

- **Електронни схеми за измерване и управление**

- **Измерване и регулиране на температура**

ITS-90 International Temperature Scale of 1990 – описва най-разпространените сензори

- Принцип на работа на **често използвани сензори**, обхват, самонагриване:
 - Класически, с обемно (линейно) разширение, скали °C, °K, °F;
Обикновено са неелектрически, включват и регулиране – ютии, бойлери...
 - Полупроводникови, използване на дискретни елементи;
Напрежение на p-n преход (**-2,2mV/°C**) или обратен ток, рядко и В (h_{21});
 - **Термодвойки** – единствените които дават енергия и са източници на напрежение.
„Компенсация на студения край“;
 - Термо-съпротивления от чисти метали - платина, никел, мед и др.
 - Термистори – полупроводникови резистори;
 - Други – оптически (термохромни и фотохромни), дистанционно измерване, спектрални (космос).

Електронни устройства за измерване и управление

- Съвременни **електронни** сензори;

Интегрирани или интелигентни. Обикновено сензорът не се обявява. Коментар;

Видове според интерфейса или изходния сигнал, код, брой импулси, PWM;

“Всички” са на базата на полупроводниковите сензори – по-тесен **обхват**;

Измерват температурата на корпуса си – на печатната платка, **избор на място**;

Микроконтролери вградени термо-сензори – не особено прецизни;

Някои са предназначени за работа с **външни сензори**, най-често за термодвойки, RTD и др. със стандартизирани характеристики.

Има универсални интелигентни преобразуватели, например AD7730. Използва се за измерване не само за температура, а и на други величини, параметри, PDF;

Консумация. Грешка от самонагриване – **всеки сензор който консумира енергия се нагрива**. Обикновено се допуска самонагриване до 0,1°C.

Примери на съвременни термо-сензори:

SMT172 на Smartec, точност 0,1±0,2 °C в обхват -45°C до 130°C, PWM изход;

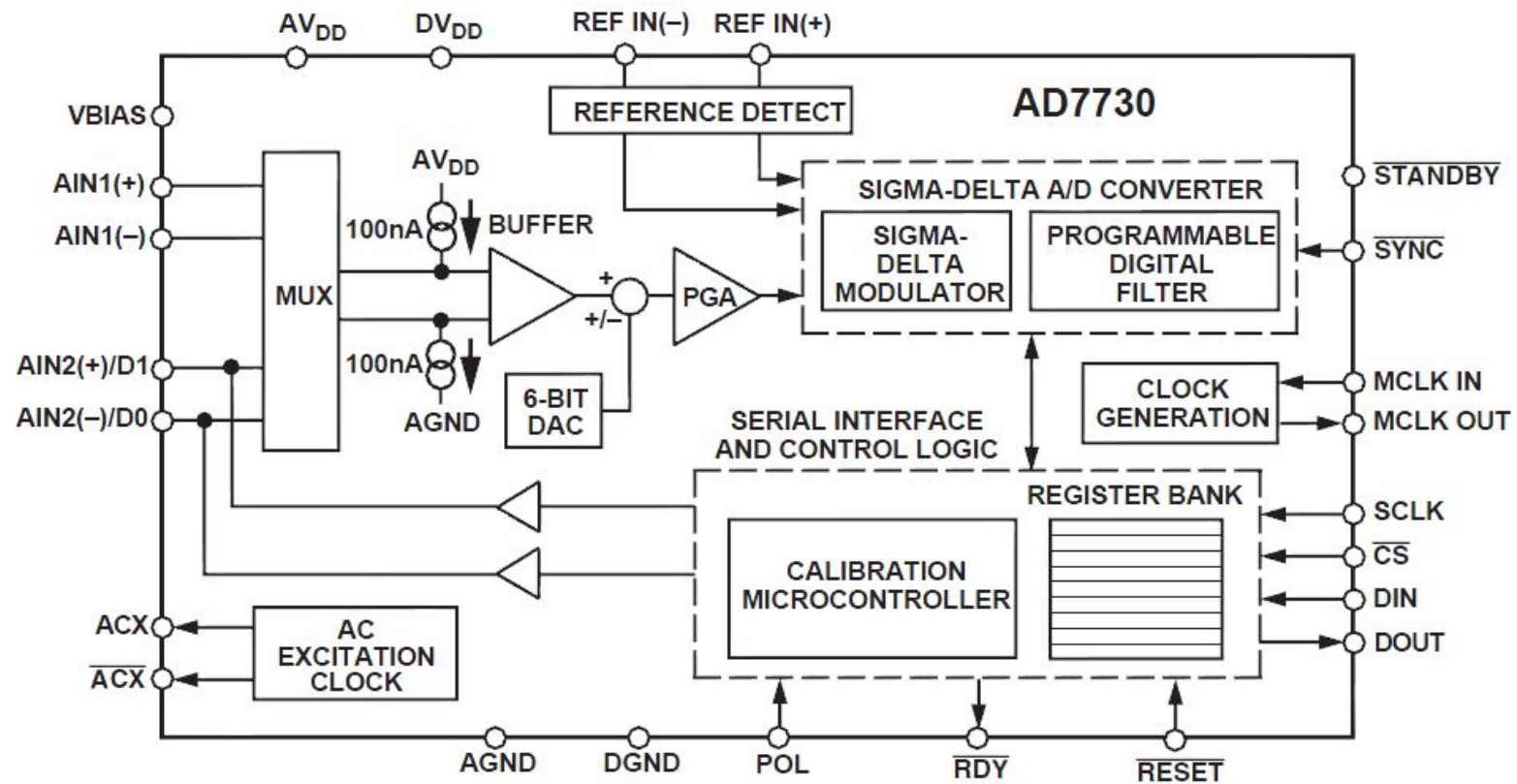
DS18B22 **1-Wire** Digital Thermometer, всъщност 2 или 3-проводен интерфейс;

TMP117 = I2C съвместим интерфейс, TMP126 – SPI.

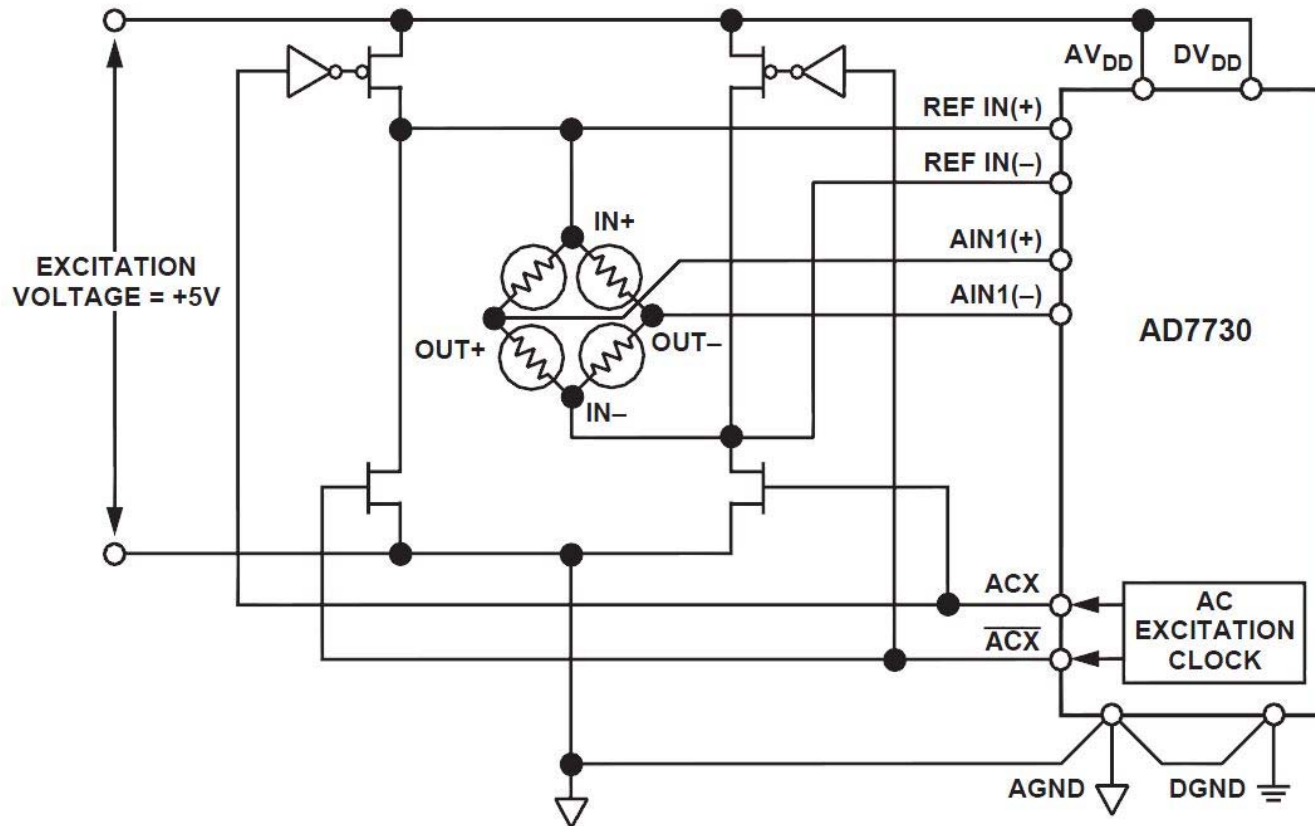
Електронни устройства за измерване и управление

- Съвременни електронни сензори;

AD7730 – интелигентен „сензор“, принцип на работа;



Електронни устройства за измерване и управление



Към AD7730 е свързана мостова схема. Мостът е за измерване на различни величини с резистивни сензори. За компенсиране на **офсета** се променя поляритетът на захранването на моста (с ниска честота). Пример за интелигентен измерител с външен сензор.

Електронни устройства за измерване и управление

- **Полупроводникови сензори за измерване на температура**

Широко приложение, **но рядко в индустрията**;

Основни параметри – **обхват**, **чувствителност, точност, линейност**;

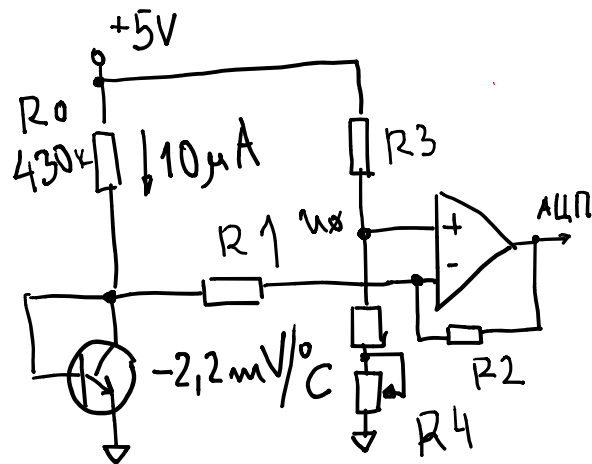
Ако за измерване на температура (**непрецизно приложение**) се ползва **p-n преход** на дискретен прибор, се препоръчва да не се ползва обратният ток или коефициентът на усилване по ток, а напрежението на прехода $U_{ак}$. Най-добре е това да е транзистор в диодно свързване (**защо**), като напрежението $U_{бе}$ има чувствителност $-2,2mV/°C$, т.е. с увеличаване на температурата, напрежението намалява.

Повечето полупроводникови сензори за измерване на температура са генератори на напрежение, т.е. с напрежителен изход. Има и с токов изход.

Електронни устройства за измерване и управление

- Полупроводникови сензори, **пример за изчисляване:**

Начални данни:



- сензорът е p-n преход, **-2,2mV /°C**
- падът върху диода е **550mV при 0°C**
- обхват от **-40 до +60°C (Δ100°)**
- **10-битов** АЦП (10 разряда)
- разрешаваща способност **~ 0,1°C**

Ако опорното напрежение на АЦП е 5V при 10-битов АЦП, ще имаме 1024 нива, т.е. около 5mV LSB.

Ако сигналът не се усили, а мери директно, разрешаващата способност на измерването (стъпката) ще бъде $5/2,2 \sim 2,3^\circ\text{C}$, което е значително по-малко от зададеното. Тъй като температурният коефициент е отрицателен, подходяща е схема на инвертиращ усилвател. Така скалата „ще се обърне“ и когато температурата се увеличава и изходното напрежение (към АЦП) ще нараства.

Електронни устройства за измерване и управление

- Полупроводникови сензори, **пример за изчисляване:**

Максималната разрешаваща способност на измерването ще се получи, когато изменението на напрежението на сензора от -40 до 60 (100°C) доведе до изменение на входа на АЦП от 0 до U_{ref} (целия обхват 5V). Напрежението на транзистора, при промяна на температурата със 100°C се променя с 220mV . Усилвателят трябва да усилва около $5000\text{mV}/(220\text{mV}) = 22,7$. С малко запас, заради толеранса на елементите, за да не се излиза извън обхвата, се приема усилване 22 . Отношението $R2/R1$ е 22 . **Как се определят стойностите на $R2$ и $R1$?**

Отместването U_0 се определя като се има предвид, че в средата на обхвата (10°C) напрежението на входа на АЦП трябва също да е в средата – 2500mV . Изчислението може да се направи и с краищата на обхвата (-40 или 60°C). Резултатът трябва да е един и същ.

От получената стойност за U_0 се изчислява отношението $R3/R4$.

Електронни устройства за измерване и управление

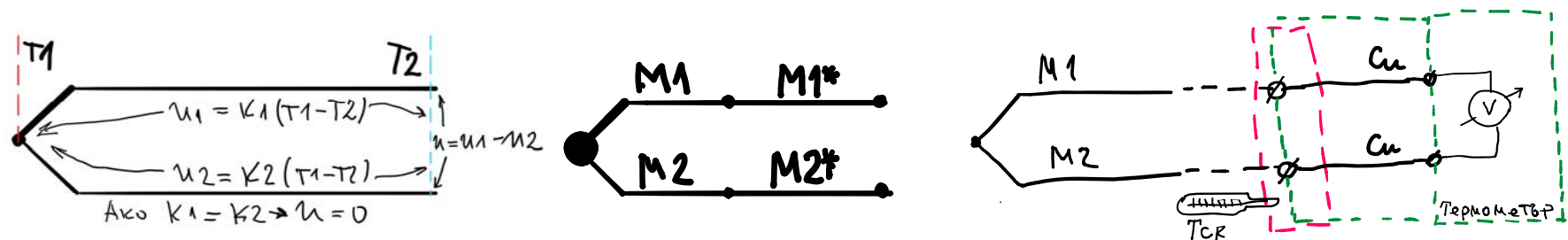
- **Термодвойки**, информация - <https://www.thermocoupleinfo.com/>

Принцип на работа, видове;

Основни параметри, обхват, чувствителност, точност, линейност, клас на точност;

Компенсация на студения край. Къде е студеният край? Където двата (различни по състав) проводника на термодвойката M1, M2, се свързват към два еднакви проводника – обикновено медни. Това може и да е самият вход на уреда (волтметър);

При термодвойки от скъп материал, се ползват удължителни проводници M1* и M2* със същите параметри като M1 и M2, но M1*, M2* не издържат високи температури.



Електронни устройства за измерване и управление

- **Термодвойки**, [sbaa274.pdf](#)

Изисквания към измервателните уреди за работа с термодвойки

- голямо усилване;
- малък offset, дрейф;
- линеаризация програмно и схемно (по-рядко);
- защитни елементи, откриване на прекъсната термодвойка или връзка;
- не е необходимо високо входно съпротивление, но защитните елементи?

| Thermocouple Type | Lead Metal A (+) | Lead Metal B (-) | Temperature Range (°C) | EMF over Temperature Range (mV) | Seebeck Coefficient ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ at 0°C) |
|-------------------|--------------------------|------------------|------------------------|---------------------------------|---|
| J | Iron | Constantan | -210 to 1200 | -8.095 to 69.553 | 50.37 |
| K | Chromel | Alumel | -270 to 1370 | -6.458 to 54.886 | 39.48 |
| T | Copper | Constantan | -200 to 400 | -6.258 to 20.872 | 38.74 |
| E | Chromel | Constantan | -270 to 1000 | -9.385 to 76.373 | 58.70 |
| S | Platinum and 10% Rhodium | Platinum | -50 to 1768 | -0.236 to 18.693 | 10.19 |

Електронни устройства за измерване и управление

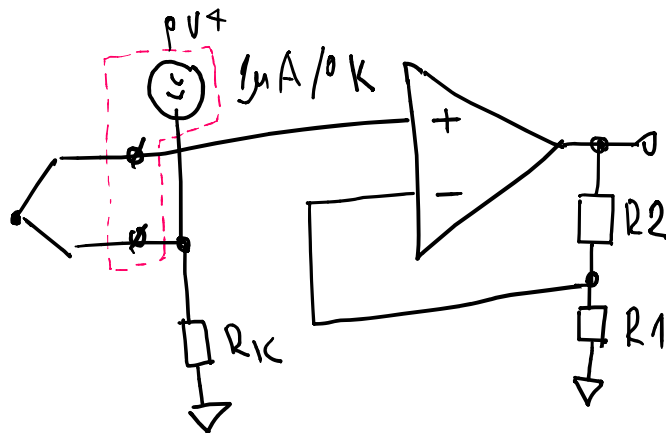
• Термодвойки

Изисквания към измервателните уреди за работа с термодвойки

- компенсация на студения край:

Схемно (апаратно) – към напрежението на термодвойката се добавя напрежение което съответства на това което би генерирала същата термодвойка **при температурата на студения край**. На схемата това става, като напрежението върху R_k съответства на

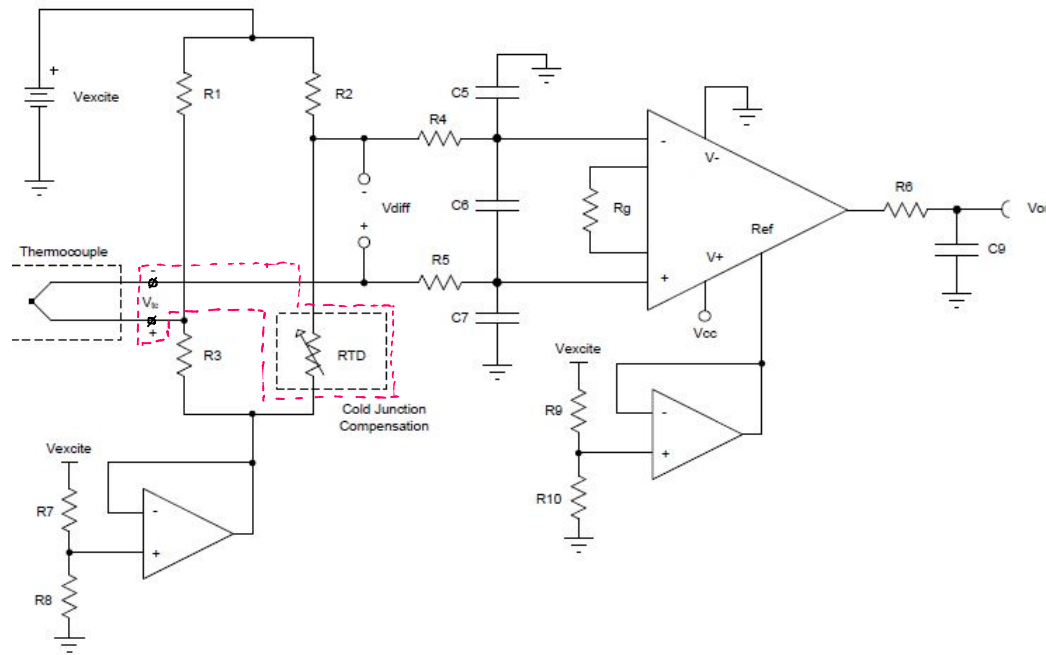
напрежението на термодвойката когато топлият и край е с температурата на студения (спрямо 0°K).



студения край и термосензорът ($1\mu\text{A}/^\circ\text{K}$) **трябва да са при една и съща температура**.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, пример за компенсация на студения край с мостова схема:



Термочувствителният елемент за компенсация в моста е Pt100 (RTD). Елементите са изчислени така, че в диагонала да се генерира напрежение което да отговаря на чувствителността на съответната термодвойка при температурата на студения и край. И тук студеният край

на термодвойката трябва да е при същата температура като RTD – **изотермичен блок**. Това обикновено са медни плочки на които се закрепват елементите.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, компенсация на студения край

Програмно - същото като схемното, но да се внимава да се събират напрежения, а **не** температури. Ако термодвойките бяха линейни. . . можеше да се събират и температури, **но те не са!**

Ред на работа: 1 и 2 са измервания, 3, 4 и 5 – изчисления:

1. Измерва се напрежението на термодвойката;
2. Измерва се температурата на студения край (с друг сензор);
3. Изчислява се (от таблица или по формула) напрежението което би генерирала термодвойката при така измерената температура на студения край;
4. Изчисленото (т.3) и измереното (т.1) напрежения се събират;
5. От получената сума се изчислява (или отчита от таблица) температурата на топлия край на термодвойката, това е резултатът от измерването.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, изчисляване на температурата от напрежението **според ITS-90**:
Термодвойките, а и повечето **термосензори** са нелинейни. Зависимостта на изходната величина от температурата се описва, за най-линейните сензори, от полиноми от 3-ти ред, като се достига 10 – 12-ти ред за най-нелинейните (някои термодвойки).

$$E = \sum_{i=0}^n c_i (t_{90})^i$$

За термодвойките полиномът има следният вид:
E – напрежението, c – коефициентите на полинома, t_{90} – температурата

В таблицата е даден редът на полиномите описващи най-популярните термодвойки, като са всяка термодвойка има поне два обхвата. Индексът 90 (t_{90}) идва от **ITS-90**:

| Thermocouple Type | Temperature Range (°C) for Polynomials | Polynomial Order ⁽¹⁾ |
|-------------------|---|---------------------------------|
| J | -210 to 760, 760 to 1200 | 8th, 5th |
| K | -270 to 0, 0 to 1370 | 10th, 9th, + a $e^{b(t - c)^2}$ |
| T | -200 to 0, 0 to 400 | 7th, 6th |
| E | -270 to 0, 0 to 1000 | 13th, 10th |
| S | -50 to 1064.18, 1064.18 to 1664.5, 1664.5 to 1768.1 | 8th, 4th, 4th |

⁽¹⁾ For type K thermocouples above 0 °C, there is an additional term to account for a magnetic ordering effect

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, изчисляване на температурата според ITS-90:

При измерване на температурата е необходима обратната зависимост, т.е се измерва напрежението на термодвойката и от него се изчислява температурата. „Инверсният“ полином изглежда така:

$t_{90} = d_0 + d_1E + d_2E^2 + \dots + d_iE^i$ – температурата t_{90} се изчислява от напрежението E . В

| Temperature Range: | -200°C to 0°C | 0°C to 500°C | 500°C to 1372°C |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Voltage Range | -5891 μ V to 0 μ V | 0 μ V to 20644 μ V | 20644 μ V to 54886 μ V |
| d_0 | 0.000 000 0 | 0.000 000 0 | $-1.318\ 058 \times 10^2$ |
| d_1 | $2.517\ 346\ 2 \times 10^{-2}$ | $508\ 355 \times 10^{-2}$ | $4.830\ 222 \times 10^{-2}$ |
| d_2 | $-1.166\ 287\ 8 \times 10^{-6}$ | $7.860\ 106 \times 10^{-8}$ | $-1.646\ 031 \times 10^{-6}$ |
| d_3 | $-1.083\ 363\ 8 \times 10^{-9}$ | $-2.503\ 131 \times 10^{-10}$ | $5.464\ 731 \times 10^{-11}$ |
| d_4 | $-8.977\ 354\ 0 \times 10^{-13}$ | $8.315\ 270 \times 10^{-14}$ | $-9.650\ 715 \times 10^{-16}$ |
| d_5 | $-3.734\ 237\ 7 \times 10^{-16}$ | $-1.228\ 034 \times 10^{-17}$ | $8.802\ 193 \times 10^{-21}$ |
| d_6 | $-8.663\ 264\ 3 \times 10^{-20}$ | $9.804\ 036 \times 10^{-22}$ | $-3.110\ 810 \times 10^{-26}$ |
| d_7 | $-1.045\ 059\ 8 \times 10^{-23}$ | $-4.413\ 030 \times 10^{-26}$ | |
| d_8 | $-5.192\ 057\ 7 \times 10^{-29}$ | $1.057\ 734 \times 10^{-30}$ | |
| d_9 | | $-1.052\ 755 \times 10^{-35}$ | |
| Error Range | 0.04°C to -0.02°C | 0.04°C to -0.05°C | 0.06°C to -0.05°C |

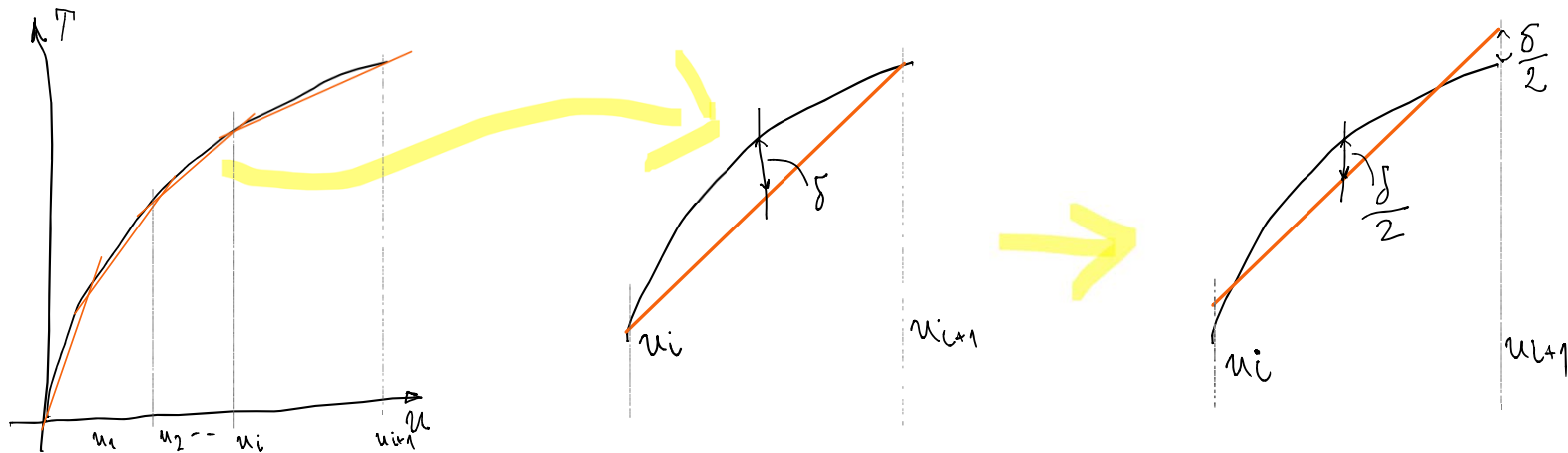
Точността на апроксимация е впечатляваща. Да му мисли софтуера на контролера. . .

Получената точност, всъщност, е математическата точност на апроксимацията.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, измерване на температурата с микроконтролери

Когато се измерва, поради недостатъците на апаратната част (не напълно еднакви термодвойки, температурни зависимости и стареене на елементите), грешката е значително по-голяма и обикновено е $0,1\div 1\%$. Това е типова грешка при индустриални измервания и се отнася до измереното напрежение преди преобразуването в температура. С други думи апроксимацията може да бъде и с по-малка точност и дори да се използва линейно-отсечкова апроксимация или таблици.



Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, пример за **линейно-отсечкова** апроксимация:

Таблица за термодвойка тип К – генерирани напрежения от 0 до 50°C.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 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 |
| 100 | 4.096 | 4.138 | 4.179 | 4.220 | 4.262 | 4.303 | 4.344 | 4.385 | 4.427 | 4.468 | 4.509 |

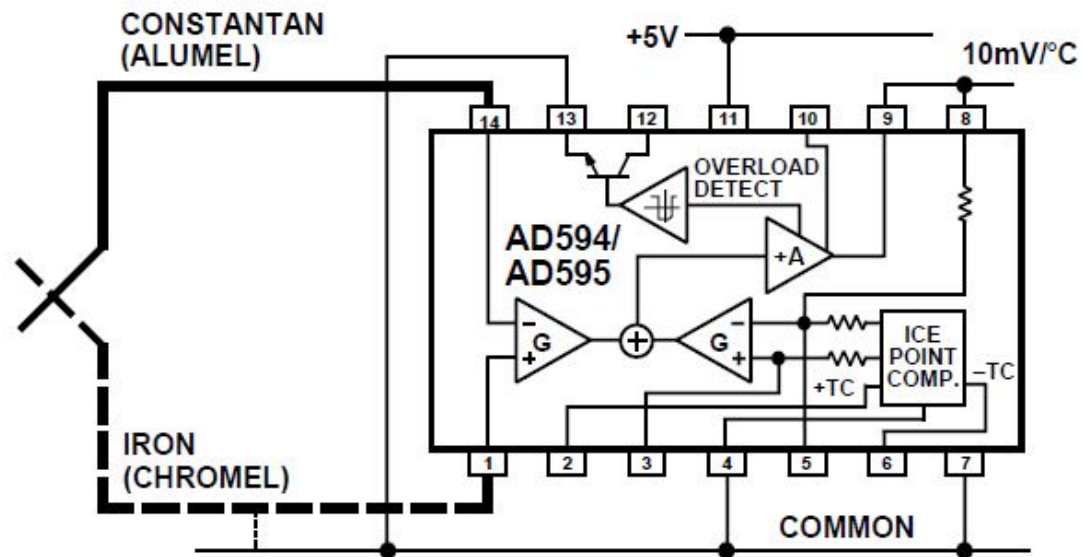
Ако приемем, че термодвойката е линейна от 0 до 50°C, температурният коефициент ще бъде $(2,023 - 0,000)/50 = 40,46 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. За 25°C $\rightarrow 25 * 40,46 = 1,0115 \text{ mV}$, вместо 1,000.

Получава се неточност от $11,5 \mu\text{V} \rightarrow$ ще отчетем 25°C вместо 25,28. Аналогично, ако приемем линейност от 0 до 100°C, за коефициента се получава $40,96 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, а грешката при 50°C $\rightarrow 2048 - 2023 = 25 \mu\text{V}$. Това е около $0,6^\circ\text{C}$, а при отместване на отсечката $\pm 0,3$. Така вместо 50 (100) стойности в таблицата трябва само две – краищата на обхвата.

Дали тази грешка е допустима зависи от предназначението (изискванията) към уреда.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, ИС за работа с термодвойки
 - интегрирани - AD594 за тип J и AD595 за K, скъпички ~ 40лв и остарели.



- интелигентни сензори, обикновено са универсални, [Imp90100.pdf](#), [sbas457f.pdf](#)

Как да се измерва температура с термодвойка – съображения за избор.

Електронни устройства за измерване и управление

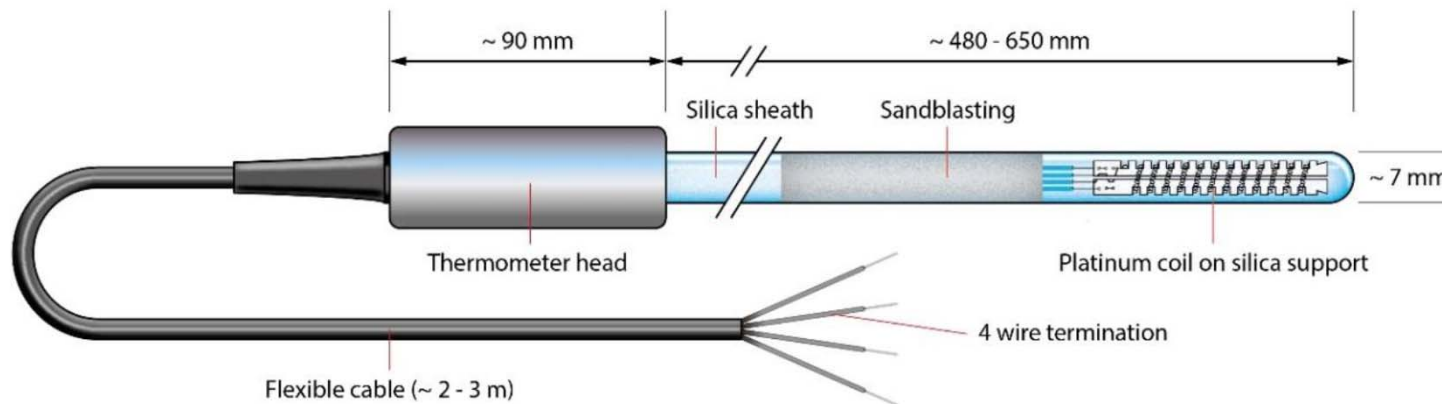
- **Термосъпротивления** – платина, никел, мед известни още като **RTD - Resistance Temperature Detectors**

Измерването на температура с термосъпротивление Pt100 – Л.У № 4.

<https://www.omega.com/en-us/resources/rtd-hub>

Основен тип сензор за измерване на температура в индустрията.

Принцип на работа. Конструкция. Корпус в който се монтира.



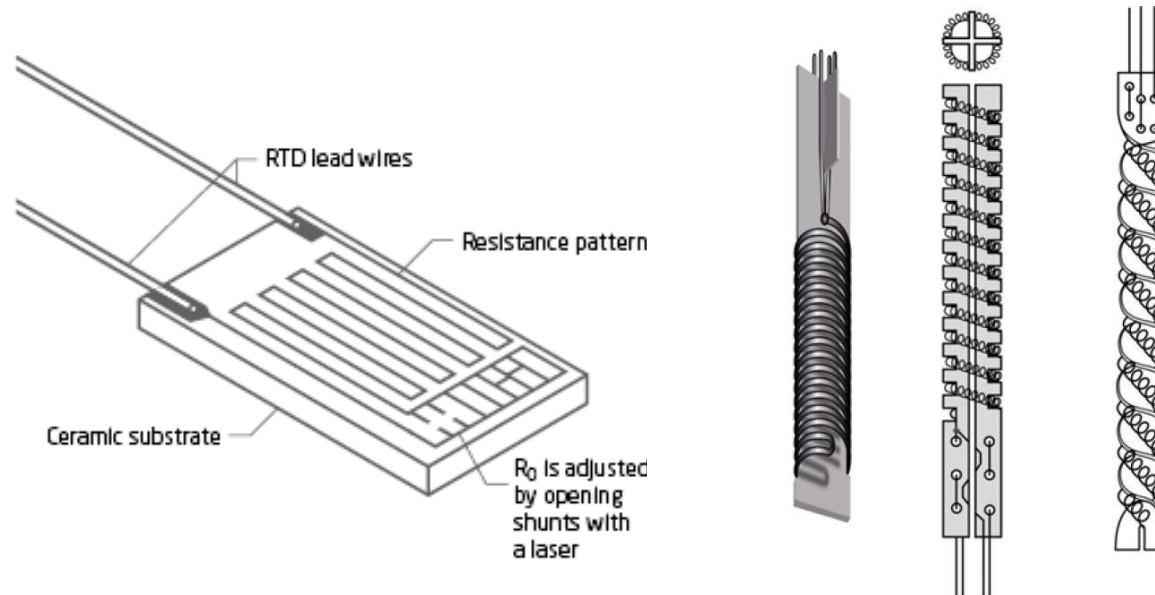
Електронни устройства за измерване и управление

Типов корпус за температурни сензори – термодвойки, термосъпротивления.

В сферичната част има керамична изолационна плоча където се свързват изводите на сензора с проводниците от измервателния уред. Там се прави 2, 3, 4-ри проводно свързване, там се монтират първичните преобразуватели, сензорът за компенсация на студения край (при термодвойки) и т.н.



Електронни устройства за измерване и управление



Основни параметри, обхват, чувствителност, точност, линейност, клас на точност.

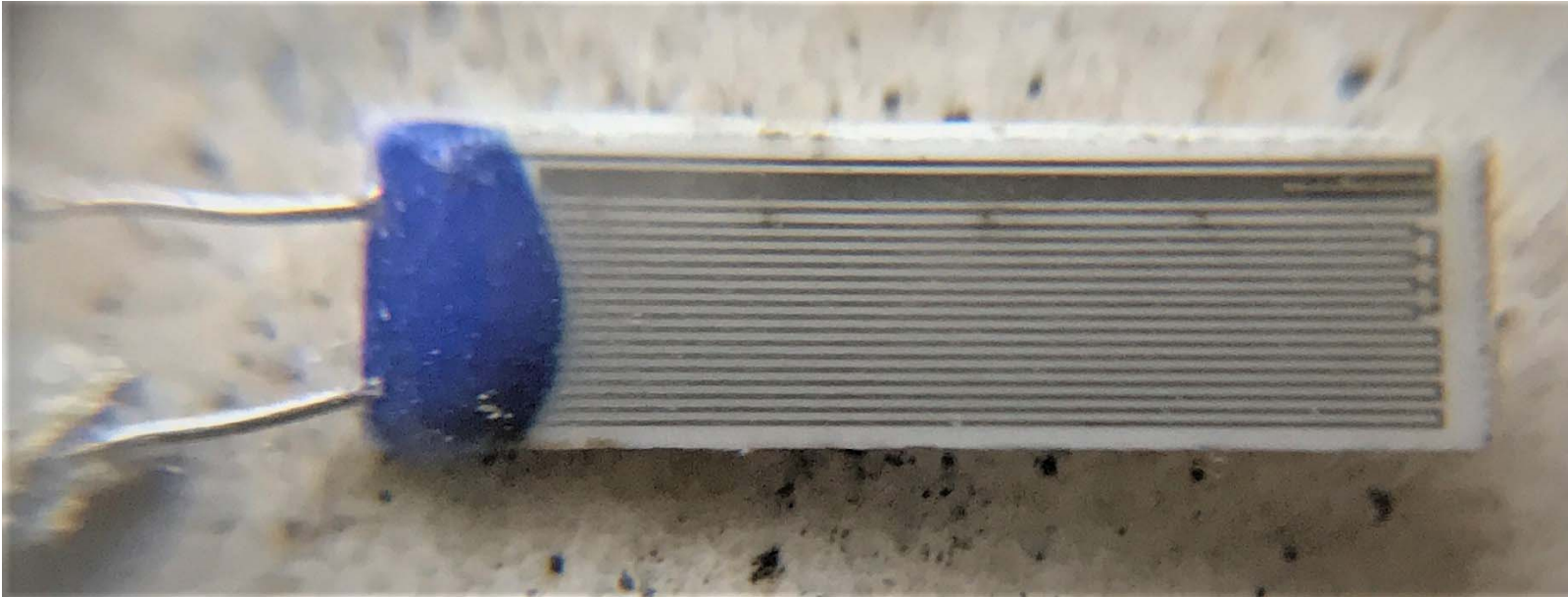
За $t > 0^\circ\text{C}$: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$, а за $t < 0^\circ\text{C}$: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3)$

$R_0 = 100\Omega$, $A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$, $C = -4.183 \times 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4}$

Съпротивлението на Pt100 е 100Ω при 0°C и $138,5\Omega$ при 100°C !

Самонагриване, термично съпротивление на сензора – от конструкцията.

Електронни устройства за измерване и управление



Снимка на термосензор Pt100

Основата е керамична с размери 2 x 8 mm. Върху нея е нанесен съпротивителният слой от платина. Предвидена е настройка в широки граници. За точна настройка е предвидена широката лента в горния (на снимката) край. Лентата се срязва на две с лазер – виждат се следите. По този начин съпротивлението на Pt100 се увеличава.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термосъпротивления

Схеми на свързване – две, три и четири-проводна;

Разновидност на 4-ри проводно свързване за избягване на връзки при сензора:



Изисквания към измервателните уреди за работа с термосъпротивления:

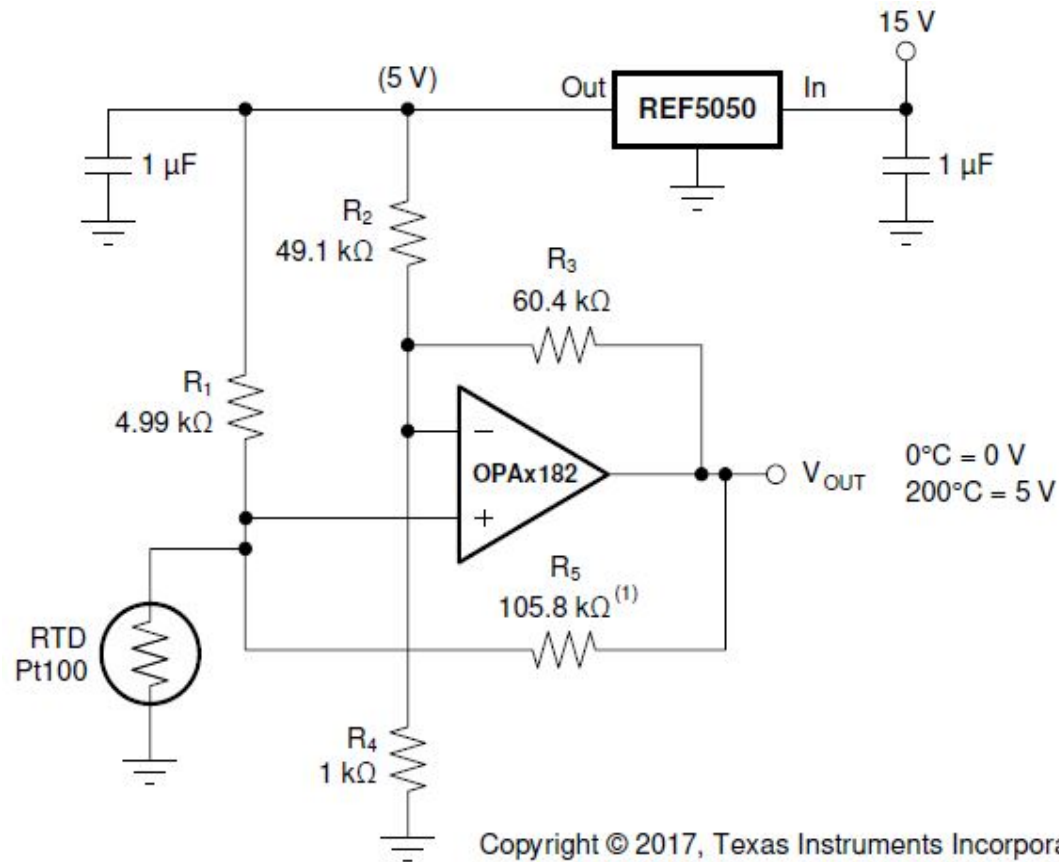
измерване на съпротивление, избор на подходящ метод;

подбор на схемата за измерване, **нормализация**;

линеаризация.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термосъпротивления, пример за апаратна (схемна) линеаризация:



Мостова схема (R1, R2, R4, Pt100) е балансирана при 0°C.

Усилването ($R_3/(R_2 \parallel R_4)$) е така изчислено, че при 200°C в изхода да се получат 5V.

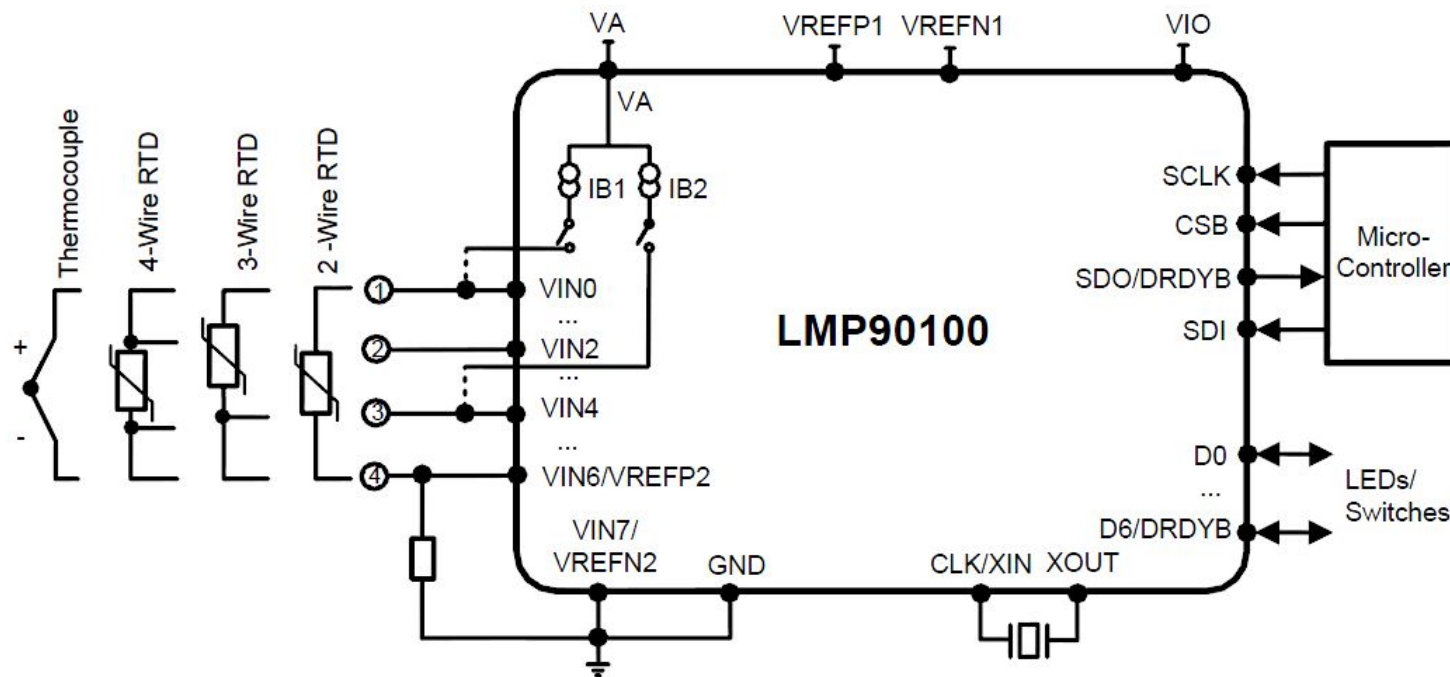
Положителната обратна връзка през R5 променя предавателната характеристика и по този начин се компенсира нелинейността.

Компенсира се нелинейността не само на сензора но и на схемата – вж. [Calc_Rx_Ret.xlsx](#)

Електронни устройства за измерване и управление

- Термосъпротивления

Интегрирани, интелигентни сензори за работа с термосъпротивления – **същите които се ползват при мостови схеми и термодвойки**. Например [Imp90100.pdf](#).



Електронни устройства за измерване и управление

- **Термистори** – полупроводников резистор

<https://web.archive.org/web/20190930105608/>

<http://www.facstaff.bucknell.edu/mastascu/elessonsHTML/Sensors/TempR.html>

Принцип на работа, видове NTC, PTC, линейни (пример – tmp61.pdf)

Основни параметри, обхват, чувствителност, точност, линейност, клас на точност

много голяма чувствителност и голяма нелинейност:

[pdf-general-technical-information.pdf](#), [convtabs.pdf](#), [RESISTANCE_VS._TEMPERATURE_TABLE.pdf](#)

Приложение, за измервателни цели но и в други случаи – ограничители на ток, предпазители. **Измерване и регулиране в тесен обхват**

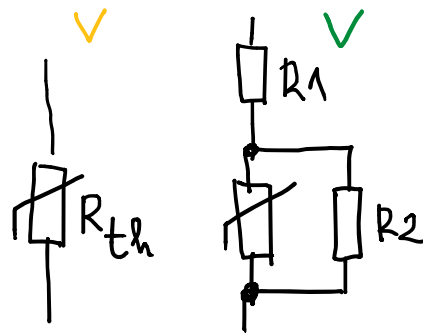
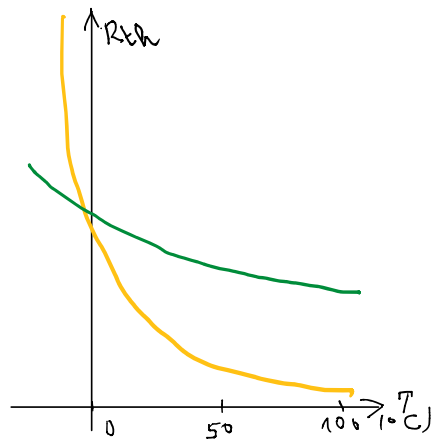
Режим на самонагриване за някои измервания (топлопроводност);

Начин на измерване – стандартно измерване на съпротивление. Измерване в тесен обхват или с много обхвати.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термистори – особености при измерване

При стандартно измерване, поради нелинейната характеристика, се получава много голяма разлика в чувствителността в краищата на обхвата. Ако ниските температури се измерват с разрешаваща способност $0,1^{\circ}\text{C}$, високите ще се измерват с 5°C ! По-често се налага линеаризация в сравнение с другите сензори. Пасивната линеаризация –



с използване на последователни и паралелни резистори позволява, в границите на измервания обхват, **промяната** на чувствителността да не е по-голяма от два пъти. Става за сметка на **намаляването** на чувствителността. В

литературата има много примери за схемна линеаризация. В уредите с микроконтролери, ако се ползва линеаризация, тя е само пасивна.

Електронни устройства за измерване и управление

- **Избор на сензор при проектиране по задание**

Заданието трябва да включва основните параметри – обхват, чувствителност, точност, линейност:

- от **обхвата** се определя типа на сензора;
- необходимото усилване се задава от **чувствителността**;
- от избрания сензор се решава дали да има апаратна (схемна) линеаризация;
- ако е необходимо малко отместване на нулата това може да стане с $-U_{ref}$.

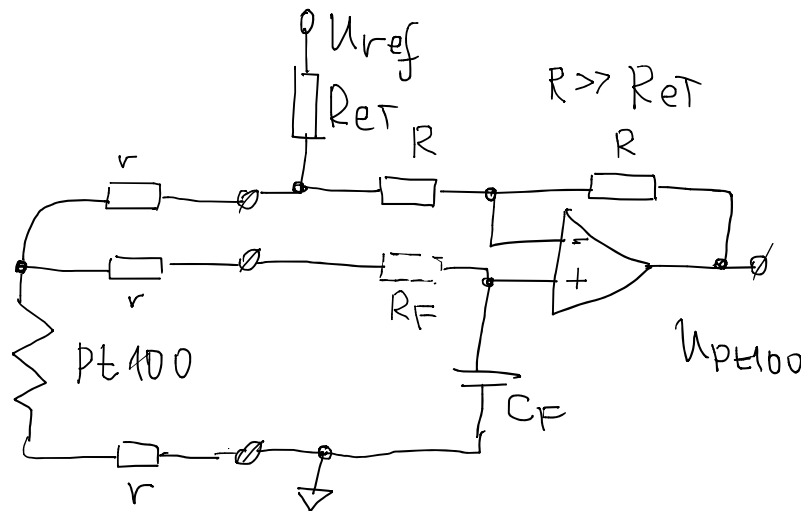
Определяне на **цената** на измерването, важно за проекта. Зависи от цената на сензора, останалите задължителни елементи, цената на проектирането (софтуер) и производството (настройки). Отчитат се всички фактори, не само елементите.

Много е важна и цената на сервизното (и гаранционно) обслужване.

Електронни устройства за измерване и управление

- Примери за измерване и регулиране на температура

Постепенно, дори и най-простите устройства се проектират с микроконтролери. Това е напълно оправдано за огромните серии при някои производители. В същото време някои задачи могат да се решат и схемно на много по-ниска цена.



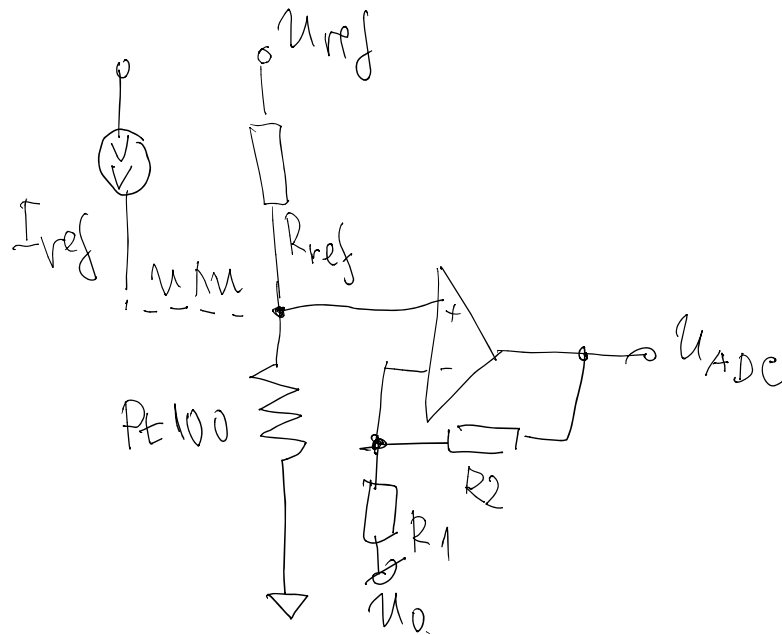
Схемата е за измерване на R_{Pt100} но всъщност е за измерване на съпротивления. $U_{Pt100} = U_{ref} \times R_{Pt100} / (R_{Pt100} + R_{ref})$. Ако U_{ref} е същото като на АЦП точността ще зависи само от R_{ref} (теоретично). Функцията U_{Pt100} от R_{Pt100} е нелинейна (ако $R_{ref} \gg R_{Pt100}$ нелинейността ще е малка). При използване

на микроконтролери това не е проблем – изчислява се по формулата. В тази схема е показана и работата на **три-проводна** схема на свързване за съпротивителни сензори.

Електронни устройства за измерване и управление

- Примери за измерване и регулиране на температура

За измерване на съпротивлението Pt100 може да се ползва еталонен резистор U_{ref} или генератор на ток I_{ref} . За да се получи максимална чувствителност на измерването трябва да се съгласуват (или „нормализират“) обхватите, т.е. да се изчислят усилването ($R2/R1$) и отместването U_0 . Това вече беше разгледана по-рано. В схемата да се има предвид:



1. Усилването се определя от ΔU_{ref} на ADC и ΔU_x (от $\Delta Pt100$) -> $\Delta U_{ref}/\Delta U_x = (R2/R1)+1$;

2. Отместването U_0 се определя от напрежението върху Pt100 при минималната стойност на обхвата. Ако това е 0°C , т.е. 100Ω и токът е 1mA се получават 100mV . За да се получат 0V на входа на ADC, върху $R2$ трябва да има 100mV . Напрежението U_0 се получава като изчислим пада върху $R1+R2$ -> $U_0 = (R1+R2) \cdot I_{R2} = (R1+R2) \cdot (100\text{mV}/R2)$. Така се получава $U_0 = 100(1+R1/R2)\text{mV}$.

3. Отчитат се **толерансите** на елементите.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на температура с термодвойки, **пример за проектиране**:

Преди избора на конкретната схема и съответните елементи, се вземат предвид много неща и винаги се разглеждат няколко варианта:

- микроконтролерът трябва да има нужните параметри за да изпълни задачата;
- микроконтролерът се избира от фамилиите за която има развойни средства;
- АЦП се определя от необходимата разрядност и допустимата цена;
- ОУ – от напрежението на несиметрия, **дрейфа** и работния обхват по вход, изход;
- захранването – от работното напрежение на всички елементи;

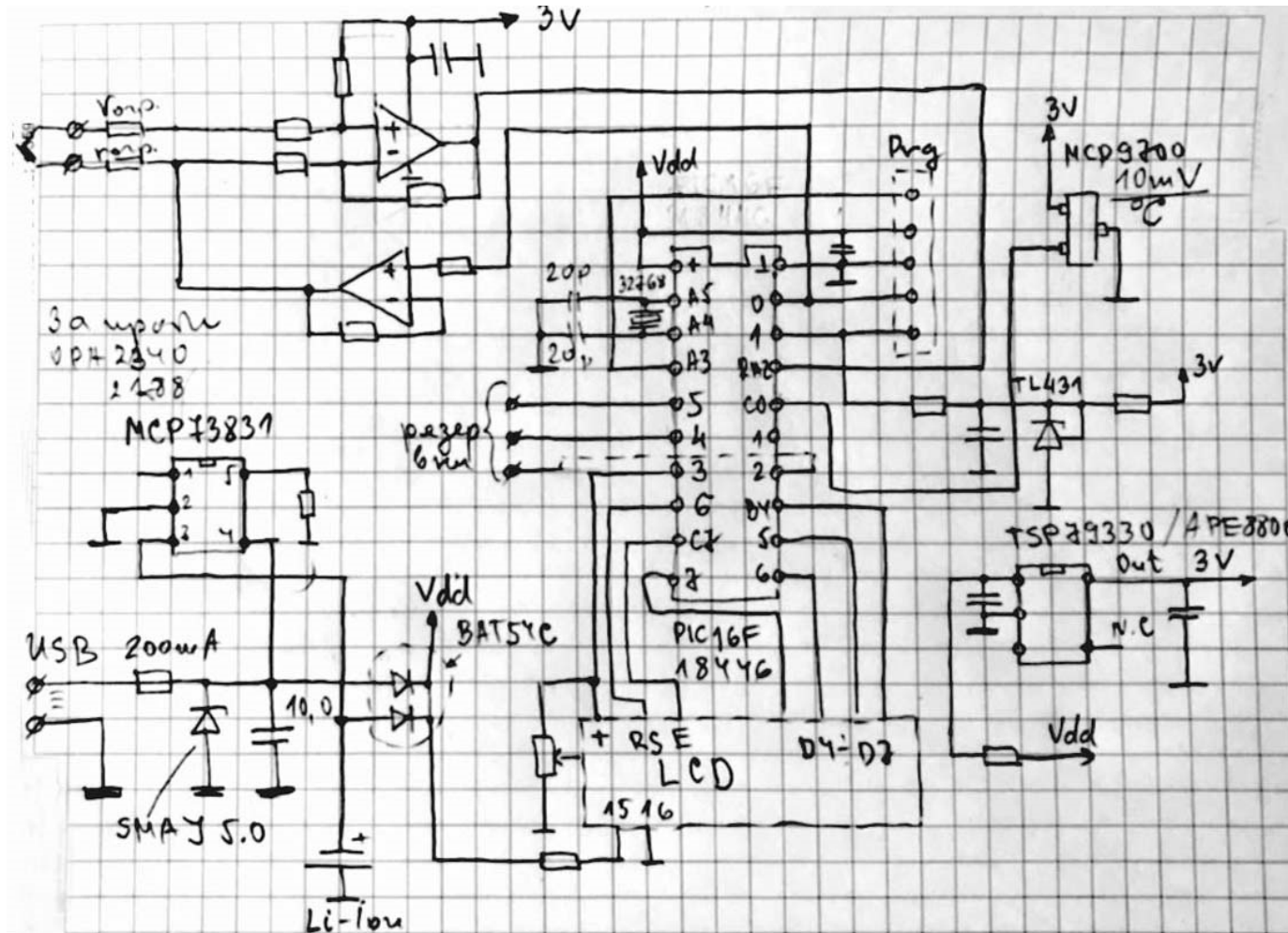
Обикновено се преминава **няколко пъти през анализ** на вариантите.

Ако е необходимо независимо захранване се анализират консумацията, алгоритъмът на работа и се избира капацитетът на батерията – в зависимост от времето през което трябва да се работи без презареждане или смяна;

... и т.н. се анализират много фактори.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на температура с термодвойки, **примерен проект**:



Начални данни:

обхв. $-200 \div 1000^{\circ}\text{C}$,

разр. сп. $-0,5^{\circ}\text{C}$,

точност -3°C ;

Отрицателните

температури дават

отрицателно напре-

жение – трябва да се

ползва отместване

(нормализация) на

характеристиката.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на температура с термодвойки, **проект**:

Контролер – PIC16LF18446, в серията има контролери с различни RAM и FLASH. Той има 12-bit ADC, 5-bit DAC;

ОУ – MCP6072, $V+ 1,8 \div 6V$

T_{с1} – MCP9700, за измерване на околната температура и комп. на студения край;

LCD – 2 x 16, не работи непрекъснато, а 10 - 15 секунди след натискане на бутон;

Uref = 2,5V (TL431);

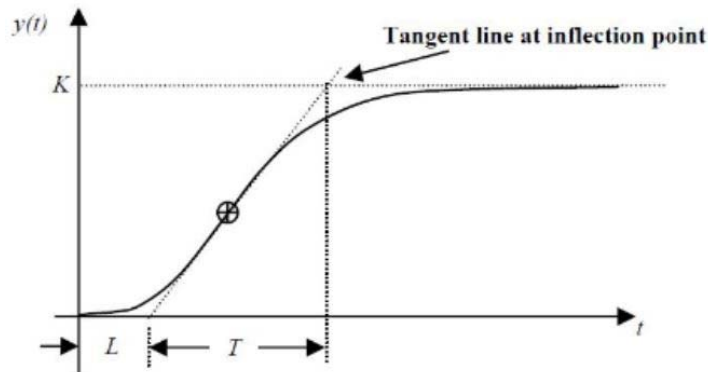
Захранване – Li-Ion 4,2V;

Софтуер – задачи с оглед минимална консумация.

Примерът на схемата е за работа с термодвойка но може да се ползва и с Pt100. Тогава трябва да се смени входното стъпало с операционните усилватели, няма да трябва компенсация на студения край – отпада MCP9700, отместването може да се направи с подходящ избор на **Uref** и . . . ще трябва друг софтуер.

Електронни устройства за измерване и управление

- Общи положения при регулирането (на температура):
 - Теорията на автоматичното регулиране позволява да се проектират регулатори за всякакви величини и обекти. За получаването на добри резултати е необходимо да се познават параметрите на обекта, на изпълнителните звена и останалите части на регулатора. В много случаи тези данни са неизвестни. Тогава се ползват евристични (емпирични) методи които дават добри и най-вече бързи резултати. Един от тези методи е на Ziegler и Nichols от 1942г. Той се състои в изследване на реакцията на обекта при подаване на управляващ сигнал. Така се определя коефициентът на



предаване на отворената система и времевите параметри. От тях се определят коефициентите и времеконстантите на PID регулатор. От отношението на времето за нарастване T към закъснението L се определя доколко системата е управляема.

Електронни устройства за измерване и управление

- Общи положения при регулирането (на температура):

$T/L > 10$ - много добро (лесно) управление

$T/L > 3$ - може да се управлява с компромиси (точност и бързодействие)

$T/L < 3$ - трудно управление, може и да не е възможна устойчива система

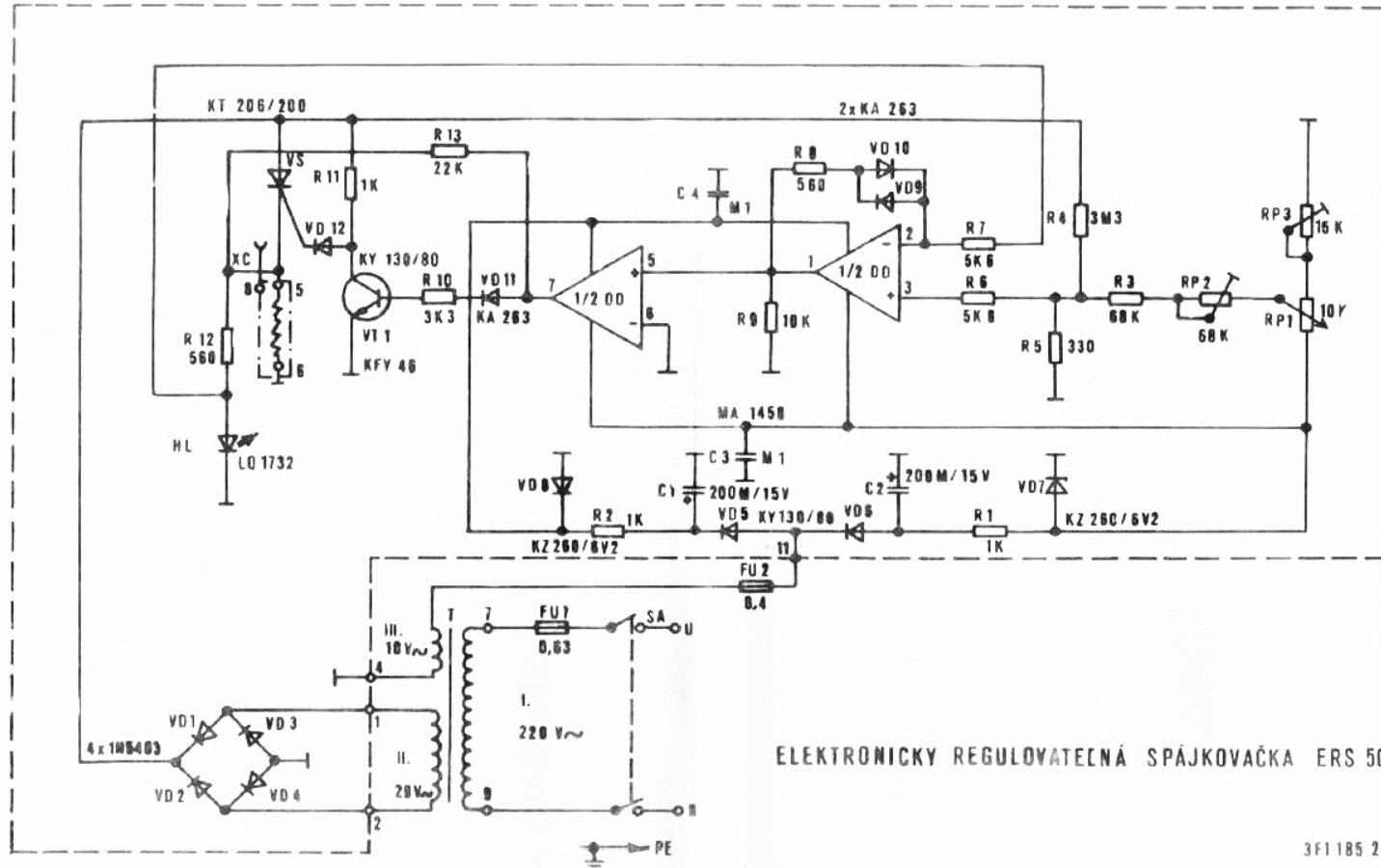
При малките стойности на T/L , когато управлението е трудно, може да се променят някои от съставните части на системата, да се промени видът на сензора или мястото му в обекта и т.н. Целта е да се намали закъснението L .

В таблицата са дадени емпирични стойности на параметрите на основните регулатори:

| PID Type | K_p | $T_i=K_p/K_i$ | $T_d=K_d/K_p$ |
|-----------------|------------------|-----------------|---------------|
| P | $\frac{T}{L}$ | ∞ | 0 |
| PI | $0.9\frac{T}{L}$ | $\frac{L}{0.3}$ | 0 |
| PID | $1.2\frac{T}{L}$ | $2L$ | $0.5L$ |

Електронни устройства за измерване и управление

- Регулатор за поялник, сензор термодвойка:

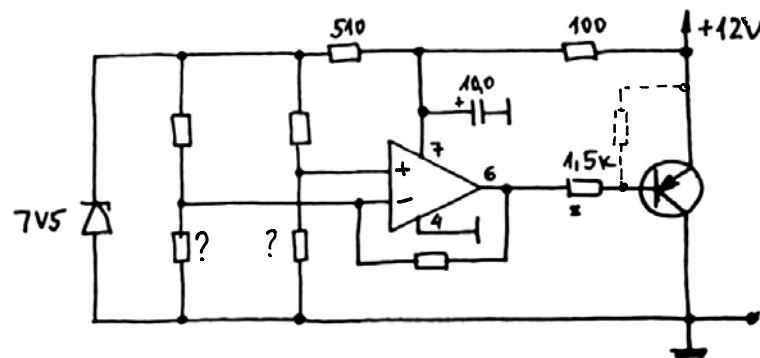
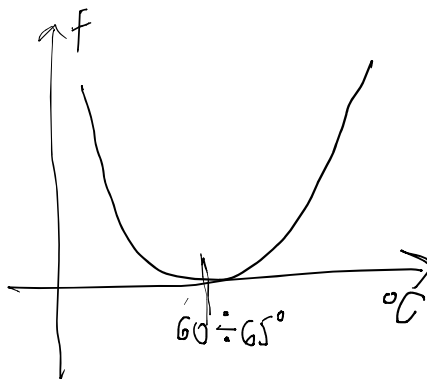
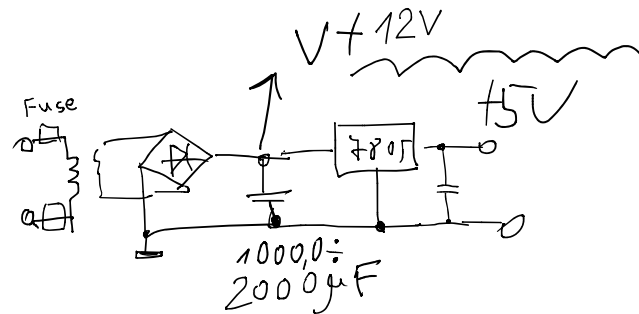
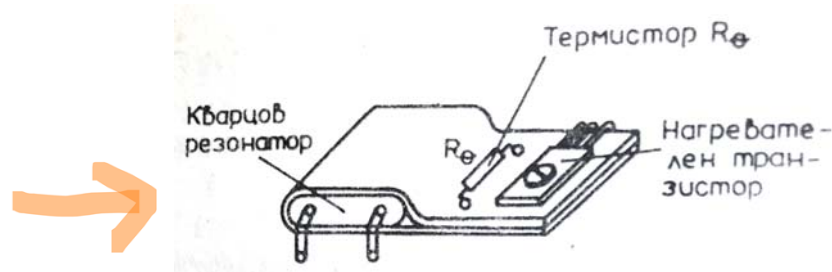
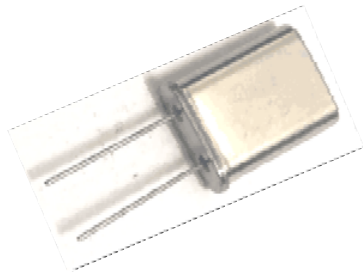


Параметри:

обхв. 100 ÷ 450°C,
точност – 20°C,
захр. – мрежа 230V;
Нагревателят е от
константан, а сензор
е термодвойка тип J
желязо – константан,
като нагревателят е и
част от сензора, минус
на термодвойката е
нагревателят;
Тиристорно релейно
управление.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термостат за поддържане на температурата на кварцов генератор:



Параметри:

задание - $63^\circ C$,

точност - $0,5^\circ C$, на

термистора - $0,1^\circ C$,

захранване - $7 \div 10 V$;

Транзисторът е и нагревател.

Резисторът с * ограничава
максималния ток.

Да се определи мястото на

термистора, ако той е с

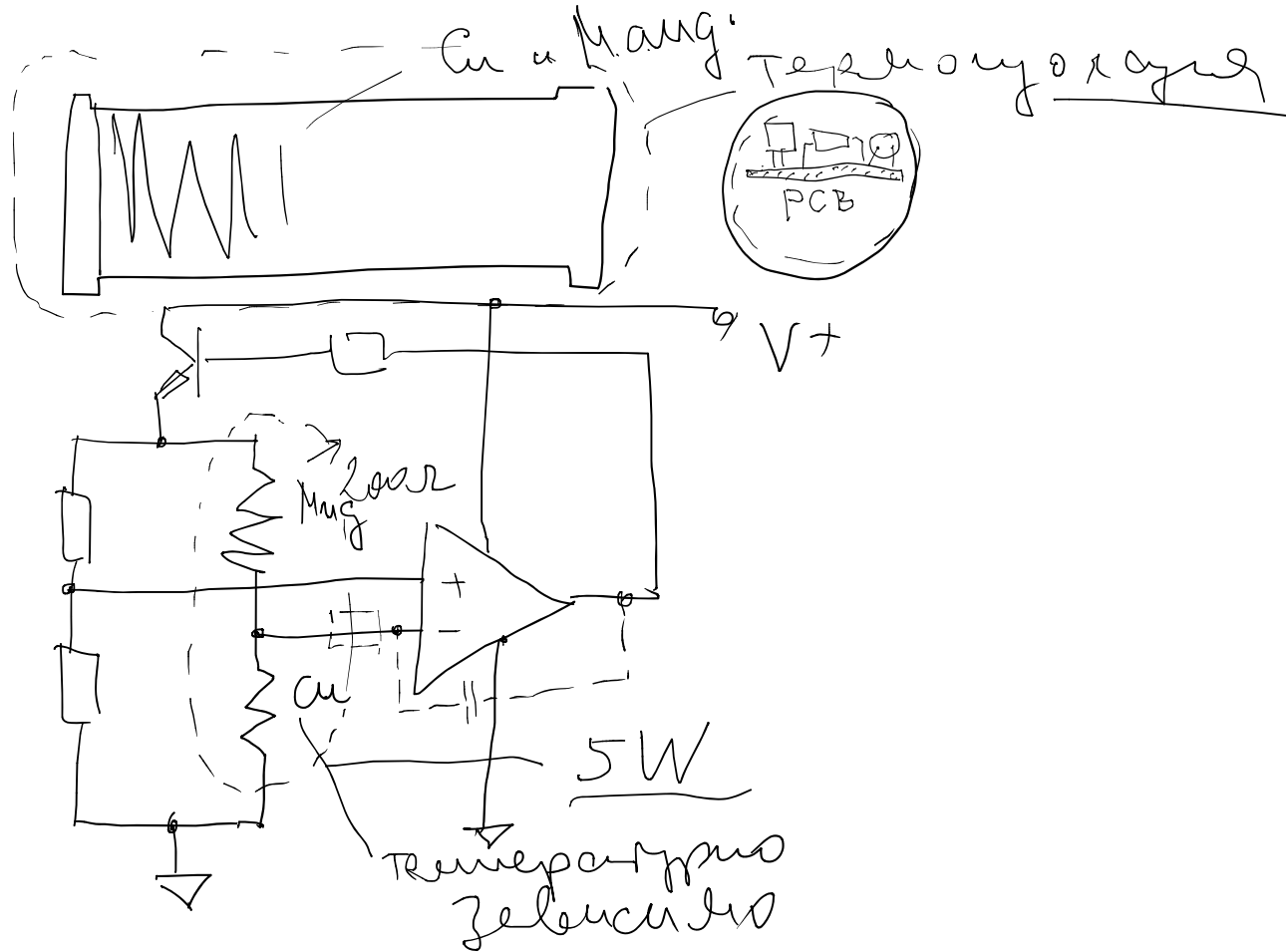
отрицателен температурен

коэффициент (-TCR)! А ако е с

положителен?

Електронни устройства за измерване и управление

- Термостат за изследване на темп. зависимост на електронни елементи:



Параметри:

Фиксирани температури-

50, 75, 100, 125°C;

точност $\pm 2^\circ\text{C}$,

захранване – 10 V $\pm 5\%$;

Алуминиев цилиндър се

нагрява от манганинов и

меден проводник.

Медният проводник е и

сензор за температура –
подобен на Pt100.

Самонагряване!

Електронни устройства за измерване и управление

• Теми за тестови въпроси:

- Методи за измерване на температура;
- Основни сензори за измерване на температура. Параметри;
- Сравнения м/у сензорите – обхват, точност, цена и други;
- Типична блокова схема на измервателен уред, в частност за температура;
- Блокова схема на уред за измерване на температура с конкретен сензор;
- Видове полупроводникови сензори за измерване на температура;
- Изчисления (задачи) за нормализация на обхвата за различни сензори за измерване на температура;
- Особености при измерване на температура с различните сензори, схеми, компенсация, линеаризация и т.н.;
- Примери на схеми за измерване и регулиране на температура, откриване на пропуски, грешки;