



เครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

TEMPERATURE CALIBRATOR



วัน เดือน ปี.....-1 ต.ค. 2541  
เลขทะเบียน.....0.38404  
เลขเรียกหนังสือ.....T.94.1007/0514

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2539

เครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ  
TEMPERATURE CALIBRATOR

โดย

นายพิเชษฐ กระจ่างทอง เลขประจำตัว 37013255  
นายอนันต์ สิริันทวีเนติ เลขประจำตัว 37013277

อาจารย์ที่ปรึกษา  
อ. ประภากร สุวรรณะ

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2539

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

ผู้จัดทำ

1. นายพิเชษฐ์ กระจ่างทอง
2. นายอนันต์ สิริทวินคดี



(อ. ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

TEMPERATURE CALIBRATOR

1. นายพิเชษฐ์ กระจ่างทอง รหัสประจำตัว 37013255
2. นายอนันต์ สิริันทวีเนติ รหัสประจำตัว 37013277

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



(อ. ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

พิเศษ  
อนันต์  
อ. ประภากร  
ปีการศึกษา .2539

กระต่ายทอง  
สิรินทวินดิ  
สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการออกแบบเครื่องมือสอบเทียบวัดอุณหภูมิ (Temperature Calibrator) เป็นเครื่องมือตรวจสอบความเที่ยงตรง และความแม่นยำของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ที่มีการใช้งานในกระบวนการผลิต เครื่องสอบเทียบอุณหภูมินี้ สามารถปรับอุณหภูมิคงที่มาตรฐาน เพื่อสอบเทียบวัดอุณหภูมิได้ ใช้สอบเทียบได้ในช่วงอุณหภูมิบรรยากาศจนถึง  $200^{\circ}\text{C}$  ความเที่ยงตรง  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  โดยการควบคุมแบบ Proportional ซึ่งการควบคุมจะเป็นสัดส่วนกันระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับความร้อนจาก Heater และแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นหน่วยของศาเซลเซียส หรือหน่วยของศาฟาเรนไฮน์ ตามการเลือกแสดงผล โครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานระบบเครื่องมือวัด ตามโรงงานอุตสาหกรรมได้

# TEMPERATURE CALIBRATOR

Pichet Krataithong

Anan Siruntavineti

Prapakorn Suwunna Advisor

1996

## ABSTRACT

This paper describes the design temperature calibrator is which a special equipment for verification the accuracy and repeatability sensor in production process. It can control steady standard temperature by comparing with temperature sensor. It uses a calibrate interval atmosphere temperature sensor. It uses for calibration in the interval atmosphere temperature to 200°C by proportion control of electrical energy input and heat energy from heater. Temperature calibrator shows measured temperature in centigrade or fahrenheit according to the option which was selected to show the result. This project can be applied to other measurement system in industrial plants as well.

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
<b>บทคัดย่อ</b>	
<b>ABSTRACT, สารบัญรูป,สารบัญตาราง,สารบัญกราฟ</b>	
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	
2.1 อุปกรณ์ตรวจจับ RTD	3
2.2 วงจรวิธสโตนบริดจ์	6
2.3 วงจรขยายสัญญาณที่ใช้ออปแอมป์	7
2.4 ไอซีเบอร์ 7107	11
2.5 ตัวเชื่อมโยงทางแสง	13
2.6 วงจร Proportional Band	15
2.7 ไตรแอด	17
<b>บทที่ 3 การออกแบบ</b>	
3.1 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ	19
3.2 วงจรขยายสัญญาณออปแอมป์	20
3.3 วงจรส่วนแสดงผล	25
3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	27
3.5 ฮีตเตอร์เวลด	29
3.6 รายละเอียดการคำนวณวงจรที่ใช้งาน	31
<b>บทที่ 4 การทดลองและผล</b>	
4.1 หน้าที่การทำงาน	36
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพ	36
4.3 ปัญหาและการแก้ปัญหา	36
4.4 วิธีการ Calibration	37
4.5 การปรับแต่ง	38
4.6 รายละเอียดอุปกรณ์	40

เรื่อง	หน้า
4.7 ตำแหน่งขา	44
4.8 ความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุณหภูมิ	47
4.9 การหาค่าความผิดพลาดในการแปลงหน่วย	50
<b>บทที่ 5 บทสรุป</b>	<b>53</b>
<b>ภาคผนวก</b>	

ก. วงจรที่ใช้งาน

ข. ลายทองแดงวงจร

ค. Drawing Heating Well

ง. Specification อุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบ

จ. ความต้านทาน RTD ที่อุณหภูมิต่างๆ

ฉ. Data Book

เอกสารอ้างอิง



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 Block diagram	2
2.1 แสดงโครงสร้างของอาร์ทีดี	4
2.2 แสดงวงจรวิหสโตนบริดจ์	6
2.3ก แสดงวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง	7
2.3ข แสดงวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง	7
2.3ค แสดงวงจรออปแอมป์ที่ใช้ในการบวกรูปคลื่นอนาลอก	8
2.3ง แสดงวงจรอินสตุรเมนเตชัน - แอมป์ลิไฟเออร์	8
2.4ก แสดงลักษณะและหน้าที่ขาของไอซีเบอร์ 7107	12
2.4ข แสดงบล็อกไดอะแกรมและวงจรภายในของไอซีเบอร์ 7107	13
2.5ก แสดงต่อการใช้งานของออปโต้คัปเปอเรอร์	15
2.5ข ตัวเชื่อมต่อทางแสงแบบทั่ว ๆ ไป	15
2.6 แสดงวงจร Proportional Band	18
2.7 แสดงสัญลักษณ์ และการใช้งานไครเอค	17
3.1 แสดงการออกแบบวงจรตรวจวัดอุณหภูมิ	19
3.2 แสดงการออกแบบวงจรขยายของการวัดอุณหภูมิ	21
3.2ก แสดงการออกแบบวงจรเช็ตอุณหภูมิ	23
3.2ข แสดงการออกแบบวงจรแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ	24
3.3 แสดงการออกแบบวงจรส่วนแสดงผล	26
3.4 แสดงการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	28
3.5 แสดงส่วนประกอบของฮีตซิงเวล	30
4.1 แสดง Powerboard	44
4.2 แสดง Processboard	45
4.3 แสดงการหาค่าความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	47
4.4 แสดงการทดลองหาค่าความผิดพลาดในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ	50

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. แสดงจุดสมมูลที่ใช้ในการทดสอบ	5
4.1. แสดงผลการทดสอบหาค่าความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบฯ	48
4.2. แสดงผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ	51



# สารบัญกราฟ

กราฟที่

หน้า

- 4.1 กราฟแสดงค่าความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 44
- 4.2 กราฟแสดงค่าความถูกต้องในการแปลงหน่วย 47

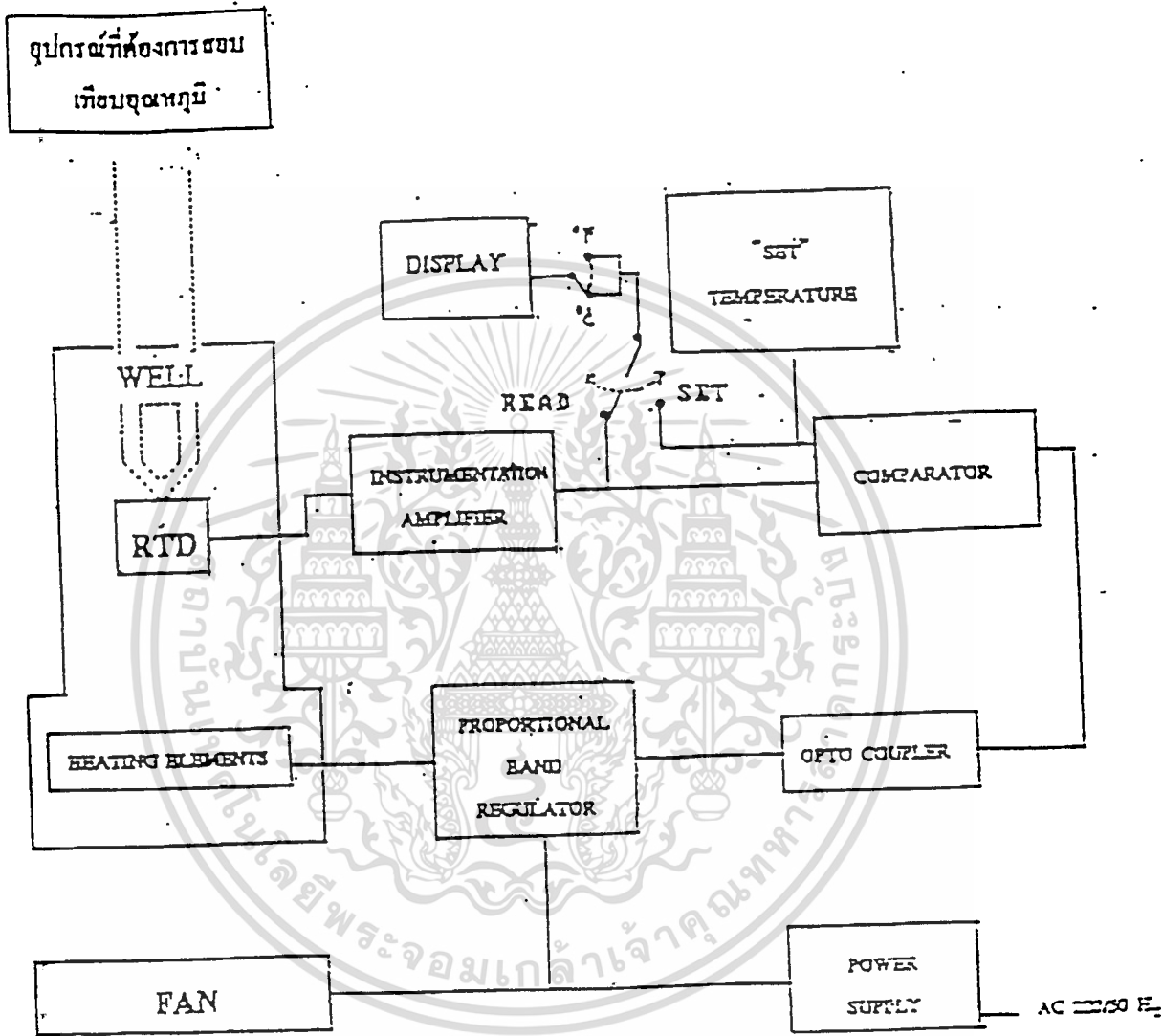


## บทที่ 1

### บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในปัจจุบันได้มีการพัฒนาที่รวดเร็วและก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ซึ่งการพัฒนาาระบบอุตสาหกรรมนี้ทำให้เกิดผลผลิตที่สูง และมีคุณภาพที่เชื่อถือได้ ซึ่งการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมจำเป็นต้องอาศัยบุคลากรหรือผู้ปฏิบัติงานที่มีคุณภาพ รวมถึงอุปกรณ์ก็ต้องมีความสามารถ และความถูกต้องและอุปกรณ์ควบคุม รวมถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัดต้องมีคุณภาพ และความเที่ยงตรงสูงและอุปกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่ขาดไม่ได้ คือ อุปกรณ์เครื่องวัดอุณหภูมิ ซึ่งอุปกรณ์ประเภทนี้เมื่อใช้งานเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบเครื่องวัดประเภทนี้ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบเครื่องวัดอุณหภูมินี้จะใช้เป็นมาตรฐานที่สามารถนำเครื่องมือที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิอื่น ๆ มาสอบเทียบได้ซึ่งเครื่องมือสอบเทียบนี้สามารถใช้กับเครื่องมือวัดอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนถึง อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 1.1. แสดง Block Diagram ส่วนต่างๆ ของเครื่อง โดยมีส่วนตรวจจับอุณหภูมิโดยใช้อาร์ทีดี, ส่วนจำกัดอุณหภูมิและส่วนแสดงผลซึ่งมีการทำงานคือส่วนตรวจจับอุณหภูมิจะอ่านค่าอุณหภูมิจากสัทตั้งเวลาแล้วนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของส่วนจำกัดอุณหภูมิซึ่งจะส่งค่าของอุณหภูมิที่ได้ไปแสดงผลแล้วสังเกตว่าอุปกรณ์ที่วัดอุณหภูมิที่ถูกนำมาสอบเทียบนั้นวัดค่าผิดเพี้ยนจากอุณหภูมิมาตรฐานหรือไม่



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

## ทฤษฎี

## 2.1. อุปกรณ์ตรวจจับ RTD (Resistance Temperature Detector)

อาร์ทีดีเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของโลหะบริสุทธิ์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนมีทั้งแบบเส้นลวดและแบบฟิล์มบางในที่นี้จะกล่าวถึงแบบเส้นลวดเท่านั้น

ทฤษฎีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความต้านทานของ อาร์ทีดี คือ

$$R_T = R_0 \{ 1 + \alpha (\Delta T) + \beta (\Delta T)^2 + \gamma (\Delta T)^3 + \dots \} \quad (2.1)$$

โดยที่

- $R_0$  = ความต้านทาน ณ อุณหภูมิอ้างอิง ( $0^\circ\text{C}$ ) (ohm)
- $R_T$  = ความต้านทาน ณ อุณหภูมิที่สังเกต (ohm)
- $\alpha$  = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิ  $1^\circ\text{C}$
- $\beta$  และ  $\gamma$  = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้คำนวณค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิได้ละเอียดขึ้น

โดยทั่วไปสมการที่ได้จะเท่ากับ  $R_T = R_0 [ 1 + \alpha(\Delta T) ]$  โดยเลือกใช้ค่าตามชนิดของโลหะที่นำมาผลิตเป็นอาร์ทีดี ซึ่งมีหลายชนิด แต่ที่นิยมจะมี พลาตินัม, ทองแดง และนิเกิล

พลาตินัมอาร์ทีดี เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นโลหะชั้นสูง ไม่ถูกเป็นตัวออกซิไดซ์ (OXIDE) และใช้งานได้ในช่วงกว้าง มีความเป็นเชิงเส้นสูง ส่วนทองแดงอาร์ทีดีนั้น มีความเป็นเชิงเส้นในช่วงแถบประมาณ  $-200$  องศาเซลเซียส ถึง  $150$  องศาเซลเซียส ส่วนนิเกิลอาร์ทีดีนั้น มีความเป็นเชิงเส้นต่ำกว่าชนิดอื่นๆ

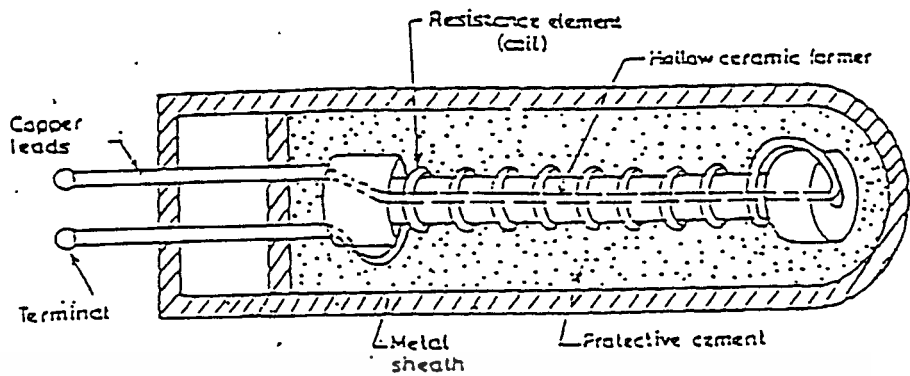
โดยทั่วไป มาตรฐานของ พลาตินัมอาร์ทีดีได้กำหนดค่าตามมาตรฐานดังนี้

$$\text{มาตรฐานยุโรป } \alpha = 0.00385 \Omega / ^\circ\text{C}$$

$$\text{มาตรฐานอเมริกา } \alpha = 0.00392 \Omega / ^\circ\text{C}$$

ค่าความต้านทานมาตรฐาน  $100$  โอห์มที่  $0$  องศาเซลเซียส และ  $10$  โอห์มที่  $0$  องศาเซลเซียส แล้วแต่ผู้ผลิตกำหนดว่าเป็นมาตรฐานแบบใดและถ้าใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า  $600$  องศาเซลเซียส ควรใช้แบบ  $10$  โอห์มที่  $0$  องศาเซลเซียส เนื่องจาก มีเสถียรภาพที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของอาร์ทีดี

มาตรฐานยุโรปพลาคินัมอาร์ทีดีแบบ 100 โอห์มจะเปลี่ยนความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 โอห์มถ้าในการใช้งานปกติมีแหล่งจ่ายกระแสที่ 1 mA เลียงอาร์ทีดีอยู่ ดังนั้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลง 0.385 mV ซึ่งมากกว่า เทอร์โมคัปเปิ้ลแบบ K ถึง 10 เท่าคังนั้นสัณญาณรบกวนค่าเดียวกันจะมีผลต่ออาร์ทีดีน้อยกว่าเทอร์โมคัปเปิ้ล

การหาคุณสมบัติ (Characteristic) ของอาร์ทีดี

ความเที่ยงตรง คือ ความถูกต้องในช่วงการใช้งานจริง ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรกในการเลือกอาร์ทีดีมาใช้งานโดยค่าความถูกต้องนั้นคือ ความสามารถของเทอร์โมมิเตอร์ที่จะแสดงค่าความสัมพันธ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิโดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

ในทางอุตสาหกรรมค่าความถูกต้องของอาร์ทีดีถูกกำหนดในช่วง 0.1% ถึง 0.5% ซึ่งสามารถหาค่าความถูกต้องได้ 2 วิธี คือ

1. การเปรียบเทียบ (Comparison Method) เป็นการวัดค่าความต้านทานของอาร์ทีดีเทียบกับการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิการทดสอบจะใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการทดสอบและเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานต้องมีความสมดุลทางอุณหภูมิก่อนที่จะเริ่มทำการวัดซึ่งจุดสมดุลทางอุณหภูมิจะถูกทำให้คงที่ด้วยการใช้การหมุนวนทางอากาศหรือจะไว้ในที่มีการควบคุมของอุณหภูมิ

2. อุณหภูมิมาตรฐาน (Fixed Point) โดยการนำเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการทดสอบไปทำการวัด ในอุณหภูมิมาตรฐานเช่นอาศัยการเปลี่ยนเฟสของตัวกลางการทดสอบแบบนี้จะทำให้อุณหภูมิเดียว คือ จุดที่แปลงของตัวกลางตามคุณสมบัติของตัวกลางที่เลือกใช้ โดยจะมีจุดสมมูลที่ใช้ดังแสดง ตาม ตารางที่ 2.1

Fixed Point	Temperature ( °C )
Triple Point of Water	0.01
Boiling Point of Water	100
Freezing Point of Tin	231.9681
Freezing Point of Zinc	419.98
Freezing Point of Gold	1065.43

ตารางที่ 2.1 แสดงจุดสมมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ความเสถียรถูกนิยามว่าเป็นความสามารถของอาร์ทีดีที่รักษาอุณหภูมิไว้เมื่อเวลาที่ผ่านไป โดยค่าความเสถียรจะถูกแสดงในเทอมของคริปต์คือการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ไม่พึงประสงค์ในระยะ เวลาการใช้งานช่วงค่าคริปต์สูงสุดจะหาได้จากการทดลองโดยทดสอบจากจุดเยือกแข็งจนเลขจุดจำกัดของอุณหภูมิที่อาร์ทีดีจะรับได้

ความแม่นยำ คือค่าความแม่นยำของการทำซ้ำโดยวัดค่าความต้านทานที่อุณหภูมิเดิมหลายๆ ครั้งและสังเกตค่าความแตกต่างของความต้านทาน โดยทั่วไปทางอุตสาหกรรมจะให้ค่าผิดพลาด ในการทำซ้ำเป็น 0.2%

ความร้อนในตัวอาร์ทีดี (Self Heating) เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากกระแสเลี้ยงอาร์ทีดี โดยในวงจรอาร์ทีดีต้องมีกระแสเลี้ยงตัวมันเองอยู่ถ้ากระแสนี้มีค่ามากเอาที่พุทจะสูงแต่ละจะเกิดความร้อนขึ้นในตัวมันด้วยซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นคือ  $P = I^2 R$  โดย I คือกระแสเลี้ยงอาร์ทีดี และ R คือค่าความต้านทานของอาร์ทีดีและความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดค่าผิดพลาดในการวัด ดังนั้นจะต้องมีการคำนวณค่ากระแสให้สูงเกินไป

ในการสร้างต้องคำนึงถึงความร้อนที่ถ่ายเทจากตัวอาร์ทีดีไปสู่ตัวกลางด้วยและผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีค่า ผิดพลาดน้อยที่สุดการหาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากความร้อนในตัวอาร์ทีดีทำได้โดยการวัดกระแส ที่ใช้เลี้ยงอาร์ทีดีและความต้านทานของอาร์ทีดีในช่วงอุณหภูมิใช้งานที่กำหนดโดยการคำนวณทำได้ ดังนี้

$$H = S \cdot \frac{P_2 - P_1}{R_2 - R_1} \quad (2.2)$$

โดย	H	=	Self Heating Error (mW / °C)
	S	=	การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่ออุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ย (Ohm / °C)
	P <sub>2</sub>	=	พลังงานสูญเสียที่กระแสสูงสุด (mW)
	P <sub>1</sub>	=	พลังงานสูญเสียที่กระแสต่ำสุด (mW)
	R <sub>2</sub>	=	ความต้านทานที่กระแสสูงสุด (Ω)
	R <sub>1</sub>	=	ความต้านทานที่กระแสต่ำสุด (Ω)

## 2.2. วงจรวิสโตนบริดจ์

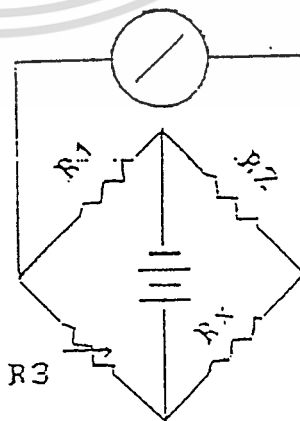
วงจรวิสโตนบริดจ์ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัวต่อกันเป็นรูปแต่ละตัวมีค่าความต้านทานที่เป็นสัดส่วนกันซึ่งทำให้แรงดันเกิดการสมดุล ดังแสดงได้ดังต่อไปนี้

จากวงจร  $R_1 R_x = R_2 R_3$

และ  $R_1 + R_3 = R_2 + R_x$

ถ้าให้  $R_1 = R_2$

จะได้  $R_3 = R_x$



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรวิสโตนบริดจ์

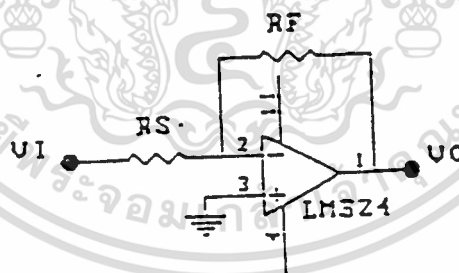
## 2.3. วงจรขยายสัญญาณที่ใช้โอปแอมป์

โอปแอมป์แบบอุดมคติจะมีคุณสมบัติตามเงื่อนไขดังนี้

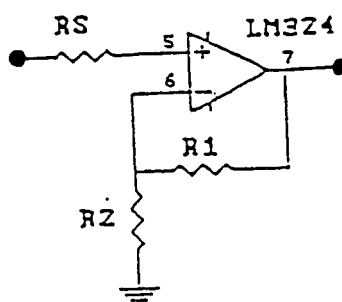
1. อัตราการขยายแรงดันสูงมากจะเป็นอนันต์
2. ความต้านทานทางอินพุตสูงมากจนเป็นอนันต์
3. ความต้านทานทางเอาต์พุตต่ำมากจนเป็นศูนย์
4. แรงดันออฟเซตทางอินพุตเป็นศูนย์
5. กระแสออฟเซตทางอินพุตเป็นศูนย์
6. ลักษณะสมบัติเชิงความถี่ขยายได้ตั้งแต่ไฟตรงจนความถี่สูงมากเป็นอนันต์
7. ไม่มีข้อบกพร่องอื่นๆ

แต่ในความเป็นจริงแล้วโอปแอมป์ก็ไม่ได้มีคุณสมบัติอย่างในอุดมคติเลยที่เดียวแต่อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจสำหรับผู้เริ่มต้นในช่วงแรกให้ถือว่าโอปแอมป์ที่ใช้ศึกษาถัดไปนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอุดมคติมาก

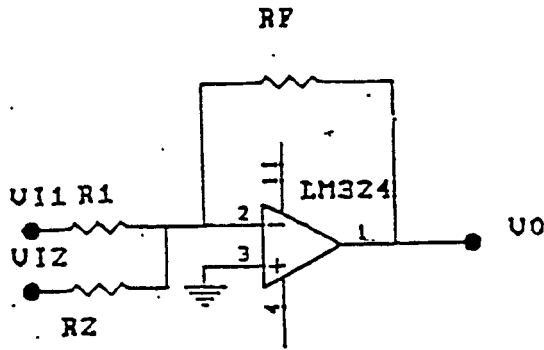
วงจขยายโดยใช้โอปแอมป์ในช่วงเชิงเส้นนั้นแรงดันออก  $V_o$  จะอยู่ระหว่างแรงดันของแหล่งจ่าย  $+V$  และ  $-V$  ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก  $V_o$  และความแตกต่างระหว่างแรงดันเข้า  $(V_2 - V_1)$  นั้นเป็นเชิงเส้นตามสมการ



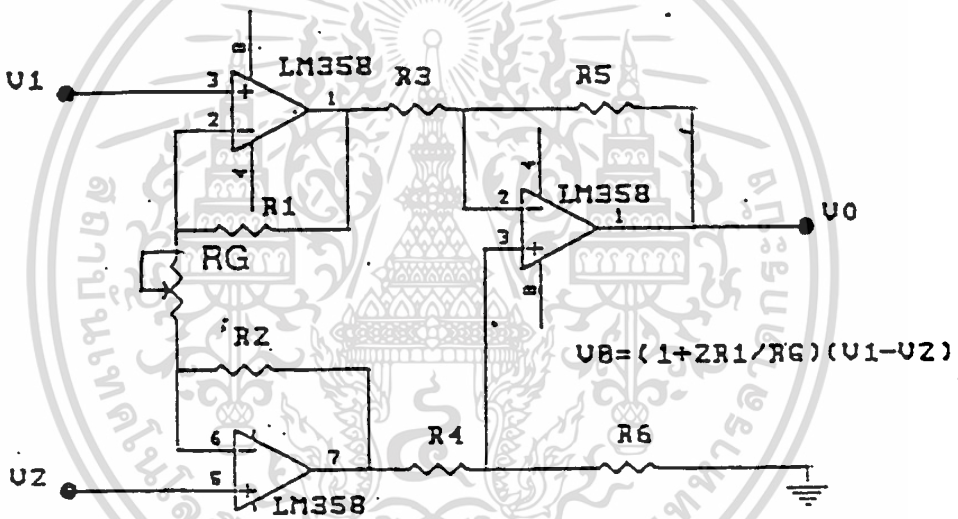
รูปที่ 2.3 ก. แสดงวงจขยายแบบอินเวอร์ต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.3 ข. แสดงวงจขยายแบบอินเวอร์ตไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ก. แสดงวงจร ออปแอมป์ที่ใช้ในการบวกรูปคลื่นอนาล็อก



รูปที่ 2.3 ง. แสดงวงจร อินสตรูเมนเตชัน - แอมพลิไฟเออร์

$$V_0 = A_v(V_2 - V_1) \tag{2.4}$$

โดยที่  $A_v$  คือ อัตราขยายแรงดัน

จากรูปที่ 2.3 ค. แสดงวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งซึ่งมีตัวต้านทาน  $R_F$  ต่อจากแรงดัน  $V_0$  ป้อนกลับมายังขาอินเวอร์ตติ้ง และเป็นการป้อนกลับแบบลบ

$$\text{ดังนั้น } A_v = \frac{-R_F}{R_1} \tag{2.5}$$

นั่นคืออัตราขยายวงรอบปิด  $= R_F/R_S$  คืออัตราส่วนของความต้านทานที่ใช้ป้อนกลับหารด้วย ความต้านทานด้วยเข้าความหมายของเครื่องหมายลบก็คือว่าสัญญาณออกจะต่างเฟสกับสัญญาณเข้า 180 องศา

จากรูปที่ 2.3ข. แสดงวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตที่มีสัญญาณเข้าทางขานอนอินเวอร์ตตั้ง แต่การป้อนนั้นเป็นการป้อนกลับมาทางขานอินเวอร์ตตั้งจะเห็นได้ว่าวงจรขยายนี้ไม่กลับขั้วสัญญาณ ออกและมีอัตราขยายสูงกว่า 1 เสมอ

$$V_s = \frac{R_2 \cdot V_o}{R_1 + R_2} \quad (2.6)$$

$$\text{ดังนั้น } A_v = \frac{1+R_2}{R_1} \quad (2.7)$$

ถ้าเราให้  $R_2$  มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราขยายจะเข้าหา 1 คือ ถ้า  $R_2$  มีค่าเป็นอนันต์ และ  $R_1$  มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะให้  $V_o = V_s$  ดังนั้น จึงเรียกวงจรนี้ว่า วงจรตามแรงดัน เพราะได้แรงดันออกซึ่งตาม แรงดันเข้าอยู่ตลอดเวลาถึงแม้ว่าขานอนอินเวอร์ตตั้งจะไม่มีกระแสไหล เข้าก็ตาม แต่ขั้วด้านออกก็ สามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดภายนอกได้

จากรูปที่ 2.3ค. แสดงวงจรออปแอมป์ที่ใช้ในการบวกรูปคลื่นอะนาลอก โดยที่วงจรทำงาน ในช่วงเชิงเส้น และสามารถเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned} V_{s1} + V_{s2} &= \frac{-V_o}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{-V_o}{R_F} \end{aligned} \quad (2.8)$$

หรือ

$$V_o = \frac{-[R_F \cdot V_{s1} + R_F \cdot V_{s2}]}{R_1 + R_2} \quad (2.9)$$

จากรูปที่ 2.3ง. แสดงวงจรอินสทรูเมนเตชันแอมป์ลีไฟเออร์และในการหาอัตราขยายในวงจร จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนแรกมีออปแอมป์ A1 และ A2 ส่วนที่ 2 มีออปแอมป์ A3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราขยายแบบคอมมอนโมด (Common Mode Gain) ตามกฎข้อที่ 1 ของออปแอมป์ในอุดมคติที่ขาบวกของออปแอมป์จะมีแรงดันเท่ากันดังนั้น  $V_1 = V_2$  และจะไม่มีกระแสไหลใน  $R_G$  และจากกฎข้อที่ 2 ของออปแอมป์ในอุดมคติว่าไม่มีกระแสไหลเข้าออปแอมป์ ดังนั้น จะไม่มีกระแสไหลผ่าน  $R_1$  และ  $R_2$  แรงดันด้านอินพุตจึงปรากฏด้านเอาต์พุตด้วย

- อัตราขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลโมด (Differential Mode gain) จะได้ว่า  $V_1 + V_2$  ดังนั้นที่  $R_G$  จะมีแรงดันตกคร่อมและมีอัตราขยายร่วม CMG เท่ากับ 1 แต่เมื่อ  $V_1$  มีค่าสูงกว่า  $V_2$  และจาก  $V_1 - V_2$  ทำให้มีกระแสไหลผ่าน  $R_G$  ไหลจาก  $V_0$  ผ่าน  $R_1$  ผ่าน  $R_G$  ผ่าน  $R_2$  ไปสู่  $R_4$  ดังนั้น จะได้

$$V_3 - V_4 = I(R_1 + R_2 + R_G) \quad (2.10)$$

และ

$$V_1 - V_2 = IR_G$$

ดังนั้น

$$DG = \frac{V_3 - V_4}{V_1 - V_2}$$

$$DG = \frac{R_1 + R_2 + R_G}{R_G}$$

ให้  $R_1 = R_2$   
ดังนั้น

$$DG = \frac{2R_1 + R_G}{R_G}$$

$$CMRR = \frac{DG}{CMG} = \frac{DG}{1} = DG \quad (2.11)$$

โดย DG = อัตราขยายดิฟเฟอเรนเชียลโมด (Differential Gain)

DGM = อัตราขยายคอมมอนโมด (Common Mode Gain)

เมื่อนำภาคแรกมาต่อกับภาคที่ 2 ค่า CMG ของภาคแรกจะถูกกำจัดทิ้งไป และอัตราขยาย DG ของภาคที่ 2 จะเป็น

$$V_{OUT} = (V_2 - V_1) \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{[2R_1 + 1]}{R_G}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมีข้อดีคือค่า CMRR สูงอัตราขยายสามารถปรับที่ RG เพียงค่าเดียวเมื่อกำหนดให้ค่า  $R3 = R4$  มีความต้านทานขาเข้า(Input Impedance) สูง และขจัดสัญญาณ 50 Hz ได้ดี

### ปัญหาของการใช้ออปแอมป์

ปัญหาของการใช้ออปแอมป์คือความไม่เป็นอุดมคติของออปแอมป์และในที่นี่จะกล่าวถึงการเกิดออฟเซตและการเลื่อนไปของออฟเซต (Drift) โดยออฟเซตคือ ค่าเอาต์พุตที่เราไม่พึงปรารถนาซึ่งเกิด มาจากสองสาเหตุดังนี้

- กระแสอินพุทไบอัส ซึ่งในอุดมคติกระแสเข้าทางด้านอินพุตทั้งสองข้างมีค่าเป็นศูนย์ แต่ความจริงไม่เป็นเช่นนั้นออปแอมป์จะทำงานได้ต้องมีกระแสตรงคงที่น้อยๆ ค่าหนึ่งไหลเข้าทางด้านอินพุต ซึ่งภายในของออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีทรานซิสเตอร์สองตัวต่อแบบคิฟเฟอเรนเชียลแอมพลิฟายเออร์ทรานซิสเตอร์สองตัวนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อขาเบสทั้งสองของมันมีกระแสไบอัสให้กับมันค่าหนึ่ง โดยกระแสไบอัสทั้งสองค่านี้ไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากันเนื่องจากทรานซิสเตอร์คนละตัวกันย่อมมีคุณสมบัติต่างกันซึ่งความแตกต่างระหว่างกระแสทั้งสองนี้เรียกว่า กระแสอินพุทออฟเซตซึ่งทำให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตมีค่าไม่เป็นศูนย์ทั้งๆ ที่ยังไม่มีสัญญาณอินพุทหรือแรงดันที่อินพุตมีค่าเป็นศูนย์

- แรงดันอินพุทออฟเซต ในทางอุดมคติค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อแรงดันที่อินพุตเป็นศูนย์แต่ในความเป็นจริงแรงดันเอาต์พุตไม่ได้เท่ากับศูนย์อย่างที่น่าจะเป็นมีค่าผิดพลาดอยู่เล็กน้อยและสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดก็เนื่องมาจากความไม่เหมือนกันทุกประการของทรานซิสเตอร์ที่ขาอินพุตทั้งสองนั่นเอง

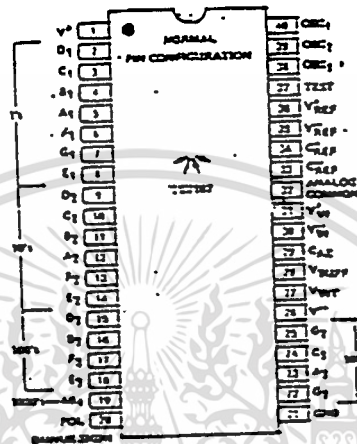
- การเลื่อนไปของออฟเซต (Drift) ที่เรียกว่าดริฟต์นั้นเกิดขึ้นจากการที่ค่าออฟเซตจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการใช้งานของออปแอมป์ อุณหภูมิ และไฟเลี้ยงที่จ่ายให้แก่วงจร

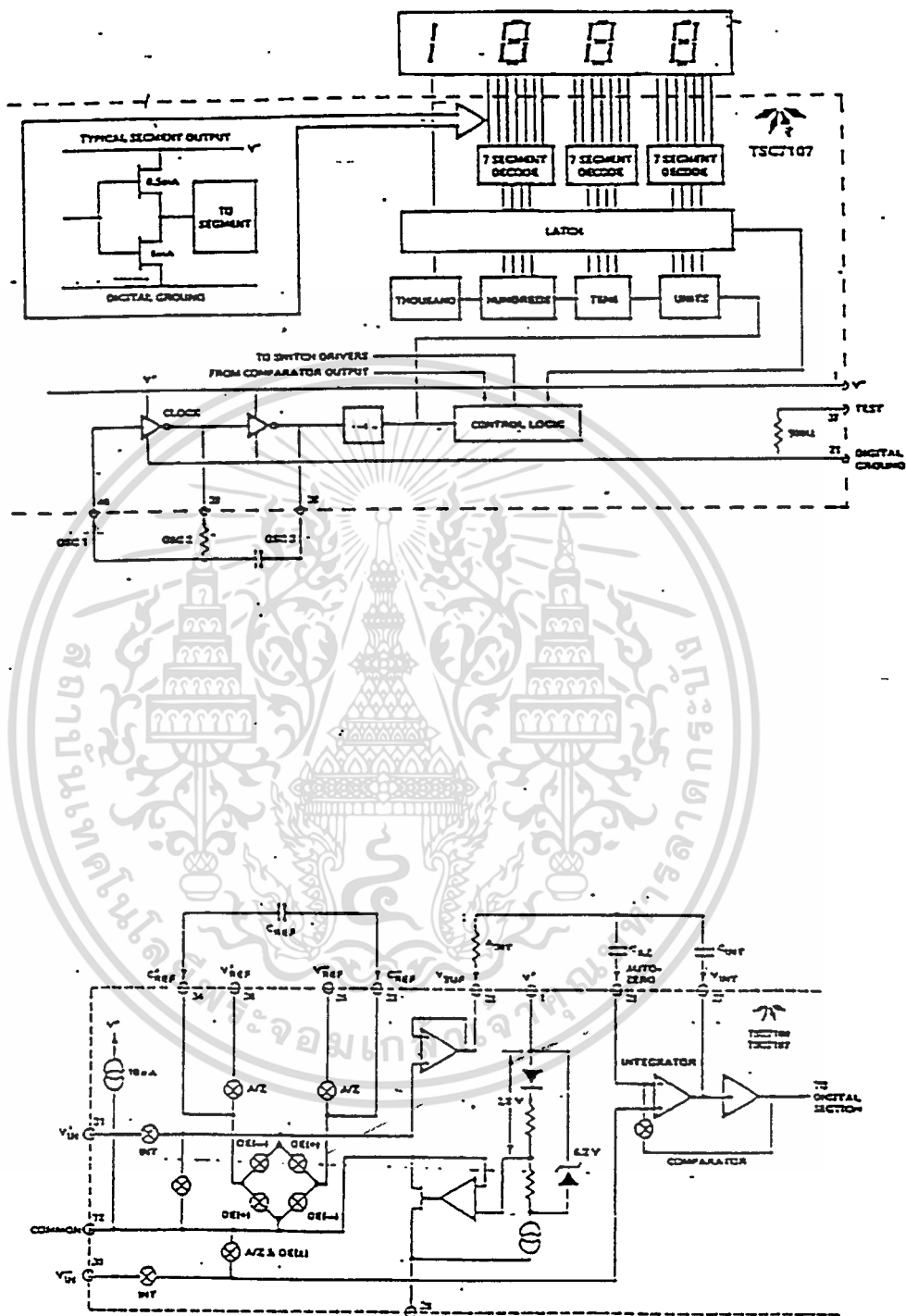
### 2.4 IC # 7107

ไอซีเบอร์ 7107 เป็นไอซีสำเร็จรูปในตระกูลซีมอส ที่ทำงานได้แบบเบ็ดเสร็จรวบรัดภายในไอซีตัวเดียว และใช้งานร่วมกับ 7-Segment สีหลักได้เป็นอย่างดี ซึ่งไอซีเบอร์ 7107 จะทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตแบบ อนุภาค เข้ามาที่ขา อินพุต HI และ อินพุต จะทำงานเป็นวงจรรขยายความแตกต่าง ค่อยจากนี้ค่าแรงดันอินพุตทั้งสอง (Hi,Lo ) จะถูกนำมาหักล้างกันเมื่อได้แรงดันเอาต์พุตจากวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยาศความแตกต่างแรงคั้นนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยวงจรแปลงสัญญาณ อนาคตอกเป็นดิจิตอกลภายใน ไอซีเบอร์ 7107 และนำมาเข้ารหัส BCD (Binary Code Decimal) ส่งผ่านวงจรแปลงเป็นแบบ 7-Segment เพื่อให้ได้ค่าแรงคั้นไปขับ 7-Segment ออกมาเป็นตัวเลขค่าที่ต้องการ





รูปที่ 2.4ข. แสดงบล็อกโคะแกรม และวงจรรายของไอซีเบอร์ 7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทราบรายละเอียดและคุณสมบัติของไอซีเบอร์ 7107 แล้ว การออกแบบวงจรส่วนแสดงผล ก็จะสะดวกนั้นและเป็นไปตามความต้องการของโครงการทั้งนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรส่วนแสดงผลต่อไป

## 2.5 ตัวเชื่อมโยงทางแสง (OPTO COUPLER)

ตัวเชื่อมโยงทางแสง เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ที่แยกกราวณ์รูประหว่าง วงจรสองวงจร เช่น กราวณ์ทาง DC กับกราวณ์ทาง AC โดยทั่วไปแล้ว ตัวเชื่อมโยงทางแสง จะประกอบด้วย LED ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณแสง และรับสัญญาณแสง ซึ่งได้แก่ โฟโตไดโอด, โฟโตทรานซิสเตอร์ หรือ โฟโตไทรสเตอร์ แล้วแต่การนำไปใช้งาน ซึ่งทั้งสองส่วน ทั้งตัวส่ง และตัวรับอยู่ในตัวเดียวกัน

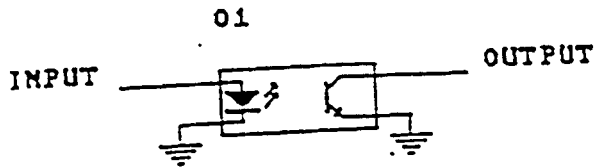
ตัวเชื่อมโยงทางแสงบางครั้งเรียกว่าตัวแยกโดยใช้แสง (Optoisolator) เป็นอุปกรณ์เดี่ยวที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสง โดยที่ทั้งสองชิ้นส่วนนี้แยกจากกันและกันโดยมีฉนวนที่โปร่งใสกั้นกลาง และชิ้นส่วนทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังที่บดแสง

แหล่งกำเนิดแสงสำหรับตัวเชื่อมโยงทางแสงส่วนมากแล้วจะใช้ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (Infrared Diode) ที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium arsenide : GaAs) ส่วนตัวตรวจจับหรืออุปกรณ์ภาคเอาต์พุตนั้นอาจจะเป็น โฟโตทรานซิสเตอร์, โฟโตคาร์ลิงตัน, สวิตช์สองทิศทางซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้นและ SCR ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงก็ได้

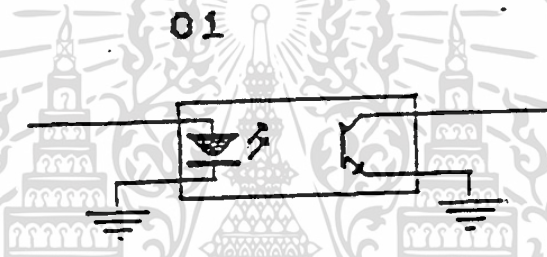
สัญญาณจะถูกส่งระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองชิ้นที่แยกจากกันทางไฟฟ้าโดยอยู่ในรูปของสัญญาณแสง โดยที่ชิ้นส่วนทั้งสองไม่สามารถสลับหน้าที่กันได้และไม่มีการเชื่อมโยงทางไฟฟ้าระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองนี้สัญญาณที่ถูกส่งผ่านจึงมิได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น

ประโยชน์ของตัวเชื่อมโยงทางแสง คือ ทำให้กราวณ์รูปถูกตัดออกจากกันโดยสิ้นเชิง เนื่องจาก การคับปลิงระหว่างวงจรสองวงจรจะเกิดขึ้นโดยใช้แสงเป็นตัวกลางเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ดังรูปที่

2.5ก,



รูปที่ 2.5ก. แสดงการต่อใช้งานของตัวเชื่อมต่อทางแสง

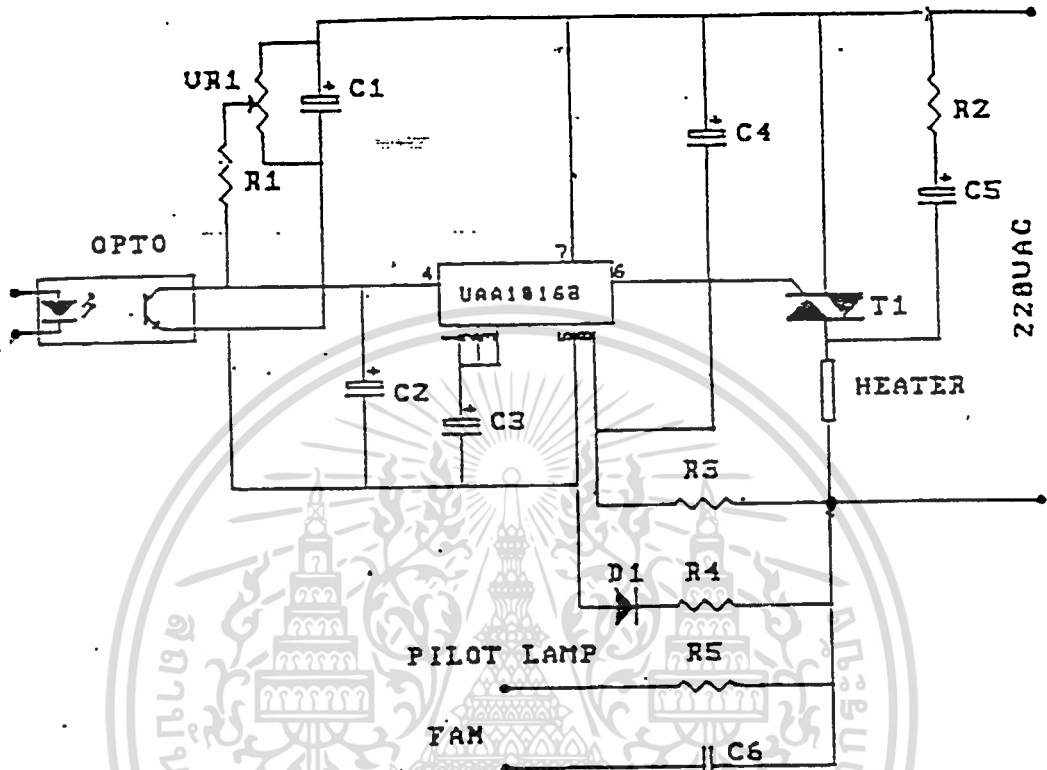


รูปที่ 2.5 ข. ตัวเชื่อมต่อทางแสงแบบทั่วๆ ไป

หลักการทำงานของตัวเชื่อมต่อทางแสง คือ อาศัยความเข้มของแสงที่ได้รับจากกระแส  $I_F$  ที่ไหลผ่านตัวส่ง (LED) ซึ่งถ้ากระแส  $I_F$  ไหลมากจะทำให้แสงมีความเข้มมากตัวรับจะทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้วงจรส่วนที่สองมีการทำงานเปลี่ยนแปลงไปคือ เราสามารถใช้วงจรที่หนึ่งไปควบคุมวงจรที่สองได้นั่นเอง

## 2.6 PROPORTIONAL BAND

Proportion Band เป็นวงจรทำหน้าที่สร้างสัญญาณทรiggerให้กับขาเกตของไตรแอก เพื่อให้ไตรแอกทำงานได้ และควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับโหลด โดย Proportional Band นี้จะถูกบรรจุอยู่ในรูปของวงจรรวมซึ่งโครงการงานชิ้นนี้ได้นำเอา IC Proportional Band UAA1016B มาใช้งาน



รูปที่ 2.6 แสดงวงจร Proportional Band

รูปที่ 2.6 แสดงการต่อร่วมใช้งานกับอุปกรณ์ภายนอกของไอซีเบอร์ UAA1016B ซึ่งเป็นไอซีวงจรร Proportional Band จุดสำคัญของวงจรร Proportional Band คือ จะใช้แ่งดันสองค่ามาทำการเปรียบเทียบกันซึ่งก็คือที่ขา 3 และขา 4 โดยที่ขา 4 จะเป็นแรงดันอ้างอิงสำหรับขา 3 จะเป็นตัวเปลี่ยนแปลง

ค่าแรงดันที่นำเข้ามาเปรียบเทียบในโครงการงานชิ้นนี้เราใช้ ออปโตคัปเลอร์ทำงานในส่วนหน้า และเมื่อเกิดความแตกต่างขึ้นที่ขาทั้งสองของ Proportional Band ก็จะทำให้วงจรรวมทรานซิสเตอร์ผลิตสัญญาณทรานซิสเตอร์ออกมาและส่งเข้า Pulse Amplifier เพื่อขยายสัญญาณส่งให้ขาเกตของไทรแอก เพื่อควบคุมให้ไทรแอกทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ไตรแอก

เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นมา เพื่อใช้ทำหน้าที่เป็นโพลิตสเตรทสวิทช์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟให้แก่อุปกรณ์ หรือวงจรทั้งแบบแรงดันไฟกระแสกลับ และแรงดันไฟกระแสตรง

ลักษณะโครงสร้างของไตรแอกนี้เหมือนกับการนำเอา เอสซีอาร์ 2 ตัวมาต่อขนานกัน ในลักษณะกลับขั้วส่วนขาเกตต่อร่วมเข้าด้วยกันคั้งนั้น ไตรแอกจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบไฟได้ทั้งแบบไฟตรงและไฟสลับ นั่นคือ ความสามารถในการนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยการทรักที่เกตนั่นก็สามารถกระทำได้ทั้งสองทิศทางเช่นกัน



รูปที่ 2.7 แสดงสัญลักษณ์และการทำงานของ ไตรแอก

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงสัญลักษณ์และการทำงานของ ไตรแอก โดยทำหน้าที่คล้ายกับสวิทช์ของแหล่งจ่ายไฟสลับ โหลดจะถูกต่ออยู่ที่ขั้วด้านหนึ่งของไตรแอก ส่วนสวิทช์  $S_1$  ใช้ป้อนสัญญาณทรักให้เกิด ต่อไปจะขอกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานเป็นข้อของ ไตรแอก ซึ่งมีดังนี้

1. โดยปกติถ้าไม่มีสัญญาณทรักที่เกิด ไตรแอกจะไม่ทำงาน โดยจะมีลักษณะเหมือนกับสวิทช์ที่เปิดวงจร
2. ถ้าในกรณีที่มี  $MT_2$  และ  $MT_1$  ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับ ไตรแอก จะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้นๆ ที่เกิดของมัน ไตรแอกใช้เวลาเพียง  $2-3 \times 10^{-6}$  วินาที เท่านั้นในการเริ่มทำงาน ในขณะที่ไตรแอกทำงานนั้นจะมีแรงดันตกคร่อม ตัวมันมีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลต์เท่านั้น และที่เช่นกันคือ เมื่อ ไตรแอกเริ่มทำงานแล้วก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อยๆ ตราบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากที่ใครแอกคงสภาพการทำงานอยู่นั้นทางเดียวที่จะหยุดการทำงานลงได้ ก็โดยการลดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมันลงให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโวลติจของมัน ในกรณีที่ใช้ใครแอกในการจ่ายกระแสสลับการหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติเมื่อแรงดันของไฟกระแสสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ที่เกิดขึ้นทุกๆครั้งคลื่น นั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์

4. ใครแอกถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้แก่ขาเกต โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่ MT1 และ MT2 ดังนั้นการทำงานของใครแอกนี้จะมีอยู่ 4 โหมดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วแรงดันที่ป้อนให้แก่ขาต่างๆ ของมัน ข้อแตกต่างกันเล็กน้อยของการทำงานในโหมดต่างๆ คือในกรณีของโหมดที่ขั้วแรงดันที่ให้แก่ขา MT2 และเกตเหมือนกัน (ทั้งบวกและลบ) จะทกให้มีค่าความไวที่เกิดสูงขึ้น

5. ใครแอกสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูงเช่น โดยปกติสำหรับใครแอกที่ทนกระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ (ms) สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่งคาบเวลาของไฟ 60 Hz ได้สูงถึง 100 แอมแปร์ เป็นต้น





## การออกแบบ

### 3.1 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ

วงจรวัดอุณหภูมิโดยใช้อาร์ทีดีในโครงงานนี้เลือกใช้หลอดนํ้ามันอาร์ทีดีแบบ 2 สาย เป็นตัวเซนเซอร์โดยใช้วงจร วัสดุโครบริดจ์เป็นวงจรวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิ

จากรูปใช้หลัก KVL จะได้

$$R_3 + R_5 = R_4 + RTD$$

และ  $R_3 = R_4$  ถ้า  $R_5 = RTD$  (3.1)

ดังนั้น คือจุดสมดุล

เพื่อให้ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวอาร์ทีดีมีค่าน้อย เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านอาร์ทีดี โดยกำหนดค่าความต้านทานในวงจรให้เหมาะสมและยังคงให้เอาท์พุทสูงพอที่จะนำไปใช้งานได้เนื่องจากค่าของกระแสแปรผกผันกับค่าความต้านทานเมื่อแรงดันคดกร่อมมีค่าคงที่ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร ให้  $R_3 = R_4 = 10K$ ,  $R_5 = 100 \text{ ohm}$

$$I_{MAX} = \frac{V_s}{R_4 + R_{RTD(max)}} \quad (3.2)$$

$$I_{MIN} = \frac{V_s}{R_4 + R_{RTD(min)}} \quad (3.3)$$

$R_{RTD(min)}$  = ความต้านทานของอาร์ทีดีที่อุณหภูมิต่ำสุด ( $20^\circ C$ )

$R_{RTD(max)}$  = ความต้านทานของอาร์ทีดีที่อุณหภูมิสูงสุด ( $30^\circ C$ )

และ  $V_0 = V_2 - V_1$

### การลดความผิดพลาดในวงจรตรวจวัดอุณหภูมิ

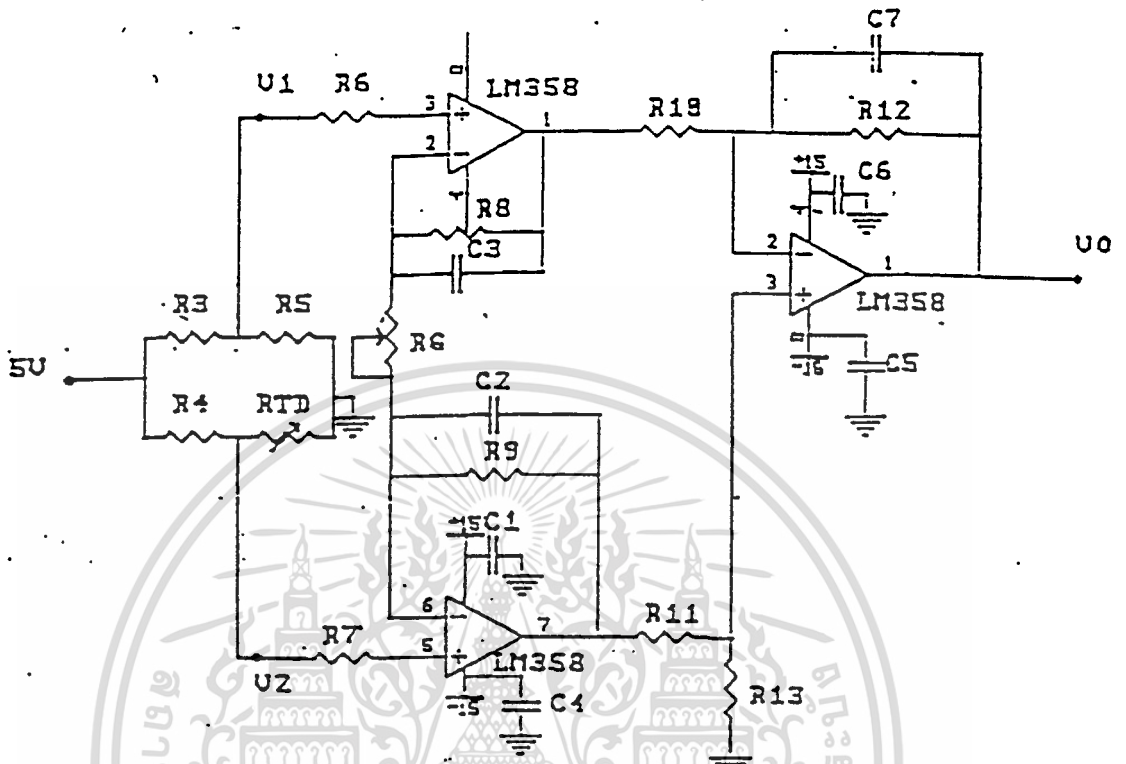
- การลดสัญญาณรบกวน เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากภายนอกที่เข้ามา เนื่องจากสายนำสัญญาณของอาร์ทีดีมีความยาวมากจึงต้องมีการเพิ่มตัวเก็บประจุเข้าไปโดยใส่คร่อมอาร์ทีดีในบริดจ์เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนให้ลงสู่กราวด์ไปซึ่งตัวเก็บประจุนี้ไม่มีผลต่อสมดุลของบริดจ์ในทางแรงดันกระแสตรง ดังนั้น สัญญาณที่ได้ยังคงมีความถูกต้องอยู่เช่นเดิม

- การรักษาแรงดัน ในทางปฏิบัติแรงดันเลี้ยงวงจรตรวจจับอาจมีค่าไม่คงที่เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาแรงดันให้คงที่เสมอในโครงการนี้ได้ใช้ IC#LM336-5 เป็นตัวรักษาแรงดันให้คงที่โดยที่จะมีการชดเชยทางอุณหภูมิในตัวเอง ทำให้วงจรตรวจจับมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิมากขึ้น

การออกแบบทั้งหมดถูกนำมาต่อเป็นวงจรตรวจจับที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.1 แต่เนื่องจากเอาท์พุทที่ได้จากวงจรตรวจจับอุณหภูมิมิขนาดต่ำ เราต้องทำการขยายสัญญาณก่อนที่จะแสดงผลเนื่องจากสัญญาณที่ได้มีค่าเล็กมากและส่วนแสดงผลต้องการสัญญาณอินพุทที่มีขนาดใหญ่และเหมาะสมกับระดับโวลต์เตจที่กำหนด และระดับของสัญญาณอินพุทต่อองศาที่เราต้องการ ดังนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณที่ได้มาก่อนที่จะแสดงผลต่อไป

### 3.2. วงจรขยายสัญญาณฮอปแอมป์

จากวงจรตรวจวัดอุณหภูมิที่ออกแบบไว้ นั้น จะต้องมีวงจรขยายสัญญาณก่อนนำไปแสดงค่าและวงจรขยายผลที่ใช้ต้องเป็นวงจรขยายผลต่าง โดยในโครงการนี้ได้นำฮอปแอมป์สามตัวมาต่อเป็นวงจรขยายผลต่างแบบอินสทรูเมนเตชันแอมป์ลิฟลายเออร์ ดังรูปที่ 3.2.



รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบวงจรขยายของการวัดอุณหภูมิ

จากรูปค่าเกณฑ์ของวงจรจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรก

$$A_1 = \frac{2R_8 + R_G}{R_G} = \frac{2R_8}{R_G} + 1 \tag{3.4}$$

ส่วนหลัง

$$A_2 = \frac{R_{12}}{R_{10}} \quad \text{เมื่อ } R_{10} = R_{11} \text{ และ } R_{12} = R_{13} \tag{3.5}$$

ดังนั้นเกณฑ์ของวงจรจะรวมเป็น  $A_1 * A_2$ .

โครงการนี้ต้องการให้วงจรขยายการวัดอุณหภูมิมีเกณฑ์เท่ากับ 53.2 เท่า จึงกำหนดให้  $A_1$  มีเกณฑ์เท่ากับ 10.64 เท่า และ  $A_2$  มีเกณฑ์เท่ากับ 5 เท่า และออกแบบได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันการสูญเสียเนื่องจากความร้อนของตัวต้านทานเมื่อกระแสไหลผ่านมาก จึงไม่ควรใช้ค่าที่ต่ำกว่านี้

$$\text{และ } R_{12} = R_{13} = 50 \text{ K}\Omega$$

ซึ่งหาได้จากการแทนค่าในสมการของ A2 ในข้างต้น

ส่วนค่า  $R_G$  จะคำนวณโดยแทนค่าในสมการหา A1 ได้ดังนี้

$$R_G = \frac{2R_8}{A_{1-1}} = \frac{2 \times 10K}{10.64-1} = 2.074 \text{ K}\Omega$$

$$A_{1-1} = 10.64-1$$

เลือกใช้  $R_G$  แบบความต้านทานปรับค่าได้ประมาณ 5Kohm มาใช้งาน โดยให้  $R_G$  เป็นตัวปรับอัตราขยายในภาคแรกของวงจร และส่งผลให้ได้สมการดังนี้

$$V_O = (V_2 - V_1) \cdot \left[ 1 + \frac{2R_8}{R_G} \right] + \frac{R_{12}}{R_{10}}$$

ในโครงการนี้ใช้วงจรขยายมาขยายสัญญาณที่เป็นกระแสตรง ดังนั้นจึงต้องมีการจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นกระแสกลับให้เหลือน้อยที่สุด และควรเลือกค่าของตัวต้านทานป้อนกลับไม่ให้มีค่ามาก เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากกระแสอินพุทไบอัส

วงจรเร็คทอซฮกมึ การออกแบบอาศัยทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรออปแอมป์ คือวงจรบัฟเฟอร์ วงจรออปแอมป์ลักษณะนี้จะให้อัตราขยายเท่ากับ 1 วงจรจึงทำหน้าที่เร็คทแรงดันเพื่อส่งออกไปส่วนแสดงผลเป็นลักษณะการเร็คทอซฮกมึ และนำแรงดันเอาท์พุทนี้ไปเปรียบเทียบกับแรงดันเอาท์พุทของอินสตรูเมนเตชัน เพื่อนำวงจรแรงดันเอาท์พุทแตกค่าที่ได้ไปควบคุมฮิเตอร์ต่อไป

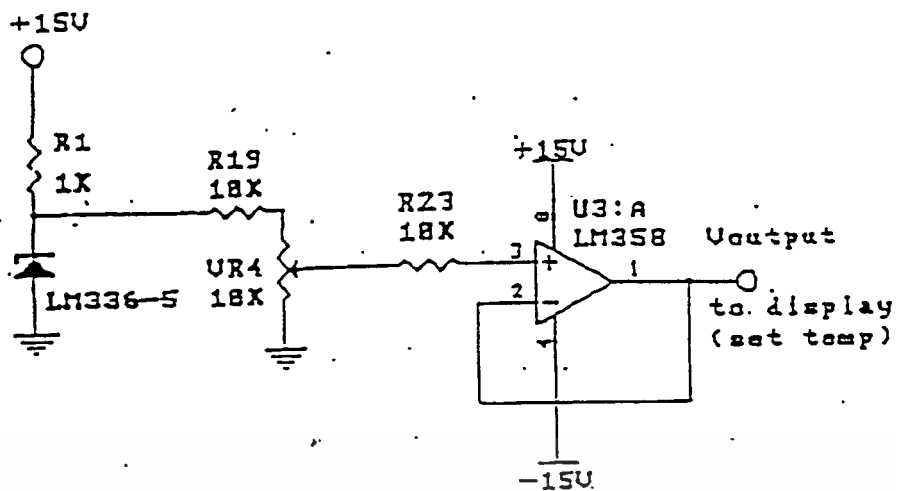
ข้อกำหนดการออกแบบ คือ

- แรงดันเอาท์พุท ที่ได้จะนำไปใช้ควบคุมฮิเตอร์

- วงจรเร็คทอซฮกมึนี้ ต้องการแรงดันเอาท์พุท 0-2 โวลต์ ดังนั้นแรงดันอินพุทก็จะต้องมีค่า 0-2 โวลต์ จึงมีการออกแบบวงจรเป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider)

จากสมการของวงจรแบ่งแรงดัน

$$V_O = \frac{V_1 \cdot R}{R_{19} + VR_4} \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.2ก. แสดงการออกแบบวงจรเจ็ดอุณหภูมิ

กำหนดให้

$V_1$  = แรงดันไฟตรง 0-2 Volt

$R_{19}$  =  $10\text{ K}\Omega$

$VR_4$  =  $10\text{ K}\Omega$

เมื่อ  $R$  = ค่าต้านทานของ  $VR_4$  ระหว่างที่ปรับไปใช้งานกับคราด์

และค่าแรงดันเอาท์พุทสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเจ็ดค่าความต้านทานปรับค่าได้ ( $VR_4$ ) ที่  
ต้านวงจรแบ่งแรงดันนั่นเอง

วงจรแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ การออกแบบบอาศัยหลักการของวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งและ  
วงจรขยายจัมมิงเวอร์ตติ้งซึ่งในการออกแบบเราสามารถกำหนดค่าเกณฑ์ของวงจรได้

จากสมการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ จากองศาเซลเซียสเป็นองศาฟาเรนไฮน์

$$^{\circ}\text{F} = \frac{(9 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32)}{5} \quad (3.7)$$

สามารถออกแบบวงจรได้ดังนี้

- กำหนดให้เกณฑ์ของวงจร ขยายแบบอินเวอร์ตติ้งมีค่าเท่ากับ 9/5 เท่า

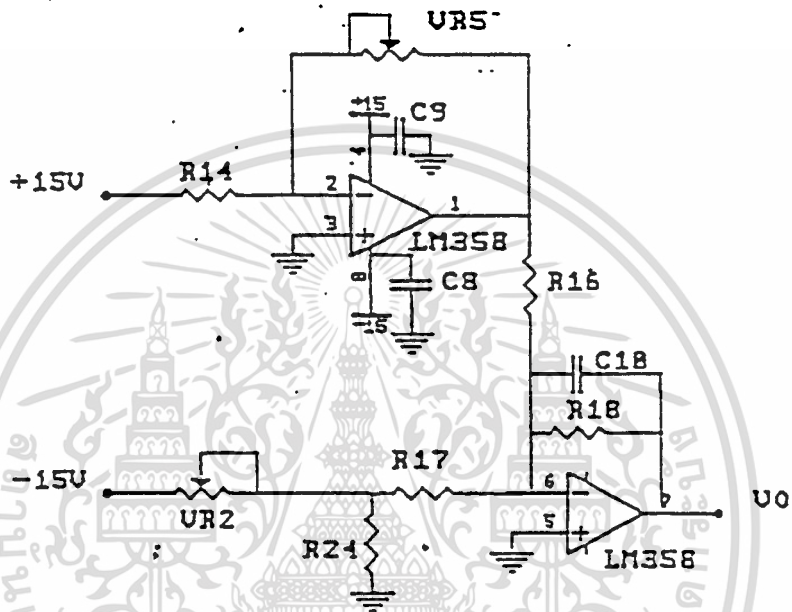
$$\text{ดังนั้น } A_v = 9/5$$

$$\text{จาก } A_v = -R_f / R_1$$

$$= -VR_5 / R_{14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด  $R_{14} = 10K\Omega$  แล้วนำไปแทนค่าสมการด้านบนจะได้  $VR_5 = 18$



รูปที่ 3.2ข. แสดงการออกแบบวงจรแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ

จากสมการที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งมีเกนซ์เท่ากับ 9/5 จริง แต่สมการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิยังไม่สิ้นสุดเท่านั้น ยังมีการนำเอา 32 องศาเซลเซียสไปรวมกับเกนซ์ด้วยตามสมการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ ดังนั้นการหาค่า  $V_o$  จะทำได้จากสมการดังนี้

$$V_o = - \left( \frac{VR_5}{R_{11}} \cdot V_1 + \frac{R_{18}}{R_{17}} \cdot V_2 \right) \quad (3.8)$$

กำหนดให้  $R_{16} = R_{17}$   $R_{18} = 10K\Omega$   
 $R_{24} = 320 \text{ ohm}$  ,  $VR_2 = 20 K\Omega$

ปรับ  $VR_2$  จนได้ค่าประมาณ 14.22 Kohm ซึ่งจะแบ่งแรงดันค่า 320 mV ไปยังขาอินเวอร์ตคิงของออปแอมป์ ( $V_2$ ) ค่าแรงดัน 320 mV นี้เปรียบได้กับค่าคงที่เท่ากับ 32 ในสมการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมินั่นเอง

### 3.3 ส่วนแสดงผล

เมื่อออกแบบส่วนวัดอุณหภูมิส่วนเซ็นเซอร์อุณหภูมิและส่วนแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้วก็จะขาดเพียงส่วนแสดงผลซึ่งเป็นตัวบ่งบอกค่าอุณหภูมิที่วัด โดยส่วนแสดงผลในโครงการนี้ จะนำเอาไอซีเบอร์ 7107 ซึ่งภาคเอาต์พุตของไอซีสามารถขับ 7-Segment ได้เลย มาใช้งานแต่ก่อนอื่นต้องกำหนดคุณสมบัติของโครงการที่ต้องการก่อนคือ

- ต้องการใช้แหล่งจ่าย 5VDC เพียงแหล่งจ่ายเดียว
- แรงดันที่ป้อนให้อินพุตน้อยกว่า 2.5 โวลต์
- แสดงผลบน 7-Segment 3 หลัก

ดังนั้นสามารถออกแบบส่วนแสดงผลได้ดังนี้  
ที่ขา 38, 39, 40 ของไอซีเบอร์ 7107 ทำหน้าที่ต่ออุปกรณ์ภายนอก เพื่อกำหนดความถี่ของสัญญาณให้กับไอซี ซึ่งข้อมูลของไอซีเบอร์ 7107 กำหนดสมการสำเร็จมาให้ดังนี้

$$f_{osc} = \frac{0.45}{RC} = \frac{0.45}{R_1 C_1} \quad (3.9)$$

จากข้อมูลนี้สามารถคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ ( $C_1$ ) ได้โดยกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณ ( $f_{osc}$ ) และค่าความต้านทาน ( $R_1$ ) ก่อนซึ่งแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำหนด } f_{osc} &= 45 \text{ Khz} \\ R &= 100K\Omega \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่าสมการจะได้ค่าตัวเก็บประจุ ( $C_1$ ) เท่ากับ 100 pF แล้วนำไปประกอบวงจรตามรูปที่ 3.3

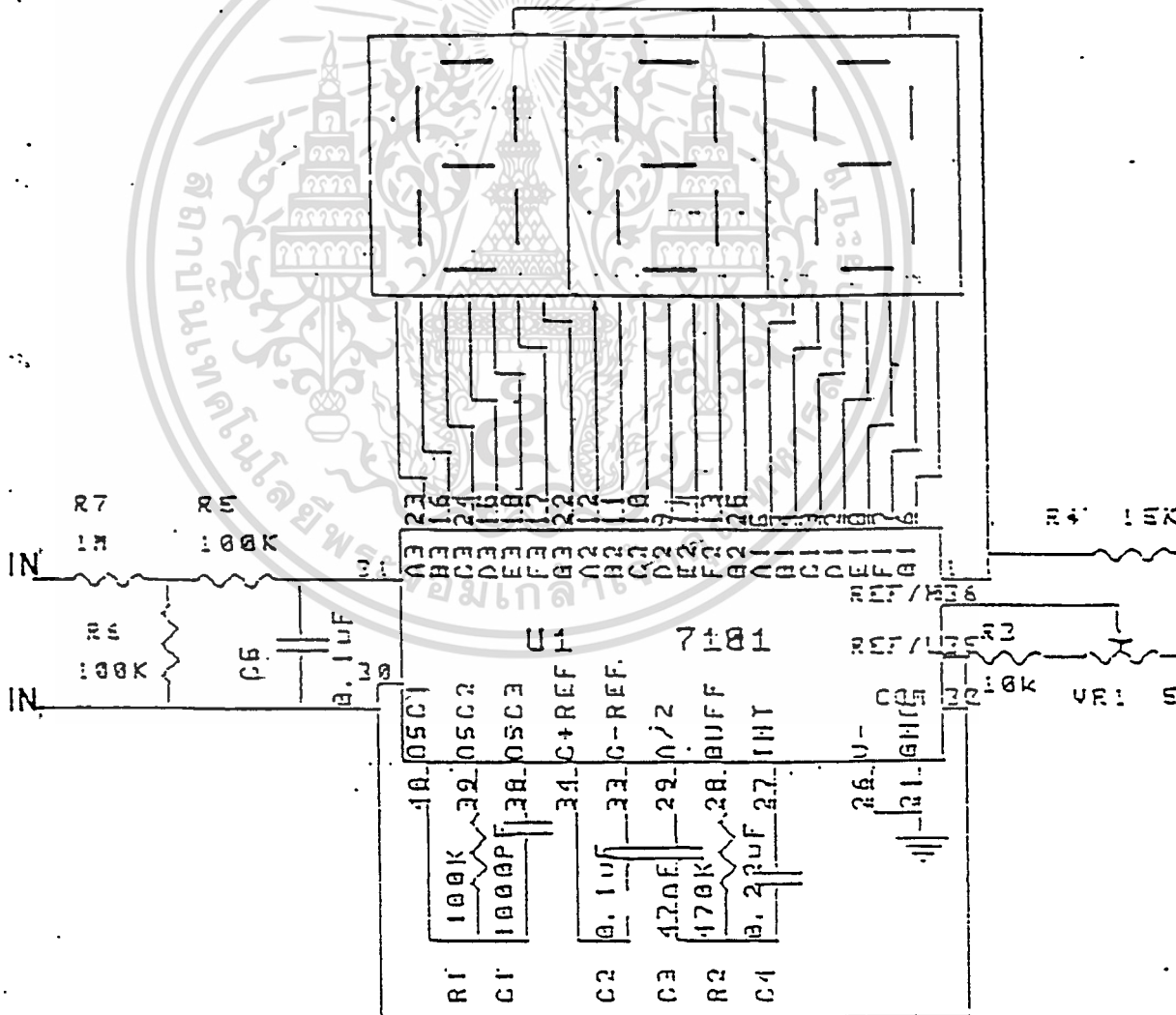
ที่ขา 35 และ 36 ของ IC#7107 ทำหน้าที่ต่ออุปกรณ์ภายนอก เพื่อกำหนดแรงดันอ้างอิงให้ ไอซีเบอร์ 7107 สำหรับโครงงานนี้กำหนดแรงดันอ้างอิงไว้เท่ากับ 1 โวลต์ ซึ่งการออกแบบจะอาศัย หลักของวงจรแบ่งแรงดัน คือ กำหนดให้

$$VR_1 = 5K\Omega$$

$$R_3 = 10K\Omega$$

$$R_4 = 15K\Omega$$

และค่าแรงดันอ้างอิงสามารถกำหนดได้จากการปรับค่า VR1 จนกระทั่งได้ค่าแรงดันอ้างอิง ตามต้องการ



รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบวงจรส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ขา 33 และ 34 ของ IC#7107 กำหนดค่าของตัวเก็บประจุอ้างอิง ( CREF ) เท่ากับ 0.1 ไมโครฟารัด

ที่ขา 32 เป็นขา Common

ที่ขา 30 และ 31 ของ IC#7107 จะต่อแรงดัน Input Hi และ Input Lo ตามลำดับ แต่ค่าแรงดันจากส่วนหน้าที่ส่งมามีค่าสูงกว่าที่อินพุทของ IC#7107 จะรับได้จึงต้องมีการแบ่งแรงดัน โดยใช้ R6 และ R7 มาทำหน้าที่แบ่งแรงดันกัน และแบ่งแรงดันให้ลดลงมาประมาณ สิบเท่าได้ โดย

กำหนดค่า

$$R6 = 100 \text{ K}$$

$$R7 = 1\text{M}$$

ที่ขา 27, 28 และ 29 ของ IC#7107 จะต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อทำหน้าที่ Auto Zero Phase, Signal Intergrate phase และ De-intergrate phase ตามลำดับ ในส่วนนี้จะกำหนดค่าอุปกรณ์เท่ากับในคาตาชีท คือ

กำหนดค่า

$$R2 = 470 \text{ K}$$

$$C4 = 0.22 \text{ uF}$$

$$C3 = 47 \text{ nF}$$

ที่ขา 21 และ 26 ต่อดึงกราวด์ เนื่องจากในโครงการนี้กำหนดให้ใช้แหล่งจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียว

ที่ขา 1 ต่อแหล่งจ่ายแรงดัน +5VDC

สำหรับขาอื่นๆ ของไอซีเบอร์ 7107 ที่ไม่ได้กล่าวถึงให้ดูจากคาตาชีท เพื่อต่อใช้งานร่วมกับ 7-Segment ตามลำดับ

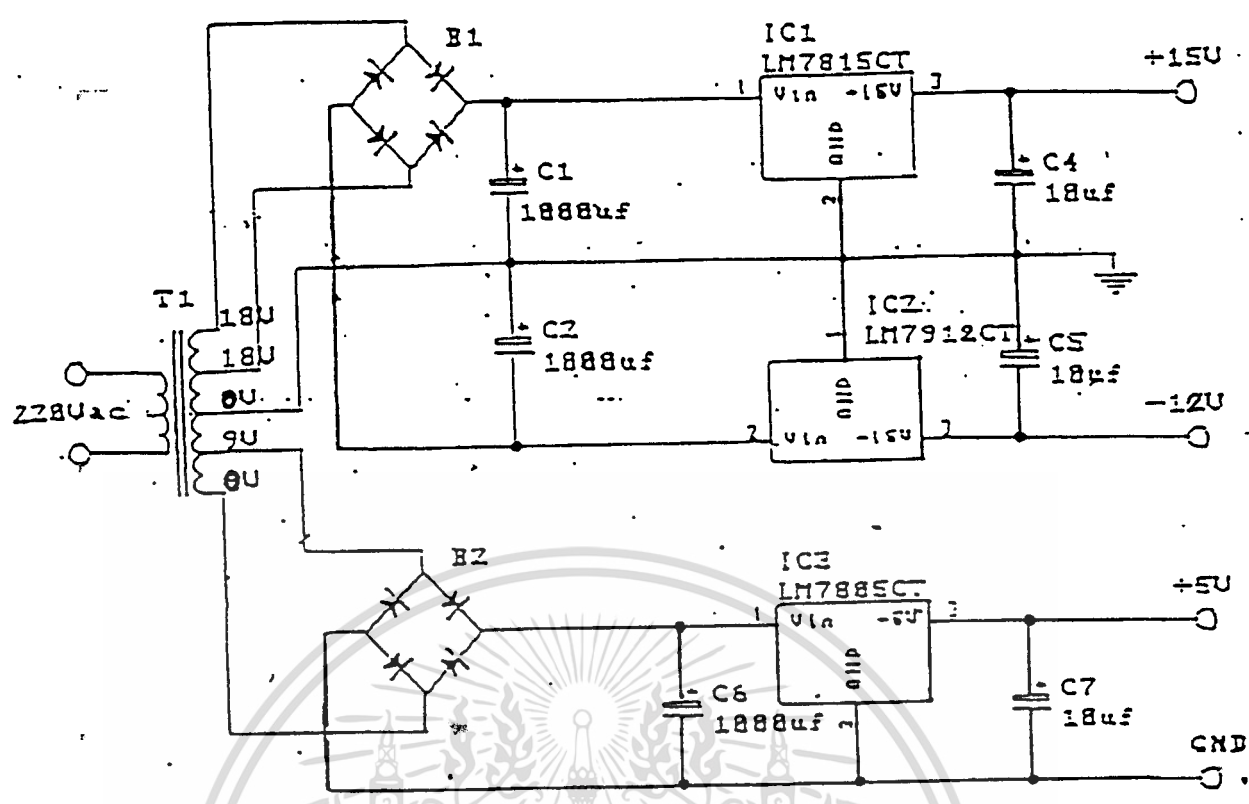
### 3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

วงจรแหล่งจ่ายแรงดันของโครงการชิ้นนี้ สามารถแบ่งได้ดังนี้

- แรงดันไฟกระแสตรง  $\pm 5$  โวลท์

- แรงดันไฟกระแสตรง  $\pm 15$  โวลท์

- แรงดันไฟกระแสสลับ 220 โวลท์



รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

โดยในส่วนของวงจรจะใช้หม้อแปลงทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับ 200 โวลต์ มาเป็นแรงดันต่ำ 18 โวลต์ และ 9 โวลต์ นำไปต่อเข้ากับวงจรไดโอดแบบบริดจ์เรกติไฟร์ ซึ่งจะทำได้แรงดันกระแสตรง ±24 โวลต์ และ +11 โวลต์ออกมา และนำแรงดันที่ได้นี้ไปต่อเข้ากับไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 7805 และ เบอร์ 7915 ซึ่งไฟตรงที่เอาท์พุท สำหรับแรงดันไฟ +5 โวลต์ จ่ายแรงดันไฟให้กับวงจรส่วนแสดงผล และแรงดันไฟ ±15 โวลต์ จ่ายให้กับออปแอมป์ของวงจร

จากรูปที่ 3.4 ใช้วงจรแปลงแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงแบบบริดจ์เรกติไฟร์ โดยค่าแรงดันที่จ่ายให้ไอซีเรกติกูเลเตอร์ เบอร์ 7818 ,7915 จะมีค่าเท่ากัน

$$\begin{aligned} \text{หาค่าได้จาก } V_{DC} &= \sqrt{2} \cdot V_{AC} & (3.10) \\ &= \sqrt{2} \cdot 18 \end{aligned}$$

$$V_{DC} = 25.45 V_{DC} \quad (3.11)$$

และค่าแรงดันที่จ่ายให้ไอซีเรกติกูเลเตอร์ เบอร์ 7805 หาได้จาก

$$\begin{aligned} V_{DC} &= \sqrt{2} \cdot V_{AC} \\ &= \sqrt{2} \cdot 9 \\ V_{DC} &= 12.72 V_{DC} \end{aligned}$$

### 3.5 ฮีตติ้ง เวล (Heating Well)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของเครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิกล่าวคือ จะเป็นส่วนนำความร้อนจากจุดกำเนิดความร้อน (Heater) ไปยังอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่จะนำมาสอบเทียบ ค่าซึ่งในการออกแบบจะออกแบบให้สามารถใช้อยู่กับเทอร์โมมิเตอร์ได้คือสามารถนำเอาเทอร์โมมิเตอร์มาสอบเทียบค่าหรือวัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆ ขณะสอบเทียบค่าได้และเพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิที่ฮีตติ้งเวลกับค่าอุณหภูมิที่จุดสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมียค่าเท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

ส่วน ฮีตติ้งเวล สำหรับโครงการนี้จะประกอบไปด้วย

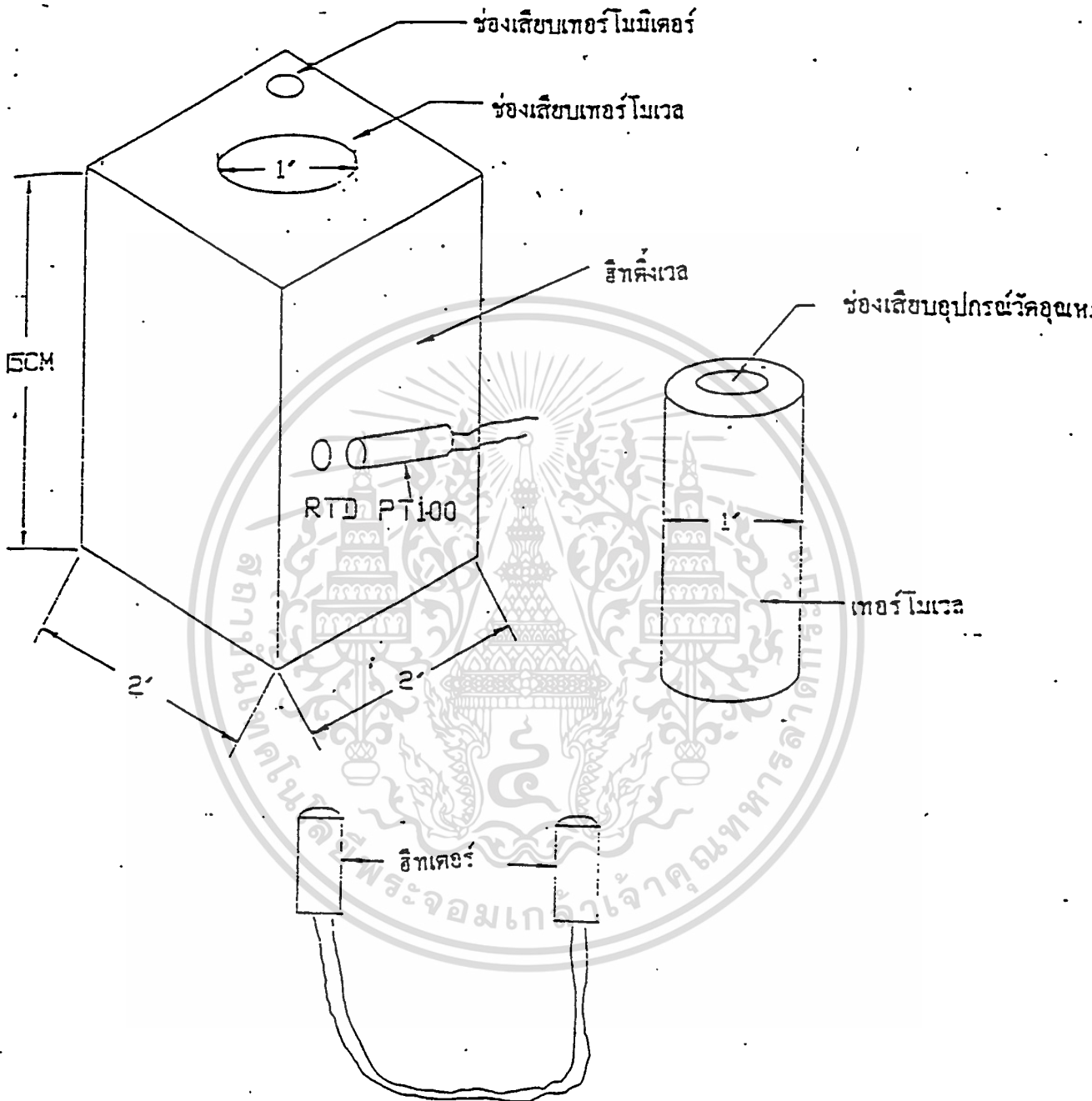
ฮีตติ้งเวลซึ่งทำหน้าที่นำความร้อนจากตัวกำเนิดความร้อน ไปยังเทอร์โมเวล และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบค่า

วัสดุที่นำมาทำฮีตติ้งเวล คือ ทองแดงแท่งตันทรงสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว และสูง 6 นิ้ว เพื่อรองรับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่จะนำมาสอบเทียบค่า และเป็นผลทางอุณหภูมิ

เทอร์โมเวล ทำหน้าที่นำความร้อนซึ่งผ่านมาจากฮีตติ้งเวลแล้วส่งผ่านไปยังอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่นำมาสอบเทียบค่า

วัสดุที่นำมาทำ เทอร์โมเวล คือ ทองแดงแท่งตันทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว ด้านในเจาะรูขนาดเท่ากับปลายของเส้นเซอร์ที่จะนำมาสอบเทียบค่าโครงการนี้ออกแบบเทอร์โมเวลไว้ 2 ขนาดคือ 1/4 นิ้ว และ 1/2 นิ้ว เนื่องจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 2 ขนาดนี้มีใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม

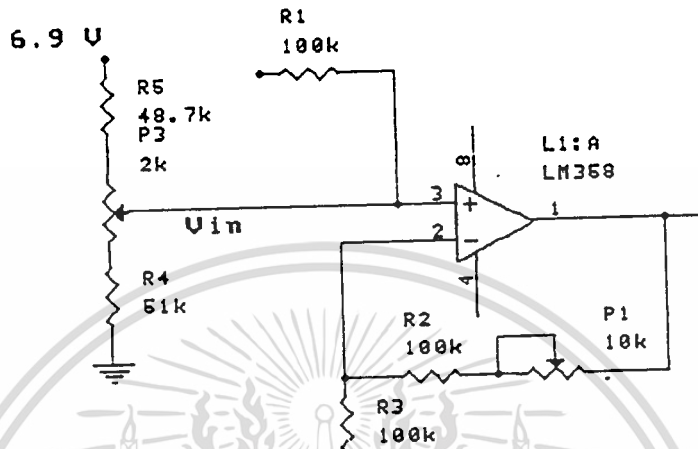
ฮีตเตอร์ ทำหน้าที่สร้างความร้อนทำให้อุณหภูมิในฮีตติ้งเวลสูงขึ้นแล้วส่งผ่าน ไปยังเทอร์โมเวลและฮีตเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบของฮีทคิงเวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 รายละเอียดการคำนวณวงจรที่ใช้งาน วงจรแปลง °C เป็น °F



$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } ^\circ\text{F} &= (9/5 \text{ } ^\circ\text{C} + 32) \\ &= ( \text{ } ^\circ\text{C} + 17.77 ) 1.8 \end{aligned}$$

$$\text{จาก } 600 \text{ } ^\circ\text{C} = 6 \text{ V}$$

$$1112 \text{ } ^\circ\text{F} = 11.12 \text{ V ( } 600 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

ให้  $V_{in} = 3.5 \text{ V}$  ดังนั้น Gain ของวงจรหาได้

$$11.12 \text{ V} = (6 + 3.5) \text{ Gain}$$

$$\text{Gain} = 1.17 \text{ เท่า}$$

กำหนดให้  $R_5 = 48.7 \text{ K}$  ,  $P_3 = 2\text{K}$  ,  $R_4 = 51 \text{ K}$  หาค่าแรงดันตกคร่อม

$$R_T = 101.7 \text{ K}$$

$$I_t = 6.9\text{V}/101.7 \text{ K} = 0.06 \text{ ma}$$

$$V_{R5} = I_t \times R_5 = 3.304 \text{ V}$$

$$V_{R4} = I_t \times R_4 = 3.4578 \text{ V}$$

$$V_{R3} = I_t \times P_3 = 0.1356 \text{ V}$$

ดังนั้น  $V_{in}$  สามารถปรับค่าได้ระหว่าง  $3.4578 \text{ V} - 3.5937 \text{ V}$

พิจารณา Gain ของวงจร

$$V_o = (1 + R_f/R_g)(V_1 + V_2)$$

กำหนดให้  $R_f = 110 \text{ K}$  ,  $R_g = 100 \text{ K}$

$$\text{Gain} = ( 1 + (110 \text{ K} / 100 \text{ K} ) ) = 2.1 \text{ เท่า}$$

### Set Potentiometer

ต้องการ 6 V ตกรวม Variable 1 K

กำหนดให้ P10 = 100 , R6 = 100 , P1 = 1 K

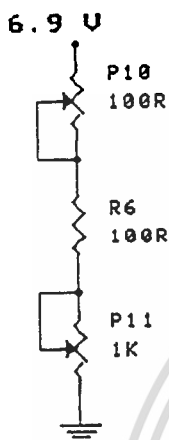
$$R_T = 1.2 \text{ K}$$

$$I_t = 6.9\text{V} / 1200 = 5.75 \text{ ma}$$

$$V_{P10} = 100 \times 5.75 \text{ ma} = 0.575 \text{ V}$$

$$V_{R6} = 100 \times I_t = 0.575 \text{ V}$$

$$V_{P1} = 1000 \times I_t = 5.75 \text{ V}$$



เมื่อ P10 ต่ำสุด ( เท่ากับ 0 )

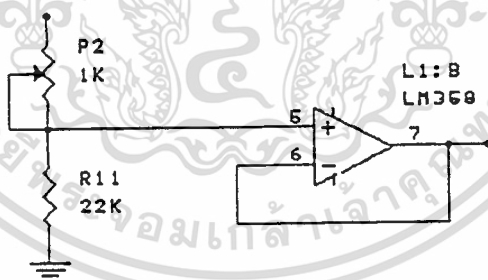
$$R_T = 1.1 \text{ K}$$

$$I_t = 6.9 \text{ V} / 1100 = 0.627 \text{ V}$$

$$V_{R6} = I_t \times 100 = 0.627 \text{ V}$$

$$V_{R 1 \text{ K}} = I_t \times 1000 = 0.627 \text{ V}$$

ดังนั้น VP1 สามารถปรับได้อยู่ระหว่าง 5.75 V - 6.27 V



กำหนด P2 = 1 K , R11 = 22 K

$$R_T = 23 \text{ K}$$

$$I_t = 6.27 \text{ V} / 23 \text{ K} = 0.272 \text{ ma}$$

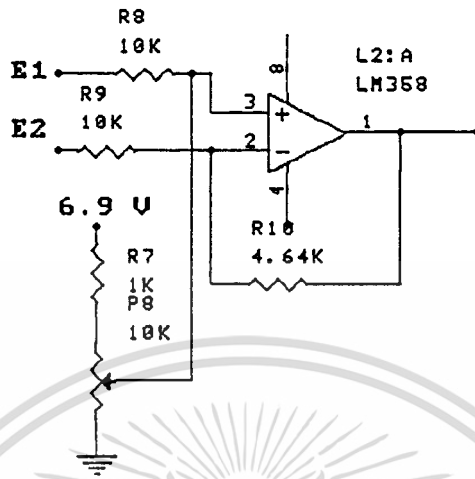
$$V_{P2} = I_t \times P2 = 0.272 \text{ V}$$

$$V_{R11} = I_t \times R11 = 5.984 \text{ V}$$

ดังนั้น P2 สามารถปรับค่าอยู่ระหว่าง 5.984 V - 6.27 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Different Amp ( Error Amp )



วงจรปรับ Off Set

$$R_T = R_T + R_5 = 1\text{ K} + 10\text{ K} = 11\text{ K}$$

$$I_t = 6.9\text{ V} / 1100\text{ K} = 6.27\text{ ma}$$

$$V_{R7} = 1000 \times 6.27\text{ ma} = 6.27\text{ V}$$

ดังนั้น P5 สามารถปรับค่าได้ 0- 6.27 V

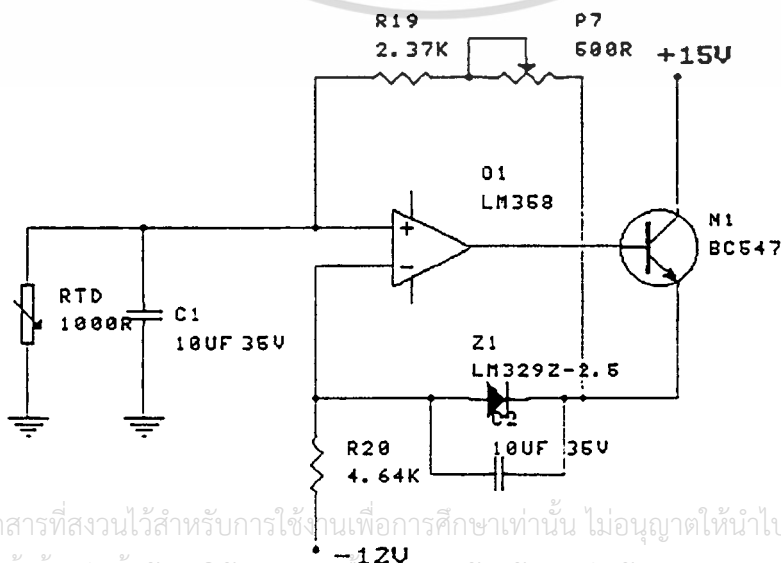
Gain ของวงจร

$$V_o = m E_1 - m E_2 = m (E_1 - E_2)$$

เนื่องจากผลของ Off Set ดังนั้นเราจึงต้องเพิ่ม  $V_{ref}$  เข้าที่ขา + ของ Op-Amp ในกรณีที่

$E_1, E_2 = 0\text{ V}$  เมื่อเราต่อ  $V_{ref}$  ที่ขา + เราสามารถปรับให้  $V_{out} = 0\text{ V}$

วงจร Sensor ( Constat Current )

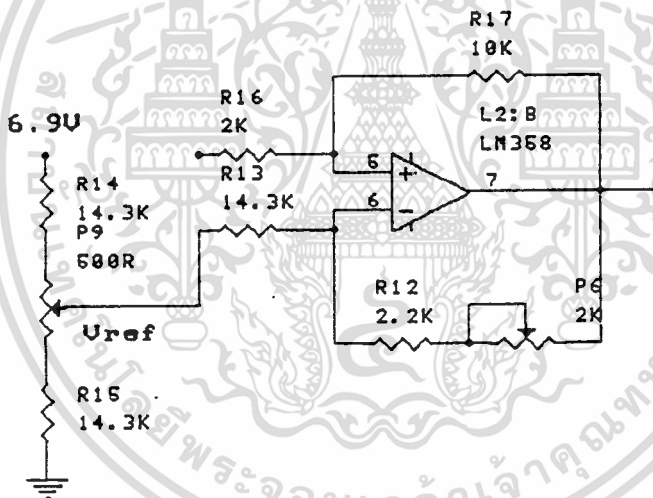


Zener Diode ต่อคร่อมขา O/P และขา I/P ลบ แรงดันไฟ -12 V จะขับระดับศักดาที่ขา สัญญาณเข้าให้เป็นลบซึ่งจะมีผลทำให้  $V_o$  เป็นบวก กระแส  $I_e$  ที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์จะหาได้จาก

$$I = 12 \text{ V} / 4.46 \text{ K} = 0.258 \text{ ma}$$

กระแสจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ลงสู่ฟลอปจะมีส่วนหนึ่งแยกไหลผ่าน RTD ลง Group เนื่องจากทรานซิสเตอร์ที่เราเลือกมีค่า  $B = 100$  กระแสไหลออกสู่ขั้วสัญญาณออกของ OpAmp จะมีค่าเท่ากับ  $1/200$  ของกระแสไหลค ถ้าเราให้ค่ากระแสสูงสุดที่จะไหลออกจากขาสัญญาณออกเท่ากับ  $5 \text{ ma}$  วงจรจะจ่ายกระแสได้เท่ากับ  $5 \text{ ma} \times 100$

เนื่องจาก  $E_d$  ระหว่างขาสัญญาณลบและบวกเท่ากับ 0 ดังนั้นจะมีแรงดันตกคร่อม R19,P7 เท่ากับ  $2.5 \text{ V}$  ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อม R19,P7 จะทำให้  $I$  ที่ไหลผ่าน RTD คงที่ วงจร Linear Amp



กำหนดให้  $R14 = 14.3 \text{ K}$  ,  $P9 = 500$  ,  $R15 = 14.3 \text{ K}$

พิจารณา  $V_{ref}$

$$R_T = 6.9 \text{ V} / 14800 = 0.466 \text{ ma}$$

$$V_{R14} = I_t \times R14 = 6.66 \text{ V}$$

$$V_{R15} = I_t \times R15 = 6.66 \text{ V}$$

$$V_{P4} = I_t \times P9 = 0.2331 \text{ V}$$

ดังนั้น  $V_{ref}$  อยู่ระหว่าง  $6.66 \text{ V} - 6.8931 \text{ V}$

จากสูตร

$$V_o = E1 ( 1 + R_f/R1 ) - E2 ( R_f/R1 )$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Gain} = 1 + 10.2 \text{ K} / 14.3 \text{ K} = 1.71 \text{ เท่า}$$

$$\text{Gain} = 10 \text{ K} / 8.2 \text{ K} = 1.219 \text{ เท่า}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผล

#### 4.1 หน้าที่การทำงาน

การปรับอุณหภูมิโดยการปรับ “Set” Potentiometer ซึ่งให้ค่า Voltage ไปปรับอุณหภูมิ ซึ่งแรงดันนี้จะมีค่าเป็น 1.01 เท่ามากกว่าค่า “แรงดัน Read” ที่ อุณหภูมิเดียวกัน แรงดันนี้ จะป้อนเข้าสู่จุด “S” ในวงจรขยายความแตกต่าง Differential Amplifier ) และผ่านวงจรหาร ( $1/K$ ) ซึ่งสามารถอ่านค่าบน ภาคแสดงผล เมื่อ Switch ตั้งที่ตำแหน่ง “Set”

ตัวตรวจจับอุณหภูมิจะให้แรงดันเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิจริงใน Heating Well แรงดันนี้เข้าสู่วงจรเชิงเส้นผ่านเข้าสู่ขั้ว “R” ของวงจรขยายความแตกต่าง ค่าอุณหภูมิ สามารถอ่านบนภาคแสดงผล เมื่อตั้ง Switch ที่ “Read”

ค่าแรงดัน Output ของวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งหมายถึง ความแตกต่างระหว่างแรงดัน Set point กับแรงดันที่มาจากอุณหภูมิจริงของ Heating Well จะป้อนเข้า “Optocoupler” ซึ่งจะเป็นการแยกวงจรแรงดันต่ำจากวงจรแรงดันสูง

แรงดัน Output ของ “Optocoupler” จะเป็นสัดส่วนกับแรงดัน Output ของวงจรขยายความแตกต่าง และป้อนเข้า Voltage Regulator ซึ่งควบคุมแรงดันใน Heating element.

การทำงานของ Proportional band Regulator แสดงในรูป 3 “P meam” คือ กำลังงานที่ป้อนเข้า Heating elements

● อุปกรณ์ป้องกันความร้อน (Safety Thermal Protector) ติดตั้งบนแผ่นเหล็กอยู่ระหว่างวงจรีเล็กทรอนิกส์ และ แหล่งความร้อน (Thermal mass) สวิตซ์ Main Breaker จะ “Off” เมื่ออุณหภูมิในกล่องมากกว่า  $60^{\circ}\text{C}$

#### 4.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

วิธีตรวจสอบความถูกต้อง ทำได้ตามขั้นตอนนี้

นำ Precision Thermometer ใส่ใน Heating Well ให้สัมผัสความร้อนอย่างดี ตั้งความร้อนที่ต้องการและรอเครื่องทำอุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการ จนอุณหภูมิกคงที่ (Stabilize) คุความแตกต่างระหว่างค่า “Set” และ “Read” ถ้าเกิดค่า Error ; ให้ดูหัวข้อ “Calibration Procedure”

#### 4.3 ปัญหาและการแก้ปัญหา

Pilot Lamp ไม่สว่าง

- มี Voltage ป้อนเข้า Unit หรือไม่ ?

- เปิด Switch “on” หรือไม่ ?

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มี Voltage ป้อนเข้า Unit หรือไม่ ?
- เปิด Switch “on” หรือไม่ ?
- Fuse ขาดหรือไม่ ?
- Thermal Protector ทำงาน
- Pilot lamp ขาด

ให้รอ Unit จนกระทั่งเย็นหาสาเหตุ  
เปลี่ยน

### Unit ไม่สามารถทำความร้อนได้

- Switch ตั้งไป “Ext”
- “Read” แสดงค่าสูง
- “Heat Lamp” สว่างแต่ไม่ร้อน
- ถ้า Voltage บน Terminal 39 เป็น  
บวก (Excitation Voltage)
- ถ้า Voltage บน Terminal 39 เป็น  
ลบ (Excitation Voltage)

ตั้ง Switch ไป “Int”

เปลี่ยน Internal RTD PT - 1000

ตรวจสอบ Heating elements

ตรวจสอบวงจร Power board

ตรวจสอบวงจร Process board

### Unit ร้อน แต่ค่า “Set” น้อยกว่า “Read”

- ตั้ง Switch ไปตำแหน่ง “Ext” Unit ยังร้อนอยู่
- Unit ร้อน “ค่า Set” น้อยกว่า “ค่า Read” และ Switch  
ตั้ง “Int”

ตรวจสอบ Power board

ตรวจสอบ Temperature Sensor, ถ้า

ทุกอย่างปกติตรวจสอบวงจร Process

board

### Thermo Switch Test Pilot Lamp ไม่สว่าง

- Pilot Lamp ขาด
- Test Wire ขาด

เปลี่ยน

เปลี่ยน

### พัดลมไม่ทำงาน

- ตรวจสอบ Voltage ถ้ามี

เปลี่ยนพัดลม

### Display Segment 1 หลับหรือมากกว่าไม่สว่าง

- เสียหายที่ LED
- เสียหายที่ Integrated Circuit
- เสียหายที่ Printed Circuit

เปลี่ยน Display หลัคนั้น

เปลี่ยน IC

เปลี่ยน PCB

## 4.4 วิธีการ Calibration

### อุปกรณ์ที่ต้องใช้

เอกสาร 1. Resistance Decade Box ปรับค่าได้ 1000.0 Ohms , 1385.00 Ohms และ 1758.00 Ohms

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 Ohm เท่ากับประมาณ 0.143 °C / 0.257 °F

หรือ

ใช้ความต้านทาน 3 ตัวที่มีค่าข้างต้น

2. Digital Voltmeter 4-1/2 หลักมีความละเอียด 0.1 mv อย่างต่ำ และความถูกต้อง +/- (0.05% rdg; +2 dg)
3. Traceable Precision Thermometer 0 ถึง 600 °C / 32-1112 °F ความถูกต้องสูงกว่า 0.1 °C / 0.18 °F

#### 4.5 การปรับแต่ง

4.5.1 "Heat" adjustment

4.5.2 PT -1000 การปรับ "offset"

4.5.3 PT -1000 การปรับ "Gain"

4.5.4 "Set" และ "Read" แยกต่างกันใน Low Temperatures.

4.5.6 การปรับแต่งละเอียด

4.5.7 การปรับแต่ง °F Conversion

##### 4.5.1 "Heat" Adjustment

1. ตั้ง switch ที่ "Ext" ปรับ P12 จนกระทั่งหลอด "Heat" ไม่สว่างแล้วหมุนเพิ่มอีก 1 รอบ

##### 4.5.2 PT-1000 การปรับ "Offset"

1. ถอดปลั๊กไฟ 220 Vac ถอดสายไฟ Terminal 43 และต่อ Resistance Decade ระหว่างขั้ว 43 และ 35 ตั้งค่าที่ 1385.00 ohm
2. วัดแรงดันระหว่าง Terminal 43 และ 35 ปรับ P9 ให้ได้แรงดัน 1.38500 V
3. วัดแรงดันระหว่าง Terminal 41 และ 35 ปรับ P7 ให้ได้แรงดัน 1.38500 V
4. ทำตามขั้นตอน B2 และ B3 ถ้าแรงดันไม่ถูกต้อง

##### 4.5.3 PT-1000 การปรับ "Gain"

1. ตั้ง Decade Box ที่ 1758.4 ohm ต่อที่ Terminal 43 - 35 และ วัดแรงดันระหว่าง Terminal 41 และ 35, ปรับ P6 ให้ได้ 2.000 V
2. ปรับ P13 บน "Display Board" ให้ Display ให้อ่านได้ 200 °C

##### 4.5.4 "Set" และ "Read" แยกต่างกันใน Low Temperatures

1. ตั้ง Decade Box เป็น 1000 Ohm และหมุน "Set" Potentiometer ตามเข็มนาฬิกาจนสุด
2. ตั้ง Switch ที่ "Int" ปรับ P5 จนกระทั่งหลอด "Heat Lamp" ดับแล้วหมุนเพิ่มอีก 1 รอบ

##### 4.5.5 "Set" และ "Read" แยกต่างกันใน High Temperatures

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีลิขสิทธิ์อื่นอยู่ภายใต้การคุ้มครองตามกฎหมาย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตั้ง Decade Box เป็น 1758.4 ohm และ หมุน "Set" Potentiometer ทวนเข็มนาฬิกาจนสุด
2. ตั้ง Switch "Int" ปรับ P10 ประมาณ 50 % สว่างบน "Heat lamp"
3. ตั้ง Switch "Set" ปรับ P2 จน "Display" อ่านค่า 200 °C
4. ถอด Decade Box และ ต่อสายที่ Terminal 43.
5. รอจน Unit ทำความร้อนถึง 200 °C / 392 °F จนคงที่ (ใช้ Thermometer อ่านอุณหภูมิ) ตั้ง Switch "Read" ปรับ P2 จนค่า Display เท่ากับ 200 °C

#### 4.5.6 การปรับแต่งละเอียด

1. ให้ Unit ทำความร้อนจนถึงค่า Setpoint ที่ 200 °C / 392 °F โดยอ่านที่ Thermometer ที่ติดตั้งใน Heating Well ดู Thermal Contact ระหว่าง Heating Well และ Thermometer จะต้องแนบสนิท

2. ตั้ง Switch ที่ "Read" ปรับ P13 จนค่า "Display" มีค่าเท่ากับ Thermometer

#### 4.5.7 การปรับแต่ง °F/°C Conversion

1. ตั้ง Switch ที่ "Set" หมุนปุ่มตั้ง "Set point" ตามเข็มจนเป็น 0 °C  
ตั้ง switch ที่ °F ปรับ P3 จน Display อ่านค่า 32 °F
2. ตั้ง Switch ที่ °C หมุนปุ่ม "Setpoint" ทวนเข็มจน Display เป็น 200 °C  
ตั้ง switch ที่ °F ปรับ P3 จน Display อ่านค่า 392 °F
3. ทำตามขั้นตอน G1 และ G2 จนค่าที่ได้ถูกต้อง

#### 4.6 รายละเอียดอุปกรณ์

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน
1.	Fuse 1-1/4, 6.3 A fast action	1 ตัว
2.	Switch °C / °F , Set / Read , 1- Pole goldplated.	2 ตัว
3.	Thermostat Test Lamp, 12 V	3 หลอด
4.	On/Off Pilot Lamp LED	1 หลอด
5.	Heat Pilot Lamp LED	1 หลอด
6.	Din Socket ,3-Pole	1 ตัว
7.	Power Switch, 2-Pole	1 ตัว
8.	Fuse holder	1 ตัว
9.	Switch, Ext / Int , 2-Pole goldplated	1 ตัว
10.	Dis - Socket , 4 Pole.	1 ตัว
11.	Int - RTD Sensor, PT- 1000	1 ตัว
12.	Heating Well	1 แท่ง
13.	Heating Element , 600 Watt 220 Vac	2 อัน
14.	Fan, 220Vac , 7 Watt	1 ตัว
15.	Thermal Overload Protector, 10 A , 60 °C	1 ตัว

#### Process Board

Resistor ทุกตัว 1/4 Watt 1 %

R1,R2,R3	100 K	3 ตัว
R4	51K	1 ตัว
R5	48.7K	1 ตัว
R6	100R	1 ตัว
R7	1K	1 ตัว
R8,R9,R17,R18	10K	4 ตัว
R10	464K	1 ตัว
R11	22K	1 ตัว
R12,R16	8.2K	2 ตัว
R13,R14,R15	14.3K	3 ตัว

R19	23.7K		1 ตัว
R20	4.64K		1 ตัว
<b>Capacitor</b>			
C1,C2	10 UF 25 V	อีเล็กโทรไลต์	2 ตัว
C3	10 UF 35 V	อีเล็กโทรไลต์	1 ตัว
C4	10 UF 25 V	อีเล็กโทรไลต์	1 ตัว
<b>IC</b>			
L1	LM324		1 ตัว
L2	LM358		1 ตัว
Z1	LM336Z-2.5		1 ตัว
<b>Transistor</b>			
N1	BC547B		1 ตัว
<b>Diode</b>			
D1,D2	1N4006		2 ตัว
<b>Variable Resistor (Trimpot 25 รอบ)</b>			
P1,P5	10K		2 ตัว
P2	1K		1 ตัว
P3,P6	2K		2 ตัว
P7,P9	500R		2 ตัว
P10	100R		1 ตัว
<b>Power supply (Processboard)</b>			
<b>IC</b>			
L1	LM320-12		1 ตัว
L2	LM7815CK		1 ตัว
<b>Diode</b>			
D1,D2	1N4006		2 ตัว
<b>Capacitor</b>			
C1,C2	10 UF 25 V	อีเล็กโทรไลต์	2 ตัว
C3,C4	220 UF 40 V	อีเล็กโทรไลต์	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Powerboard**

Resistor ทุกตัวค่า 1/4 Watt 1 %

R1	10K	1 ตัว
R2	100R	1 ตัว
R3	100K	1 ตัว
R4	8.27K	1 ตัว
R5	48.7K	1 ตัว

**Capacitor**

C1	470 UF 40 V	อีเล็กโทรไลต์	1 ตัว
C2	0.1 UF 63 V	อีเล็กโทรไลต์	1 ตัว
C3	2.2 UF 63 V	อีเล็กโทรไลต์	1 ตัว
C4	0.01 UF 400 V	MKS	1 ตัว
C5	0.1 UF 400 V	MKS	1 ตัว
C6	1 UF 400 V	MKP	1 ตัว

**IC**

Q1	4N26	1 ตัว
Q2	UAA1016B	1 ตัว

**Diode**

D1	1N4007	1 ตัว
D2	1N4148	1 ตัว

**Triac**

T1	T2513 MH	1 ตัว
----	----------	-------

**Variable Resistor**

P12	10 K ( Trimpot )	1 ตัว
-----	------------------	-------

Heating Element	600 Watt 220 V	2 แห่ง
-----------------	----------------	--------

**Power supply ( Powerboard )****Tranformer**

0-18 V, 9V-0-9V	500 ma	1 ตัว
-----------------	--------	-------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Diode**

B1-B4	1N4002	4 ตัว
D1	1N4006	1 ตัว

**IC**

L1	LM2931-5KC	1 ตัว
L2	LM7805CK	1 ตัว

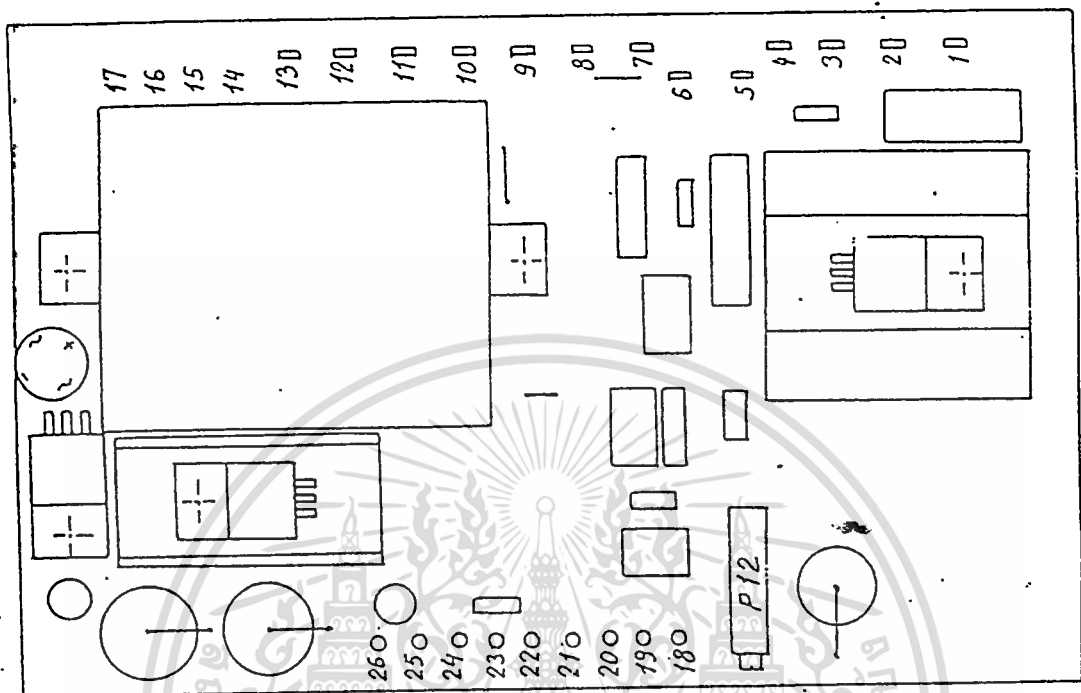
**Capacitor**

C1,C2	1000 UF 35 V	อีเล็กโทรไลต์	2 ตัว
C3,C4	10 UF 35 V	อีเล็กโทรไลต์	2 ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.7 ตำแหน่งขา



รูปที่ 4.1 แสดง Powerboard

ขาที่	แรงดัน	รายละเอียด	อุปกรณ์
1+10	220 Vac	power supply	linesocket
2+7	220 Vac	power supply	heat-element 1
4+9	220 Vac	power supply	heat-element 2
5+6	220 Vac	heat-on	pilot light
12+13	220 Vac	power supply	fan
14+16	220 Vac	power on	pilot light
18	0-1 Vdc	optocoupler excitation	ext./int. switch
20	common	supply voltage	thermostat test socket
21	common	supply voltage	processboard pin 46
22	-7 Vdc	power supply	thermostat test light
23	18 Vac	power supply	processboard pin 48
24	+ 5 Vdc	power supply	displayboard pin 52
25	common	supply voltage	analog socket

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Potentiometer :**

P1+P3 : °C/°F conversion

P2 : set adjustment to read

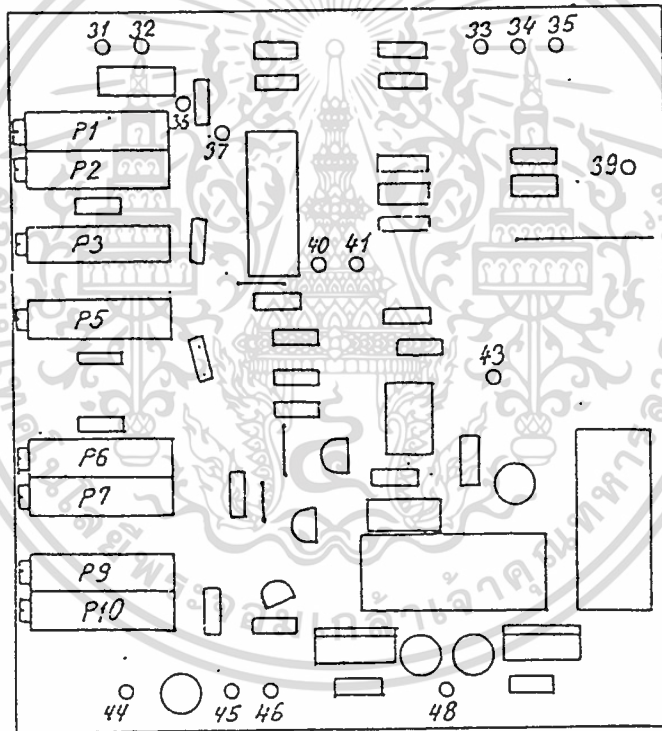
P5 : RTD, PT-1000 zero adjustment

P6 : RTD, PT-1000 gain adjustment

P7 : RTD, PT-1000 off-set adjustment

P9 : RTD, PT-1000 off-set adjustment

P10 : mean thermal power adjustment



รูปที่ 4.2 แสดง Processboard

ขาที่	แรงดัน	รายละเอียด	อุปกรณ์
31	common	grounding electronics	-
32	common	supply voltage	set-potentiometer
33	0 to 6 Vdc	set/read voltage	"set/read" switch
34	common	supply voltage	ext. probe+anal.socket

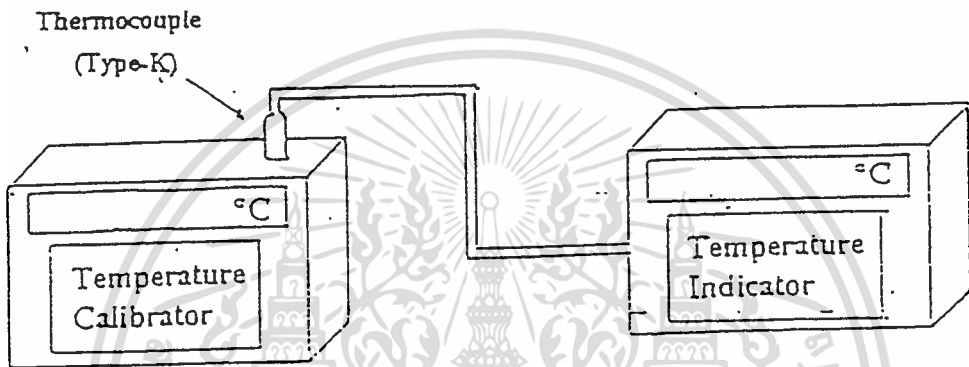
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาที่	แรงดัน	รายละเอียด	อุปกรณ์
35	common	supply voltage	int. RTD-sensor
36	0 to 6.06 Vdc	set voltage supply	set potentiometer
37	0 to 6 Vdc	set voltage	“set” switch, °C switch
39	0 to 1 Vdc	excitation voltage	“ext/int” switch
40	0.32 to 11.12 Vdc	°F voltage	“of” switch, display
41	0 to 6 Vdc	read voltage	“read” switch
43	1.10 Vdc	at 30 °C/ 86 °F	“ext/int” switch
43	1.77 Vdc	at 200 °C/ 392 °F	“ext/int” switch
44	appr. 6.1 Vdc	supply voltage	set potentiometer
45	common	low signal	displayboard pin 51
46	common	supply voltage	powerboard pin 21
48	18 Vac	power supply	powerboard pin 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 ความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การหาค่าความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยการประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์ตามรูปที่ 4.3



#### รูปที่ 4.3 แสดงการทดลองหาค่าความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

จากนั้นเปิด Switch จ่ายไฟเข้าเครื่องมือสอบเทียบวัดอุณหภูมิที่ประดิษฐ์ขึ้นแล้วโยก Switch "Set/Read" บน Panel ไปตำแหน่ง "Set" แล้วปรับค่าอุณหภูมิ จนอ่านค่าบนจอแสดงผลได้เป็น 30 °C จากนั้นโยก Switch มาที่ "Read" รอจนกระทั่งจอแสดงผลอ่านค่าได้เท่ากับอุณหภูมิที่ Set ไว้ บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.1 อ่านค่าที่ Thermometer เพื่อเปรียบเทียบและบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.1 จากการอ่านค่าทั้งสองแบบ จากสมการด้านล่างแล้วบันทึกค่าที่ได้ในตารางบันทึกผลการทดลอง

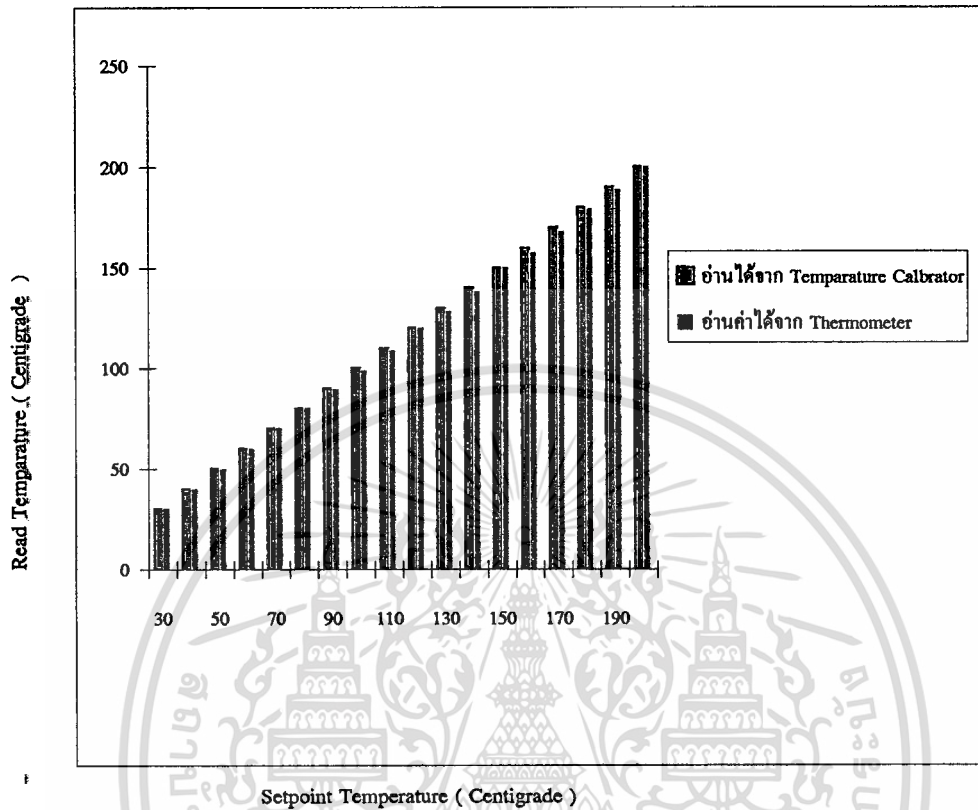
ค่าผิดพลาด = ค่าจาก Thermometer - ค่าจากเครื่องมือสอบเทียบวัดอุณหภูมิ (สมการ 4.1)

## ตารางผลการทดลอง

ค่าอุณหภูมิ ( °C) ที่ Set ไว้	ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จาก		ค่าผิดพลาด
	เครื่องมือสอบเทียบ	Thermometer	
Ambiant	25	25.4	0.4
30	30	31	1
40	40	40.4	0.4
50	50	50.6	0.6
60	60	60.7	0.7
70	70	71	1
80	80	81	1
90	90	90.2	0.2
100	100	99.6	-0.4
110	110	109.7	-0.3
120	120	121	1
130	130	129	-1
140	140	138.8	-1.2
150	150	151	1
160	160	158.5	-1.5
170	170	169	-1
180	180	180.2	0.2
190	190	189.7	-0.3
200	200	201	1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองหาค่าความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

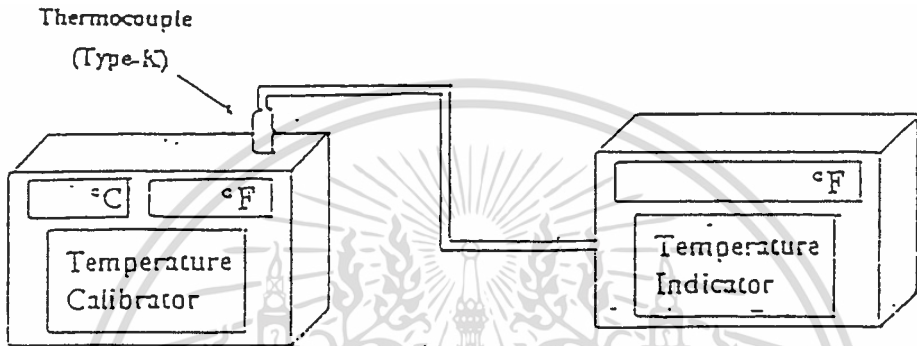


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความแม่นยำของเครื่องมือสอบเทียบอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.9 หาค่าความผิดพลาดในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ

การหาค่าความผิดพลาดในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิโดยการประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์ตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการทดลองหาค่าความผิดพลาดในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ

จากนั้นเปิด Switch ข่ายไฟเข้าเครื่องมือสอบเทียบวัดอุณหภูมิที่ประดิษฐ์ขึ้นแล้ว โยก Switch “Set/Read” บน Panel ไปตำแหน่ง “Set” แล้วปรับค่าอุณหภูมิ จนอ่านค่าบนจอแสดงผลได้เป็น 30 °C จากนั้นโยก Switch มาที่ “Read” รอจนกระทั่งจอแสดงผลอ่านค่าได้เท่ากับ อุณหภูมิที่ Set ไว้ แล้วโยก Switch °C/°F มาที่ °F เพื่ออ่านค่าในหน่วย °F และบันทึกค่าที่อ่านได้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.2 อ่านค่าอุณหภูมิที่ Thermometer เพื่อเปรียบเทียบและบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.2

ทำซ้ำตามขั้นตอนข้างบน ทุกๆ ค่าตามตารางบันทึกผลการทดลอง

คำนวณหาค่าความผิดพลาด จากการอ่านค่าทั้งสองแบบจากสมการด้านล่าง แล้วบันทึกค่าที่ได้ในตารางบันทึกผลการทดลอง

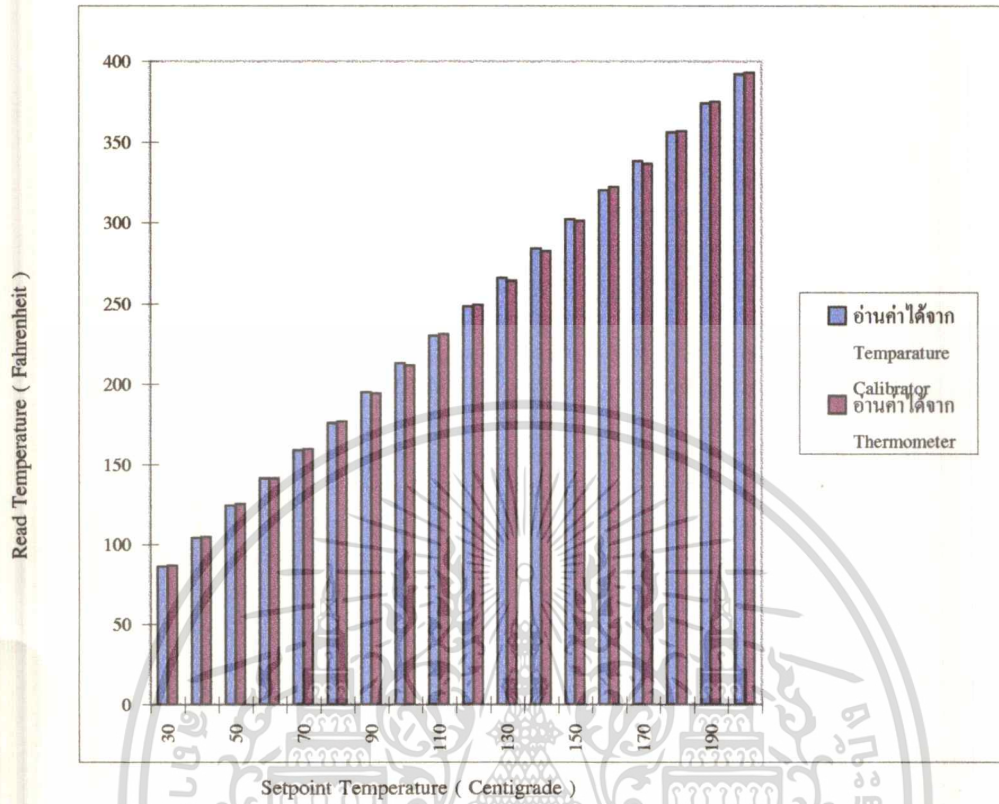
$$\text{ค่าผิดพลาด} = \text{ค่าจาก Thermometer} - \text{ค่าจากเครื่องมือสอบเทียบวัดอุณหภูมิ} \quad (\text{สมการ 4.2})$$

## ตารางผลการทดลอง

ค่าอุณหภูมิ (°C) ที่ Set ไว้	ค่าอุณหภูมิ (°F) ที่อ่านได้จาก		ค่าผิดพลาด (°F)
	เครื่องมือสอบเทียบ	Thermometer	
Ambiant	77	77.7	0.7
30	86	86.5	0.5
40	104	104.7	0.7
50	124	125	1
60	141	141.3	0.3
70	159	159.6	0.6
80	176	176.8	0.8
90	195	194.4	-0.6
100	213	211.7	-1.3
110	230	231	1
120	248	249	1
130	266	264.2	-1.8
140	284	282.4	-1.6
150	302	301	-1
160	320	322	2
170	338	336.3	-1.7
180	356	356.4	0.4
190	374	375	1
200	392	393	1

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความถูกต้องในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

บทสรุป

เนื่องจากการ Calibrate เราไม่สามารถที่จะหา Praceable Precision Thermometer ที่มีความถูกต้องกว่า  $0.1^{\circ}\text{C}$  ได้เราจึงใช้เครื่องมือที่มีความถูกต้อง  $\pm 0.3\%$  ของค่าที่อ่านได้ทำให้ค่าที่อ่านได้จึงไม่ถูกต้องมากนักแต่ค่าความถูกต้องยังอยู่ในขอบเขตที่เราตั้งไว้คือ  $\pm 1\%$  สิ่งที่ได้จากการทดลองเราจะพบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแต่ละแบบจะมีความไวในการตอบสนองที่ไม่เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบแก้ว, Thermocouple ที่มีขนาดของ Probe ที่ใหญ่และ Thermocouple ที่มีขนาดของ Probe เล็กที่อุณหภูมิเดียวกันในเวลาที่เหมาะสมจะอ่านค่าได้ไม่เท่ากัน ที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เทอร์มิเตอร์แบบแก้วอ่านได้  $98^{\circ}\text{C}$ , Thermocouple แบบ Probe ใหญ่อ่านค่าได้  $97^{\circ}\text{C}$ , Thermocouple แบบ Probe เล็กอ่านค่าได้  $101^{\circ}\text{C}$ , Display ของ Unit อ่านค่าได้  $100^{\circ}\text{C}$  แต่เมื่อทิ้งระยะเวลาประมาณ 10 นาที ค่าที่เครื่องมือทั้งสองจะอ่านได้ใกล้เคียงกัน

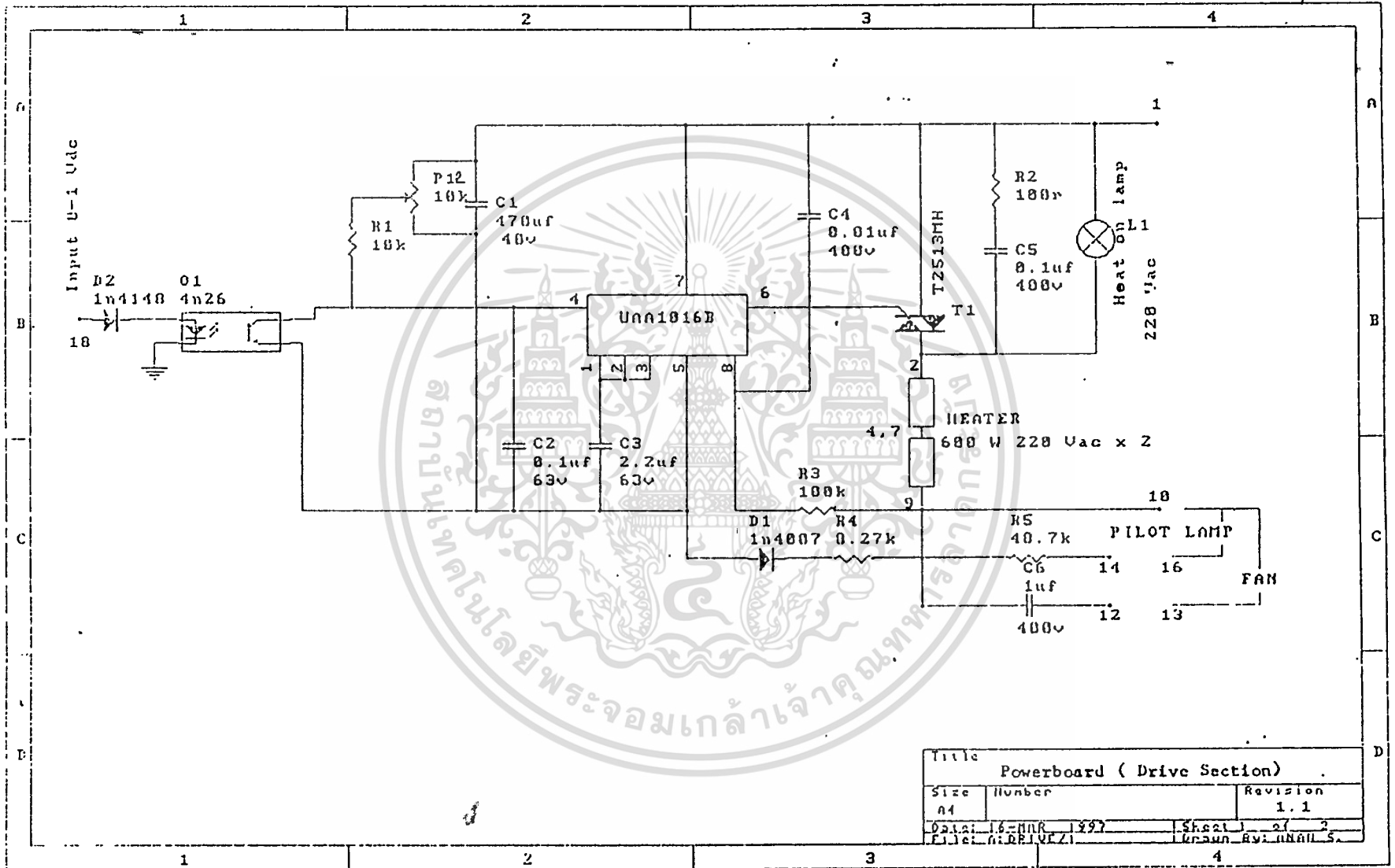
สิ่งที่ได้จากการทดลองอีกอย่างหนึ่งคือ การที่จะทำให้ RTD อ่านค่าได้เที่ยงตรงเราจะต้องทำการควบคุมค่ากระแสที่จ่ายเลี้ยง RTD ให้อยู่ใน Specification ที่ทางบริษัทผู้ผลิตให้มา เพื่อป้องกันผลของ Self Heating โดยใช้วงจรคงค่ากระแส (Constat Current) แทนวงจรอินสตุรเมนเตชัน-แอมพลิไฟเออร์ และ ลดผลของสัญญาณรบกวนโดยเปลี่ยนจาก RTD 100 เป็น RTD 1000 ซึ่งจะ ทำให้ขนาดสัญญาณที่ได้จากตัว RTD มีขนาดสูงขึ้น



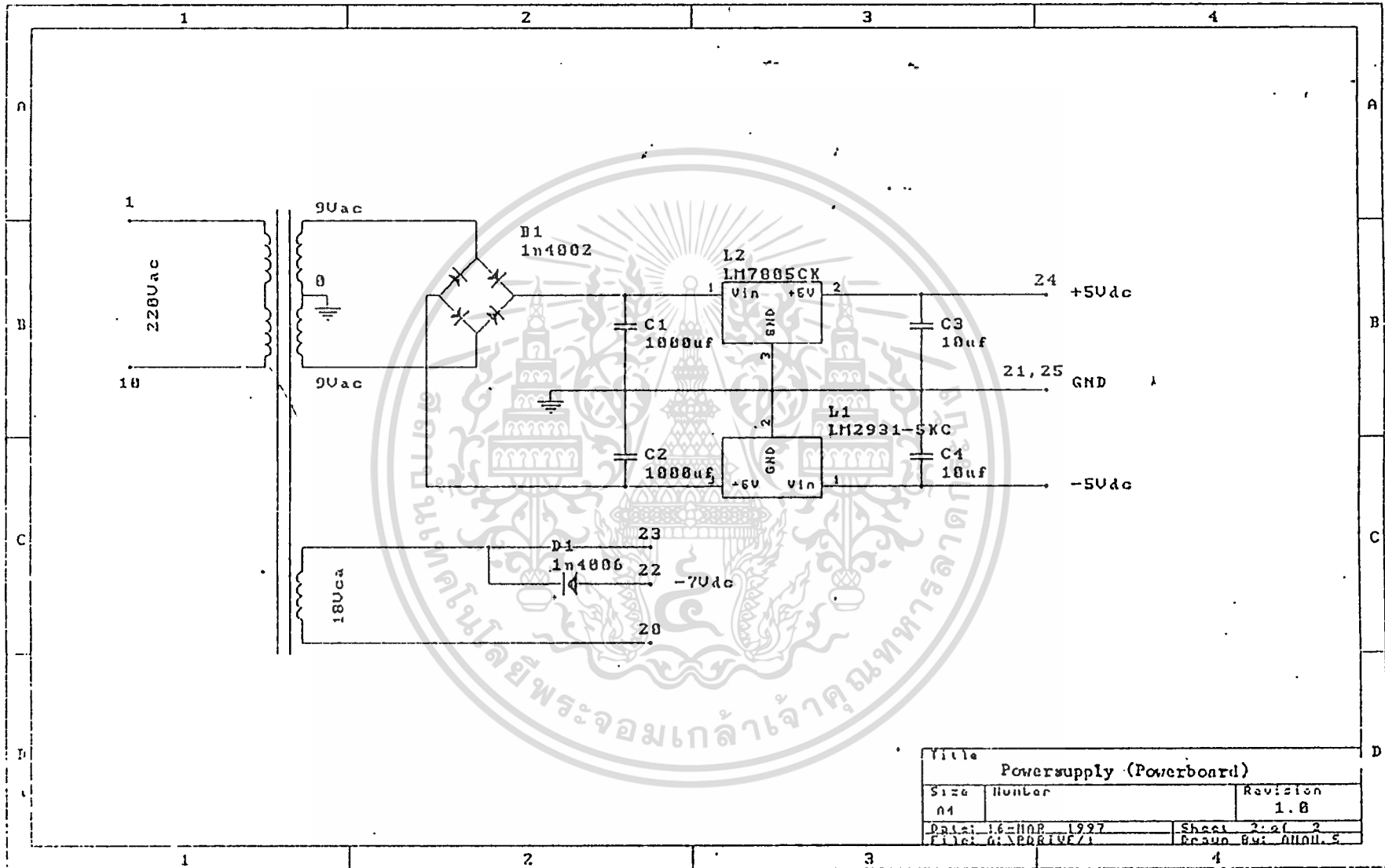
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



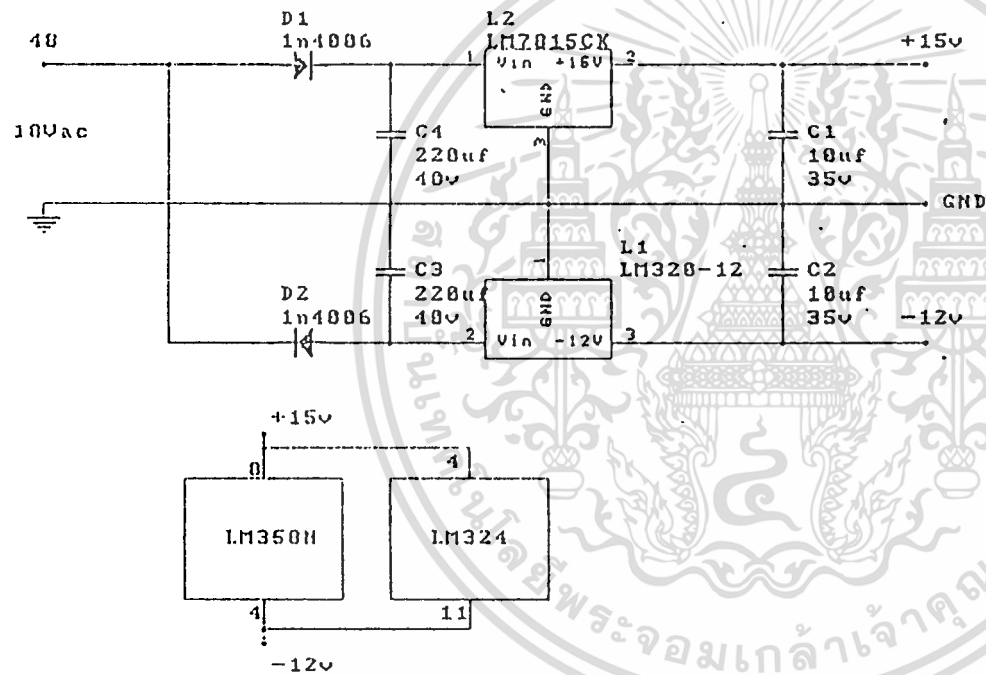
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



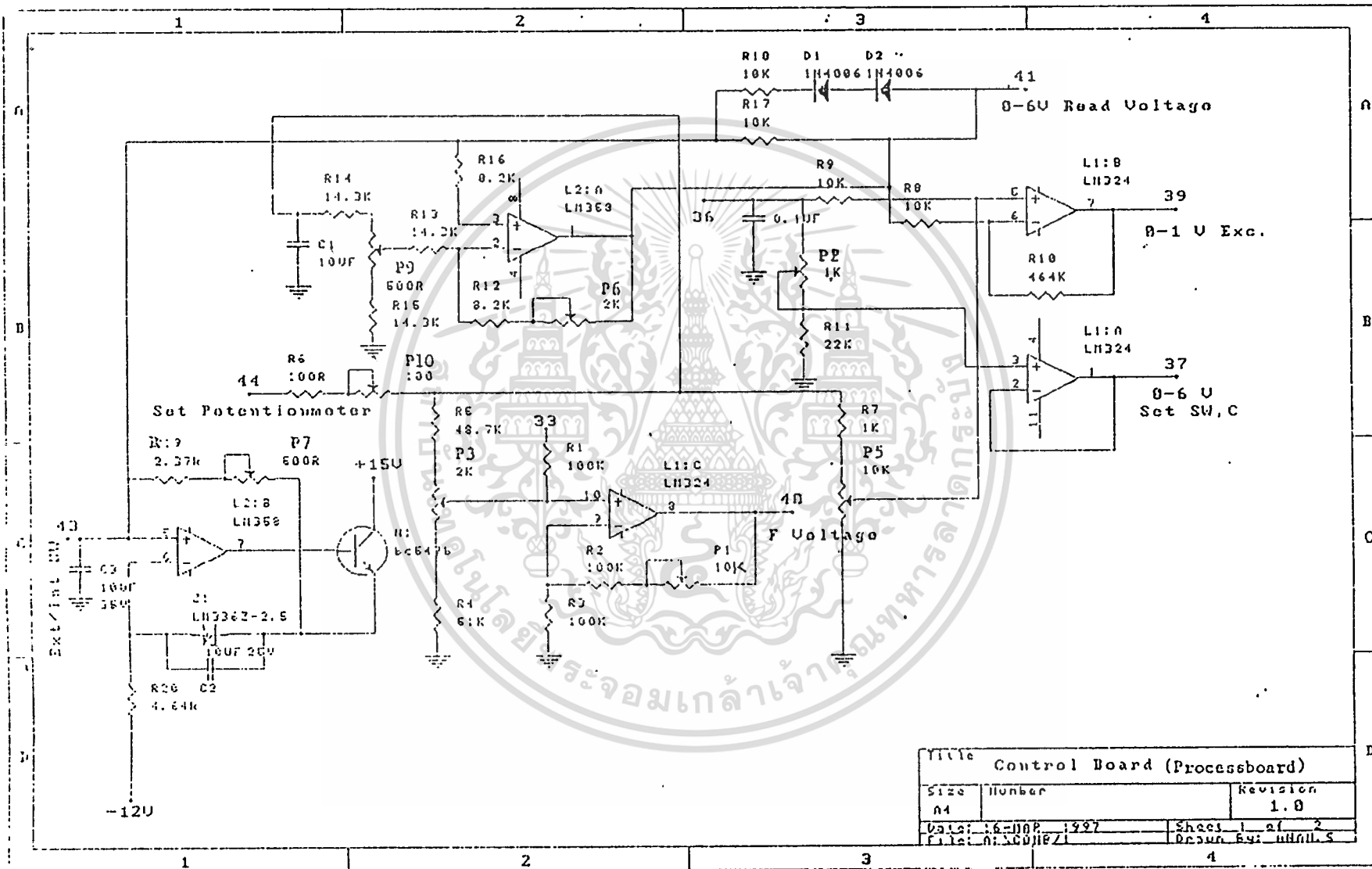
Title		
Powerboard ( Drive Section )		
Size	Number	Revision
A4		1.1
Date: 16-MAR-1997	Sheet	of 2
File: A:DRIVEZ1	Drawn By: UNAIL S.	



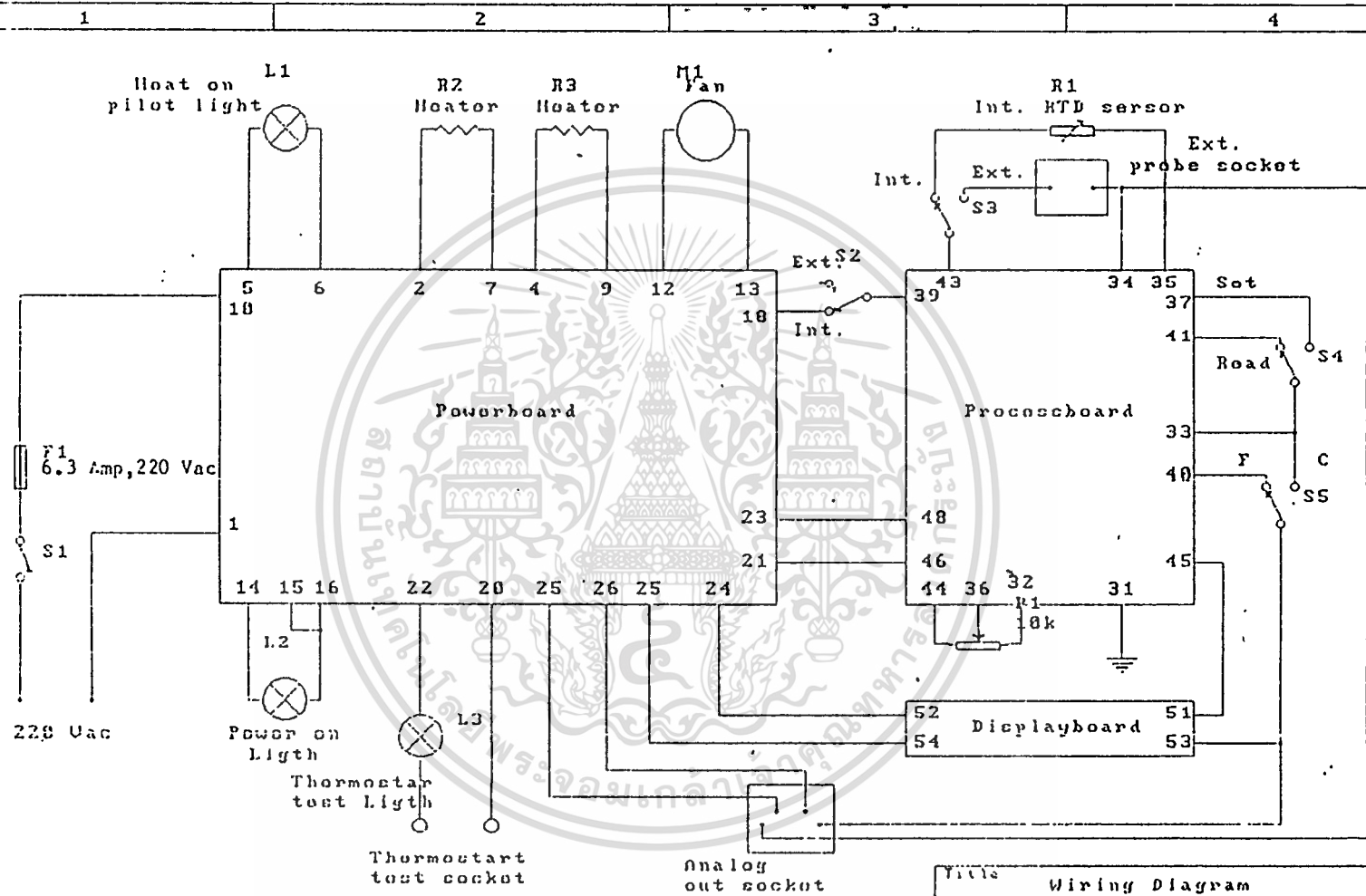
Title		
Powersupply (Powerboard)		
Size	Number	Revision
A4		1.0
Date: 16-11-97	Sheet 2 of 2	
File: 012081V2/1	Drawn by: ANON.S	



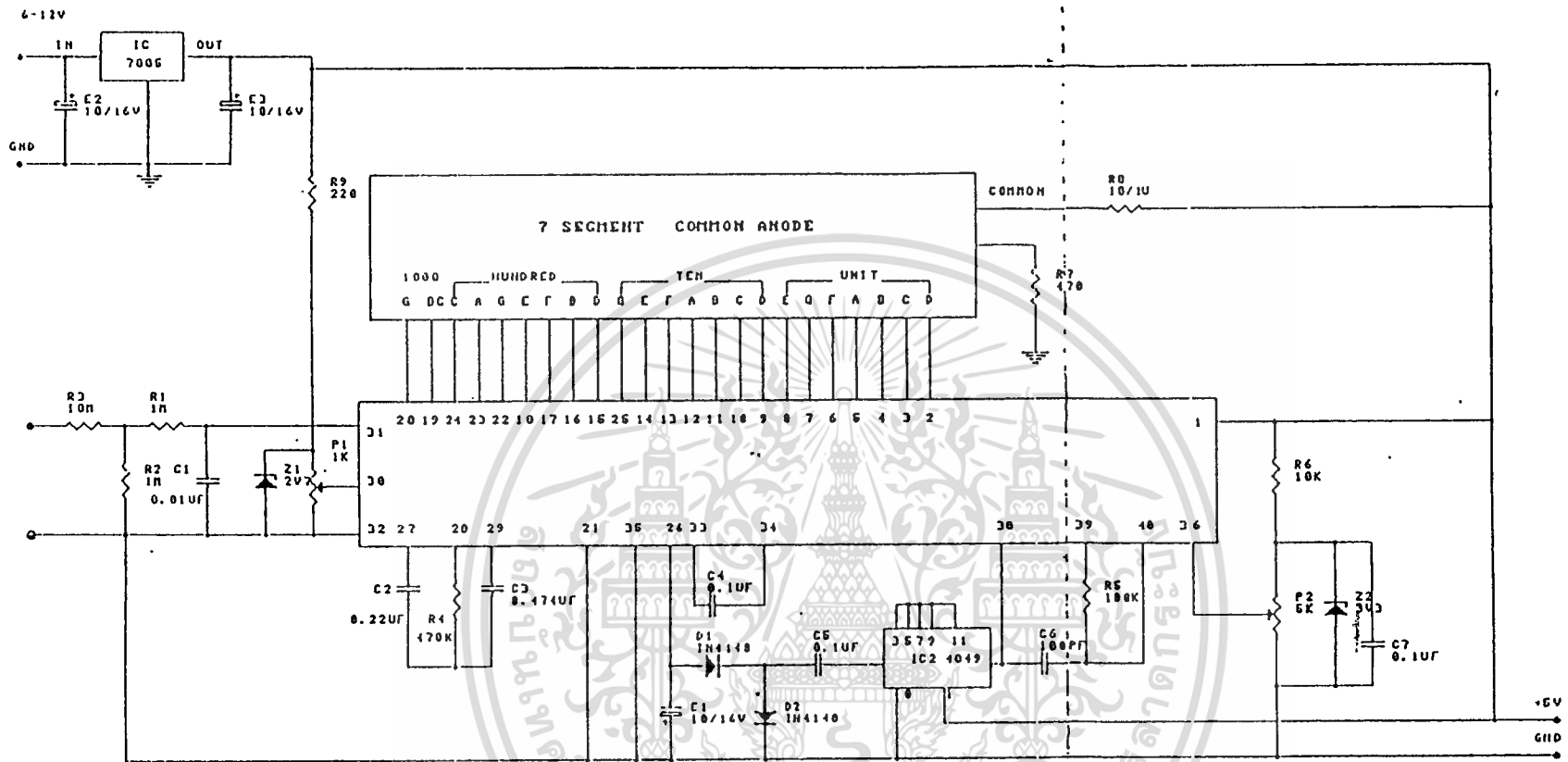
Title Power supply (Processboard)		
Size A4	Number	Revision 1.1
Date: 16-JUN-1997	Sheet: 2 of 2	
File: 012000/1	Drawn: RYI-BILAL-S	



TITLE Control Board (Processboard)		
Size A4	Number	Revision 1.0
Date: 16-10-1997	Sheet: 1 of 2	Drawn By: WIRIL S
File: 015001P21		



Title		
Wiring Diagram		
Size	Number	Revision
A4		1.0
Date:	12-11-97	Sheet 1 of 1
File:	A:\WIRING\1	Drawn By: Anas

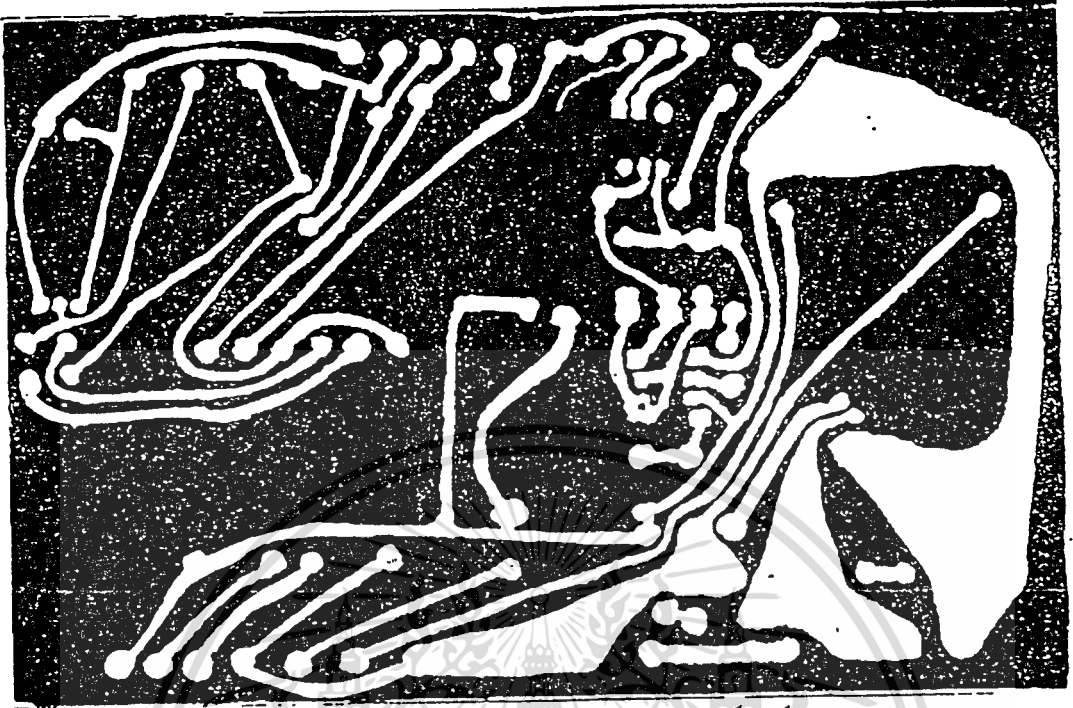


Title		
DISPLAY SECTION		
Size	Number	Revision
A3		1.0
Drawn	Checked	Approved
P.11-001	1236	S. S. S.
P.11-002/1		Drawn Evi S.era

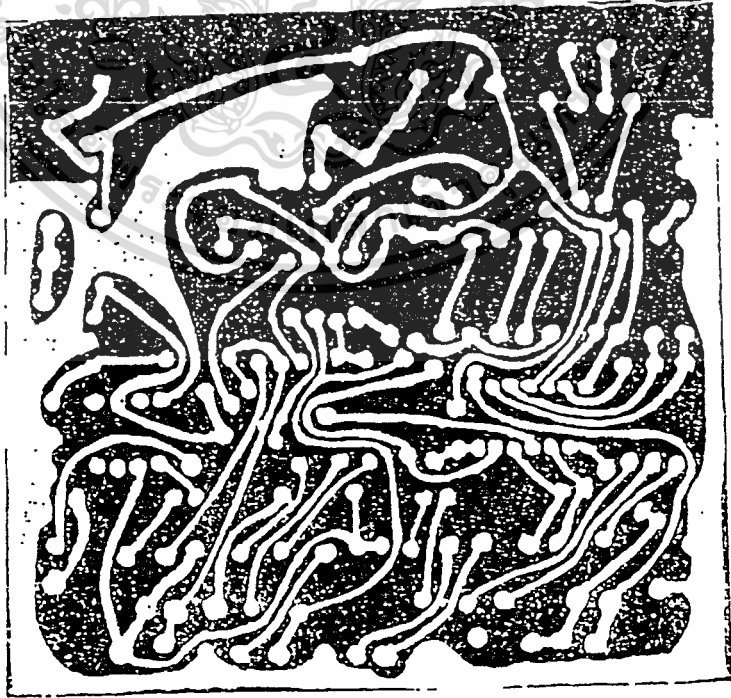




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงลายทองแดงภาคหน้าเวอรับอรต



รูปแสดงลายทองแดงภาคโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

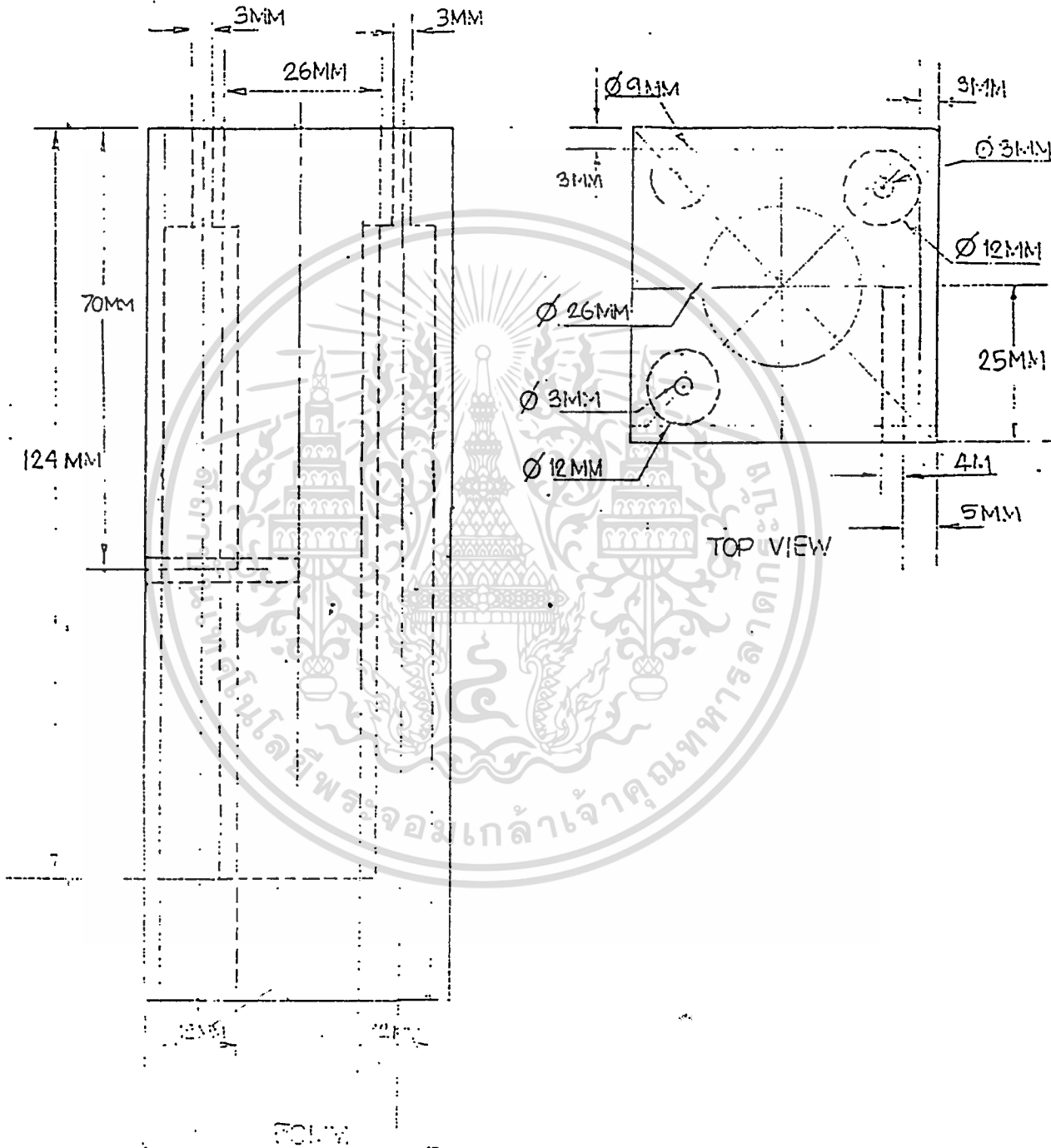


ork **รูปแสดงขนาด Heating Well (Right Side View)**

Calculated by \_\_\_\_\_

**(Top View)**

Date \_\_\_\_\_

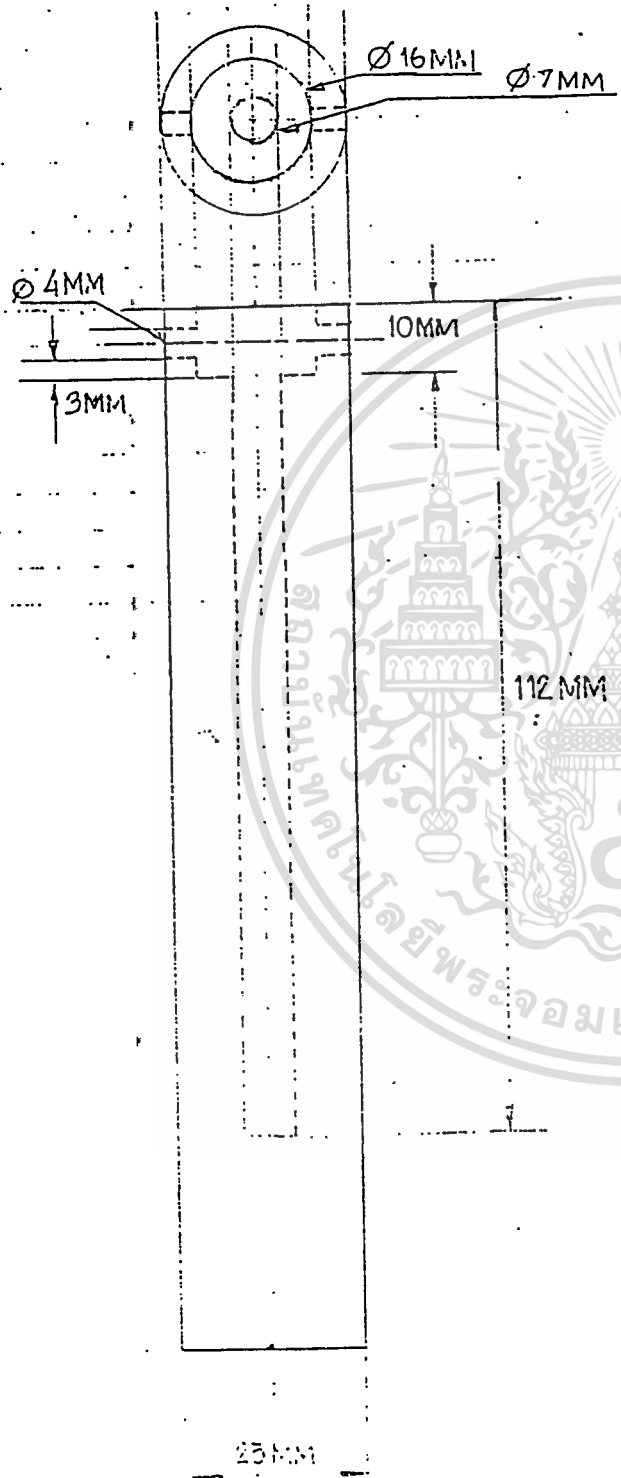


Side View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Work รูปแสดงขนาด Inserts 7 mm

Calculated by \_\_\_\_\_  
Date \_\_\_\_\_



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Work รูปแสดงขนาด Inserts 13 mm

Calculated by \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

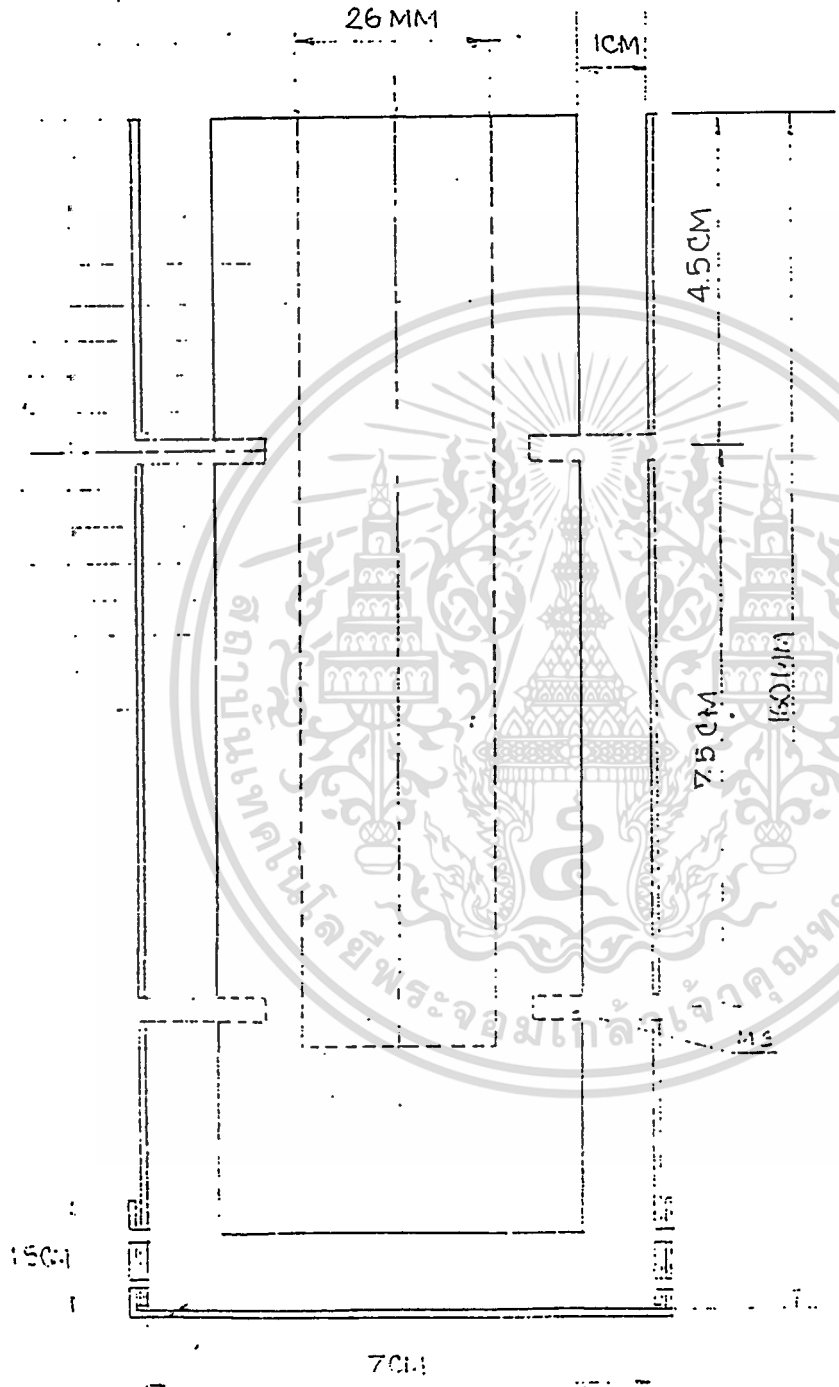


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Work **รูปแสดงตำแหน่งเจาะยึดกบ Casing Sheet**

Calculated by \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

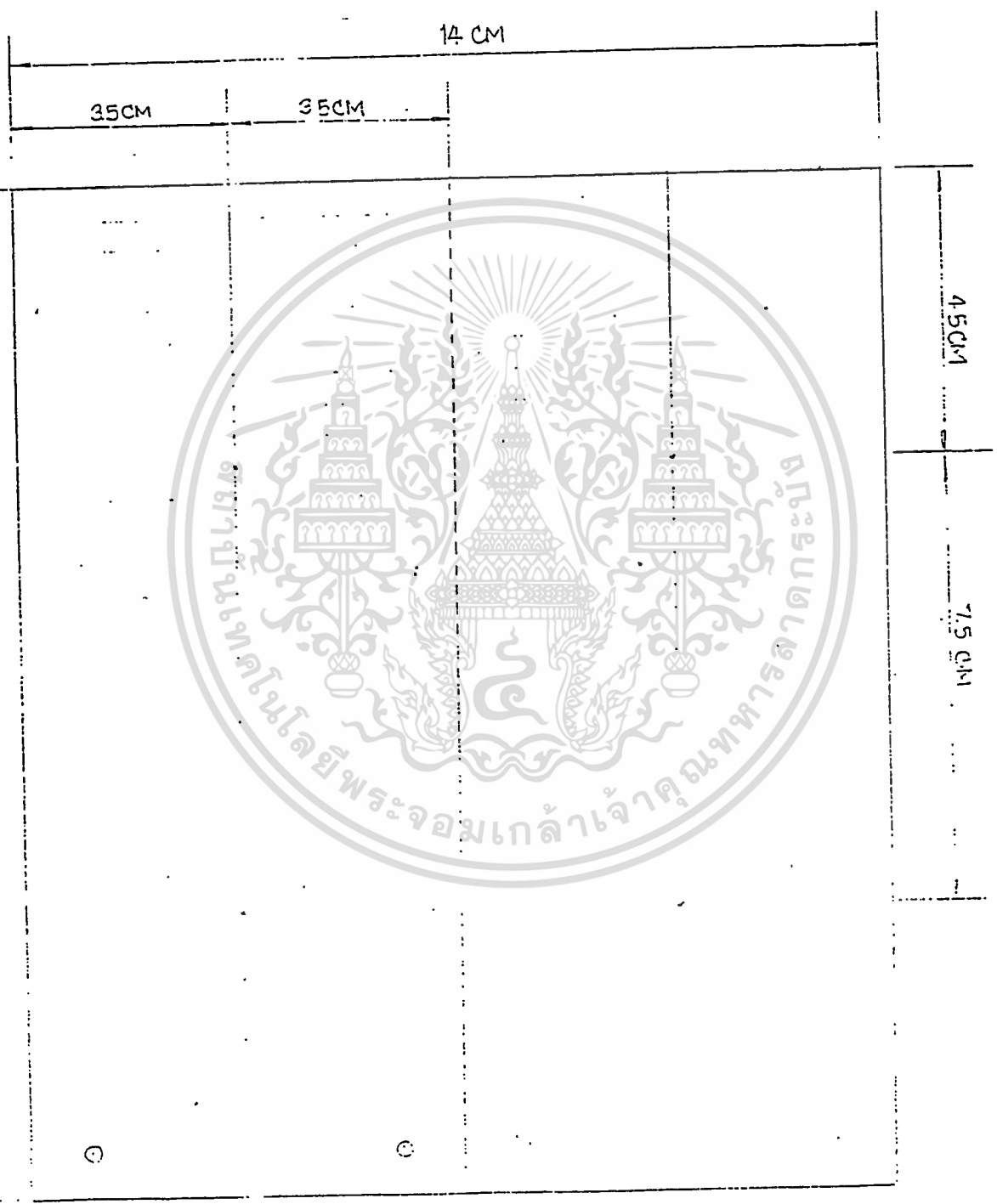


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Work รูปแสดงขนาด Casing Sheet

Calculated by \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



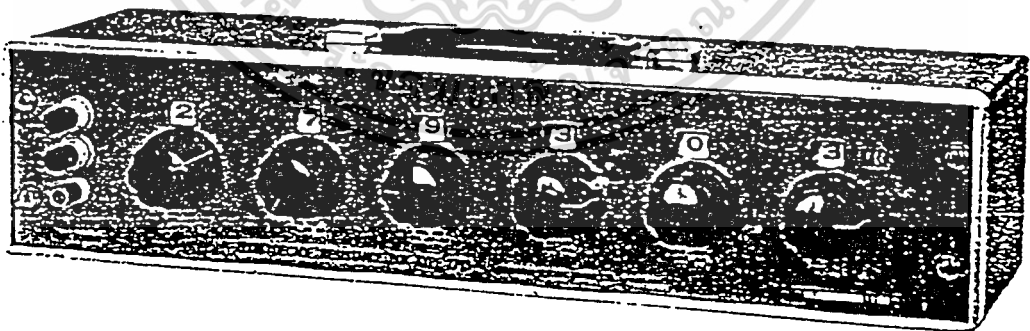
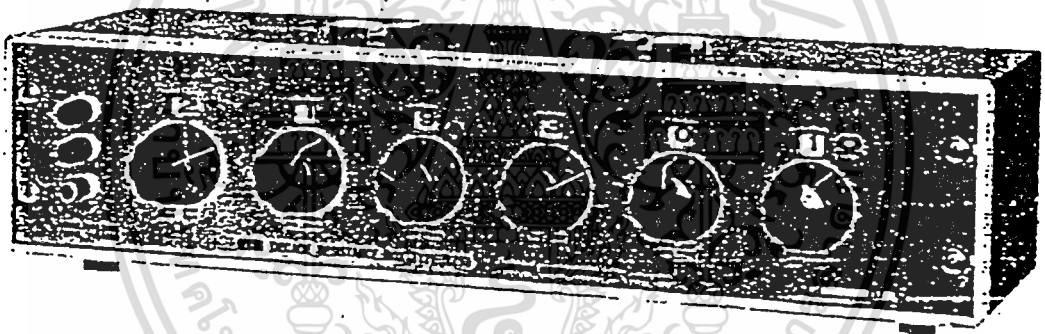
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Instruction Manual

Type 2793-01

2793-03

DECADE RESISTANCE BOX



YOKOGAWA 

2nd Edition

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันที่ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด (IM 2793-01E)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE YEW Type 3793 DECADE RESISTANCE BOX is most reliable instrument developed by YEW's latest techniques and long experience. To operate your Type 2793 at its full capability for a longer life, please read carefully the instructions contained in this manual.

## CONTENTS

	Page
General .....	1
Specifications .....	2
Circuit Diagram .....	3
Appendix .....	5~6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GENERAL

The Types 2793-01 and -03 Resistance Boxes are high-accuracy variable resistors with 6 dials. Setting of these instruments is easy over wide resistance range.

Type 2793-01 has resistance range of 0.1 to 1111.210 $\Omega$  in 1m $\Omega$  steps and accuracy of  $\pm 0.01\%$ . It is best suited for calibration of resistance thermometers.

Type 2793-03 has resistance range of 0 to 111.1110 M $\Omega$  in 100 $\Omega$  steps and accuracy of  $\pm 0.05\%$ . It is best suited for calibration of insulation resistance testers.

These Decade Resistance Boxes employ in-line display system, and rack-mounting is possible.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SPECIFICATIONS

## Type 2793-03

### Type 2793-01

#### Resistance Range:

Maximum Resistance : 1111.210 ohms  
 Minimum Resistance : 0.100 ohms  
 Decade : 6  
 Resolution : 0.001 ohms

Accuracy: ±(0.01% + 2 milliohms)

#### Calibration Condition:

Temperature : 23°C ±2°C  
 Humidity : 45~75%  
 Measurement Power : Max. 0.1 watts

#### Temperature Coefficient:

Dial T.C.	100 ohms step	10 ohms step	1 ohms step	0.1 ohms step	(unit)
$\alpha_{20}$	-5 ~ +10	-5 ~ +20	Approx.* 90 ~ 20	Approx.* 900 ~ 90	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
$\beta$	-0.3 ~ -0.7		-	-	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^2$

$$R_t = R_{20} \{ 1 + \alpha_{20} (t-20) + \beta (t-20)^2 \}$$

$R_t$  : Resistance Value at  $t^{\circ}\text{C}$

$R_{20}$  : Resistance Value at  $20^{\circ}\text{C}$

\* Including T.C. of wiring and switches resistance ( $60\mu\Omega/^{\circ}\text{C}$ )

#### Power Limitation:

Maximum : 0.25 watts per step.  
 Maximum : 1 watt total.  
 Temperature Raise : Less than 30°C at maximum power rating.

#### Maximum Current:

100 ohms step : 50 milliamperes  
 10 ohms step : 150 milliamperes  
 1 ohms step : 500 milliamperes  
 0.1 ohms step : 1.5 amperes

#### Insulation Resistance:

More than 500 MΩ (DC 500 volts) between panel and circuit

#### Dielectric Voltage:

AC 1,000 volts, 1 min between panel and circuit

#### Dimensions:

Width : 491mm  
 Height : 110mm, approx. 128mm including handle and feet.  
 Depth : 140mm, approx. 172mm including knobs and feet.  
 Weight : Approx. 4.8kg (net.) (10.6 lbs)

Resistance range : 0 ~ 111.1110MΩ

Dial Composition : 100Ω × 10 + 1kΩ × 10 + 10kΩ × 10 + 100kΩ × 10 + 1MΩ × 10 + 10MΩ × 10

Accuracy : 100Ω, 1kΩ, 10kΩ and 100kΩ steps . . . ±(0.05% + 0.05Ω)  
 1MΩ, and 10MΩ steps . . . . ±0.2% (At temperature 23°C ±2°C humidity below 75%, including residual resistance approx. 0.05Ω.)

#### Maximum allowable voltage or current:

100Ω step . . . . . 100 mA  
 1kΩ step . . . . . 30 mA  
 10kΩ step . . . . . 10 mA  
 100kΩ step . . . . . 3 mA  
 (100kΩ ~ 600kΩ) 2,000 V  
 (700kΩ ~ 1000kΩ) 2,000 V  
 1MΩ step . . . . . 2,000 V  
 10MΩ step . . . . . 2,000 V

#### Temperature coefficient: (0 ~ 40°C)

100Ω, 1kΩ step . . . . .  
 $\alpha_{20} = (-2 \sim +20) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$   
 $\beta = -(0.3 \sim 0.7) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^2$   
 10kΩ, 100kΩ, 1MΩ, 10MΩ step ±30 × 10<sup>-6</sup>/°C

Variation of resistance according to temperature change is shown in the following equation:

$$R_t = R_{20} \{ 1 + \alpha_{20} (t - 20) + \beta (t - 20)^2 \}$$

where  $R_t$ : Resistance value at  $t^{\circ}\text{C}$

$R_{20}$ : Resistance value at  $20^{\circ}\text{C}$

Insulation resistance : More than 10<sup>11</sup>Ω at 1,000 V DC between panel and circuit

Dielectric voltage : 2500 V DC for 1 minute between panel and circuit

#### Dimensions:

Width : 491mm  
 Height : 110mm, approx. 125mm including handle and feet.  
 Depth : 172mm, approx. including knobs and feet.

Weight : Approx. 5.3 kg (net) (11.7 lbs)

Type 2793-01

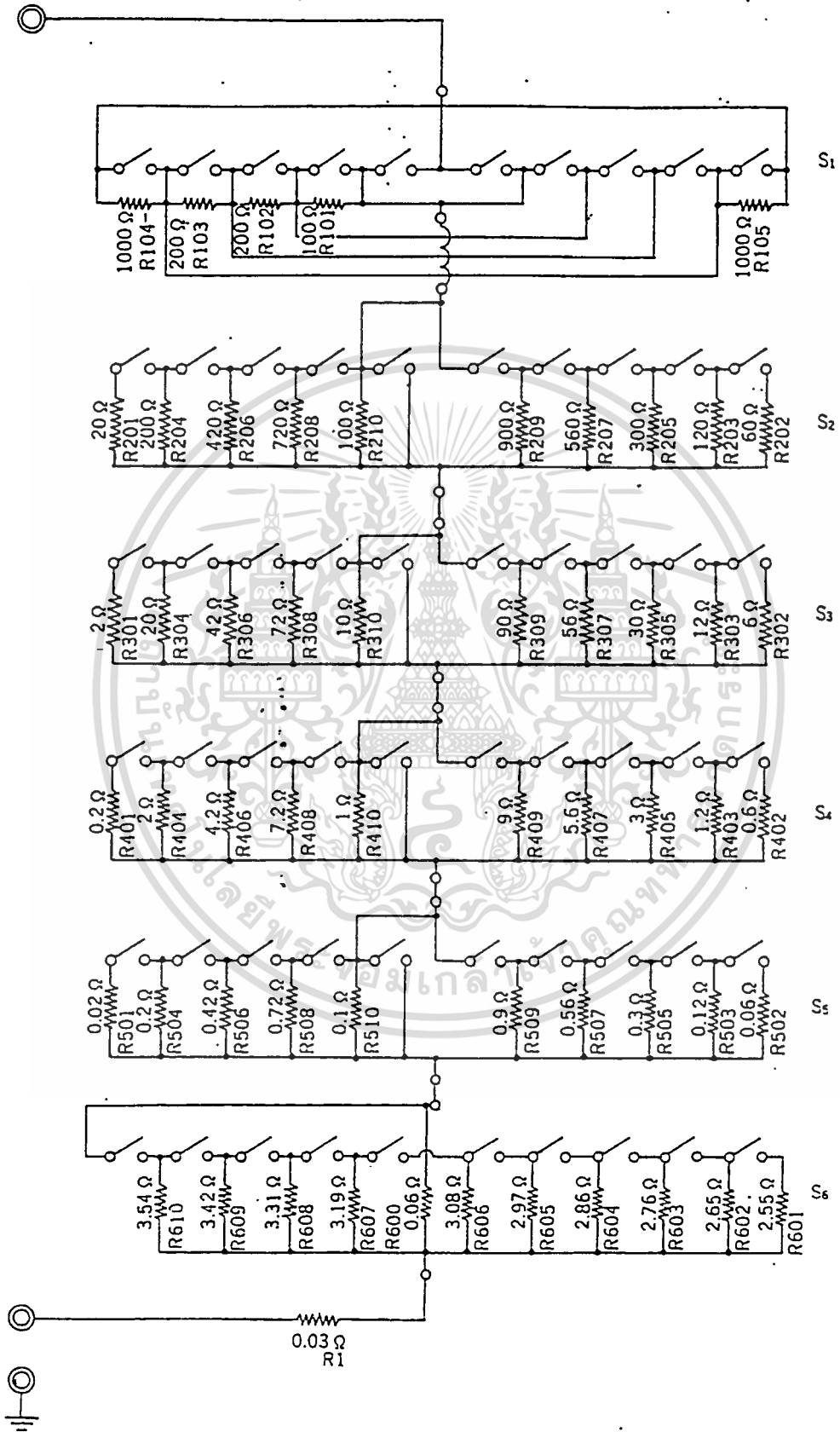


Fig. 1-1 Circuit Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type 2793-03

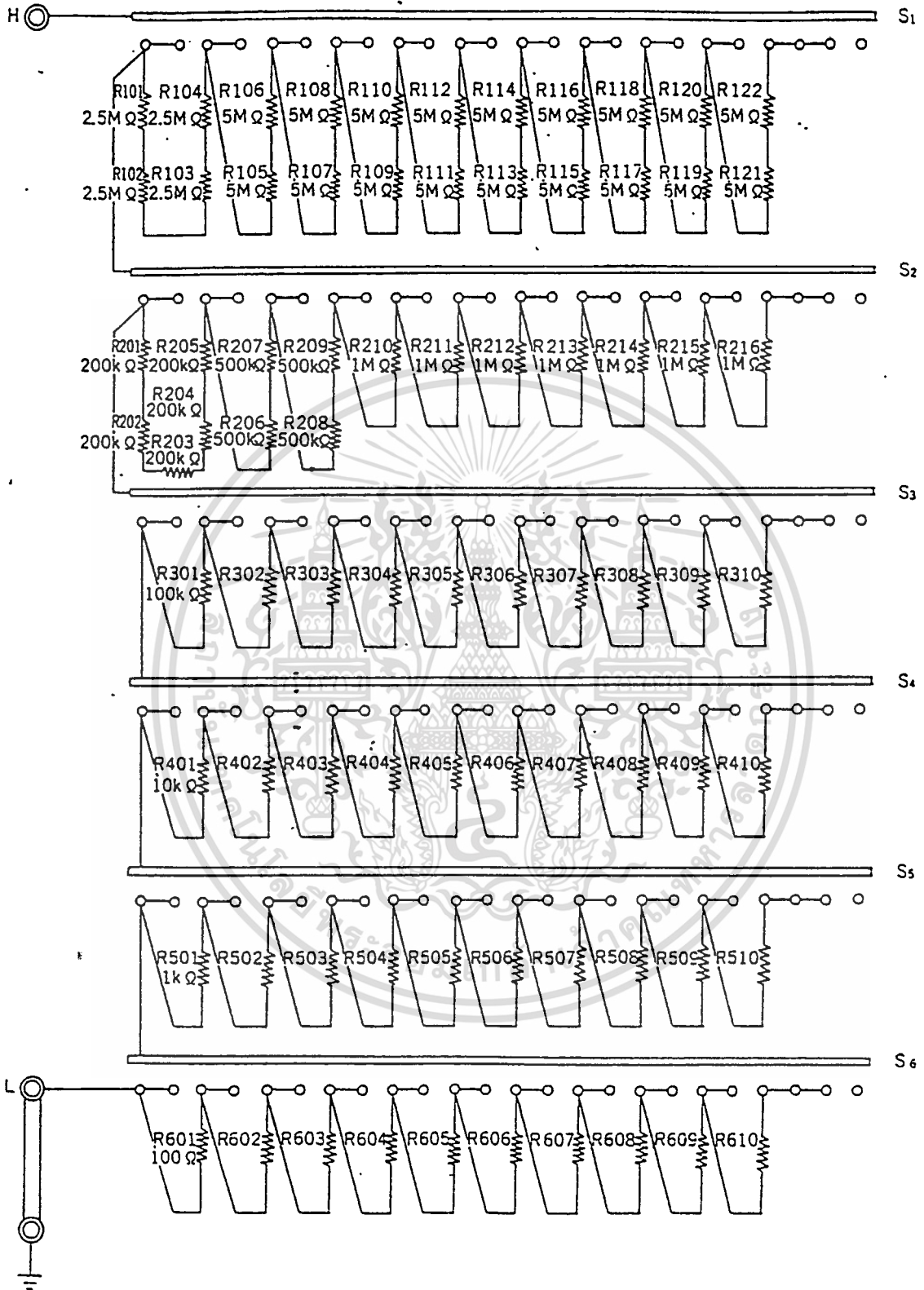


Fig. 1-2 Circuit Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. PLATINUM RESISTANCE BULB

#### 3.1 Platinum RTD Temperature/Resistance Data based on JIS C 1609-1981

These table show the value of resistance of RTD (Resistance Temperature Detector) at different temperatures from -200 to 630°C. Sensors are Rt/Ro platinum resistance bulbs based on JIS (Japanese Industrial Standard) C 1604:1981, in which the resistance values are shown down to 4th decimal in 10°C step.

In the table, the resistance values are shown down to 6th decimal. The JIS data can be obtained from the table by rounding off the 5th decimal.

Table 3.1-1

°C	0°C	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	0.171362									
-190	0.214619	0.210280	0.205942	0.201606	0.197273	0.192943	0.188616	0.184295	0.179978	0.175667
-180	0.258016	0.253681	0.249344	0.245005	0.240666	0.236325	0.231984	0.227642	0.223301	0.218959
-170	0.301247	0.296936	0.292622	0.288305	0.283986	0.279663	0.275339	0.271011	0.266682	0.262350
-160	0.344186	0.339907	0.335624	0.331338	0.327049	0.322757	0.318461	0.314162	0.309860	0.305555
-150	0.386800	0.382554	0.378304	0.374050	0.369794	0.365534	0.361271	0.357005	0.352735	0.348463
-140	0.429099	0.424882	0.420663	0.416441	0.412216	0.407988	0.403756	0.399522	0.395285	0.391044
-130	0.471106	0.466918	0.462727	0.458533	0.454336	0.450137	0.445935	0.441730	0.437522	0.433312
-120	0.512854	0.508690	0.504524	0.500355	0.496184	0.492011	0.487835	0.483657	0.479476	0.475292
-110	0.554368	0.550226	0.546083	0.541937	0.537789	0.533638	0.529486	0.525331	0.521174	0.517015
-100	0.595673	0.591552	0.587428	0.583303	0.579175	0.575046	0.750914	0.566781	0.562645	0.558508
-90	0.636789	0.632685	0.628580	0.624473	0.620364	0.616254	0.612141	0.608027	0.603911	0.599793
-80	0.677729	0.673642	0.669554	0.665464	0.661373	0.657280	0.653185	0.649088	0.644990	0.640890
-70	0.718506	0.714435	0.710363	0.706289	0.702214	0.698137	0.694058	0.689978	0.685897	0.681814
-60	0.759129	0.755073	0.751016	0.746957	0.742897	0.738836	0.734773	0.730708	0.726642	0.722575
-50	0.799606	0.795564	0.791522	0.787478	0.783432	0.779385	0.775337	0.771287	0.767236	0.763183
-40	0.839944	0.835916	0.831887	0.827857	0.823825	0.819792	0.815757	0.811721	0.807684	0.803646
-30	0.880148	0.876133	0.872117	0.868100	0.864082	0.860062	0.856041	0.852019	0.847995	0.843970
-20	0.920223	0.916221	0.912218	0.908214	0.904208	0.900201	0.896193	0.892184	0.888173	0.884161
-10	0.960173	0.956183	0.952193	0.948201	0.944208	0.940213	0.936218	0.932221	0.928223	0.924224
-0	1.000000	0.996022	0.992044	0.988064	0.984084	0.980101	0.976118	0.972134	0.968148	0.964161

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000000	1.003976	1.007951	1.011924	1.015897	1.019868	1.023838	1.027807	1.031774	1.035741
10	1.039706	1.043670	1.047632	1.051594	1.055554	1.059513	1.063471	1.067427	1.071382	1.075336
20	1.079289	1.083241	1.087191	1.091141	1.095089	1.099035	1.102981	1.106925	1.110868	1.114810
30	1.118751	1.122690	1.126629	1.130566	1.134501	1.138436	1.142369	1.146302	1.150233	1.154162
40	1.158091	1.162018	1.165944	1.169869	1.173793	1.177715	1.181637	1.185557	1.189475	1.193393
50	1.197310	1.201225	1.205139	1.209052	1.212963	1.216874	1.220783	1.224691	1.228598	1.232503
60	1.236408	1.240311	1.244213	1.248113	1.252013	1.255911	1.259809	1.263705	1.267599	1.271493
70	1.275385	1.279276	1.283166	1.287055	1.290943	1.294829	1.298714	1.302598	1.306481	1.310362
80	1.314243	1.318122	1.322000	1.325877	1.329752	1.333627	1.337500	1.341372	1.345243	1.349112
90	1.352981	1.356848	1.360714	1.364579	1.368443	1.372305	1.376166	1.380026	1.383885	1.387743
100	1.391600	1.395455	1.399309	1.403162	1.407014	1.410864	1.414714	1.418562	1.422409	1.426255
110	1.430099	1.433943	1.437785	1.441626	1.445466	1.449305	1.453142	1.456978	1.460813	1.464647
120	1.468480	1.472312	1.476142	1.479971	1.483799	1.487626	1.491452	1.495276	1.499100	1.502922
130	1.506743	1.510563	1.514381	1.518199	1.522015	1.525830	1.529644	1.533456	1.537268	1.541078
140	1.544887	1.548695	1.552502	1.556308	1.560112	1.563915	1.567717	1.571518	1.575318	1.579116
150	1.582914	1.586710	1.590505	1.594299	1.598091	1.601883	1.605673	1.609462	1.613250	1.617037

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
160	1.620823	1.624607	1.628390	1.632172	1.635953	1.639733	1.643511	1.647289	1.651065	1.654840
170	1.658614	1.662387	1.666158	1.669928	1.673698	1.677466	1.681232	1.684998	1.688763	1.692525
180	1.696288	1.700049	1.703809	1.707567	1.711325	1.715081	1.718836	1.722590	1.726343	1.730094
190	1.733845	1.737594	1.741342	1.745089	1.748835	1.752579	1.756323	1.760065	1.763806	1.767546
200	1.771285	1.775022	1.778759	1.782494	1.786228	1.789961	1.793692	1.797423	1.801152	1.804881
210	1.808608	1.812334	1.816058	1.819782	1.823504	1.827225	1.830945	1.834664	1.838382	1.842099
220	1.845814	1.849528	1.853241	1.856953	1.860664	1.864373	1.868082	1.871789	1.875495	1.879200
230	1.882904	1.886606	1.890307	1.894008	1.897707	1.901405	1.905101	1.908797	1.912491	1.916185
240	1.919877	1.923567	1.927257	1.930946	1.934633	1.938319	1.942004	1.945688	1.949371	1.953053
250	1.956733	1.960412	1.964090	1.967767	1.971443	1.975118	1.978791	1.982463	1.986135	1.989804
260	1.993473	1.997141	2.000807	2.004473	2.008137	2.011800	2.015461	2.019122	2.022781	2.026440
270	2.030097	2.033753	2.037408	2.041061	2.044714	2.048365	2.052015	2.055664	2.059312	2.062959
280	2.066604	2.070249	2.073892	2.077534	2.081175	2.084814	2.088453	2.092090	2.095726	2.099361
290	2.102995	2.106628	2.110259	2.113890	2.117519	2.121147	2.124774	2.128399	2.132024	2.135647
300	2.139270	2.142891	2.146511	2.150129	2.153747	2.157363	2.160978	2.164592	2.168205	2.171817
310	2.175428	2.179037	2.182645	2.186252	2.189858	2.193463	2.197067	2.200669	2.204270	2.207870
320	2.211469	2.215067	2.218664	2.222259	2.225853	2.229446	2.233038	2.236629	2.240219	2.243807
330	2.247394	2.250980	2.254565	2.258149	2.261732	2.265313	2.268893	2.272472	2.276050	2.279627
340	2.283203	2.286777	2.290350	2.293923	2.297494	2.301063	2.304632	2.308199	2.311766	2.315331
350	2.318895	2.322457	2.326019	2.329579	2.333139	2.336697	2.340254	2.343809	2.347364	2.350917
360	2.354470	2.358021	2.361571	2.365119	2.368667	2.372213	2.375759	2.379303	2.382845	2.386387
370	2.389928	2.393467	2.397005	2.400542	2.404078	2.407613	2.411147	2.414679	2.418210	2.421740
380	2.425269	2.428797	2.432323	2.435848	2.439373	2.442896	2.446417	2.449938	2.453457	2.456976
390	2.460493	2.464009	2.467524	2.471037	2.474550	2.478061	2.481571	2.485080	2.488588	2.492094
400	2.495600	2.499104	2.502607	2.506109	2.509609	2.513109	2.516607	2.520104	2.523600	2.527095
410	2.530589	2.534081	2.537573	2.541063	2.544552	2.548039	2.551525	2.555010	2.558495	2.561979
420	2.565461	2.568941	2.572421	2.575899	2.579376	2.582852	2.586327	2.589801	2.593273	2.596744
430	2.600214	2.603683	2.607151	2.610618	2.614083	2.617547	2.621010	2.624472	2.627932	2.631392
440	2.634850	2.638307	2.641763	2.645218	2.648671	2.652124	2.655575	2.659025	2.662474	2.665921
450	2.669368	2.672813	2.676257	2.679700	2.683142	2.686582	2.690022	2.693460	2.696897	2.700332
460	2.703767	2.707200	2.710633	2.714064	2.717493	2.720922	2.724350	2.727776	2.731201	2.734625
470	2.738048	2.741469	2.744889	2.748309	2.751726	2.755143	2.758559	2.761973	2.765386	2.768798
480	2.772209	2.775619	2.779027	2.782434	2.785840	2.789245	2.792649	2.796051	2.799453	2.802853
490	2.806252	2.809649	2.813046	2.816441	2.819835	2.823228	2.826620	2.830010	2.833400	2.836788
500	2.840175	2.843560	2.846945	2.850328	2.853710	2.857091	2.860471	2.863850	2.867227	2.870603
510	2.873978	2.877352	2.880724	2.884096	2.887466	2.890835	2.894202	2.897569	2.900934	2.904298
520	2.907661	2.911023	2.914384	2.917743	2.921101	2.924458	2.927814	2.931168	2.934522	2.937874
530	2.941225	2.944574	2.947923	2.951270	2.954616	2.957961	2.961305	2.964647	2.967988	2.971328
540	2.974667	2.978005	2.981341	2.984676	2.988010	2.991343	2.994675	2.998005	3.001334	3.004662
550	3.007989	3.011314	3.014639	3.017962	3.021284	3.024604	3.027924	3.031242	3.034559	3.037875
560	3.041189	3.044503	3.047815	3.051126	3.054436	3.057744	3.061051	3.064357	3.067662	3.070966
570	3.074268	3.077570	3.080870	3.084168	3.087466	3.090762	3.094057	3.097351	3.100644	3.103935
580	3.107226	3.110515	3.113802	3.117089	3.120374	3.123658	3.126941	3.130223	3.133503	3.136783
590	3.140061	3.143337	3.146613	3.149887	3.153160	3.156432	3.159703	3.162972	3.166240	3.169507
600	3.172773	3.176037	3.179301	3.182563	3.185824	3.189083	3.192342	3.195599	3.198854	3.202109
610	3.205363	3.208615	3.211866	3.215115	3.218364	3.221611	3.224857	3.228102	3.231346	3.234588
620	3.237829	3.241069	3.244307	3.247545	3.250781	3.254016	3.257249	3.260482	3.263713	3.266943
630	3.270172	3.273399	3.276625	3.279850	3.283074	3.286297	3.289518	3.292738	3.295957	3.299174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# RESISTANCE/TEMPERATURE TABLES

Contact Minco for complete tables in 1°C or 1°F increments.

## Platinum Elements

Element Code Resistance at 0°C CR (1/1/°C) Minco R/T Table	PA 25.5 Ω .003926 1-25	PA 100 Ω .003926 1-100	PB 100 Ω .00391 11-100	PD, PE 100 Ω .00385 5-100	PK 200 Ω .003926 1-200	PN 200 Ω .00385 5-200	PL 470 Ω .003926 1-470	PH 500 Ω .003926 1-500	PP 500 Ω .00391 11-500	PG 500 Ω .00385 5-500	PF 1000 Ω .00385 5-1000
Temperature (°C)	Resistance (Ohms)										
-200	4.33	17.00	17.26	18.49	33.99	36.99	79.88	84.98	86.30	92.47	184.93
-180	6.56	25.72	25.97	27.08	51.44	54.16	120.88	128.59	129.84	135.39	270.78
-160	8.75	34.31	34.54	35.53	68.63	71.06	161.28	171.57	172.72	177.66	355.31
-140	10.91	42.50	43.01	43.87	85.60	87.74	201.15	213.99	215.03	219.35	438.69
-120	13.05	51.19	51.37	52.11	102.37	104.21	240.57	255.93	256.83	260.53	521.06
-100	15.17	59.49	59.64	60.25	118.97	120.51	279.58	297.43	298.19	301.27	602.54
-80	17.27	67.71	67.83	68.33	135.42	136.65	318.23	338.55	339.17	341.63	683.25
-60	19.35	75.37	75.96	76.33	151.73	152.66	356.57	379.33	379.80	381.64	763.28
-40	21.41	83.96	84.03	84.27	167.93	168.54	394.63	419.82	420.13	421.36	842.71
-20	23.46	92.01	92.04	92.16	184.01	184.32	432.43	460.03	460.19	460.80	921.60
0	25.50	100.00	100.00	100.00	200.00	200.00	470.00	500.00	500.00	500.00	1000.00
20	27.53	107.95	107.92	107.79	215.89	215.59	507.35	539.73	539.58	538.96	1077.93
40	29.54	115.85	115.78	115.54	231.69	231.08	544.47	579.23	578.92	577.70	1155.39
60	31.54	123.70	123.60	123.24	247.39	246.48	581.38	618.49	618.02	616.20	1232.39
80	33.53	131.50	131.38	130.89	263.01	261.79	618.06	657.51	656.90	654.46	1308.93
100	35.51	139.26	139.11	138.50	278.52	277.00	654.53	696.31	695.54	692.50	1385.00
120	37.48	146.97	146.79	146.08	293.94	292.12	690.77	734.86	733.94	730.30	1460.61
140	39.43	154.64	154.42	153.58	309.27	307.15	726.79	773.18	772.11	767.88	1535.75
160	41.37	162.25	162.01	161.04	324.51	322.09	762.59	811.27	810.05	805.22	1610.43
180	43.31	169.82	169.55	168.46	339.65	336.93	798.18	849.12	847.75	842.32	1684.65
200	45.22	177.35	177.04	175.84	354.70	351.68	833.54	886.74	885.22	879.20	1758.40
220	47.13	184.82	184.49	183.17	369.65	366.34	868.68	924.12	922.46	915.84	1831.68
240	49.02	192.25	191.89	190.45	384.51	380.90	903.59	961.27	959.46	952.25	1904.51
260	50.91	199.64	199.24	197.69	399.27	395.37	938.29	998.18	996.22	988.43	1976.86
280	52.78	206.97	206.55	204.88	413.94	409.75	972.77	1034.86	1032.76	1024.38	2048.76
300	54.64	214.26	213.81	212.02	428.52	424.04	1007.03	1071.31	1069.06	1060.09	2120.19
320	56.48	221.50	221.02	219.12	443.01	438.23	1041.06	1107.51	1105.12	1095.58	2191.15
340	58.32	228.70	228.19	226.17	457.39	452.33	1074.88	1143.49	1140.95	1130.83	2261.66
360	60.14	235.85	235.31	233.17	471.69	466.34	1108.47	1179.23	1176.55	1165.85	2331.69
380	61.95	242.95	242.38	240.13	485.89	480.25	1141.85	1214.73	1211.91	1200.63	2401.27
400	63.75	250.00	249.41	247.04	500.00	494.08	1175.00	1250.00	1247.04	1235.19	2470.38
420	65.54	257.01	256.39	253.90	514.01	507.80	1207.93	1285.03	1281.94	1269.51	2539.02
440	67.31	263.97	263.32	260.72	527.93	521.44	1240.64	1319.83	1316.60	1303.60	2607.20
460	69.07	270.88	270.21	267.49	541.76	534.98	1273.14	1354.40	1351.03	1337.46	2674.92
480	70.83	277.75	277.04	274.22	555.49	548.43	1305.41	1388.73	1385.22	1371.09	2742.17
500	72.56	284.57	283.84	280.90	569.13	561.79	1337.46	1422.83	1419.18	1404.48	2808.96
520	74.29	291.34	290.58	287.53	582.67	575.06	1369.28	1456.69	1452.91	1437.64	2875.29
540	76.01	298.06	297.28	294.11	596.12	588.23	1400.89	1490.31	1486.40	1470.57	2941.15
560	77.71	304.74	303.93	300.65	609.48	601.31	1432.23	1523.70	1519.66	1503.27	3006.54
580	79.40	311.37	310.54	307.15	622.74	614.29	1463.45	1556.86	1552.63	1535.74	3071.47
600	81.08	317.96	317.09	313.59	635.91	627.19	1494.39	1589.78	1585.47	1567.97	3135.94
620	82.75	324.49	323.60	319.99	648.99	639.99	1525.12	1622.47	1618.02	1599.97	3199.95
640	84.40	330.95	330.07	326.35	661.97	652.70	1555.62	1654.92	1650.35	1631.74	3263.48
660	86.04	337.43	336.49	332.66	674.85	665.31	1585.91	1687.14	1682.43	1663.28	3326.56
680	87.67	343.82	342.86	338.92	687.65	677.83	1615.97	1719.12	1714.29	1694.59	3389.17
700	89.29	350.17	349.18	345.13	700.35	690.26	1645.81	1750.87	1745.91	1725.66	3451.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TELEDYNE SEMICONDUCTOR

## TSC7106 (LCD Drive) TSC7107 (LED Drive) 3 1/2 Digit A/D Converter

- Direct Display Drive
- Automatic Zero Correction

### General Description

The TSC7106 and TSC7107 3-1/2 digit CMOS analog-to-digital converters contain all the active components necessary to construct a 0.05% resolution measurement system. Seven segment decoders, polarity and digit drivers, voltage reference and clock circuit are integrated on chip. The TSC7106 drives liquid crystal displays (LCD) and includes a backplane driver. The TSC7107 drives common anode light emitting diode (LED) displays directly with an 8 mA drive current per segment.

A low cost, high resolution indicating meter requires only a display, four resistors, and four capacitors. The TSC7106 low power drain and 9 V battery operation make it ideal for portable applications.

The TSC7106/TSC7107 reduces linearity error to less than 1 count. Roll-over error—the difference in readings for equal magnitude but opposite polarity input signals—is below ±1 count. High impedance differential inputs offer 1 pA leakage current and a 10<sup>12</sup> Ω input impedance. The differential reference input allows ratio-metric measurements for ohms or inductance transducer measurements. The 15 μVp-p noise performance guarantees a "rock solid" reading. The auto-zero cycle guarantees a zero display reading with a zero volt input.

The TSC7106/TSC7107 dual side conversion technique automatically rejects interference signals if the converters

### Features

- Drives LCD or LED Displays Directly
- Guaranteed Zero Reading with Zero Input
- Low Noise for Stable Display
- -2,000 V or 200.0 mV Full-Scale Range
- Auto-Zero Cycle Eliminates Need for Zero Adjustment Potentiometer
- True Polarity Indication for Precision Null Applications
- Convenient 9 V Battery Operation (TSC7106)
- High Impedance CMOS-Differential Inputs ..... 10<sup>12</sup> Ω
- Differential Reference Inputs Simplify Ratio-metric Measurements
- Low Power Operation ..... 10 mW

integration time is set to a multiple of the interference signal period. This is especially useful in industrial measurement environments where 50, 60 and 400 Hz line frequency signals are present.

The TSC7106/TSC7107 are available in a small 50-pin flat package for compact designs. Standard devices are offered in an industrial temperature range and with burn-in testing for 160 hours at -125°C.

For applications requiring a more temperature stable internal reference voltage refer to the TSC7105A/T107A data sheets. A display hold feature is available on the TSC7116A and TSC7117A converters.

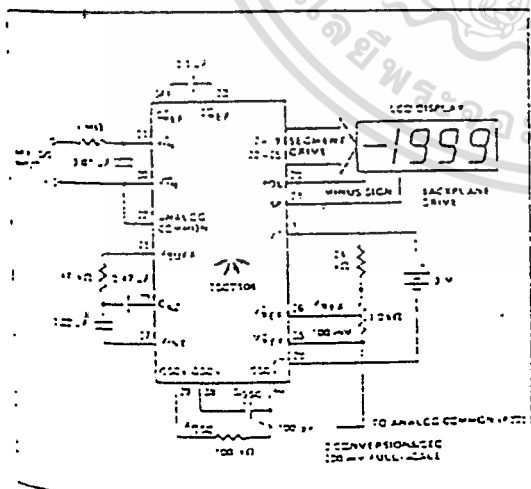


Figure 1: Typical TSC7106 Operating Circuit

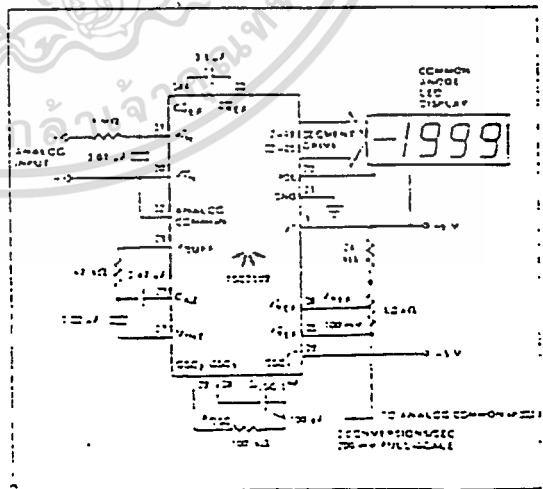


Figure 2: Typical TSC7107 Operating Circuit

TSC7106 (LCD Drive)  
TSC7107 (LED Drive)

3 1/2 Digit A/D Converter  
• Direct Display Drive  
• Automatic Zero Correction

### Pin Description (Cont.)

40-Pin DIP Pin Number Normal	(Reverse)	60-Pin Flat Package Pin Number	Name	Description
36	(5)	1	V <sub>REF</sub>	The analog input required to generate a full-scale output (1,999 counts). Place 100 mV between pins 35 and 36 for 199.9 mV full-scale. Place 1.00 volts between pins 35 and 36 for 2 volts full-scale. See paragraph on REFERENCE VOLTAGE.
37	(4)	3	Test	Lamp test. When pulled high (to V <sub>+</sub> ) all segments will be turned on and the display should read -1888. It may also be used as a negative supply for externally generated decimal points. See paragraph under TEST for additional information.
38	(3)	4	OSC <sub>3</sub>	See pin 40.
39	(2)	6	OSC <sub>2</sub>	See pin 40.
40	(1)	10	OSC <sub>1</sub>	Pins 40, 39, 38 make up the oscillator section. For a 48 kHz clock (3 readings per section) connect pin 40 to the junction of a 100 kΩ resistor and a 100 pF capacitor. The 100 kΩ resistor is tied to pin 39 and the 100 pF capacitor is tied to pin 38.

### Analog Section

Figure 3 shows the Block Diagram of the Analog Section for the TSC7106 and TSC7107. Each measurement cycle is divided into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) reference (REF).

#### Auto-Zero Phase

Input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog common. The reference capacitor is charged to the reference voltage. A feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C<sub>AZ</sub> to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A-Z accuracy is limited only by the noise of the system. The offset referred to the input is less than 10 μV.

#### Signal Integrate Phase

The auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between V<sub>IN</sub> and V<sub>IN</sub> for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common-mode range; within one volt of either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, V<sub>IN</sub> can be tied to analog common to establish the correct common-mode voltage. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

#### Reference Integrate Phase

The final phase is reference integrate or de-integrate. Input low is internally connected to analog common and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. The digital

reading displayed is:

$$1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

#### Differential Reference

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

#### Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common-mode range of the input amplifier, or specifically from 1.0 volts below the positive supply to 1.0 volt above the negative supply. In this range the system has a CMRR of 86 dB typical. However, since the integrator also swings with the common-mode voltage, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worse case condition would be a large positive common-mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common-mode voltage. For these critical applications the integrator swing can be reduced to less than the recommended 2 V full-scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing within 0.5 volts of either supply without loss of linearity.

3 1/2 Digit A/D Converter

- Direct Display Drive
- Automatic Zero Correction

TSC7106 (LCD Drive)  
TSC7107 (LED Drive)

Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

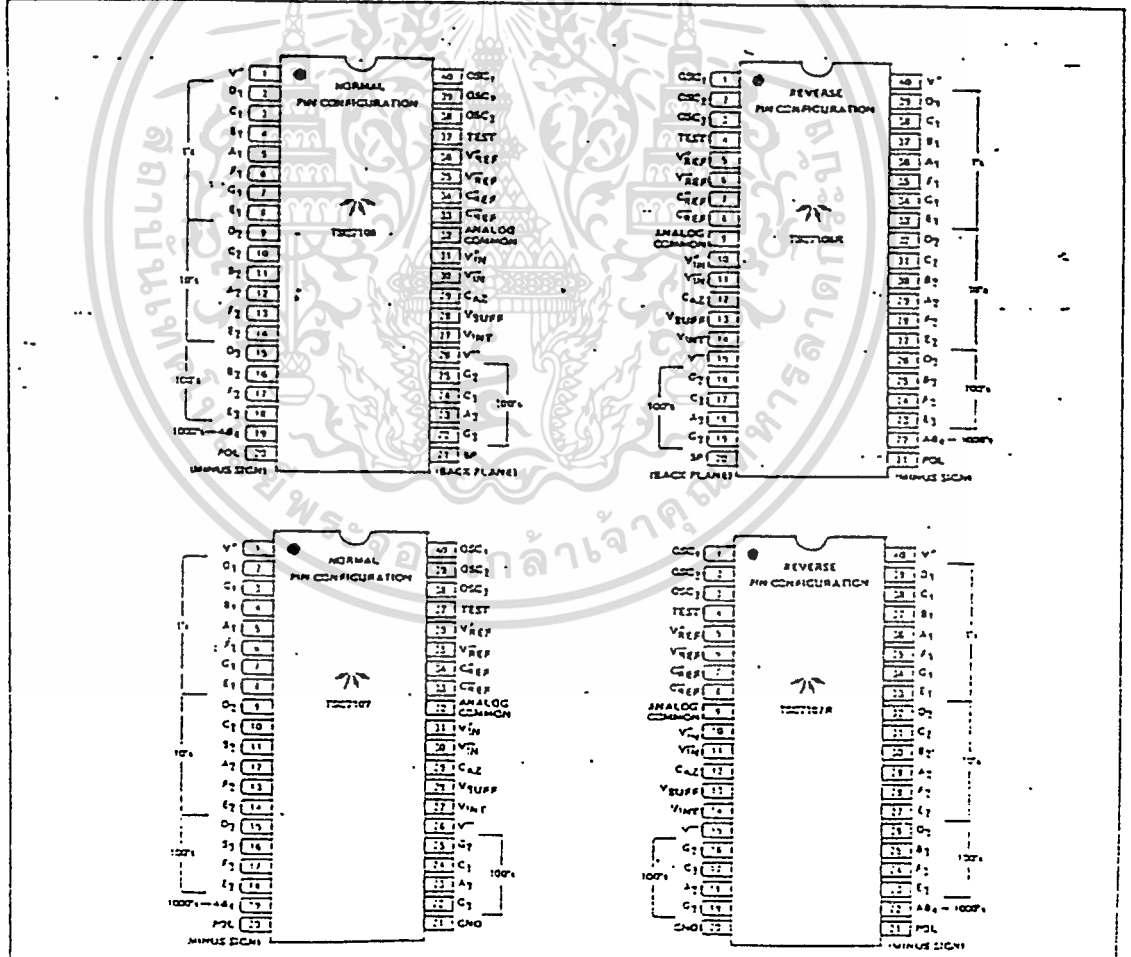
CHARACTERISTICS	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
TSC7107 ONLY Segment Sinking Current (Except Pin 19)	V* = 5.0 V Segment Voltage = 3 V	5	8.0*		mA
TSC7107 ONLY Segment Sinking Current (Pin 19 Only)	V* = 5.0 V Segment Voltage = 3 V	10	15	—	mA

NOTES:

1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to  $\pm 100 \mu\text{A}$ .
2. Classification rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.
3. Unless other wise noted, specifications apply to both the TSC7106 and TSC7107 at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $f_{\text{CONV}} = 48 \text{ kHz}$ . TSC7106 is tested in the circuit of

4. Figure 1. TSC7107 is tested in the circuit of Figure 2.
5. Refer to "Differential Input" discussion.
6. Backplane drivers in phase with segment drive for 'off' segment, 160° out of phase for 'on' segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average dc component is less than 50 mV.

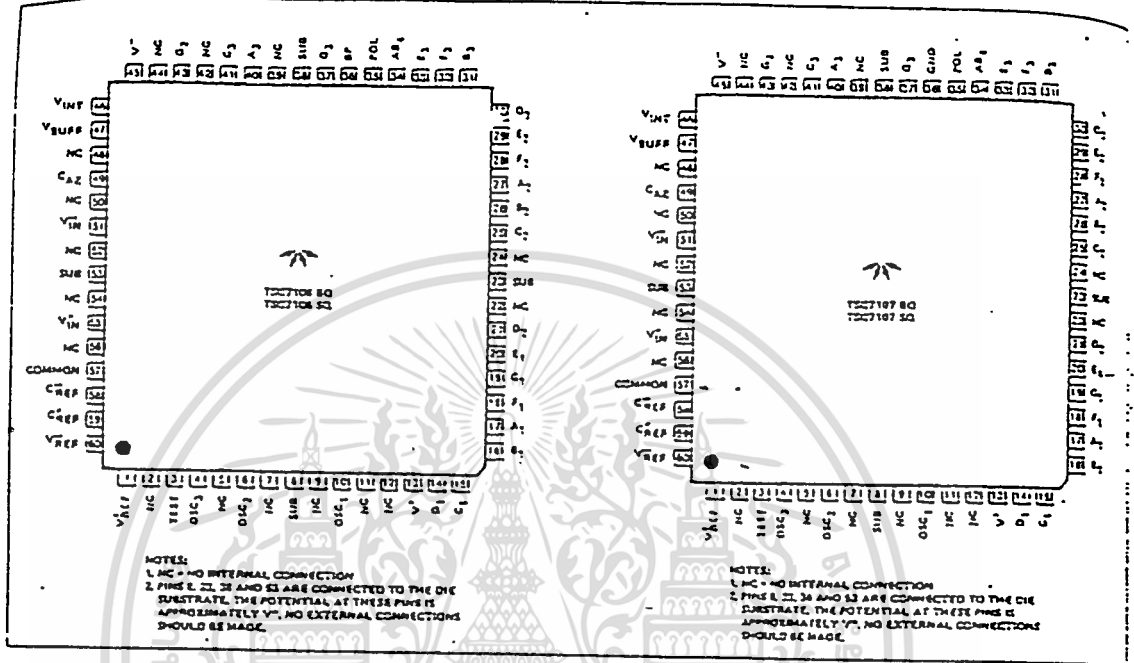
Pin Configuration



TSC7106 (LCD Drive)  
TSC7107 (LED Drive)

3 1/2 Digit A/D Converter  
• Direct Display Drive  
• Automatic Zero Correction

Pin Configuration (Continued)



Ordering Information :

Part No.	Package	Pin Layout	Temp. Range	Display Drive
TSC7106CPL	40-Pin Plastic Dio	Normal	0°C to -70°C	LCD
TSC7106RCPL	40-Pin Plastic Dio	Reverse	0°C to -70°C	LCD
TSC7106IPL	40-Pin Plastic Dio	Normal	-25°C to +25°C	LCD
TSC7106CJL	40-Pin CerDIP	Normal	0°C to -70°C	LCD
TSC7106IJL	40-Pin CerDIP	Normal	-25°C to -85°C	LCD
TSC7106C30	60-Pin Plastic Flat Package	Formed Leads	0°C to -70°C	LCD
TSC7106CSQ	60-Pin Plastic Flat Package	Unformed Leads	0°C to -70°C	LCD
TSC7107CPL	40-Pin Plastic Dio	Normal	0°C to -70°C	LED
TSC7107RCPL	40-Pin Plastic Dio	Reverse	0°C to -70°C	LED
TSC7107IPL	40-Pin Plastic Dio	Normal	-25°C to -85°C	LED
TSC7107CJL	40-Pin CerDIP	Normal	0°C to -70°C	LED

Part No.	Package	Pin Layout	Temp. Range	Display Drive
TSC7107IJL	40-Pin CerDIP	Normal	-25°C to +25°C	LED
TSC7107CSC	60-Pin Plastic Flat Package	Formed Leads	0°C to +70°C	LED
TSC7107CSC	60-Pin Plastic Flat Package	Unformed Leads	0°C to -70°C	LED
Devices with Burn-In (160 Hours at -125°C)				
TSC7106CPL/BI	40-Pin Plastic Dio	Normal	0°C to -70°C	LCD
TSC7106RCPL/BI	40-Pin Plastic Dio	Reverse	0°C to -70°C	LCD
TSC7106IJL/BI	40-Pin CerDIP	Normal	-25°C to -85°C	LCD
TSC7107CPL/BI	40-Pin Plastic Dio	Normal	0°C to -70°C	LED
TSC7107RCPL/BI	40-Pin Plastic Dio	Reverse	0°C to -70°C	LED
TSC7107IJL/BI	40-Pin CerDIP	Normal	-25°C to -85°C	LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TSC7106 (LCD Drive)**  
**TSC7107 (LED Drive)**

**3 1/2 Digit A/D Converter**  
 • Direct Display Drive  
 • Automatic Zero Correction

**Absolute Maximum Ratings**

**TSC7106**

Supply Voltage ( $V^+$ to $V^-$ )	15 V
Analog Input Voltage (either input) (Note 1)	$V^+$ to $V^-$
Reference Input Voltage (either input)	$V^+$ to $V^-$
Clock Input	Test to $V^+$
Power Dissipation (Note 2)	
CerDIP Package	1000 mW
Plastic Package	800 mW
Operating Temperature	
°C Devices	0°C to +70°C
°I Devices	-25°C to +85°C
Storage Temperature	-65°C to +160°C
Lead Temperature (Soldering, 60 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

**TSC7107**

**Supply Voltage**

$V^+$	+5 V
$V^-$	-9 V
Analog Input Voltage (either input) (Note 1)	$V^+$ to $V^-$
Reference Input Voltage (either input)	$V^+$ to $V^-$
Clock Input	GND to $V^+$
Power Dissipation (Note 1)	
CerDIP Package	1000 mW
Plastic Package	800 mW
Operating Temperature	

**Operating Temperature**

°C Devices	0°C to +70°C
°I Devices	-25°C to +85°C
Storage Temperature	-65°C to +160°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	300°C

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 (Note 3)**

CHARACTERISTICS	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0$ V Full-Scale = 200.0 mV	-000.0	±000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$ $V_{REF} = 100$ mV	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error (Difference in Reading for Equal Positive and Negative Reading Near Full-Scale)	$-V_{IN} = +V_{IN} = 200.0$ mV	-1	±0.2	+1	Counts
Linearity (Max. Deviation From Best Straight Line Fit)	Full-Scale = 200 mV or Full-Scale = 2,000 V	-1	±0.2	+1	Counts
Common-Mode Rejection Ratio (Note 4)	$V_{CM} = ±1$ V, $V_{IN} = 0$ V, Full-Scale = 200.0 mV	—	50	—	dB
Noise (Pk - Pk Value Not Exceeded 95% of Time)	$V_{IN} = 0$ V Full-Scale = 200.0 mV	—	15	—	dB
Leakage Current @ Inout	$V_{IN} = 0$ V	—	1	10	µA
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0$ V °C Device = 0°C to 70°C $V_{IN} = 0$ V °I Device = -25°C to +85°C	—	0.2	1	µV/°C
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 199.0$ mV, °C Device = 0°C to 70°C (Ext. Ref = 0 ppm/°C); $V_{IN} = 199.0$ mV °I Device: -25°C to +85°C	—	1	5	ppm/°C
Supply Current (Does Not Include LED Current for 7107)	$V_{IN} = 0$	—	0.8	1.8	mA
Analog Common Voltage (With Respect to Pos. Supply)	25 kΩ Between Common and Pos. Supply	2.4	2.5	3.2	V
Temp. Coeff. of Analog common (With Respect to Pos. Supply)	25 kΩ Between Common and Pos. Supply	—	±0	—	ppm/°C
TSC7106 ONLY Pk - Pk Segment Drive Voltage (Note 5)	$V^+$ to $V^- = 9$ V	4	5	6	V
TSC7106 ONLY Pk - Pk Backplane Drive Voltage (Note 5)	$V^+$ to $V^- = 9$ V	4	5	6	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 1/2 Digit A/D Converter

- Direct Display Drive
- Automatic Zero Correction

TSC7106 (LCD Drive)  
TSC7107 (LED Drive)

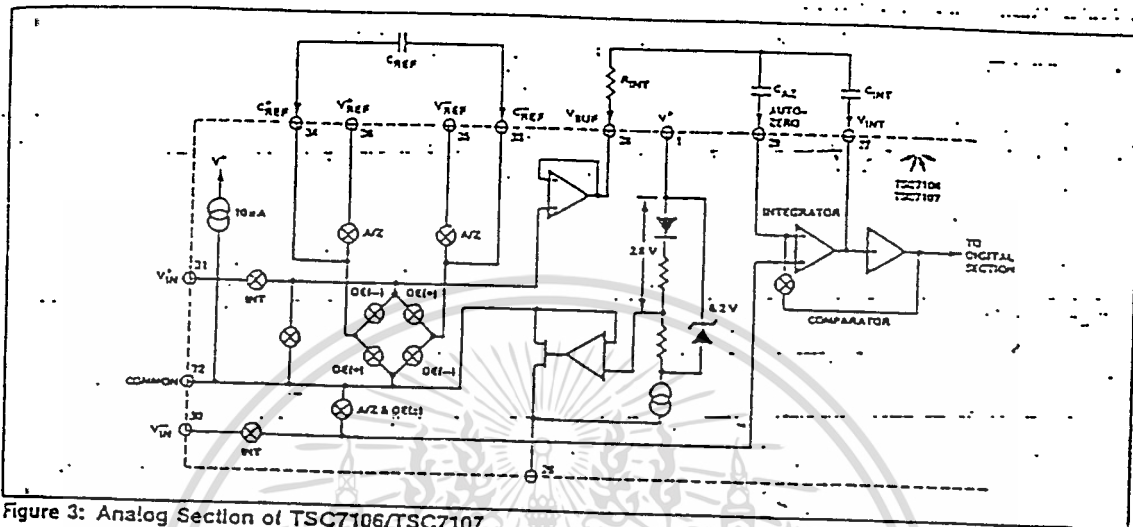


Figure 3: Analog Section of TSC7106/TSC7107

Analog Common

This pin is included primarily to set the common-mode voltage for battery operation (TSC7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The common pin sets a voltage that is approximately 2.8 volts more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6 V. However, the analog common has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate (>7 V), the common voltage will have a low voltage coefficient (0.001%/V), low output impedance (=15 Ω), and a temperature coefficient of 80 ppm/°C typically.

An external reference may be added to improve temperature stability of the TSC7106A/TSC7107A devices with lower analog common temperature drift may be used. The circuit is shown in Figure 4.

Analog common is also used as the V<sub>IN</sub> return during auto-zero and deintegrate. If V<sub>IN</sub> is different from analog common, a common-mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications V<sub>IN</sub> will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog common should be tied to the same point, thus removing the common-mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently referenced to analog common, it should be since this removes the common-mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog common is tied to an N-channel-FET that can sink 30 mA or more of current to hold the voltage 2.8 volts below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only 10 μA of source current, so common may easily be tied to a more negative voltage thus over-riding the internal reference.

Test

The TEST pin serves two functions. On the TSC7107 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500 Ω resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1 mA load should be applied.

The second function is a "lamp test." When TEST is pulled high (to V') all segments will be turned on and the display should read -1888. The TEST pin will sink about 10 mA under these conditions.

Caution: On the TSC7106, in the lamp test mode the segments have a constant dc voltage (no square-wave) and may burn the LCD display if left in this mode for several minutes.

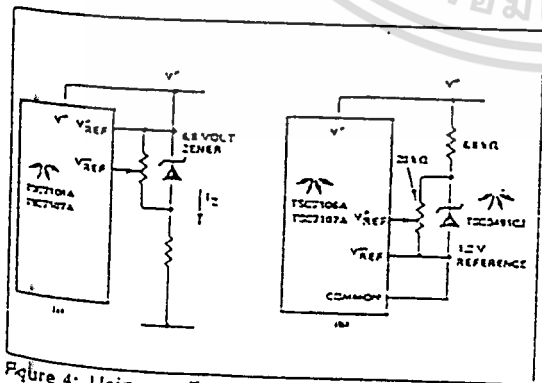


Figure 4: Using an External Reference

### 3 1/2 Digit A/D Converter

- Direct Display Drive
- Automatic Zero Correction

TSC7106 (LCD Drive)  
TSC7107 (LED Drive)

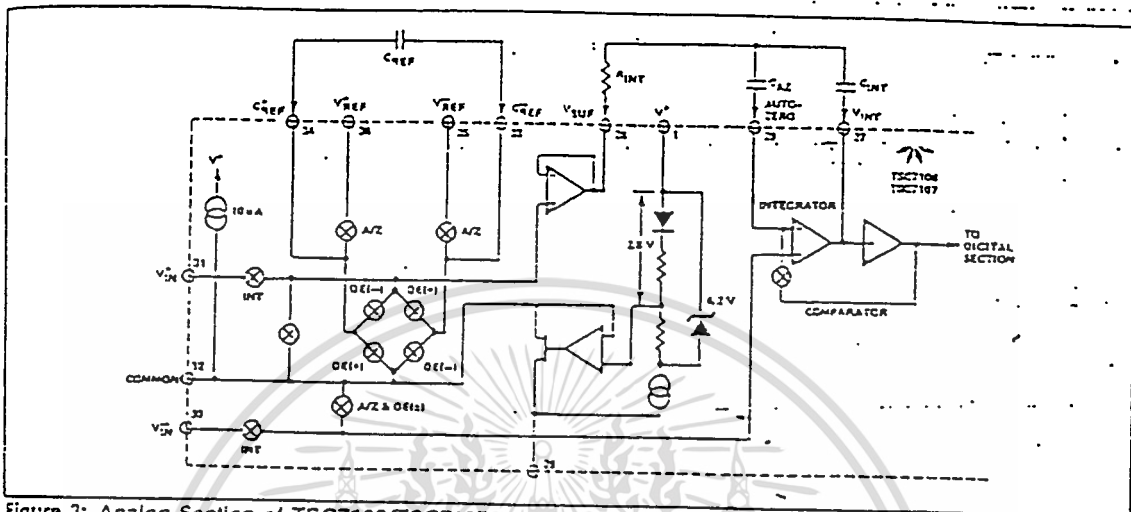


Figure 3: Analog Section of TSC7106/TSC7107

#### Analog Common

This pin is included primarily to set the common-mode voltage for battery operation (TSC7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The common pin sets a voltage that is approximately 2.9 volts more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 5 V. However, the analog common has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate (>7 V), the common voltage will have a low voltage coefficient (0.001%/V), low output impedance ( $\approx 15 \Omega$ ), and a temperature coefficient of 50 ppm/°C typically.

An external reference may be added to improve temperature equality or the TSC7106A/TSC7107A devices with lower analog common temperature drift may be used. The circuits shown in Figure 4.

Analog common is also used as the  $V_{IN}$  return during auto-zero and ceintegrate. If  $V_{IN}$  is different from analog common, a common-mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications  $V_{IN}$  will be set at 2 fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog common should be tied to the same point, thus removing the common-mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently referenced to analog common, it should be since this removes the common-mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog common is tied to an N-channel FET that can sink 30 mA or more of current to hold the voltage 2.3 volts below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only 10 µA of source current, so common may easily be tied to a more negative voltage thus over-riding the internal reference.

#### Test

The TEST pin serves two functions. On the TSC7107 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500  $\Omega$  resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1 mA load should be applied.

The second function is a "lamp test." When TEST is pulled high (to  $V^+$ ) all segments will be turned on and the display should read +1888. The TEST pin will sink about 10 mA under these conditions.

Caution: On the TSC7106, in the lamp test mode the segments have a constant dc voltage (no square-wave) and may burn the LCD display if left in this mode for several minutes.

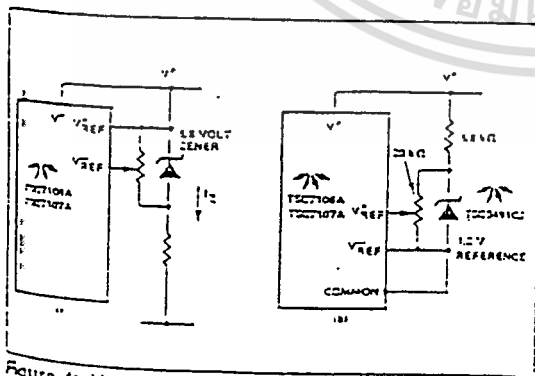


Figure 4: Using an External Reference

TSC7106 (LCD Drive)  
TSC7107 (LED Drive)

3 1/2 Digit A/D Converter

- Direct Display Drive
- Automatic Zero Correction

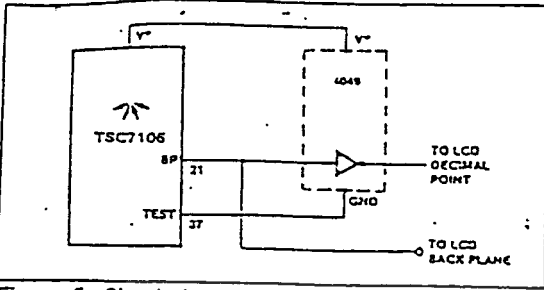


Figure 5: Simple Inverter for Fixed Decimal Point

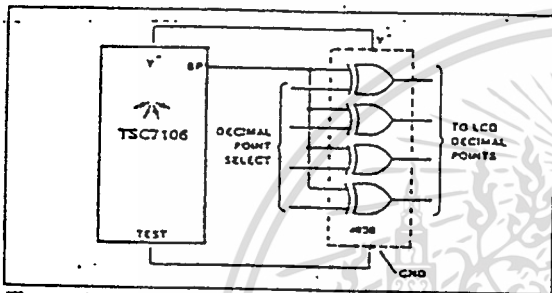


Figure 6: Exclusive 'OR' Gate for Decimal Point Drive

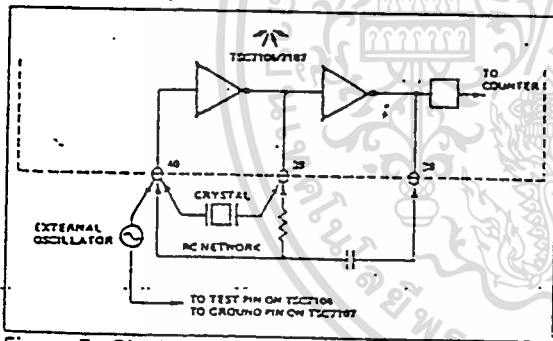


Figure 7: Clock Circuits

Digital Section

Figures 8 and 9 show the digital section for the TSC7106 and TSC7107, respectively. In the TSC7106 (Figure 8), an internal digital ground is generated from a 5 volt Zener diode and a large P channel source follower. This supply is made stiff to absorb the large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/second this is a 60 Hz square wave with a nominal amplitude of 5 volts. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases, negligible dc voltage exists across the segments.

Figure 9 is the Digital Section of the TSC7107. It is identical to the TSC7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive is typically 8 mA. The 1000 output (pin 19) sinks current from two LED segments, and has a 16 mA drive capability. The TSC7107 is designed to drive common anode LEDs.

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If  $V_{IN}$  and  $V_{IN}$  are reversed, this indication can be reversed also, if desired.

System Timing

Figure 9 shows the clocking method used in the TSC7106 and TSC7107. Three clocking methods may be used:

1. An external oscillator connected to pin 40.
2. A crystal between pins 39 and 40.
3. An RC oscillator using all three pins.

The oscillator frequency is divided by four before it clocks the decade counters. It is then further divided to form the three convert-cycle phases. These are signal integrate (1000 counts), reference de-integrate (0 to 2000 counts) and auto-zero (1000 to 3000 counts). For signals less than full-scale auto-zero gets the unused portion of reference de-integrate. This makes a complete measure cycle of 4,000 (16,000 clock pulses) independent of input voltage. For three readings/second, an oscillator frequency of 48 kHz would be used.

To achieve maximum rejection of 60 Hz pickup, the signal integrate cycle should be a multiple of 60 Hz. Oscillator frequencies of 240 kHz, 120 kHz, 80 kHz, 60 kHz, 48 kHz, 40 kHz, 33-1/3 kHz, etc. should be selected. For 50 Hz rejection, oscillator frequencies of 200 kHz, 100 kHz, 66-2/3 kHz, 50 kHz, 40 kHz, etc. would be suitable. Note that 40 kHz (2.5 readings/second) will reject both 50 and 60 Hz (also 400 and 440 Hz).

Component Value Selection

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system. For 200 mV full-scale where noise is very important, a 0.47  $\mu$ F capacitor is recommended. On the 2 volt scale, a 0.047  $\mu$ F capacitor increase the speed of recovery from overload and is adequate for noise on this scale.

Reference Capacitor

A 0.1  $\mu$ F capacitor is acceptable in most applications. However, where a large common-mode voltage exists (i.e. the  $V_{IN}$  pin is not at analog common) and a 200 mV scale is used, a large value is required to prevent to roll-over error. Generally 1.0  $\mu$ F will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

Integrating Capacitor

The integrating capacitor should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance build-up will not saturate the integrator swing (approx. 0.3 volt from either supply). In the TSC7106 or the TSC7107, when the analog common is used as a reference, a nominal  $\pm 2$  volt full-scale integrator swing is acceptable. For the TSC7107 with  $\pm 5$  volt supplies and analog common tied to supply ground,  $\pm 3.5$  10

### 3 1/2 Digit A/D Converter

- Direct Display Drive
- Automatic Zero Correction

TSC7106 (LCD Drive)  
TSC7107 (LED Drive)

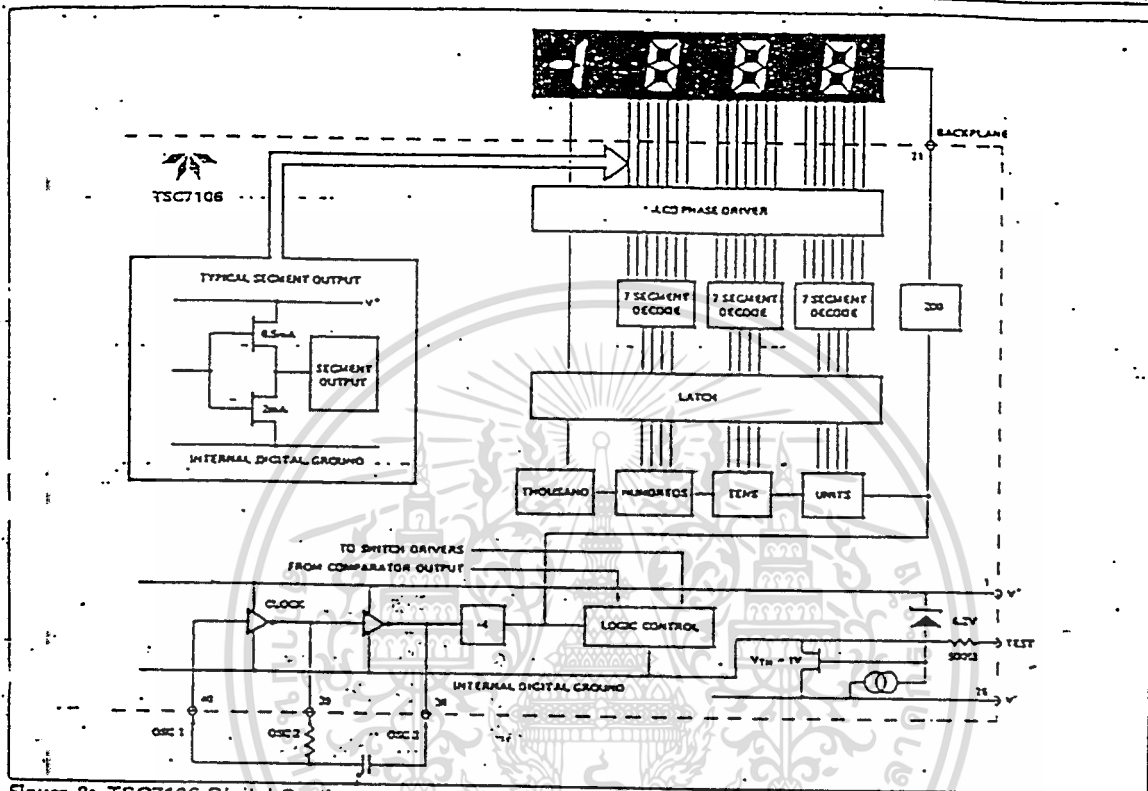


Figure 8: TSC7106 Digital Section

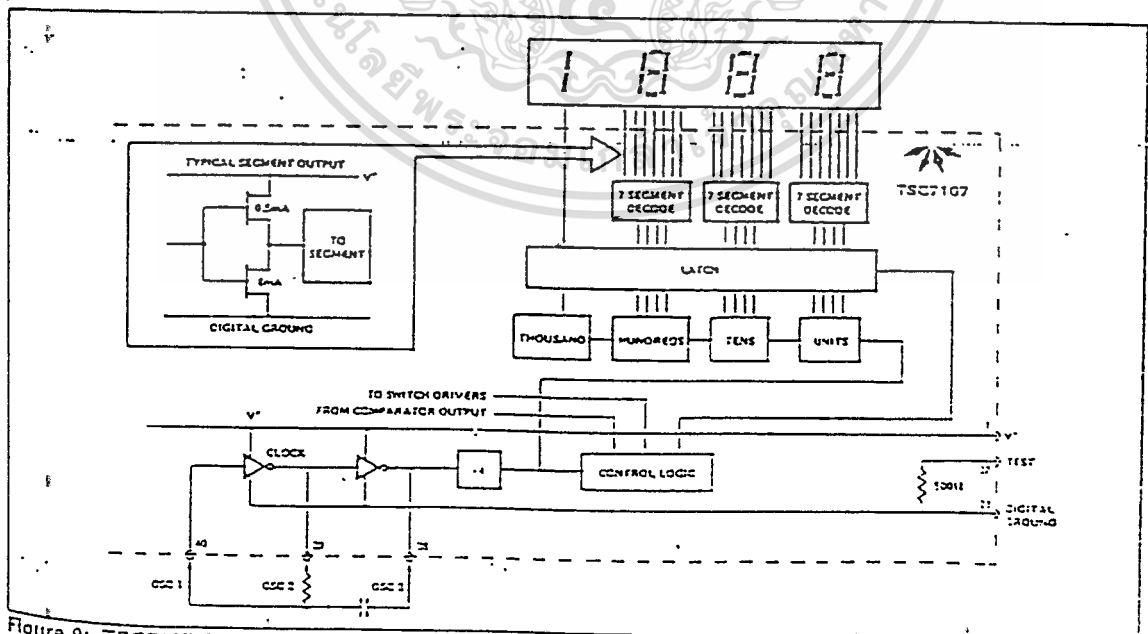


Figure 9: TSC7107 Digital Section

**TSC7106 (LCD Drive)**  
**TSC7107 (LED Drive)**

- 3 1/2 Digit A/D Converter
- Direct Display Drive
- Automatic Zero Correction

±4 volt swing is nominal. For three readings/second (48 kHz clock) nominal values for  $C_{INT}$  are 0.22  $\mu F$  and 0.10  $\mu F$ , respectively. If different oscillator frequencies are used, these values should be changed in inverse proportion to maintain the output swing.

The integrating capacitor must have low dielectric absorption to prevent roll-over errors. Polypropylene capacitors are recommended for this application.

**Integrating Resistor**

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with 100  $\mu A$  of quiescent current. They can supply 20  $\mu A$  of drive current with negligible non-linearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 2 volt full-scale, 470 k $\Omega$  is near optimum and similarly a 47 k $\Omega$  for a 200.0 mV scale.

**Oscillator Components**

For all ranges of frequency a 100 k $\Omega$  resistor is recommended and the capacitor is selected from the equation  $f = \frac{45}{RC}$ . For 48 kHz clock (3 readings/second),  $C = 100 \text{ pF}$ .

**Reference Voltage**

The analog input required to generate full-scale output (200 counts) is:  $V_{IN} = 2 V_{REF}$ . Thus, for the 200.0 mV and 2.000 volt scale,  $V_{REF}$  should equal 100.0 mV and 1.00 volt respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full-scale reading when the voltage from the transducer is 0.682 V. Instead of dividing the input down to 200.0 mV, the designer should use the input voltage directly and select  $V_{REF} = 0.341 \text{ V}$ . Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 120 k $\Omega$  and 0.22  $\mu F$ . This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The TSC7107 with  $\pm 5 \text{ V}$  supplies can accept input signals up to  $\pm 4 \text{ V}$ . Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for  $V_{IN} \neq 0$ . Temperature and weighing systems with a variable tare are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between  $V_{IN}$  and common and the variable (or fixed) offset voltage between common and  $V_{IN}$ .

**TSC7107 Power Supplies**

The TSC7107 is designed to work from  $\pm 5 \text{ V}$  supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with two diodes, two capacitors and an inexpensive IC. Figure 10 shows this application.

In selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5 V supply are:

- The input signal can be referenced to the center of the common-mode range of the converter.
- The signal is less than  $\pm 1.5$  volts.
- An external reference is used.

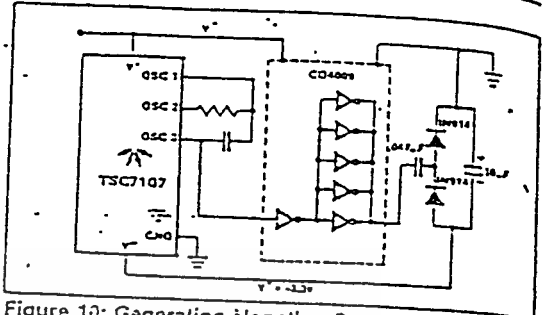


Figure 10: Generating Negative Supply From +5V

**Typical Applications**

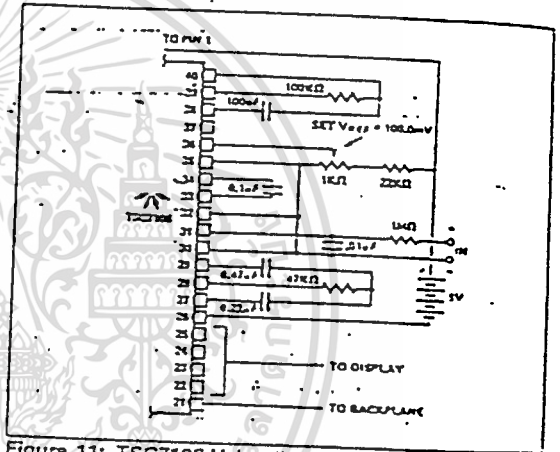


Figure 11: TSC7106 Using the Internal Reference. (200 mV Full-Scale, 3 RPS).

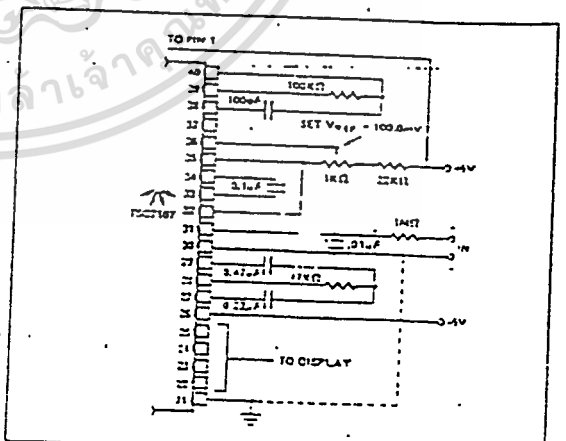


Figure 12: TSC7107 Internal Reference (200 mV Full-Scale, 3 RPS,  $V_{IN}$  Tied to GND for Single Ended Inputs).

3 1/2 Digit A/D Converter  
 • Direct Display Drive  
 • Automatic Zero Correction

TSC7106 (LCD Drive)  
 TSC7107 (LED Drive)

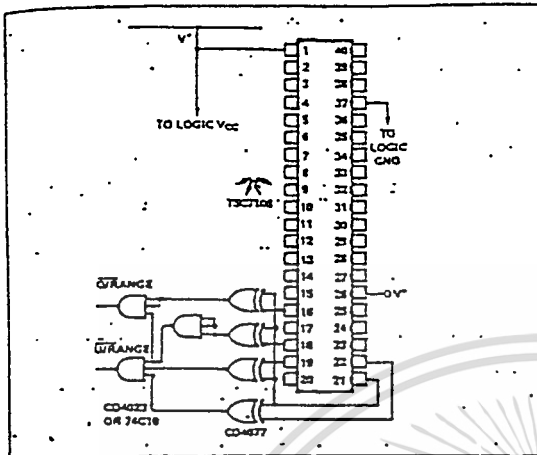


Figure 13: Circuit for Developing Underrange and Overrange Signals from TSC7106 Outputs.

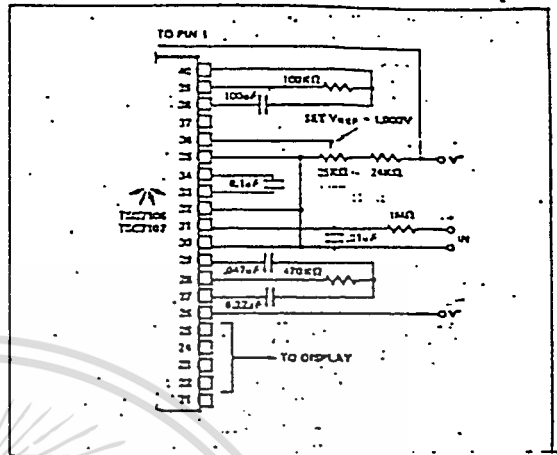


Figure 15: TSC7106/TSC7107: Recommended Component Values for 2.00 V Full-Scale.

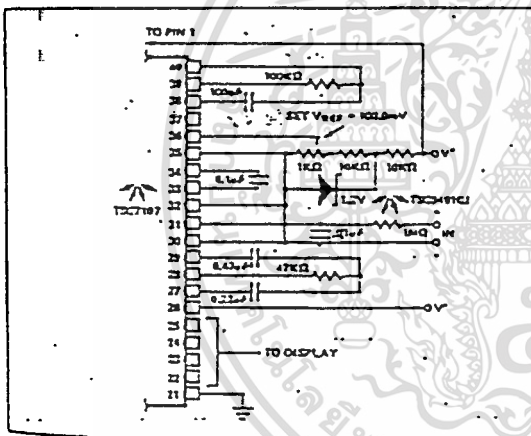


Figure 14: TSC7107 With a 1.2 V External Band-Gap Reference.  $V_{IN}$  Tied to Common).

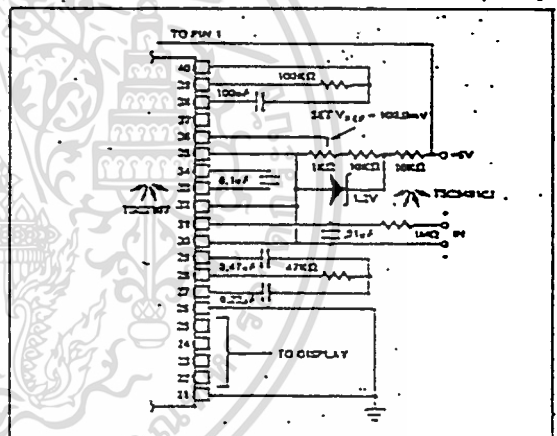


Figure 16: TSC7107 Operated from Single +5 V Supply. An External Reference Must Be Used In This Application.

Applications Information

The TSC7107 sinks the LED display current and this causes heat to build up in the IC package. If the internal voltage reference is used, the changing chip temperature can cause the display to change reading. By reducing package power dissipation such variations can be reduced. By reducing the LED common anode voltage the TSC7107 package power dissipation is reduced.

Figure 17 is a photograph of a curve-tracer display showing the relationship between output current and output voltage for a typical TSC7107CPL. Since a typical LED has 1.8 volts across it at 8 mA, and its common anode is connected to 2.5 V, the TSC7107 output is at 3.2 V (point A on Fig. 17). Maximum power dissipation is 8.1 mA X 3.2 V X 24 segments = 62 mW.

Notice, however, that once the TSC7107 output voltage is above two volts, the LED current is essentially constant as output voltage increases. Reducing the output voltage by 0.7 V (point B of Figure 17) results in 7.7 mA of LED current, only a 5 percent reduction. Maximum power dissipation is now only 7.7 mA X 2.5 V X 24 = 462 mW, a reduction of 25%. An output voltage reduction of 1 volt (point C) reduces LED current by 10% (7.3 mA) but power dissipation by 38% (7.3 mA X 2.2 V X 24 = 385 mW).

Reduced power dissipation is very easy to obtain. Fig. 18 shows two ways: either a 5.1 ohm, 1/4 watt resistor or a 1Amp diode placed in series with the display (but not in series with the TSC7107). The resistor will reduce the TSC7107 output voltage, when all 24 segments are "ON," to point "C" of Fig.

### เอกสารอ้างอิง

1. Robert. F. Colflin , Frederic Fcltriscal, “ การใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ”, เรียบเรียง โดย วิโรจน์ อัครวงษ์ และคณะ กรุงเทพ , สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น 2536
2. “รวมบทความ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ”, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น 2538
3. Duglas .C. M , “Process Intrumentation And Control Handbook” ,Third Edition Singapore : McGROW Hill Book Co., 1988
4. Robert Boyiestad , Louis Nasheisky , “Electronics Device and Circuit Theory” , Fourth Edition, USA : Prectice-Hall Inc., 1987
5. นิกสัน โชติกวณิชย์ , “ การวิเคราะห์ออปแอมป์ ” ,วารสารเคมีคอนคัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 135 , 2537, หน้า 114-119

