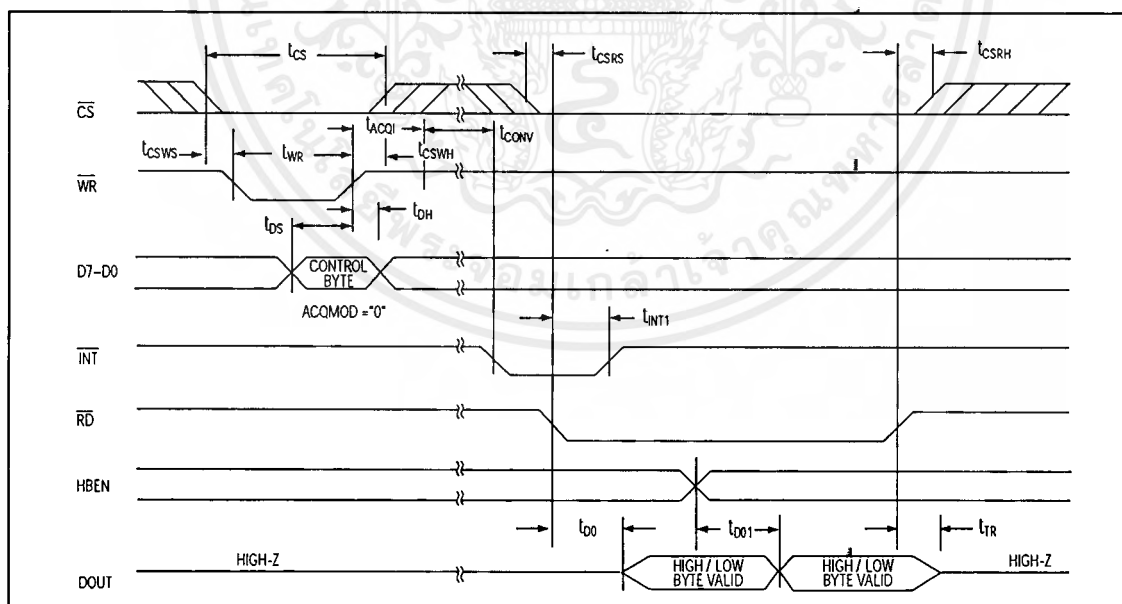


Figure 5. Conversion Timing Using Internal Acquisition Mode

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

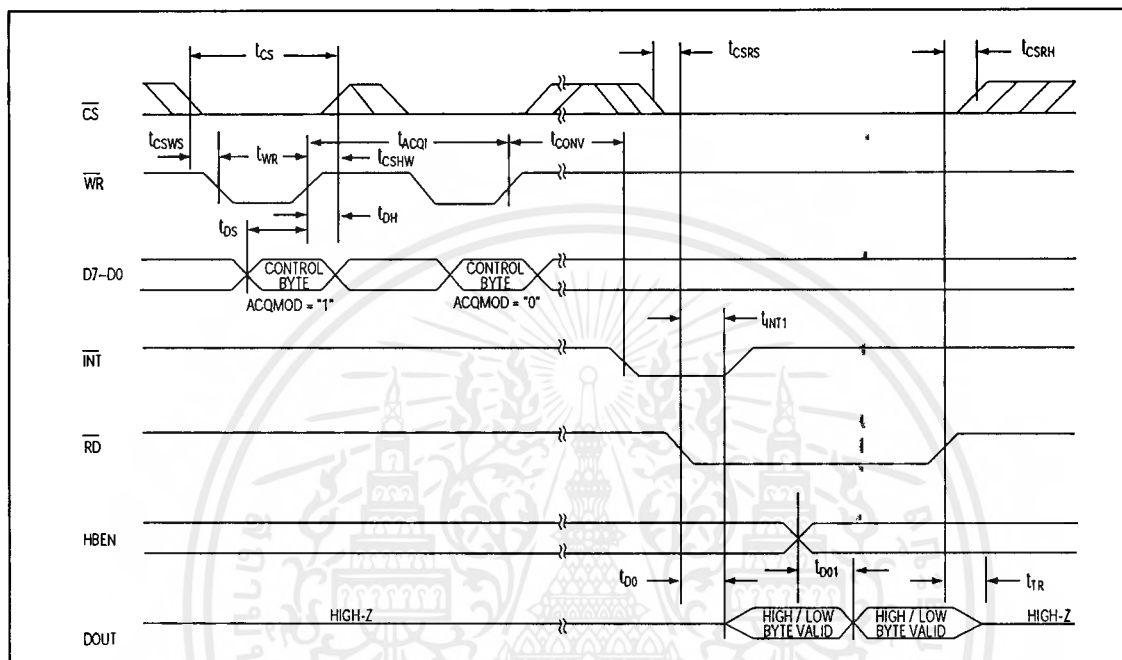


Figure 6. Conversion Timing Using External Acquisition Mode

How to Read a Conversion

A standard interrupt signal, \overline{INT} , is provided to allow the device to flag the μP when the conversion has ended and a valid result is available. \overline{INT} goes low when the conversion is complete and the output data is ready (Figures 5 and 6). It returns high on the first read cycle or if a new control byte is written.

Clock Modes

The MAX199 operates with either an internal or an external clock. Control bits (D6, D7) select either internal or external clock mode. Once the desired clock mode is selected, changing these bits to program power-down will not affect the clock mode. In each mode, internal or external acquisition can be used. At power-up, the MAX199 defaults to external clock mode.

Internal Clock Mode

Select internal clock mode to free the μP from the burden of running the SAR conversion clock. To select this mode, write the control byte with D7 = 0 and D6 = 1. A 100pF capacitor between the CLK pin and ground sets this frequency to 1.56MHz nominal. Figure 7

shows a linear relationship between the internal clock period and the value of the external capacitor used.

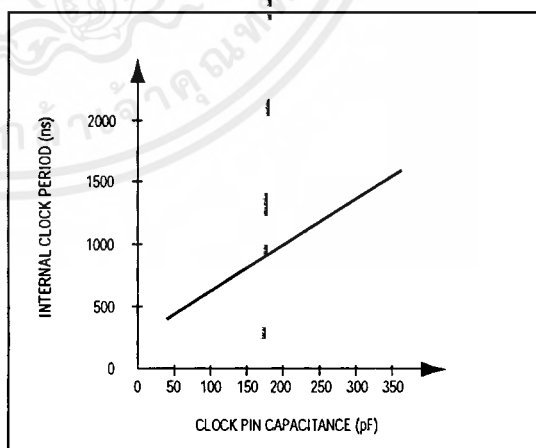


Figure 7. Internal Clock Period vs. Clock Pin Capacitance

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

External Clock Mode

Select external clock mode by writing the control byte with D7 = 0 and D6 = 0. Figure 8 shows CLK and \overline{WR} timing relationships in internal and external acquisition modes, with an external clock. A 100kHz to 2.0MHz

external clock with 45% to 55% duty cycle is required for proper operation. Operating at clock frequencies lower than 100kHz will cause a voltage droop across the hold capacitor, and subsequently degrade performance.

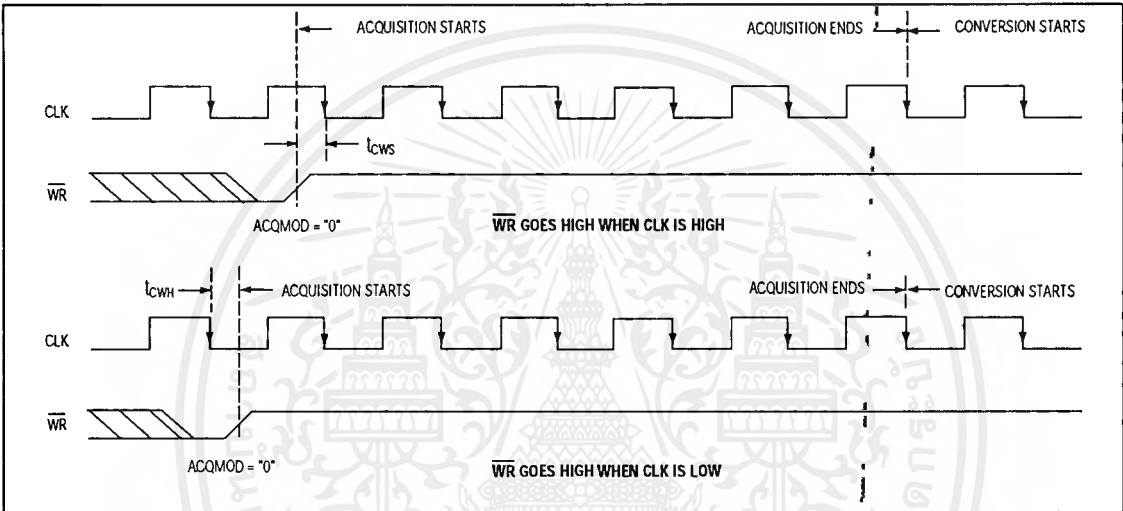


Figure 8a. External Clock and \overline{WR} Timing (Internal Acquisition Mode)

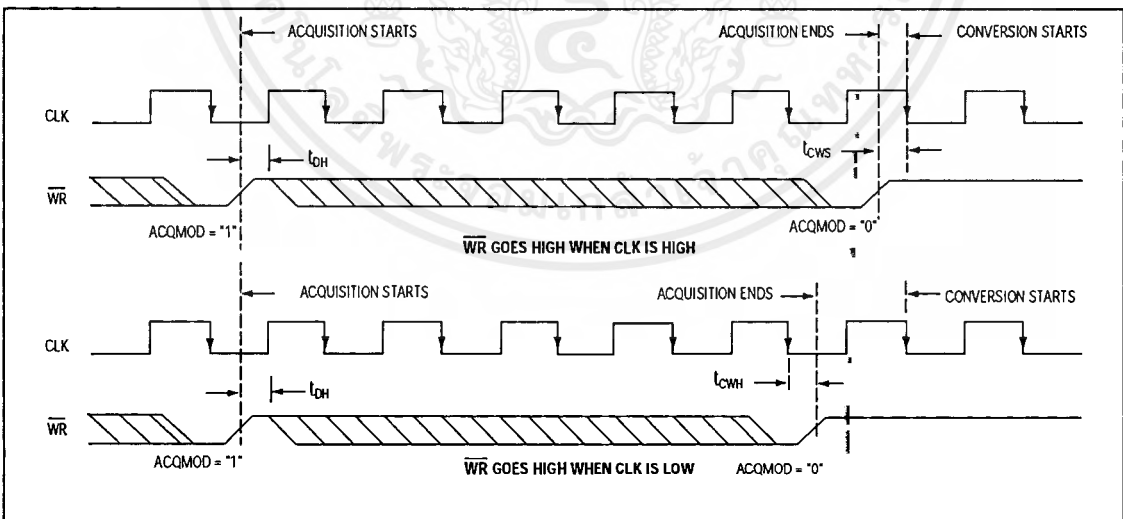


Figure 8b. External Clock and \overline{WR} Timing (External Acquisition Mode)

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), $+5V$ Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

Applications Information

Power-On Reset

At power-up, the internal power-supply circuitry sets INT high and puts the device in normal operation / external clock mode. This state is selected to keep the internal clock from loading the external clock driver when the part is used in external clock mode.

Internal or External Reference

The MAX199 can operate with either an internal or external reference. An external reference can be connected to either the REF pin or to the REFADJ pin (Figure 9).

To use the REF input directly, disable the internal buffer by tying REFADJ to VDD. Using the REFADJ input eliminates the need to buffer the reference externally. When the reference is applied at REFADJ, bypass REFADJ with a $0.01\mu F$ capacitor to AGND.

The REFADJ internal buffer gain is trimmed to 1.6384 to provide 4.096V at the REF pin from a 2.5V reference.

Internal Reference

The internally trimmed 2.50V reference is gained through the REFADJ buffer to provide 4.096V at REF. Bypass the REF pin with a $4.7\mu F$ capacitor to AGND and the REFADJ pin with a $0.01\mu F$ capacitor to AGND. The internal reference voltage is adjustable to $\pm 1.5\%$ (± 65 LSBs) with the reference-adjust circuit of Figure 1.

External Reference

At REF and REFADJ, the input impedance is a minimum of $10k\Omega$ for DC currents. During conversions, an

external reference at REF must be able to deliver $400\mu A$ DC load currents, and must have an output impedance of 10Ω or less. If the reference has higher input impedance or is noisy, bypass it close to the REF pin with a $4.7\mu F$ capacitor to AGND.

With an external reference voltage of less than 4.096V at the REF pin or less than 2.5V at the REFADJ pin, the increase in the ratio of the RMS noise to the LSB value ($FS / 4096$) results in performance degradation (loss of effective bits).

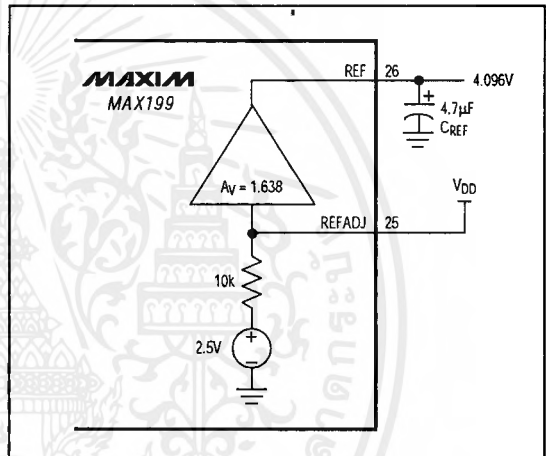


Figure 9b. External Reference at REF

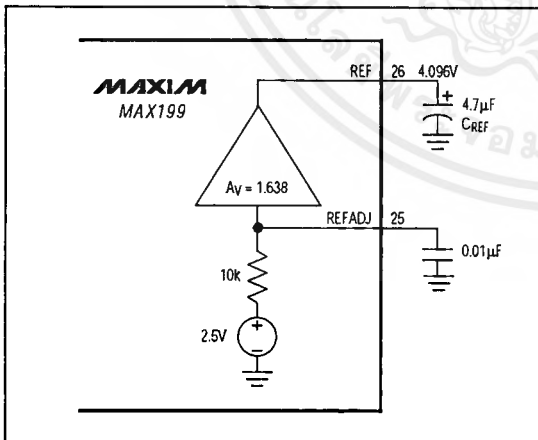


Figure 9a. Internal Reference

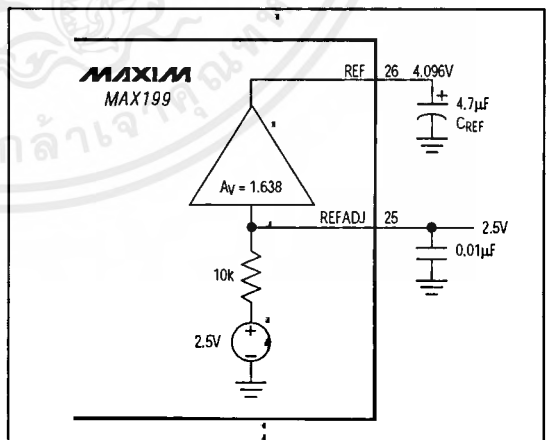


Figure 9c. The external reference at REFADJ overdrives the internal reference.

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

Power-Down Mode

To save power, you can put the converter into low-current shutdown mode between conversions. Two programmable power-down modes are available, in addition to a hardware shutdown. Select STBYPD or FULLPD by programming PD0 and PD1 in the input control byte. When software power-down is asserted, it becomes effective only after the end of conversion. In all power-down modes, the interface remains active and conversion results may be read. Input overvoltage protection is active in all power-down modes. The device returns to normal operation on the first \overline{WR} falling edge during a write operation.

For hardware-controlled (FULLPD) power-down, pull the \overline{SHDN} pin low. When hardware shutdown is asserted, it becomes effective immediately and the conversion is aborted.

Choosing Power-Down Modes

The bandgap reference and reference buffer remain active in STBYPD mode, maintaining the voltage on the $4.7\mu F$ capacitor at the REF pin. This is a "DC" state that does not degrade after power-down of any duration. Therefore, you can use any sampling rate with this mode, without regard to start-up delays.

However, in FULLPD mode, only the bandgap reference is active. Connect a $33\mu F$ capacitor between REF and AGND to maintain the reference voltage between conversion and to reduce transients when the buffer is enabled and disabled. Throughput rates down to 1kpsps can be achieved without allotting extra acquisition time for reference recovery prior to conversion. This allows a conversion to begin immediately after power-down ends. If the discharge of the REF capacitor during FULLPD exceeds the desired limits for accuracy (less than a fraction of an LSB), run a STBYPD power-down cycle prior to starting conversions. Take into account that the reference buffer recharges the bypass capacitor at an $80mV/ms$ slew rate and add $50\mu s$ for settling time. Throughput rates of 10kpsps offer typical supply currents of $470\mu A$, using the recommended $33\mu F$ capacitor value.

Auto-Shutdown

Selecting STBYPD on every conversion automatically shuts the MAX199 down after each conversion without requiring any start-up time on the next conversion.

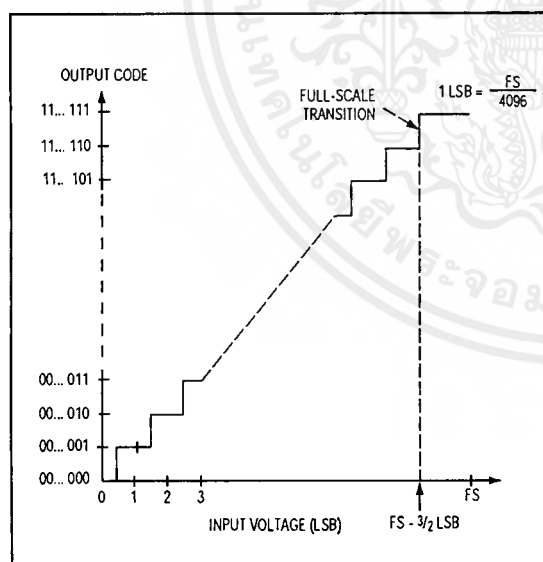


Figure 10. Unipolar Transfer Function

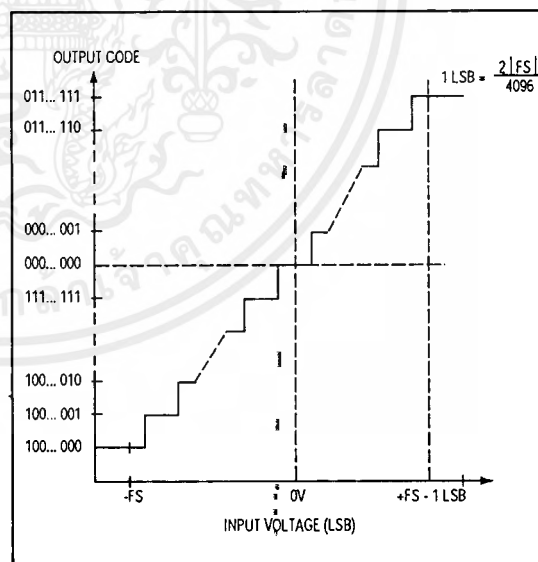


Figure 11. Bipolar Transfer Function

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

MAX199

Transfer Function

Output data coding for the MAX199 is binary in unipolar mode with $1\text{LSB} = (\text{FS} / 4096)$ and two's-complement binary in bipolar mode with $1\text{LSB} = [(2 \times |\text{FS}|) / 4096]$. Code transitions occur halfway between successive integer LSB values. Figures 10 and 11 show the input/output (I/O) transfer functions for unipolar and bipolar operations, respectively.

Layout, Grounding, and Bypassing

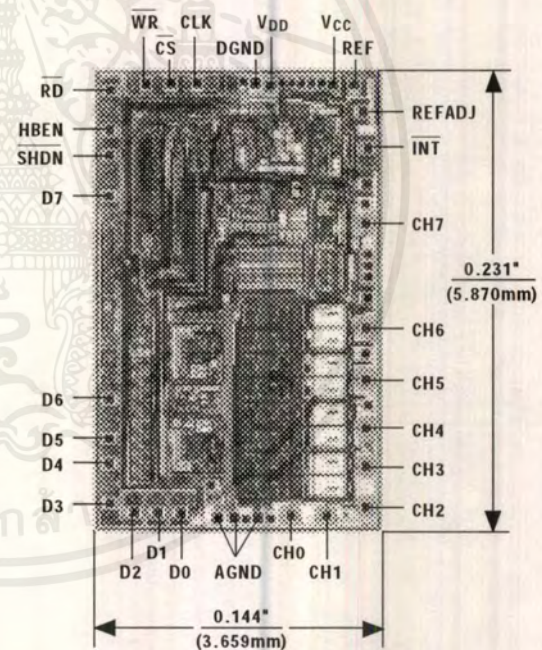
Careful printed circuit board layout is essential for best system performance. For best performance, use a ground plane. To reduce crosstalk and noise injection, keep analog and digital signals separate. Digital ground lines can run between digital signal lines to minimize interference. Connect analog grounds and DGND in a star configuration to AGND. For noise-free operation, ensure the ground return from AGND to the supply ground is low impedance and as short as possible. Connect the logic grounds directly to the supply ground. Bypass V_{DD} with $0.1\mu\text{F}$ and $4.7\mu\text{F}$ capacitors to minimize high- and low-frequency fluctuations. If the supply is excessively noisy, connect a 5Ω resistor between the supply and V_{DD} , as shown in Figure 12.

Ordering Information (continued)

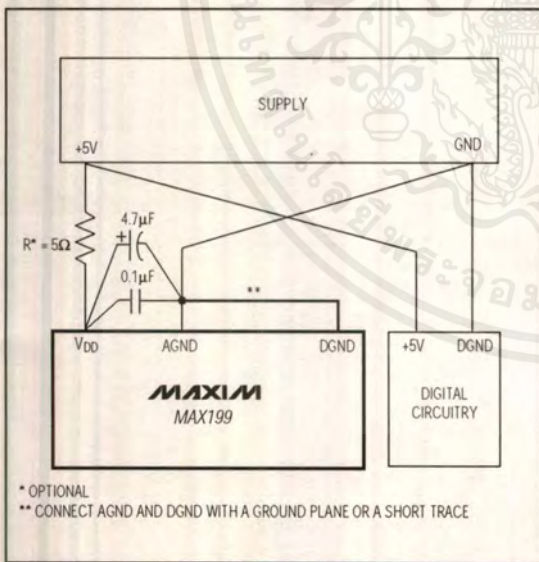
| PART | TEMP. RANGE | PIN-PACKAGE |
|------------|-------------------|------------------------|
| MAX199AENI | -40 °C to +85 °C | 28 Narrow Plastic DIP |
| MAX199BENI | -40 °C to +85 °C | 28 Narrow Plastic DIP |
| MAX199AEWI | -40 °C to +85 °C | 28 Wide SO |
| MAX199BEWI | -40 °C to +85 °C | 28 Wide SO |
| MAX199AEAI | -40 °C to +85 °C | 28 SSOP |
| MAX199BEAI | -40 °C to +85 °C | 28 SSOP |
| MAX199AMYI | -55 °C to +125 °C | 28 Narrow Ceramic SB** |
| MAX199BMYI | -55 °C to +125 °C | 28 Narrow Ceramic SB** |

** Contact factory for availability and processing to MIL-STD-883.

Chip Topography



TRANSISTOR COUNT: 2956
SUBSTRATE CONNECTED TO GND

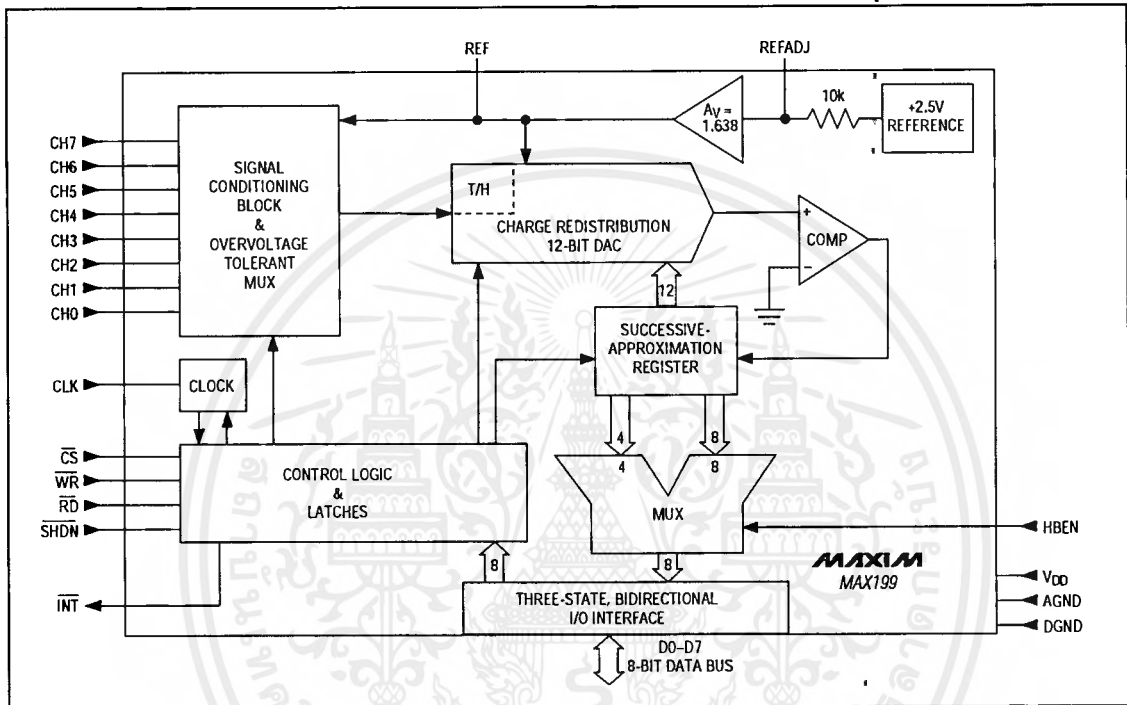


* OPTIONAL
** CONNECT AGND AND DGND WITH A GROUND PLANE OR A SHORT TRACE

Figure 12. Power-Supply Grounding Connection

Multi-Range ($\pm 4V$, $\pm 2V$, $+4V$, $+2V$), +5V Supply, 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface

Functional Diagram



Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

16 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 (408) 737-7600

© 1995 Maxim Integrated Products

Printed USA

MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

MX7228

General Description

Maxim's MX7228 contains eight 8-bit voltage output digital-to-analog converters (DACs) with separate input latches and output buffers for simple microprocessor and TTL/CMOS interfacing. The MX7228 maintains 8-bit accuracy over the full operating temperature range without external trimming.

Internally, data transfer into the data registers is via a common 8-bit TTL/CMOS compatible input bus. Logic inputs A₂, A₁, and A₀ control which DAC is loaded after WR goes low.

Features

- ◆ Buffered Voltage Output
- ◆ μ P Compatible
- ◆ TTL/CMOS Logic Compatible
- ◆ Requires No External Adjustments
- ◆ 24-Pin Narrow DIP Package
- ◆ Operates from Single or Dual Supplies

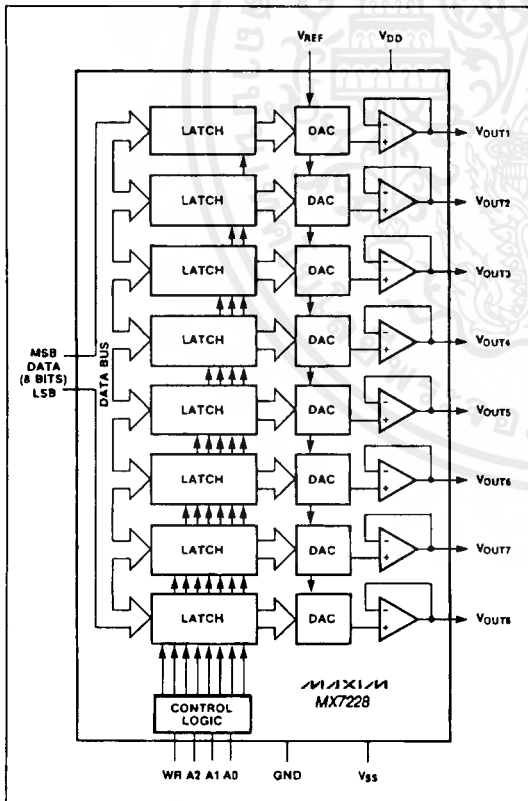
Ordering Information

| PART | TEMP. RANGE | PACKAGE | ERROR |
|------------|-----------------|-------------|--------|
| MX7228KN | 0°C to +70°C | Plastic DIP | ±2 LSB |
| MX7228LN | 0°C to +70°C | Plastic DIP | +1 LSB |
| MX7228KCWG | 0°C to +70°C | Wide SO | ±2 LSB |
| MX7228LCWG | 0°C to +70°C | Wide SO | ±1 LSB |
| MX7228K/D | 0°C to +70°C | Dice | +2 LSB |
| MX7228KP | 0°C to +70°C | PLCC | ±2 LSB |
| MX7228LP | 0°C to +70°C | PLCC | +1 LSB |
| MX7228BQ | -25°C to +85°C | CERDIP | +2 LSB |
| MX7228CQ | -25°C to +85°C | CERDIP | +1 LSB |
| MX7228TQ | -55°C to +125°C | CERDIP | ±2 LSB |
| MX7228UQ | -55°C to +125°C | CERDIP | ±1 LSB |

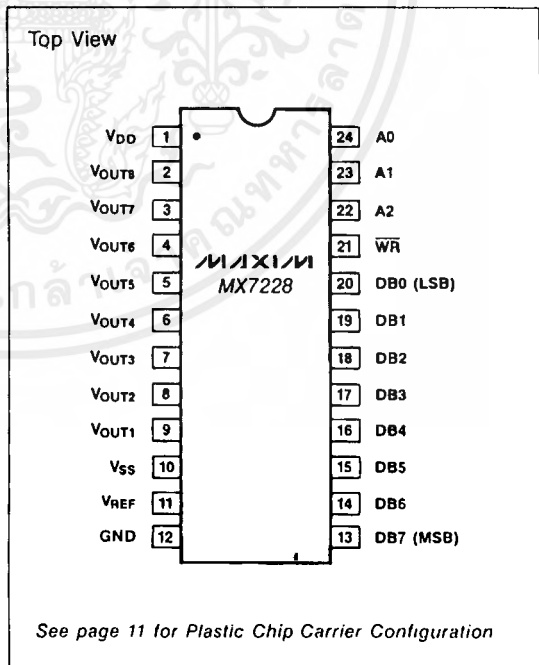
Applications

- Minimum Component Count Analog Systems
- Digital Offset/Gain Adjustment
- Industrial Process Control
- Arbitrary Function Generators
- Automatic Test Equipment

Typical Operating Circuit



Pin Configuration



MAXIM

Maxim Integrated Products 1

MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | |
|--|-----------------------------------|
| V _{DD} to GND | -0.3V, +17V |
| V _{DD} to V _{SS} | -0.3V, +24V |
| V _{SS} to GND | -7V, V _{DD} |
| Digital Input Voltage to GND | -0.3V, V _{DD} |
| V _{REF} to GND | -0.3V, V _{DD} |
| V _{OUT} to GND (Note 1) | V _{SS} , V _{DD} |
| Power Dissipation (Any Package) to +75°C | 1000mW |
| Derating above +75°C | 12mW/°C |

Operating Temperature Ranges

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| MX7228K, L | 0°C to +70°C |
| MX7228B, C | -25°C to +85°C |
| MX7228T, U | -55°C to +125°C |
| Storage Temperature | -65°C to +165°C |
| Lead Temperature (Soldering 10 sec.) | +300°C |

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—Dual Supply Operation

(V_{DD} = +10.8V to +16.5V, V_{SS} = -5V ±10%, GND = 0V, V_{REF} = +2V to +10V, R_L = 2k, C_L = 100pF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX} unless otherwise noted.)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|-------------------------------|------------------|---|----------------|-----|------------|--------|
| STATIC PERFORMANCE | | | | | | |
| Resolution | | | 8 | | | Bits |
| Total Unadjusted Error | | V _{DD} ± 15V ± 10% V _{REF} = 10V | K,B,T L,C,U | | +2 +1 | LSB |
| Relative Accuracy | INL | | K,B,T L,C,U | | +1 +1/2 | LSB |
| Differential Nonlinearity | DNL | Guaranteed Monotonic | | | +1 | LSB |
| Full Scale Error | | | K,B,T L,C,U | | +1 +1/2 | LSB |
| Full Scale Tempco | | V _{REF} = 10V | | | 5 | ppm/°C |
| Zero Code Error | | T _A = 25°C | K,B,T L,C,U | | +25 +15 | mV |
| | | T _A = T _{MIN} to T _{MAX} | K,B,T L,C,U | | +30 ±20 | |
| Zero Code Tempco | | | | | 30 | µV/°C |
| REFERENCE INPUT | | | | | | |
| Reference Input Range | | (Note 2) | 2 | | 10 | V |
| Reference Input Resistance | | | 2 | | | kΩ |
| Reference Input Capacitance | | (Note 3) DAC loaded with 1s | | | 500 | pF |
| AC Feedthrough | | (Note 4) | | -70 | | dB |
| DIGITAL INPUTS | | | | | | |
| Input High Voltage | V _{INH} | | 2.4 | | | V |
| Input Low Voltage | V _{INL} | | | | 0.8 | V |
| Digital Input Leakage Current | | V _{IN} = 0V or V _{DD} | | | +1 | µA |
| Digital Input Capacitance | | (Note 3) | | | 8 | pF |

Note 1: The outputs may be shorted to GND provided that the power dissipation of the package is not exceeded. Typical short circuit current to GND is 25mA.

Note 2: V_{OUT} must be less than V_{DD} by 3.5V to ensure correct operation.

Note 3: Sample tested at +25°C to ensure compliance.

Note 4: V_{REF} = 10kHz, 8V peak-to-peak sine wave.

Note 5: Code transition all 0s to all 1s. V_{REF} = 0V; WR = V_{DD}.

Note 6: Code transition all 0s to all 1s. V_{REF} = 10V; WR = 0V.

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—Dual Supply Operation (Continued)

($V_{DD} = +10.8V$ to $+16.5V$, $V_{SS} = -5V \pm 10\%$, $GND = 0V$, $V_{REF} = +2V$ to $+10V$, $R_L = 2k$, $C_L = 100pF$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} unless otherwise noted.)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|----------|---|------------|-----|----------|------------|
| DYNAMIC PERFORMANCE (Note 3) | | | | | | |
| Voltage Output Slew Rate | | | 2 | | | V/ μ s |
| V_{OUT} Settling Time | | To +1/2 LSB, $V_{REF} = 10V$ | | | 5 | μ s |
| Digital Feedthrough | | (Note 5) | | 50 | | nV-sec |
| Digital Crosstalk | | (Note 6) | | 50 | | nV-sec |
| Output Load Resistance | | $V_{OUT} = 10V$ | 2 | | | k Ω |
| POWER REQUIREMENTS | | | | | | |
| Positive Supply Range | V_{DD} | For specified performance | 10.8 | | 16.5 | V |
| Negative Supply Range | V_{SS} | For specified performance | -4.5 | | -5.5 | V |
| Positive Supply Current (Note 7) | I_{DD} | $T_A = 25^\circ C$ All | | | 16 | mA |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} K,B,L,C T,U | | | 20 22 | |
| Negative Supply Current (Note 7) | I_{SS} | $T_A = 25^\circ C$ All | | | 14 | mA |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} K,B,L,C T,U | | | 18 20 | |
| SWITCHING CHARACTERISTICS (Note 3) | | | | | | |
| Address to \overline{WR} Setup | t_1 | | 0 | | | ns |
| Address to \overline{WR} Hold | t_2 | | 0 | | | ns |
| Data to \overline{WR} Setup | t_3 | $T_A = 25^\circ C$ All | 70 | | | ns |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} K,L,B,C T,U | 90 100 | | | |
| Data to \overline{WR} Hold | t_4 | | 10 | | | ns |
| \overline{WR} Pulse Width | t_5 | $T_A = 25^\circ C$ All | 95 | | | ns |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} K,L,B,C T,U | 120 150 | | | |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—Single +15V Supply Operation

($V_{DD} = +15V \pm 10\%$, $V_{SS} = GND = 0V$, $V_{REF} = +10V$, $R_L = 2k$, $C_L = 100pF$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} unless otherwise noted.)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|----------|---|------|-----|----------|-------|
| STATIC PERFORMANCE | | | | | | |
| Resolution | | | 8 | | | Bits |
| Total Unadjusted Error | | K,B,T L,C,U | | | +2 +1 | LSB |
| Differential Nonlinearity | | Guaranteed Monotonic | | | +1 | LSB |
| REFERENCE INPUT All specifications are the same as for dual supplies. | | | | | | |
| DIGITAL INPUTS All specifications are the same as for dual supplies. | | | | | | |
| DYNAMIC PERFORMANCE All specifications are the same as for dual supplies. | | | | | | |
| POWER REQUIREMENTS | | | | | | |
| Positive Supply Range | V_{DD} | For specified performance | 13.5 | | 16.5 | V |
| Positive Supply Current (Note 7) | I_{DD} | $T_A = 25^\circ C$ All | | | 16 | mA |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} K,B,L,C T,U | | | 20 22 | |
| SWITCHING CHARACTERISTICS All specifications are the same as for dual supplies. | | | | | | |

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—+5V Supply Operation

($V_{DD} = +5V \pm 5\%$, $V_{SS} = 0$ to $-5V \pm 10\%$, $GND = 0V$, $V_{REF} = +1.25V$, $R_L = 2k$, $C_L = 100pF$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} unless otherwise noted)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|----------|--------------------------------------|----------------|------------|--------------------|------------|
| STATIC PERFORMANCE | | | | | | |
| Resolution | | | 8 | | | Bits |
| Differential Nonlinearity | | Guaranteed Monotonic | | | +1 | LSB |
| Full Scale Error | | K,B,T L,C,U | | | ± 4 ± 2 | LSB |
| Zero Code Error | | $T_A = 25^\circ C$ K,B,T L,C,U | | | 40 30 | mV |
| REFERENCE INPUT | | | | | | |
| Reference Input Range | | (Note 2) | 1.2 | | 1.3 | V |
| Reference Input Resistance | | | 2 | | | k Ω |
| Reference Input Capacitance | | (Note 3) DAC loaded with 1s | | | 500 | pF |
| DIGITAL INPUTS All specifications are the same as for dual supplies. | | | | | | |
| DYNAMIC PERFORMANCE All specifications are the same as for dual supplies. | | | | | | |
| POWER REQUIREMENTS | | | | | | |
| Positive Supply Range | V_{DD} | For Spec Performance | 4.75 | | 5.25 | V |
| Positive Supply Current (Note 7) | I_{DD} | $T_A = 25^\circ C$ | All | | 16 | mA |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} | K,B,L,C T,U | | 20 22 | |
| Negative Supply Current (Note 7) | I_{SS} | $T_A = 25^\circ C$ | All | | 14 | mA |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} | K,B,L,C T,U | | 18 20 | |
| SWITCHING CHARACTERISTICS (Note 3) | | | | | | |
| Address to \overline{WR} Setup | t_1 | | 0 | | | ns |
| Address to \overline{WR} Hold | t_2 | | 0 | | | ns |
| Data to \overline{WR} Setup | t_3 | $T_A = 25^\circ C$ | All | 100 | | ns |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} | K,L,B,C T,U | 140 175 | | |
| Data to \overline{WR} Hold | t_4 | | 10 | | | ns |
| \overline{WR} Pulse Width | t_5 | $T_A = 25^\circ C$ | All | 125 | | ns |
| | | $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} | K,L,B,C T,U | 160 200 | | |

Note 1: The outputs may be shorted to GND provided that the power dissipation of the package is not exceeded. Typical short circuit current to GND is 25mA.

Note 2: V_{OUT} must be less than V_{DD} by 3.5V to ensure correct operation.

Note 3: Sample tested at $+25^\circ C$ to ensure compliance.

Note 4: $V_{REF} = 10kHz$, 8V peak-to-peak sine wave.

Note 5: Code transition all 0s to all 1s. $V_{REF} = 0V$; $\overline{WR} = V_{DD}$.

Note 6: Code transition all 0s to all 1s. $V_{REF} = 10V$; $\overline{WR} = 0V$.

Note 7: Outputs unloaded.

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

MX7228

Digital Inputs and Interface Logic

The digital inputs are compatible with both TTL and 5V CMOS logic, however the power supply current (I_{DD}) is somewhat dependent on input logic level. Supply current is specified for TTL input levels (worst case) but is reduced (by about $450\mu A$) when the logic inputs are driven near GND or greater than 4 volts above GND.

Table 1 shows control logic truth table for \overline{WR} , A2, A1, and A0 operation. When \overline{WR} is low, the input latch of the selected DAC is transparent, and the DAC's output responds to the activity on the data bus. The data is latched into the addressed DAC's latch on the rising edge of the \overline{WR} signal. Figure 1 shows the timing diagram for the MX7228.

Table 1. Control Logic Truth Table

| \overline{WR} | A2 | A1 | A0 | OPERATION |
|-----------------|----|----|----|-------------------------------------|
| H | X | X | X | No operation Device not selected |
| L | L | L | L | DAC 1 Transparent |
| R | L | L | L | DAC 1 Latched |
| L | L | L | H | DAC 2 Transparent |
| L | L | H | L | DAC 3 Transparent |
| L | L | H | H | DAC 4 Transparent |
| L | H | L | L | DAC 5 Transparent |
| L | H | L | H | DAC 6 Transparent |
| L | H | H | L | DAC 7 Transparent |
| L | H | H | H | DAC 8 Transparent |

H = High State, L = Low State, X = Don't Care, R = Rising Edge

Detailed Description

The MX7228 has eight matched voltage output digital-to-analog converters (DACs). The DACs are "inverted" R-2R ladder networks which convert 8 digital bits into equivalent analog output voltages in proportion to the

applied reference voltage. All 8 DACs in the MX7228 share the same reference input (V_{REF}) and GND. A simplified circuit diagram of one of the eight DACs is provided in Figure 2.

V_{REF} Input

The voltage at V_{REF} sets the full-scale output of the DACs. The input impedance of the V_{REF} pin is code dependent. The lowest value, approximately 2 kohms, occurs when the input code of all eight DACs is 01010101. The maximum value of infinity occurs when all of the input codes of the eight DACs is 00000000. Because the input resistance at V_{REF} is code dependent, the DACs' reference source should not have an output impedance more than 4 ohms. The capacitance at V_{REF} is also code dependent and typically varies from 120pF to 350pF.

V_{OUT1} , V_{OUT2} , V_{OUT3} , V_{OUT4} , V_{OUT5} , V_{OUT6} , V_{OUT7} , and V_{OUT8} can be represented by a digitally programmable voltage source as:

$$V_{OUT} = N_b \times V_{REF} / 256$$

where N_b is the numeric value of the DAC's binary input code.

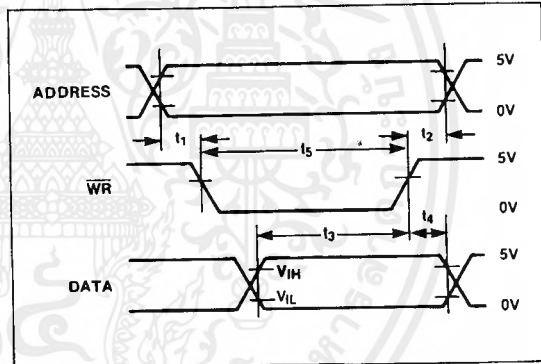


Figure 1. Write Cycle Timing Diagram

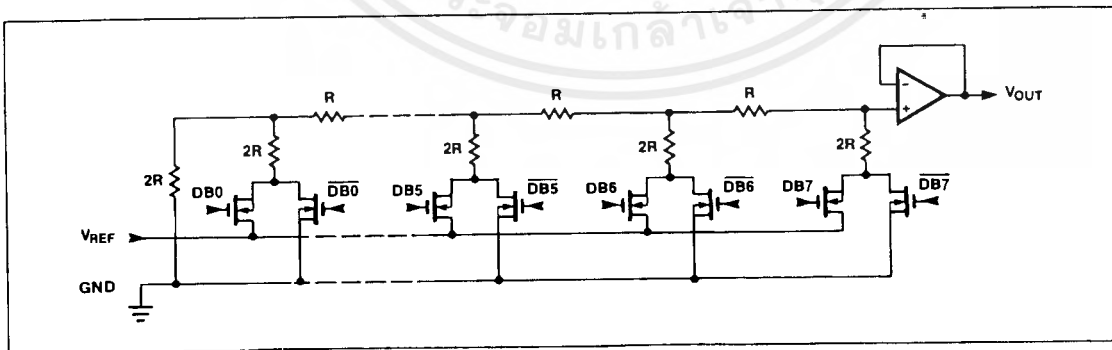


Figure 2. DAC Circuit Diagram

MAXIM

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

Output Buffer Amplifiers

All voltage outputs are internally buffered by precision unity gain followers which slew at greater than $2V/\mu s$. The output settles to $\pm 1/2$ LSB in less than $5\mu s$ when driving $2k\Omega$ in parallel with $100pF$ with a full scale transition ($0V$ to $+10V$ or $+10V$ to $0V$). The buffers will also drive $2k\Omega$ in parallel with $500pF$ to $10V$ levels without oscillation. Typical dynamic response and settling performance of the MX7228 are shown in Figures 3 and 4.

A simplified circuit diagram of an output buffer is shown in Figure 5. Input common mode range to GND is provided by a PMOS input structure. The output circuitry incorporates both a constant current source and an actively driven n-channel device. The actively driven n-channel device aids in discharging large output capacitances.

The MX7228 can operate from either a single supply or dual supplies. The output buffer amplifiers are the only part of the MX7228 that receive V_{SS} power. Operating the MX7228 from dual supplies will improve the negative going output settling time near GND. In addition, the output amplifier can sink $500\mu A$ when operating with dual supplies. The use of dual supplies also extends the input reference voltage range. When operating with a single supply, the output sink current decreases when the output approaches 0 volts (see Figure 6).

The output amplifier broadband noise is approximately $50\mu V_{RMS}$ and is not strongly power supply voltage dependent. The output impedance of the output buffer is approximately 1Ω .

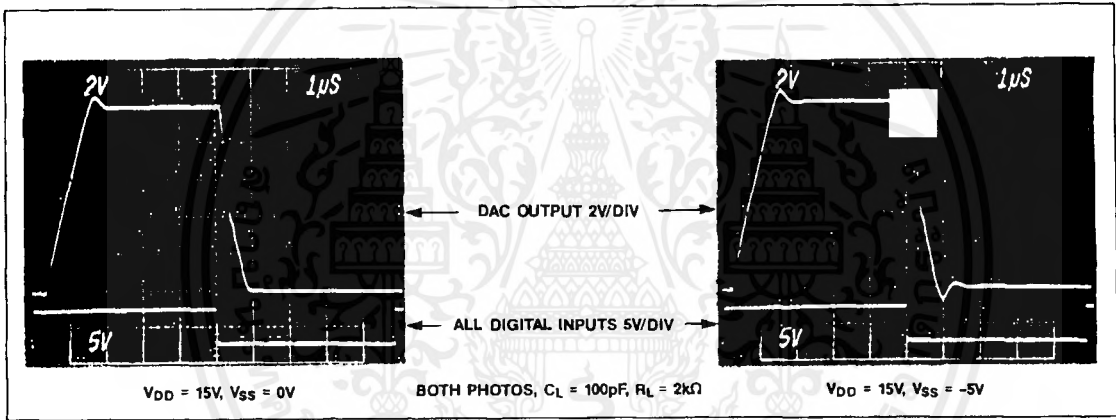


Figure 3. Dynamic Response

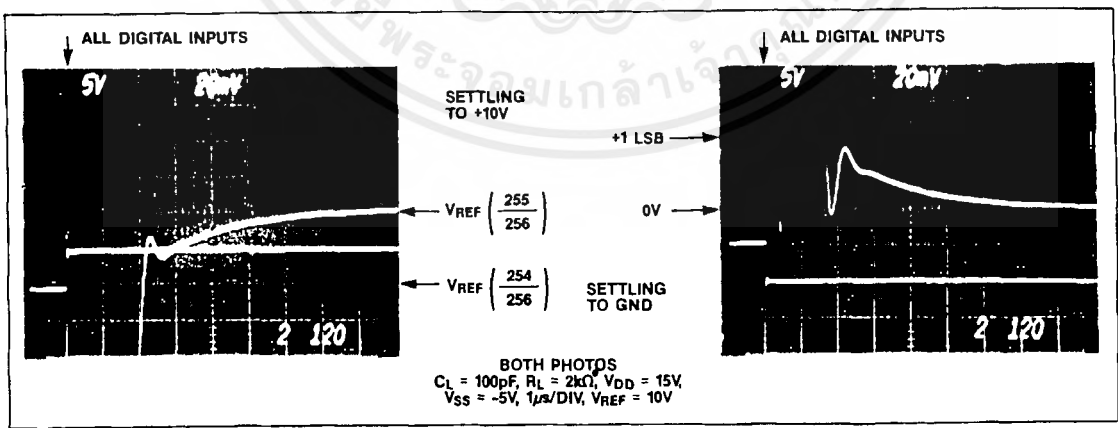


Figure 4. Dynamic Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

MX7228

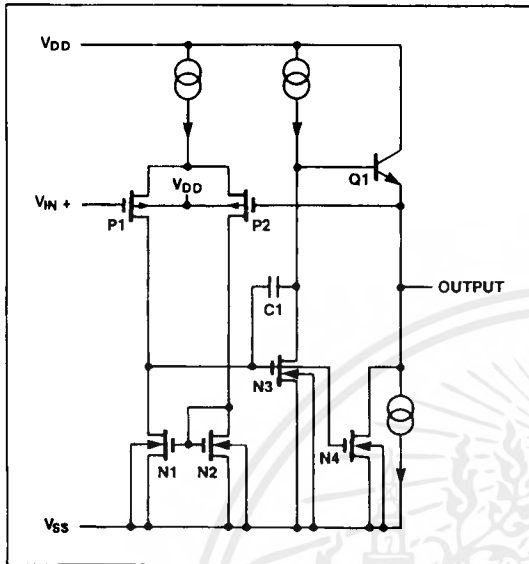


Figure 5. Output Buffer Amplifier

Applications Information

Power Supply and Reference Operating Ranges

The MX7228 is fully specified to operate between $+12V \pm 10\%$ and $+15V \pm 10\%$ (10.8V to 16.5V), and with V_{SS} from 0V to $-5.5V$. 8 bit performance is guaranteed for single supply operation ($V_{SS} = 0V$), however, zero code error is improved with $V_{SS} = -5V$.

For adequate DAC and buffer operation, V_{REF} must always be below V_{DD} by at least 3.5V.

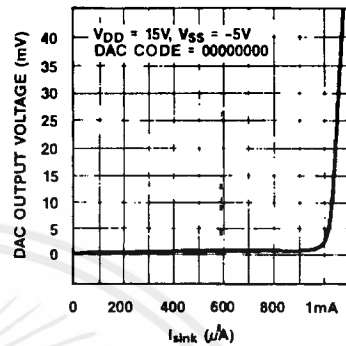
Power Supply Management

Careful PCB layout techniques should be used to minimize crosstalk between V_{REF} , GND, and the digital inputs. This is particularly important if the reference input is driven from an AC source. Bypass capacitors (0.1 μF in parallel with 6.8 μF) should be used between V_{DD} and GND (also between V_{SS} and GND if V_{SS} is $-5V$).

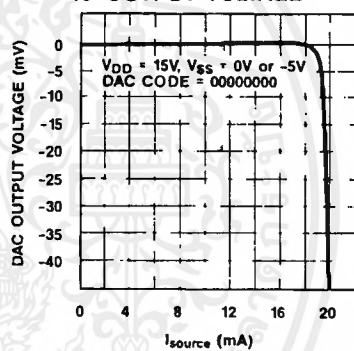
Unipolar Output

In unipolar operation, the reference voltage is the same polarity as the output voltage. Since the reference voltage must always be positive with respect to GND, the output voltage is also positive with respect to GND. An example of a unipolar circuit configuration is shown in Figure 7. The unipolar code is given in Table 2.

OUTPUT SINK CURRENT vs OUTPUT VOLTAGE



OUTPUT SOURCE CURRENT vs OUTPUT VOLTAGE



OUTPUT SINK CURRENT vs OUTPUT VOLTAGE

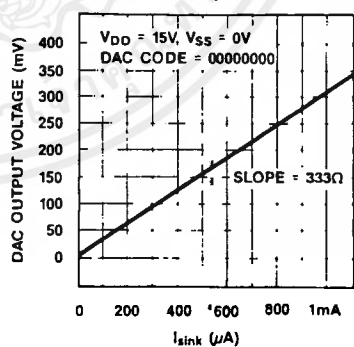


Figure 6. Output Sink/Source Current vs. Output Voltage

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

Table 2. Unipolar Code Table

| DAC CONTENTS | | ANALOG OUTPUT |
|--------------|---------|---|
| MSB | LSB | |
| 1 1 1 1 | 1 1 1 1 | $+V_{REF} \left(\frac{255}{256} \right)$ |
| 1 0 0 0 | 0 0 0 1 | $+V_{REF} \left(\frac{129}{256} \right)$ |
| 1 0 0 0 | 0 0 0 0 | $+V_{REF} \left(\frac{128}{256} \right) = + \frac{V_{REF}}{2}$ |
| 0 1 1 1 | 1 1 1 1 | $+V_{REF} \left(\frac{127}{256} \right)$ |
| 0 0 0 0 | 0 0 0 1 | $+V_{REF} \left(\frac{1}{256} \right)$ |
| 0 0 0 0 | 0 0 0 0 | 0V |

Note: 1 LSB = $(V_{REF})(2^{-8}) = +V_{REF} \left(\frac{1}{256} \right)$

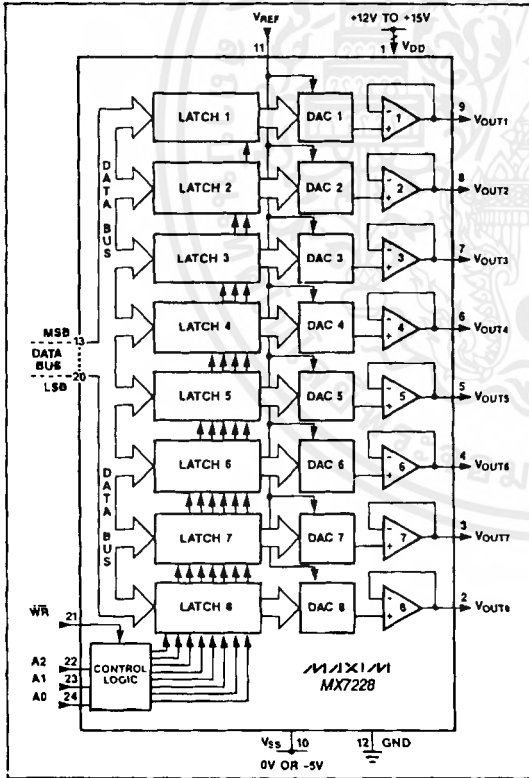


Figure 7. Unipolar Output Circuit

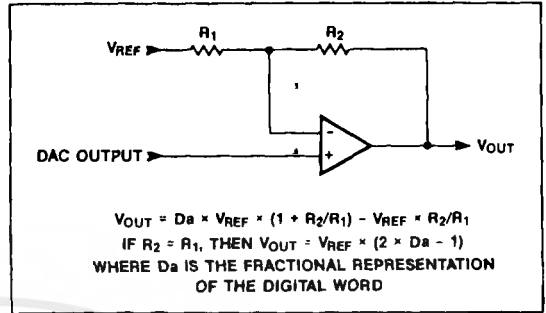


Figure 8. Bipolar Output Circuit

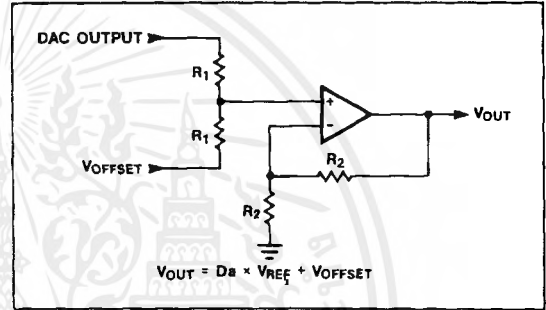


Figure 9. Offset Circuit

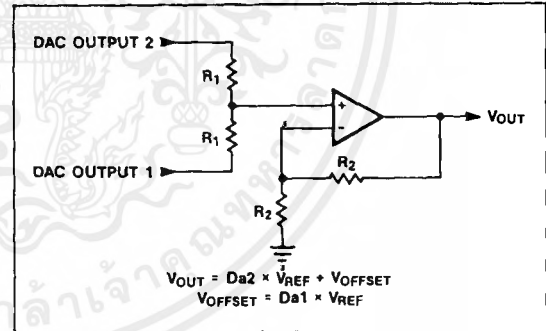


Figure 10. Offset Circuit

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

Bipolar Output

Each DAC output may be configured for bipolar operation using the circuit in Figure 8. One op amp and two resistors are needed per channel. Table 3 shows the digital code versus output voltage for Figure 8 assuming R1=R2.

Table 3. Bipolar Code Table

| DAC CONTENTS | | ANALOG OUTPUT |
|--------------|---------|--|
| MSB | LSB | |
| 1 1 1 1 | 1 1 1 1 | $+V_{REF} \left(\frac{127}{128} \right)$ |
| 1 0 0 0 | 0 0 0 1 | $+V_{REF} \left(\frac{1}{128} \right)$ |
| 1 0 0 0 | 0 0 0 0 | 0V |
| 0 1 1 1 | 1 1 1 1 | $-V_{REF} \left(\frac{1}{128} \right)$ |
| 0 0 0 0 | 0 0 0 1 | $-V_{REF} \left(\frac{127}{128} \right)$ |
| 0 0 0 0 | 0 0 0 0 | $-V_{REF} \left(\frac{128}{128} \right) = -V_{REF}$ |

Offsetting DAC Outputs

Each DAC can be offset using the circuit shown in Figure 9. If the op amp does not have a negative supply, then its common mode voltage range and output voltage range must include GND. Also, one DAC can provide the output offset for another DAC as shown in Figure 10.

Using an AC Reference

In applications where V_{REF} has AC signal components, the MX7228 has multiplying capabilities within the limits of the V_{REF} input range specifications. Figure 11 shows a technique for applying an AC signal to the MX7228. Since all eight DACs share a common reference, they all will be AC modulated. Output

distortion is typically less than 0.1% for frequencies up to 50kHz.

Generating V_{SS}

The performance of the MX7228 is specified with and without a V_{SS} supply. When the improved performance of dual supply operation is desired, but only a single supply is available, a negative supply can be generated using any of the circuits shown in Figure 12.

Digital Interface Applications

Figures 13 through 16 shown examples of interfacing the MX7228 to most popular microprocessors.

5V Operation

The MX7228 can also be used with a single 5V power supply or a $\pm 5V$ power supply. The timing specifications are degraded, and the reference voltage range is reduced. The DNL of each DAC remains at ± 1 LSB guaranteeing monotonicity. For devices with a negative offset and no negative supply there is a possibility, near zero, that the DAC will not change when the DAC code is incremented. Once the DAC has reached the offset voltage of the output buffer, the DAC will begin to increment in a normal fashion. Since the LSB voltage is only a few millivolts, care should be used in decoupling supplies, ground loops, etc.

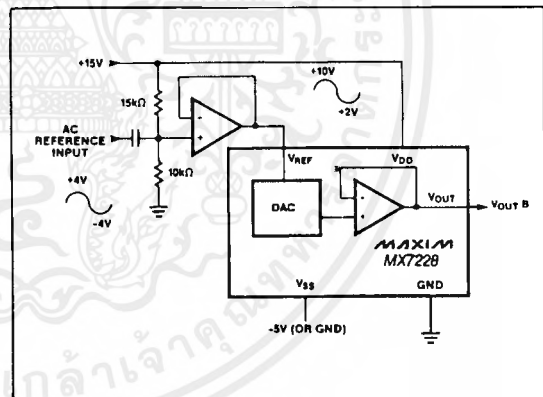


Figure 11. AC Reference Input Circuit

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

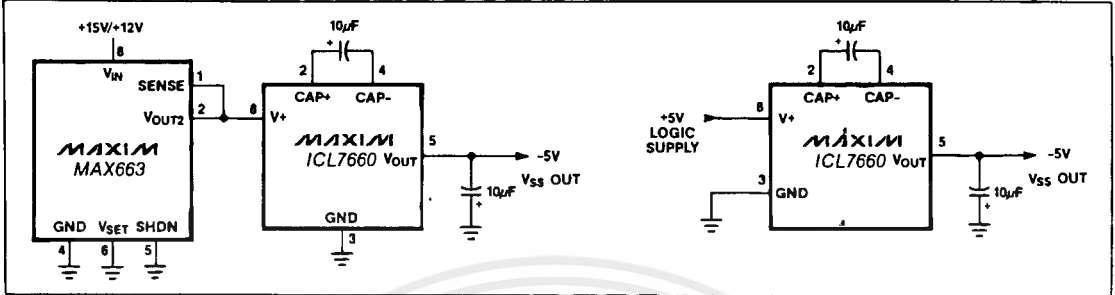


Figure 12. Generating -5V for V_{SS}

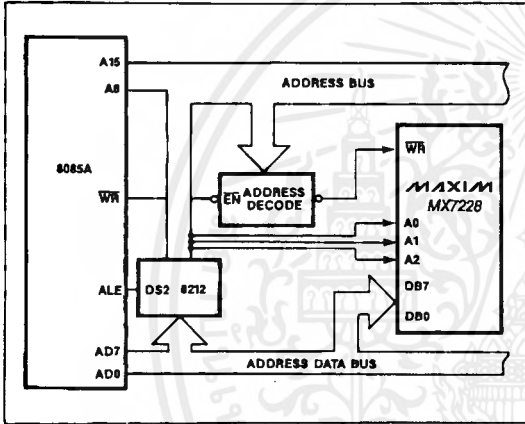


Figure 13. MX7228 to 8085A Interface

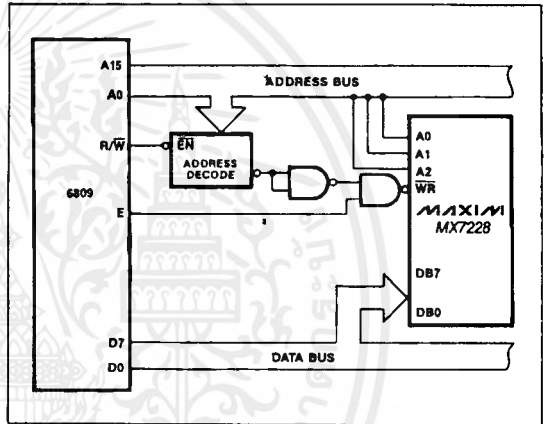


Figure 14. MX7228 to 6809 Interface

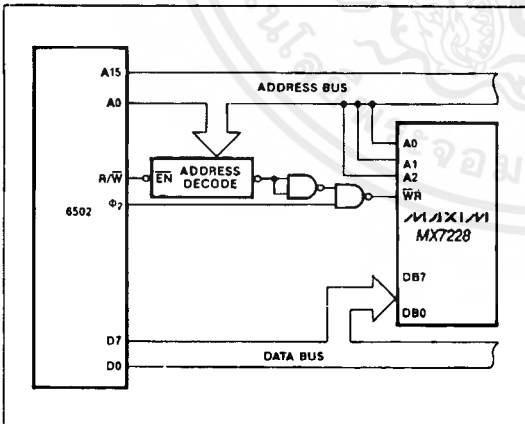


Figure 15. MX7228 to 6502 Interface

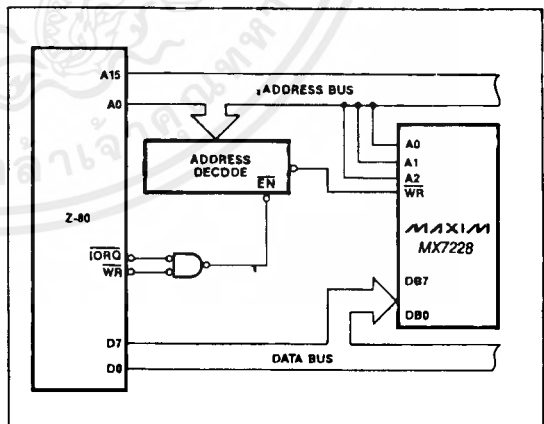


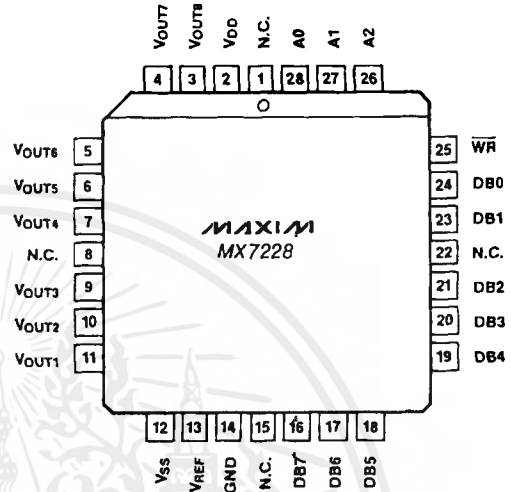
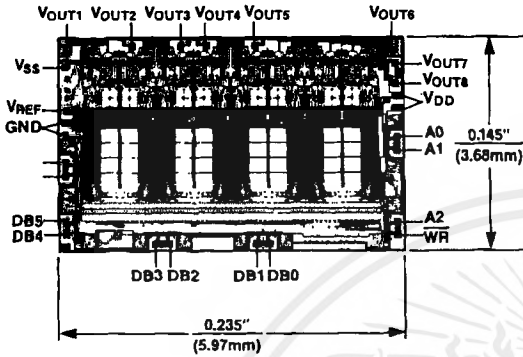
Figure 16. MX7228 to Z-80 Interface

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

Pin Configuration (continued)

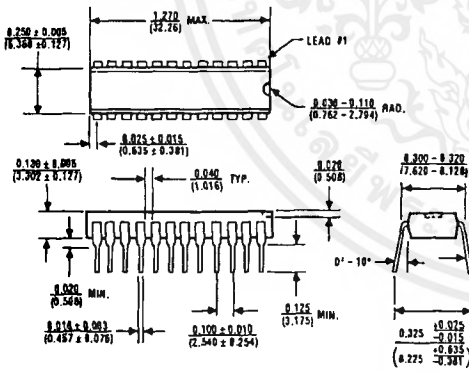
MX7228

Top View



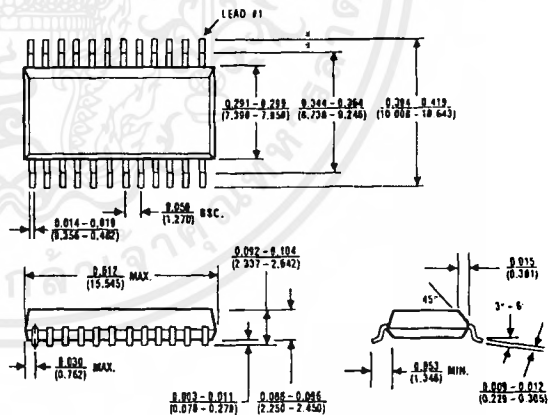
28 Lead Plastic Chip Carrier (Quad Pak)

Package Information



24 Lead Plastic Narrow DIP (NG)

$\theta_{JA} = 120^{\circ}\text{C/W}$
 $\theta_{JC} = 60^{\circ}\text{C/W}$

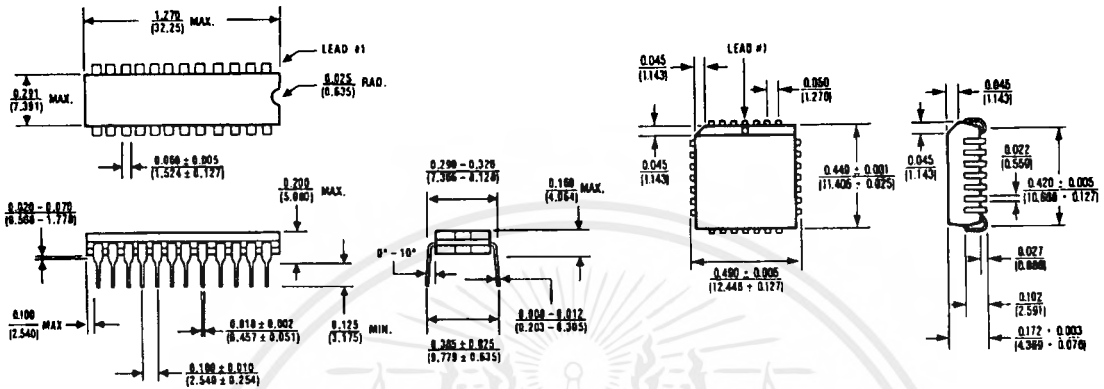


24 Lead Small Outline, Wide (WG)

$\theta_{JA} = 85^{\circ}\text{C/W}$
 $\theta_{JC} = 45^{\circ}\text{C/W}$

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

Package Information (continued)



24 Lead Narrow Cerdip (RG)

$\theta_{JA} = 80^{\circ}\text{C/W}$
 $\theta_{JC} = 40^{\circ}\text{C/W}$

28 Lead Plastic Chip Carrier (Quad Pak) (QI)

$\theta_{JA} = 100^{\circ}\text{C/W}$
 $\theta_{JC} = 45^{\circ}\text{C/W}$

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

12 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 (408) 737-7600

©1989 Maxim Integrated Products

Printed USA

19-875

1/89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54LS04/DM54LS04/DM74LS04 Hex Inverting Gates

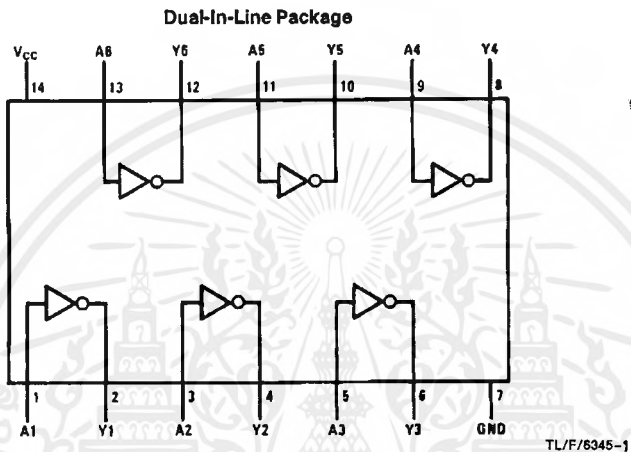
General Description

This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function.

Features

- Alternate Military/Aerospace device (54LS04) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Connection Diagram



Order Number 54LS04DMQB, 54LS04FMQB, 54LS04LMQB, DM54LS04J, DM54LS04W, DM74LS04M or DM74LS04N
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

Function Table

$$Y = \bar{A}$$

| Input | Output |
|-------|--------|
| A | Y |
| L | H |
| H | L |

H = High Logic Level
L = Low Logic Level

54LS04/DM54LS04/DM74LS04 Hex Inverting Gates

Absolute Maximum Ratings (Note)

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

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Supply Voltage | 7V |
| Input Voltage | 7V |
| Operating Free Air Temperature Range | |
| DM54LS and 54LS | -55°C to +125°C |
| DM74LS | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |

Note: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

| Symbol | Parameter | DM54LS04 | | | DM74LS04 | | | Units |
|-----------------|--------------------------------|----------|-----|------|----------|-----|------|-------|
| | | Min | Nom | Max | Min | Nom | Max | |
| V _{CC} | Supply Voltage | 4.5 | 5 | 5.5 | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| V _{IH} | High Level Input Voltage | 2 | | | 2 | | | V |
| V _{IL} | Low Level Input Voltage | | | 0.7 | | | 0.8 | V |
| I _{OH} | High Level Output Current | | | -0.4 | | | -0.4 | mA |
| I _{OL} | Low Level Output Current | | | 4 | | | 8 | mA |
| T _A | Free Air Operating Temperature | -55 | | 125 | 0 | | 70 | °C |

Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ (Note 1) | Max | Units |
|------------------|-----------------------------------|---|--------------|--------------|-------|-------|
| V _I | Input Clamp Voltage | V _{CC} = Min, I _I = -18 mA | | | -1.5 | V |
| V _{OH} | High Level Output Voltage | V _{CC} = Min, I _{OH} = Max, V _{IL} = Max | DM54 2.5 | 3.4 | | V |
| V _{OL} | Low Level Output Voltage | V _{CC} = Min, I _{OL} = Max, V _{IH} = Min | DM54 0.25 | 0.25 | 0.4 | V |
| | | | DM74 0.35 | 0.35 | 0.5 | |
| | | I _{OL} = 4 mA, V _{CC} = Min | DM74 0.25 | 0.25 | 0.4 | |
| I _I | Input Current @ Max Input Voltage | V _{CC} = Max, V _I = 7V | | | 0.1 | mA |
| I _{IH} | High Level Input Current | V _{CC} = Max, V _I = 2.7V | | | 20 | μA |
| I _{IL} | Low Level Input Current | V _{CC} = Max, V _I = 0.4V | | | -0.36 | mA |
| I _{OS} | Short Circuit Output Current | V _{CC} = Max (Note 2) | DM54 -20 | -20 | -100 | mA |
| | | | DM74 -20 | -20 | -100 | |
| I _{COH} | Supply Current with Outputs High | V _{CC} = Max | | 1.2 | 2.4 | mA |
| I _{CCL} | Supply Current with Outputs Low | V _{CC} = Max | | 3.6 | 6.6 | mA |

Switching Characteristics at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

| Symbol | Parameter | R _L = 2 kΩ | | | | Units |
|------------------|---|------------------------|-----|------------------------|-----|-------|
| | | C _L = 15 pF | | C _L = 50 pF | | |
| | | Min | Max | Min | Max | |
| t _{PLH} | Propagation Delay Time Low to High Level Output | 3 | 10 | 4 | 15 | ns |
| t _{PHL} | Propagation Delay Time High to Low Level Output | 3 | 10 | 4 | 15 | ns |

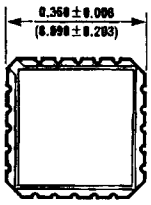
Note 1: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

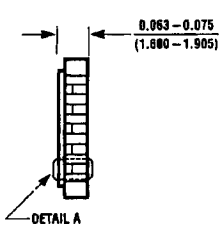


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

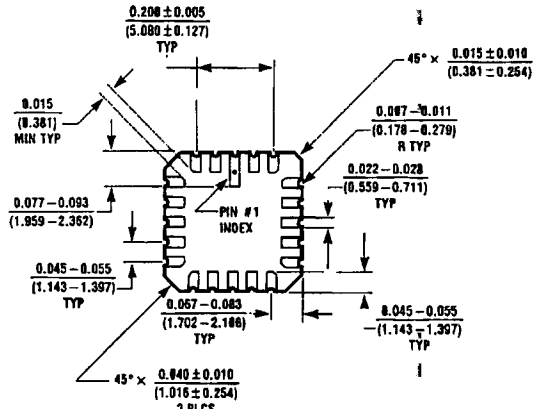
Physical Dimensions inches (millimeters)



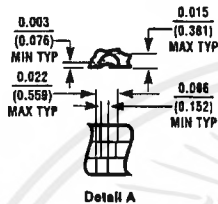
Top View



Side View



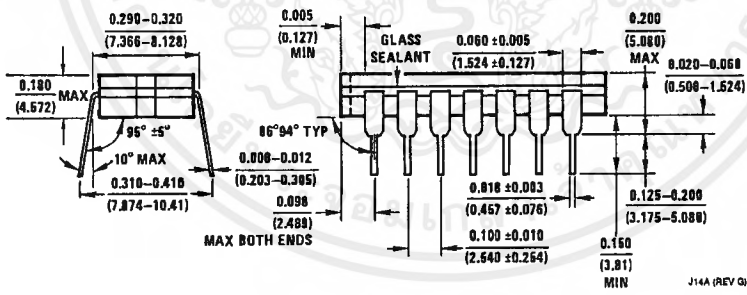
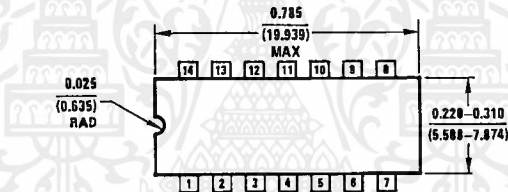
Bottom View



Detail A

Ceramic Leadless Chip Carrier Package (E)
Order Number 54LS04LMQB
NS Package Number E20A

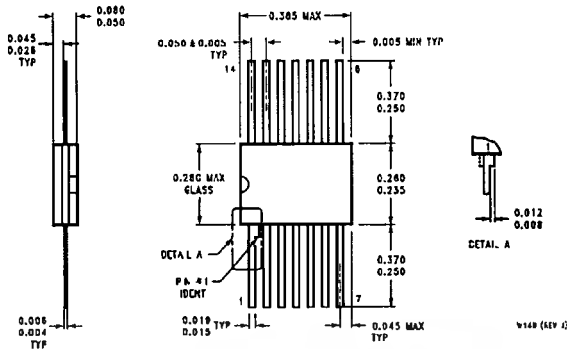
6204 (REV D)



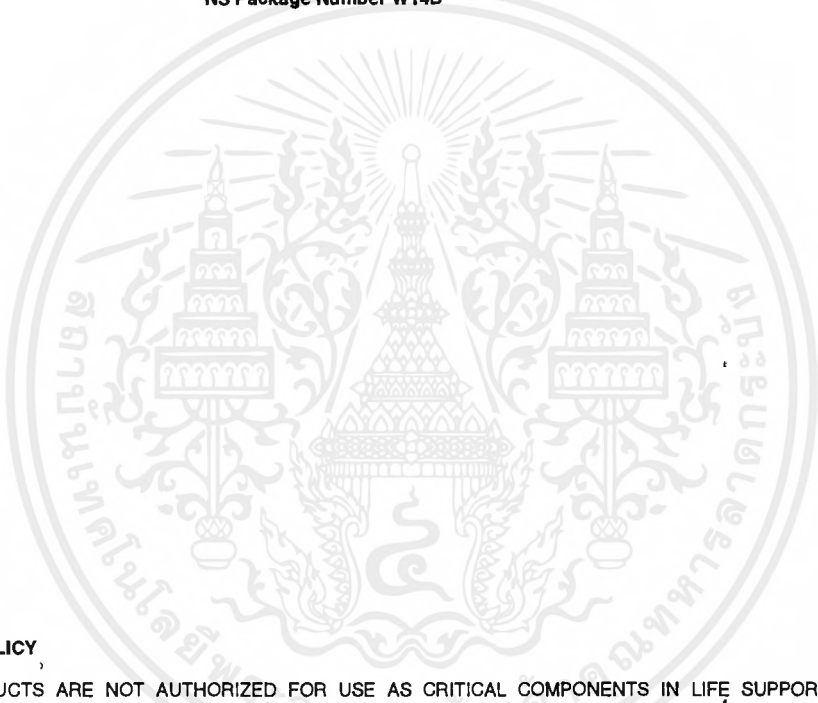
14-Lead Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number 54LS04DMQB or DM54LS04J
NS Package Number J14A

J14A (REV Q)

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



14-Lead Ceramic Flat Package (W)
Order Number 54LS04FMB or DM54LS04W
NS Package Number W14B



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9859
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86
 Email: crjwge@tevm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 18 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1800
 Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54LS245/DM54LS245/DM74LS245 TRI-STATE® Octal Bus Transceiver

General Description

These octal bus transceivers are designed for asynchronous two-way communication between data buses. The control function implementation minimizes external timing requirements.

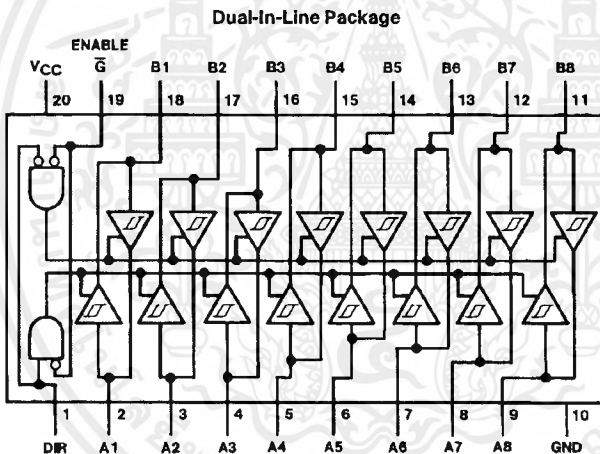
The device allows data transmission from the A bus to the B bus or from the B bus to the A bus depending upon the logic level at the direction control (DIR) input. The enable input (\bar{G}) can be used to disable the device so that the buses are effectively isolated.

- PNP inputs reduce DC loading on bus lines
- Hysteresis at bus inputs improve noise margins
- Typical propagation delay times, port-to-port 8 ns
- Typical enable/disable times 17 ns
- I_{OL} (sink current)
 - 54LS 12 mA
 - 74LS 24 mA
- I_{OH} (source current)
 - 54LS -12 mA
 - 74LS -15 mA
- Alternate Military/Aerospace device (54LS245) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Features

- Bi-Directional bus transceiver in a high-density 20-pin package
- TRI-STATE outputs drive bus lines directly

Connection Diagram



TL/F/6413-1

Order Number 54LS245DMQB, 54LS245FMQB, 54LS245LMQB,
DM54LS245J, DM54LS245W, DM74LS245WM or DM74LS245N
See NS Package Number E20A, J20A, M20B, N20A or W20A

Function Table

| Enable \bar{G} | Direction Control DIR | Operation |
|---------------------|-----------------------------|-----------------|
| L | L | B data to A bus |
| L | H | A data to B bus |
| H | X | Isolation |

H = High Level, L = Low Level, X = Irrelevant

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Absolute Maximum Ratings (Note)

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

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Supply Voltage | 7V |
| Input Voltage | |
| DIR or \bar{G} | 7V |
| A or B | 5.5V |
| Operating Free Air Temperature Range | |
| DM54LS and 54LS | -55°C to +125°C |
| DM74LS | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |

Note: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

| Symbol | Parameter | DM54LS245 | | | DM74LS245 | | | Units |
|-----------------|--------------------------------|-----------|-----|-----|-----------|-----|------|-------|
| | | Min | Nom | Max | Min | Nom | Max* | |
| V _{CC} | Supply Voltage | 4.5 | 5 | 5.5 | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| V _{IH} | High Level Input Voltage | 2 | | | 2 | | | V |
| V _{IL} | Low Level Input Voltage | | | 0.7 | | | 0.8 | V |
| I _{OH} | High Level Output Current | | | -12 | | | -15 | mA |
| I _{OL} | Low Level Output Current | | | 12 | | | 24 | mA |
| T _A | Free Air Operating Temperature | -55 | | 125 | 0 | | 70 | °C |

Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ (Note 1) | Max | Units | | |
|------------------|--|--|-------------------------|-----------------------|------|-------|------|----|
| V _I | Input Clamp Voltage | V _{CC} = Min, I _I = -18 mA | | | -1.5 | V | | |
| HYS | Hysteresis (V _{T+} - V _{T-}) | V _{CC} = Min | 0.2 | 0.4 | | V | | |
| V _{OH} | High Level Output Voltage | V _{CC} = Min, V _{IH} = Min V _{IL} = Max, I _{OH} = -1 mA | DM74 | 2.7 | | V | | |
| | | V _{CC} = Min, V _{IL} = Min V _{IL} = Max, I _{OH} = -3 mA | DM54/DM74 | 2.4 | 3.4 | | | |
| | | V _{CC} = Min, V _{IH} = Min V _{IL} = 0.5V, I _{OH} = Max | DM54/DM74 | 2 | | | | |
| V _{OL} | Low Level Output Voltage | V _{CC} = Min V _{IL} = Max V _{IH} = Min | I _{OL} = 12 mA | DM74 | | 0.4 | | |
| | | | I _{OL} = Max | DM54 | | 0.4 | | |
| | | | | DM74 | | 0.5 | | |
| I _{OZH} | Off-State Output Current, High Level Voltage Applied | V _{CC} = Max V _{IL} = Max V _{IH} = Min | V _O = 2.7V | | | 20 | μA | |
| I _{OZL} | Off-State Output Current, Low Level Voltage Applied | | V _O = 0.4V | | | -200 | μA | |
| I _I | Input Current at Maximum Input Voltage | V _{CC} = Max | A or B | V _I = 5.5V | | 0.1 | mA | |
| | | | DIR or \bar{G} | V _I = 7V | | 0.1 | | |
| I _{IH} | High Level Input Current | V _{CC} = Max, V _I = 2.7V | | | | 20 | μA | |
| I _{IL} | Low Level Input Current | V _{CC} = Max, V _I = 0.4V | | | | -0.2 | mA | |
| I _{OS} | Short Circuit Output Current | V _{CC} = Max (Note 2) | | | | -40 | -225 | mA |
| I _{CC} | Supply Current | Outputs High | V _{CC} = Max | | 48 | 70 | mA | |
| | | Outputs Low | | | 62 | 90 | | |
| | | Outputs at Hi-Z | | | 64 | 95 | | |

Note 1: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

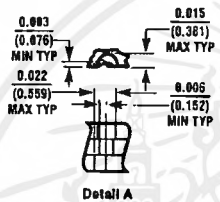
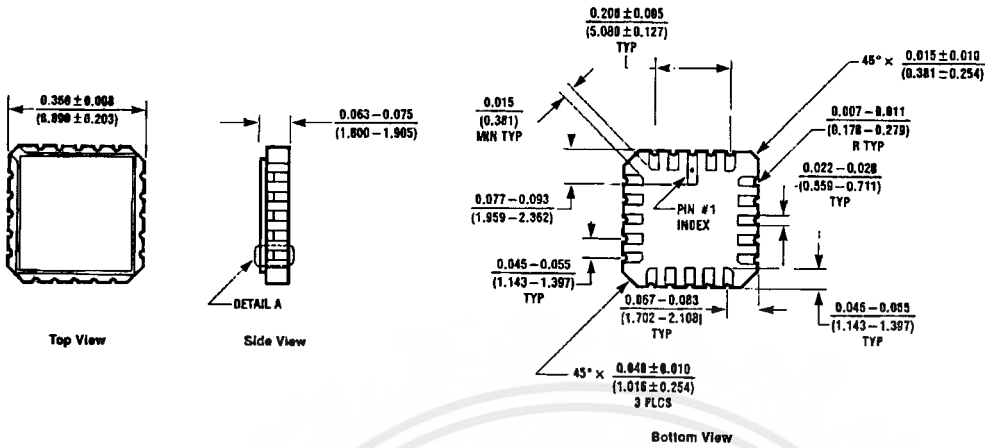
Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, not to exceed one second duration

Switching Characteristics $V_{CC} = 5V, T_A = 25^\circ C$ (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

| Symbol | Parameter | Conditions | DM54/74 | | Units |
|-----------|--|---|---------|-----|-------|
| | | | LS245 | | |
| | | | Min | Max | |
| t_{PLH} | Propagation Delay Time, Low-to-High-Level Output | $C_L = 45 \text{ pF}$ $R_L = 667\Omega$ | | 12 | ns |
| t_{PHL} | Propagation Delay Time, High-to-Low-Level Output | | | 12 | ns |
| t_{PZL} | Output Enable Time to Low Level | | | 40 | ns |
| t_{PZH} | Output Enable Time to High Level | | | 40 | ns |
| t_{PLZ} | Output Disable Time from Low Level | $C_L = 5 \text{ pF}$ $R_L = 667\Omega$ | | 25 | ns |
| t_{PHZ} | Output Disable Time from High Level | | | 25 | ns |
| t_{PLH} | Propagation Delay Time, Low-to-High-Level Output | $C_L = 150 \text{ pF}$ $R_L = 667\Omega$ | | 16 | ns |
| t_{PHL} | Propagation Delay Time, High-to-Low-Level Output | | | 17 | ns |
| t_{PZL} | Output Enable Time to Low Level | | | 45 | ns |
| t_{PZH} | Output Enable Time to High Level | | | 45 | ns |

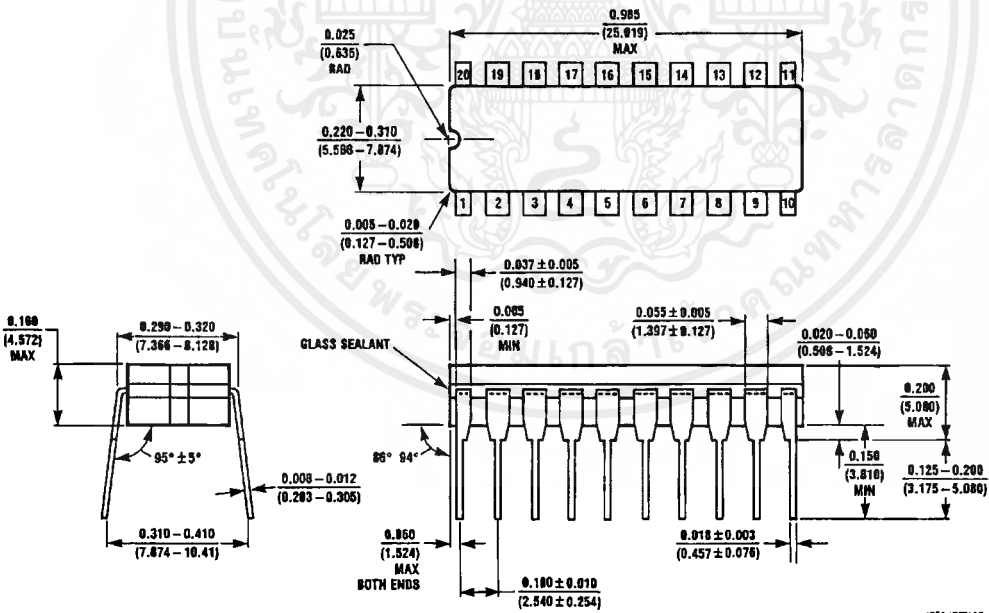


Physical Dimensions inches (millimeters)



Ceramic Leadless Chip Carrier Package (E)
Order Number 54LS245LMQB
NS Package Number E20A

E20A (REV D)

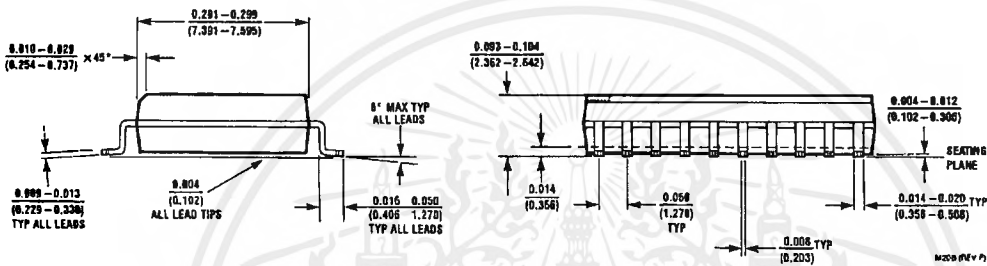
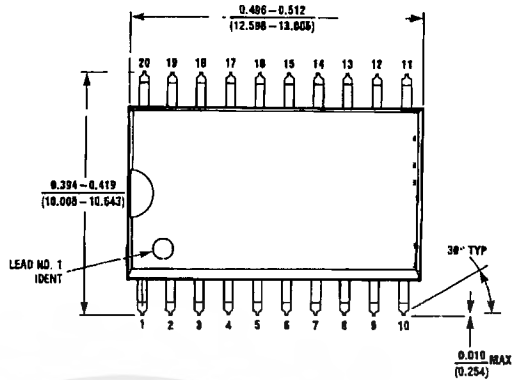


20-Lead Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number 54LS245DMQB or DM54LS245J
NS Package Number J20A

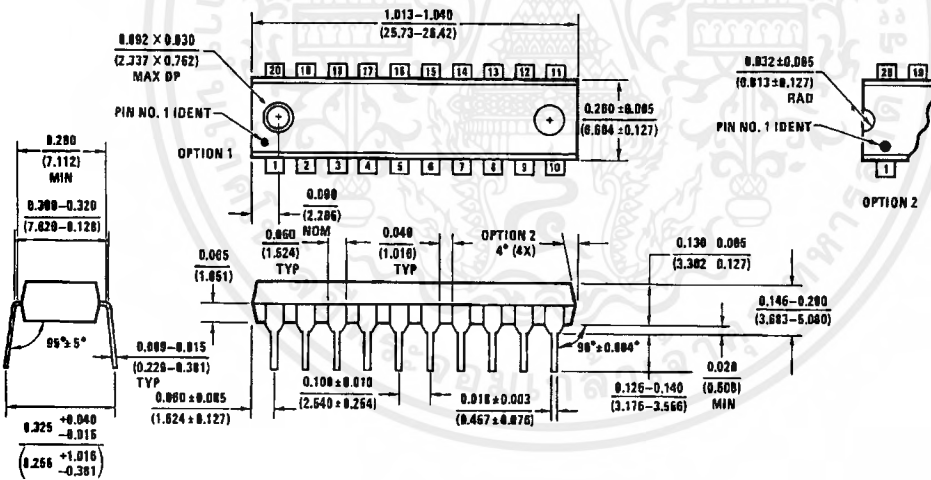
J20A (REV M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



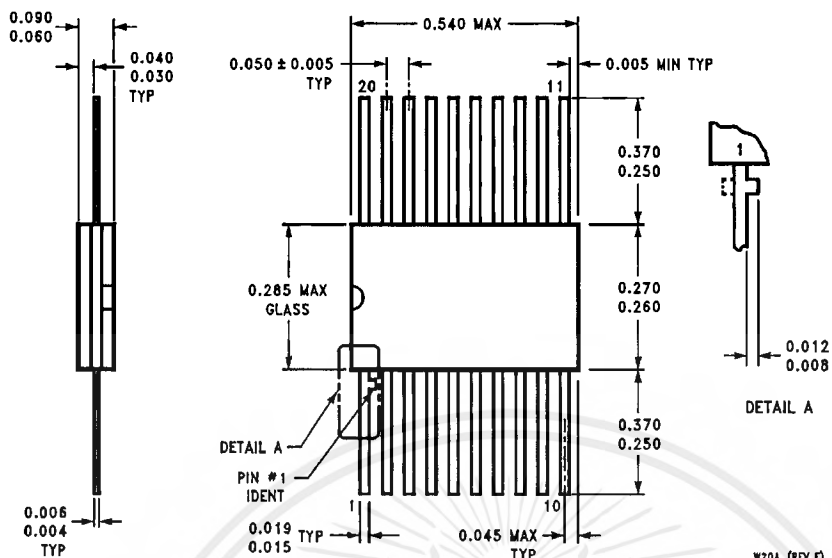
20-Lead Small Outline Molded Package (M)
Order Number DM74LS245WM
NS Package Number M20B



20-Lead Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number DM74LS245N
NS Package Number N20A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)




20-Lead Ceramic Flat Package (W)
Order Number 54LS245FMQB or DM54LS245W
NS Package Number W20A

W20A (REV E)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

| | | | |
|---|--|---|---|
|  <p>National Semiconductor Corporation 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: 1(800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p> | <p>National Semiconductor Europe Fax: (+49) 0-180-530 85 86 Email: cnlwg@tevm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80</p> | <p>National Semiconductor Hong Kong Ltd. 13th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1600 Fax: (852) 2736-9960</p> | <p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p> |
|---|--|---|---|

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54LS32/DM54LS32/DM74LS32 Quad 2-Input OR Gates

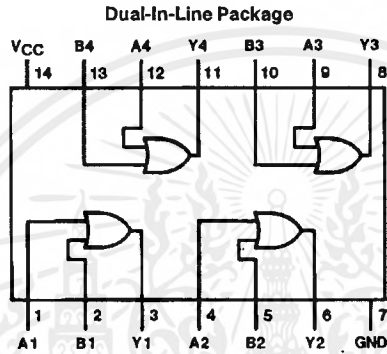
General Description

This device contains four independent gates each of which performs the logic OR function.

Features

- Alternate Military/Aerospace device (54LS32) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Connection Diagram



TL/F/6361-1

Order Number 54LS32DMQB, 54LS32FMQB, 54LS32LMQB,
DM54LS32J, DM54LS32W, DM74LS32M or DM74LS32N
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

Function Table

$$Y = A + B$$

| Inputs | | Output |
|--------|---|--------|
| A | B | Y |
| L | L | L |
| L | H | H |
| H | L | H |
| H | H | H |

H = High Logic Level
L = Low Logic Level

Absolute Maximum Ratings (Note)

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

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Supply Voltage | 7V |
| Input Voltage | 7V |
| Operating Free Air Temperature Range | |
| DM54LS and 54LS | -55°C to +125°C |
| DM74LS | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |

Note: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

| Symbol | Parameter | DM54LS32 | | | DM74LS32 | | | Units |
|-----------------|--------------------------------|----------|-----|------|----------|-----|------|-------|
| | | Min | Nom | Max | Min | Nom | Max | |
| V _{CC} | Supply Voltage | 4.5 | 5 | 5.5 | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| V _{IH} | High Level Input Voltage | 2 | | | 2 | | | V |
| V _{IL} | Low Level Input Voltage | | | 0.7 | | | 0.8 | V |
| I _{OH} | High Level Output Current | | | -0.4 | | | -0.4 | mA |
| I _{OL} | Low Level Output Current | | | 4 | | | 8 | mA |
| T _A | Free Air Operating Temperature | -55 | | 125 | 0 | | 70 | °C |

Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ (Note 1) | Max | Units |
|------------------|-----------------------------------|---|--------------|--------------|-------|-------|
| V _I | Input Clamp Voltage | V _{CC} = Min, I _I = -18 mA | | | -1.5 | V |
| V _{OH} | High Level Output Voltage | V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IH} = Min | DM54 2.5 | 3.4 | | V |
| | | | DM74 2.7 | 3.4 | | |
| V _{OL} | Low Level Output Voltage | V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IL} = Max | DM54 0.25 | 0.25 | 0.4 | V |
| | | | DM74 0.35 | 0.35 | 0.5 | |
| | | I _{OL} = 4 mA, V _{CC} = Min | DM74 0.25 | 0.25 | 0.4 | |
| I _I | Input Current @ Max Input Voltage | V _{CC} = Max, V _I = 7V | | | 0.1 | mA |
| I _{IH} | High Level Input Current | V _{CC} = Max, V _I = 2.7V | | | 20 | μA |
| I _{IL} | Low Level Input Current | V _{CC} = Max, V _I = 0.4V | | | -0.36 | mA |
| I _{OS} | Short Circuit Output Current | V _{CC} = Max (Note 2) | DM54 -20 | | -100 | mA |
| | | | DM74 -20 | | -100 | |
| I _{CCH} | Supply Current with Outputs High | V _{CC} = Max | | 3.1 | 6.2 | mA |
| I _{CCL} | Supply Current with Outputs Low | V _{CC} = Max | | 4.9 | 9.8 | mA |

Switching Characteristics at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

| Symbol | Parameter | R _L = 2 kΩ | | | | Units |
|------------------|---|------------------------|-----|------------------------|-----|-------|
| | | C _L = 15 pF | | C _L = 50 pF | | |
| | | Min | Max | Min | Max | |
| t _{PLH} | Propagation Delay Time Low to High Level Output | 3 | 11 | 4 | 15 | ns |
| t _{PHL} | Propagation Delay Time High to Low Level Output | 3 | 11 | 4 | 15 | ns |

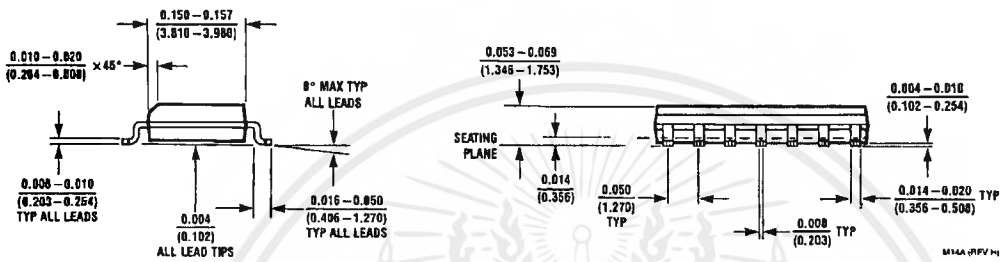
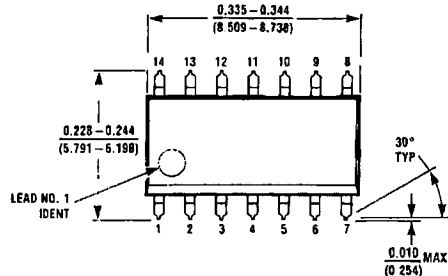
Note 1: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

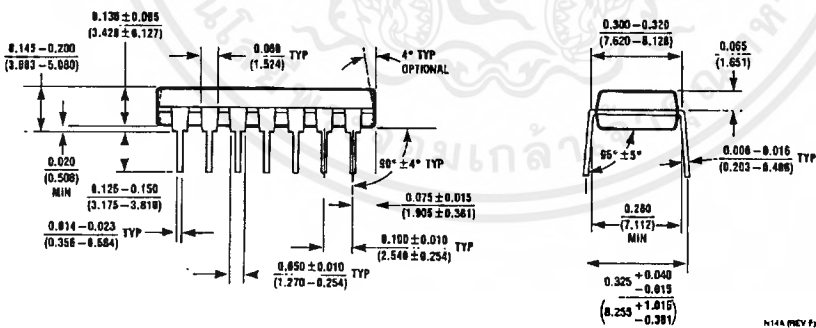
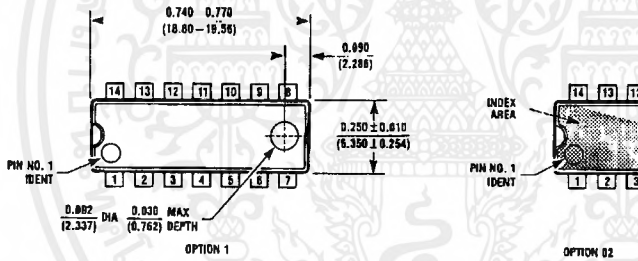


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)

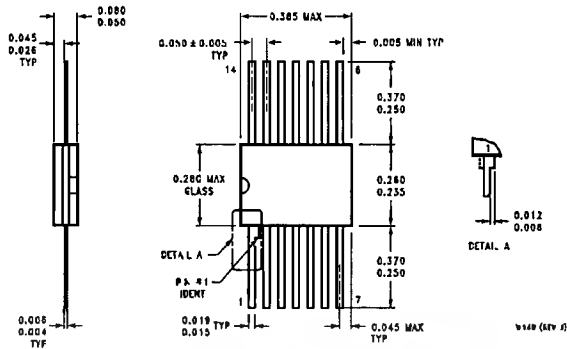


14-Lead Small Outline Molded Package (M)
Order Number DM74LS32M
NS Package Number M14A

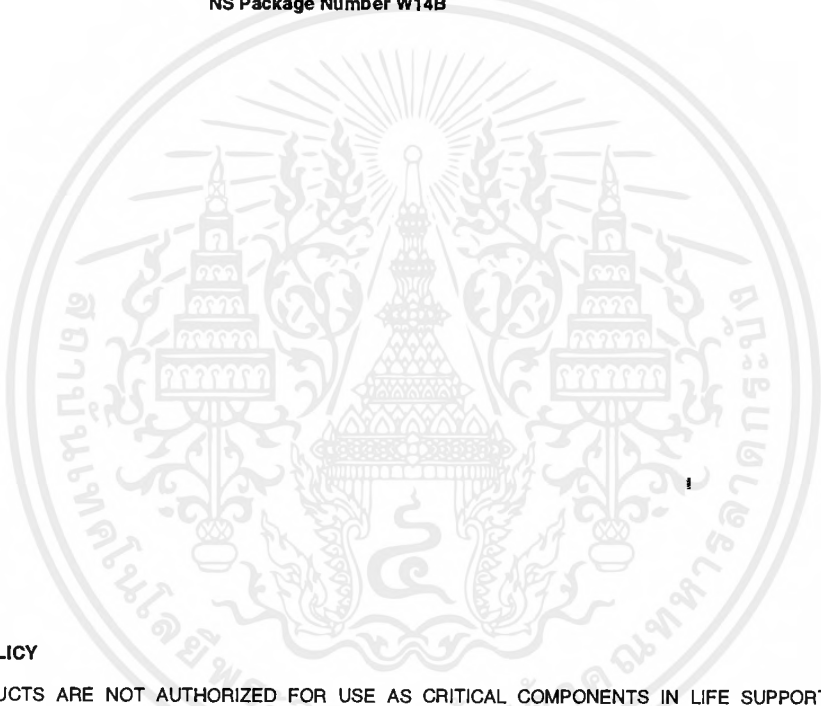


14-Lead Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number DM74LS32N
NS Package Number N14A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)




14-Lead Ceramic Flat Package (W)
Order Number 54LS32FMQB or DM54LS32W
NS Package Number W14B



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

| | | | |
|---|--|---|---|
|  <p>National Semiconductor Corporation 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: 1(800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p> | <p>National Semiconductor Europe Fax: (+49) 0-180-530 85 88 Email: crjwge@tevm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80</p> | <p>National Semiconductor Hong Kong Ltd. 15th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1600 Fax: (852) 2736-9960</p> | <p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p> |
|---|--|---|---|

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM108A/LM208A/LM308A Operational Amplifiers

General Description

The LM108/LM108A series are precision operational amplifiers having specifications about a factor of ten better than FET amplifiers over their operating temperature range. In addition to low input currents, these devices have extremely low offset voltage, making it possible to eliminate offset adjustments, in most cases, and obtain performance approaching chopper stabilized amplifiers.

The devices operate with supply voltages from $\pm 2V$ to $\pm 18V$ and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary.

The low current error of the LM108A series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from $10\text{ M}\Omega$ source resistances,

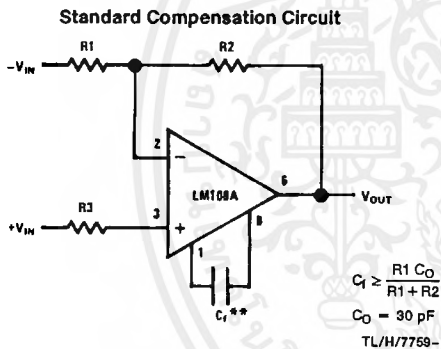
introducing less error than devices like the 709 with $10\text{ k}\Omega$ sources. Integrators with drifts less than $500\ \mu\text{V}/\text{sec}$ and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than $1\ \mu\text{F}$.

The LM208A is identical to the LM108A, except that the LM208A has its performance guaranteed over a -25°C to $+85^\circ\text{C}$ temperature range, instead of -55°C to $+125^\circ\text{C}$. The LM308A devices have slightly-relaxed specifications and performances over a 0°C to $+70^\circ\text{C}$ temperature range.

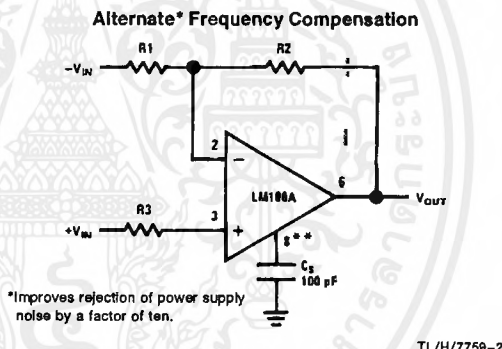
Features

- Offset voltage guaranteed less than 0.5 mV
- Maximum input bias current of 3.0 nA over temperature
- Offset current less than 400 pA over temperature
- Supply current of only $300\ \mu\text{A}$, even in saturation
- Guaranteed $5\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ drift

Compensation Circuits

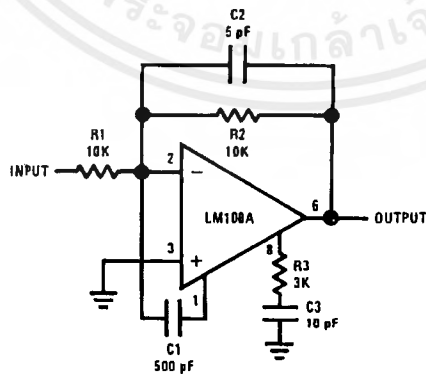


**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_1$.



**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_2$.

Feedforward Compensation



LM108A/LM208A Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 5)

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Supply Voltage | ±20V |
| Power Dissipation (Note 1) | 500 mW |
| Differential Input Current (Note 2) | ±10 mA |
| Input Voltage (Note 3) | ±15V |
| Output Short-Circuit Duration | Continuous |
| Operating Free Air Temperature Range | |
| LM108A | -55°C to +125°C |
| LM208A | -25°C to +85°C |

| | |
|---|-----------------|
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) (DIP) | 260°C |
| Soldering Information | |
| Dual-In-Line Package | |
| Soldering (10 sec.) | 260°C |
| Small Outline Package | |
| Vapor Phase (60 sec.) | 215°C |
| Infrared (15 sec.) | 220°C |
| See An-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices. | |
| ESD Tolerance (Note 6) | 2000V |

Electrical Characteristics (Note 4)

| Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|---|--|-------|------|-----|------------------------------|
| Input Offset Voltage | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 0.3 | 0.5 | mV |
| Input Offset Current | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 0.05 | 0.2 | nA |
| Input Bias Current | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 0.8 | 2.0 | nA |
| Input Resistance | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | 30 | 70 | | M Ω |
| Supply Current | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 0.3 | 0.6 | mA |
| Large Signal Voltage Gain | $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$, $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ | 80 | 300 | | V/mV |
| Input Offset Voltage | | | | 1.0 | mV |
| Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage | | | 1.0 | 5.0 | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Input Offset Current | | | | 0.4 | nA |
| Average Temperature Coefficient of Input Offset Current | | | 0.5 | 2.5 | $\text{pA}/^\circ\text{C}$ |
| Input Bias Current | | | | 3.0 | nA |
| Supply Current | $T_A = 125^\circ\text{C}$ | | 0.15 | 0.4 | mA |
| Large Signal Voltage Gain | $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$, $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ | 40 | | | V/mV |
| Output Voltage Swing | $V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ | ±13 | ±14 | | V |
| Input Voltage Range | $V_S = \pm 15\text{V}$ | ±13.5 | | | V |
| Common Mode Rejection Ratio | | 96 | 110 | | dB |
| Supply Voltage Rejection Ratio | | 96 | 110 | | dB |

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108A is 150°C, while that of the LM208A is 100°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5\text{V} \leq V_S \leq \pm 20\text{V}$ and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$, unless otherwise specified. With the LM208A, however, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$.

Note 5: Refer to RETS108AX for LM108AH and LM108AJ-8 military specifications.

Note 6: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

LM308A Absolute Maximum Ratings

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

| | |
|---|-----------------|
| Supply Voltage | ±18V |
| Power Dissipation (Note 1) | 500 mW |
| Differential Input Current (Note 2) | ±10 mA |
| Input Voltage (Note 3) | ±15V |
| Output Short-Circuit Duration | Continuous |
| Operating Temperature Range | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| H-Package Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) | 300°C |

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) (DIP) 260°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package
Soldering (10 sec.) 260°C

Small Outline Package

Vapor phase (60 sec.) 215°C

Infrared (15 sec.) 220°C

See An-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

Electrical Characteristics (Note 4)

| Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|---|--|-----|-----|------|------------------------------|
| Input Offset Voltage | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 0.3 | 0.5 | mV |
| Input Offset Current | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 0.2 | 1 | nA |
| Input Bias Current | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 1.5 | 7 | nA |
| Input Resistance | $T_A = 25^\circ\text{C}$ | 10 | 40 | | MΩ |
| Supply Current | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$ | | 0.3 | 0.8 | mA |
| Large Signal Voltage Gain | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ | 80 | 300 | | V/mV |
| Input Offset Voltage | $V_S = \pm 15\text{V}, R_S = 100\Omega$ | | | 0.73 | mV |
| Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage | $V_S = \pm 15\text{V}, R_S = 100\Omega$ | | 2.0 | 5.0 | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Input Offset Current | | | | 1.5 | nA |
| Average Temperature Coefficient of Input Offset Current | | | 2.0 | 10 | $\text{pA}/^\circ\text{C}$ |
| Input Bias Current | | | | 10 | nA |
| Large Signal Voltage Gain | $V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ | 60 | | | V/mV |
| Output Voltage Swing | $V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$ | ±13 | ±14 | | V |
| Input Voltage Range | $V_S = \pm 15\text{V}$ | ±14 | | | V |
| Common Mode Rejection Ratio | | 96 | 110 | | dB |
| Supply Voltage Rejection Ratio | | 96 | 110 | | dB |

Note 1: The maximum junction temperature of the LM308A is 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

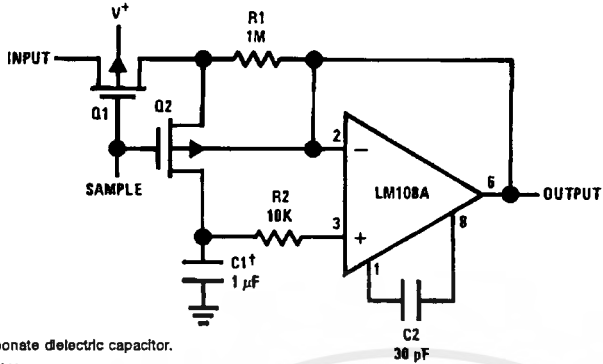
Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5\text{V} \leq V_S \leq \pm 15\text{V}$ and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Typical Applications

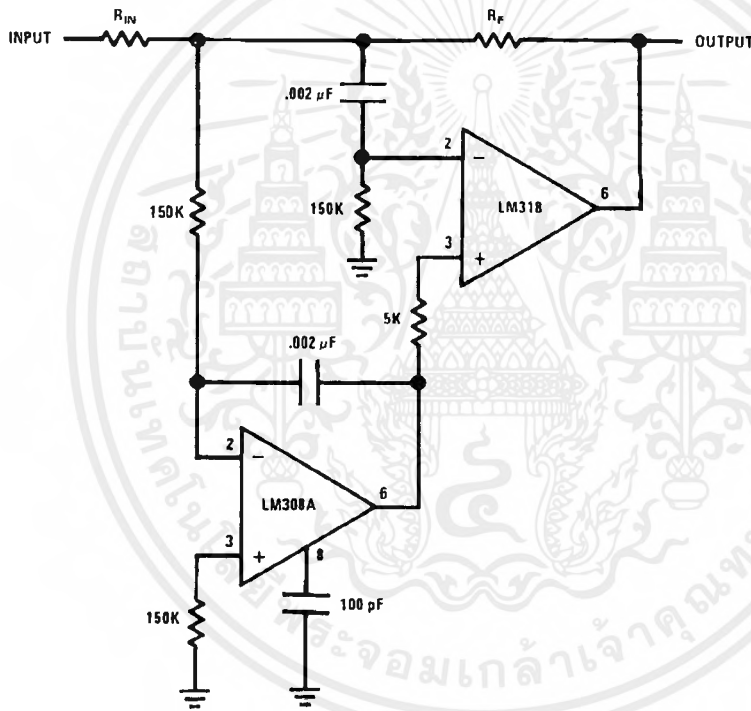
Sample and Hold



†Teflon, polyethylene or polycarbonate dielectric capacitor.
Worst case drift less than 2.5 mV/sec.

TL/H/7769-4

High Speed Amplifier with Low Drift and Low Input Current



TL/H/7769-5

Application Hints

A very low drift amplifier poses some uncommon application and testing problems. Many sources of error can cause the apparent circuit drift to be much higher than would be predicted.

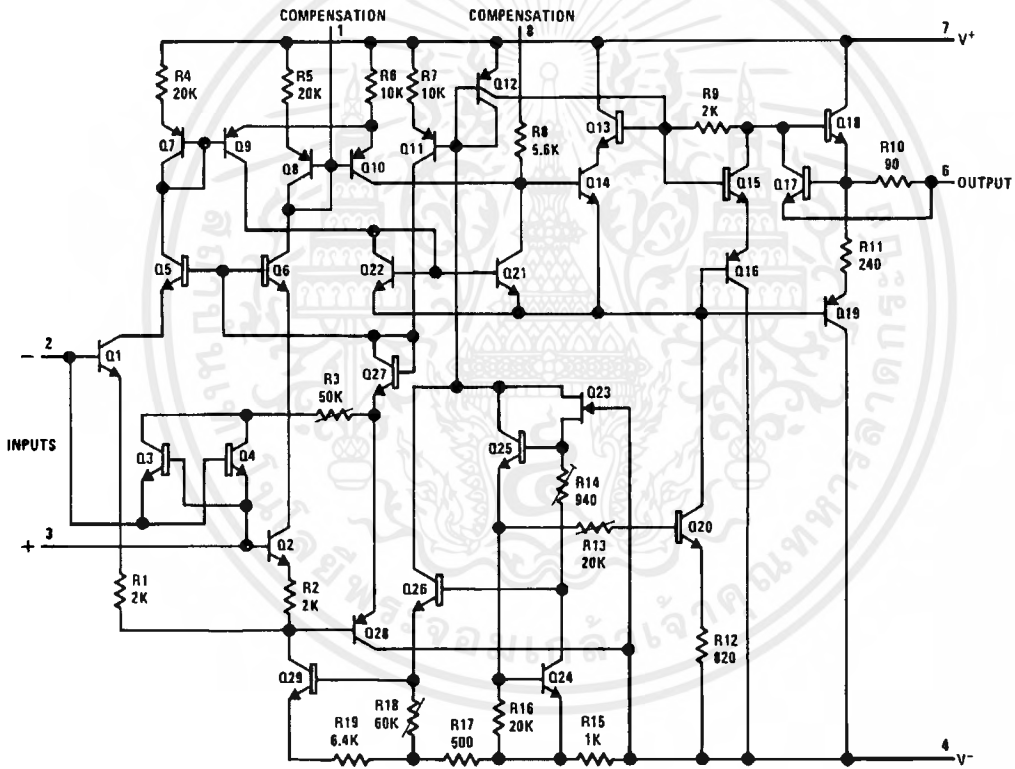
Thermocouple effects caused by temperature gradient across dissimilar metals are perhaps the worst offenders. Only a few degrees gradient can cause hundreds of microvolts of error. The two places this shows up, generally, are the package-to-printed circuit board interface and temperature gradients across resistors. Keeping package leads short and the two input leads close together helps greatly.

Resistor choice as well as physical placement is important for minimizing thermocouple effects. Carbon, oxide film and some metal film resistors can cause large thermocouple errors. Wirewound resistors of evanohm or manganin are best since they only generate about $2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ referenced to copper. Of course, keeping the resistor ends at the same temperature is important. Generally, shielding a low drift stage electrically and thermally will yield good results.

Resistors can cause other errors besides gradient generated voltages. If the gain setting resistors do not track with temperature a gain error will result. For example, a gain of 1000 amplifier with a constant 10 mV input will have a 10V output. If the resistors mismatch by 0.5% over the operating temperature range, the error at the output is 50 mV. Referred to input, this is a $50 \mu\text{V}$ error. All of the gain fixing resistor should be the same material.

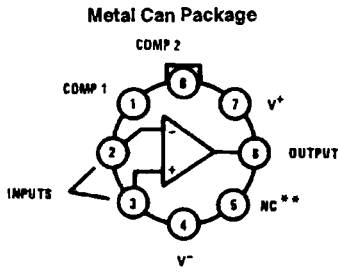
Testing low drift amplifiers is also difficult. Standard drift testing technique such as heating the device in an oven and having the leads available through a connector, thermoprobe, or the soldering iron method—do not work. Thermal gradients cause much greater errors than the amplifier drift. Coupling microvolt signal through connectors is especially bad since the temperature difference across the connector can be 50°C or more. The device under test along with the gain setting resistor should be isothermal.

Schematic Diagram



TL/H/7759-6

Connection Diagrams

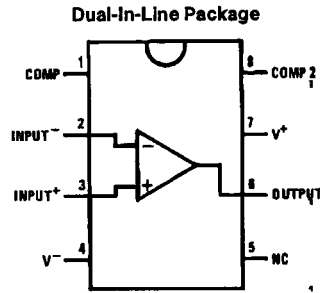


TL/H/7769-7

Pin 4 is connected to the case.

**Unused pin (no internal connection) to allow for input anti-leakage guard ring on printed circuit board layout.

Order Number LM108AH, LM208AH or LM208AH
See NS Package Number H08C

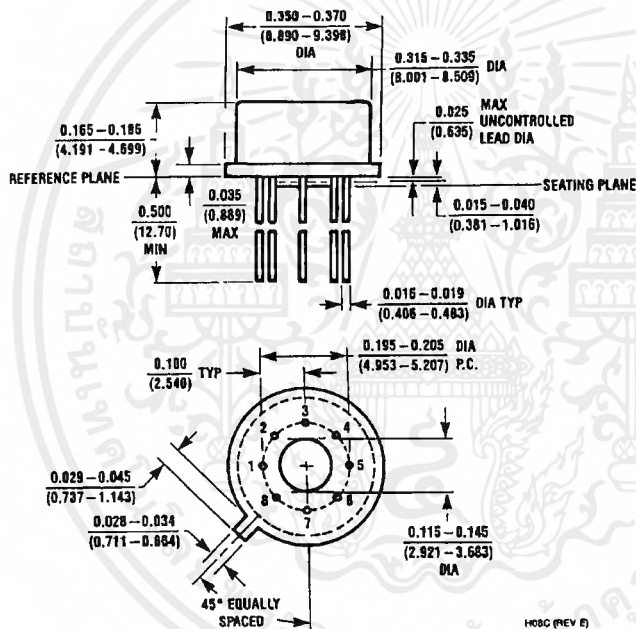


TL/H/7769-8

Top View

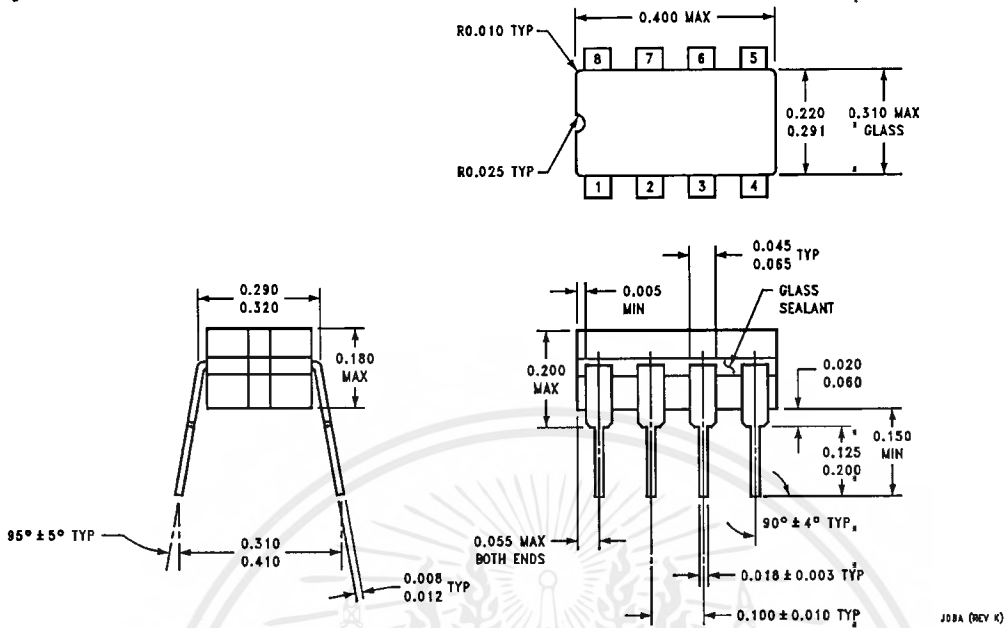
Order Number LM108AJ-8, LM208AJ-8, LM308AJ-8,
LM308AM or LM308AN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Physical Dimensions inches (millimeters)

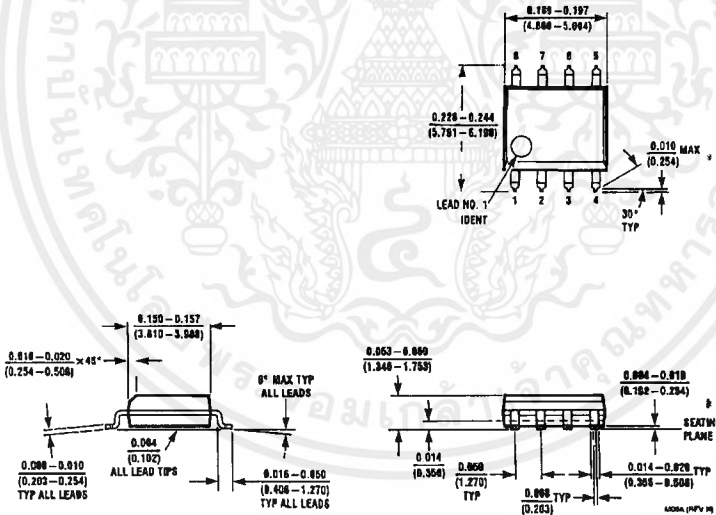


Metal Can Package (H)
Order Number LM108AH, LM208AH or LM308AH
NS Package Number H08C

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



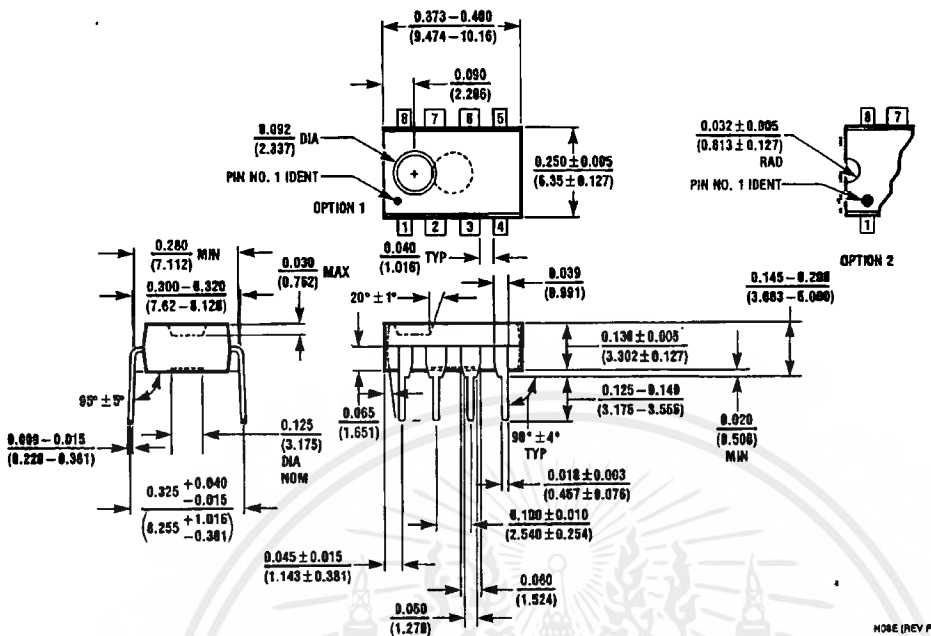
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM108AJ-8, LM208AJ-8 or LM308AJ-8
NS Package Number J08A



S.O. Package (M)
Order Number LM308AM
NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)




Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM308AN
NS Package Number N08E

NOTE (REV. F1)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

| | | | |
|---|--|---|---|
|  <p>National Semiconductor Corporation 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: 1(800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p> | <p>National Semiconductor Europe Fax: (+49) 0-180-530 85 86 Email: criwje@tevm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 83 56 Italiano Tel: (+49) 0-160-534 16 80</p> | <p>National Semiconductor Hong Kong Ltd. 13th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1600 Fax: (852) 2736-9960</p> | <p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p> |
|---|--|---|---|

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM129/LM329 Precision Reference

General Description

The LM129 and LM329 family are precision multi-current temperature-compensated 6.9V zener references with dynamic impedances a factor of 10 to 100 less than discrete diodes. Constructed in a single silicon chip, the LM129 uses active circuitry to buffer the internal zener allowing the device to operate over a 0.5 mA to 15 mA range with virtually no change in performance. The LM129 and LM329 are available with selected temperature coefficients of 0.001, 0.002, 0.005 and 0.01%/°C. These new references also have excellent long term stability and low noise.

A new subsurface breakdown zener used in the LM129 gives lower noise and better long-term stability than conventional IC zeners. Further the zener and temperature compensating transistor are made by a planar process so they are immune to problems that plague ordinary zeners. For example, there is virtually no voltage shift in zener voltage due to temperature cycling and the device is insensitive to stress on the leads.

The LM129 can be used in place of conventional zeners with improved performance. The low dynamic impedance

simplifies biasing and the wide operating current allows the replacement of many zener types.

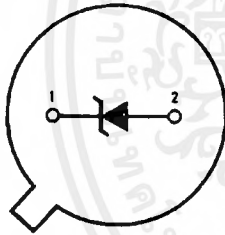
The LM129 is packaged in a 2-lead TO-46 package and is rated for operation over a -55°C to +125°C temperature range. The LM329 for operation over 0°C to 70°C is available in both a hermetic TO-46 package and a TO-92 epoxy package.

Features

- 0.6 mA to 15 mA operating current
- 0.6Ω dynamic impedance at any current
- Available with temperature coefficients of 0.001%/°C
- 7μV wideband noise
- 5% initial tolerance
- 0.002% long term stability
- Low cost
- Subsurface zener

Connection Diagrams

Metal Can Package (TO-46)



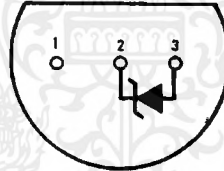
Bottom View

Pin 2 is electrically connected to case

TL/H/5714-6

Order Number LM129AH, LM129AH/883, LM129BH,
LM129BH/883, LM129CH, LM329AH, LM329BH,
LM329CH or LM329DH
See NS Package H02A

Plastic Package (TO-92)



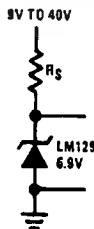
Bottom View

TL/H/5714-4

Order Number LM329BZ,
LM329CZ or LM329DZ
See NS Package Z03A

Typical Applications

Simple Reference



TL/H/5714-1

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 2)

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Reverse Breakdown Current | 30 mA |
| Forward Current | 2 mA |
| Operating Temperature Range | |
| LM129 | -55°C to +125°C |
| LM329 | 0°C to +70°C |

| | |
|---------------------------|-----------------|
| Storage Temperature Range | -55°C to +150°C |
| Soldering Information | |
| TO-92 package: 10 sec. | 260°C |
| TO-46 package: 10 sec. | 300°C |

Electrical Characteristics (Note 1)

| Parameter | Conditions | LM129A, B, C | | | LM329A, B, C, D' | | | Units |
|---|---|--------------|-----|-----|------------------|-----|------|---------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Reverse Breakdown Voltage | $T_A = 25^\circ\text{C}$, $0.6\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$ | 6.7 | 6.9 | 7.2 | 6.6 | 6.9 | 7.25 | V |
| Reverse Breakdown Change with Current (Note 3) | $T_A = 25^\circ\text{C}$, $0.6\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$ | | 9 | 14 | | 9 | 20 | mV |
| Reverse Dynamic Impedance (Note 3) | $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$ | | 0.6 | 1 | | 0.8 | 2 | Ω |
| RMS Noise | $T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq F \leq 10\text{ kHz}$ | | 7 | 20 | | 7 | 100 | μV |
| Long Term Stability (1000 hours) | $T_A = 45^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA} \pm 0.3\%$ | | 20 | | | 20 | | ppm |
| Temperature Coefficient | $I_R = 1\text{ mA}$ | | | | | | | |
| LM129A, LM329A | | | 6 | 10 | | 6 | 10 | ppm/°C |
| LM129B, LM329B | | | 15 | 20 | | 15 | 20 | ppm/°C |
| LM129C, LM329C | | | 30 | 50 | | 30 | 50 | ppm/°C |
| LM329D | | | | | | 50 | 100 | ppm/°C |
| Change in Reverse Breakdown Temperature Coefficient | $1\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$ | | 1 | | | 1 | | ppm/°C |
| Reverse Breakdown Change with Current | $1\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$ | | 12 | | | 12 | | mV |
| Reverse Dynamic Impedance | $1\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$ | | 0.8 | | | 1 | | Ω |

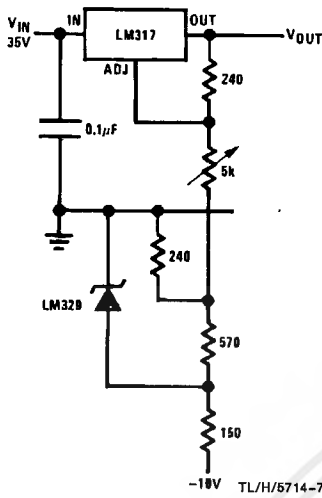
Note 1: These specifications apply for $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM129 and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ for the LM329 unless otherwise specified. The maximum junction temperature for an LM129 is 150°C and LM329 is 100°C . For operating at elevated temperature, devices in TO-46 package must be derated based on a thermal resistance of 440°C/W junction to ambient or 80°C/W junction to case. For the TO-92 package, the derating is based on 180°C/W junction to ambient with $0.4''$ leads from a PC board and 160°C/W junction to ambient with $0.125''$ lead length to a PC board.

Note 2: Refer to RETS129H for LM129 family military specifications.

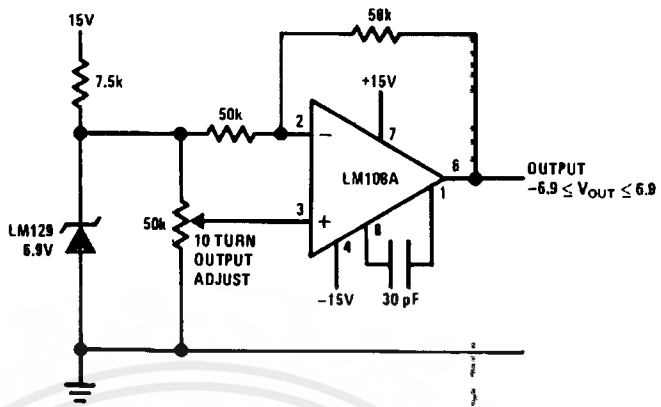
Note 3: These changes are tested on a pulsed basis with a low duty-cycle. For changes versus temperature, compute in terms of tempo.

Typical Applications (Continued)

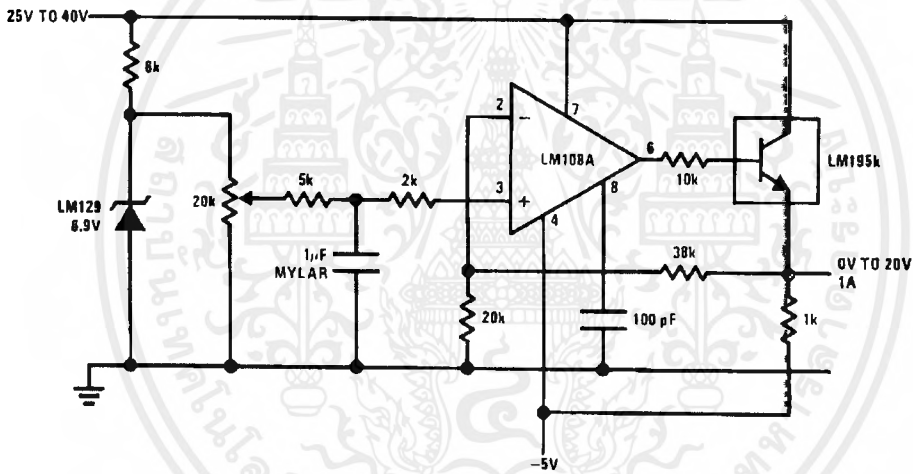
Low Cost 0-25V Regulator



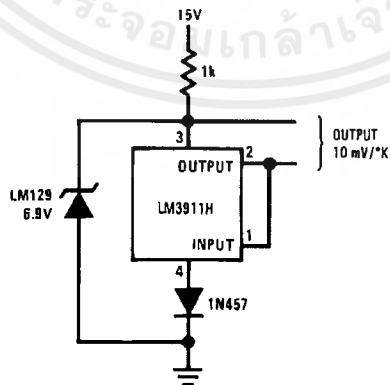
Adjustable Bipolar Output Reference



0V to 20V Power Reference



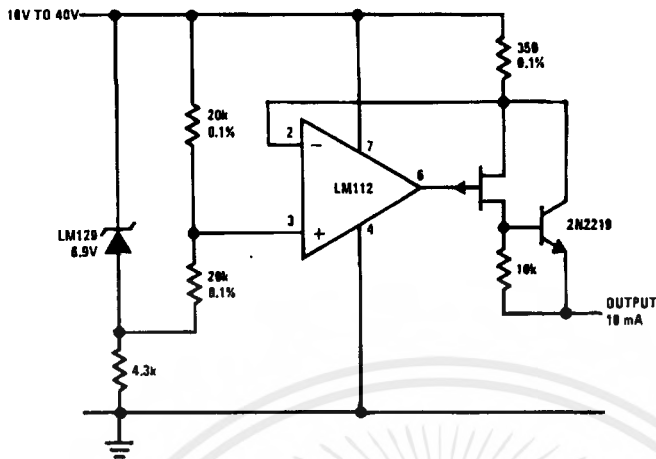
External Reference for Temperature Transducer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

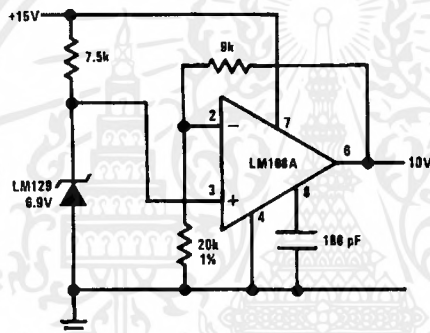
Typical Applications (Continued)

Positive Current Source



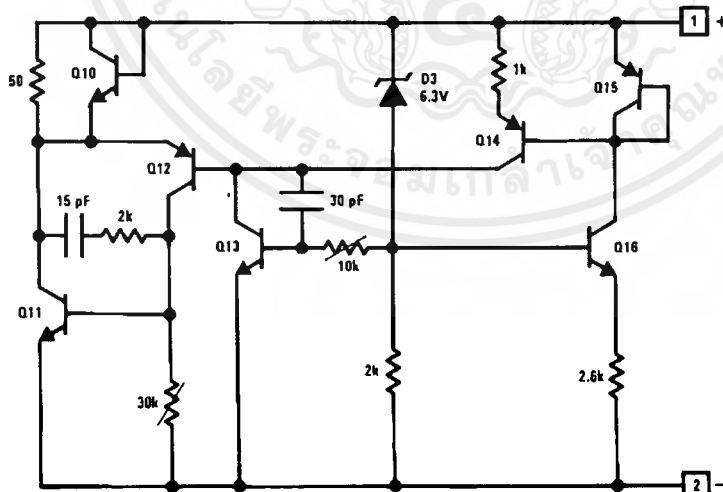
TL/H/5714-11

Buffered Reference with Single Supply



TL/H/5714-3

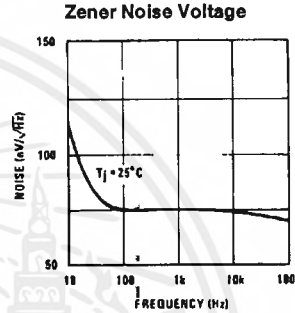
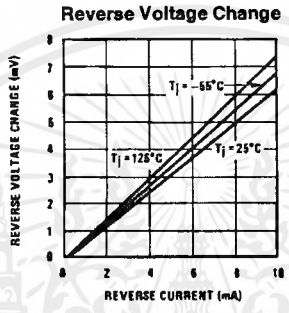
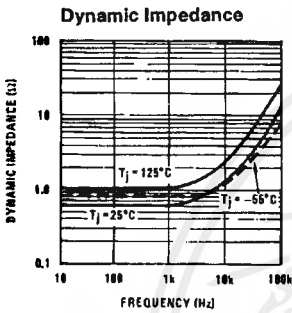
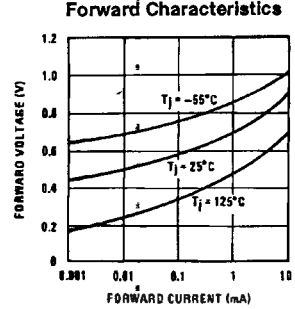
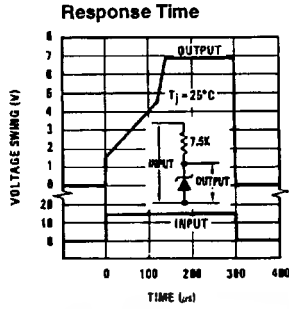
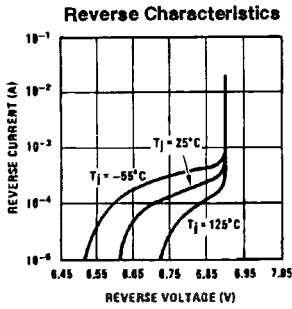
Schematic Diagram



TL/H/5714-10

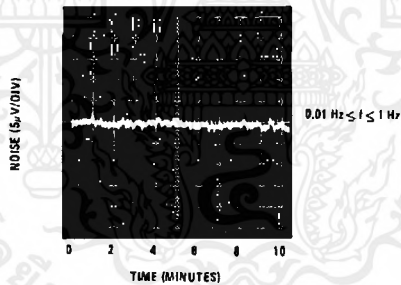
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



TL/H/5714-12

Low Frequency Noise Voltage



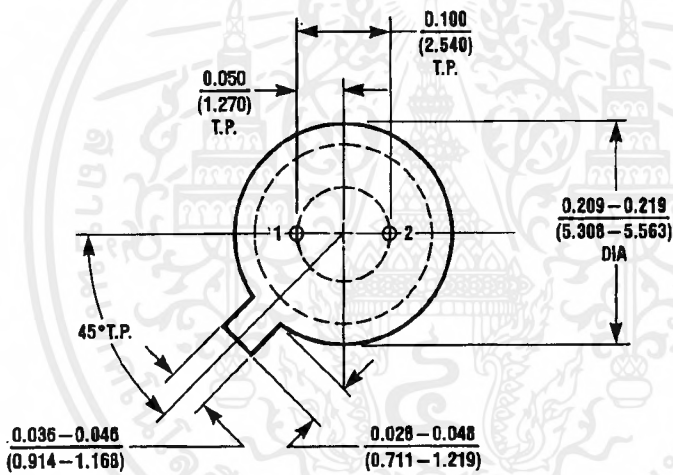
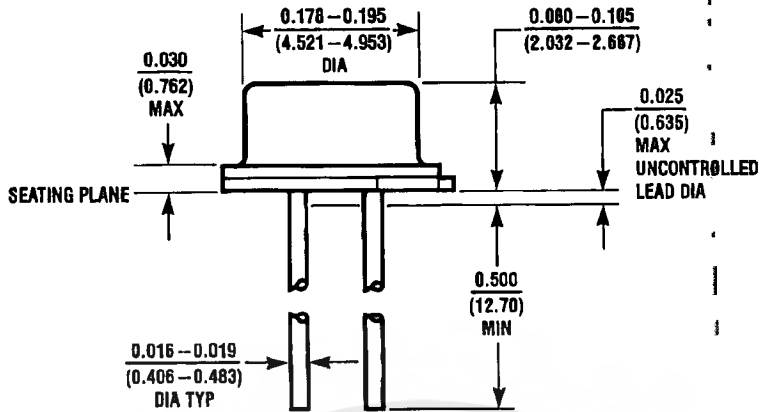
TL/H/5714-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

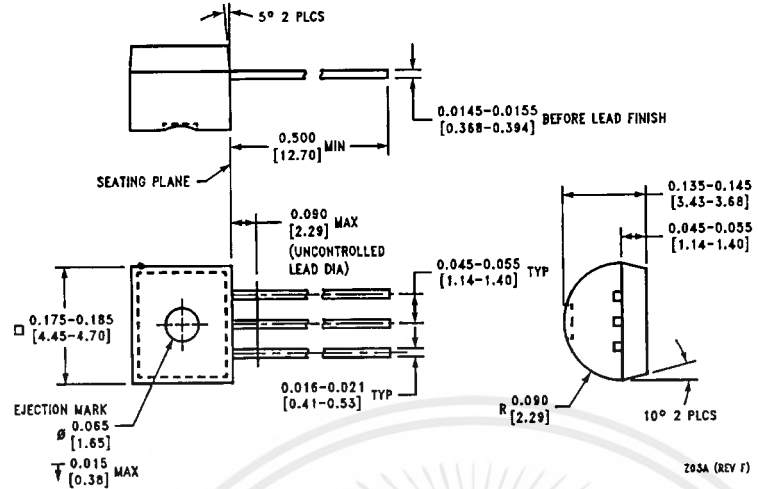
Physical Dimensions inches (millimeters)



H02A (REV C)

Metal Can Package
 Order Number LM129AH, LM129AH/883, LM129BH, LM129BH/883,
 LM129CH, LM329AH, LM329BH, LM329CH, or LM329DH
NS Package H02A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)




Plastic Package
Order Number LM329BZ, LM329CZ, or LM329DZ
NS Package Z03A

LIFE SUPPORT POLICY

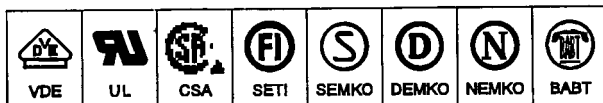
NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

| | | | |
|---|--|--|---|
|  <p>National Semiconductor Corporation 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: 1(800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p> | <p>National Semiconductor Europe Fax: (+49) 0-180-530 85 86 Email: crjwge@tvmz2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80</p> | <p>National Semiconductor Hong Kong Ltd. 13th Floor, Straight Block Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1800 Fax: (852) 2736-9960</p> | <p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p> |
|---|--|--|---|

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOC3081
[IFT = 15 mA Max]
MOC3082
[IFT = 10 mA Max]
MOC3083*
[IFT = 5 mA Max]

*Motorola Preferred Device

6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (800 Volts Peak)

The MOC3081, MOC3082 and MOC3083 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to monolithic silicon detectors performing the function of Zero Voltage Crossing bilateral triac drivers.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 240 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 240 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dv/dt of 1500 V/ μ s Typical, 600 V/ μ s Guaranteed
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Recommended for 240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|--|-----------|-------|----------------------|
| INPUT LED | | | |
| Reverse Voltage | V_R | 6 | Volts |
| Forward Current — Continuous | I_F | 60 | mA |
| Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C | P_D | 120 | mW |
| | | 1.41 | mW/ $^\circ\text{C}$ |
| OUTPUT DRIVER | | | |
| Off-State Output Terminal Voltage | V_{DRM} | 800 | Volts |
| Peak Repetitive Surge Current ($PW = 100 \mu\text{s}, 120 \text{ pps}$) | I_{TSM} | 1 | A |
| Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 150 | mW |
| | | 1.76 | mW/ $^\circ\text{C}$ |

TOTAL DEVICE

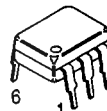
| | | | |
|---|-----------|-------------|----------------------|
| Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration) | V_{ISO} | 7500 | Vac(pk) |
| Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 250 | mW |
| | | 2.94 | mW/ $^\circ\text{C}$ |
| Junction Temperature Range | T_J | -40 to +100 | $^\circ\text{C}$ |
| Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾ | T_A | -40 to +85 | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature Range ⁽²⁾ | T_{stg} | -40 to +150 | $^\circ\text{C}$ |
| Soldering Temperature (10 s) | T_L | 260 | $^\circ\text{C}$ |

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

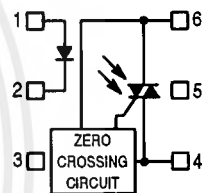
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

COUPLER SCHEMATIC



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



MOC3081 MOC3082 MOC3083

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

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|------------|-----|------|-----|------------------|
| INPUT LED | | | | | |
| Reverse Leakage Current ($V_R = 6\text{ V}$) | I_R | — | 0.05 | 100 | μA |
| Forward Voltage ($I_F = 30\text{ mA}$) | V_F | — | 1.3 | 1.5 | Volts |
| OUTPUT DETECTOR ($I_F = 0$) | | | | | |
| Leakage with LED Off, Either Direction ($V_{DRM} = 800\text{ V}^{(1)}$) | I_{DRM1} | — | 80 | 500 | nA |
| Critical Rate of Rise of Off-State Voltage ⁽³⁾ | dv/dt | 600 | 1500 | — | V/ μs |
| COUPLED | | | | | |
| LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V ⁽²⁾) | I_{FT} | — | — | 15 | mA |
| MOC3081 | — | — | 15 | | |
| MOC3082 | — | — | 10 | | |
| MOC3083 | — | — | 5 | | |
| Peak On-State Voltage, Either Direction ($I_{TM} = 100\text{ mA}$, $I_F = \text{Rated } I_{FT}$) | V_{TM} | — | 1.8 | 3 | Volts |
| Holding Current, Either Direction | I_H | — | 250 | — | μA |
| Inhibit Voltage (MT1–MT2 Voltage above which device will not trigger) ($I_F = \text{Rated } I_{FT}$) | V_{INH} | — | 5 | 20 | Volts |
| Leakage in Inhibited State ($I_F = \text{Rated } I_{FT}$, $V_{DRM} = 800\text{ V}$, Off State) | I_{DRM2} | — | 300 | 500 | μA |

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. 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} (15 mA for MOC3081, 10 mA for MOC3082, 5 mA for MOC3083) and absolute max I_F (60 mA).
3. This is static dv/dt. See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.

TYPICAL CHARACTERISTICS

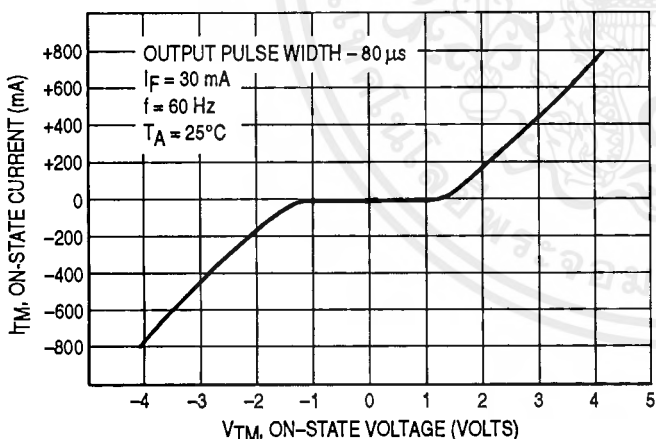


Figure 1. On-State Characteristics

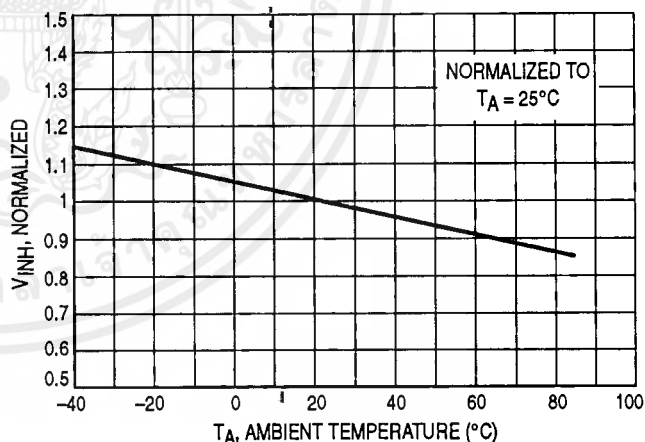


Figure 2. Inhibit Voltage versus Temperature

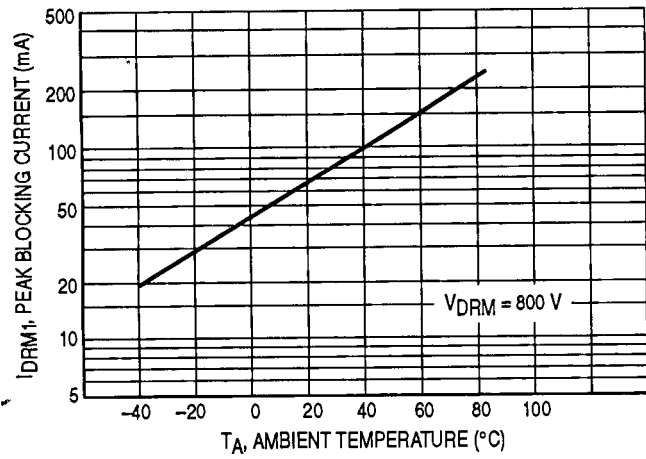


Figure 3. Leakage with LED Off versus Temperature

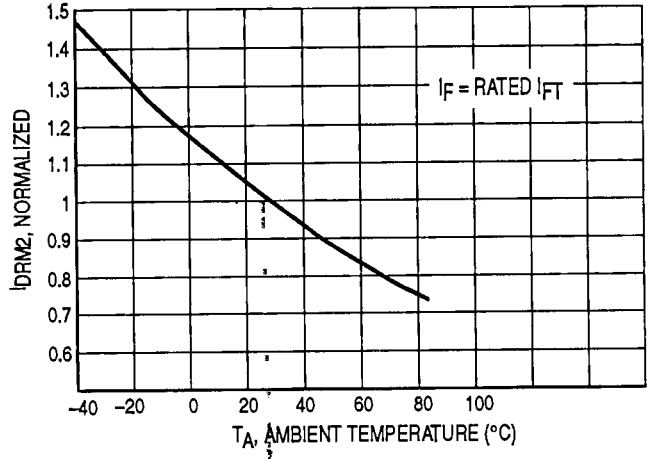


Figure 4. IDRM2, Leakage in Inhibit State versus Temperature

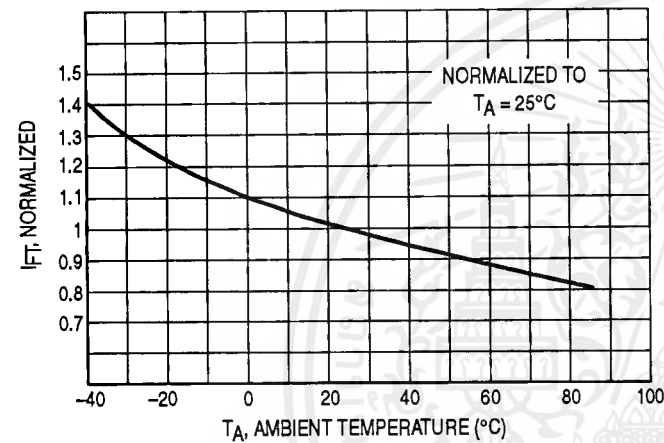


Figure 5. Trigger Current versus Temperature

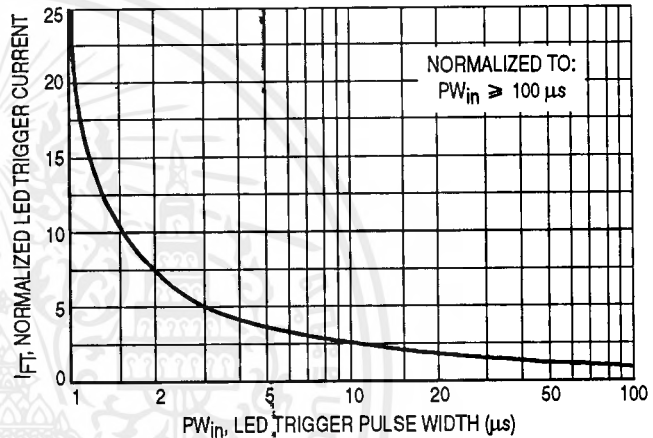
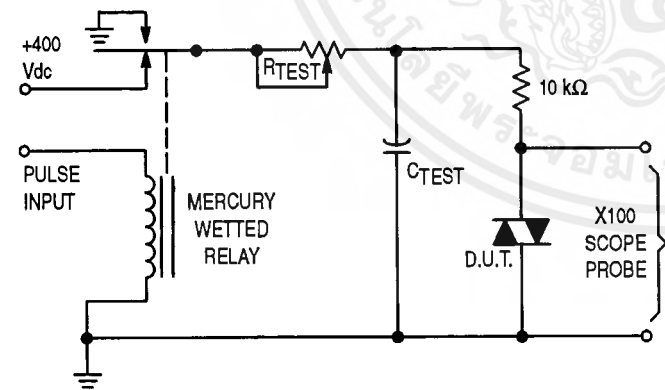


Figure 6. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width



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 RTEST 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. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

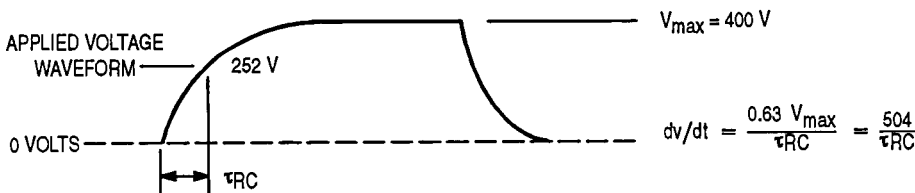
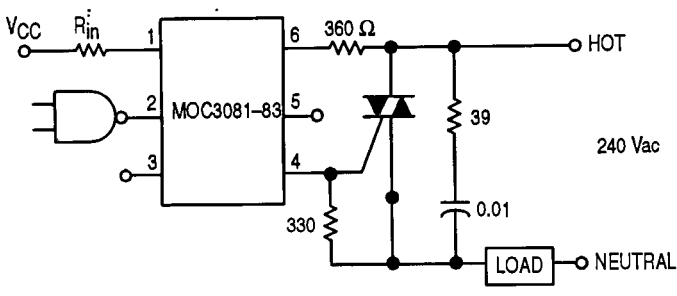


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

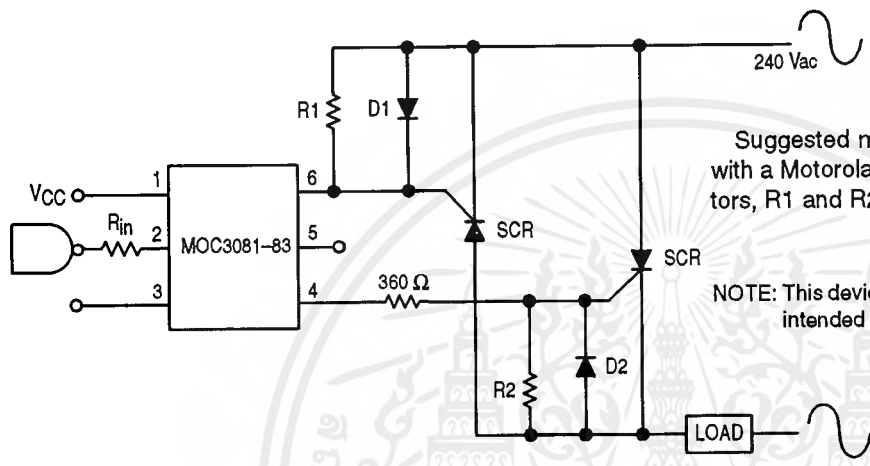
MOC3081 MOC3082 MOC3083



Typical circuit for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line. R_{in} is calculated so that I_F is equal to the rated I_{FT} of the part, 15 mA for the MOC3081, 10 mA for the MOC3082, and 5 mA for the MOC3083. The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

* For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

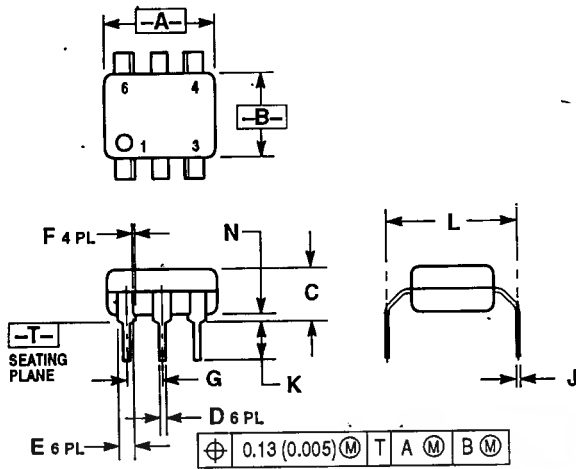
Figure 8. Hot-Line Switching Application Circuit



Suggested method of firing two, back-to-back SCR's, with a Motorola triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohms. NOTE: This device should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Figure 9. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit

MOC3081 MOC3082 MOC3083

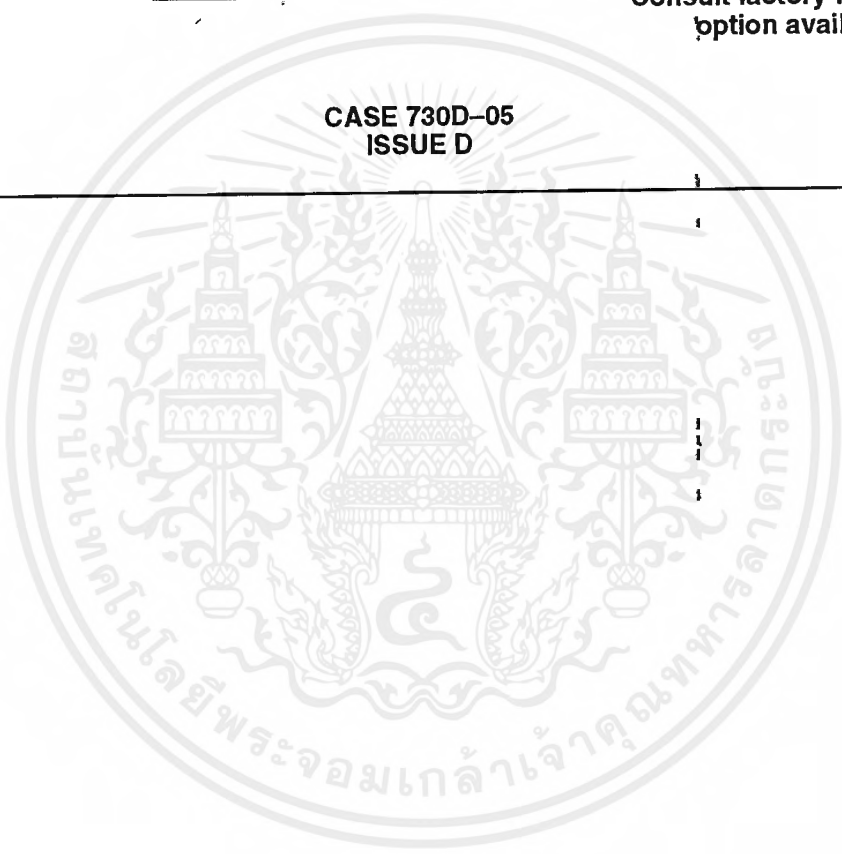


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

| DIM | INCHES | | MILLIMETERS | |
|-----|-----------|-------|-------------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.320 | 0.350 | 8.13 | 8.89 |
| B | 0.240 | 0.260 | 6.10 | 6.60 |
| C | 0.115 | 0.200 | 2.89 | 5.08 |
| D | 0.016 | 0.020 | 0.41 | 0.50 |
| E | 0.020 | 0.070 | 1.02 | 1.77 |
| F | 0.010 | 0.014 | 0.25 | 0.36 |
| G | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| J | 0.008 | 0.012 | 0.21 | 0.30 |
| K | 0.100 | 0.150 | 2.54 | 3.81 |
| L | 0.400 | 0.425 | 10.16 | 10.80 |
| N | 0.015 | 0.040 | 0.38 | 1.02 |

*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D-05 ISSUE D



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
 USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
 INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

MOTOROLA

MOC3081/D

