2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ

2.3.1 ตัวตรวจจับอุณหภูมิด้วยความต้านทาน (Resistance Temperature Detector, RTD)

รูปที่ 2.6 ตัวตรวจจับอุณหภูมิด้วยความต้านทาน

อารทีดี คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ ซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก” (Positive Temperature Coefficient , PTC) นอกจากนี้อาร์ทีดียังมีชื่อเรียกได้อีกอย่างว่า “เทอร์โมมิเตอร์แบบค่าความต้านทาน”

ชนิดของอาร์ทีดี (Type of RTD)

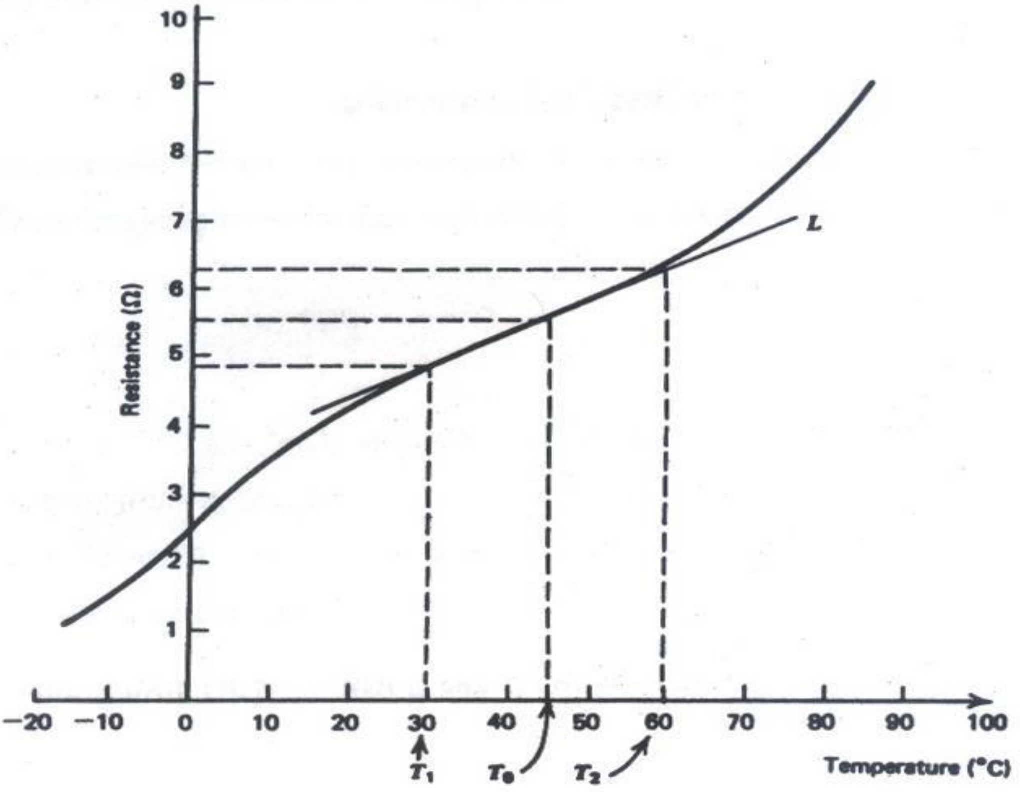
1. แพลทินัม เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด เขียนบอกไว้เป็น PT ได้แก่ PT-10, PT-100, PT-1000 ความสามารถในการทำซ้ำสูง แต่ความไวต่ำ ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับนิกเกิลซึ่งมี ความสามารถในการทำซ้ำน้อย แต่มีความไวมากกว่า และราคาถูกกว่า

2. ทองคำและเงิน ธาตุทั้งสองมีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำ

3. ทังสเตนมีค่าความต้านทานจำเพาะสัมพัทธ์สูง มักใช้กับการวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง เพราะ หากใช้ที่อุณหภูมิปกติจะมีความเปราะและยากต่อการใช้งาน

4. นิกเกิล ใช้กับย่านวัดอุณหภูมิสูงๆ มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ ทำให้เกิดค่า ดริฟต์ (drift) กับเวลา นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทำอาร์ทีดี ได้แก่ เหล็ก เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ RTD



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ RTD

$$R(T) = R(To)(1 + \alpha o \Delta T) \qquad T_1 < T < T_2$$

เมื่อ $R(T)$ = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T

$R(To)$ = ความต้านทานที่อุณหภูมิ To

ΔT = T - To

αo = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ To

ในทางปฏิบัติค่าของ α แต่ละช่วงจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง หากต้องการค่าที่แน่นอนมากขึ้น สามารถกระทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$R(T) = R(T_o)\left[1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 (\Delta T)^2\right]$$

ในการใช้งาน RTD จำเป็นที่จะต้องต่อร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นจะมีกระแสจำนวนหนึ่งสร้างความร้อนขึ้นในตัว RTD ซึ่งมีค่าเท่ากับ I^2R จึงจำเป็นต้องจำกัดค่ากระแสมิให้มีค่าสูงเกินไป การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอันเนื่องจากพลังงานความร้อนนี้ สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta T = P / P_D$$

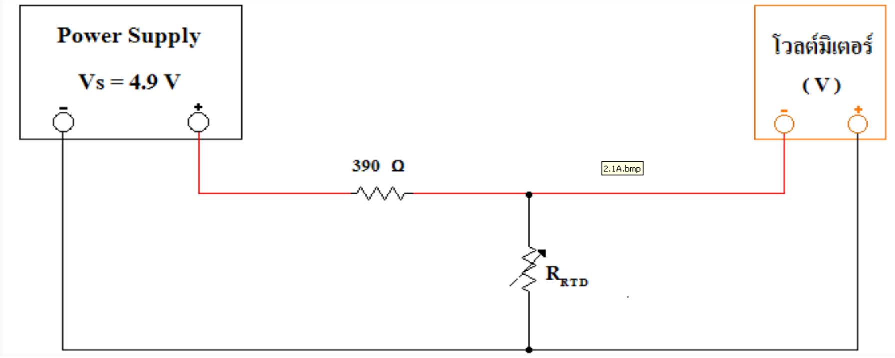
เมื่อ ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนในตัว RTD (°C)

P = พลังงานความร้อนใน RTD จากวงจร (W.)

P_D = พลังงานความร้อนคงที่ของ RTD (W.)

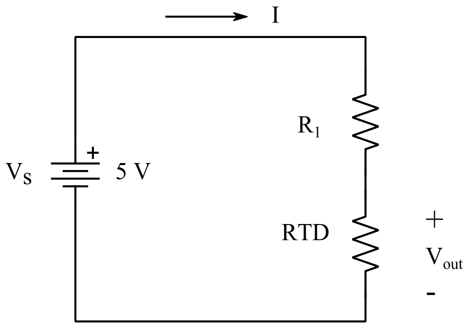
วงจรพื้นฐานของวงจร RTD

เนื่องจาก RTD ไม่สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้เอง จำเป็นต้องทำการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกเพิ่มเพื่อวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของ RTD



รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของวงจร RTD

ตัวอย่างที่ 2.5 จากรูป จงหาค่าความต้านทาน R1 กำหนดให้ R_{RTD} เท่ากับ 100 Ω ที่ 0 °C และกำหนดให้กระแสในวงจรมีค่าไม่เกิน 10 mA



$$I = \frac{V}{R_1 + R_{RTD}}$$

$$R_1 = \frac{V}{I} - R_{RTD}$$

$$R_1 = \frac{5}{10\times10^{-3}} - 100$$
$$= 400\Omega$$

ตัวอย่างที่ 2.6 จากตัวอย่างที่ 2.5 กำหนดให้ $\alpha 0 = 0.005/^{\circ}C$ และมีค่า $P_D = 30mW/\ ^{\circ}C$ ที่อุณหภูมิ 0 °C จงหาค่าความต้านทานของ R_{RTD} และ Vout ที่อุณหภูมิ 0 °C และที่อุณหภูมิ 20 °C

วิธีทำ

พิจารณาที่ 0 °C (ไม่พิจารณาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายใน RTD)

$$R_{RTD} = 100\,\Omega$$

พิจารณาที่ 20 °C (ไม่พิจารณาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายใน RTD)

$$R = R_0[1+\alpha_0\Delta T]$$

$$R = R_0[1+\alpha_0(T-T_0)]$$

$$R_{RTD} = 100[1+0.005(20-0)] = 110\,\Omega$$

หา Vout ที่อุณหภูมิ 0 °C

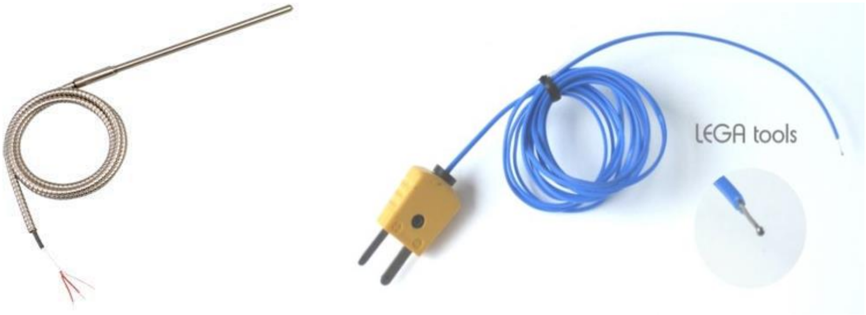
$$V_{out,0} = \left(\frac{R_{RTD}}{R_1+R_{RTD}}\right)V_S = \left(\frac{100}{400+100}\right)5 = 1.0\,V$$

หา Vout ที่อุณหภูมิ 20 °C

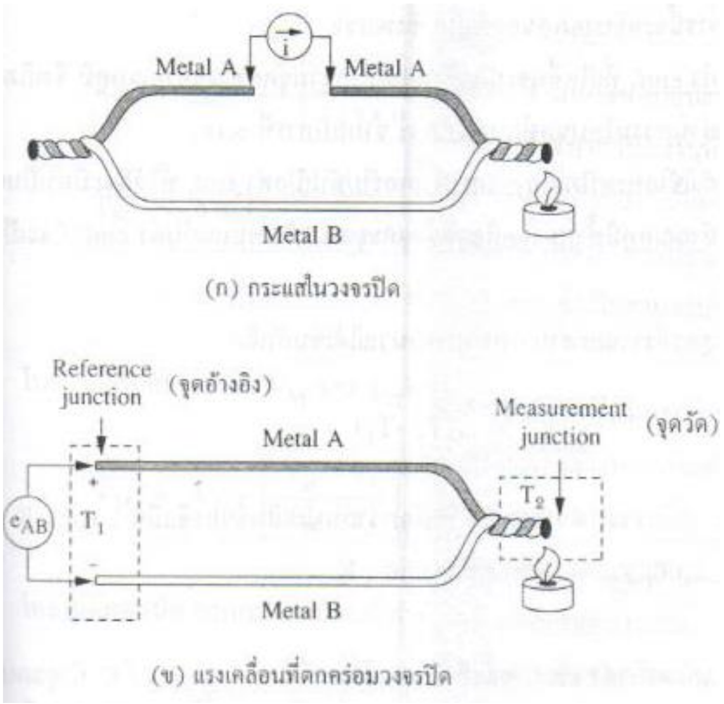
$$V_{out,20} = \left(\frac{R_{RTD}}{R_1+R_{RTD}}\right)V_S = \left(\frac{110}{400+110}\right)5 = 1.08\,V$$

2.3.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomus Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสของเทอร์โมคัปเปิล

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำ ดังนี้

เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานมีหลายชนิดให้เลือก ขึ้นอยู่กับย่านอุณหภูมิและลักษณะการใช้งาน โดยความแตกต่างของแต่ละชนิดนี้เกิดจากการเลือกใช้คู่ของวัสดุ (Element) ที่นำมาจับคู่กันจึงทำให้คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแตกต่างกัน การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลควรเลือกใช้ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับงานนั้น ๆ โดยสิ่งที่ควรพิจารณามีหลายข้อ เช่น ค่าอุณหภูมิที่ใช้งาน ราคา ความกัดกร่อนของสารเคมีที่เทอร์โมคัปเปิลสัมผัส เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

ชนิด	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิ (°C)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (mV)
B	แพลทินัม - 30% โรเดียม แพลทินัม - 6% โรเดียม	50 ถึง 1820	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม - 13% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-02.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม - 10% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-40 ถึง 750	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล/อะลูเมล	-270 ถึง 1372	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	-6.258 ถึง 20.869

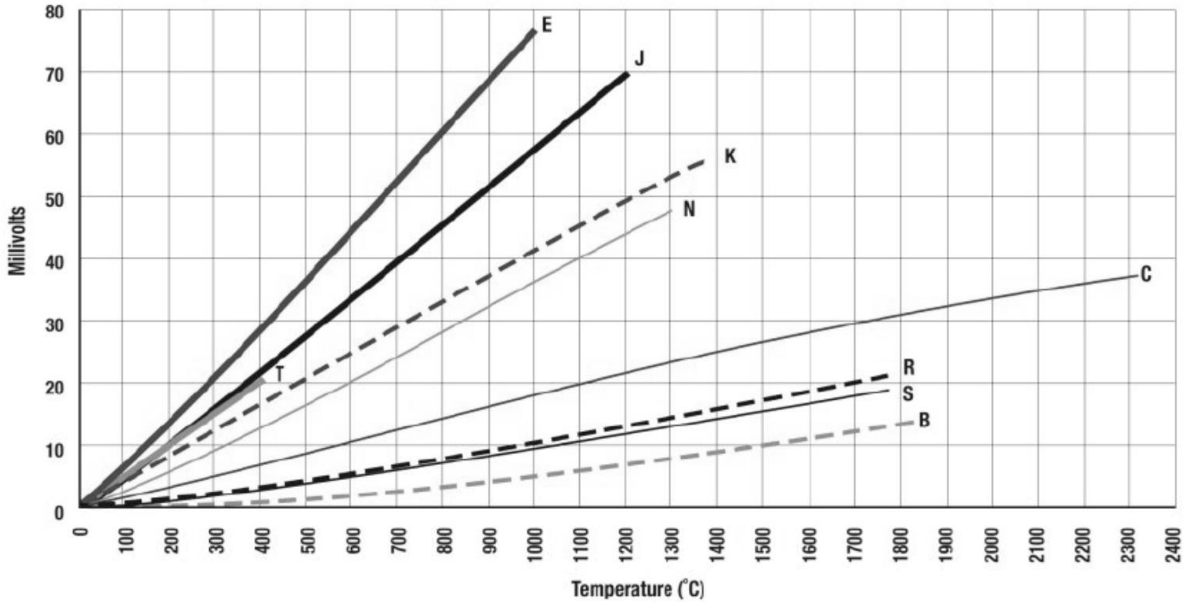
ตารางที่ 2.2 สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิล

ความเหมาะสมในการใช้งาน							
Type	Oxidizing	Reducing	Inert	Vacuum	Sulfurous	อุณหภูมิ < 0 C	มีไอของโลหะ
B	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้ในช่วงสั้น ๆ	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า > 500 °C	ไม่ได้	ได้
K	ได้*	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
T#	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้

- Oxidizing คือ กระบวนการทางเคมีที่ดึงออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนั้น

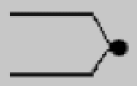
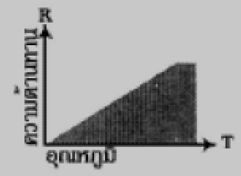
- Reducing คือ กระบวนการทางเคมีที่ออกซิเจนถูกดึงออกจากสารนั้นเพื่อไปทำปฏิกิริยากับสารภายนอก

- Vacuum คือ ค่าความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศจนถึงสภาวะสุญญากาศ
- Inert คือ สภาวะเฉื่อยที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี



รูปที่ 2.11 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลเทียบกับอุณหภูมิ

สรุปข้อเปรียบเทียบระหว่าง RTD กับ เทอร์โมคัปเปิล

หัววัด	เทอร์มอคัปเปิล	อาร์ทีดี (Pt100)
สัญญลักษณ์		
ลักษณะกราฟเอาต์พุต		
ข้อดี	• ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง • ง่าย • ไม่แพง • ใช้งานได้หลากหลาย • ช่วงการวัดอุณหภูมิกว้าง	• เสถียรภาพสูง • เที่ยงตรงที่สุด • มีความเป็นลิเนียร์มากกว่า เทอร์มอคัปเปิล
ข้อเสีย	• ไม่มีลักษณะเส้นตรง • แรงดันต่ำ • ไม่ค่อยเสถียร • ความไวต่ำสุด	• แพง • ต้องการไฟเลี้ยง • มีความร้อนเกิดขึ้นที่ตัวมันเอง
ช่วงการวัดมากที่สุด	-270 ถึง 1820 °C	-250 ถึง 600 °C
Repeatability	1.1 °C ถึง 8.25 °C	0.0275 °C ถึง 0.055 °C

Type K Thermocouple Reference Table:

ITS-90 Table for Type K Thermocouple (Ref Junction 0°C) http://reotemp.com

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Thermoelectric Voltage in mV					
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ตัวอย่างที่ 2.9 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าดังตาราง โดยที่อุณหภูมิ 0 °C และ 300 °C มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0 mV และ 12.209 mV ตามลำดับ ถ้าลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น จงหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ หรือค่าความไว (sensitivity, mV/ °C)

วิธีทำ อัตราการเปลี่ยนแปลง $m = \frac{V_1 - V_0}{T_1 - T_0} = \frac{12.209 - 0}{300 - 0} = 0.0407$ mV/ °C

ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K มีค่าเท่ากับ 0.0407 mV/ °C (แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 0.0407 mV เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C)

ตัวอย่างที่ 2.10 จากตัวอย่างที่ 2.9 จงออกแบบวงจรปรุงแต่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิในช่วง 0 - 300 °C โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 3 V

วิธีทำ

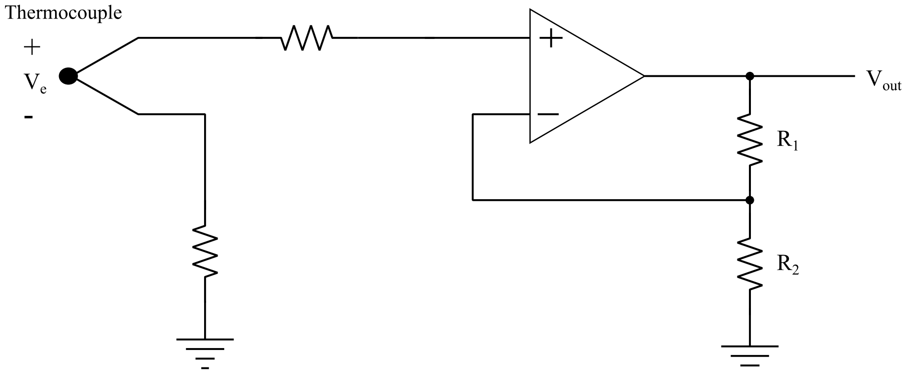
โจทย์กำหนดให้ที่ 300 °C $V_{out} = 3V$

แรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลที่ 300 °C $V_{in} = 12.209\ mV$

ดังนั้น สามารถหาอัตราขยายของวงจรปรุงแต่งสัญญาณได้ดังนี้

$$A_{gain} = \frac{3.0V}{12.209mV} = 245.7$$

เลือกใช้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) เป็นวงจรปรุงแต่งสัญญาณดังรูป



จากวงจรจะได้ $V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_e$

นั้นคือ $A_{gain} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$

$$R_1 = R_2 \left(A_{gain} - 1\right)$$

กำหนดให้ R2 = 1 kΩ ###

ดังนั้น

$$R_1 = R_2\left(A_{gain} - 1\right)$$

$$R_1 = 1000\left(245.7 - 1\right)$$

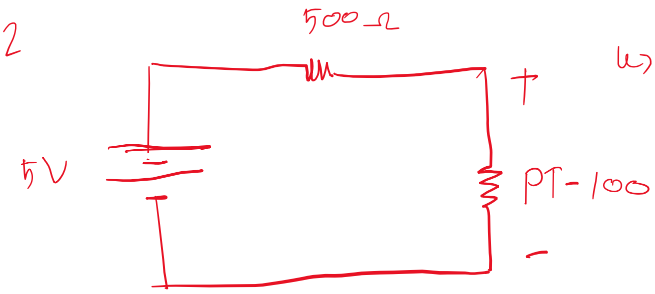
$$= 244.7\ \text{k}\Omega \quad \text{###}$$

แบบฝึกหัด week 3

1. RTD PT-100

1.1 หา R_{RTD} @ 300°C ตอบ 250 Ω

1.2 หา V_o @ 300°C



ตอบ $V_o = \frac{250}{500+250} \times 5$

$= 1.667$ V

2. Thermocouple Type K

หา V_{emf} @ 300°C

ตอบ 12.209 mV