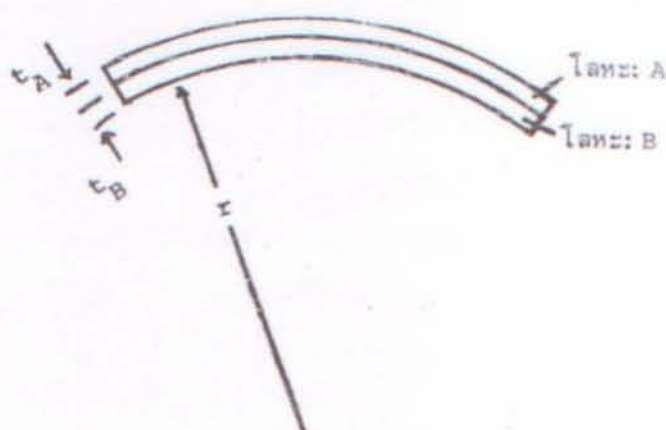


Temperature Sensors

รวบรวมโดย นางสาวพร อุดมสิน

Temperature Sensore หมายถึงวัสดุใด ๆ ที่เปลี่ยนคุณสมบัติบางอย่างไปตามอุณหภูมิ ซึ่งเราสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงนั้นเพื่อเทียบวัดอุณหภูมิหรือเพื่อประโยชน์ในการควบคุมอุณหภูมิ. บทความนี้จะกล่าวถึง Temperature Sensors แบบต่าง ๆ การใช้เซ็นเซอร์เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นสัญญาณไฟฟ้า และแสดงตัวอย่างของวงจรที่ใช้วัดอุณหภูมิบางแบบ.

ก. การขยายตัว ของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซจะขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เซ็นเซอร์แบบหนึ่งที่เห็นบ่อยที่สุดคือเทอร์โมมิเตอร์แบบของเหลวบรรจุในหลอดแก้ว ของเหลวที่บรรจุ มักจะเป็นปรอทหรือแอลกอฮอล์ ความถูกต้อง (Accuracy) ของเทอร์โมมิเตอร์แบบนั้นขึ้นกับสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้วที่ใช้, ความสม่ำเสมอของรูในหลอดแก้ว, ความถูกต้องในการวัดเปรียบเทียบ (Calibrate) สเกลบนหลอดแก้วและขึ้นกับช่วงอุณหภูมิที่วัด โดยปรอทเทอร์โมมิเตอร์แบบนั้นจะวัดได้ถูกต้องถึง 0.5°F . สำหรับแบบที่คิดใช้ใน ช่วง 32°F ถึง 212°F จะวัดได้ถูกต้องไม่เกิน 0.04°F . เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ปรอทอาจทำให้ใช้วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -38°F ถึง $1,000^{\circ}\text{F}$. และแบบที่ใช้แอลกอฮอล์อาจทำให้ใช้วัดได้ต่ำ ถึง -80°F . เซ็นเซอร์ที่อาศัยการขยายตัวของของแข็งมักเป็นแผ่นโลหะคู่ (Bimetal) ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวไม่เท่ากันสองชนิดเชื่อมติดกันอยู่ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปจะทำให้แผ่นโลหะคู่นี้โค้งงอ ค่ารัศมีความโค้งจะเปลี่ยนไปประมาณเป็นสัดส่วนกลับกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ตามรูปที่ 1 โลหะ A เป็นโลหะที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงมักจะเป็นทองแดง หรือทองเหลือง โลหะ B เป็นโลหะที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำเช่น Invar หรือ nickelsteel.



รูปที่ 1. เซ็นเซอร์แบบโลหะคู่

$$r = \frac{t \left[3(1+m^2)^2 + (1+mn) \left(m^2 + \frac{1}{mn} \right) \right]}{6 (\alpha_A + \alpha_B) (T_2 - T_1) (1+m)^2}$$

r = รัศมีความโค้ง, นิ้ว

t = ความหนา, นิ้ว

n = อัตราส่วนของ Elastic Modulus, E_B/E_A .

m = อัตราส่วนของความหนา, t_A/t_B

$T_2 - T_1$ = อุณหภูมิเพิ่มขึ้น, °ซ

α_A, α_B = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ A และ B, นิ้ว/นิ้ว-°ซ

ถ้าให้ $t_A = t_B$ และ $n+1/n = 2$

$$\therefore r \approx \frac{2t}{3(\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1)} \text{ นิ้ว}$$

เนื่องจากตัวแผ่นโลหะที่ใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า จึงอาจใช้เป็นตัววัดเบ็ดเสร็จไฟฟ้า สำหรับการควบคุมอุณหภูมิด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งสะดวกและราคาถูกเป็นที่นิยมใช้กันมากในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ไม่จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิอย่างละเอียดมาก เช่น เตาไฟฟ้า, เตาอบ, เครื่องหุงต้มไฟฟ้า โลหะที่ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิประมาณ -100°ฟ ถึง 1000°ฟ. ความถูกต้องขึ้นอยู่กับวิธีการวัดเปรียบเทียบ (Calibrate)_M สำหรับโลหะคู่อย่างใดจะมีค่าความถูกต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงอุณหภูมิที่ใช้.

เมื่อร้อนปริมาณของเหลวหรือก๊าซจะเพิ่มขึ้นแต่ถ้าถูกจำกัดให้ปริมาณคงที่ ความดันจะเพิ่มขึ้นซึ่งอาจอ่านอุณหภูมิได้โดยการวัดความดันเปรียบเทียบ เครื่องวัดอุณหภูมิโดยอาศัยความดันที่ใช้แรงของก๊าซและแอลกอฮอล์ใช้ในมากในการควบคุมอุณหภูมิของห้องปรับอากาศซึ่งต้องการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงแคบ.

ข. THERMOELECTRIC เมื่อโลหะสองอย่างบางชนิดเชื่อมปลายทั้งสองข้างติดกันจะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นถ้าอุณหภูมิของสองปลายนั้นแตกต่างกัน. ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะขึ้นกับความต่างอุณหภูมิของปลายทั้งสอง และขึ้นกับโลหะที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple).

$$E = C_1 (T_1 - T_2) + C_2 (T_1^2 - T_2^2)$$

C_1, C_2 = เป็นค่าคงที่ขึ้นกับคู่โลหะที่ใช้กับเทอร์โมคัปเปิล

E = เป็นค่าความต่างศักย์, โวลต์

T_1, T_2 = เป็นอุณหภูมิที่ปลายทั้งสอง, องศาเซลเซียส

สูตรที่แสดงบอกค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น โดยประมาณเนื่องจากความจริงแล้วค่าความต่างศักย์ไม่สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันง่ายๆ ได้. ค่าความไวต่ออุณหภูมิ (Sensitivity) จะขึ้นกับอุณหภูมิที่เทอร์โมคัปเปิลนั้นกำลังวัดอยู่. การวัดให้ละเอียดถูกต้อง ควรจะวัดความต่างศักย์แล้วเทียบตารางซึ่งเป็นสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลคู่นั้นจึงอาจได้มาพร้อมกับที่ชื่อเทอร์โมคัปเปิลมา. ตัวอย่างของกราฟแสดงค่าความไวของเทอร์โมคัปเปิลหลายชนิด เมื่อใช้วัดที่อุณหภูมิต่างๆ กันอยู่ในรูป 2

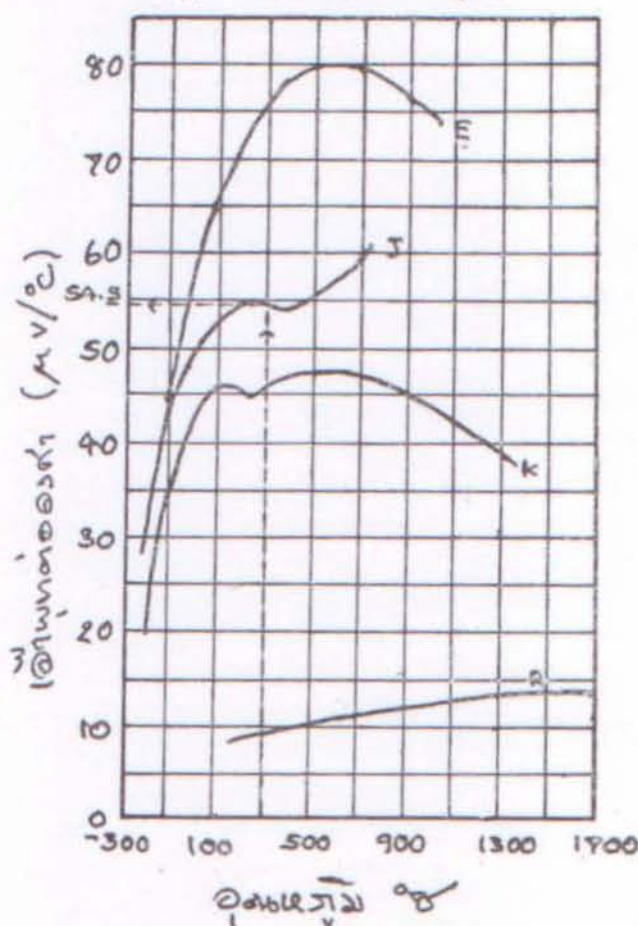
เทอร์โมคัปเปิลมีหลายชนิด ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลต่างๆ ปลาตินัม/ปลาตินัม-โรเดียมจะใช้วัดได้ถูกต้องที่สุด, เหล็ก/คอนสแตนแทนเป็นชนิดที่ราคาถูกจากราคาถูก เมื่อเทียบกับเซนเซอร์แบบอื่นๆ แล้วเทอร์โมคัปเปิลจะใช้วัดได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างที่สุดและราคาไม่แพง แต่เนื่องจากอุณหภูมิอีกปลายหนึ่ง (ที่ไม่ได้ใช้วัด) จะต้องคงที่ จึงอาจทำให้การใช้ไม่สะดวก ถ้าจะให้อีกปลายหนึ่งอยู่ที่อุณหภูมิของห้องก็ได้ แต่จะทำให้มีความผิดพลาดได้เล็กน้อยประมาณ 2°C . เทอร์โมคัปเปิลอาจใช้วัดโดยให้อุณหภูมิอีกปลายหนึ่งเป็น 0°C . หรืออาจควบคุมให้คงที่ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง

ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล	ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ได้	ความไว ประมาณ	ความถูกต้อง ประมาณ
ปลาตินัม/ปลาตินัม-โรเดียม	0°C ถึง 1600°C	$6 \text{ UV} / ^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.25 \%$
โครเมต/อลูมิน	-200° ถึง 1300°C	$40 \text{ UV} / ^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.75 \%$
ทองแดง/คอนสแตนแทน	-200° ถึง 350°C	$60 \text{ UV} / ^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5 \%$
โครเมต/คอนสแตนแทน	-	$70 \text{ UV} / ^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.75 \%$
เหล็ก/คอนสแตนแทน	-150°C ถึง 750°C	$50 \text{ UV} / ^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.0 \%$

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ

UV- หน่วยไมโครโวลต์

E- chromel/Constantan
 J- Fe/Constantan
 K- chromel/Alumel
 R- Pt 87- Rh 13/Pt



รูปที่ 2 ความไวของเทอร์โมคัปเปิลที่อุณหภูมิต่างๆ

ค. ความต้านทานของโลหะ โลหะทุกชนิดจะมีความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม

$$R = R_0 (1 + a_1 T + a_2 T^2)$$

R_0 = เป็นความต้านทานที่อุณหภูมิ 0 °C, โอห์ม

R = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T °C, โอห์ม

ค่า a_1, a_2 ขึ้นกับชนิดของโลหะซึ่งจะเลือกให้ a_2 มีค่าน้อยมากเพื่อให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นเกือบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ โลหะที่ใช้อาจเป็นปรอทินัม, นิกเกิล, ทองแดง, ปรอทินัม

อาจใช้ได้ในช่วง -450°F ถึง 1850°F , ทองแดง -320°F ถึง 500°F , นิกเกิล -320°F ถึง 800°F และทั้งสแตน-450 $^{\circ}\text{F}$ ถึง 2000°F . ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าต่าง ๆ กันตั้งแต่ 10 โอห์มถึง 25,000 โอห์ม เมื่อเทียบกับเซนเซอร์แบบอื่น แบบความต้านทานของโลหะหรือมักใช้ตัวย่อว่า RTD (Resistive Temperature Device) จะมีความไวน้อยกว่า แต่มีความถูกต้องแม่นยำกว่า และเนื่องจากความต้านทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิทำให้การแปลงจะสะดวกมาก สำหรับปลาทินัมค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน α_1 มีค่าประมาณ 3.9×10^{-3} โอห์ม/โอห์ม $^{\circ}\text{C}$. ความต้านทานจริงอาจผิดไปจากสัดส่วนโดยตรง $\pm 0.4\%$ ในช่วง -300°F ถึง -100°F และ 0.2% ในช่วง -100°F ถึง 300°F ความต้านทานของสวทปลาทินัมใช้เป็นมาตรฐานการวัดอุณหภูมิในช่วง -270°C ถึง $+660^{\circ}\text{C}$.

ง. ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำ ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำจะลดลงอย่างเอ็กโปเนนเชียล เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงนับว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน (Thermal Coefficient) เป็นลบ สารกึ่งตัวนำ ซึ่งใช้เป็นเซนเซอร์เรียกว่าเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

$$R = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)}$$

R_0 = เป็นความต้านทานที่อุณหภูมิ T_0 , องศาเคลวิน

R = เป็นความต้านทานที่อุณหภูมิ T , องศาเคลวิน

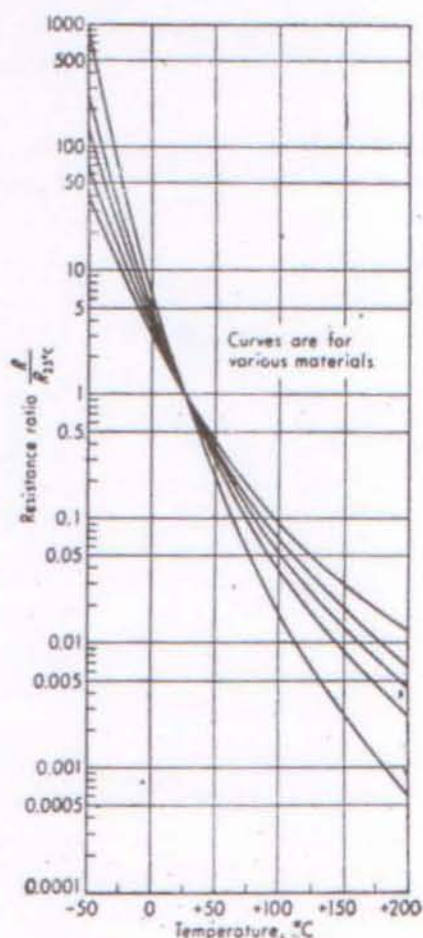
B = ค่าคงที่ของสารกึ่งตัวนำ,

T_0 = กำหนดให้เป็นอุณหภูมิ 298°K (20°C). R_0 อาจมีค่าต่างกันตั้งแต่ 500 โอห์ม ถึง 1 เมกะโอห์ม B มีค่าประมาณ 3000 ถึง 5000 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน

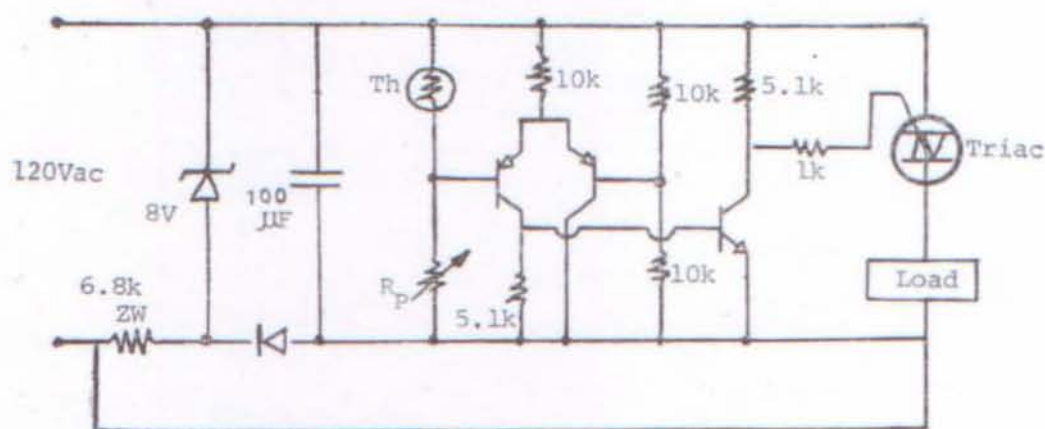
$$\frac{\Delta R / \Delta T}{R} = \frac{-B}{T^2}. \text{ สำหรับเทอร์มิสเตอร์ซึ่ง } B = 4000 \text{ ที่อุณหภูมิห้องจะเท่ากับ } -0.044$$

โอห์ม/โอห์ม- $^{\circ}\text{C}$ ซึ่งไวกว่าแบบความต้านทานโลหะมาก ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์บางชนิดอาจสูงถึง 1 โอห์ม/โอห์ม $^{\circ}\text{C}$. เทอร์มิสเตอร์อาจทำด้วยแมงกานีส, นิกเกิลหรือโคบอลต์ออกไซด์, ซิลิกอนและเยอรมันเนียมอาจใช้วัดอุณหภูมิได้แต่ ไม่นิยมเนื่องจากความต้านทานของซิลิกอนและเยอรมันเนียมขึ้นกับสิ่งแปลกปลอม (Impurities) ซึ่งกำจัดออกได้ยากเทอร์มิสเตอร์อาจทำให้มีขนาดเล็กมากเพื่อให้มีเวลาตอบสนอง (Response Time) เร็ว. เมื่อเทียบกับเซนเซอร์แบบอื่น ๆ เทอร์มิสเตอร์มีความไวสูงที่สุดและเมื่อใช้วัดหลาย ๆ ครั้ง ค่าจากการวัดจะไม่ผิดกันมากนัก (Good Repeatability) สามารถใช้วัดได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -420°F ถึง 1200°F . แต่เนื่องจากการลจของ ความต้านทานไม่เป็น

สัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิทำให้ไม่เหมาะสำหรับใช้วัดอุณหภูมิที่ต่ำเหมาะสำหรับใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสำหรับควบคุมความร้อนรูปที่ 3 ก. แสดงการเปลี่ยนของความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ต่ออุณหภูมิ รูปที่ 3 ข. แสดงวงจรที่ใช้ควบคุมความร้อนโดยใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวควบคุมไทรแอกซึ่งต่อกับหลอดทำความร้อน ไทรแอกจะเปิดเครื่องทำความร้อนเมื่อความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์สูงกว่าค่าที่กำหนด (อุณหภูมิต่ำกว่าค่าต่ำสุดที่ต้องการ) และปิดเมื่อความร้อนทำให้ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ลดลง. การควบคุมแบบเปิด-ปิด เหมาะสำหรับระบบใหญ่ซึ่งมีความเฉื่อยทางอุณหภูมิสูง (High Thermal Inertia) สำหรับระบบเล็กซึ่งต้องการควบคุมอุณหภูมิแน่นอนกว่าอาจใช้เทอร์มิสเตอร์ควบคุม Firing Angle ของไทรแอก



รูปที่ 3 ก. แสดงความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ต่ออุณหภูมิ



รูปที่ 3 ข. วงจรของเครื่องควบคุมความร้อนด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบเปิด-ปิด

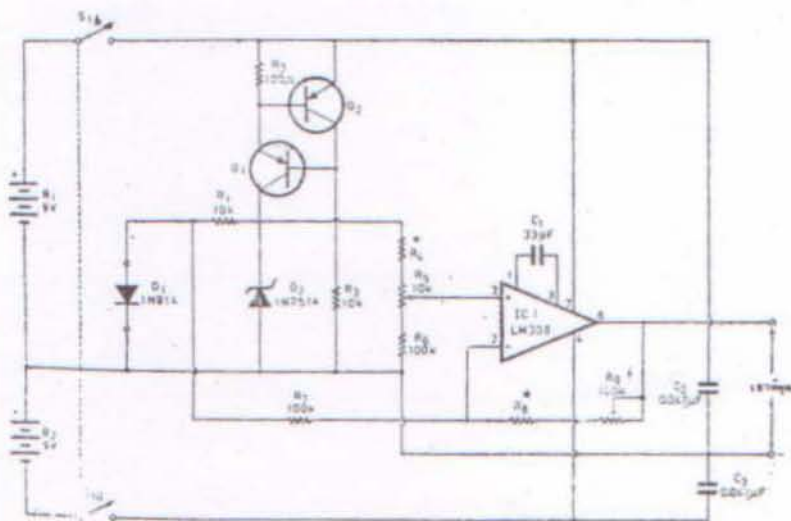
จ. สมบัติของไดโอดและทรานซิสเตอร์ เป็นที่ทราบกันดีว่าสมบัติของไดโอดเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ถ้าไปแอสให้แรงดันไฟฟ้าคล่อมไดโอดคงที่ในทางบวก (Fixed Forward Bias Voltage) กระแสที่ผ่านไดโอดจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ทุก ๆ องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น หรือประมาณเป็นสองเท่าของค่าเดิมทุก ๆ 10 องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น, การเปลี่ยนนี้เป็นเอกโปเนนเชียล หรือถ้าทำให้กระแสผ่านไดโอดมีค่าคงที่ แรงดันคล่อมไดโอดจะลดลงประมาณ 2.5 มิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียส, การเปลี่ยนของแรงดันไฟฟ้าจะเป็นส่วนกลับกับอุณหภูมิในช่วงกว้างพอใช้.

ทรานซิสเตอร์ก็คล้ายกับไดโอดมากเนื่องจากกระแสเบสเป็นกระแสผ่าน PN Junction เบสถึงอิมิตเตอร์เหมือนไดโอดและกระแสคอลเลกเตอร์เท่ากับ $h_{FE} I_B + I_{CBO}$ ถ้าทรานซิสเตอร์มีกระแส Leakage (I_{CBO}) ต่ำและ h_{FE} เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิน้อย ทรานซิสเตอร์จะมีสมบัติทางความร้อนเหมือนไดโอดแล้ว คือ ถ้าให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วง Active Region และให้แรงดันคล่อมเบส-อิมิตเตอร์ (V_{BE}) มีค่าคงที่ กระแสคอลเลกเตอร์จะเพิ่มขึ้นประมาณสองเท่าของค่าเดิมทุก ๆ 10 องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น หรือถ้าให้กระแสคอลเลกเตอร์คงที่แรงดันคล่อมเบส-อิมิตเตอร์จะลดลงประมาณ 2.5 mV. ต่อองศาเซลเซียส, สมบัติของทรานซิส-

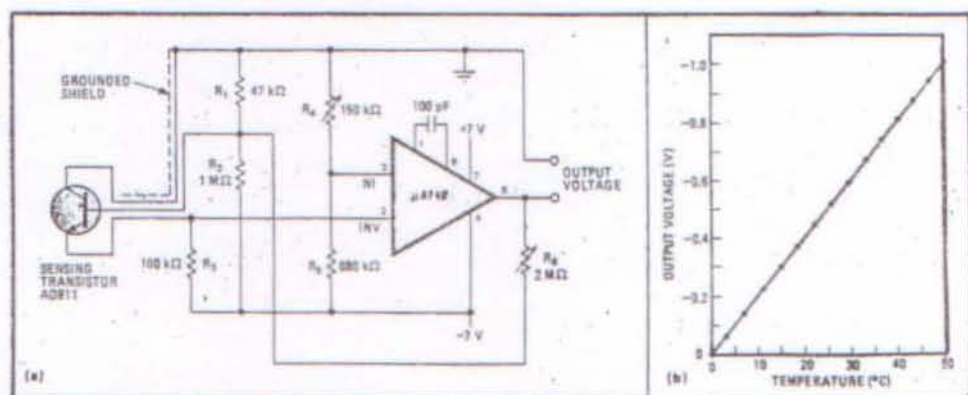
เทอร์มิสเตอร์อุณหภูมิมีแนวโน้มว่าเป็นส่วนเสียของทรานซิสเตอร์เนื่องจากวงจร หรือ แอมพลิไฟเออร์ ที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ (วงจรที่ประกอบด้วยหลอดไม่เปลี่ยนตามอุณหภูมิเลยเพราะหลอดทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก) จึงต้องมีเทคนิคการไบแอสให้วงจรมี Thermal Stability พอดีใช้หรือใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวทดแทน (Compensate) เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมีน้อย. ปัจจุบันนิยมใช้ทรานซิสเตอร์หรือไดโอดเป็นตัวทดแทนในวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์เนื่องจากทรานซิสเตอร์สองตัวควรจะเปลี่ยนตามอุณหภูมิเหมือนกัน จึงอาจจัดให้การเปลี่ยนของทรานซิสเตอร์สองตัวหักล้างกันไป

สมบัติที่ทรานซิสเตอร์ และไดโอดเปลี่ยนไปตามอุณหภูมินี้อาจใช้เป็นประโยชน์ในการวัดอุณหภูมิได้ ดังเช่นวงจรรูปที่ 4 เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้ไดโอด IN 914 เป็นเซนเซอร์ กระแสผ่านไดโอดมีค่าเกือบคงที่เนื่องจากความต้านทาน R_1 10 กิโลโห์มมีค่าสูงมาก ทำหน้าที่คล้ายหน่วยกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Source) Op Amp LM 308 วัดแรงดันคล่อมไดโอด IN 914 เปรียบเทียบกับแรงดันที่ขา 3 และขยายให้มิเตอร์สามารถอ่านได้ เครื่องวัดอุณหภูมินี้วัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 0-100 °ซ. มีความไว 10 mV./°ซ. (อาจปรับได้โดยเปลี่ยนค่า R_9) และมีความแน่นอน ± 1 °ซ. วงจรในรูปที่ 5 เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้ทรานซิสเตอร์ AD 811 เป็นเซนเซอร์และให้ Op Amp UA 748 เป็นวงจรขยาย (4) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มวงจรนี้จะทำให้กระแสมีตเตอร์ของ AD 811 มีค่าคงที่โดยการป้อนกลับ (Feedback) จากขั้วออก (Output) ผ่านความต้านทาน 2 เมกกะโห์มมากที่เบสทำให้แรงดันคล่อมเบสมีตเตอร์ลดลงเพื่อให้กระแสมีตเตอร์เท่าเดิม ดังนั้นแรงดันคล่อมเบสมีตเตอร์จึงเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิโดยที่กระแสมีตเตอร์คงที่. การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นอัตราส่วนโดยตรง. วงจรนี้วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0-50°ซ. มีความไว 20 mV./°ซ. (ปรับได้) และมีความถูกต้อง 0.05°ซ. ทรานซิสเตอร์ AD 811 มีกระแส Leakage ถ้าอาจเลือกใช้ Low Leakage ทรานซิสเตอร์แบบอื่นแทนได้ ช่วงอุณหภูมิที่คงการวัดอาจ

ปรับได้โดยปรับ R_6 ถ้าต้องการวัดช่วงแคบปรับให้มีความไวสูง. เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้อาจปรับให้ใช้ได้ในช่วง -25°C โดยปรับ R_5

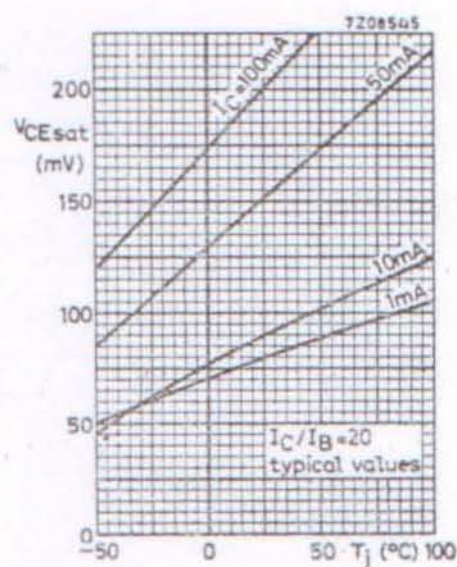


รูปที่ 4 เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ไดโอด 1N 914 เป็นเซนเซอร์ (4)

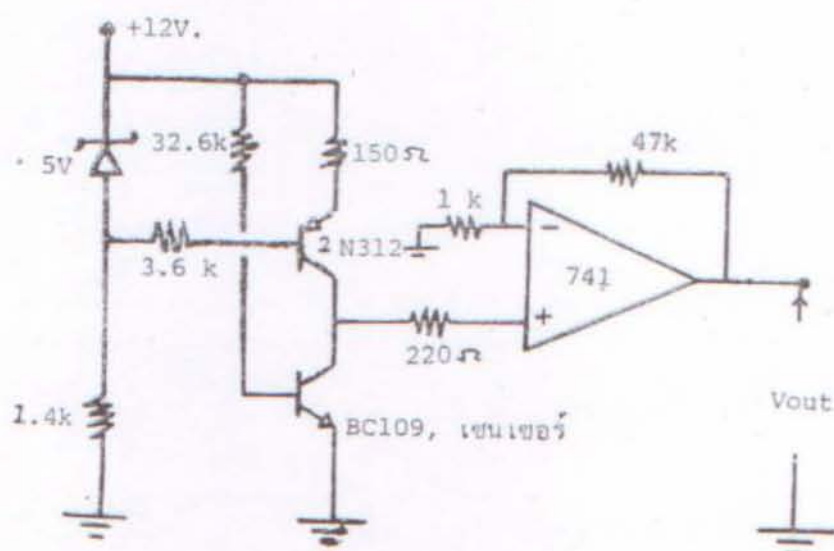


รูปที่ 5 เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ AD 811 เป็นเซนเซอร์ (3)

สมบัติอีกอย่างหนึ่งของทรานซิสเตอร์คือเมื่ออยู่ในช่วง Saturate และกระแสคอลเลกเตอร์คงที่ แรงดันคล่อมคอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิรูปที่ 6 ก. แสดงสมบัติของทรานซิสเตอร์ BC 109 รูปที่ 6 ข. แสดงวงจรที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ BC 109 ขณะที่อยู่ในช่วง Saturate เป็นตัวเซ็นเซอร์ และใช้ Op Amp 741 เป็นวงจรขยาย โดยออกแบบให้กระแสคอลเลกเตอร์มีค่า 50 - มิลลิแอมป์ และวงจรขยายประมาณ 50 เท่า (5)



รูปที่ 6 ก. V_{ce} (sat) ต่ออุณหภูมิของทรานซิสเตอร์ BC 109



รูปที่ 6 ข. เครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ทรานซิสเตอร์ BC 109 ในช่วง Saturate

เมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์แบบอื่น ๆ ไคโอคและทรานซิสเตอร์วัดได้ในช่วงแคบแต่ใช้มากที่สุดคือช่วงประมาณ 0°ซ. ถึง 100°ซ. เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงทำให้ใช้งานและวัดได้ละเอียด.

การที่ไคโอค, ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนสมบัติไปตามอุณหภูมิยังมีประโยชน์ในการวัดอุณหภูมิของ Junction ของไคโอคและทรานซิสเตอร์เอง (ซึ่งจำเป็นในการคำนวณหา Thermal Resistance) การใช้เซนเซอร์แบบอื่น ๆ ยุ่งยากและอาจทำให้ตัวที่ถูกวัดเสียหายได้ หลักการใช้ในการหา Thermal Resistance ของไคโอค, ทรานซิสเตอร์ Gunn Diode, Inpatt Diode และ FET.⁽⁶⁾

สมบัติของ Temperature Sensors แบบต่างๆ แสดงในตารางที่ 2 ค่าที่แสดง
 ในตารางเป็นค่าประมาณสำหรับการเปรียบเทียบ ดังที่ได้อธิบายแล้วว่าเซ็นเซอร์แต่ละชนิดยัง
 แบ่งออกไปได้อีก มิเตอร์ที่ใช้วัดสัญญาณไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ เพื่ออ่านเปรียบเทียบเป็น
 อุณหภูมิ เป็นส่วนที่สำคัญมากและอาจมีราคาสูงกว่าตัวเซ็นเซอร์มาก การเลือกใช้มิเตอร์
 ไม่ถูกต้องจะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดไปหมด ค่าความถูกต้องและความแน่นอนของเซ็นเซอร์
 ก็จะไม่มีความหมาย ถ้าต้องการวัดอุณหภูมิในช่วงเวลานานต้องใช้มิเตอร์ที่มี Drift ต่ำ
 เพื่อไม่ให้ค่า Drift ของมิเตอร์แล้วเทียบกลายเป็นว่าอุณหภูมิเปลี่ยนไป เมื่อเซ็น
 เซอร์อยู่ห่างจากมิเตอร์อาจทำให้เกิด Pick Up Noise ขึ้นในสาย ดังนั้นจึงควร Shield
 สายและตัวเซ็นเซอร์เพื่อลด Pick Up Noise สำหรับเทอร์โมคัปเปิล โวลต์มิเตอร์ที่ใช้ต้องมี
 อินพุตอิมพีแดนซ์สูงเพื่อที่กระแสผ่านโวลต์มิเตอร์ จะไม่ทำให้แรงดันของเทอร์โมคัปเปิล
 ผิดไป มิเตอร์ที่เหมาะสมคือแอนะล็อกโวลต์มิเตอร์หรือดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่มีความไว (Sen
 sitivity) สูง เนื่องจากแรงดันของเทอร์โมคัปเปิลอยู่ในช่วงประมาณ 1000 ไมโครโวลต์
 และมีความแน่นอน (Resolution) สูง เนื่องจากความแน่นอนของมิเตอร์เป็นข้อสำคัญที่
 จะบ่งชี้ว่าค่าอุณหภูมิซึ่งอ่านเทียบจากค่าแรงดันจะเป็นค่าแน่นอนเพียงใด เช่นตามรูปที่ 2
 ความไวของเทอร์โมคัปเปิลแบบ J เหล็ก/คอนสแตนแทนเป็น $54.5 \text{ } \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ที่ 300°C
 โวลต์มิเตอร์ที่มีความแน่นอนถึง 0.1 ไมโครโวลต์จะวัดอุณหภูมิได้แน่นอนถึง 0.01 °C.
 เนื่องจากสเกลของแอนะล็อกมิเตอร์จะอ่านได้ค่าตัวเลขอย่างมากเพียง 2-3 ตำแหน่ง ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะวัดอุณหภูมิจริงนับจาก 0 °C. ซึ่งต้องการตัวเลขมากขึ้นตามความแน่นอนที่ต้องการและตามช่วงอุณหภูมิที่กำลังใช้วัดด้วย แอนะล็อกมิเตอร์เหมาะสำหรับวัด
 ความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยวัดค่าความแตกต่างของแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิลเปรียบ
 เทียบกับแรงดันคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อต้องการการวัดอุณหภูมิจริง ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์จะเหมาะ
 กว่าเพราะสามารถเลือกจำนวนหลักของตัวเลขได้ตามความแน่นอนของอุณหภูมิที่ต้องการ
 ราคาของดิจิตอลมิเตอร์จะขึ้นกับจำนวนหลัก

สำหรับเซนเซอร์แบบความต้านทานโลหะและแบบเทอร์มิสเตอร์ ข้อที่ควรระวังมากคือกระแสที่ผ่านเพื่อใช้ในการวัดจะต้องมีค่าน้อย เพราะกระแสที่ผ่านความต้านทานจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนทำให้อุณหภูมิของเซนเซอร์สูงขึ้น ยังมีขนาดเล็กก็จะยังมีอุณหภูมิสูงมากจนมาก ดังนั้นความแน่นอนของอุณหภูมิที่วัดได้จึงขึ้นกับกระแสที่ใช้วัดด้วย นอกเหนือจากความแน่นอนของมิเตอร์ กระแสยิ่งน้อยก็จะต้องทำให้มิเตอร์ที่ใช้ต้องมีความไวมากขึ้น คิเจิลโอห์มมิเตอร์หรือคิเจิลมัลติมิเตอร์เหมาะสำหรับการใช้วัดเซนเซอร์แบบความต้านทานเพราะมีความแน่นอนสูง และมักวัดความต้านทานโดยวิธีใช้หน่วยกระแสไฟคงที่ (Constant Current Source) เพื่อลดความต้านทานที่ต้องการวัดแล้วอ่านแรงดันคล่อม การใช้ความต้านทานโลหะ (RDT) หรือเทอร์มิสเตอร์จะต้องเลือกหาว่าจะใช้กระแสเท่าใดสำหรับการวัด รูปที่ 7 ช่วยในการเลือกโดยรู้ค่า Dissipation Constant และความต้านทานของเซนเซอร์ที่ใช้วัด และกำหนดความแน่นอนของอุณหภูมิที่ต้องการ ก็จะหาค่ากระแสหรือแรงดันที่ใช้วัดได้

สำหรับความต้านทานโลหะจำนวนหลักของมิเตอร์อาจคำนวณได้จากสูตร

$$N \geq \log \left(\frac{1}{tc} \right) + \log \left(\frac{1}{\Delta T} \right)$$

N = เป็นจำนวนหลักของมิเตอร์

tc = เป็นสัมประสิทธิ์ความต้านทานของโลหะที่ใช้, โอห์ม/โอห์ม-°ซ

ΔT = เป็นความแน่นอนของอุณหภูมิที่ต้องการ, °ซ.

ตัวอย่างเช่น ซึ่งมี $tc = 3.9 \times 10^{-3}$ โอห์ม/โอห์ม-°ซ และต้องการความแน่นอนถึง 0.1°ซ. จะต้องใช้คิเจิลมิเตอร์ซึ่งมี 4 หลัก

วงจรรขยายสัญญาณเซ็นเซอร์

ถ้าต้องการสร้างวงจรรขยายติดกับเซ็นเซอร์เลยเพื่อให้สามารถใช้กับมิเตอร์ราคาถูกได้ ความแน่นอนของอุณหภูมิที่อ่านได้จะขึ้นกับวงจรรขยายที่สร้างขึ้นซึ่งเราไม่สามารถรู้ความแน่นอนได้ง่ายๆ เหมือนการใช้มิเตอร์ที่ระบุความแน่นอนไว้แล้ว ข้อควรระวังเกี่ยวกับ Pick Up Noise จะละเอียดไม่ได้ Op Amp เป็นวงจรรขยายสัญญาณกระแสตรงซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นวงจรรขยายในงานนี้ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิในรูปที่ 4, 5 และ 6 ข. ใช้ Op Amp เบอร์ต่างๆ กัน เนื่องจากกระแสที่ผ่านเซ็นเซอร์มีค่าน้อยกระแสไบแอสที่ชั้วอินพุทของวงจรรขยายต้องมีค่าน้อยด้วย (น้อยกว่ากระแสผ่านเซ็นเซอร์ประมาณ 10 เท่า) Op Amp ต้องมี Drift และการเปลี่ยนตามอุณหภูมิต่ำ, คลื่นรบกวนภายใน (Internal Noise) และความคงที่ของกำไรขยาย (Gain Stability) เป็นตัวสำคัญที่จะชี้ว่าความแน่นอนของอุณหภูมิที่วัดได้เป็นเท่าใด นอกจากนั้นวงจรรจ่ายกระแส (Power Supply) ต้องมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ด้วย.

รวบรวมจาก

1. 'Measurement Systems' Ernest O. Doebolin, Mc GrawHill, Inc. 1975.
2. 'Matching temperature sensors to the right readouts' Charles L. Grafinkel, Electronics November 28 1974.
3. 'Diode or transistor makes fully linear thermometer' Cameron J. Kock, 'Electronics', May 13, 1976.
4. 'เครื่องวัดอุณหภูมิ' นิตยสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ประจำเดือนพฤษภาคม 2519 ชจรเดช อารักษ์,
5. 'เครื่องควบคุมความร้อนอัตโนมัติ', รายงานการทดลอง โปรเจกต์นักศึกษาไฟฟ้า พ.ศ. 2518
นายจิรพงษ์ วัฏทิตติวิกุล และ นายสุทธิพงษ์ ชาญชัยกรรม.
6. 'Use electronical tests for thermal measurement' Bernard S. Sikgal, 'Microwaves', June 1976.