คู่มือ / ใบงาน

ITEM CODE NO. **ELT1 EN04/18**

(SENSORS & TRANSDUCERS TRAINING SYS)

ทรานสดิวเซอร์ และ การควบคุมอุณหภูมิ

รุ่น G 34/EV

Electronics Technology Equipmentfor 7 technical College,

Department of Vocational Education (DOVE)

Ministry of Education

Kingdom of Thailand

under

OECF LOAN GREEMENT NO. TXIX - 6

CONTRACT NO. DOVE - OECF - T4WB4/97

SUMITOMO CORPORATION

TOKYO, JAPAN

COPYRIGHT RESERVED

สารบาญ

1. เกริ่นนำ	1
1.1 ลักษณะโดยทั่วๆไปของทรานสดิวเซอร์	1
1.2 การคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้น	3
1.3 การปรับสภาพสัญญาณ	5
2. ทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิ	7
2.1 ทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ	8
2.1.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ	12
2.2 เทอร์โมรีซิสแทนซ์ (Thermoresistance)	14
2.2.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance)	17
2.3 เทอร์โมคัปเปิ้ล	19
2.3.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล	22
3. กระบวนการทางอุณหภูมิ	25
3.1 ลักษณะรูปร่างของความร้อน	25
3.2 การควบคุมกระบวนการทางอุณหภูมิ	27
3.3 ตัวควบคุมชนิด P	28
3.4 ตัวควบคุมชนิด PI และ PID	30
4. รายละเอียดเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า	32
4.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ	32
4.2 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance)	35
4.3 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล	38
4.4 เพาเวอร์แอมป์	40
4.4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวงจร	40
4.5 แอมป์ตั้งค่าอ้างอิงและแอมป์สัญญาณผลต่าง	43
4.5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวงจร	43
4.6 ตัวควบคุมชนิดPID	45
4.6.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวงจร	45
5. คำถาม	48

6. การปรับเทียบ 49
6.1 การปรับเทียบของการปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ 49
6.2 การปรับเทียบของการปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมรีซิสแทนซ์ (Thermoresistance) 50
6.3 การปรับเทียบของการปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล 51
6.4 การปรับเทียบของเพาเวอร์แอมป์ 52
6.5 การปรับเทียบของบล็อกตั้งค่าอ้างอิงและบล็อกเปรียบเทียบ 53
6.6 การปรับเทียบของตัวควบคุมชนิดPIDและแอมป์สัญญาณผลต่าง 54

7. การทดลอง 55
7.1 วาดกราฟคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์แบบซิลิกอน 55
7.2 คำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบซิลิกอน 58
7.3 วาดกราฟคุณลักษณะของเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance) 58
7.4 คำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance) 59
7.5 วาดกราฟคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิ้ล 59
7.6 คำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของเทอร์โมคัปเปิ้ล 61
7.7 คำนวณหาค่าเวลาคงตัวของทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิ 61
7.8 แบบฝึกหัด 64
7.8.1 คำนวณคุณลักษณะของกระบวนการทางอุณหภูมิ 64
7.8.2 เสถียรภาพของการควบคุมกระบวนการ 67
7.8.3 ระบบการควบคุมแบบลูปปิดเมื่อที่โหลดและสายไฟถูกรบกวน 69

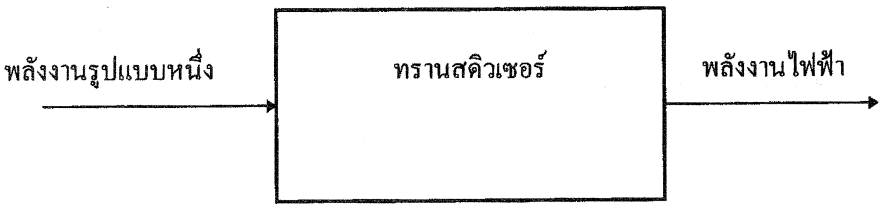
1. เกริ่นนำ

1.1 ลักษณะโดยทั่วๆไปของทรานสดิวเซอร์

อุปกรณ์ตัวที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งให้กลายมาเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งไม่เหมือนกันจะเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่าทรานสดิวเซอร์

ในคู่มือเล่มนี้ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้คืออุปกรณ์ตัวที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งให้กลายมาเป็นพลังงานไฟฟ้าและจะเรียกว่า ตัวตรวจจับ (SENSORS)

บล็อกไดอะแกรมทั่วไปของความสัมพันธ์ของทรานสดิวเซอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 1.1 ปริมาณไฟฟ้าที่เป็นเอาท์พุทจะเป็นค่าแรงดัน ค่ากระแส ค่าความต้านทาน ฯลฯ



รูป 1.1

ทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบไม่ว่าจะเป็นอนาล็อกหรือดิจิตอลทั้งนี้ขึ้นอยู่ปริมาณทางเอาท์พุท เมื่ออินพุทเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่ต่อเนื่องถ้าเป็นอนาล็อกทรานสดิวเซอร์เอาท์พุทจะเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่ต่อเนื่องและเป็นอัตราส่วนกับอินพุทขณะที่ดิจิตอลทรานสดิวเซอร์จะให้เอาท์พุทเป็นสัญญาณดิจิตอล

โดยทั่วๆไปการแปลงพลังงานจะทำให้กระบวนการต้องวิเคราะห์ตัวทรานสดิวเซอร์ด้วย แต่ละชนิดของทรานสดิวเซอร์จะมีคุณสมบัติคล้ายๆกันจึงจะสามารถแยกคุณสมบัติพื้นฐานออกเป็นข้อๆดังนี้

. ย่านการทำงาน

เป็นช่วงการทำงานระหว่างปริมาณทางฟิสิกส์ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดที่ทรานสดิวเซอร์จะวัดได้

. ค่าอัตราส่วนคงที่

ค่าเกนคงที่จะเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอาท์พุทและค่าอินพุท

. ความผิดพลาดของความเป็นเชิงเส้น

ความผิดพลาดของความเป็นเชิงเส้นจะเป็นค่าที่ผิดไปจากค่าเกนคงที่ซึ่งสามารถบอกเป็นเปอร์เซนต์ของค่าเอาท์พุทสูงสุดได้

. ความเที่ยงตรง(Measurement error)

ความเที่ยงตรงของทรานสดิวเซอร์จะชี้ถึงผลต่างสูงสุดระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณได้ ความเที่ยงตรงจะแสดงเป็นเปอร์เซนต์ของค่าเต็มสเกล

. ความเร็วของผลตอบสนอง

เป็นความเร็วของปริมาณเอาท์พุทที่จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณอินพุท

. เสถียรภาพ

เสถียรภาพจะบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุทและค่าเอาท์พุทที่จะคงที่แม้สภาพการทำงานจะเปลี่ยนแปลงไป

. ความสามารถในการทำซ้ำ

เป็นความสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ของต่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทำซ้ำ

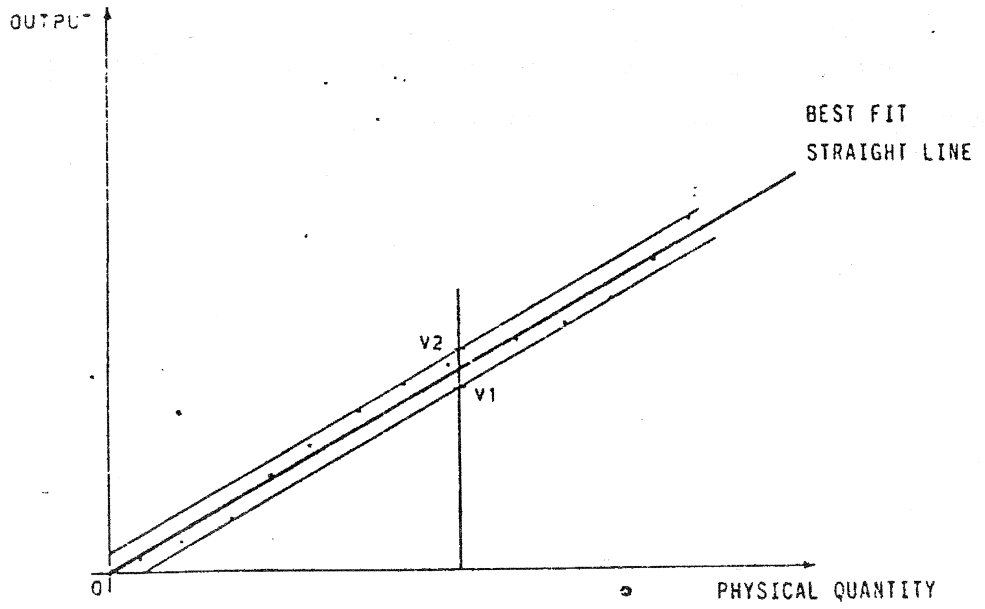
1.2 การคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้น

ทรานสดิวเซอร์ส่วนมากมีความเป็นเชิงเส้นและนี้คือหนึ่งในหลายๆคุณสมบัติที่สำคัญของทรานสดิวเซอร์ ขั้นตอนการหาค่าความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์จะเหมือนกันในแต่ละชนิด ขั้นตอนการทดลองจะอธิบายได้ตามนี้

วาดกราฟคุณลักษณะของอินพุทและเอาท์พุทของทรานสดิวเซอรดังนี้คือการวัดค่าเอาท์พุทของทรานสดิวเซอร์ที่เป็นผลตอบสนองต่ออินพุทที่เป็นปริมาณทางฟิสิกส์

เมื่อทำการวาดกราฟ เส้นที่ประมาณค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดของค่าข้อมูลทั้งหมดจะเรียกว่า **<u>เส้นตรงที่เหมาะสมที่ดีที่สุด</u>** แล้ววาดเส้นสองเส้นขนานกันโดยมีระยะห่างเท่าๆกันประกบ เส้นตรงที่เหมาะสมที่ดีที่สุดเอาไว้ เส้นที่สร้างขึ้นมาทั้งสองเส้นจะต้องครอบคลุมค่าข้อมูลทั้งหมดต่อไปก็ลากเส้นตรงตั้งฉากกับแกน y จุดตัดที่เกิดขึ้นกับเส้นทั้งสองเส้นคือ v1 และ v2 (ดูรูป 1.2) เปอร์เซนต์ความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์จะได้ตามสมการดังนี้

$$\text{Lin. [\%]} = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{| V_2 - V_1 |}{V_{f.s.}} \cdot 100$$



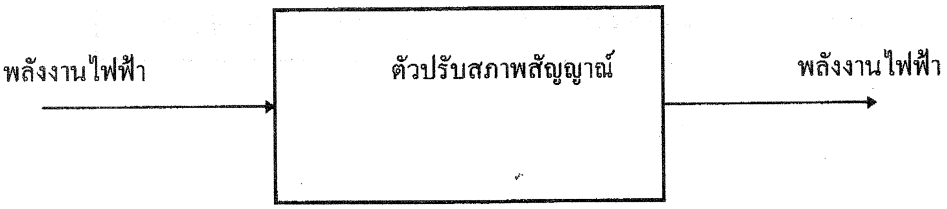
รูป 1.2

1.3 การปรับสภาพสัญญาณ

โดยปกติค่าเอาท์พุทของทรานสดิวเซอร์ไม่สามารถนำเอามาใช้งานได้โดยตรง ตัวอย่างเช่นย่านการทำงานของแรงดันเอาท์พุทจะไม่เหมาะสมหรือสัญญาณเอาท์พุทจะอ่อนหรือปริมาณทางไฟฟ้าที่ระบบไม่สามารถใช้งานได้และนี้คือเหตุผลว่าทำไมทรานสดิวเซอร์จึงไม่สามารถขาดตัวปรับสภาพสัญญาณได้

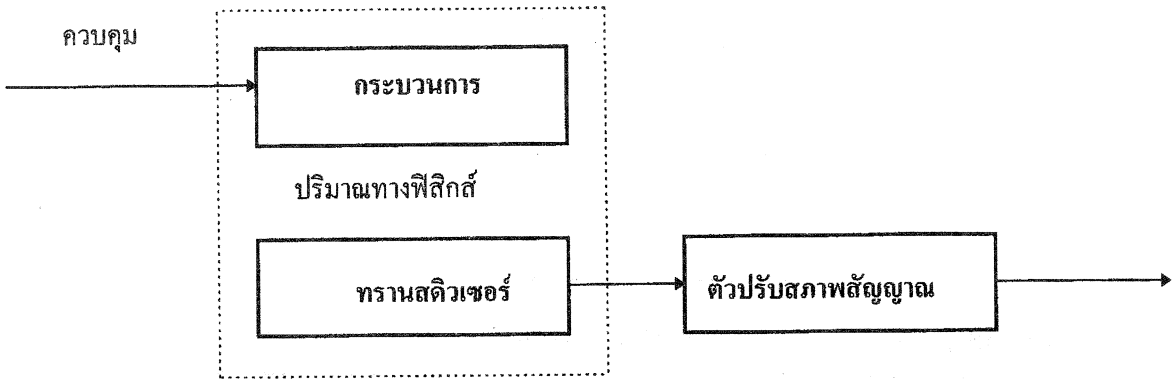
ตัวปรับสภาพสัญญาณเป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ที่เปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์รูปแบบหนึ่งไปเป็นปริมาณทางฟิสิกส์อีกรูปแบบหนึ่งทั้งนี้เพื่อให้เหมาะกับระบบควบคุมต่อไป

ในหลายๆกรณีเอาท์พุทจะเป็นแรงดัน รูป 1.3 เป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของตัวปรับสภาพสัญญาณ



รูป1.3

ในหลายๆกรณีทรานสดิวเซอร์จะสร้างอยู่ในกระบวนการอยู่แล้วดังนั้นแล้วปริมาณทางฟิสิกส์ที่วัดได้จะอยู่ภายในกระบวนการ รูป 1.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมโดยทั่วๆไปของกระบวนการ ทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ



รูป 1.4

2. ทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิ

เมื่อได้จ่ายพลังงานให้กับกระบวนการจะเกิดการเปลี่ยนสภาวะขึ้น อุณหภูมิเป็นหนึ่งของผลที่เปลี่ยนแปลงไปหน่วยของอุณหภูมิที่ใช้กันเป็นสากลคือ kelvin(K) ในระบบสเกลของหน่วยนี้จะแตกต่างกับอีกสองหน่วยคือ centigrade($^{\circ}$C) และ Fahrenheit ($^{\circ}$F) ความสัมพันธ์ของทั้งสามหน่วยแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

K	$^{\circ}$C	$^{\circ}$F
0	-273.1	-460
273.1	0	+32
373.1	100	+212
1273	1000	1832

รูป 2.1

การแปลงหน่วยจาก centigrade($^{\circ}$C) ไปเป็น Fahrenheit ($^{\circ}$F) ทำได้จากสมการนี้

$$^{\circ}F = 9/5 * {}^{\circ}C + 32$$

การทดลองที่จะได้อธิบายในคู่มือเล่มนี้จะใช้หน่วยเซลเซียล(centigrade $^{\circ}$C)โดยที่ 0 $^{\circ}$C จะเป็นอุณหภูมิเยือกแข็งและ 100 $^{\circ}$C เป็นอุณหภูมินำ้เดือดที่ระดับนำ้ทะเล ในวงการอุตสาหกรรมอุณหภูมิที่วัดได้จากทรานสดิวเซอร์หลายชนิดจะมีความแตกต่างกันทั้งความซับซ้อนและความเที่ยงตรง

โดยปกติแล้วทรานสดิวเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ เทอร์โมรีซิสแดนท์และเทอร์โมคัปเปิ้ลจะมีความเที่ยงตรงสูงทั้งนี้เพราะสร้างไม่ยาก อีกทั้งยังมีขนาดเล็กจึงสามารถสร้างใส่ไว้ในกระบวนการได้

2.1 ทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ

ทรานสดิวเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำมีพื้นฐานมาจากสารกึ่งตัวนำที่มีความไวต่ออุณหภูมิสูงมากฉะนั้นสัมประสิทธ์ความไวของทรานสดิวเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำจึงสูงกว่าเทอร์โมรีซิสแดนท์และมีราคาที่ถูกกว่าด้วยแต่ข้อเสียคือย่านการทำงานจำกัดและมีความเป็นเชิงเส้นตำ่

อุปกรณ์ชนิดนี้มีขั้วสองขั้วและสามารถแยกได้ตามนี้

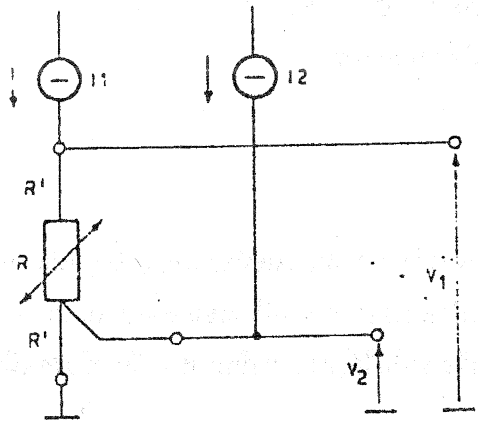
. สารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงความต้านทาน
. สารกึ่งตัวนำจังก์ชัน PN
. วงจรรวม

ชนิดแรกเป็นชนิดที่มีโครงสร้างง่ายๆ มีสัมประสิทธ์อุณหภูมิทั้งบวกและลบประมาณ 0.7%/°C ความเป็นเชิงเส้นประมาณ +/- 0.5 %กับอุณหภูมิย่านการทำงานระหว่าง -65 °C ถึง +200 °C
ความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิประมาณได้ตามสมการ

$$R_T = R_O * (1 + \alpha * T)$$

ทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณโดยทั่วไปจะใช้สาย 2 เส้น ขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความต้านทานของทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนตามอย่างไรก็ตามความผิดพลาดจากการวัดที่เกิดจากสายไฟในหลายๆกรณีจะละเลยได้ ในกรณีพิเศษอุปกรณ์สามารถต่อสายไฟแบบ 3 หรือ 4 เส้นได้(รูป 2.2) เป็นการต่อกับเครื่องกำเนิดกระแสคงที่

สายไฟที่ใช้จะต้องเป็นวัตถุชนิดเดียวกันและมีขนาดของระยะความยาวเท่ากันด้วยทั้งนี้จะได้ทำให้ความต้านทานเท่ากันจากนั้นจะนำเอาท์พุทไปเข้าแอมป์ผลต่างต่อไปเพื่อจะได้แรงดันที่เปลี่ยนไปแปรผันกับความต้านทาน R



$$I_1 = I_2 = I$$

$$V_1 - V_2 = 2R'I + RI - 2R'I$$

$$= RI$$

รูป ๔.๒

ปกติค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ 25°C จะอยู่ระหว่าง 10 Ω และ 10KΩ มีความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 1% และ 20% กินพลังงาน 1/4 วัตต์

คุณสมบัติพิเศษคือไม่กินพลังงาน(เช่น เมื่อไม่มีกระแสไหล) จะต้องระวังเรื่องความร้อนที่เกิดจากการวัดกระแสด้วยด้วยเหตุผลนี้ทรานสดิวเซอร์จึงไม่ควรจ่ายกระแสเกิน 10 mA ทรานสดิวเซอร์ในคู่มือนี้เป็นของ PHILLIPS KTY83-110 มีรายละเอียดหลักๆดังนี้

. ความต้านทาน	1000 Ω (25°C, 1 mA)
. อุณหภูมิย่านการทำงาน	-55 °C/ + 175°C
. ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้	1%
. สัมประสิทธ์อุณหภูมิ	+0.75%/°C(P.T.C)

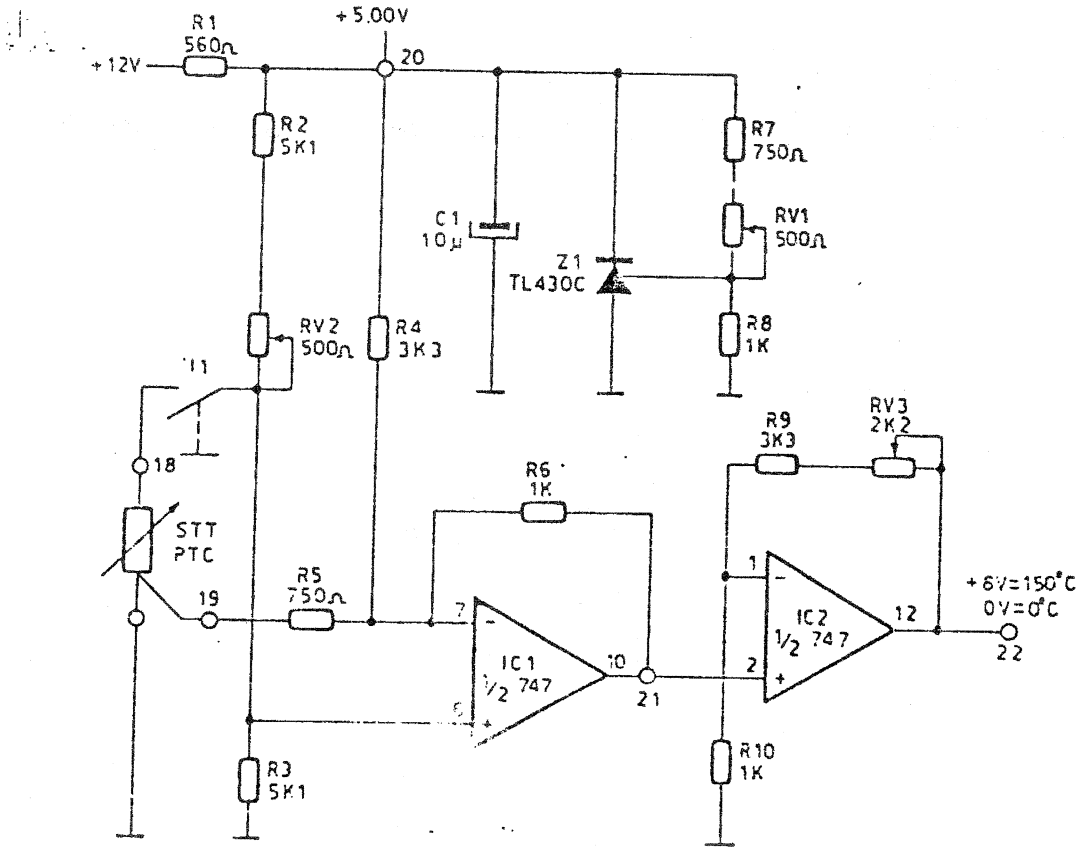
2.1.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ

รูป2.3 แสดงรายละเอียดของวงจรไดอะแกรมที่มีความสัมพันธ์ของตัวปรับสภาพสัญญาณ ฟังก์ชันการทำงาน ของตัวปรับสภาพสัญญาณมีความสัมพันธ์ระหว่างที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก0 ถึง 150°Cและแรงดันเอาท์พุทที่ปลี่ยนแปลงจาก0 ถึง 8 V

เครื่องกำเนิดสัญญาณอ้างอิงที่มีเสถียรภาพสูงจำเป็นเมื่อจะต่อแบบ 3สาย แอมป์ผลต่าง(ใช้ออปแอมป์ 2 ตัว) เพื่อลดผลของค่าความต้านทานในสายไฟ

วงจรจะแสดง LED(มีตำแหน่งอยู่บนตัวปรับสภาพ STT) เมื่อวัดอุณหภูมิได้สูงเกิน 150°C จากนั้นควรนำเอาทรานสดิวเซอร์ออกมาจากจุดที่วัดโดยเร็ว ย่านอุณหภูมิทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง150°C ซึ่งสอดคล้องกับแรงดันเอาท์พุทอยู่ระหว่าง 0 ถึง 8V ค่าอัตราส่วนคงที่ระหว่างแรงดันและอุณหภูมิมีดังนี้

ค่าอัตราส่วนคงที = 53.3 mV/°C


R1
560Ω
+12V
+5.00V
20
R2
5K1
C1
10μ
Z1
TL430C
R7
750Ω
RV1
500Ω
R8
1K
RV2
500Ω
R4
3K3
11
18
STT
PTC
19
R5
750Ω
R6
1K
R9
3K3
RV3
2K2
IC1
½ 747
IC2
½ 747
+6V=150°C
0V=0°C
22
21
R3
5K1
R10
1K

รูป 2.3

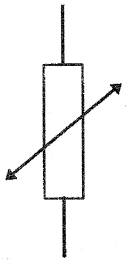
2.2 เทอร์โมรีซิสแทนซ์ (Thermoresistance)

เทอร์โมรีซิสแดนท์วัดอุณหภูมิได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้า สมการความสัมพันธ์ของเทอร์โมรีซิสแดนท์มีดังนี้

$$R_T = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

สัมประสิทธ์อุณหภูมิ α เป็นค่าเฉลี่ยของย่านการวัด

เทอร์โมรีซิสแดนทหรือที่รู้จักกันคือ Resistance Temperature Detectors (R.T.D) และมีสัญญลักษณ์ดังนี้



R.T.D

รูป 2.4

ทรานสดิวเซอร์มีรายละเอียดหลักๆดังนี้

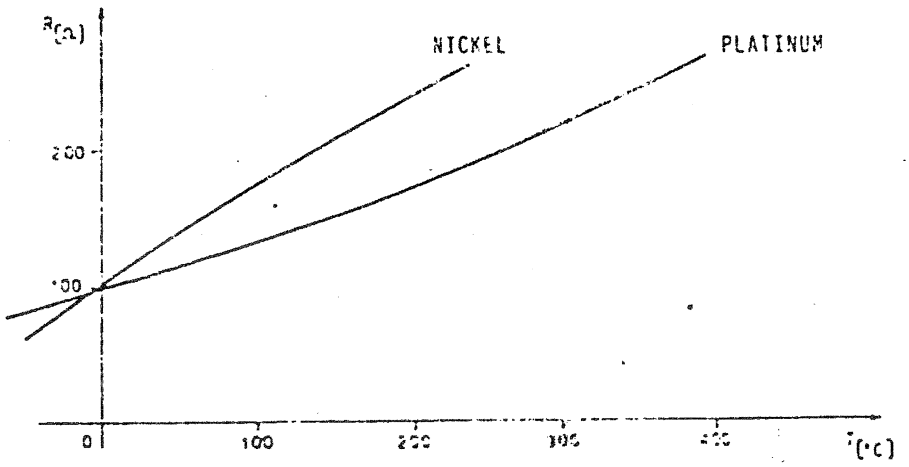
. คุณสมบัติคงที่คงทนต่อกาลเวลา
. คุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลง
. ความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้ดี

ทั้งสองชนิดของเทอร์โมรีซิสแดนท์ได้รับการยอมรับในมาตรฐานคือเทอร์โมรีซิสแดนท์แบบนิเกลและเทอร์โมรีซิสแดนท์แบบเพทตินัม

เทอร์โมรีซิสแดนท์แบบนิเกลมีสัมประสิทธ์อุณหภูมิ $\alpha = 6.17*10^{-3}\ C^{-1}$ และสามารถใช้อุณหภูมิระหว่าง -60 และ +150 ^{o}C

เทอร์โมรีซิสแดนท์แบบเพทตินัมมีสัมประสิทธ์อุณหภูมิ $\alpha = 3.85*10^{-3}\ C^{-1}$ และสามารถใช้อุณหภูมิระหว่าง -220 และ +750 ^{o}C

กราฟคุณสมบัติแสดงได้ดังรูป 2.5



รูป 2.5

เทอร์โมรีซิสแดนท์โดยปกติจะมีค่าความต้านทานอยู่ที่ 100 Ω ที่ 0°C และค่าความผิดพลาดที่ +/- 0.1°C การต่อสายไฟเป็นแบบ 2 เส้นทั้งสองชนิดโดยที่ฉนวนต้องทนอุณหภูมิได้สูงด้วยเช่นเซรามิก แก้ว ฯลฯ

โครงสร้างจะต้องทนอุณหภูมิได้สูงหรือกล่าวได้ว่าเทอร์โมรีซิสแดนท์มีความสัมพันธ์ที่ช้าในการติดตามอุณหภูมิของกระบวนการ

เทอร์โมรีซิสแดนท์และตัวปรับสภาพสัญญาณปกติต่อสายแบบสองเส้นเพื่อที่จะลดอิทธิพลจากสายไฟในการวัดเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลง การต่อแบบ 3 และ 4 เส้นจะใช้ในวงจรอิเลคทรอนิกส์ชนิดพิเศษ ตัวอย่างเช่นทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิของสารกึ่งตัวนำ

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการวัดที่มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การวัดผิดพลาดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการส่งความร้อนระหว่างอุปกรณ์ที่มีความไว ฉนวนป้องกัน และ อุณหภูมิแวดล้อมทั้งหมดนี้คือเหตุผลว่าทำไมจึงจ่ายกระแสไม่เกิน 10 mA

การทดลองที่ใช้ เทอร์โมรีซิสแดนท์แบบเพทตินัม Pt100 ต่อสาย 3 เส้นย่านการทำงานอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 250 °C ความเป็นเชิงเส้นสูงและความผิดพลาดต่ำ คุณลักษณะพื้นฐานของเทอร์โมรีซิสแดนท์จะอธิบายต่อจากนี้

2.2.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance)

รูป 2.6 แสดงวงจรไดอะแกรมการปรับสภาพสัญญาณสำหรับ RTD ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว(T1 และ T2) เป็นตัวกำเนิดกระแสคงที่ มีออปแอมป์สองตัวและเทอร์โมรีซิสแดนท์

การทำงานของ ตัวกำเนิดกระแสคงทคือการทำให้แรงดันตกคร่อมเทอร์โมรีซิสแดนท์คงที่ลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นกับแรงดันตกคร่อมที่สายไฟจะส่งสัญญาณกระแสจากตัวกำเนิดไปที่ตัวทรานสดิวเซอร์

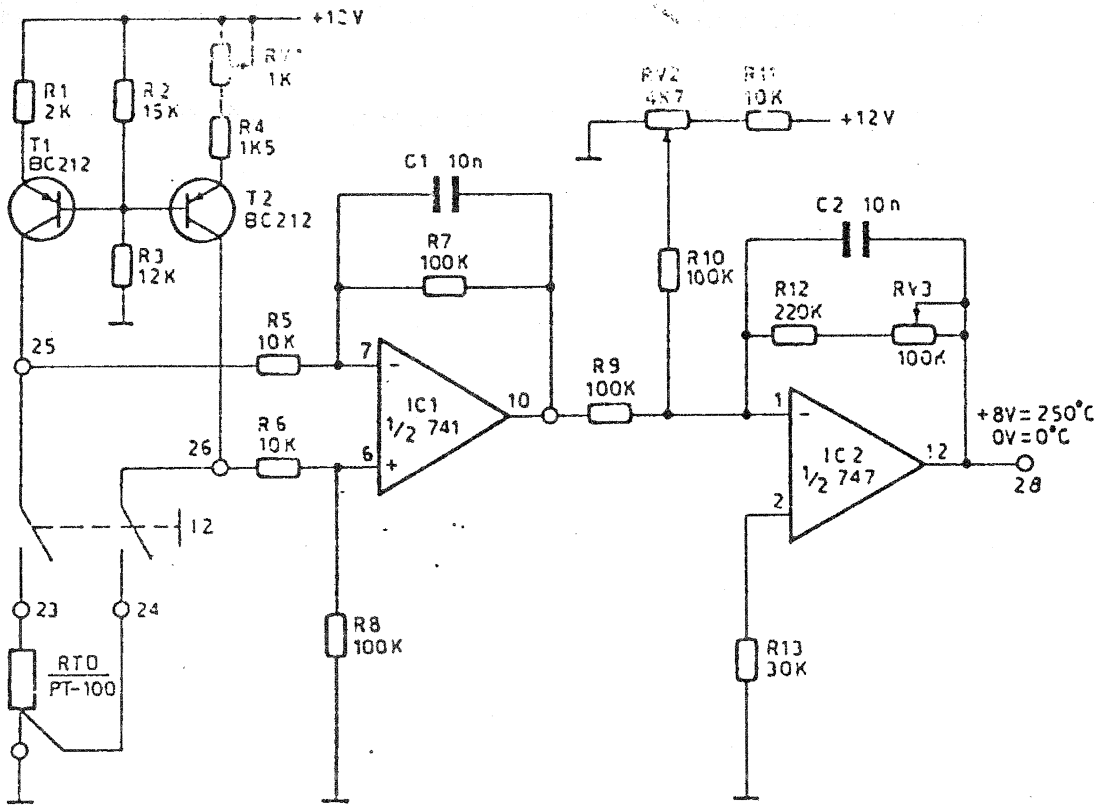
ออปแอมป์สองตัวจะขยายแรงดันตกคร่อมเทอร์โมรีซิสแดนท์และจำกัดย่านแรงดันเอาท์พุทระหว่าง 0 V และ 8Vสำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 250 $^{\circ}$C

ค่าสัญญาณคงที่ที่เพิ่มไปในอินพุทของออปแอมป์ตัวที่สอง (IC2) ขนาดของสัญญาณที่เพิ่มนี้จะเท่ากับแรงดันเอาท์พุทของ IC1 เมื่ออุณหภูมิของเทอร์โมรีซิสแดนท์เป็นศูนย์ ที่อุณหภูมินี้ความต้านทานที่ขั้วของตัวทรานสดิวเซอร์จะไม่เท่ากับศูนย์แต่เท่ากับ 100 Ω และนี้แสดงให้เห็นว่าแรงดันที่ตกคร่อมที่ 0 $^{\circ}$C ไม่เท่ากับศูนย์

ย่านการทำงานอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 0 ถึง 250 $^{\circ}$C สอดคล้องกับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 8V

ค่าอัตราส่วนคงที่ให้ความสัมพันธ์ได้ตามสมการข้างล่างนี้

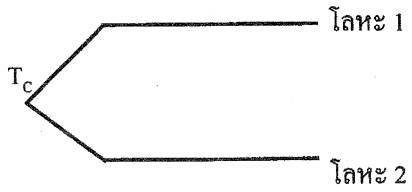
ค่าอัตราส่วนคงที่ = 32 mV/$^{\circ}$C



รูป 2.6

2.3 เทอร์โมคัปเปิ้ล

เทอร์โมคัปเปิ้ลประกอบด้วยวัตถุโลหะตัวนำสองชนิดต่อกันที่จุดหนึ่งดังรูป 2.7



รูป 2.7

เทอร์โมคัปเปิ้ล(รอยต่อร้อน) จะนำเอาไปใช้วัดอุณหภูมิเช่นในเตาอบ และนำรอยต่อเย็นมาวัดค่าผลต่างของอุณหภูมิดูรูป 2.8 วงจรจะกำเนิดเทอร์โมอิเลคทริก e.m.f (กระแสไฟฟ้า) แปรผันตามผลต่างของอุณหภูมิระหว่าง T_C และ T_F (SEEBACK EFFECT)

ย่านอุณหภูมิการทำงานของเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบ Cu-Constantan ต่ำกว่าแบบ Fe-Constantan (500 - 600 $^{\circ}$C) แต่ความเป็นเชิงเส้นดีกว่าขณะที่ราคาไม่แพง เทอร์โมคัปเปิ้ลแบบนี้เหมาะสำหรับอุณหภูมิระดับต่ำ

การชดเชยของสายไฟต้องมีคุณลักษณ์เทอร์โมอิเลคทริกเหมือนกันขณะที่เทอร์โมคัปเปิ้ลมี อุณหภูมิขึ้นไปถึง 150 - 200°Cและจะต้องไม่แพง

เทอร์โมคัปเปิ้ลในแบบ Fe-Constantan (ชนิด J)และรายละเอียดของคุณสมบัติมีดังนี้

. ค่าอัตราส่วนคงที่	53 μV/$^{\circ}$C
. ค่าความผิดพลาด	+/- 2.2 $^{\circ}$C ในย่าน0 - 270 $^{\circ}$C
	+/-0.75 % ในย่าน 270 - 760 $^{\circ}$C

. ป้องกันอย่างดีด้วยฉนวนโลหะ

2.3.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล

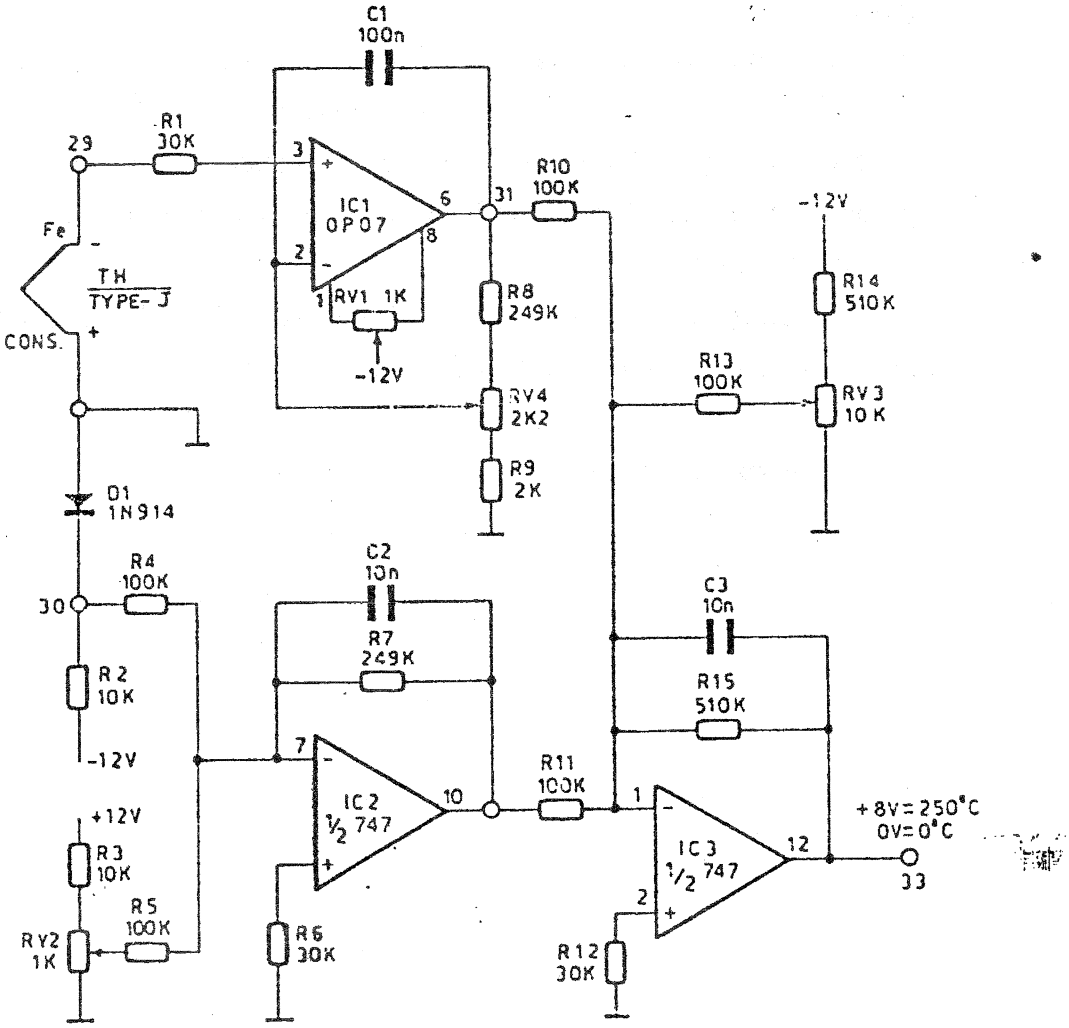
ปัญหาใหญ่สองปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อออกแบบตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ลคือแรงดันทำงานต่ำมากและการชดเชยจังก์ชันเย็น อุณหภูมิแวดล้อม เทอร์โมอิเลคทริกในหน่วย mV และจะต้องระวังการวัดที่ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอก

รูป 2.10 แสดงไดอะแกรมการปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล

แอมป์ IC1 มีอินพุทเป็นแรงดันเอาท์พุทของเทอร์โมคัปเปิ้ล (จะต้องคุณสมบัติพิเศษเช่น ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ออฟเซ็ทต่ำ และเกนขยายสูง) เพื่อที่จะพัฒนาคุณสมบัติของแอมป์จะใช้ตัวเก็บประจุเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน

การชดเชยจังก์ชันเย็นทำโดยใช้ IC2 และใช้อุปกรณ์ที่มีราคาต่ำ(ในกรณีนี้ คือซิลิกอนไดโอด D1)แรงดันจะขยายด้วยแอมป์ IC2 ไดโอดที่ใช้จะมีอัตราส่วนระหว่างแรงดันและกระแสขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยการทำ bias จะสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติของไดโอดร่วมกับการเปลี่ยนคุณสมบัติของจังก์ชันเย็น
สัญญาณจากบล็อกสองบล็อกเป็นอินพุทที่จะเข้าแอมป์ IC3 เอาท์พุทจะออกมาอยู่ที่ แจ็ค 33
ย่านอุณหภูมิทำงานอยู่ระหว่าง
ย่านการทำงานอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 0 ถึง 250 ^{o}C สอดคล้องกับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 8V
ค่าอัตราส่วนคงที่ให้ความสัมพันธ์ได้ตามสมการข้างล่างนี้

ค่าอัตราส่วนคงที = 32 mV/^{o}C


C1
100n
R1
30K
29
IC1
OP07
R10
100K
31
-12V
Fe
TH
TYPE- J
CONS.
RV1 1K
-12V
R8
249K
R14
510K
RV4
2K2
R13
100K
RV3
10 K
R9
2K
D1
1N914
C2
10n
R4
100K
30
C3
10n
R7
249K
R15
510K
R2
10K
-12V
IC2
½ 747
R11
100K
IC3
½ 747
+8V=250°C
0V=0°C
33
+12V
R3
10K
R5
100K
RV2
1K
R6
30K
R12
30K

รูป 2.10

3. กระบวนการทางอุณหภูมิ

3.1 ลักษณะรูปร่างของความร้อน

กระบวนการทางอุณหภูมิจะอธิบายข้างล่างนี้ การพาความร้อนของตัวนำจะเป็นไปตามสมการดังนี้โดยมีมวล m ,ความร้อนเฉพาะ c , ปริมาณความร้อน Q ,และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น δT

$$\delta T = Q/(m * c)$$

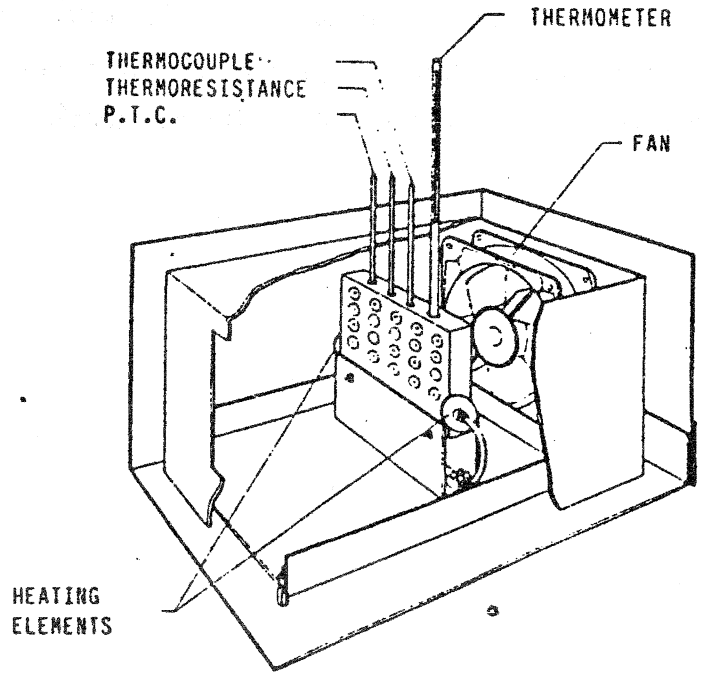
ปริมาณความร้อน Q ในระบบสากลมีหน่วยเป็นจูลและคำนวณโดยใช้การคูณค่าของพลังงานที่จ่ายให้กับวัตถุที่ได้รับความร้อน(จะเป็นค่าคงที่และมีหน่วยเป็นวัตต์) ในเวลาเป็นวินาที

การประมาณค่าในกระบวนการทางอุณหภูมิจะอยู่รวมกับกระบวนการในแกนเวลาฉะนั้นจะได้ผลตอบสนองกับดีเลย์ τ กระบวนการอาจอยู่ในเบ้าหลอมโลหะ แท้งค์บรรจุสารเคมี เตาอบ ฯลฯ

ในเครื่อง TY34/EV กระบวนการจะอยู่บนเพลทอลูมีเนียมจะทำให้ย่านการทำงานสูงกว่า 250°C กับความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนต่ำ(1000 W) และทำให้กระบวนการไปทำงานได้อย่างรวดเร็ว

เครื่องดังกล่าวจะมีตัวแอ็คชูเอเตอร์ทางอุณหภูมิคือความต้านทานทางไฟฟ้าสองตัว(2x50W/24VAC) และพัดลม (170 m^3/hr/24VDC/4.5W)

พัดลมจะทำหน้าที่ระบายความร้อนที่เพลทอลูมิเนียมได้อย่างรวดเร็วดังนั้นการทดลองสามารถทำได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องรอให้เสียเวลา เพลทอลูมิเนียมมีแตกต่างกันสามชนิดตามทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิทางอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องนี้(PTC,เทอร์โมรีซิสแดนท์และเทอร์โมคัปเปิ้ล) รวมทั้งเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทเพื่อใช้หาอุณหภูมิอ้างอิง และเทอร์โมมิเตอร์ด้วย เครื่องทดลองนี้ดูได้ตามรูป 3.1



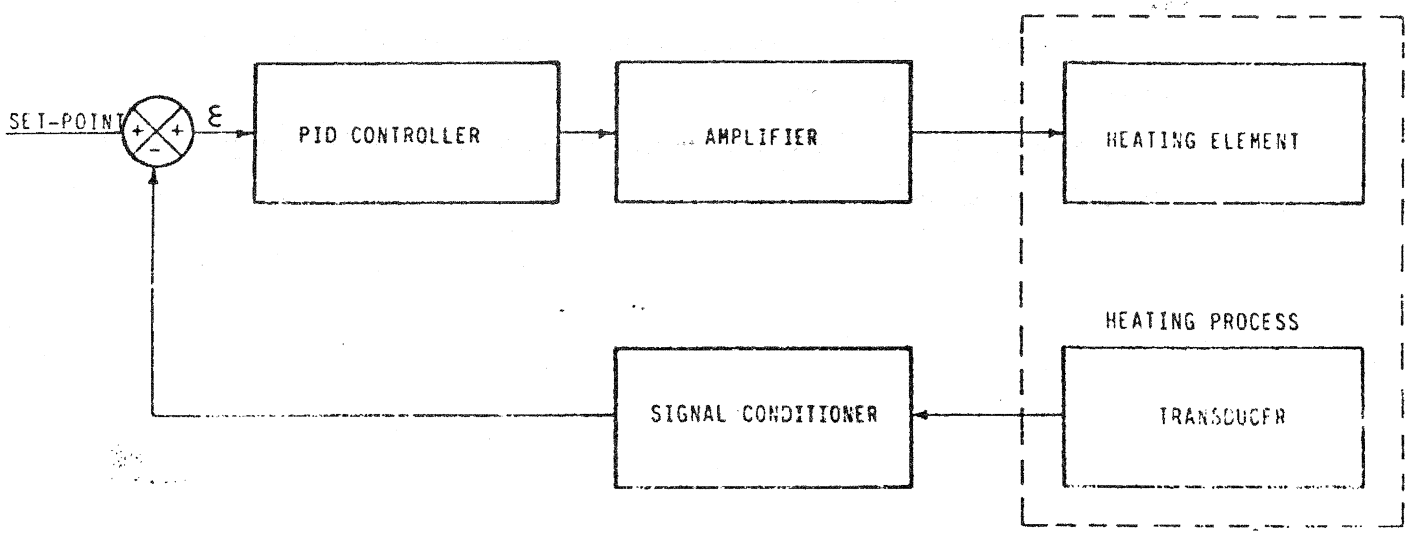
รูป 3.1

อุณหภูมิของเครื่องจะทำงานที่ย่านอุณหภูมิ

$$T_{amp} \longrightarrow 250^{\circ}C$$

3.2 การควบคุมกระบวนการทางอุณหภูมิ

ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสามารถทำงานได้ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและงานประยุกต์อื่นๆ บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัตแสดงได้ดังรูป 3.2



รูป 3.2

อุปกรณ์พื้นฐานในระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติมีรายละเอียดดังนี้

. เพาเวอร์แอมป์ : ขยายสัญญาณเอาท์พุทจากลูปควบคุมและจ่ายสัญญาณที่ขยายแล้วให้กับแอคชูเอเตอร์

. ทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิ : เป็นหนึ่งในสามชนิดที่ใช้งาน ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ตัวปรับสภาพสัญญาณจะเปลี่ยนสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบตั้งค่าที่ต้องการหรือสัญญาณอ้างอิง

. ตั้งค่าที่ต้องการและบล็อกเปรียบเทียบ

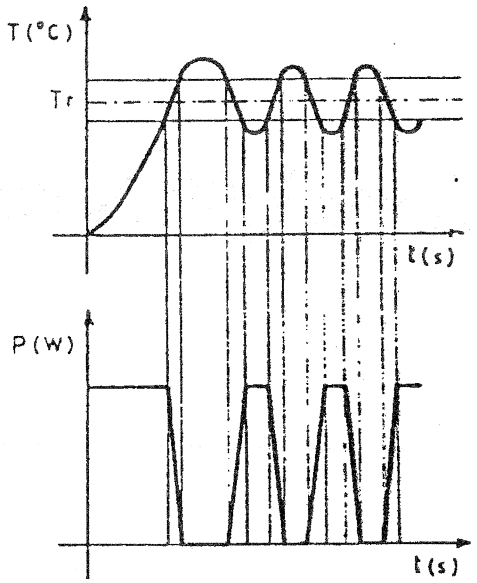
. ตัวควบคุม : ชนิด PID ตัวแปรของตัวควบคุมคือตัวแปรที่สามารถปรับได้

3.3 ตัวควบคุมชนิด P

จากรูป 3.3 สัญญาณค่าผิดพลาดได้รับมาจากเปรียบเทียบสัญญาณจากตัวปรับสภาพสัญญาณกับสัญญาณอ้างอิงที่ถูกขยายด้วยตัวแปร KP

ภายนอกของย่านการทำงานตัวควบคุมจะทำงานด้วยสัญญาณสวิทช์ปิดเปิดขณะที่ภายในของย่านการทำงานตัวควบคุมจะทำงานแบบผสมกัน

ระบบหนึ่งจะถึงค่าคงที่ได้ด้วยพลังงานที่จ่ายจากการขยายของแอคชูเอเตอร์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความร้อนที่กระจายไปยังอุปกรณ์ความร้อนต่างๆ



รูป 3.3

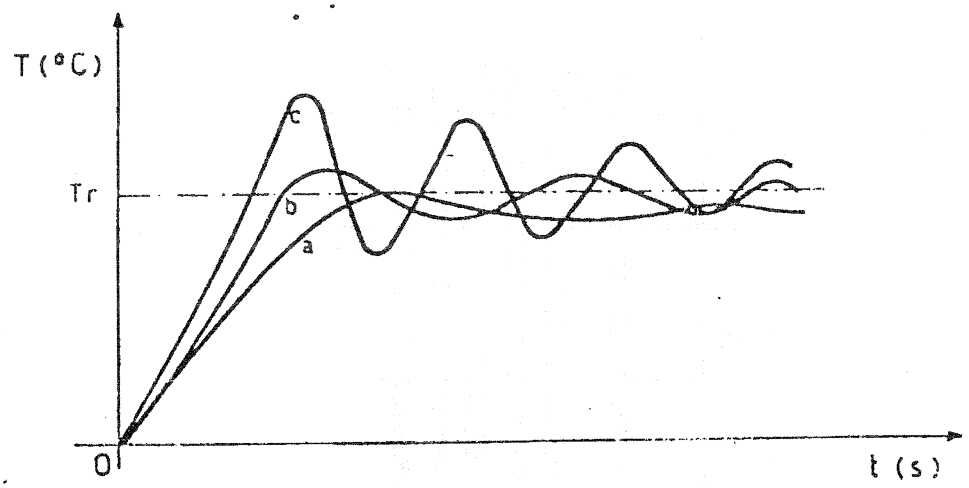
ที่ค่าคงที่เมื่อตัวควบคุมทำงานในช่วงการทำงานที่อยู่ตรงกลางของย่าน ความผิดพลาดจะไม่เท่ากับศูนย์แต่ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธ์ KP และขึ้นอยู่ค่าย่านการทำงานของมันเอง

กราฟผลต่างของอุณหภูมิกับเวลาสามารถหาได้ขึ้นอยู่กับย่านการทำงาน รูป 3.4 แสดงกราฟผลต่างของอุณหภูมิโดยมีสาเหตุมาจาก

a) PB กว้าง

b) PB ถูกต้อง

c) PB แคบ



รูป 3.4

3.4 ตัวควบคุมชนิด PI และ PID

ผลการทำงานโดยรวมคือลดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่ค่าคงที่ให้เท่ากับศูนย์และปรับปรุงผลตอบสนองของระบบควบคุมดังนั้นการทำงานจะเร็วขึ้น

ผลการทำงานโดยรวมสามารถวัดได้จากผลตอบสนองแบบสเตป อย่างไรก็ตามระบบอาจจะมีค่าความหน่วง(เช่นช่วงระหว่างการให้พลังงานไปที่แอคชูเอเตอร์โดยเพาเวอร์แอมป์และค่าความร้อนปัจจุบัน)สูง เพราะฉะนั้นช่วง PB กว้างมาก ในกรณีนี้ผลการทำงานโดยรวมจะทำให้ลดป้องกันการเกิดออสซิเลเตอร์

และการชดเชยของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงใช้เวลานาน เพื่อหลีกเลี่ยงจากปัญหานี้ ตัวควบคุมแบบ D ควรต้องแทนด้วยตัวควบคุมแบบ PI ระบบจะให้ผลตอบสนองที่มีประสิทธภาพมากกว่า

เมื่อกระบวนการดำเนินต่อไป ผลของ ตัวควบคุมแบบ D จะลดลงและ ผลของ ตัวควบคุมแบบ I จะไปลดความผิดพลาดให้เท่ากับศูนย์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสภาวะคงตัว

4. รายละเอียดเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า

4.1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ

ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์สามารถทำการวัดได้โดยใช้วงจรวีดสโตนบริดจ์ รูป 4.1 แสดงไดอะแกรมโดยทั่วๆไปและเฉพาะสำหรับวีดสโตนบริดจ์ชนิดนี้ วีดสโตนบริดจ์ชนิดนี้สามารถสร้างมากับอุปกรณ์ที่ใช้ในตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์มิสเตอร์ในโมดูล G34 และแสดงได้ดังรูป4.2 รูป 4.3 แสดงวงจรไดอะแกรมของตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับตัวทรานสดิวเซอร์

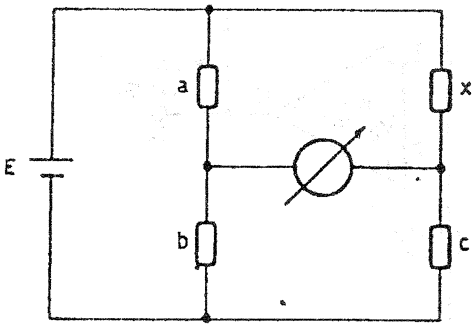
อุปกรณ์ Z1,R1,R7,R8,RV1และC1 จากวงจรกำเนิดสัญญาณอ้างอิงภายในจะจ่ายพลังงานให้กับวีดสโตนบริดจ์ แรงดันเร็กกูเลทประกอบด้วยเร็กกูเลทขนานกัน 3 ขั้วโดยจะเร็กกูเลทขึ้นอยู่กับแรงดันที่มาจากตัวต้านทาน บริดจ์เปรียบเทียบจะประกอบด้วย R2,R4,R5 และ RV2 ต่อสายไฟกับตัวทรานสดิวเซอร์ PTC เป็นแบบ 3 สาย ตัวต้านทาน R3 เพิ่มความเป็นเชิงเส้นให้กับคุณสมบัติของตัวทรานสดิวเซอร์ แรงดันผลต่างที่อุปกรณ์ที่อยู่ตำแหน่งทแยงมุมกันของบริดจ์(คือตัวทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิ) และถูกขยายด้วย IC1 เอาท์พุทของ IC1 จะจ่ายให้กับอินพุทขานอน-อินเวอร์ทติ้งของ IC2 โดยสามารถหาย่านแรงดันเอาท์พุทได้

เกนของ IC2 แสดงได้ดังนี้

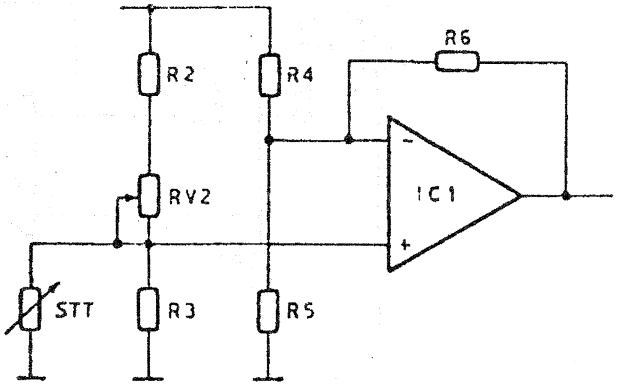
$$1 + (R9 + RV3) / R10$$

กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับตัวทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ เกนของ IC2 จะเปลี่ยนจาก 4.3 ถึง 6.5 เอาท์พุทของแอมป์ IC2 จะอยู่ที่แจ็ค 22

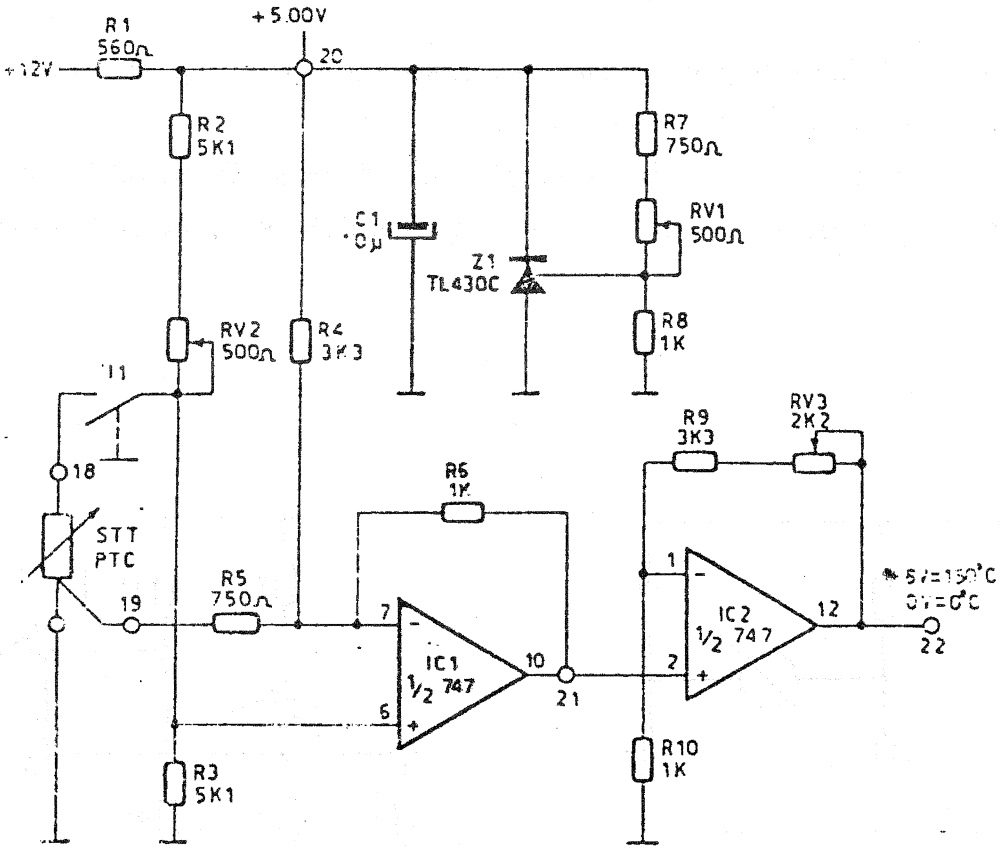
ตัวทรานสดิวเซอร์ PTC ทำการวัดอุณหภูมิได้เกิน 175 °C เพราะฉะนั้นการป้องกันไว้ก่อนจึงเป็นสิ่งสำคัญโมดูลจึงได้รับการออกแบบมาให้มีการแสดงสัญญาณเตือนเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกิน 150 °C (LED จะสว่าง)



รูป 4.1



รูป4.2


+12V
R1
560Ω
+5.00V
20
R2
5K1
C1
·0µ
Z1
TL430C
R7
750Ω
RV1
500Ω
R8
1K
RV2
500Ω
R4
3K3
11
18
STT
PTC
19
R5
750Ω
R6
1K
7
IC1
½ 747
6
10
21
R3
5K1
R9
3K3
RV3
2K2
1
IC2
½ 747
2
12
22

รูป 4.3

4.2 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance)

วงจรไดอะแกรมของตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมรีซิสแดนท์แสดงได้ดังรูป 4.4 วงจรกำเนิดกระแสคงที่ 2 วงจรมีอุปกรณ์ดังนี้คือ T1,T2,R1,R2,R3,R4 , RV3และออปแอมป์ เพื่อที่จะคำนวณค่าของกระแสนี้หาได้จากทรานซิสเตอร์ 2 ตัวแต่จะมีแรงดันเท่ากันกับสมการข้างล่างนี้

$$Vb = Vcc * R3 / (R2 + R3)$$

แรงดันจ่าย Vcc และแรงดันขาเบส Vb กับอุปกรณ์ที่ใช้ Vb = 5.33 V แอมป์ทั้งสองตัวเป็นชนิด PNP แรงดันที่อีมิตเตอร์ประมาณได้ว่า Ve = Vb + 0.7 หรือประมาณได้ว่า Ve =6V

กระแสที่ไหลผ่าน R1 คือ (Vcc - Ve) / R1 = 3 mA แทนด้วยการใส่ตัวต้านทาน 2K ระหว่างขาอีมิตเตอร์ของ T2 และแหล่งจ่ายและให้ตัวต้านทาน 1.5 K คงที่และโพเทนชิโอมิเตอร์ค่า 1 K โดยการวัดกระแสที่ผ่านทรานซิสเตอร์ 2 ตัว เป็นไปได้ที่จะปรับ RV1 เพื่อจะกำจัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์

การใช้วงจรกำเนิดกระแสคงที่ 2 วงจรมีจุดมุ่งหมายเพื่อกำจัดความผิดพลาดที่มาจากสาเหตุของแรงดันตกคร่อมที่สายที่ทำหน้าที่ส่งกระแสไปให้กับเทอร์โมรีซิสแดนท์และนี้อาจจะมีความสำคัญมากถ้าตัวทรานสดิวเซอร์อยู่ในตำแหน่งระยะทางไกลๆจากตัวปรับสภาพสัญญาณ

โดยการผ่านจากจุด 25 ไปที่เทอร์โมรีซิสแดนท์และไปที่กราวน์กระแสจะเหมือนกันกับการผ่านจากจุด 26 ไปที่จุด 24 และจากเทอร์โมรีซิสแดนท์และไปที่กราวน์และสมมุติได้ว่าทั้ง 2 กิ่งมีความยาวและความต้านทานเหมือนกันดังนั้นจะไม่มีผล

แรงดันของเทอร์โมรีซิสแดนท์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่จ่ายให้กับอินพุทของออปแอมป์ IC1 แรงดันเอาท์พุทจะได้ดังนี้

$$Vo = (V26 * R8) / (R6 + R8) - (V25 - (V26 * R8) / (R6 + R8)) * (R7 / R5)$$

แรงดัน V26 และ V25 จะอยู่ที่แจ็ค 26 และ 25 ตามลำดับ สมการข้างบนทำให้ง่ายได้ดังนี้

$$Vo = (V26 * R8) / (R6 + R8) - (1 + (R7 / R5)) - V25 * (R7/ R5)$$

และให้ R6 = R5 และ R7 = R8

$$Vo = (V26 - V25) * (R7 / R5)$$

แรงดันเอาท์พุทจะเท่ากับผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุท(เท่ากับแรงดันที่ปลายของตัวทรานสดิวเซอร์) ถูกขยาย ด้วย R7 / R5 เอาท์พุทของ IC1 เข้าที่ IC2 ผ่าน R9 มีเกน(R12 +RV3) / R9 และเปลี่ยนแปลงระหว่าง 2.2และ 3.2 วงจรประกอบด้วย R10,R11 RV2 จะสร้างสัญญาณคงที่ทำให้เอาท์พุทของ IC2 เท่ากับ 0V เมื่ออุณหภูมิเป็นศูนย์ (จำเทอร์โมรีซิสแดนท์ได้ไหมว่าจะมีค่า 100 Ω ที่ 0 $^{\circ}$C เช่นเดียวกันเอาท์พุทของ IC1 จึงไม่เท่ากับ0V ที่อุณหภูมินี้)

ตัวเก็บประจุ C1 และ C2 จะกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่สูง

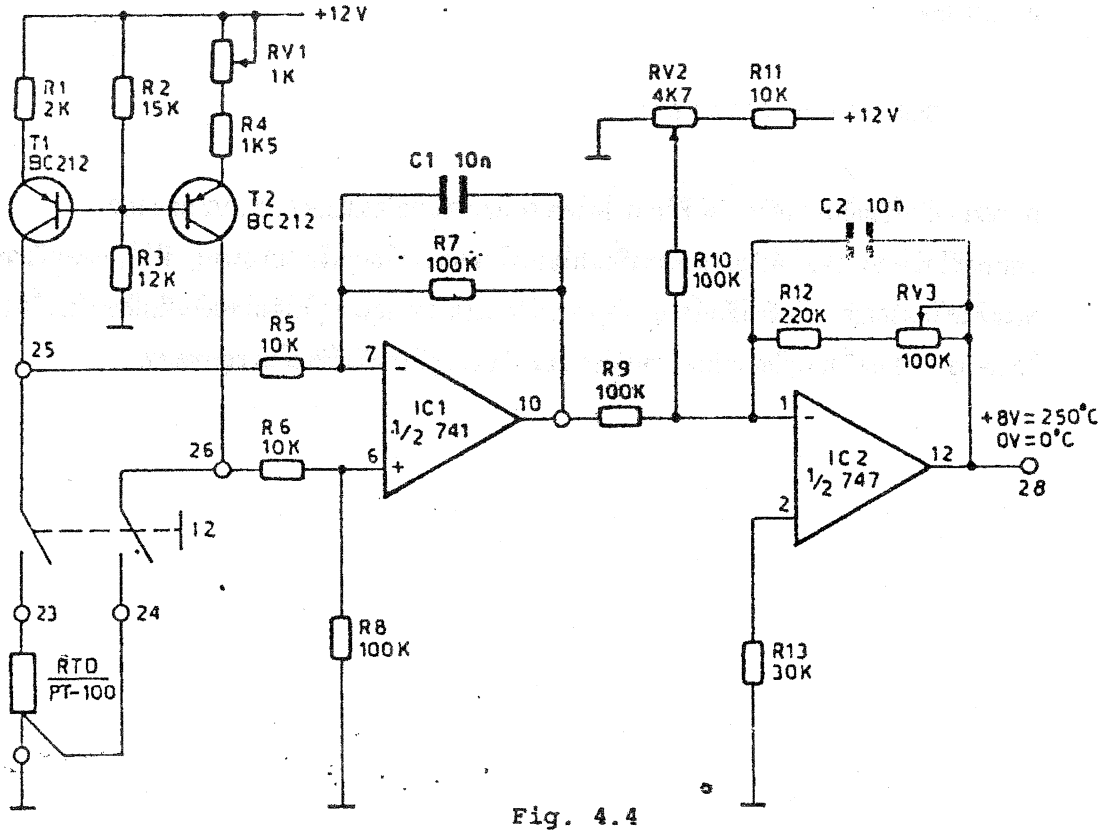


Fig. 4.4

รูป 4.4

4.3 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล

วงจรไดอะแกรมสำหรับตัวปรับสภาพสัญญาณชนิดนี้แสดงดังรูป 4.5 แรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเป็นอินพุทที่ขานอน-อินเวอร์ทติ้งของแอมป์ที่ประกอบไปด้วย IC1,R1,R9,RV4และC1 เกนของขั้นนี้ได้จากตัวแปรโดย RV4 และสามารถเปลี่ยนจากค่าสูงสุด

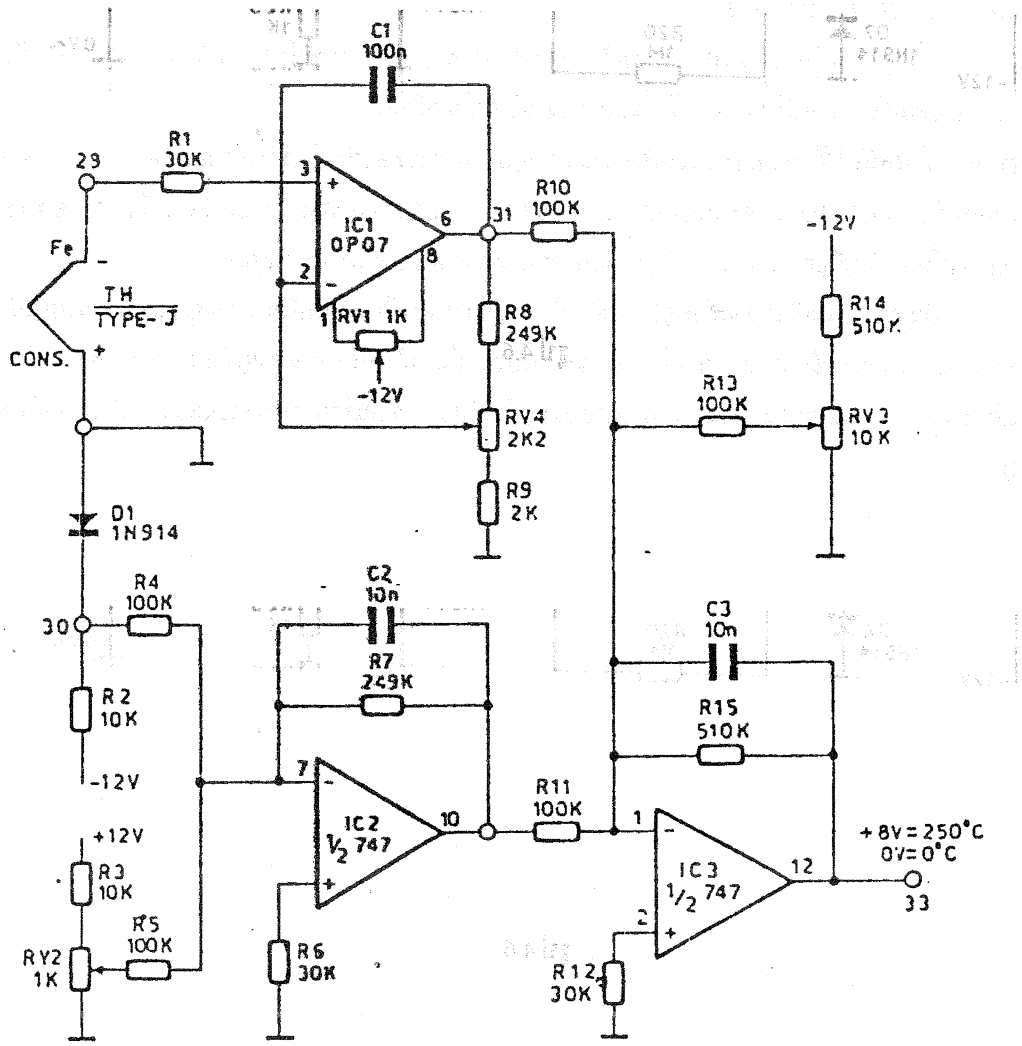
$$Gmax = 1 + (R8 + RV4) / R9$$

เป็นค่าต่ำสุด

$$Gmin = 1 + R8 / (RV4 + R9)$$

การชดเชยจังก์ชันเย็นทำได้โดยใช้ ซิลิกอนไดโอด D1และ R4,R2,R5,R3,R7,C2,RV2 และ IC2 โพเทนชิโอมิเตอร์ RV2 ให้สัญญาณค่าคงที่เข้าที่ขาคาโทดของไดโอด(แจ็ค 30) อุณหภูมิที่ให้(อุณหภูมิแวดล้อม) ขณะที่ไดโอดใกล้เคียงกับจังก์ชันเย็น เอาท์พุทจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่จังก์ชันเย็นทีเปลี่ยนไป เมื่อโพเทนชิโอมิเตอร์ RV2 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิของจังก์ชันเย็นจะถูกชดเชย

แรงดันเอาท์พุทจาก IC1และIC2 จะบวกกันด้วยแอมป์บวก (IC3,R15,R11,R10 และC3) อินพุทของ IC3 จะรับแรงดันคงที่ที่กำเนิดจาก R14,R13 และ RV3 สัญญาณเอาท์พุทของออปแอมป์จะเลื่อนไปเพื่อที่จะทำให้จังก์ชันเย็นไม่มีค่าที่อุณหภูมิเท่ากับ 0°C



รูป 4.5

4.4 เพาเวอร์แอมป์

วงจรไดอะแกรมของเพาเวอร์แอมป์แสดงได้ดังรูป 4.6 จะแสดงการทดสอบได้ที่ด้านหน้าของตัวเครื่องและชนิดและค่าของแต่ละตัวอุปกรณ์

4.4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวงจร

จากรูป 4.6 โมดูลแอมป์ประกอบด้วยสองส่วนส่วนแรกทำหน้าที่เป็นแอมป์แบบไฟสลับสำหรับความต้านทานความร้อน ส่วนที่สองทำหน้าที่ระบายความร้อนด้วยพัดลม

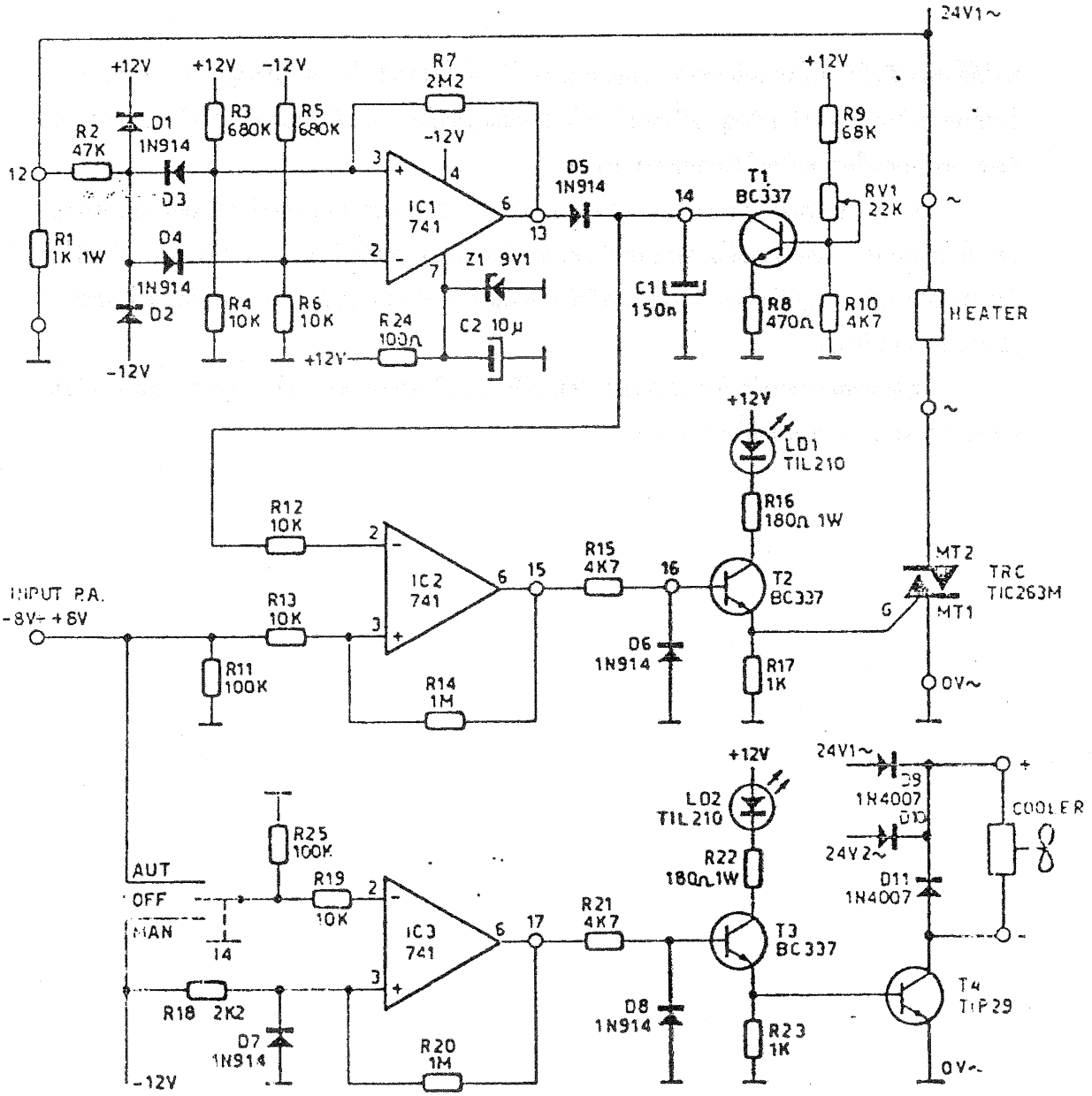
แอมป์แบบไฟสลับใช้ไตรแอคสำหรับสัญญาณควบคุมขาเกทจะต้องซิงค์โครกับความถี่ของแหล่งจ่าย ขั้นนี้ประกอบด้วย R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8,R9,R10,RV1,D1,D2,D3และD4 และออปแอมป์ IC1 (ต่อกับ Schmitt trigger) เพื่อกำเนิดสัญญาณซิงค์และสัญญาณพลัส์ขณะที่แรงดันแหล่งจ่ายผ่านศูนย์

สัญญาณพลัส์นี้จะถ่ายประจุให้กับตัวเก็บประจุ C1 ทันทีทันใดหลังจากสัญญาณซานต์ผ่านศูนย์ เอาท์พุทของ IC1 จะตกลงอีกครั้งและตัวเก็บประจุจะเก็บประจุที่แรงดันประมาณ 8V(เช่นแรงดันค่าสูงสุดของ IC1) ตัวเก็บประจุ C1 จะถ่ายประจุผ่าน T1 การถ่ายประจุเป็นไปอย่างรวดเร็ว(และเพราะฉะนั้นจะเป็นแรงดันขอบขาลง)

หาได้ด้วยแรงดันที่จ่ายให้ทรานซิสเตอร์ T1 และสามารถปรับได้ด้วย RV1 แจ็ค 14 นำสัญญาณสามเหลี่ยมซิงค์โครกับความถี่ของแหล่งจ่าย สัญญาณนี้จะเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทจากตัวควบคุม PID หลังจากการขยายสัญญาณทริกของไตรแอคโดยใช้เทคนิคการแบ่งเฟส

ขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย R12,R13,R14,R15,R16,R17,D6,T2 และออปแอมป์ IC2 พัดลมระบายความร้อนเป็นมอเตอร์กระแสตรงและต้องการแหล่งจ่ายกระแสไฟตรงแหล่งจ่ายนี้ได้จากวงจรเร็กติฟาย 24 V โดยใช้ไดโอด D9,D10 พัดลมจะถูกขับด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง T4 ที่ถูกควบคุมด้วยภาคขับประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ T3 และออปแอมป์ IC3

สัญญาณอินพุทของตัวขับจะส่งด้วยการใช้มือปรับโดยสวิทช์หรืออัตโนมัติในกรณีหลังนี้สัญญาณจะมาจากอินพุทที่จุด 11 และจะเปิดเมื่อขั้วเป็นลบ


24V1~
+12V
+12V
-12V
R7
2M2
R2
47K
D1
1N914
R3
680K
R5
680K
-12V
R9
68K
12
D3
IC1
741
D5
1N914
T1
BC337
RV1
22K
R1
1K 1W
D4
1N914
Z1 9V1
C1
150n
R8
470Ω
R10
4K7
HEATER
D2
R4
10K
R6
10K
R24
100Ω
C2 10µ
-12V
+12V
LD1
TIL210
R16
180Ω 1W
R12
10K
IC2
741
R15
4K7
T2
BC337
MT2
TRC
TIC263M
INPUT P.A.
-8V÷+8V
R13
10K
R11
100K
R14
1M
D6
1N914
R17
1K
MT1
0V~
+12V
24V1~
LD2
TIL210
D9
1N4007
COOLER
R25
100K
AUT
OFF
MAN
R19
10K
IC3
741
R21
4K7
R22
180Ω 1W
T3
BC337
D10
24V2~
D11
1N4007
R18 2K2
D7
1N914
R20
1M
D8
1N914
R23
1K
T4
TIP29
-12V
0V~

รูป 4.6

4.5 แอมป์ตั้งค่าอ้างอิงและแอมป์สัญญาณผลต่าง

วงจรไดอะแกรมของตัวตั้งค่าอ้างอิงแสดงได้ดังรูป 4.7 ไดอะแกรมสำหรับแอมป์สัญญาณผลต่างแสดงได้ดังรูป4.8 ไดอะแกรมจะแสดงจุดทดสอบทางด้านหน้าของเครื่องและค่าของแต่ละตัวอุปกรณ์

4.5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวงจร

ส่วนนี้ของโมดูลจะมีสัญญาณตั้งค่าอ้างอิงสำหรับกระบวนการอัตโนมัติและเปรียบเทียบสัญญาณป้อนกลับที่จ่ายด้วยตัวปรับสภาพสัญญาณของทรานสดิวเซอร์

จากรูป 4.7 ประกอบด้วย R1,R2,R3,RV1,C1 และแรงดันเร็กกูเลท Z1 (ใช้ TL430 เหมือนกับที่ใช้เป็นตัวปรับสภาพสัญญาณของเทอร์มิสเตอร์) มีแรงดันเลี้ยง 8V

P1 และ RV2 ให้สัญญาณตั้งค่าอ้างอิงมีย่านอยู่ระหว่าง 0 ถึง 8V สัญญาณตั้งค่าอ้างอิงสามารถวัดได้ที่แจ็ค 2 แอมป์ผลต่างจะเปรียบเทียบสัญญาณตั้งค่าอ้างอิงกับสัญญาณป้อนกลับ

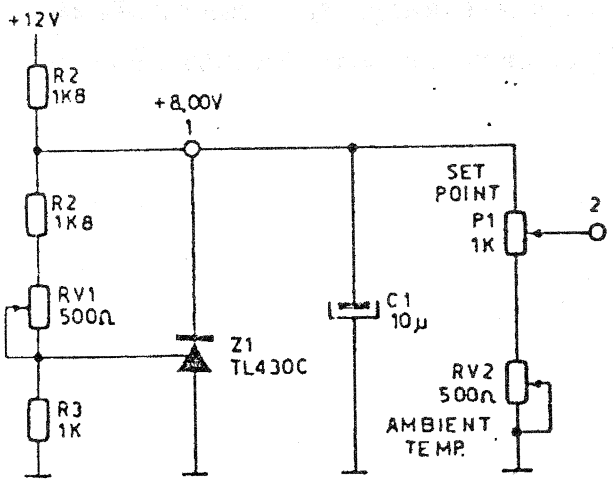
แอมป์ผลต่างจะประกอบด้วยออปแอมป์ IC1 และ R1,R2,R3,R4(ดูรูป 4.8) สัญญาณตั้งค่าอ้างอิงจะต้องต่อกับแจ็ค3 สัญญาณป้อนกลับต่อที่แจ็ค 4 ถ้าแรงดันสัญญาณตั้งค่าอ้างอิงและแรงดันสัญญาณป้อนกลับคือV3 และV4 ตามลำดับ

แรงดันอินพุทผลต่างเท่ากับศูนย์ จากนั้นเกนจะหาได้ดังนี้

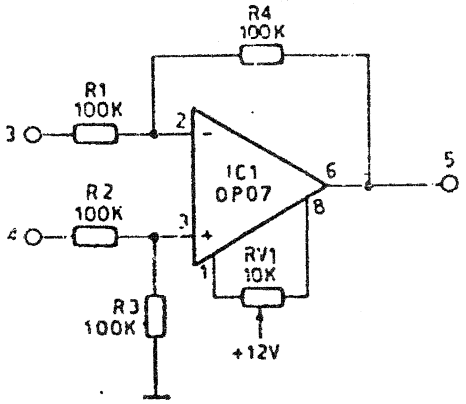
$$Vo = (V4 * R3) / (R2 + R3) - (V3 - V4 * (R3 / (R3 + R2)) * (R4 / R1)$$

ขณะที่ความต้านทานทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 100 Ω จะได้สมการที่ง่ายลงดังนี้

$$Vo = V4 - V3$$



รูป 4.7



รูป 4.8

4.6 ตัวควบคุมชนิดPID

วงจรไดอะแกรมของตัวควบคุมชนิด PID แสดงได้ดังรูป 4.9 ไดอะแกรมจะแสดงจุดทดสอบทางด้านหน้าของเครื่องและค่าของแต่ละตัวอุปกรณ์

4.6.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวงจร

ก่อนการอธิบายถึงฟังก์ชันการทำงานของตัวควบคุมที่ประกอบด้วย R4,R5,R6และP2 ขณะที่อินพุทขาอินเวอร์ทติ้งเป็นกราวน์เสมือน และแจ็ค 6 ด้านซ้ายจะไม่ต่อจากนั้นถ้าแรงดันอินพุทคือ Vi กระแสเท่ากับ Vi/R1 ส่งผ่านความต้านทาน R1 ขณะความต้านทานอินพุทของออปแอมป์เป็นไปตามทฤษฎีคืออินฟีนิตี้ ความต้านทาน R4 มีกระแสเท่ากับ Vi/R1 และเพราะฉะนั้นแรงดันที่ R5 เท่ากับ -Vi*R4/R1

ขณะความต้านทาน R4 ต่อกับกราวน์เสมือน วงจรสามารถทำให้ง่ายโดยแทน R4 และ R5 กับความต้านทานหนึ่งตัวที่มีค่าเท่ากับค่าของ R4 และ R5 ต่อขนานกัน

มองจากเอาท์พุทของ IC1 (แจ็ค9) แรงดันที่ R5 (และที่ R4) เท่ากับ

$$(Vo * R4 // R5) / ((R4 // R5) + (R6 + P2)$$

การประยุกต์ของค่าที่เหมือนกันทำได้ดังนี้

$$Vo / Vi = - (R4 / R1) * ((R4 * R5 + (R6 + P2) * (R4 + R5)) / (R4 * R5))$$

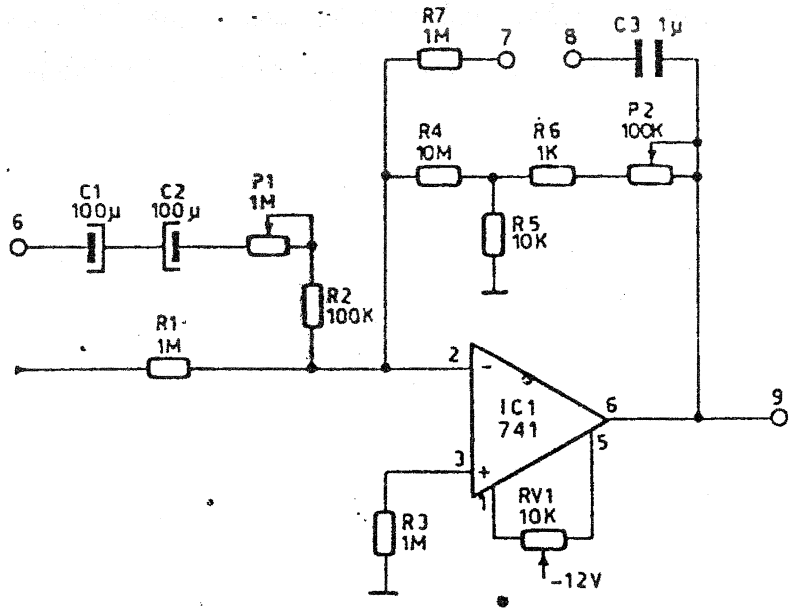
ถ้าความต้านทานป้อนกลับมีค่าเท่ากันให้เป็น Req จะได้ Vo/Vi = - Req/Ri เพราะฉะนั้น

$$Req = R4 * (1 + ((R6 + P2) / R5) + ((R6 + P2) / R5))$$

กับอุปกรณ์ที่ใช้ Req เปลี่ยนจาก 11 MΩ ถึง 111 MΩ วงจรใช้ตัวต้านทานค่าสูงแบบธรรมดา ตัวควบคุมชนิด PID มาจาก Proportional,Integrating และ Derivativeทำงานในลักษณะลูปปิด P ทำงานด้วย R1 และ Reqโดยให้เอาท์พุทเป็นอัตราส่วนกับอินพุท อย่างไรก็ตามผลการทำงานของ P ต้องการความผิดพลาดที่ไม่เท่ากับศูนย์ ปัญหาอื่นๆเช่นถ้าเกนสูงมากระบบอาจเสียเสถียรภาพได้ I ทำงานด้วย R1,R7 และ C3ทำงานโดยลดค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวให้เท่ากับศูนย์

ในกรณีนี้เมื่อเพิ่มเกนของ I ระบบจะมีเสถียรภาพต่ำหรือจะออสซิเลทได้ เพื่อที่จะแก้ปัญหาของเสถียรภาพและการออสซิเลทจึงเพิ่ม D ซึ่งประกอบด้วย C1,C2,P1 และ Req

การใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว(C1 และ C2)อธิบายความจริงได้ว่าตัวเก็บประจุที่ใช้ค่าสูงมากจะไม่จำเป็นต้องใช้ค่าความต้านทานค่าสูงๆและด้วยเหตุนี้ จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโทรไลท์เพราะมีค่าสูง อย่างไรก็ตามตัวเก็บประจุต้องมีขั้วเดียวเพื่อป้องกันการลัดวงจร สามารถแก้ปัญหานี้ได้ด้วยตัวเก็บประจุ 2 ตัวต่อแบบกลับขั้ว



รูป 4.9

5. คำถาม

. หลักการอะไรที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ

. อุณหภูมิจะบอกได้อย่างไร

. อธิบายถึงหลักการทำงานของทรานสดิวเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ

. อธิบายการชดเชยสายไฟที่ต่อระหว่างทรานสดิวเซอร์กับตัวปรับสภาพสัญญาณแบบ 3 สาย

. อธิบายถึงหลักการทำงานของเทอร์โมรีซิสแตนท์และเทอร์โมคัปเปิ้ล

. วัสดุอะไรที่ได้รับความนิยมในการผลิตทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิ

. อธิบายไดอะแกรมการทำงานของตัวปรับสภาพสัญญาณในระบบควบคุมอุณหภูมิ

. ทำการทดลองแล้วเปรียบเทียบผลในลักษณะของความเป็นเชิงเส้นและความผิดพลาดการวัด

. เปรียบเทียบผลตอบสนองต่อเวลาของทรานสดิวเซอร์ทุกตัวว่าตัวใดมีความเร็วสูงสุด

6. การปรับเทียบ

6.1 การปรับเทียบของการปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบสารกึ่งตัวนำ

อุปกรณ์ที่ต้องการ

. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

. ความต้านทานค่า 801 Ω และ 2215 Ω

วิธีทำ

. นำเอากรอบแก้วออก

. ต่อแหล่งจ่ายให้กับเครื่อง

. ไม่ต่อทรานสดิวเซอร์ PTC จากโมดูล

. สวิทช์ไปที่ตำแหน่ง ON

. ใส่ความต้านทาน 801 Ωระหว่างแจ็ค 18 และกราวน์และต่อแจ็ค 19 ลงกราวน์

. ปรับ RV2 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของ IC1 เท่ากับศูนย์

. แทนความต้านทาน 801Ωด้วยความต้านทาน 2215Ω

. ปรับ RV3 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของ IC2 เท่ากับ +8V

6.2 การปรับเทียบของการปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมรีซิสแทนซ์ (Thermoresistance)

อุปกรณ์ที่ต้องการ

. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

. ความต้านทานค่า 100 Ω และ 194 Ω

วิธีทำ

. นำเอากรอบแก้วออก

. ต่อแหล่งจ่ายให้กับเครื่อง

. เปิดสวิทช์ I2 และต่อทรานสดิวเซอร์ RTD กับโมดูลวัดด้วยมัลติมิเตอร์(ปรับเป็นแอมป์มิเตอร์)ระหว่างจุด25 และ 23 และวัดกระแส

. เอามัลติมิเตอร์วัดระหว่างจุด26 และ 24 และปรับ RV1 จนกระทั่งกระแสเท่ากับกระแส ระหว่างจุด25และ 23

. ไม่ต่อเทอร์โมรีซิสแดนท์จากอินพุทของโมดูลและใกล้กับสวิทช์ I2

. ใส่ความต้านทาน 100 Ωระหว่างแจ็ค 23 และกราวน์และต่อแจ็ค 24 ลงกราวน์

. ปรับ RV2 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของ IC2 เท่ากับศูนย์

. แทนความต้านทาน 100 Ωด้วยความต้านทาน 194 Ω

. ปรับ RV3 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของ IC2 เท่ากับ +8V

6.3 การปรับเทียบของการปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล

อุปกรณ์ที่ต้องการ

. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

. ความต้านทานค่า 10 Ω และ 1000 Ω

วิธีทำ

. นำเอากรอบแก้วออก

. ต่อแหล่งจ่ายให้กับเครื่อง

. ต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลไปที่อินพุทของโมดูลและรักษาอุณหภูมิแวดล้อมให้คงที่

. ปรับ RV1 จนกระทั่งแจ็ค 31 เท่ากับศูนย์

. ปรับ RV2 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของ IC2 เท่ากับศูนย์

. ไม่ต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลและจ่ายสัญญาณ 13.55 mV ระหว่างแจ็ค 29 และกราวน์(สัญญาณจะต้องได้จากแหล่งจ่ายสำรองโดยใช้การแยกแรงดันของตัวต้านทาน)

. ปรับ RV4 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของ IC3 เท่ากับ +8V

. ย้ายแรงดันอินพุทและต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลอีกครั้ง

. ปรับ RV3 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของ IC3 เท่ากับให้สอดคล้องกับอุณหภูมิแวดล้อม(เช่นที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C สัญญาณควรมีแรงดัน 20 mV)

6.4 การปรับเทียบของเพาเวอร์แอมป์

อุปกรณ์ที่ต้องการ

. ออสซิโลสโคป

วิธีทำ

. นำเอากรอบแก้วออก

. ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ทนต่อความร้อนต่อกับเอาท์พุทของบล็อกทำความร้อน

. ต่อแหล่งจ่ายให้กับเครื่อง

. ลัดวงจรแจ็ค 11 (อินพุทของบล็อกทำความร้อน)ลงกราวน์

. ส่งสัญญาณไปที่อุปกรณ์ที่ทนต่อความร้อนและวัดด้วยช่อง A ของ ออสซิโลสโคป

. ปรับ RV1 จนกระทั่งไตรแอคทริก

6.5 การปรับเทียบของบล็อกตั้งค่าอ้างอิงและบล็อกเปรียบเทียบ

อุปกรณ์ที่ต้องการ

. มัลติมิเตอร์

วิธีทำ

. นำเอากรอบแก้วออก

. ต่อแหล่งจ่ายให้กับโมดูล G34/EV ด้วย +/-12 V

. คำนวณอัตราส่วนของแรงดันต่ออุณหภูมิสำหรับอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้(เช่น Tmax = 150 $^{\circ}$C Vmax = 8V อัตราส่วนของแรงดันต่ออุณหภูมิ = 0.16 V/$^{\circ}$C)

. เมื่อตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ P1 ไว้ที่ค่าต่ำสุดปรับ RV2 จนแรงดันสอดคล้องกับอุณหภูมิแวดล้อม ในทางนี้ไม่จำเป็นสำหรับระบบควบคุมที่จัดการกับอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิแวดล้อม

6.6 การปรับเทียบของตัวควบคุมชนิดPIDและแอมป์สัญญาณผลต่าง

อุปกรณ์ที่ต้องการ

. มัลติมิเตอร์

วิธีทำ

. นำเอากรอบแก้วออก

. ต่ออินพุทของแอมป์สัญญาณค่าผิดพลาด(แจ็ค 3 และแจ็ค4)กับกราวน์และปรับ RV1 จนกระทั่งสัญญาณที่แจ็ค 5 เท่ากับ 0V

. ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ RV1 ที่ตัวควบคุม PID จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทเท่ากับศูนย์

7. การทดลอง

7.1 วาดกราฟคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์แบบซิลิกอน

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อวาดกราฟคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์แบบซิลิกอน(กับความสัมพันธ์ของตัวปรับสภาพสัญญาณ)

วิธีทำ

. ต่อทรานสดิวเซอร์แบบซิลิกอนกับตัวปรับสภาพสัญญาณ

. ต่อเอาท์พุทของบล็อกตั้งค่าอ้างอิงเข้ากับอินพุทของตัวควบคุม PID

. ต่อเอาท์พุทของตัวควบคุม PID เข้ากับอินพุทของเพาเวอร์แอมป์

. ต่อเอาท์พุทของเครื่องทำความร้อนของเพาเวอร์แอมป์เข้ากับเตาอบ

. ต่อเอาท์พุทของเครื่องทำความเย็นของเพาเวอร์แอมป์เข้ากับ TY34/EV

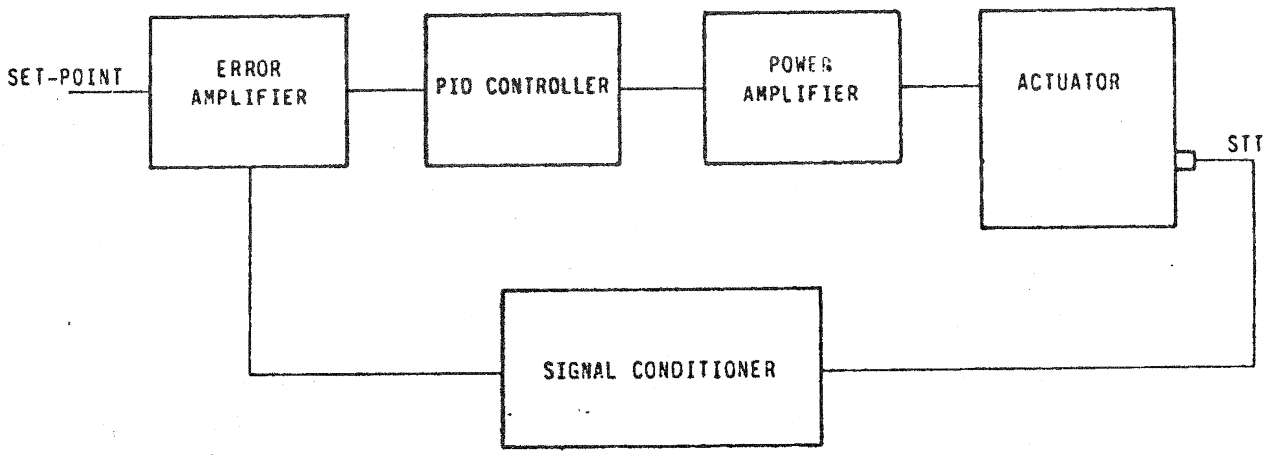
. ติดตั้งแหล่งจ่ายสำหรับแรงดันไฟสลับ (24 + 24 V AC) เข้ากับเพาเวอร์แอมป์

. ต่อเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณเข้ากับอินพุทป้อนกลับของบล็อกแอมป์สัญญาณผลต่าง

. ลัดวงจรแจ็ค 5 และ แจ็ค 6 และตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์P1 และ P2 ที่ตัวควบคุม PID ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลาง

. ต่อมัลติมิเตอร์เข้ากับเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณและตั้งไว้ที่ 20 V DC วาดกราฟด้วยพล็อตเตอร์ Y-t

. การต่อที่กล่าวมาแสดงได้ดังรูป 7.1



รูป 7.1

. ต่อแหล่งจ่ายให้กับวงจรและตรวจสอบแรงดันว่าถูกต้อง 24 + 24 V AC

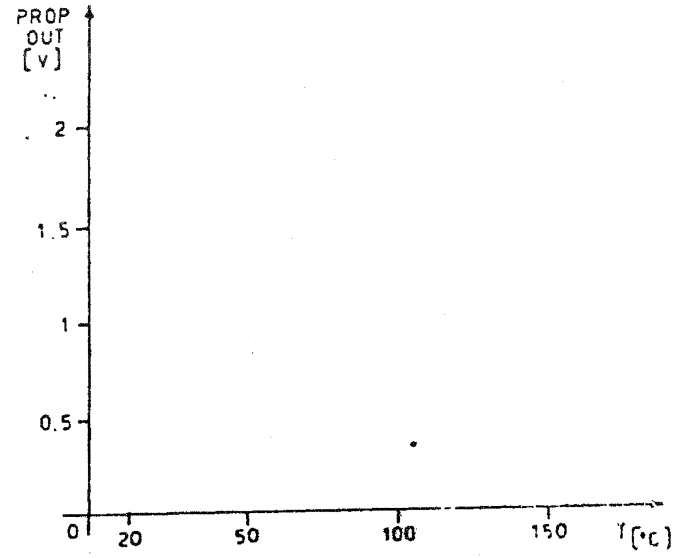
. เริ่มต้นจากอุณหภูมิแวดล้อมปรับตัวตั้งค่าอ้างอิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบขึ้นไป 10 °C(เช่นจะได้แรงดันที่แจ็ค 2 สอดคล้องกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยแรงดันจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 °C)

แรงดันเอาท์พุทที่วัดได้ของตัวปรับสภาพสัญญาณขณะที่มีเสถียรภาพ อุณหภูมิอ้างอิงจะได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทความเที่ยงตรงสูง(หน่วยเป็นเซลเซียล)

ระวัง การวัดที่อุณหภูมิสูงกว่าที่ทรานสดิวเซอร์จะทนได้(175°C) เพื่อความปลอดไม่ควรเกิน 150°C

. สร้างตารางจากข้อมูลของค่าที่วัดและวาดกราฟโดยให้แกน x เป็นอุณหภูมิ และให้แรงดันเอาท์พุทของทรานสดิวเซอร์อยู่บนแกน y (ดูรูป 7.2)

T [°C]	PROP OUT [v]
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	
110	
120	
130	
140	
150	



รูป 7.2

7.2 คำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิแบบซิลิกอน

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อหาค่าความเป็นเชิงเส้นตรงของทรานสดิวเซอร์แบบซิลิกอนในรูปของเปอร์เซนต์ กระบวนการทำงานอธิบายในหัวข้อ 7.1 เมื่อตารางและกราฟสมบูรณ์ขั้นตอนจะอธิบายในหัวข้อ 1.2

7.3 วาดกราฟคุณลักษณะของเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance)

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อวาดกราฟคุณสมบัติของเทอร์โมรีซิสแดนท์(กับตัวปรับสภาพสัญญาณ)

วิธีทำ

. ติดตั้งการทดลองตามหัวข้อ 7.1 โดยแทนตัวปรับสภาพสัญญาณของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ด้วยตัวปรับสภาพสัญญาณของเทอร์โมรีซิสแดนท์

. เริ่มต้นจากอุณหภูมิแวดล้อมปรับตัวตั้งค่าอ้างอิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบขึ้นไป 10 °C(เช่นจะไดแรงดันที่แจ็ค 2 สอดคล้องกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยแรงดันจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 °C)วัดแรงดันเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณขณะที่มีเสถียรภาพ อุณหภูมิอ้างอิงจะได้จากเทอร์โมมิเตอร์ แบบปรอทความเที่ยงตรงสูง(หน่วยเป็นเซลเซียล)

ระวัง การวัดที่อุณหภูมิสูงกว่าที่ทรานสดิวเซอร์จะทนได้(175°C) เพื่อความปลอดไม่ควรเกิน 150°C

. จากตารางของแรงดันและอุณหภูมิให้วาดกราฟคุณลักษณะดังรูป 7.2

7.4 คำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของเทอร์โมรีซิสแทนซ์(Thermoresistance)

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อหาค่าความเป็นเชิงเส้นตรงของเทอร์โมรีซิสแดนท์ในรูปของเปอร์เซนต์ กระบวนการทำงานอธิบายในหัวข้อ 7.2 เมื่อตารางและกราฟสมบูรณ์ขั้นตอนจะอธิบายในหัวข้อ 1.2

7.5 วาดกราฟคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิ้ล

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อวาดกราฟคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J (กับตัวปรับสภาพสัญญาณ)

วิธีทำ

. ติดตั้งการทดลองตามหัวข้อมราผ่านมาโดยแทนตัวปรับสภาพสัญญาณของเทอร์โมรีซิสแดนท์ด้วยตัวปรับสภาพสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J

. เริ่มต้นจากอุณหภูมิแวดล้อมปรับตัวตั้งค่าอ้างอิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบขึ้นไป 10 °C(เช่นจะไดแรงดันที่แจ็ค 2 สอดคล้องกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยแรงดันจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 °C)วัดแรงดันเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณขณะที่มีเสถียรภาพ อุณหภูมิอ้างอิงจะได้จากเทอร์โมมิเตอร์ แบบปรอทความเที่ยงตรงสูง(หน่วยเป็นเซลเซียล)

ระวัง การวัดที่อุณหภูมิสูงกว่าที่ทรานสดิวเซอร์จะทนได้(175°C) เพื่อความปลอดไม่ควรเกิน 150°C

. จากตารางของแรงดันและอุณหภูมิให้วาดกราฟคุณลักษณะดังรูป 7.1

. ถ้าอากาศร้อนจากเครื่องเป่าลมร้อนเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของจังก์ชันเย็นและระบบจะชดเชยเพื่อที่จะรักษาอุณหภูมิที่วัดได้ให้คงที่ถ้าไม่ตรงกรณีนี้ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ลจะต้องทำการปรับเทียบใหม่

7.6 คำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของเทอร์โมคัปเปิ้ล

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นและวาดกราฟคุณสมบัติของอุณหภูมิและความต้านทาน กระบวนการอธิบายได้ในหัวข้อ 7.2 เพื่อทำให้ตารางและกราฟมีความสมบูรณ์ทำตามขั้นตอนในหัวข้อ 1.2

7.7 คำนวณหาค่าเวลาคงตัวของทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิ

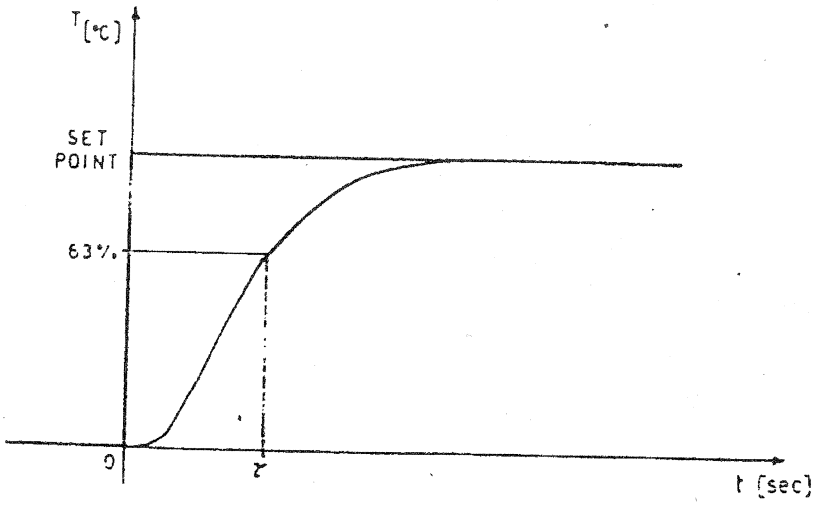
จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อคำนวณหาค่าคงตัวเวลาของทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิเพื่อใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติต่อไป

ในความเป็นจริงการทดลองนี้คำนวณหาค่าคงตัวเวลาของทรานสดิวเซอร์อุณหภูมิและค่าคงตัวเวลาของตัวปรับสภาพสัญญาณด้วยอย่างไรก็ตามค่าคงตัวเวลาของตัวปรับสภาพสัญญาณจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวทรานสดิวเซอร์ค่าคงที่ที่วัดได้ของทุกการทดลองคือค่าคงตัวเวลาของทรานสดิวเซอร์

เริ่มต้นกับทรานสดิวเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำและทำการทดลองซ้ำสำหรับเทอร์โมรีซิสแดนท์และเทอร์โมคัปเปิ้ล

วิธีทำ

. ติดตั้งการทดลองตามหัวข้อ 7.3สำหรับการทดลองกับเทอร์โมรีซิสแดนท์



รูป 7.3

7.8 แบบฝึกหัด

การทดลองข้างล่างนี้จะใช้ทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อช่วยให้นักศึกษามีความเข้าใจที่ดีขึ้น

อุปกรณ์ที่ต้องการ

. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

อุปกรณ์เสริม

. พล็อตเตอร์ Y-T

7.8.1 คำนวณคุณลักษณะของกระบวนการทางอุณหภูมิ

. ต่อแหล่งจ่ายให้โมดูล G34/EV (+/- 12V)

. ต่อเอาท์พุทของตัวตั้งค่าอ้างอิง (แจ็ค 2) กับอินพุทของเพาเวอร์แอมป์ (แจ็ค 11)

. ต่อเอาท์พุท HEATER และ COOLER ของเพาเวอร์แอมป์ให้สอดคล้องกับอินพุทของ TY34/EV

. ปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ตัวตั้งค่าอ้างอิงไปที่ตำแหน่งสูงสุด (+8V)

. ต่อแหล่งจ่าย (2x24V AC)

. เตรียมตารางดังที่แสดงในรูป 7.4

. ใส่ข้อมูลลงในตารางเมื่ออ่านค่าข้อมูลเป็นคาบ(เช่น1 นาที)

n°	t(min)	T(°C)
1	0.5	
2	1	
3	1.5	
4	2	
...	...	
...	...	
...	...	

รูป 7.4

ทำให้ง่ายเข้าเมื่อไม่คิดค่าจำเพาะอุณหภูมิคงที่ของเทอร์โมมิเตอร์และค่าจำเพาะอุณหภูมิคงที่ของทรานสดิวเซอร์และคุณสมบัติจำเพาะที่วัดได้สำหรับกระบวนการจะได้จากการพิจารณาค่าเวลาที่แท้จริง

. วาดกราฟของเวลาหน่วยเป็นนาทีกับอุณหภูมิหน่วยเป็นเซลเซียล

. วาดเส้นประมาณจากข้อมูลทั้งหมดและคำนวณหาค่าเวลา rise time

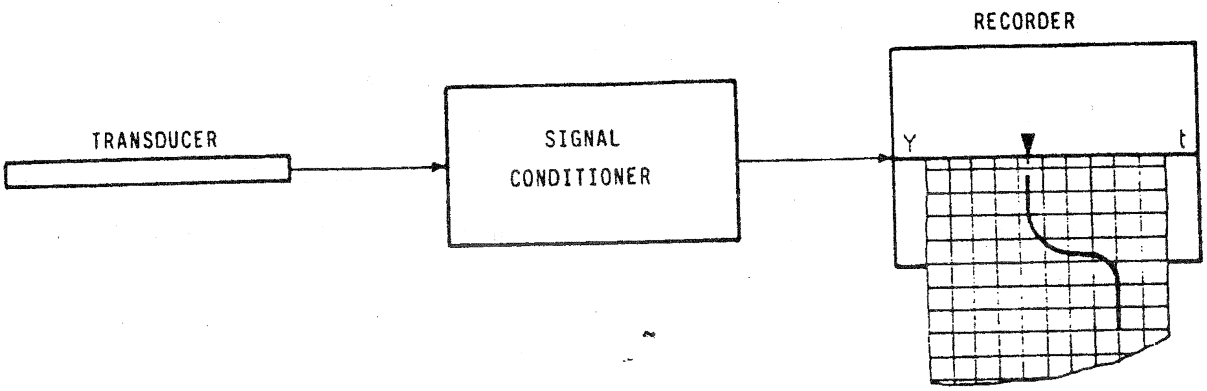
. เตรียมตารางที่สองดังรูป7.4

. ปรับตัวตั้งค่าอ้างอิงให้เท่ากับศูนย์และตั้งสวิทช์ที่COOLER ของเพาเวอร์แอมป์ไปที่ตำแหน่ง MAN(manual cooling)

. ใส่ข้อมูลลงในตารางเมื่ออ่านค่าข้อมูลเป็นคาบ(เช่น1 นาที)

. วาดเส้นประมาณที่ดีที่สุดจากข้อมูลและคำนวณเวลาที่ตกลง

ขั้นตอนของการใช้พล็อตเตอร์ Y-t (ดูรูป 7.5) ในกรณีนี้อุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ตัวปรับสภาพสัญญาณทรานสดิวเซอร์(เช่น เทอร์โมคัปเปิ้ล) และเอาท์พุทของตัวปรับสภาพสัญญาณส่งไปที่อินพุท Y ของตัวบันทึก เตาอบที่เมื่อร้อนแล้วหลังจากนี้จะเย็นลง จะหาคุณสมบัติได้จากขั้นตอนที่ดีเลย์ไม่มีอิทธิพลในการวัดเทอร์โมคัปเปิ้ลและนี้คือเทอร์มัลอินเนอเซียล (thermal inertia) ตามธรรมชาติเครื่องบันทึกสามารถใช้พล็อตผลตอบสนองของระบบในแบบฝึกหัดข้างหลังนี้



รูป7.5

7.8.2 เสถียรภาพของการควบคุมกระบวนการ

. ต่อโมดูลการทดลองตามการอธิบายในแบบฝึกหัดก่อนหน้านี้

. ก่อนการต่อแหล่งจ่าย เลื่อนสวิทช์ของตัวควบคุม I และตัวควบคุม D ไปที่ตำแหน่ง OFF และตั้งค่าเกนขยาย (KP) ไว้ที่ค่าต่ำสุด

. ต่อแหล่งจ่ายและเพิ่มค่าของเกนขยาย (KP) จนกระทั่งระบบป้อนกลับเพิ่มจนถึงขอบของเสถียรภาพ จากนั้นลดเกนให้น้อยลงระบบจะกลับเข้าสู่เสถียรภาพอีกครั้ง

. เปิดสวิทช์ตัวควบคุม I และใช้ค่าเวลาคงที่สูง

. ลดค่าเวลาคงที่ของตัวควบคุม I เพื่อจำกัดเสถียรภาพของระบบจากนั้นการเพิ่มของค่าเวลาคงที่น้อยลงถึงแม้ว่าเสถียรภาพของระบบจะคงที่

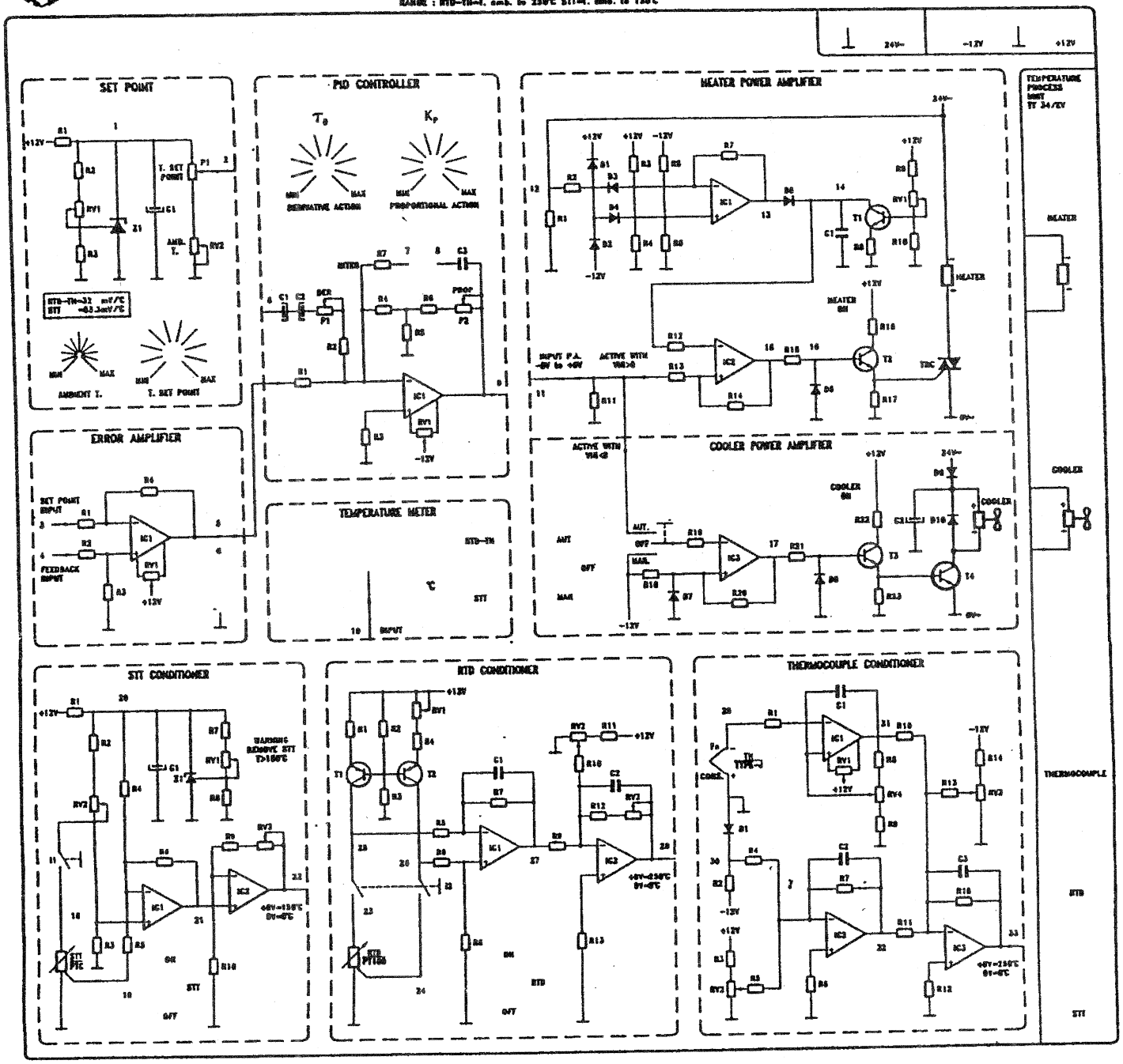
. เปิดสวิทช์ตัวควบคุม D และใช้ค่าเวลาคงที่สูงจนกระทั่งกระบวนการมีเสถียรภาพ(โดยคำนึงถึงโหลดและสัญญาณรบกวน) เมื่อระบบมีเสถียรภาพและค่าที่เหมาะสมของการตั้งตัวควบคุม PID หาได้จากการทดลองขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ข้างบนมีการใช้บ่อยในวงการอุตสาหกรรมทั้งนี้เพราะว่าอุปกรณ์ทั้งหมดในกระบวนไม่สามารถหาสมการถ่ายโอนได้ง่ายนักในกรณีเช่นนั้นตัวควบคุมชนิด PID จะถูกเลือกใช้ ในกรณีนี้การทดลองต้องการหาค่าที่ดีที่สุดของตัวควบคุมชนิด PID (เพื่อรับประกันความมีเสถียรภาพของระบบขณะที่เวลาที่ใช้ไปเหมาะสมที่สุด)

7.8.3 ระบบการควบคุมแบบลูปปิดเมื่อที่โหลดและสายไฟถูกรบกวน

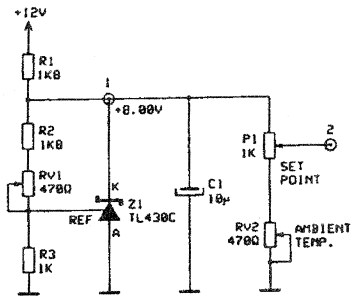
การทดลองนี้ต้องการ แหล่งจ่าย PS1/EV และโมดูลเสริม V30

ติดตั้งกระบวนการควบคุมและต่อโมดูลตามที่อธิบายไว้แล้วในแบบฝึกหัดก่อนแต่ไม่ต้องต่อพัดลม TY34/EV

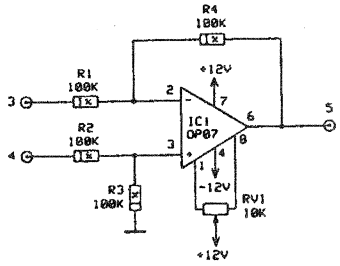
. ต่อภาคจ่ายไฟ
. ปรับตัวตั้งค่าอ้างอิงของอุณหภูมิที่ต้องการ (เช่น 100°C) และปรับตัวควบคุมจนกระทั่งผลตอบสนองของระบบมีเสถียรภาพและถูกต้อง
. รอจนกระทั่งผลตอบสนองมีเสถียรภาพ
. ต่อแหล่งจ่ายให้กับพัดลม TY34/EV โดยใช้แหล่งจ่ายสำรอง (0 ถึง +30V/1A) ปรับแรงดันจ่ายไฟให้แผ่นเพลทด้านในของเตาอบเย็นน้อย โดยใช้โหลดเป็นสิ่งรบกวน
. หากราฟที่จะแสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อมีสัญญาณรบกวนและระบบจะทำอย่างไรเพื่อที่จะให้ผลตอบสนองเท่ากับค่าอ้างอิงที่ตั้งไว้
. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนค่าของโหลดที่เป็นสิ่งรบกวน
. ไม่ต่อพัดลมและรอจนกระทั่งระบบจะมีเสถียรภาพ


24V~
-12V
+12V
SET POINT
PID CONTROLLER
HEATER POWER AMPLIFIER
ERROR AMPLIFIER
TEMPERATURE METER
COOLER POWER AMPLIFIER
STT CONDITIONER
RTD CONDITIONER
THERMOCOUPLE CONDITIONER
TEMPERATURE PROCESS UNIT TF 34/EV
HEATER
COOLER
THERMOCOUPLE
RTD
STT
AMBIENT T.
T. SET POINT
DERIVATIVE ACTION
PROPORTIONAL ACTION
SET POINT INPUT
FEEDBACK INPUT
INPUT P.A. -8V to +8V
ACTIVE WITH Vin>0
ACTIVE WITH Vin<0
HEATER ON
COOLER ON
WARNING ABOVE STT T>150°C
STT PTC
RTD PT100
TC TYPE-J
+8V=250°C 0V=0°C
+8V=150°C 0V=0°C

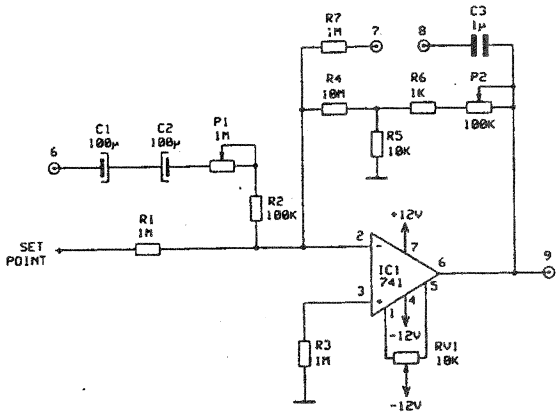
SET POINT



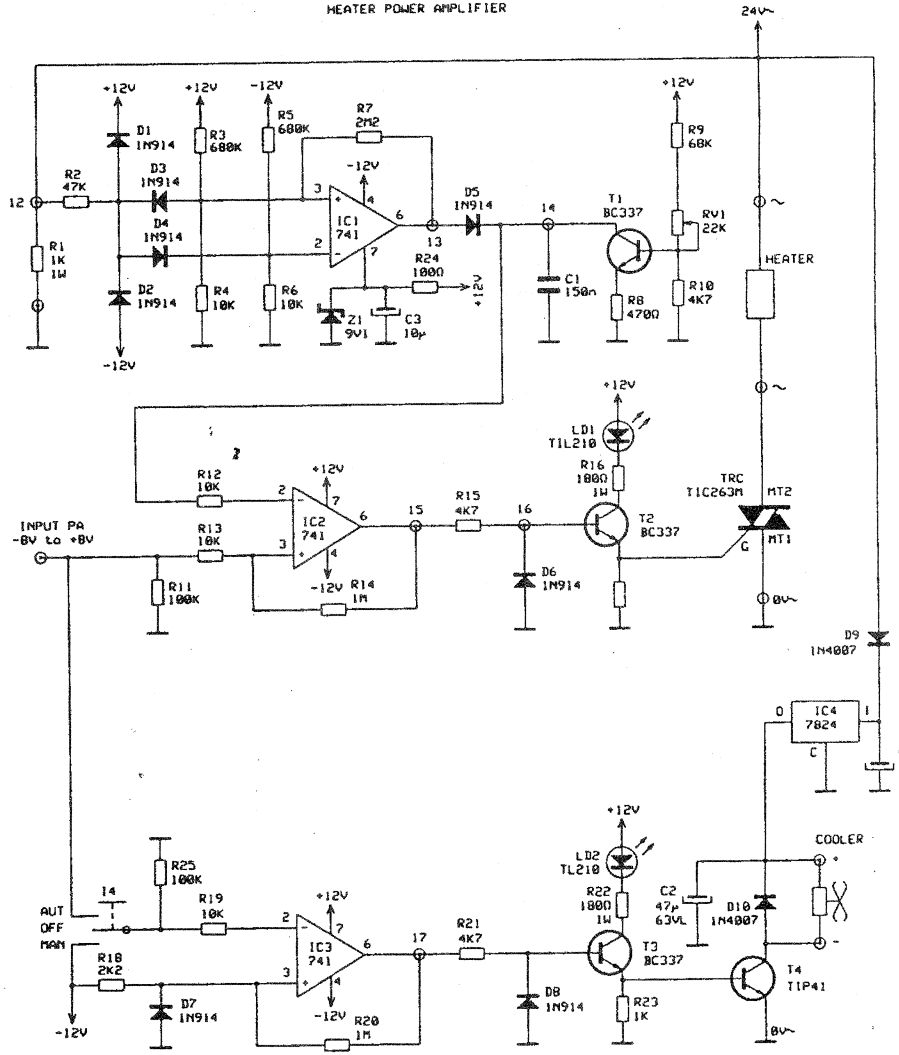
ERROR AMPLIFIER



PID CONTROLLER



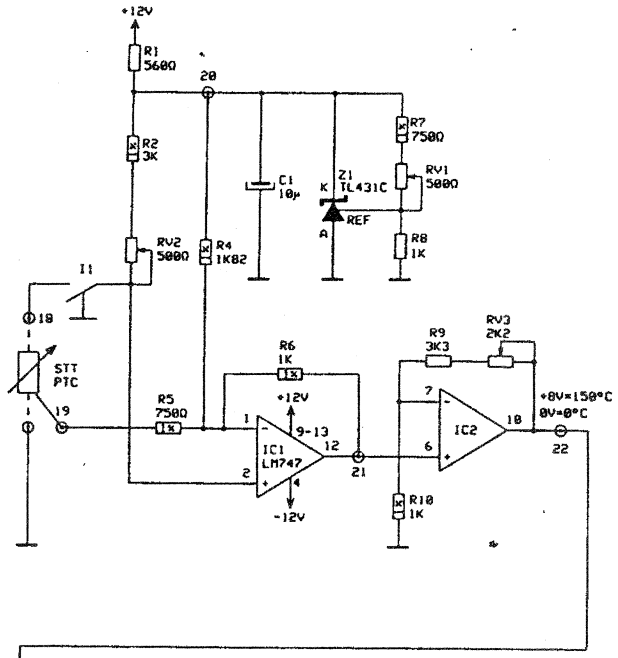
HEATER POWER AMPLIFIER



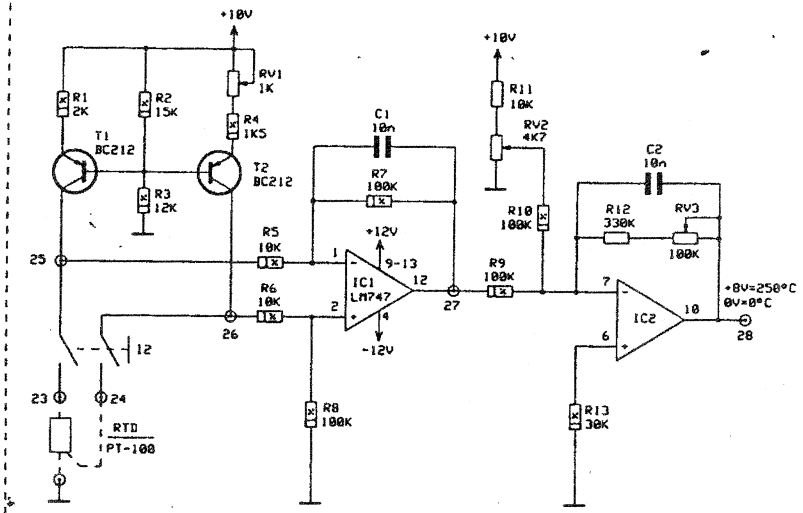
COOLER POWER AMPLIFIER

ELETTRONICA VENETA & INEL MOTTA DI LIVENZA - TV ITALY	DESCRIPTION : ELECTRIC DIAGRAM	REPLACES --	DWG N°: G34$01.FSH	DRAWN :
	EQUIPMENT : MODULE G34	REPLACED BY --	P.C.B.: G34.P	CHECKED :
	T.C. FILE : ELT / G34 / 03-97 — SCALE : --	TOLL.: --	SHEET : 1 OF 2	DATE : 10-03-97

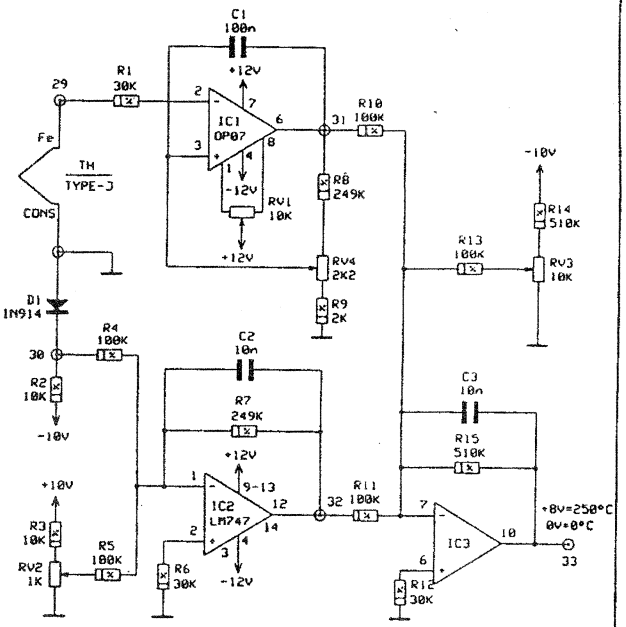
STT CONDITIONER

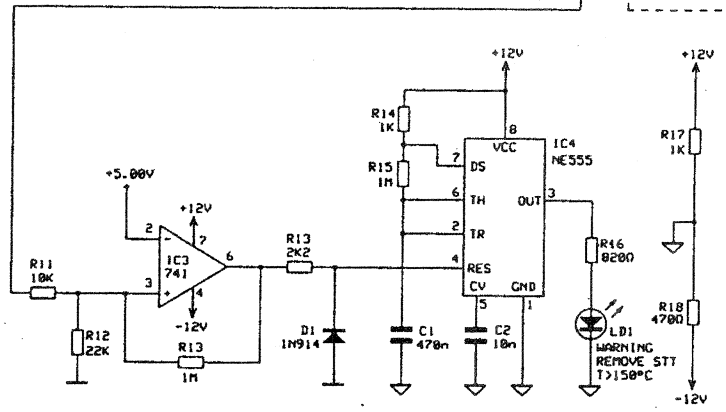


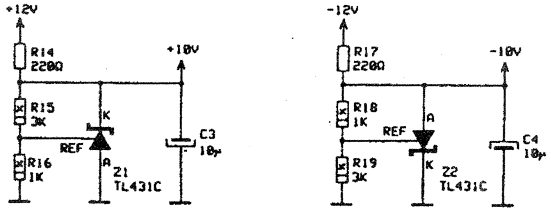
RTD CONDITIONER



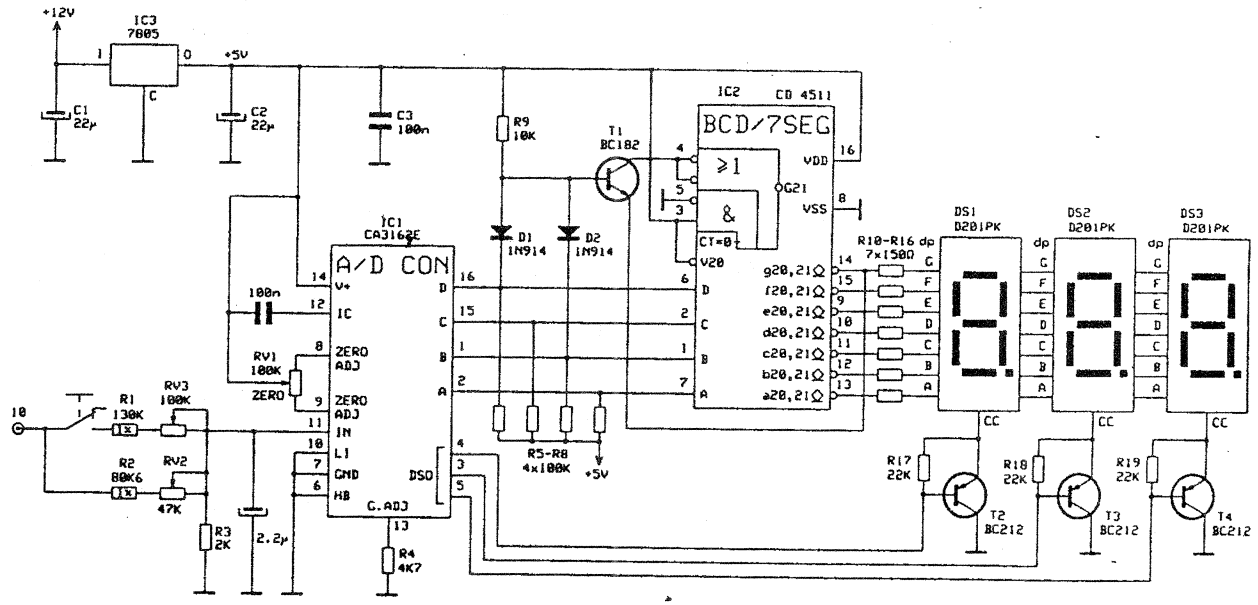
THERMOCOUPLE CONDITIONER







TEMPERATURE METER



ELETTRONICA VENETA S. INEL MOTTA DI LIVENZA - TV ITALY	DESCRIPTION : ELECTRIC DIAGRAM		REPLACES --	DWG N°: C34s01.FSH	DRAWN :
	EQUIPMENT : MODULE C34		REPLACED BY --	P.C.B.: C34.P	CHECKED :
	T.C. FILE : ELT / C34 / 03-97	SCALE : --	TOLL.: --	SHEET : 2 OF 2	DATE : 10-03-97

Valori di resistenza in ohm per termoresistenze Pt100Ω a 0°C DIN 43760

°C	−0	−1	−2	−3	−4	−5	−6	−7	−8	−9
−100	60.25	59.85	59.44	59.04	58.63	58.22	57.82	57.41	57.00	56.60
− 90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.87	61.47	61.06	60.60
− 80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70
− 70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73
− 60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73
− 50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.13	76.73
− 40	84.27	83.83	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70
− 30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67
− 20	92.16	91.77	91.37	99.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62
− 10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55
− 0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.65	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.28
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	113.99	114.38	114.77	115.15
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.85	118.24	118.62	119.01
50	119.40	119.78	120.16	120.55	120.93	121.32	121.70	122.09	122.47	122.88
60	123.24	123.62	124.01	124.39	124.77	125.16	125.54	125.92	126.31	126.69
70	127.07	127.45	127.84	128.22	128.60	128.98	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.27	131.86	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.80	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.39	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.66	143.04	143.42	143.80	144.17	144.55	144.93	145.31	145.68
120	146.06	146.44	146.81	147.19	147.57	147.94	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.82	150.20	150.57	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.32	154.70	155.07	155.45	155.82	156.19	156.57	156.94
150	157.31	157.69	158.06	158.43	158.81	159.18	159.55	159.93	160.30	160.67
160	161.04	161.42	161.79	162.16	162.53	162.90	163.27	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.87	166.24	166.61	166.98	167.35	167.72	168.09
180	168.46	168.83	169.20	169.57	169.94	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.57	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.97	181.34	181.71	182.07	182.44	182.80
220	183.17	183.63	183.90	184.26	184.63	184.99	185.36	185.72	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.54	187.91	188.27	188.63	189.00	189.36	189.72	190.09
240	190.45	190.81	191.18	191.54	191.90	192.26	192.63	192.99	193.35	193.71
250	194.07	194.44	194.80	195.16	195.52	195.88	196.24	196.60	196.96	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.13	199.49	199.85	200.21	220.57	220.93
270	201.29	201.65	202.01	202.36	202.72	203.08	203.44	203.80	204.16	204.52
280	204.88	205.23	205.59	205.95	206.31	206.67	207.02	207.38	207.74	208.10
290	208.45	208.81	209.17	209.52	209.88	210.24	210.59	210.95	211.31	211.66
300	212.02	212.37	212.73	213.09	213.44	213.80	214.15	214.51	214.88	215.22
310	215.57	215.93	216.28	216.64	216.99	217.35	217.70	218.05	218.41	218.76
320	219.12	219.47	219.82	220.18	220.53	220.88	221.24	221.59	221.94	222.29
330	222.65	223.00	223.35	223.70	224.06	224.41	224.76	225.11	225.46	225.81
340	226.17	226.52	226.87	237.22	227.57	227.92	228.27	228.62	228.97	229.32
350	229.67	230.02	230.37	230.72	231.07	231.42	231.77	232.12	232.47	232.82
360	233.17	233.52	233.87	234.22	234.56	234.91	235.26	235.61	235.96	236.31
370	236.65	237.00	237.35	237.70	238.04	238.39	238.74	239.09	239.43	239.78
380	240.13	240.47	240.82	241.17	241.51	241.86	242.20	242.55	242.90	243.24
390	243.59	243.93	244.28	244.62	244.97	245.31	245.66	246.00	246.35	246.69
400	247.03	247.38	247.73	248.07	248.41	248.76	249.10	249.45	249.79	250.13
410	250.48	250.82	251.16	251.50	251.85	252.19	252.53	252.88	253.22	253.56
420	253.90	254.24	254.59	254.93	255.27	255.61	255.95	256.29	256.60	256.98
430	257.32	257.66	258.00	258.34	258.68	259.02	259.36	259.70	260.04	260.38
440	260.72	261.06	261.40	261.74	262.08	262.42	262.76	263.10	263.43	263.77
450	264.11	264.45	264.79	265.13	265.47	265.80	266.14	266.48	266.82	267.15
460	267.49	267.83	268.17	268.50	268.84	269.18	269.51	269.85	270.19	270.52
470	270.86	271.20	271.53	271.87	272.20	272.54	272.88	273.21	273.55	273.88
480	274.22	274.55	274.89	275.22	275.56	275.89	276.23	276.56	276.89	277.23
490	277.56	277.90	278.23	278.56	278.90	279.23	279.56	279.90	280.23	280.56
500	280.90	281.23	281.56	281.89	282.23	282.56	282.89	283.22	283.55	283.89

THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
-210	-8.036											-210
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	-8.096	-200
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	-7.890	-190
-180	-7.402	-7.429	-7.455	-7.482	-7.508	-7.533	-7.559	-7.584	-7.609	-7.634	-7.659	-180
-170	-7.122	-7.151	-7.180	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.375	-7.402	-170
-160	-6.821	-6.852	-6.883	-6.914	-6.944	-6.974	-7.004	-7.034	-7.064	-7.093	-7.122	-160
-150	-6.499	-6.532	-6.565	-6.598	-6.630	-6.663	-6.695	-6.727	-6.758	-6.790	-6.821	-150
-140	-6.159	-6.194	-6.228	-6.263	-6.297	-6.331	-6.365	-6.399	-6.433	-6.466	-6.499	-140
-130	-5.801	-5.837	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.053	-6.089	-6.124	-6.159	-130
-120	-5.426	-5.464	-5.502	-5.540	-5.578	-5.615	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	-5.801	-120
-110	-5.036	-5.076	-5.115	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.349	-5.388	-5.426	-110
-100	-4.632	-4.673	-4.714	-4.755	-4.795	-4.836	-4.876	-4.916	-4.956	-4.996	-5.036	-100
-90	-4.215	-4.257	-4.299	-4.341	-4.383	-4.425	-4.467	-4.508	-4.550	-4.591	-4.632	-90
-80	-3.785	-3.829	-3.872	-3.915	-3.958	-4.001	-4.044	-4.087	-4.130	-4.172	-4.215	-80
-70	-3.344	-3.389	-3.433	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.785	-70
-60	-2.892	-2.938	-2.984	-3.029	-3.074	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.299	-3.344	-60
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.570	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.892	-50
-40	-1.960	-2.008	-2.055	-2.102	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.384	-2.431	-40
-30	-1.481	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.960	-30
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.141	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.481	-20
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.748	-0.798	-0.847	-0.896	-0.945	-0.995	-10
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501	0

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.813	0.865	0.916	0.967	1.019	10
20	1.019	1.070	1.122	1.174	1.225	1.277	1.329	1.381	1.432	1.484	1.536	20
30	1.536	1.588	1.640	1.693	1.745	1.797	1.849	1.901	1.954	2.006	2.058	30
40	2.058	2.111	2.163	2.216	2.268	2.321	2.374	2.426	2.479	2.532	2.585	40
50	2.585	2.638	2.691	2.743	2.796	2.849	2.902	2.956	3.009	3.062	3.115	50
60	3.115	3.168	3.221	3.275	3.328	3.381	3.435	3.488	3.542	3.595	3.649	60
70	3.649	3.702	3.756	3.809	3.863	3.917	3.971	4.024	4.078	4.132	4.186	70
80	4.186	4.239	4.293	4.347	4.401	4.455	4.509	4.563	4.617	4.671	4.725	80
90	4.725	4.780	4.834	4.888	4.942	4.996	5.050	5.105	5.159	5.213	5.268	90
100	5.268	5.322	5.376	5.431	5.485	5.540	5.594	5.649	5.703	5.758	5.812	100
110	5.812	5.867	5.921	5.976	6.031	6.085	6.140	6.195	6.249	6.304	6.359	110
120	6.359	6.414	6.468	6.523	6.578	6.633	6.688	6.742	6.797	6.852	6.907	120
130	6.907	6.962	7.017	7.072	7.127	7.182	7.237	7.292	7.347	7.402	7.457	130
140	7.457	7.512	7.567	7.622	7.677	7.732	7.787	7.843	7.898	7.953	8.008	140
150	8.008	8.063	8.118	8.174	8.229	8.284	8.339	8.394	8.450	8.505	8.560	150
160	8.560	8.616	8.671	8.726	8.781	8.837	8.892	8.947	9.003	9.058	9.113	160
170	9.113	9.169	9.224	9.279	9.335	9.390	9.446	9.501	9.556	9.612	9.667	170
180	9.667	9.723	9.778	9.834	9.889	9.944	10.000	10.055	10.111	10.166	10.222	180
190	10.222	10.277	10.333	10.388	10.444	10.499	10.555	10.610	10.666	10.721	10.777	190
200	10.777	10.832	10.888	10.943	10.999	11.054	11.110	11.165	11.221	11.276	11.332	200
210	11.332	11.387	11.443	11.498	11.554	11.609	11.665	11.720	11.776	11.831	11.887	210
220	11.887	11.943	11.998	12.054	12.109	12.165	12.220	12.276	12.331	12.387	12.442	220
230	12.442	12.498	12.553	12.609	12.664	12.720	12.776	12.831	12.887	12.942	12.998	230
240	12.998	13.053	13.109	13.164	13.220	13.275	13.331	13.386	13.442	13.497	13.553	240
250	13.553	13.608	13.664	13.719	13.775	13.830	13.886	13.941	13.997	14.052	14.108	250
260	14.108	14.163	14.219	14.274	14.330	14.385	14.441	14.496	14.552	14.607	14.663	260
270	14.663	14.718	14.774	14.829	14.885	14.940	14.995	15.051	15.106	15.162	15.217	270
280	15.217	15.273	15.328	15.383	15.439	15.494	15.550	15.605	15.661	15.716	15.771	280
290	15.771	15.827	15.882	15.938	15.993	16.048	16.104	16.159	16.214	16.270	16.325	290
300	16.325	16.380	16.436	16.491	16.547	16.602	16.657	16.713	16.768	16.823	16.879	300
310	16.879	16.934	16.989	17.044	17.100	17.155	17.210	17.266	17.321	17.376	17.432	310
320	17.432	17.487	17.542	17.597	17.653	17.708	17.763	17.818	17.874	17.929	17.984	320
330	17.984	18.039	18.095	18.150	18.205	18.260	18.316	18.371	18.426	18.481	18.537	330
340	18.537	18.592	18.647	18.702	18.757	18.813	18.868	18.923	18.978	19.033	19.089	340
350	19.089	19.144	19.199	19.254	19.309	19.364	19.420	19.475	19.530	19.585	19.640	350
360	19.640	19.695	19.751	19.806	19.861	19.916	19.971	20.026	20.081	20.137	20.192	360
370	20.192	20.247	20.302	20.357	20.412	20.467	20.523	20.578	20.633	20.688	20.743	370
380	20.743	20.798	20.853	20.909	20.964	21.019	21.074	21.129	21.184	21.239	21.295	380
390	21.295	21.350	21.405	21.460	21.515	21.570	21.625	21.680	21.736	21.791	21.846	390
400	21.846	21.901	21.956	22.011	22.066	22.122	22.177	22.232	22.287	22.342	22.397	400
410	22.397	22.453	22.508	22.563	22.618	22.673	22.728	22.784	22.839	22.894	22.949	410
420	22.949	23.004	23.060	23.115	23.170	23.225	23.280	23.336	23.391	23.446	23.501	420
430	23.501	23.556	23.612	23.667	23.722	23.777	23.833	23.888	23.943	23.999	24.054	430
440	24.054	24.109	24.166	24.220	24.275	24.330	24.386	24.441	24.496	24.552	24.607	440
450	24.607	24.662	24.718	24.773	24.829	24.884	24.939	24.995	25.050	25.106	25.161	450
460	25.161	25.217	25.272	25.327	25.383	25.438	25.494	25.549	25.605	25.661	25.716	460
470	25.716	25.772	25.827	25.883	25.938	25.994	26.050	26.105	26.161	26.216	26.272	470
480	26.272	26.328	26.383	26.439	26.495	26.551	26.606	26.662	26.718	26.774	26.829	480
490	26.829	26.885	26.941	26.997	27.053	27.109	27.165	27.220	27.276	27.332	27.388	490
500	27.388	27.444	27.500	27.556	27.612	27.668	27.724	27.780	27.836	27.893	27.949	500
510	27.949	28.005	28.061	28.117	28.173	28.230	28.286	28.342	28.398	28.455	28.511	510
520	28.511	28.567	28.624	28.680	28.736	28.793	28.849	28.906	28.962	29.019	29.075	520
530	29.075	29.132	29.188	29.245	29.301	29.358	29.415	29.471	29.528	29.585	29.642	530
540	29.642	29.698	29.755	29.812	29.869	29.926	29.983	30.039	30.096	30.153	30.210	540
550	30.210	30.267	30.324	30.381	30.439	30.496	30.553	30.610	30.667	30.724	30.782	550
560	30.782	30.839	30.896	30.954	31.011	31.068	31.126	31.183	31.241	31.298	31.356	560
570	31.356	31.413	31.471	31.528	31.586	31.644	31.702	31.759	31.817	31.875	31.933	570
580	31.933	31.991	32.048	32.106	32.164	32.222	32.280	32.338	32.396	32.455	32.513	580
590	32.513	32.571	32.629	32.687	32.746	32.804	32.862	32.921	32.979	33.038	33.096	590
600	33.096	33.155	33.213	33.272	33.330	33.389	33.448	33.506	33.565	33.624	33.[illegible]3	600
610	33.683	33.742	33.800	33.859	33.918	33.977	34.036	34.095	34.155	34.214	34.273	610
620	34.273	34.332	34.391	34.451	34.510	34.569	34.629	34.688	34.748	34.807	34.867	620
630	34.867	34.926	34.986	35.046	35.105	35.165	35.225	35.285	35.344	35.404	35.464	630
640	35.464	35.524	35.584	35.644	35.704	35.764	35.825	35.885	35.945	36.005	36.066	640
650	36.066	36.126	36.186	36.247	36.307	36.368	36.428	36.489	36.549	36.610	36.671	650
660	36.671	36.732	36.792	36.853	36.914	36.975	37.036	37.097	37.158	37.219	37.280	660
670	37.280	37.341	37.402	37.463	37.525	37.586	37.647	37.709	37.770	37.831	37.893	670
680	37.893	37.954	38.016	38.078	38.139	38.201	38.262	38.324	38.386	38.448	38.510	680
690	38.510	38.572	38.633	38.695	38.757	38.819	38.882	38.944	39.006	39.068	39.130	690
700	39.130	39.192	39.255	39.317	39.379	39.442	39.504	39.567	39.629	39.692	39.754	700
710	39.754	39.817	39.880	39.942	40.005	40.068	40.131	40.193	40.256	40.319	40.382	710
720	40.382	40.445	40.508	40.571	40.634	40.697	40.760	40.823	40.886	40.950	41.013	720
730	41.013	41.076	41.139	41.203	41.266	41.329	41.393	41.456	41.520	41.583	41.647	730
740	41.647	41.710	41.774	41.837	41.901	41.965	42.028	42.092	42.156	42.219	42.283	740
750	42.283	42.347	42.411	42.475	42.538	42.602	42.666	42.730	42.794	42.858	42.922	750
760	42.922											760

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C

THERMOCOUPLE TYPE J

electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted) †

PARAMETER		TEST CONDITIONS			SERIES TIC253		SERIES TIC263		UNIT
					MIN	TYP MAX	MIN	TYP MAX	
I_{DRM}	Repetitive Peak Off-State Current	V_{DRM} = Rated V_{DRM},	I_G = 0	T_C = 110°C		±2		±2	mA
I_{GTM}	Peak Gate Trigger Current	V_{supply} = +12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		50		50	mA
		V_{supply} = +12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		−50		−50	
		V_{supply} = −12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		−50		−50	
		V_{supply} = −12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		50		50	
V_{GTM}	Peak Gate Trigger Voltage	V_{supply} = +12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		2.5		2.5	V
		V_{supply} = +12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		−2.5		−2.5	
		V_{supply} = −12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		−2.5		−2.5	
		V_{supply} = −12 V†,	R_L = 10 Ω,	$t_{p(g)}$ ≥ 20 μs		1.2		1.2	
V_{TM}	Peak On-State Voltage	I_{TM} = ±28.2 A,	I_G = 100 mA,	See Note 4		±1.7			V
		I_{TM} = 35.2 A,	I_G = 100 mA,	See Note 4				±1.7	
I_H	Holding Current	V_{supply} = +12 V†,	I_G = 0,	Initiating I_{TM} = 100 mA		50		50	mA
		V_{supply} = −12 V†,	I_G = 0,	Initiating I_{RM} = −100 mA		−50		−50	
I_L	Latching Current	V_{supply} = +12 V†,	See Note 5			20		20	mA
		V_{supply} = −12 V†,	See Note 5			−20		−20	

† All voltage values are with respect to Main Terminal 1.

NOTES: 4. This parameter must be measured using pulse techniques, t_w ≤ 1 ms, duty cycle ≤ 2%. Voltage-sensing contacts, separate from the current-carrying contacts, are located within 0.125 inch from the device body.

5. The triacs are triggered by a 15-V (open-circuit amplitude) pulse supplied by a generator with the following characteristics: R_G = 100 Ω, t_w = 20 μs, t_r ≤ 15 ns, t_f ≤ 15 ns, f = 1 kHz.

thermal characteristics

PARAMETER		SERIES TIC253	SERIES TIC263	UNIT
		MAX	MAX	
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case Thermal Resistance	1.52	1.22	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Free-Air Thermal Resistance	36	36	

SERIES TIC253, TIC263
SILICON BIDIRECTIONAL TRIODE THYRISTORS

TRIACS

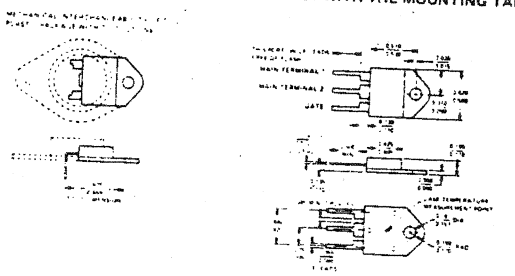
20 A and 25 A RMS • 200 V, 400 V, 500 V, and 600 V

description

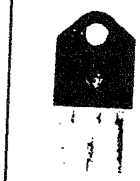
These devices are bidirectional triode thyristors (triacs) which may be triggered from the off-state by either polarity of gate signal with Main Terminal 2 at either polarity. This triac is available in the isolated tab package as a special device. For information contact a TI field sales office or Power Product Marketing, MS 51, P.O. Box 5012, Dallas, Texas 75222

mechanical data

MAIN TERMINAL 2 IS IN ELECTRICAL CONTACT WITH THE MOUNTING TAB



ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES



absolute maximum ratings over operating case temperature range (unless otherwise noted)†

		SERIES TIC253	SERIES TIC263	UNIT
Repetitive Peak Off-State Voltage, V_{DRM} (See Note 1)	B Suffix	200	200	V
	D Suffix	400	400	
	E Suffix	500	500	
	M Suffix	600	600	
Full-Cycle RMS On-State Current at (or below) 70°C Case Temperature, $I_{T(RMS)}$ (See Note 2)		20	25	A
Peak On-State Surge Current, Full-Sine-Wave, I_{TSM} (See Note 3)		150	175	A
Peak Gate Current, I_{GM}		±1	±1	A
Operating Case Temperature Range		−40 to 110		°C
Storage Temperature Range		−40 to 125		°C
Terminal Temperature 1/16 Inch from Case for 10 Seconds		230		°C

NOTES: 1. These values apply bidirectionally for any value of resistance between the gate and Main Terminal 1.

2. This value applies for 50-Hz to 60-Hz full-sine-wave operation with resistive load. Above 70°C derate linearly to 110°C case temperature at the rate of 500 mA/°C for Series TIC253 and 625 mA/°C for Series TIC263.

3. This value applies for one 60-Hz full sine wave when the device is operating at (or below) rated values of peak reverse voltage and on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium.

† All voltage values are with respect to Main Terminal 1.

electrical characteristics at 25° C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST FIGURE	TEST CONDITIONS		TL430I			TL430C			UNIT
					MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{ref}	Reference input voltage	1	$V_Z = V_{ref}$,	I_Z = 10 mA	2.6	2.75	2.9	2.5	2.75	3	V
αV_{ref}	Temperature coefficient of reference input voltage	1	$V_Z = V_{ref}$, T_A = 0°C to 70°C	I_Z = 10 mA,		−120	+200		+120		ppm/°C
I_{ref}	Reference input current	2	I_Z = 10 mA, R2 = ∞	R1 = 10 kΩ,		1	10		3	10	uA
I_{ZK}	Regulator current near lower knee of regulation range	1	$V_Z = V_{ref}$			0.5	2		0.5	2	mA
I_{ZM}	Regulator current at maximum limit of regulation range	1	$V_Z = V_{ref}$		50			50			mA
		2	V_Z 5 V to 30 V,	See Note 3	100			100			
r_z	Differential regulator resistance (see Note 4)	1	$V_Z = V_{ref}$, ΔI_Z = (52−2) mA			1.5	3		1.5	3	Ω
V_{nz}	Noise voltage	2	f = 0.1 Hz to 10 Hz	V_Z = 3 V		50			50		μV
				V_Z = 12 V		200			200		
				V_Z = 30 V		650			650		

NOTES 3. The average power dissipation, $V_Z \times I_Z \times$ duty cycle, must not exceed the maximum continuous rating in any 10-ms interval.

4. The regulator resistance for $V_Z > V_{ref}$, r_z', is given by

$$r_z' = r_z\left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

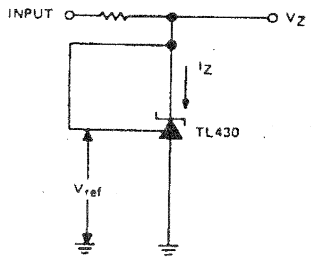
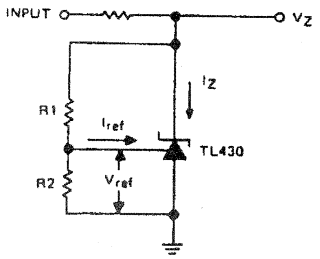


FIGURE 1–TEST CIRCUIT FOR $V_Z = V_{ref}$



$$V_Z = V_{ref}\left(1 + \frac{R1}{R2}\right) + I_{ref} \cdot R1$$

FIGURE 2–TEST CIRCUIT FOR $V_Z > V_{ref}$

TYPICAL CHARACTERISTICS

SMALL-SIGNAL REGULATOR IMPEDANCE
vs
FREQUENCY

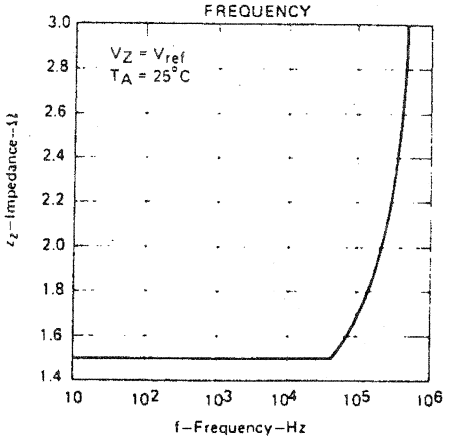


FIGURE 3

CURRENT
vs
VOLTAGE

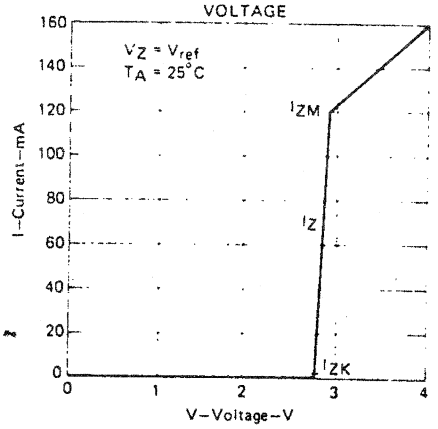


FIGURE 4

THERMAL INFORMATION

LP PACKAGE
DISSIPATION DERATING CURVE

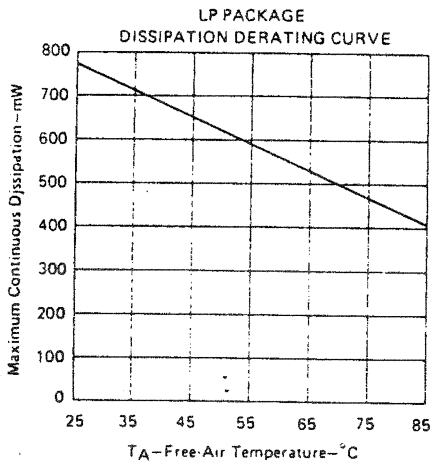


FIGURE 5

TYPICAL APPLICATION DATA

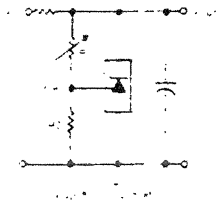


FIGURE 6 – SHUNT REGULATOR

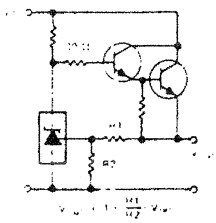


FIGURE 7 – SERIES REGULATOR

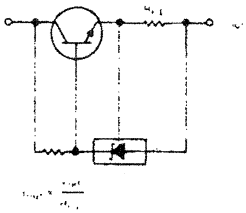


FIGURE 8 – CURRENT LIMITER

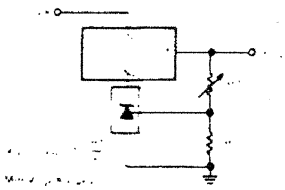


FIGURE 9 – OUTPUT CONTROL OF A THREE THERMAL FIXED REGULATOR

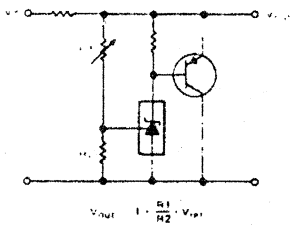


FIGURE 10 – HIGHER-CURRENT APPLICATIONS

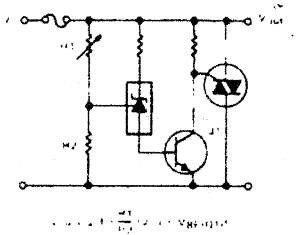


FIGURE 11 – CROW BAR

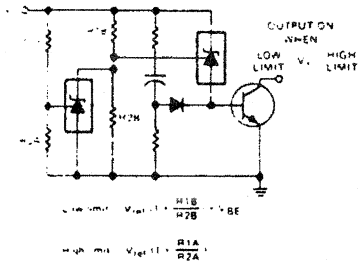


FIGURE 12 – OVER-VOLTAGE/UNDER-VOLTAGE PROTECTION CIRCUIT

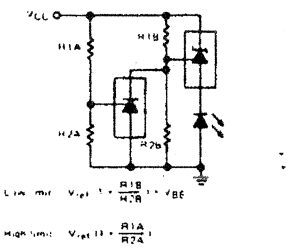


FIGURE 13 – V_{CC} MONITOR

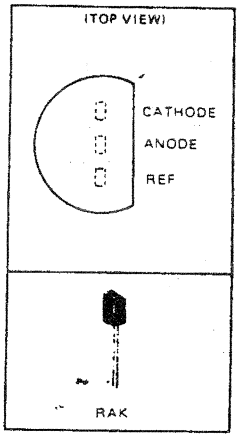
LINEAR
INTEGRATED
CIRCUITS

TYPES TL430I, TL430C
ADJUSTABLE SHUNT REGULATORS

D2165, JUNE 1976 – REVISED DECEMBER 1982

- Temperature Compensated
- Programmable Output Voltage
- Low Output Resistance
- Low Output Noise
- Sink Capability to 100 mA

LP
SILECT PACKAGE
(TOP VIEW)

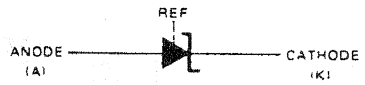


description

The TL430 is a three-terminal adjustable shunt regulator featuring excellent temperature stability, wide operating current range, and low output noise. The output voltage may be set by two external resistors to any desired value between 3 volts and 30 volts. The TL430 can replace zener diodes in many applications providing improved performance.

The TL430I is characterized for operation from −25 °C to 85 °C, and the TL430C is characterized for operating from 0 °C to 70 °C.

functional block diagram



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

Regulator voltage (see Note 1)	30 V
Continuous regulator current	150 mA
Continuous dissipation at (or below) 25 °C free-air temperature (see Note 2)	775 mW
Operating free-air temperature range: TL430I	−40 °C to 85 °C
TL430C	0 °C to 70 °C
Storage temperature range	−65 °C to 150 °C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260 °C

recommended operating conditions

	MIN	MAX	UNIT
Regulator Voltage, V_Z	V_{ref}	30	V
Regulator current, I_Z	2	100	mA

NOTES 1. All voltage values are with respect to the anode terminal.
2. For operation above 25 °C free air temperature, refer to Dissipation Derating Curves, Figure 5.

Copyright © 1982 by Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS

TYPICAL CHARACTERISTICS

INPUT OFFSET CURRENT
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

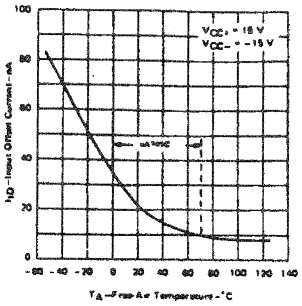
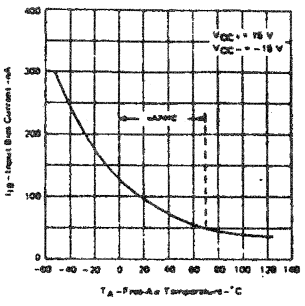


FIGURE 3

INPUT BIAS CURRENT
vs
FREE-AIR TEMPERATURE



FIGUER 4

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE
vs
LOAD RESISTANCE

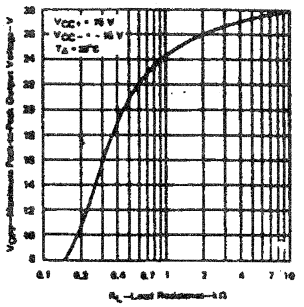


FIGURE 5

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE
vs
FREQUENCY

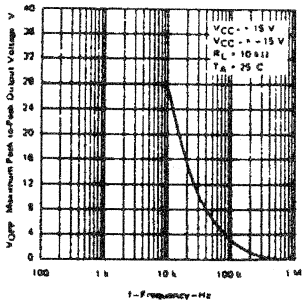


FIGURE 6

OPEN-LOOP LARGE-SIGNAL
DIFFERENTIAL
VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
SUPPLY VOLTAGE

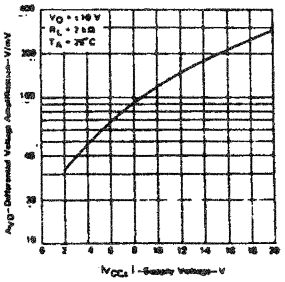


FIGURE 7

OPEN-LOOP LARGE-SIGNAL
DIFFERENTIAL
VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
FREQUENCY

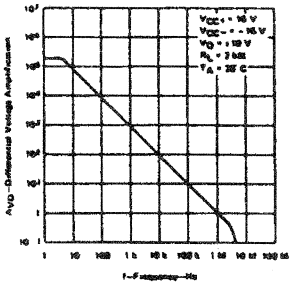


FIGURE 8

COMMON-MODE REJECTION RATIO
vs
FREQUENCY

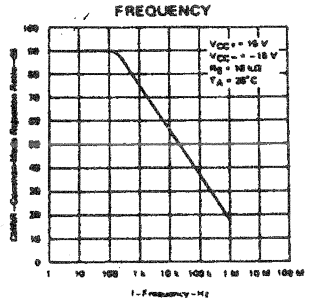


FIGURE 9

OUTPUT VOLTAGE
vs
ELAPSED TIME

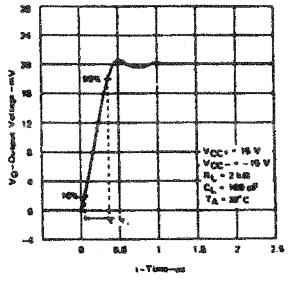


FIGURE 10

VOLTAGE-FOLLOWER
LARGE-SIGNAL PULSE RESPONSE

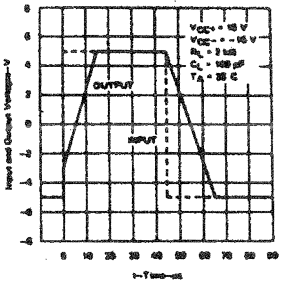
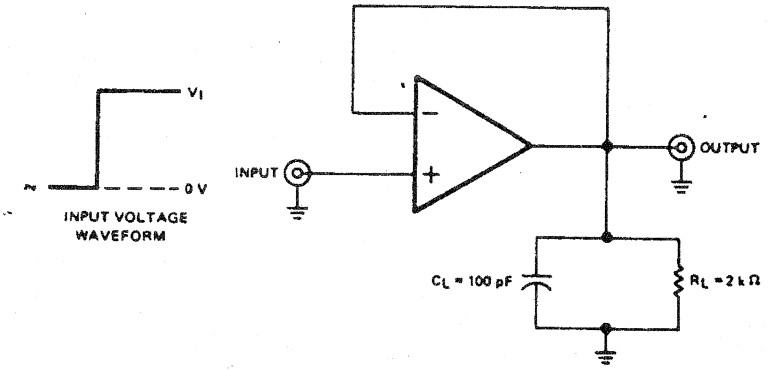


FIGURE 11

operating characteristics, V_{CC+} = 15 V, V_{CC-} = −15 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	μA741M			μA741C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_r	Rise time	V_I = 20 mV, R_L = 2 kΩ, C_L = 100 pF, See Figure 1		0.3			0.3		μs
	Overshoot factor			5%			5%		
SR	Slew rate at unity gain	V_I = 10 V, R_L = 2 kΩ, C_L = 100 pF, See Figure 1		0.5			0.5		V/μs

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT

FIGURE 1–RISE TIME, OVERSHOOT, AND SLEW RATE

TYPICAL APPLICATION DATA

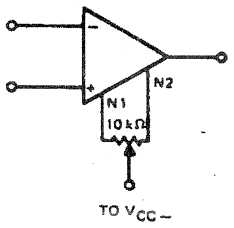


FIGURE 2–INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT

TYPES uA741M, uA741C
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

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

		uA741M	uA741C	UNIT
Supply voltage V_{CC+} (see Note 1)		22	18	V
Supply voltage V_{CC-} (see Note 1)		−22	−18	V
Differential input voltage (see Note 2)		±30	±30	V
Input voltage (either input, see Notes 1 and 3)		±15	±15	V
Voltage between either offset null terminal (N1/N2) and V_{CC-}		±0.5	±0.5	V
Duration of output short-circuit (see Note 4)		unlimited	unlimited	
Continuous total power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 5)		500	500	mW
Operating free-air temperature range		−55 to 125	0 to 70	°C
Storage temperature range		−65 to 150	−65 to 150	°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 60 seconds	J, JG, U, or W package	300	300	°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 10 seconds	N or P package		260	°C

NOTES: 1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-}.
2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or either power supply. For the uA741M only, the unlimited duration of the short-circuit applies at (or below) 125°C case temperature or 75°C free-air temperature.
5. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Curves, Section 2. In the J and JG packages, uA741M chips are alloy-mounted; uA741C chips are glass-mounted.

electrical characteristics at specified free-air temperature, V_{CC+} = 15 V, V_{CC-} = −15 V

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		uA741M			uA741C			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage	R_S ≤ 10 kΩ	25°C		1	5		1	6	mV
			Full range			6			7.5	
$\Delta V_{IO(adj)}$	Offset voltage adjust range		25°C		±15			±15		mV
I_{IO}	Input offset current		25°C		20	200		20	200	nA
			Full range			500			300	
I_{IB}	Input bias current		25°C		80	500		80	500	nA
			Full range			1500			800	
V_{ICR}	Common-mode input voltage range		25°C	±12	±13		±12	±13		V
			Full range	±12			±12			
V_{OPP}	Maximum peak-to-peak output voltage swing	R_L = 10 kΩ	25°C	24	28		24	28		V
		R_L ≥ 10 kΩ	Full range	24			24			
		R_L = 2 kΩ	25°C	20	26		20	26		
		R_L ≥ 2 kΩ	Full range	20			20			
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	R_L ≥ 2 kΩ, V_O = ±10 V	25°C	50	200		20	200		V/mV
			Full range	25			15			
r_i	Input resistance		25°C	0.3	2		0.3	2		MΩ
r_o	Output resistance	V_O = 0 V, See Note 6	25°C		75			75		Ω
C_i	Input capacitance		25°C		1.4			1.4		pF
CMRR	Common-mode rejection ratio	R_S ≤ 10 kΩ	25°C	70	90		70	90		dB
			Full range	70			70			
k_{SVS}	Supply voltage sensitivity ($\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$)	R_S ≤ 10 kΩ	25°C		30	150		30	150	μV/V
			Full range			150			150	
I_{OS}	Short-circuit output current		25°C		±25	±40		±25	±40	mA
I_{CC}	Supply current	No load, No signal	25°C		1.7	2.8		1.7	2.8	mA
			Full range			3.3			3.3	
P_D	Total power dissipation	No load, No signal	25°C		50	85		50	85	mW
			Full range			100			100	

†All characteristics are specified under open-loop operation. Full range for uA741M is −55°C to 125°C and for uA741C is 0°C to 70°C.
NOTE 6: This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

TYPES uA741M, uA741C
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

BULLETIN NO. DL-S 11363, NOVEMBER 1970—REVISED OCTOBER 1979

- Short-Circuit Protection
- Offset-Voltage Null Capability
- Large Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required
- Low Power Consumption
- No Latch-up

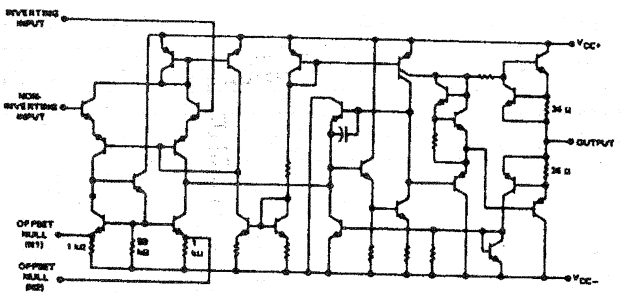
description

The uA741 is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low-value potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in Figure 2.

The uA741M is characterized for operation over the full military temperature range of −55°C to 125°C; the uA741C is characterized for operation from 0°C to 70°C.

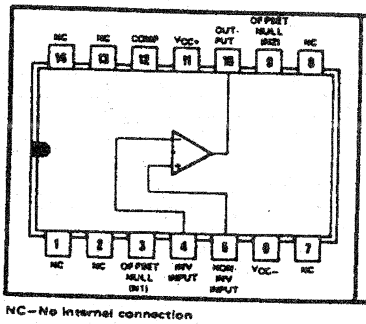
schematic



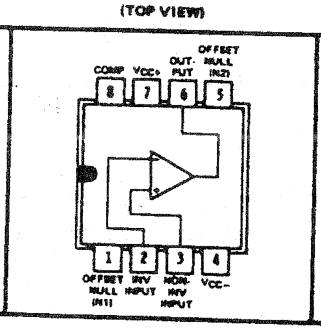
Resistor values shown are nominal

terminal assignments

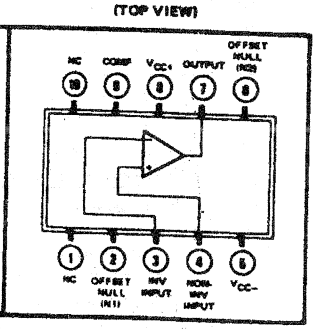
J OR N DUAL-IN-LINE OR W FLAT PACKAGE (TOP VIEW)



JG OR P DUAL-IN-LINE PACKAGE (TOP VIEW)



U FLAT PACKAGE (TOP VIEW)



NC—No internal connection

KTY83-100 SERIES

RATINGS

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

Continuous sensor current in free air				
T_{amb} = 25 °C		I_D	max.	10 mA
T_{amb} = 175 °C		I_D	max.	2 mA

CHARACTERISTICS

T_{amb} = 25 °C unless otherwise specified

Resistance				
I = 1 mA	KTY83-110	R_{25}	typ.	1000 Ω
			990 to	1010 Ω
	KTY83-120	R_{25}	typ.	1000 Ω
			980 to	1020 Ω
Temperature coefficient			typ.	0,75 %/K
R_{100}/R_{25}			1,68 ± 0,02	
R_{-55}/R_{25}			0,49 ± 0,01	
Thermal time constant*				
in still air			typ.	40 s
in still liquid**			typ.	1 s
in flowing liquid**			typ.	0,5 s
Measuring temperature range			−55 to +175	°C

Ambient temperatures and corresponding resistance values of sensor

T_{amb} °C	resistance Ω
−55	495
−50	520
−40	572
−30	627
−20	687
−10	750
0	817
10	887
20	961
25	1000
30	1039
40	1121

T_{amb} °C	resistance Ω
50	1206
60	1295
70	1387
80	1483
90	1583
100	1687
110	1794
120	1905
125	1962
130	2020
140	2138
150	2260

* The thermal time constant is the time the sensor needs to reach 63,2% of the total temperature difference. For instance, the time needed to reach a temperature of 72,4 °C, when a sensor with an initial temperature of 25 °C is put into an ambient with a temperature of 100 °C.

** Inert liquid FC43 of 3M.

SILICON TEMPERATURE SENSORS

These sensors have a positive temperature coefficient of resistance and are for use in measurement and control.

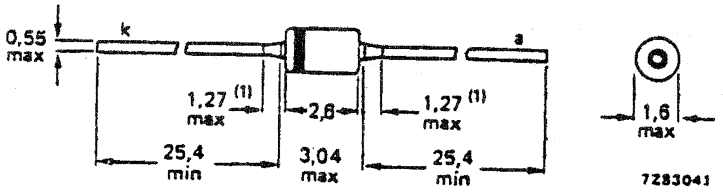
QUICK REFERENCE DATA

Resistance at T_{amb} = 25 °C I = 1 mA	KTY83-110	R_{25}	1000 Ω ± 1 %
	KTY83-120	R_{25}	1000 Ω ± 2 %
Measuring temperature range			−55 to + 175 °C

MECHANICAL DATA

Dimensions in mm

Fig. 1 DO-34 (SOD-68).



(1) Lead diameter in this zone uncontrolled.

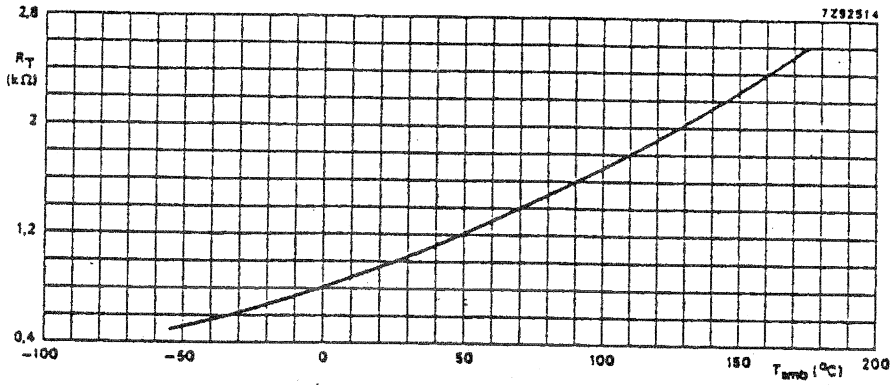


Fig. 2 Resistance value of sensor at I = 1 mA as a function of temperature.

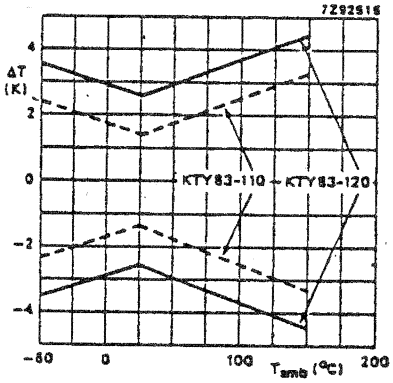


Fig. 3 Absolute error ΔT (standard deviation) expected from a KTY83-100 temperature sensor.

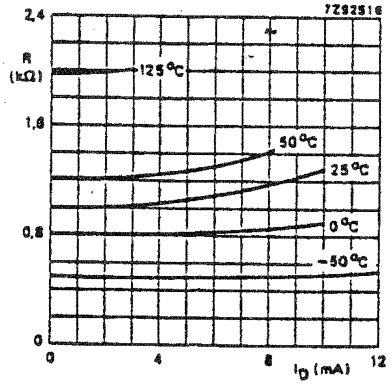


Fig. 4 Series resistance versus operating current.

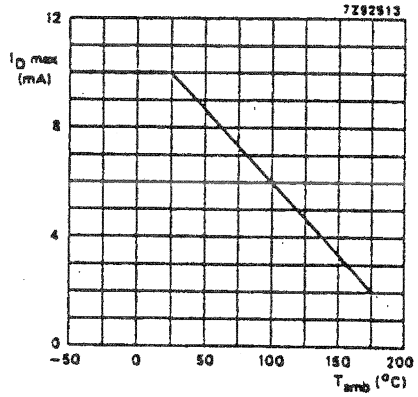


Fig. 5 Maximum operating current for safe operation.