

## Avoid conductor resistance error in thermistor of positive temperature coefficient

Reem Bittar\*

(Received 15 / 2 / 2017. Accepted 26 / 9 / 2017)

### □ ABSTRACT □

In the area of applicable engineering, almost every technical process involves the buildup of heat and the consumption of thermal energy so that temperature changes are unavoidable, hence the need of controlling temperature within each industrial sector depending on using of *thermistors* in their various kinds. This research studies thermistor with positive temperature coefficient PTC and especially which made of platinum which is in the category of thermal sensors.

PTC thermistor suffers from errors when measuring the temperature, the most important one is difference between practical values from the standard values of thermistor resistance because of conductor resistance that are used to connect the thermistor to the rest of the elements of the circuit. To avoid such errors, this research suggests design two circuits, the first one based on use of three connecting wires, while the other uses four wires to improve the thermal measurement accuracy. A practical section is made in several cases to register the characteristics of the thermal sensor, first one without considering conductor resistance, it has been benefits from the theoretical study to apply three-wire circuit and recording the characteristics of the thermal sensor, and finally recording the characteristics of the sensor by forming a four-wire circuit. At the end of the research, all results are compared to determine the optimum values of the thermistor parameters that contribute to raising the efficiency of its work when avoiding conductor resistance.

**Key words:** Sensor, temperature, thermal sensor, PTC, three-wire, four-wire, conductor resistance.

---

\* Academic Assistant - Department of Communication and Electronics - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, - Tishreen University – Lattakia – Syria.

## تجنب خطأ مقاومة ناقل التوصيل في الترمستور معامل حراري موجب

ريم بيطار•

(تاريخ الإيداع 15 / 2 / 2017. قُبِلَ للنشر في 26 / 9 / 2017)

### □ ملخص □

في مجال الهندسة التطبيقية تترافق كل تجربة تقنية مع ارتفاع درجة الحرارة الناجمة عن استهلاك الطاقة الحرارية، لذا لا يمكن تجنب التغيرات الحرارية، ومن هنا نشأت ضرورة تنظيم درجة الحرارة ضمن كل قطاع صناعي، ويتم ذلك بالاعتماد على استخدام الترمستورات (thermistors) بأنواعها المختلفة. نهتم في هذا البحث بدراسة ترمستور (thermistor) معامل حراري موجب PTC (positive temperature coefficient) مصنوع من البلاتين والذي يندرج ضمن فئة الحساسات الحرارية.

يعاني الترمستور PTC من أخطاء عند قياس الحرارة أهمها اختلاف القيم العملية لمقاومته عن القيم المعيارية، بسبب مقاومة ناقل التوصيل الذي يستخدم لربط الترمستور بباقي عناصر الدارة. يقترح هذا البحث تصميم دارتين لتجنب مثل هذه الأخطاء، تعتمد الدارة الأولى على استخدام ثلاثة أسلاك توصيل، في حين تستخدم الثانية أربعة أسلاك من أجل تحسين دقة القياس الحرارية. يتم دراسة إجراء تطبيق عملي لتسجيل خصائص الحساس الحراري في عدة حالات أولها دون الأخذ بالاعتبار مقاومة ناقل التوصيل، ومن ثم الاستفادة من الدراسة النظرية لتطبيق دارة سلك ثلاثي وتسجيل خصائص الحساس الحراري فيها، وأخيراً تسجيل خصائص الحساس بتشكيل دارة سلك رباعي. في نهاية البحث تتم مقارنة النتائج جميعها لتحديد القيم المثلى لبارومترات الترمستور التي تسهم في رفع كفاءة عمله عند تجنب أخطاء مقاومة ناقل التوصيل.

**الكلمات المفتاحية:** حساس، حرارة، الحساس الحراري، المعامل الحراري الموجب، سلك ثلاثي، سلك رباعي، مقاومة الموصلات.

## مقدمة:

يعتبر الحساس معامل حراري موجب PTC بمثابة منظم لدرجة الحرارة حيث يتكون من مقاومة مصنوعة من مواد نصف ناقلة تزداد قيمتها بارتفاع درجة الحرارة فتتسأ عن ذلك إشارة كهربائية تعمل على فتح أو قفل الدارات الكهربائية التي تتحكم في الحرارة أو البرودة، لذلك هو وسيلة للمحافظة على درجة حرارة الأجسام أو الحيز المراد التحكم في درجة حرارته آلياً.

يتضمن البحث دراسة نظرية عن طريقة عمل الترمستور PTC وكيفية تفاعله مع درجة حرارة الوسط المحيط بموقع القياس، إضافة إلى التعرف على المواد التي تدخل في تركيبه والتي تحدد المجال الحراري له. يتم إلقاء الضوء لاحقاً على أهم الأخطاء الشائعة عند قياس درجة الحرارة باستخدام الترمستور PTC، وتشمل هذه الأخطاء كل من خطأ التسخين الذاتي والخطأ الناتج عن مقاومة ناقل توصيل الترمستور بباقي عناصر الدارة التي يكون هو جزء منها.

## أهمية البحث وأهدافه:

يستخدم الحساس PTC كمنظم حراري بكثرة في المجال الصناعي، حيث يعتبر أحد أهم أجزاء دارات التحكم ودارات قياس الحرارة من أجل عمليات التسخين والتبريد، لكن الحساس المدروس لا يتمتع بدقة قياس عالية بسبب تأثير مقاومة ناقل التوصيل على نتائج قياس الحرارة، ويتوضح هذا التأثير في الحصول على قيم عملية غير صحيحة لمقاومة الترمستور الكهربائية تمثل أضعاف القيم المعيارية القياسية له.

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد كيفية توصيل الحساس PTC مع دارة القياس باستخدام ثلاثة أسلاك لتقليل خطأ الموصلات، ومن أجل تحسين فعالية الترمستور إلى أقصى حد تم دراسة استخدام أربعة أسلاك توصيل. يتم لاحقاً في سياق البحث إجراء دراسة عملية لتحديد القيم المثلى لبارومتري الترمستور اعتماداً على النتائج الحاصلة لرفع كفاءة الترمستور وتعديل تصميمه بما يتلاءم مع مجالات استخداماته التي تم ذكرها سابقاً.

## طرائق البحث ومواده:

### 1. الترمستور Pt-100:

يكون الترمستور Pt-100 عبارة عن ترمستور معامل حراري موجب PTC مصنوع من مادة البلاتين وقد تم تحديد القيمة الاسمية لمقاومة هذا الترمستور لتكون 100 ohm مع درجة انحراف قدرها  $\pm 0.1$  ohm عند درجة حرارة قدرها صفر درجة مئوية، ومنا هنا جاءت تسميته بالاسم Pt-100. تستغل خاصية اعتماد مقاومة الترمستور Pt-100 على درجة الحرارة في تقنية ضبط درجة الحرارة، حيث عند بدء عمل المنظومة الكهربائية تكون مقاومة الترمستور قليلة مما يسمح بمرور التيار الكهربائي عبره، لكن مع مرور التيار الكهربائي لبضع لحظات أخرى ترتفع درجة حرارة الترمستور فتزداد مقاومته بشكل كبير جداً مما يؤدي إلى منع مرور التيار الكهربائي فيه وإيقاف عمل المنظومة. يعتبر الترمستور Pt-100 من أشهر الحساسات الحرارية المستخدمة على نطاق واسع عالمياً لقياس درجات حرارة مرتفعة نظراً لانخفاض مقاومته الكهربائية التي تقدر من مرتبة الأوم. تعطى علاقة المقاومة بدلالة درجة الحرارة لهذا الحساس ضمن المجال الحراري  $^{\circ}\text{C}$  [-220, +850] بالعلاقة (1):

$$R_{\theta} = R_0 \cdot [1 + A \cdot (\theta - \theta_0) + B \cdot (\theta - \theta_0)^2] \quad (1)$$

$\theta$  - درجة الحرارة المقاسة مقدرة بالكلفن.

-  $R_{\theta}$  مقاومة الترمستور عند درجة الحرارة المقاسة.

-  $\theta_0$  درجة الحرارة المرجعية مقدرة بالكلفن وتكون  $\theta_0 = 273 \text{ K}$ .

-  $R_{\theta_0}$  مقاومة الترمستور عند درجة الحرارة المرجعية وتكون  $R_{\theta_0} = 100 \Omega$ .

-  $A, B$  ثوابت تتعلق بنوع المعدن واللبلاتين:  $A = 4.10^{-3} \text{ K}^{-1}$  ,  $B = -6.10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

من أجل مجال حراري  $0, +100$  °C يمكن تقريب العلاقة (1) إلى العلاقة (2):

$$R_{\theta} \approx R_0 [1 + \alpha (\theta - \theta_0)] \quad (2)$$

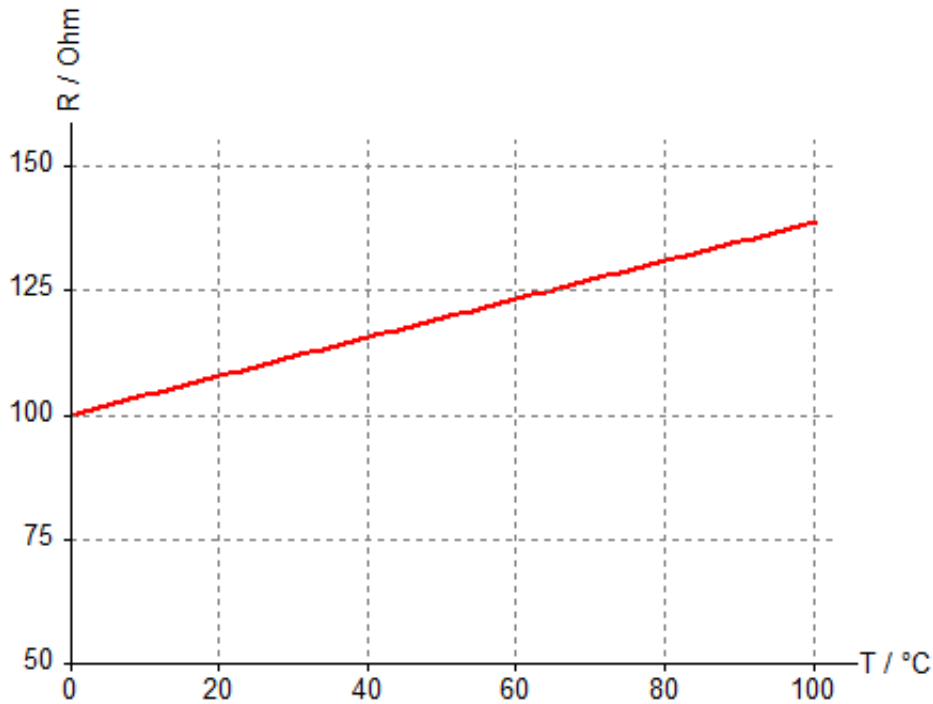
-  $\alpha$  هو المعامل الحراري المتوسط للثوابت  $A$  و  $B$ ، لللبلاتين  $\alpha = 3.85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

تم تلخيص نتائج العلاقة (2) في الجدول (1) الذي يبين درجات الحرارة وما يقابلها من القيم المعيارية للترمستور.

الجدول (1) القيم المثالية لمقاومة الترمستور Pt-100

°C	$\Omega$	°C	$\Omega$	°C	$\Omega$	°C	$\Omega$	°C	$\Omega$
0	100.00	20	107.79	40	115.54	60	123.24	80	130.89
1	100.38	21	108.18	41	115.93	61	123.62	81	131.27
2	100.78	22	108.57	42	116.31	62	124.01	82	131.66
3	101.17	23	108.96	43	116.70	63	124.39	83	132.04
4	101.56	24	109.35	44	117.08	64	124.77	84	132.42
5	101.95	25	109.73	45	117.47	65	125.16	85	132.80
6	102.34	26	110.12	46	117.85	66	125.54	86	133.18
7	102.73	27	110.51	47	118.24	67	125.92	87	133.56
8	103.12	28	110.90	48	118.62	68	126.31	88	133.94
9	103.51	29	111.28	49	119.01	69	126.69	89	134.32
10	103.90	30	111.67	50	119.40	70	127.07	90	134.70
11	104.29	31	112.06	51	119.78	71	127.45	91	135.08
12	104.68	32	112.45	52	120.16	72	127.84	92	135.46
13	105.07	33	112.83	53	120.55	73	128.22	93	135.84
14	105.46	34	113.22	54	120.93	74	128.60	94	136.22
15	105.85	35	113.61	55	121.32	75	128.98	95	136.60
16	106.24	36	113.99	56	121.70	76	129.37	96	136.98
17	106.63	37	114.38	57	122.09	77	129.75	97	137.36
18	107.02	38	114.77	58	122.47	78	130.13	98	137.74
19	107.40	39	115.15	59	122.86	79	130.51	99	138.12
20	107.79	40	115.54	60	123.24	80	130.89	100	138.50

يبين الشكل (1) المنحني المثالي لخصائص الترمستور Pt-100 والذي يتضمن نتائج الجدول (1):



الشكل (1) منحني الخصائص القياسي للترمسور Pt-100

تمت دراسة الحساس الحراري Pt-100 على مجال حراري أوسع يصل حتى  $850^{\circ}\text{C}$  وقد تم تحديد انحرافات كل من درجة الحرارة ومقاومة الترمستور ضمن الخطأ المسموح به أثناء عملية قياس الحرارة. تم تصنيف هذه الدراسة ضمن جدول سمي بالمعيار DIN 43760 كما يوضح الجدول (2) حيث ينقسم الترمستور إلى فئتين A و B.

الجدول (2) الأخطاء المسموح بها من أجل الترمستور Pt-100 وفقاً للمعيار DIN 43760

فئة B		فئة A		القيمة الأساسية $\Omega$	درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$
$\pm(0.3 + 0.005 \cdot  t )$ $\Omega$	$\pm(0.3 + 0.005 \cdot  t )$ $^{\circ}\text{C}$	$\pm(0.15 + 0.002 \cdot  t )$ $\Omega$	$\pm(0.15 + 0.002 \cdot  t )$ $^{\circ}\text{C}$		
$\pm 0,3$	$\pm 0.12$	$\pm 0.06$	$\pm 0.15$	100.00	0
$\pm 0,8$	$\pm 0.30$	$\pm 0.13$	$\pm 0.35$	138.50	100
$\pm 1,3$	$\pm 0.48$	$\pm 0.20$	$\pm 0.55$	175.84	200
$\pm 1,8$	$\pm 0.64$	$\pm 0.27$	$\pm 0.75$	212.02	300
$\pm 2.3$	$\pm 0.79$	$\pm 0.33$	$\pm 0.95$	247.04	400
$\pm 2.8$	$\pm 0.93$	$\pm 0.38$	$\pm 1.15$	280.90	500
$\pm 3.3$	$\pm 1.06$	$\pm 0.43$	$\pm 1.35$	313.59	600
$\pm 3.8$	$\pm 1.17$	–	–	345.13	700
$\pm 4.6$	$\pm 1.34$	–	–	390.26	850

## 2. تصميم الترمستور معامل حراري موجب:

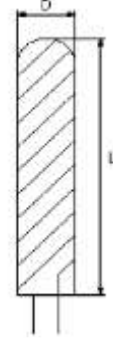
يتم تصنيع الترمستور PTC باستخدام أسلاك ثخينة مما يجعلها أكثر مقاومة للتآكل والضغط الميكانيكي، حيث يتم ملف سلك حول نواة أسطوانية. يجب أن تتمتع مادة النواة بخصائص عزل جيدة وأن تكون مقاومة لدرجات الحرارة العالية ومحصنة جيداً ضد الصدمات، كما ينبغي أن تتميز بحرارة نوعية منخفضة نسبياً وموصلية حرارية عالية.



$$D = 1.0 \dots 5.0 \text{ mm}$$

$$L = 7 \dots 35 \text{ mm}$$

- ب -



$$D = 1.0 \dots 5.0 \text{ mm}$$

$$L = 7 \dots 60 \text{ mm}$$

- أ -

الشكل (2) حساس Pt-100

- أ- حساس مصنوع من الزجاج

- ب- حساس مصنوع من الخزف

تحدد مادة النواة درجة الحرارة العظمى التي يستخدم الترمستور من أجلها، قد تستخدم مادة الميكا من أجل درجة حرارة تصل حتى  $350^{\circ}\text{C}$ ، أو مادة الزجاج من أجل درجة حرارة تقارب  $400^{\circ}\text{C}$ ، أو مادة الخزف من أجل درجة حرارة حوالي  $500^{\circ}\text{C}$ ، كما يمكن استخدام مزيج من البلاتين والخزف من أجل درجة حرارة عظمى تصل حتى  $850^{\circ}\text{C}$ .

## 3. التسخين الذاتي:

من المزايا التي يتمتع بها الترمستور Pt-100 أن له استقرار كبير على المدى الطويل، ومع ذلك ينبغي تقليل الخطأ الناتج عن ارتفاع درجة حرارة المكونات نفسها إلى الحدود الدنيا. عند تغذية ترمستور Pt-100 بمقاومته  $R_{\theta}$  بتيار ثابت القيمة  $I_{const}$ ، يؤدي مرور التيار خلال مقاومة الترمستور إلى تسخينها بمعدل متناسب مع القيمة  $R_{\theta} * I_{const}^2$ ، وبالتالي تتغير قيمة المقاومة نفسها بغض النظر عن درجة الحرارة المقاسة، لذلك يجب أن تؤخذ هذه الزيادة بعين الاعتبار عند تقييم نتائج قياس الحرارة. يمكن تقليل خطأ التسخين الذاتي إما باستخدام تيار أصغر أو تكبير سطح الحساس من أجل نقل جيد للحرارة. يجب مراعاة أن استخدام تيار منخفض جداً لا يعطي قياس دقيق لمقاومة الترمستور، عادةً ما يكون الحد الأقصى للتيار من أجل حساس Pt-100 بحدود حوالي  $10 \text{ mA}$ ، وإذا كان من الممكن خفض التيار إلى  $1 \text{ mA}$  (بمساعدة تقنيات القياس الحساسة) يتم تقليل خطأ التسخين الذاتي بمعامل 100 مرة مما يجعل هذا الخطأ صغيراً إلى حد لا يكاد يذكر.

#### 4. علاقة مقاومة الترمستور بالمقاومة الأومية لناقل التوصيل:

من أجل تحديد قيم مقاومة الترمستور  $R_{\theta}$  عند درجات حرارة مختلفة تتم تغذية الترمستور بمنبع تيار ثابت  $I_{const}$  وباستخدام مقياس جهد يقاس الجهد  $U$  على طرفي الترمستور بعد تضخيمه بريح  $Gain$  ومن خلال قانون أوم كما في المعادلة (3) نحسب المقاومة الكهربائية للترمستور:

$$R_{\theta} = \frac{U}{Gain * I_{const}} \quad (3)$$

كما نلاحظ من الشكل (3) أنه قد تم ربط منبع التيار مع الترمستور باستخدام سلكي توصيل لهما مقاومة أومية  $R_L$  غير مهملة مقارنة مع مقاومة الترمستور، وباعتبار أن مقياس الجهد ذو مقاومة عالية جداً فيهمل هبوط الجهد عبر الأسلاك الموصولة به، لذلك ينشأ خطأ في الجهد المقاس كما توضح العلاقة:

$$U = U_{\theta} + 2 * I_{const} * R_L \quad (4)$$

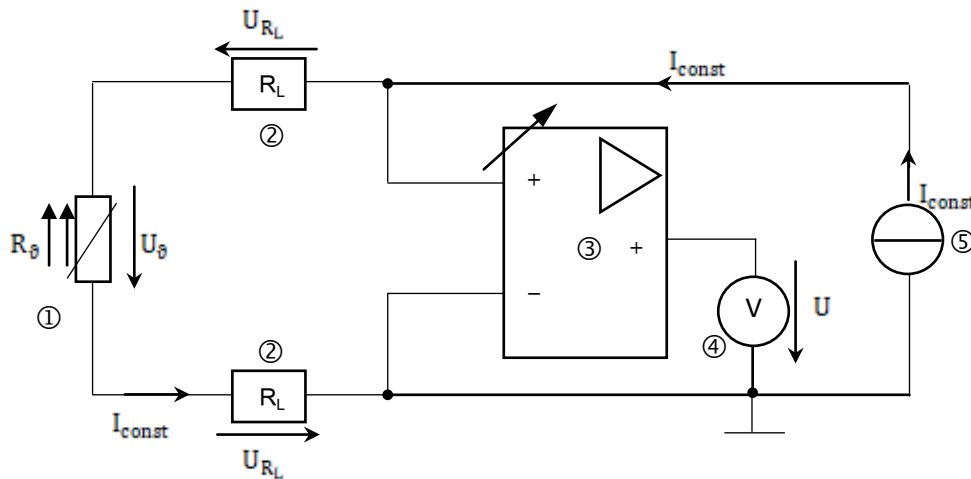
حيث:

-  $U$  الجهد المضخم المقاس باستخدام مقياس الجهد.

-  $U_{\theta}$  جهد الترمستور.

-  $I_{const}$  منبع التيار الثابت.

-  $R_L$  مقاومة الموصلات.



الشكل (3) دائرة قياس مقاومة الترمستور Pt-100

① مقاومة الترمستور وهبوط الجهد عليه

② مقاومة أسلاك التوصيل

③ مضخم

④ مقياس جهد

⑤ منبع تيار ثابت

من العلاقة (4) نجد أن الجهد المقاس أكبر من جهد الترمستور بالقيمة  $2 * I_{const} * R_L$  بسبب مقاومة أسلاك التوصيل غير المهملة مما يسبب خطأ في حساب مقاومة الترمستور حسب العلاقة (3) عن ما هو موجود في الجدول (1).

### 5. دارات القياس لتقليل تأثير مقاومة ناقل التوصيل على قياس درجة الحرارة:

يمكن تقليل الخطأ الناتج عن مقاومة الموصلات في حساب مقاومة الترمستور Pt-100 باستخدام أسلاك توصيل إضافية لربط مقياس الجهد مع الترمستور، ومن أجل هذه الغاية تم اقتراح نوعين من دارات القياس. تستخدم الدارة الأولى سلك ثالث إضافي لتوصيل مقياس الجهد مع الترمستور كما يبين الشكل (4) مما يقلل خطأ الجهد المقاس عن الذي حصلنا عليه في العلاقة (4)، حيث يعطى الجهد المقاس في هذه التوصيلة بالعلاقة (5):

$$U = U_{\theta} + I_{const} * R_L \quad (5)$$

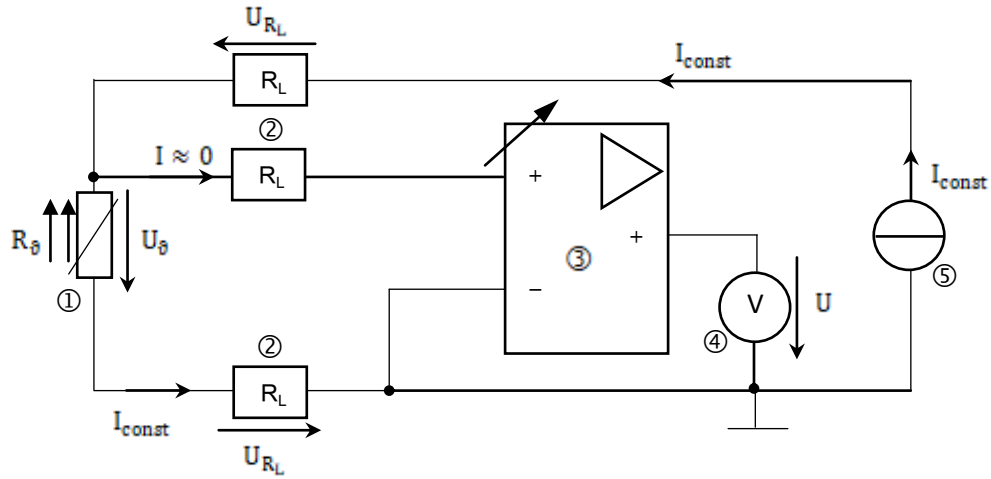
حيث:

-  $U$  الجهد المضخم المقاس باستخدام مقياس الجهد.

-  $U_{\theta}$  جهد الترمستور

-  $I_{const}$  منبع التيار الثابت

-  $R_L$  مقاومة الموصلات



الشكل (4) دائرة قياس مقاومة الترمستور Pt-100 باستخدام ثلاثة أسلاك

① مقاومة الحساس الحراري وهبوط الجهد عليه

② مقاومة أسلاك التوصيل

③ مضخم

④ مقياس جهد

⑤ منبع تيار ثابت

يكون الجهد المقاس وفق العلاقة (5) خاطئاً بالمقدار  $I_{const} * R_L$  وهو خطأ أقل من الخطأ في العلاقة (4). كما يمكن الحصول على قياسات أكثر دقة للجهد باستخدام سلكي توصيل إضافيين لتوصيل الحساس الحراري مع مقياس الجهد عبر المضخم فنتشكل دائرة قياس بأربعة أسلاك كما يوضح الشكل (5)، في هذه الحالة يقاس هبوط الجهد مباشرة على طرفي الترمستور كما توضح العلاقة (6):

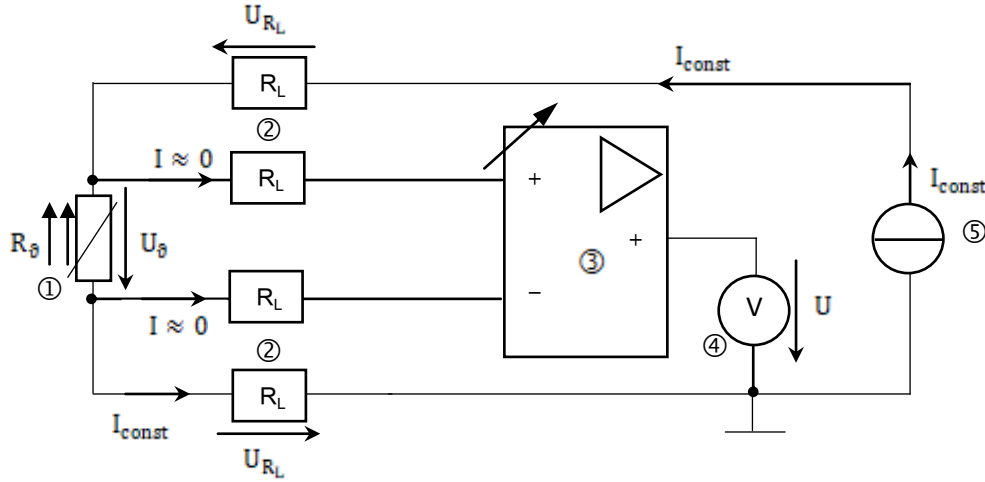
$$U = U_{\theta} \quad (6)$$



حيث:

$U$  - الجهد المضخم المقاس باستخدام مقياس الجهد.

$U_{\theta}$  - جهد الترمستور



الشكل (5) دائرة قياس مقاومة الترمستور Pt-100 باستخدام أربعة أسلاك

① مقاومة الحساس الحراري وهبوط الجهد عليه

② مقاومة أسلاك التوصيل

③ مضخم

④ مقياس جهد

⑤ منبع تيار ثابت

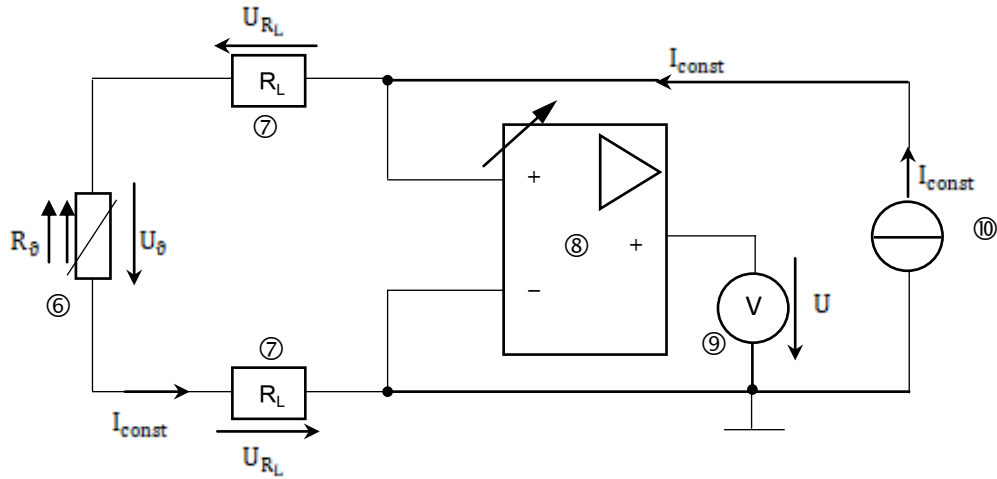
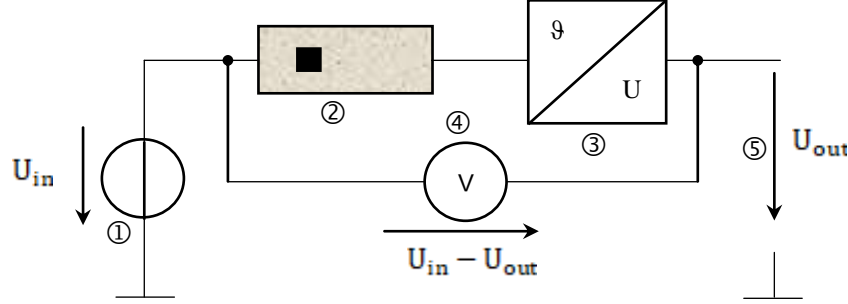
كما نجد من العلاقة (6) أنه باستخدام أربعة أسلاك لتوصيل الترمستور قد تم إلغاء مقاومة الموصلات كلياً على الجهد المقاس مقارنة مع العلاقة (4) والعلاقة (5).

### النتائج والمناقشة:

تم الاستعانة بتجهيزات LUCAS-NÜLLE ضمن مخبر القياسات وأجهزة القياس للمساعدة في تركيب دائرة الترمستور معامل حراري موجب Pt-100 بثلاث تشكيلات والتي سيتم توضيح عناصرها تالياً، واستفدنا من وحدة إدخال/إخراج لربط الدارات ببرنامج محاكاة مثبت على الحاسب المتصل بالوحدة البينية لتحصيل المعطيات ورسم المخططات البيانية لخصائص الترمستور المدروس في جميع الحالات. تم تشكيل دائرة الترمستور الأولى دون إهمال مقاومة ناقل التوصيل على الشكل التالي: يتصل الترمستور Pt-100 ⑥ بصفيحة تسخين حرارية ② يتم ضبط درجة حرارتها من خلال تغذيتها بجهد مستمر ① فيقدح ترانزستور الذي يعمل كمبدد طاقة يكافئ عنصر التسخين، وتزداد درجة حرارة الصفيحة المعدنية بمعدل  $10\text{ }^{\circ}\text{C/volt}$ . يعطي الحساس الحراري LM35 ③ على خرجه جهد متناسب مع درجة الحرارة بمعدل  $10\text{ mv}/^{\circ}\text{C}$ ، تغذى إشارة الخرج بواسطة حلقة تغذية عكسية عبر مقياس جهد ④ لقياس فرق الجهد بين جهد الدخل وجهد الخرج ⑤، فإذا كان فرق الجهد صفر؛ يفصل الحساس الحراري LM35 التغذية عن سلك التسخين من أجل إيقاف عملية التسخين.

في هذه الحالة تتغير حرارة الترمستور Pt-100 وبالتالي تتغير مقاومته الكهربائية، وعند تغذية الترمستور بتيار مستمر ثابت القيمة ⑩ يتم قياس الجهد ⑨ بعد تضخيمه بمضخم ⑧، وعلى اعتبار أن مقاومة أسلاك التوصيل ⑦ غير مهمة يعطى الجهد المقاس وفق العلاقة (4).

بعد تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (6) عملياً وبتطبيق كل من العلاقة (3) والعلاقة (4)، تم ترتيب النتائج في



الشكل (6) دائرة الترمستور Pt-100 باعتبار مقاومة الموصلات غير مهمة

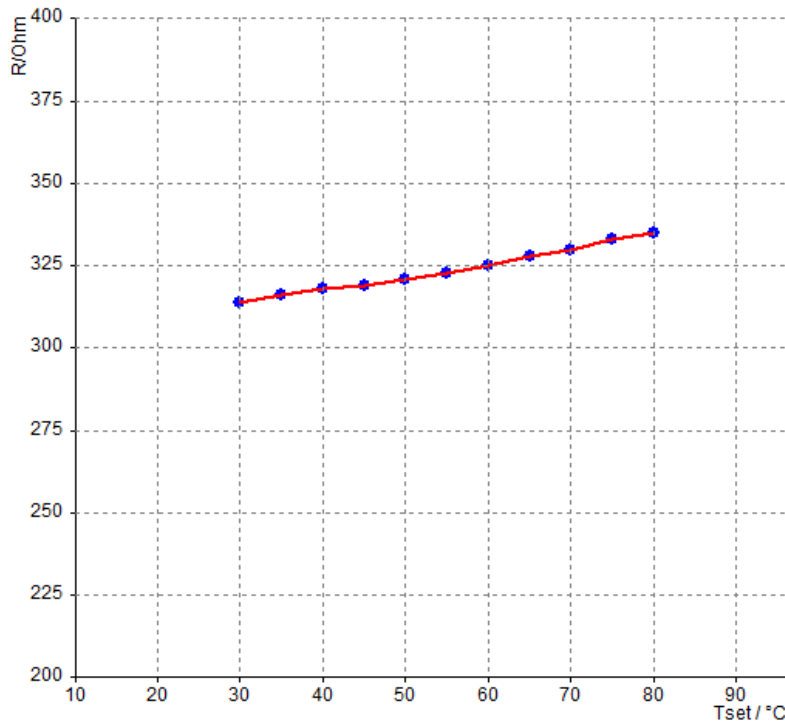
- ① جهد التغذية لمدح الترانزستور
- ② الصفيحة الحرارية
- ③ الحساس الحراري LM35 (مبدل من حرارة إلى جهد)
- ④ حلقة تغذية عكسية لقياس الفرق بين جهدي الدخل والخرج
- ⑤ جهد خرج المبدل من حرارة إلى جهد
- ⑥ مقاومة الحساس الحراري وهبوط الجهد عليه
- ⑦ مقاومة أسلاك التوصيل
- ⑧ مضخم
- ⑨ مقياس جهد
- ⑩ منبع تيار ثابت

الجدول (3) والتي تكون بقيم خاطئة مقارنة مع القيم المثالية الموضحة في الجدول (1) بسبب مقاومة الموصلات التي أثرت بشكل واضح على الجهد المقاس بعد عملية التضخيم.

الجدول (3) خصائص الترمستور Pt-100 باعتبار مقاومة الأسلاك غير مهمة

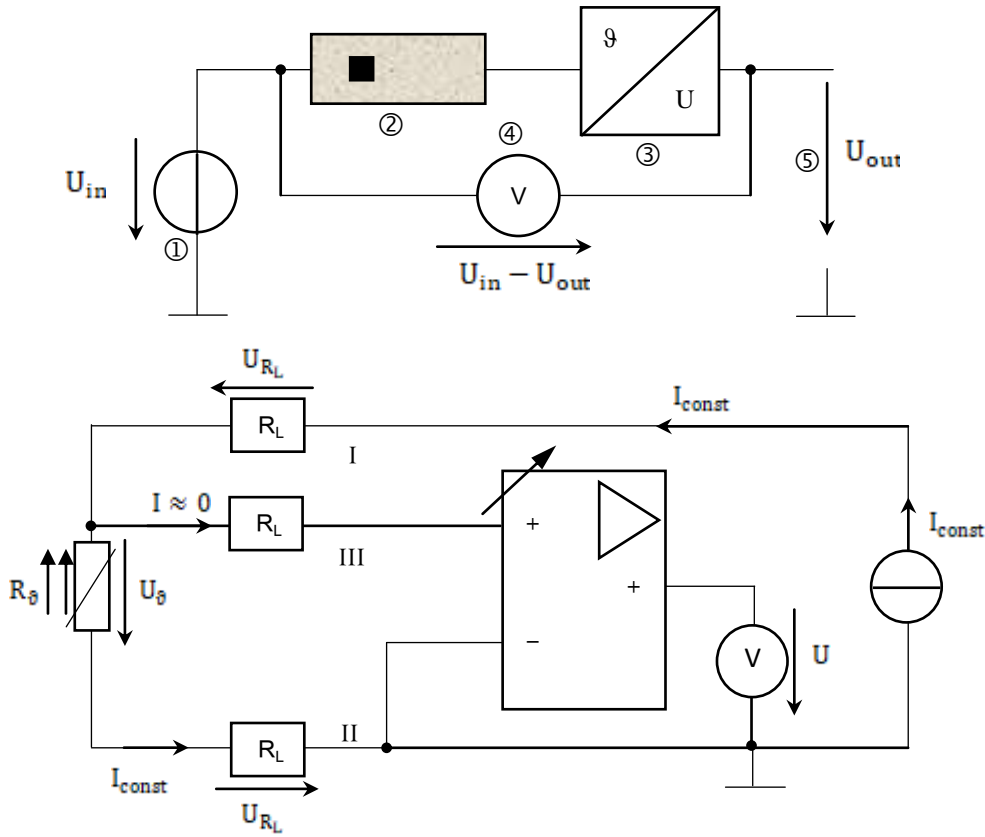
$U_{in}/v$	$T_{set}/^{\circ}C$	Gain	$U_a/v$	$R_g/\Omega$
8.0	80	1	0.335	335.0
7.5	75	1	0.333	333.0
7.0	70	1	0.330	330.0
6.5	65	1	0.328	328.0
6.0	60	1	0.325	325.0
5.5	55	1	0.323	323.0
5.0	50	1	0.321	321.0
4.5	45	1	0.319	319.0
4.0	40	1	0.318	318.0
3.5	35	1	0.316	316.0
3.0	30	1	0.314	314.0

تم تلخيص نتائج الجدول (3) لرسم المنحني البياني لخصائص الترمستور Pt-100 في حال عدم إهمال مقاومة الموصلات كما يظهر الشكل (7).



الشكل (7) منحني خصائص الترمستور Pt-100 باعتبار مقاومة الموصلات غير مهمة

يمكن تقليل الخطأ الناتج عن مقاومة أسلاك التوصيل في الدارة السابقة بتشكيل دارة ذات سلك ثالث (III) إضافي مع سلكي التوصيل الأساسيين (I) و (II) كما يبين الشكل (8).  
يوضع الترمستور PTC على صفيحة تسخين حرارية يتم التحكم بدرجة حرارتها من خلال تغذيتها بجهد مستمر فيقدح ترانزستور (عنصر التسخين) وتزداد درجة حرارة الصفيحة المعدنية بمعدل  $10\text{ }^{\circ}\text{C/volt}$ .  
يعطي الحساس الحراري LM35 على خرجه جهد متناسب مع درجة الحرارة بمعدل  $10\text{ mv/}^{\circ}\text{C}$ ، وتغذى إشارة الخرج بواسطة حلقة تغذية عكسية عبر مقياس جهد لقياس فرق الجهد بين جهد الدخل وجهد الخرج، إذا كان فرق الجهد صفراً؛ هذا يعني أنه صفيحة التسخين قد وصلت إلى الحرارة المضبوطة مسبقاً، وعندها يفصل الحساس الحراري LM35 التغذية عن سلك التسخين من أجل إيقاف عملية التسخين. في هذه الحالة تتغير حرارة الترمستور Pt-100 ومقاومته أيضاً، بتغذية الترمستور بتيار مستمر يتم قياس الجهد بعد تضخيمه الذي يستخدم في العلاقة (5).  
بعد تنفيذ الدارة المبينة في الشكل (8) عملياً وتطبيق كل من العلاقة (3) والعلاقة (5)، تم ترتيب النتائج في



الشكل (8) دارة الترمستور Pt-100 بتوصيلة ثلاثة أسلاك

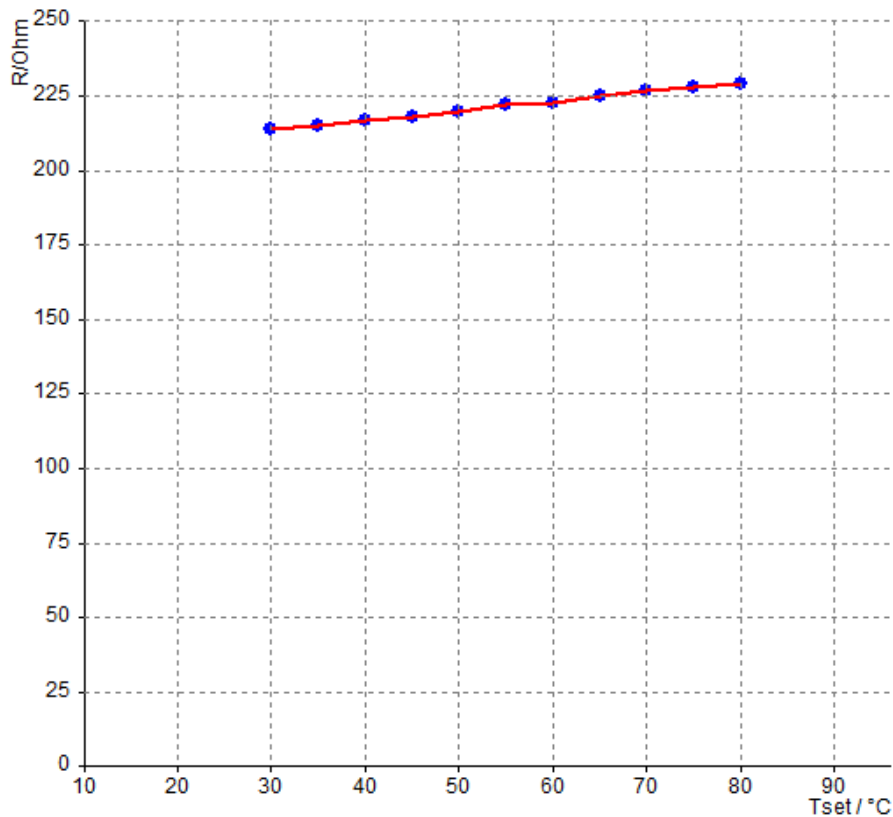
- ① جهد التغذية لقدح الترانزستور
- ② الصفيحة الحرارية
- ③ الحساس الحراري LM35 (مبدل من حرارة إلى جهد)
- ④ حلقة تغذية عكسية لقياس الفرق بين جهدي الدخل والخرج
- ⑤ جهد خرج المبدل من حرارة إلى جهد

الجدول (4) والتي تكون بقيم خاطئة مقارنة مع القيم المثالية الموضحة في الجدول (1).  
الجدول (4) خصائص الترمستور Pt-100 بتوصيلة دارة سلك ثلاثي

$U_{in}/v$	$T_{set}/^{\circ}C$	Gain	$U_a/v$	$R_p/\Omega$
8.0	80	1	0.229	229.0
7.5	75	1	0.228	228.0
7.0	70	1	0.227	227.0
6.5	65	1	0.225	225.0
6.0	60	1	0.223	223.0
5.5	55	1	0.222	222.0
5.0	50	1	0.220	220.0
4.5	45	1	0.218	218.0
4.0	40	1	0.217	217.0
3.5	35	1	0.215	215.0
3.0	30	1	0.214	214.0

تم تلخيص نتائج الجدول (4) لرسم المنحني البياني لخصائص الترمستور Pt-100 في توصيلة السلك

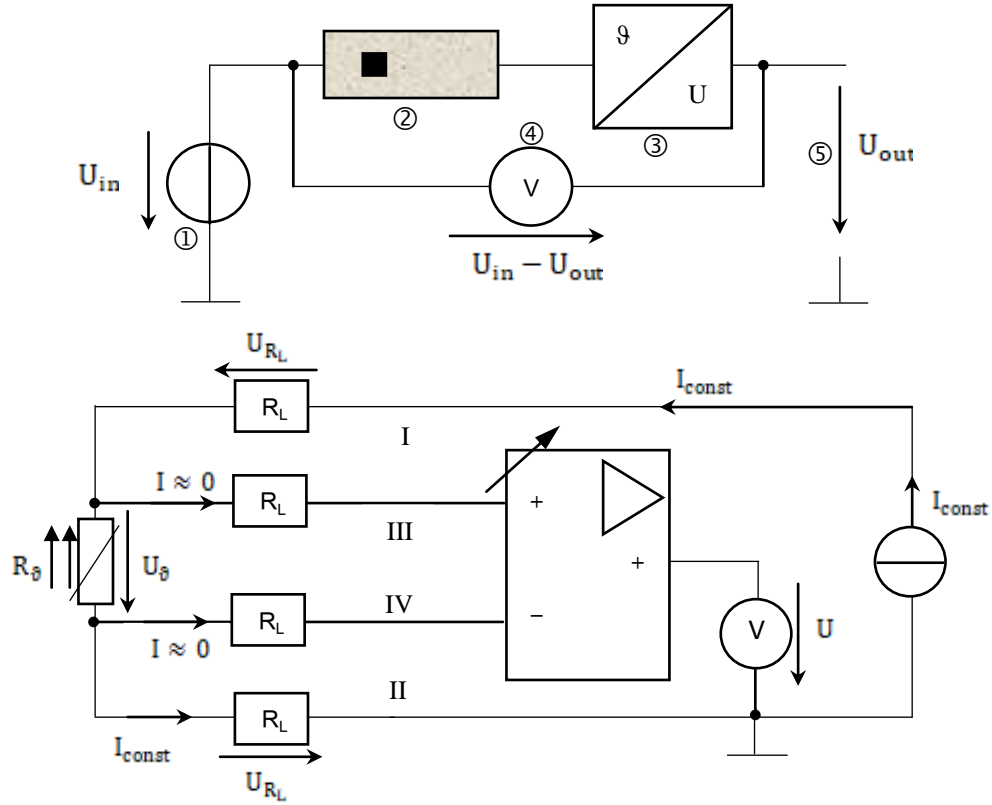
الثلاثي.



الشكل (9) منحني خصائص الترمستور Pt-100 بتوصيلة دارة سلك ثلاثي

واقترحنا النهائي يكون بإضافة سلكي توصيل ثالث (III) ورابع (IV) من أجل ربط الترمستور مع المضخم لقياس الجهد إضافة إلى السلكين الأساسيين (I) و (II) لإلغاء مقاومة الموصلات نهائياً من علاقة الجهد المقاس عند درجات حرارة مختلفة.

في هذه الحالة تتغير حرارة الترمستور بتطبيق جهد دخل مستمر على صفيحة التسخين، بالتالي تتغير مقاومة الترمستور الكهربائية. تتم تغذية الحساس الحراري بتيار مستمر ثابت القيمة، ويقاس الجهد بعد تضخيمه بمضخم على اعتبار أن مقاومة أسلاك التوصيل غير مهمة.



الشكل (10) دائرة الترمستور Pt-100 بتوصيلة أربعة أسلاك

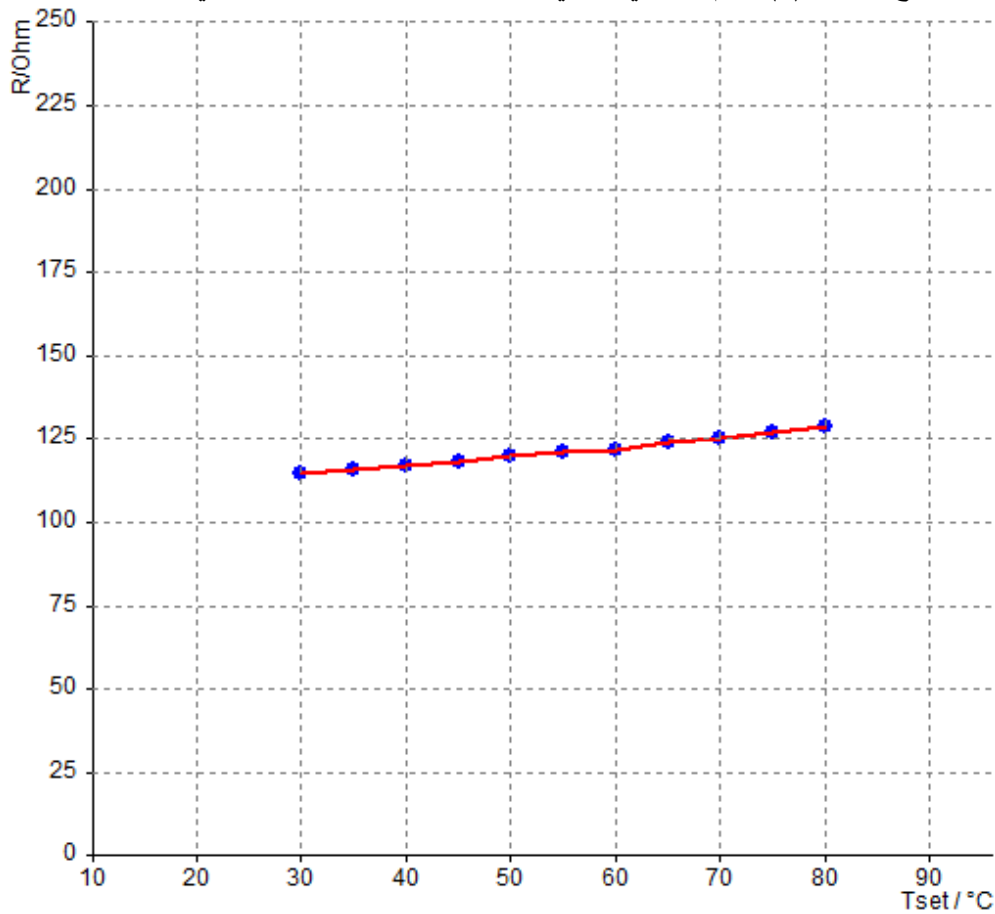
- ① جهد التغذية لمدح الترانزستور
- ② الصفيحة الحرارية
- ③ الحساس الحراري LM35 (مبدل من حرارة إلى جهد)
- ④ حلقة تغذية عكسية لقياس الفرق بين جهدي الدخل والخرج
- ⑤ جهد خرج المبدل من حرارة إلى جهد

بعد تطبيق الدارة المبينة في الشكل (10) عملياً يتم حساب القيم الناتجة في هذه الدارة وفق العلاقة (3) والعلاقة (6) وترتيبها في الجدول (5) وتكون النتائج قريبة إلى حد كبير من القيم القياسية الموضحة في الجدول (1) بسبب إلغاء مقاومة الموصلات.

الجدول (5) خصائص الترمستور Pt-100 بتوصيلة دارة سلك رباعي

$U_{in}/v$	$T_{set}/^{\circ}C$	Gain	$U_a/v$	$R_{\theta}/\Omega$
8.0	80	1	0.129	129.0
7.5	75	1	0.127	127.0
7.0	70	1	0.125	125.0
6.5	65	1	0.124	124.0
6.0	60	1	0.122	122.0
5.5	55	1	0.121	121.0
5.0	50	1	0.120	120.0
4.5	45	1	0.118	118.0
4.0	40	1	0.117	117.0
3.5	35	1	0.116	116.0
3.0	30	1	0.115	115.0

تم تلخيص نتائج الجدول (5) لرسم المنحني البياني لخصائص الترمستور Pt-100 في توصيلة سلك رباعي.



الشكل (11) منحني خصائص الترمستور Pt-100 بتوصيلة دارة سلك رباعي

### الاستنتاجات والتوصيات:

تم التوصل من خلال هذا البحث إلى نتائج تساعد في التخلص من خطأ مقاومة ناقل توصيل الترمستور المدروس Pt-100 بعد التأكد من أنه خطأ لا بد من معالجته لأنه يعيق التوصل إلى نتائج مرضية في القياسات الحرارية، والاستفادة من استخدام أربعة أسلاك عند تصميم وصناعة الحساسات الحرارية بهدف تحسين فعاليتها، وبهدف التغلب على أخطاء قياس مقاومة الترمستور عند درجات الحرارة المختلفة والتي تنتج عن أخطاء قياس الجهد على طرفي الترمستور بعد عملية التضخيم.

بناءً على الجدول (3) نجد أن قيم مقاومة الترمستور أكبر بحوالي ثلاثة مرات من القيم المعيارية في الجدول (1) بسبب دخول مقاومة ناقل التوصيل في الحساب. بعد اقتراح الدارة المبينة في الشكل (4) التي تستخدم سلك ثالث إضافي لتقليل خطأ الموصلات، وجدنا بملاحظة النتائج في الجدول (4) أن قيم مقاومة الترمستور أقل من القيم في الجدول (3) لكنها تبقى أكبر بحوالي الضعف عن القيم المعيارية في الجدول (1). من أجل الاقتراب من الحالة المثالية قدر الإمكان تم اقتراح دارة تستخدم أربعة أسلاك كما في الشكل (6) لإلغاء خطأ مقاومة الموصلات نهائياً، في هذه الدارة نجد أن قيم مقاومة الترمستور تماثل القيم المعيارية الموضحة في الجدول (1) بنسبة مائة بالمائة تقريباً من أجل درجات الحرارة نفسها بنسبة خطأ لا تتجاوز  $\pm 1\%$ . بملاحظة المنحنيات الثلاثة في كل من الأشكال (7) و (9) و (11) نجد أن جميعها هي منحنيات خطية لخصائص الترمستور Pt-100 وفق العلاقة (3)، لكن بالمقارنة نجد أن المنحني المبين في الشكل (11) هو المنحني الأقرب إلى المنحني المثالي لخصائص الترمستور الموضح في الشكل (1).

### المراجع:

- [1] دم. زياد هرموش؛ دم. جعفر الخير الحساسات ومحولات القياس،، جامعة تشرين، سوريا، 2009، ص131-138 ص344-354.
- [2] دم. جعفر الخير؛ دم. زياد هرموش نظم القياسات الالكترونية،، جامعة تشرين، سوريا، 2010، ص268-272.
- [3] دم. جعفر الخير؛ م. وسيم أحمد الحساسات ومحولات القياس،، جامعة تشرين، سوريا، 2014، ص68-88.
- [4] دم. هيثم أسمر دراسة في الحساب الأمثل للمبادلات الحرارية في الأنظمة الحرارية، مجلة بحوث جامعة تشرين، العدد الثالث، 2016، ص11-28.
- [5] BAKER, H.D.; M.E. RYDER *Temperature Measurement in Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., NY, 1953, pp. 560-570.
- [6] T.D. MCGEE *Principles and Methods of Temperature Measurement*, A Wiley-Intercedence Publication, NY, 1988, pp. 725-780.