

- **Електронни схеми за измерване и управление**

- **Измерване и регулиране на температура**

- **ITS-90 International Temperature Scale of 1990**

- Принцип на работа на често използвани сензори, обхват, самонагриване:

- Класически, с обемно или линейно разширение, скали °C, °K, °F;

- Обикновено са неелектрически, включват и регулиране – ютии, бойлери...

- Полупроводникови, 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. Коментар;

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

“Всички” са на базата на полупроводниковите сензори – обхват;

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

Някои са предназначени за работа с външни сензори – термодвойки, RTD и др.

Има универсални интелигентни преобразуватели – не само за температура –

пример AD7730, параметри - PDF;

Консумация. Самонагряване – всеки сензор който консумира енергия се нагрява.

Примери:

SMT172 на Smartec, точност 0,1-0.2 °C в обхват -45°C to 130°C, PWM изход;

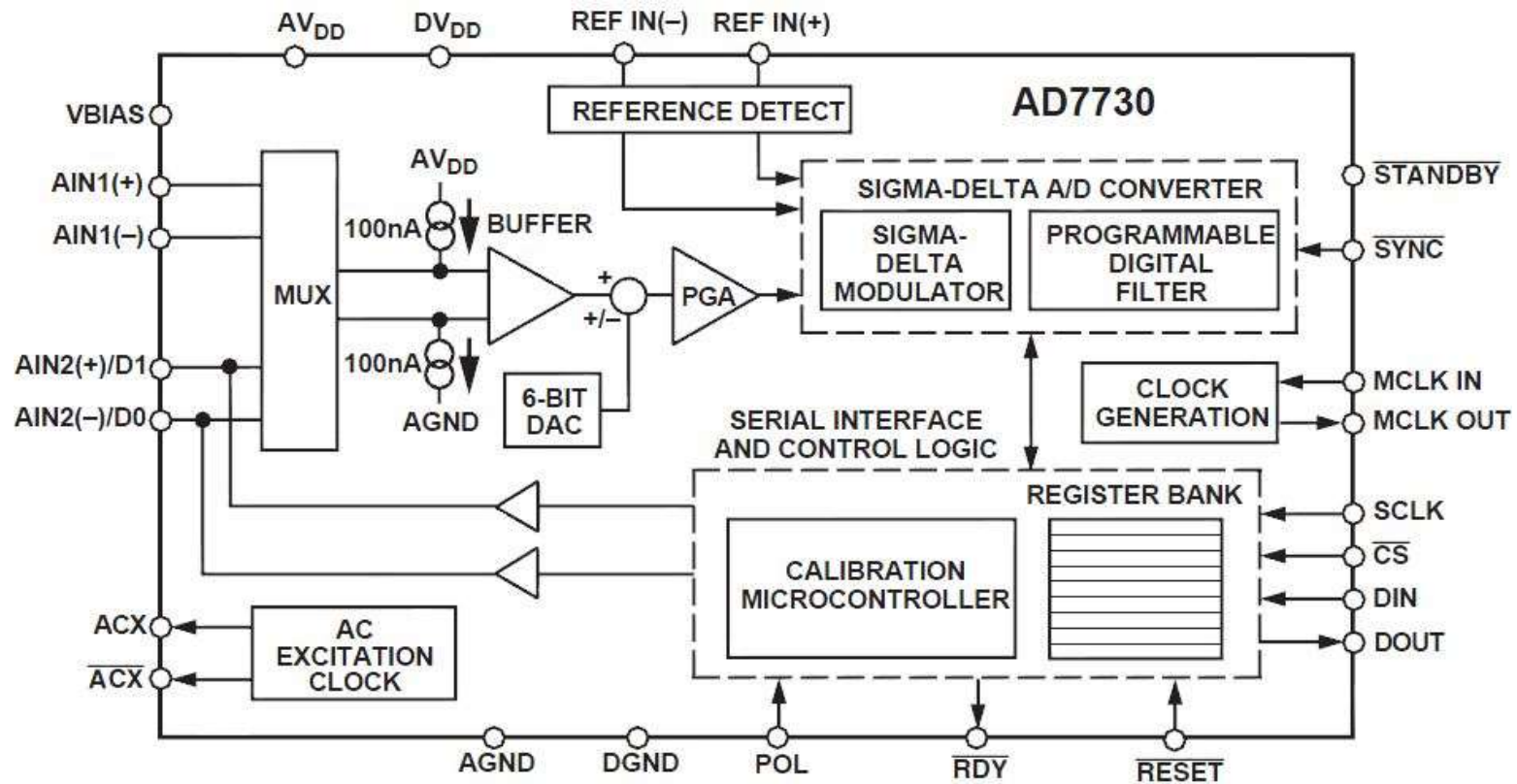
DS18B22 1-Wire Digital Thermometer, всъщност 2 или 3-проводен интерфейс;

TMP117 = I2C съвместим интерфейс, има и SPI – TMP126.

Електронни устройства за измерване и управление

- Съвременни електронни сензори;

AD7730 – интелигентен „сензор“, принцип на работа;



Електронни устройства за измерване и управление

- **Измервателни уреди за измерване и регулиране на температура:**

- Типова (блокова) схема на измервателен уред. Използва се за измерване както на температура така и на други величини;

Микроконтролер;

Първичен преобразувател - нормализация, АЦП, компенсация и др. Ако сензорът е интегриран (интелигентен) или АЦП е в микроконтролера този блок не се вижда;

Захранване, двуполярно захранване (от еднополярен източник), източник, батерия еднократна или акумулаторна. Зареждане;

Индикация, може и само контролни диоди, а може и без. Изводи за настройка;

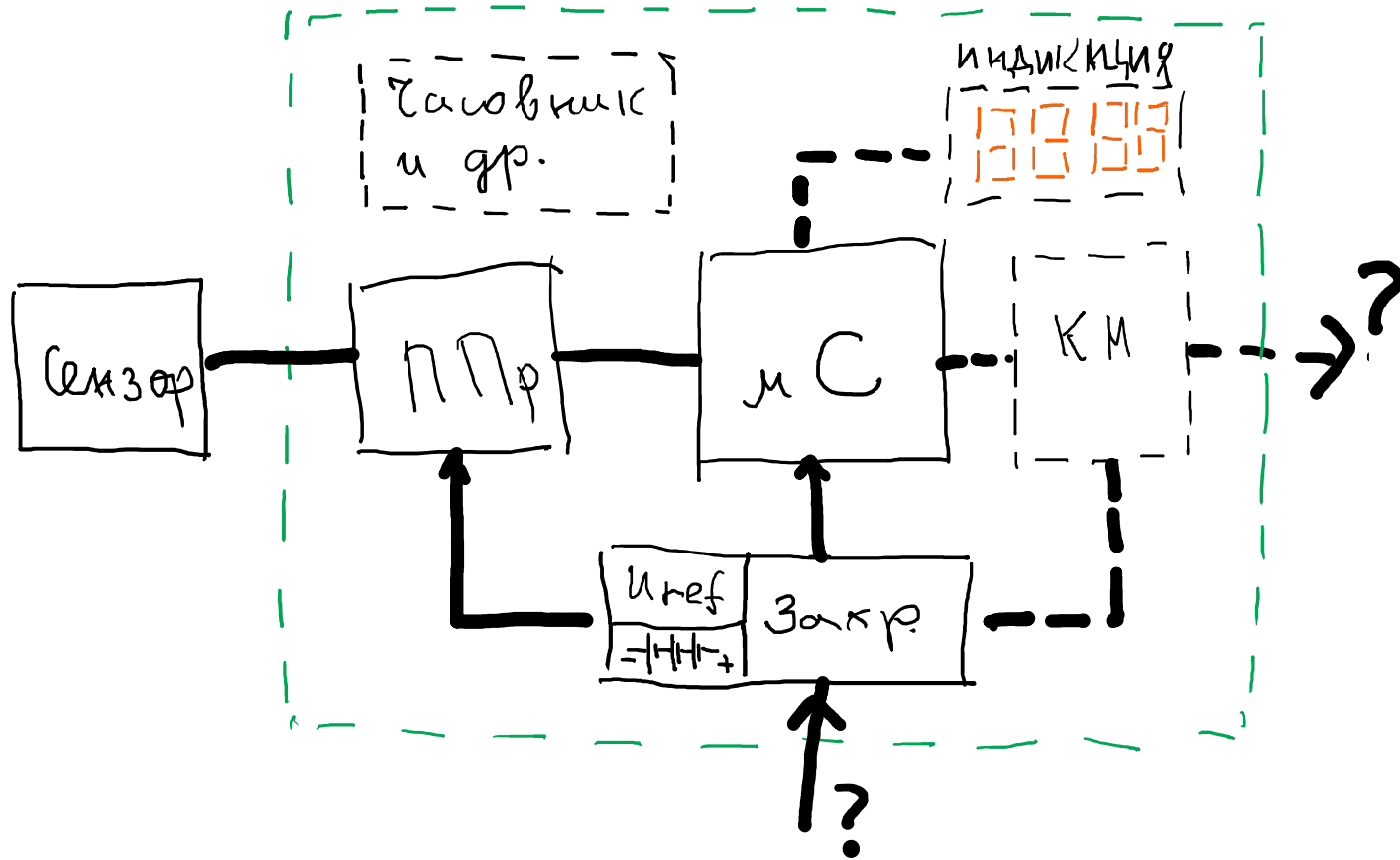
Комуникация, жична или безжична;

Часовник, памет за съхранение на резултати и други;

Защита на входове (и изходи).

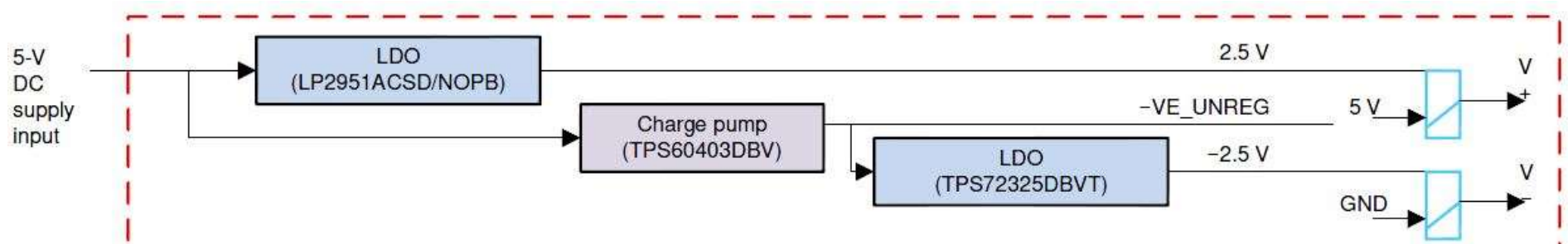
Електронни устройства за измерване и управление

- Типова схема, основни блокове



Електронни устройства за измерване и управление

- Генериране на отрицателно напрежение при еднополярно захранване



Входното напрежение 5V DC може да е и от батерия - 3÷4,5V. Използват се два стабилизатора за 2,5V тип LDO (**L**ow-**D**rop**O**ut regulator) и капацитивен инвертор на напрежение (Charge pump). КПД не е голям, но и консумацията не е голяма.

Друг начин е, като захранващото напрежение се раздели на две и средата е 0V.

Тези решения се използват когато е необходимо отрицателно захранване. Кога?

- Операционни усилватели;
- Сензори с двуполярен изход, например термодвойки;

Електронни устройства за измерване и управление

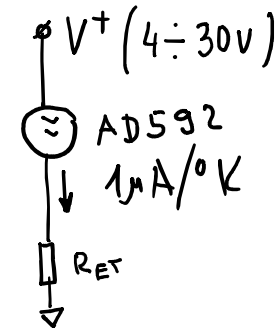
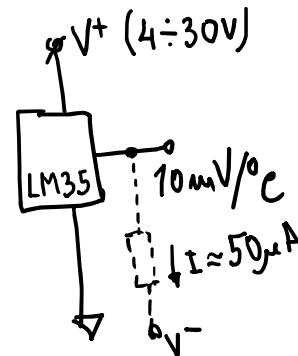
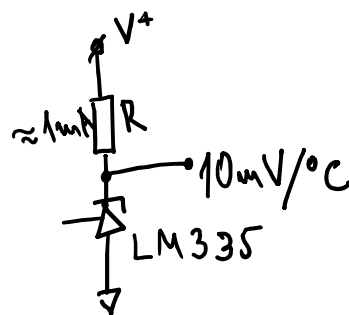
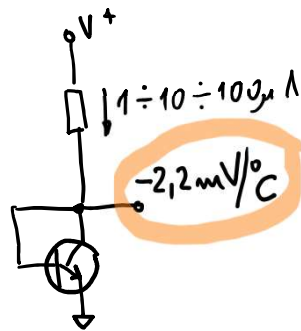
- **Полупроводникови сензори**, широко приложение, **рядко в индустрията**

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

Ако (**за непрецизно приложение**) се ползва дискретен прибор, се препоръчва да се ползва U_{be} (U_{ak}), а не обратният ток или коефициентът на усилване по ток;

Най-простите интегрални сензори са **източници на напрежение** от шунтов (LM335) или последователен тип (LM35). Температурният коефициент обикновено е $5\text{-}10\text{mV}/^\circ\text{C}$ (има във Фаренхайт или Келвин). Да се прегледат параметрите на LMT70.

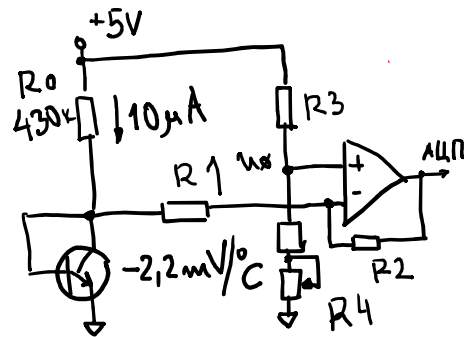
Има ИС температурно зависими **източници на ток** (AD592- $1\mu\text{A}/^\circ\text{K}$).



Електронни устройства за измерване и управление

- Полупроводникови сензори, пример за изчисляване:

Начални данни:



- сензорът е р-п преход, $-2,2\text{mV}/^\circ\text{C}$, 550mV при 0°C

- обхват от -40 до $+60^\circ\text{C}$ ($\Delta 100^\circ$)

- 10-битов АЦП (10 разряда)

- разрешаваща способност $0,1^\circ\text{C}$

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

Ако сигналът не се усили разрешаващата способност ще бъде $5/2,2 \sim 2,3^\circ\text{C}$, доста по-малко от зададеното., при отрицателен Тъй като температурният коефициент е отрицателен се избира схема на инвертиращ усилвател и така скалата „ще се обърне“. Максимална разрешаваща способност 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 5V . Необходимото усиление е $5000\text{mV}/(2,2\text{mV} \cdot 100) = 22,7$. С малко запас, заради толеранса на елементите, се приема усиление 22 . Отношението $R2/R1$ е 22 , а как се определят стойностите? А U_0 ($R3/R4$)?

Електронни устройства за измерване и управление

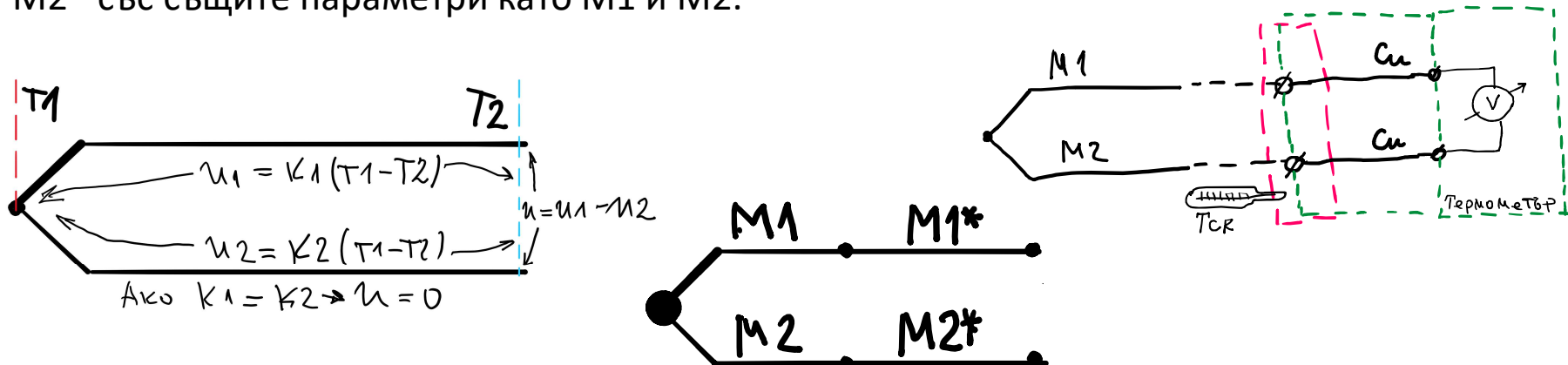
- **Термодвойки**, информация - <https://www.thermocoupleinfo.com/>

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 M1, M2 на термодвойката се свързват към два еднакви проводника – обикновено медни. Това може и да е самият вход на уреда (волтмер);

При термодвойки от скъп материал се ползват удължителни проводници M1* и M2* със същите параметри като M1 и M2.



Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, [sbaa274.pdf](#)

Изисквания към измервателните уреди за работа с термодвойки

- голямо усилване
- 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

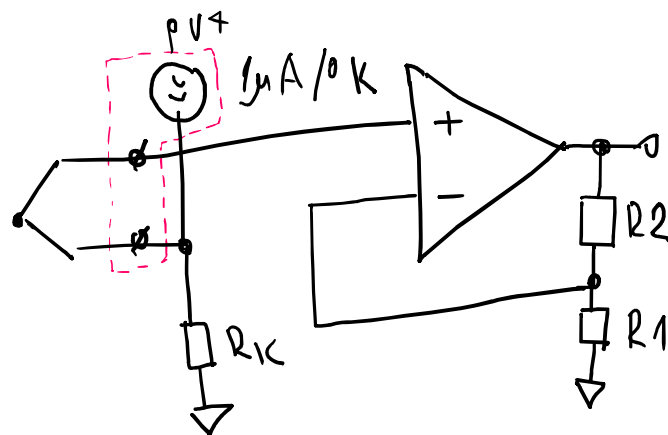
Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки

Изисквания към измервателните уреди за работа с термодвойки

- компенсация на студения край:

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

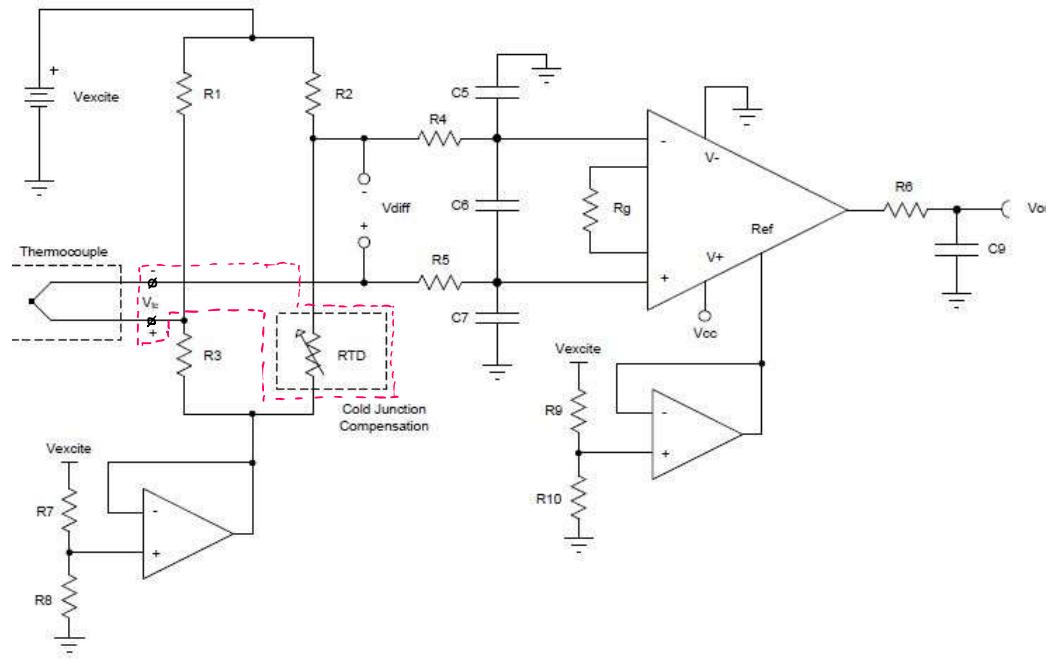


на напрежението на термодвойката когато топлият край е потопен в лед (0°C). Стойността на R_k зависи от чувствителността на термодвойката при температурата на студения край, например за тип J $R_k = 52\Omega$, за K – 41, T – 41, E – 61, S – 6 и за R – 6. Термодвойките са много нелинейни и затова стойността се подбира според най-вероятната температура на студения край. Клемите на

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 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 **не се събират** температури, а напрежения. 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 (таблица) 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, тази която се измерва.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, изчисляване на температурата от напрежението **според ITS-90**:

Повечето **термосензори** са нелинейни. Зависимостта на изходната величина от температурата се описва от полиноми от 3-ти ред, за най-линейните сензори, като 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:

Зависимостта която е необходима за изчисляване на температурата е обратната – от напрежението да се получи температура. „Инверсният” полином изглежда така:

$t_{90} = d_0 + d_1 E + d_2 E^2 + \dots + d_i E^i$ – температурата t_{90} се получава от напрежението E . В

таблицата са дадени коефициентите на една от най-популярните термодвойки – тип К:

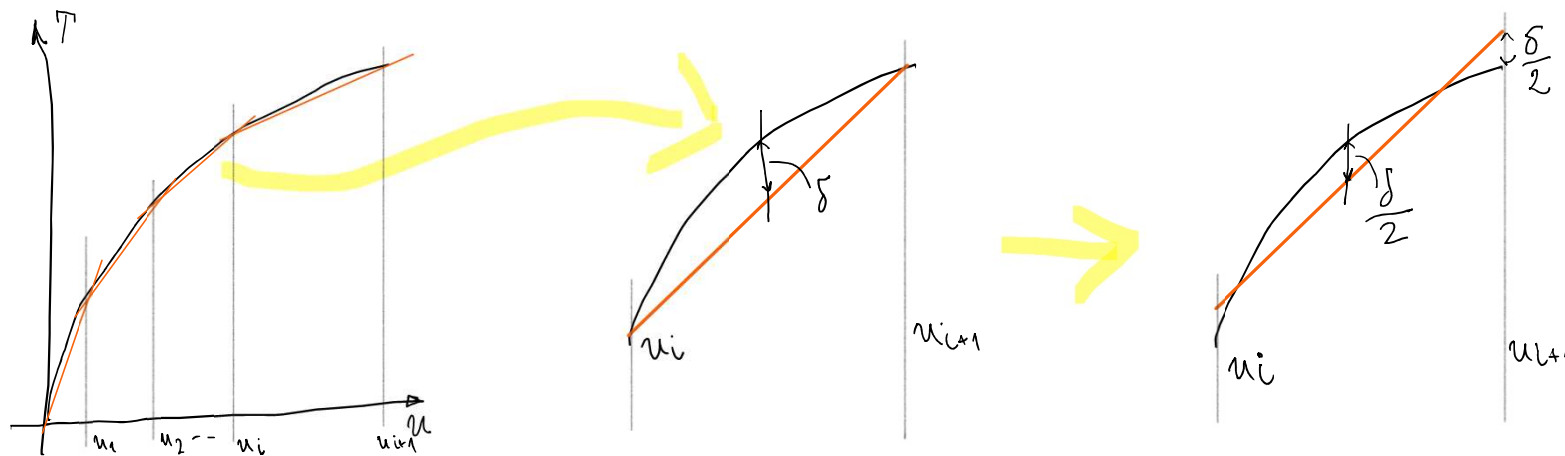
Temperature Range:	-200°C to 0°C	0°C to 500°C	500°C to 1372°C
Voltage Range	-5891 μV to 0 μV	0 μV to 20644 μV	20644 μV to 54886 μV
d_0	0.000 000 0	0.000 000 0	$-1.318\ 058 \times 10^2$
d_1	$2.517\ 346\ 2 \times 10^{-2}$	$508\ 355 \times 10^{-2}$	$4.830\ 222 \times 10^{-2}$
d_2	$-1.166\ 287\ 8 \times 10^{-6}$	$7.860\ 106 \times 10^{-8}$	$-1.646\ 031 \times 10^{-6}$
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. . .

Електронни устройства за измерване и управление

- Термодвойки, измерване на температурата с микроконтролери

Получената точност е всъщност математическата точност на апроксимацията. Когато се измерва, поради недостатъците на апаратната част (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. Апроксимацията може да бъде и с по-малка точност, 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.

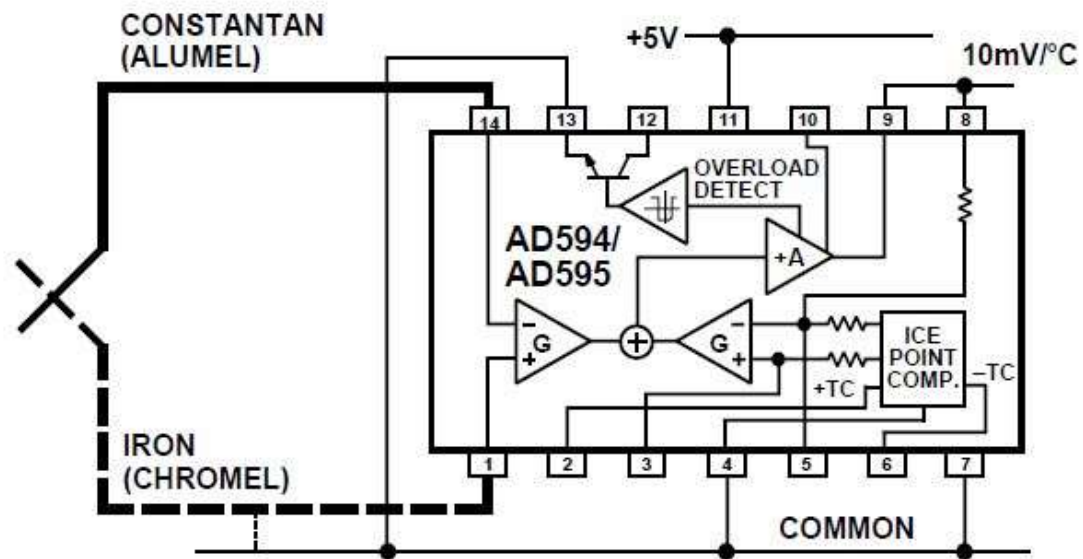
Получава се неточност от 11,5 μV \rightarrow ще отчетем 25°C вместо 25,28. Аналогично, ако приемем линейност от 0 до 100°C, за коефициента се получава 40,96 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, а грешката при 50°C $\rightarrow 2048 - 2023 = 25 \mu\text{V}$. Това е около 0,6°C, а при отнемстване на отсечката $\pm 0,3$.

Дали това е достатъчно зависи от предназначението и 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.



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

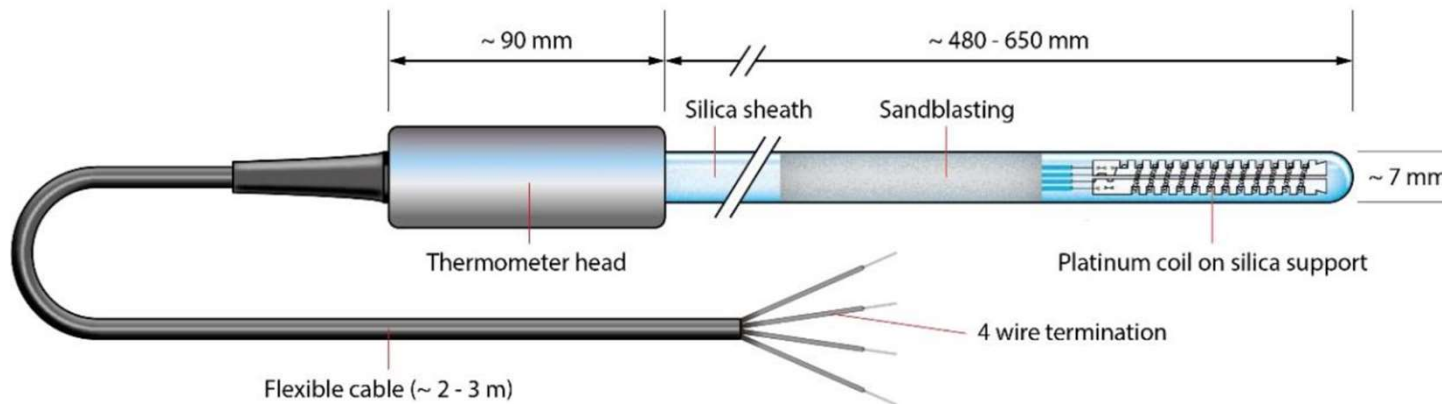
- **Термосъпротивления** – платина, никел, мед известни още като **RTD - Resistance Temperature Detectors**

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.



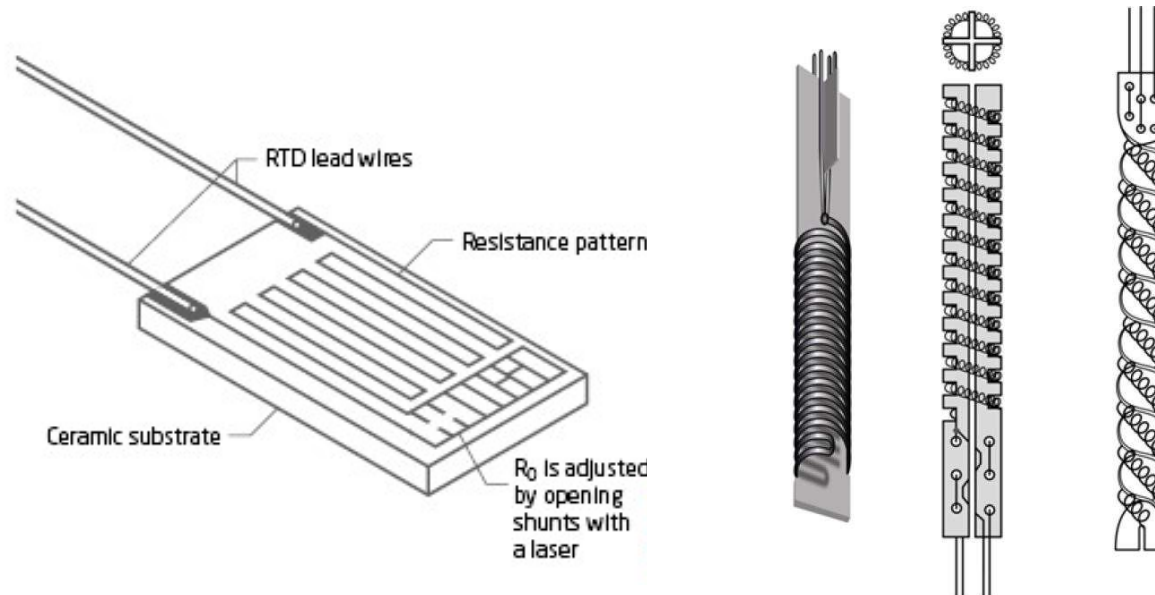
Електронни устройства за измерване и управление

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 монтира сензорът за компенсация на студения край (термодвойки), първичните преобразуватели и т.н.



Електронни устройства за измерване и управление



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

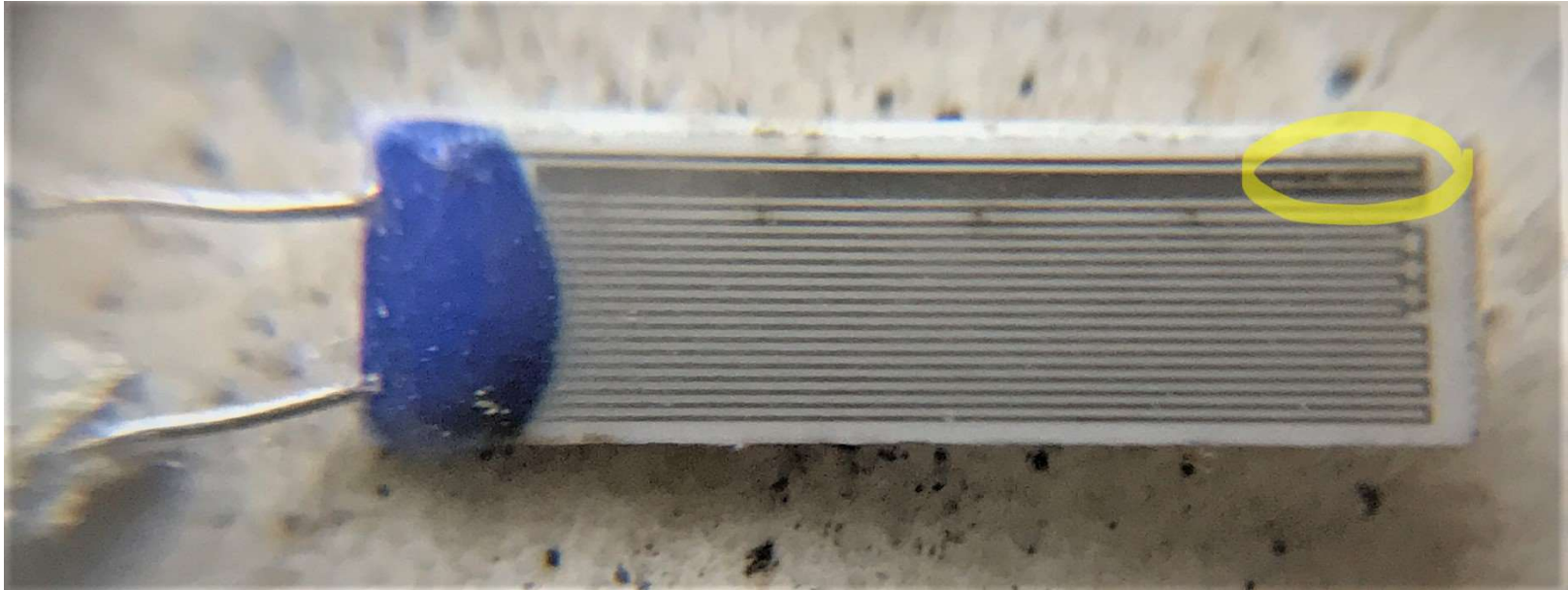
За $t > 0^\circ\text{C}$: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$, а за $t < 0^\circ\text{C}$: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + C (t - 100) t^3)$

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

Съпротивлението на Pt100 е 100Ω при 0°C и 138,5Ω 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:

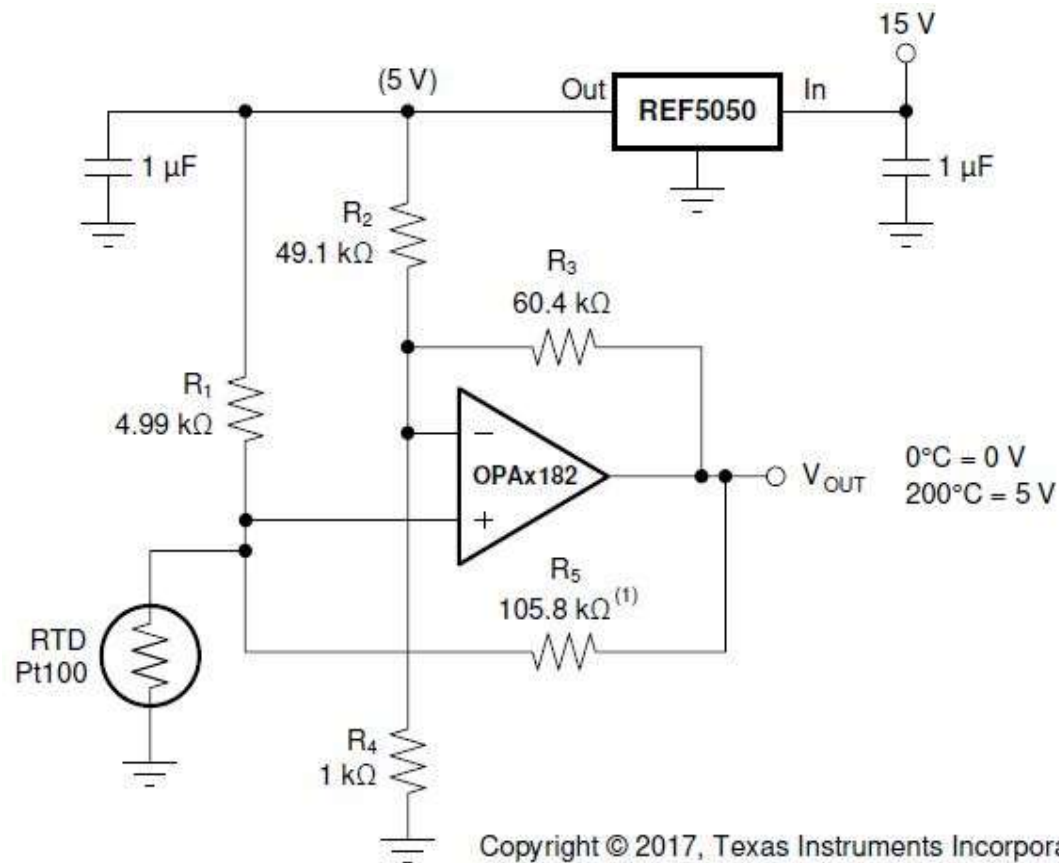
измерване на съпротивление, подходящ метод;

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

линеаризация.

Електронни устройства за измерване и управление

- Термосъпротивления, пример за апаратна (схемна) линеаризация:



Мостова схема (R , R_2 , R_4 , Pt100) е балансирана при 0°C.

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

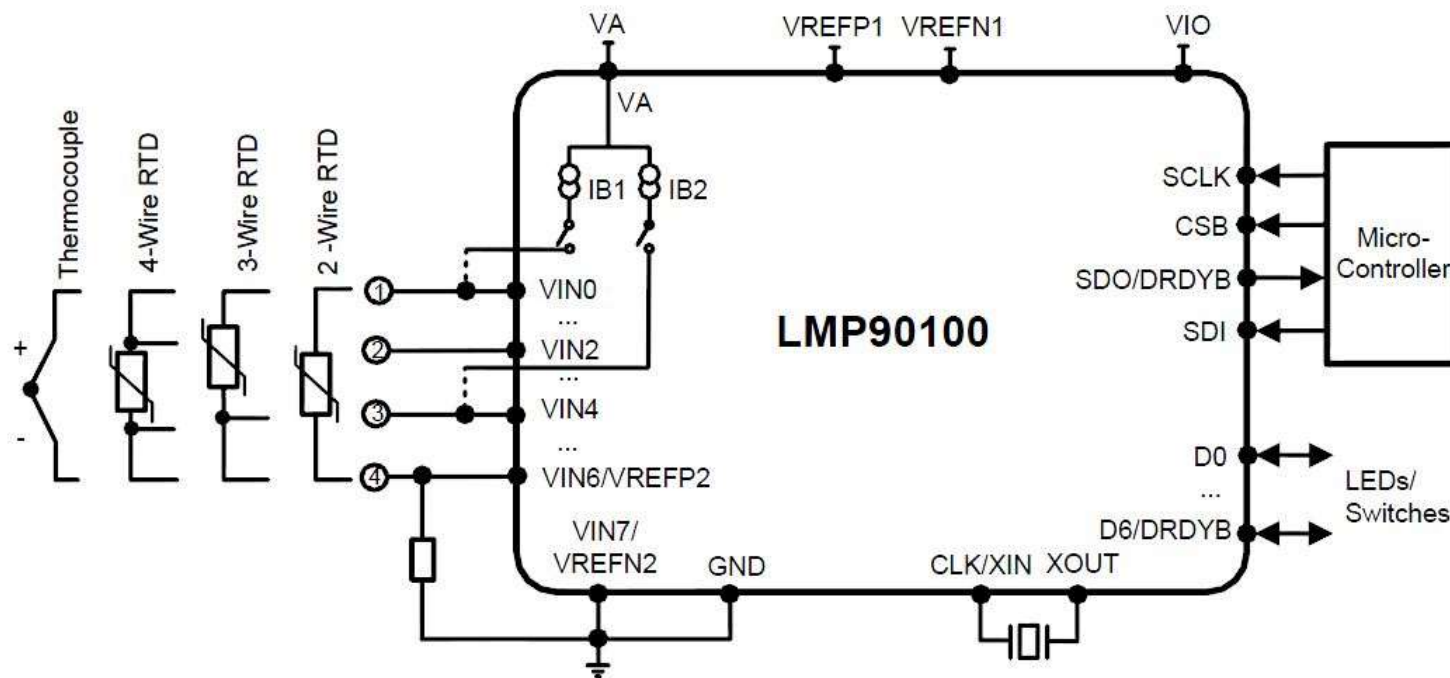
Положителната обратна връзка през R_5 променя предавателната характеристика и по този начин се компенсира нелинейността.

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 нелинейност:

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

Приложение, за измервателни цели и други – ограничители на ток, предпазители

за измерване и регулиране в тесен обхват

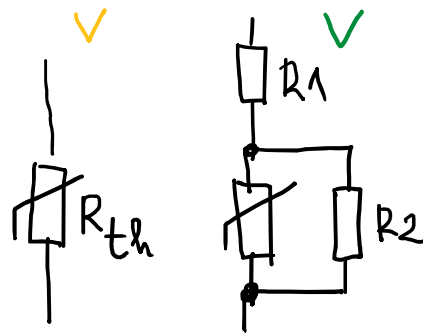
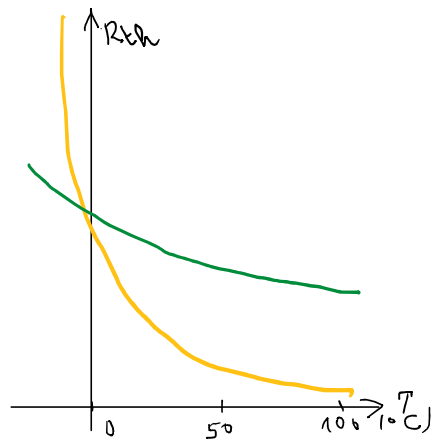
Режим на самонагриване за някои измервания;

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 на не е по-голяма от два пъти. 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 $-U_{ref}$.

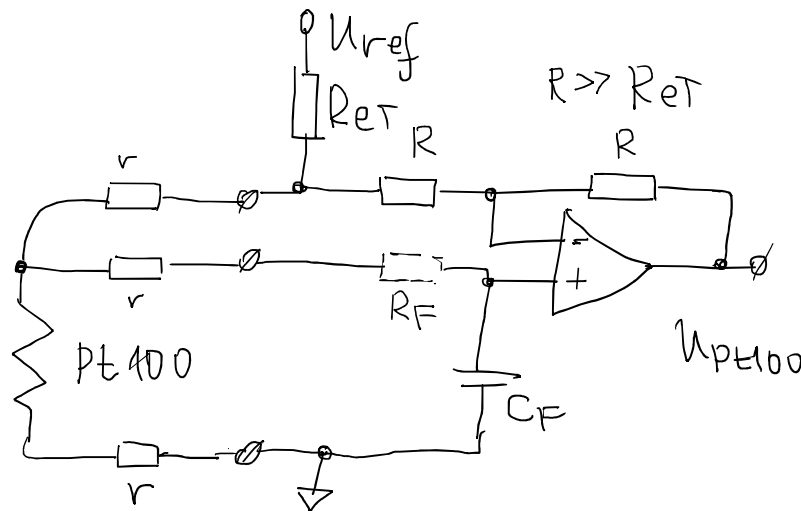
Определяне на цената на измерването – сензор и останалите задължителни елементи, цената на проектирането (софтуер) и производството (настройки).

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.



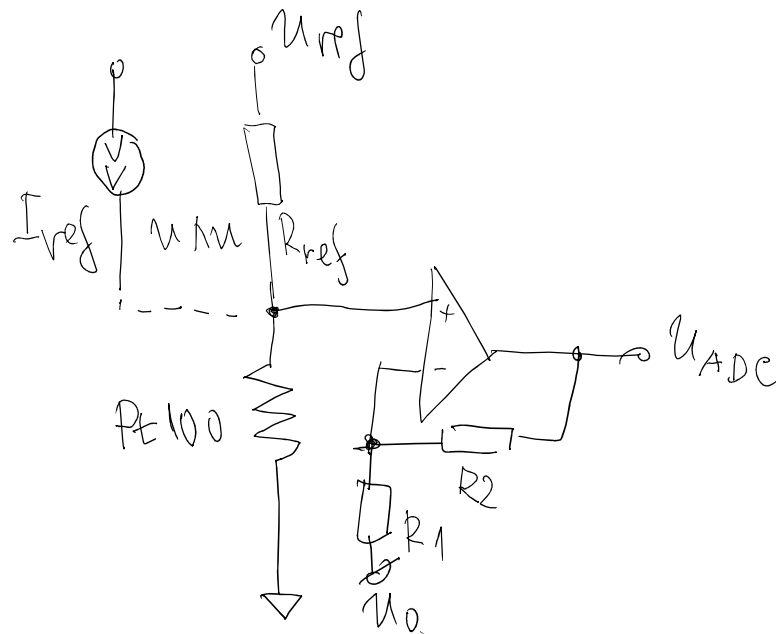
Схемата е за измерване на R_{Pt100} но всъщност е за измерване на съпротивления. $U_{Pt100} = U_{ref} \times R_{Pt100} / (R_{Pt100} + R_{ref})$. Ако U_{ref} е същото като на АЦП точността ще зависи само от R_{ref} (теоретично). Функцията U_{Pt100} от R_{Pt100} е нелинейна (ако $R_{ref} \gg R_{Pt100}$ 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 (R_2/R_1) и отместването U_0 . Това вече беше разгледана по-рано. В схемата да се има предвид:



1. Усилването се определя от U_{ref} на ADC и ΔU_x (от $\Delta Pt100$) -> $U_{ref}/\Delta U_x = (R_2/R_1 + 1)$;

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 R_2 трябва да има 100mV , а в/у R_1 от полученото от усилването R_2/R_1 . Така $U_0 = 100(1 + R_2/R_1)\text{mV}$.

3. Отчитат се толерансите на елементите.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на температура с термодвойки, **подход при 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;

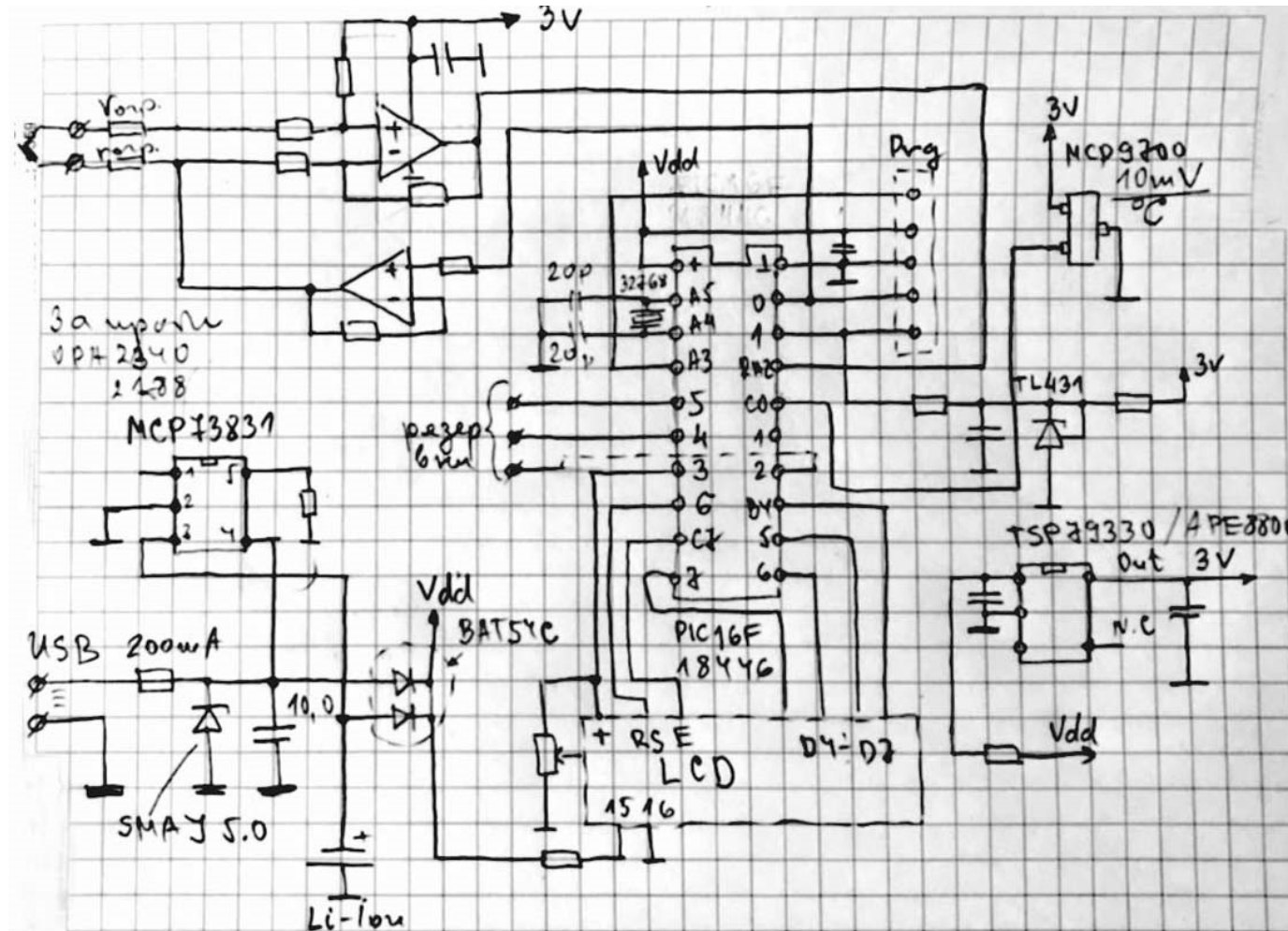
Обикновено се преминава **няколко пъти през анализ** на вариантите.

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 напрежение – ще 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.

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 само секунди след натискане на бутон;

Uref = 2,5V (TL431);

Захранване – Li-Ion 4,2V;

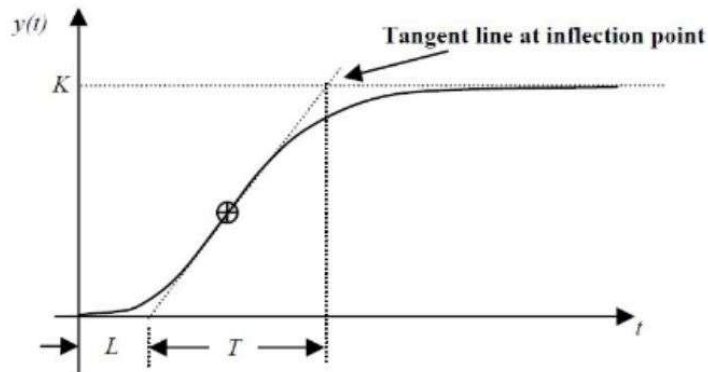
Софтуер – задачи с оглед минимална консумация.

Примерът на схемата е за работа с термодвойка но може да се ползва и с Pt100.

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 1942. 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

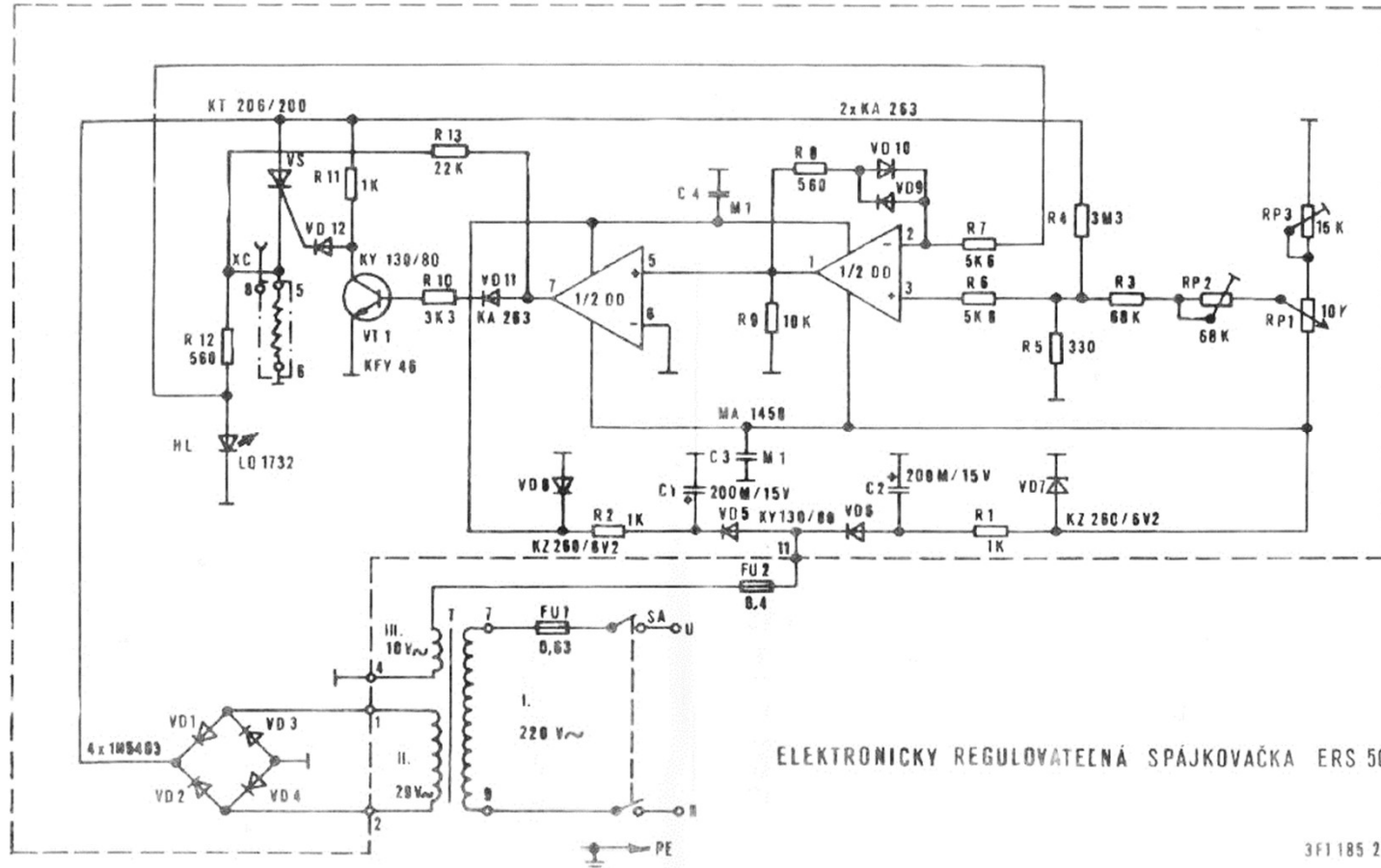
При малките стойности на T/L , когато управлението е трудно, може да се променят някои от съставните части на системата, да се промени видът на сензора или мястото му в обекта и т.н. Целта е да се намали закъснението L .

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. $100 \div 450^{\circ}\text{C}$,

точност – 20°C ,

захр. – мрежа 230V;

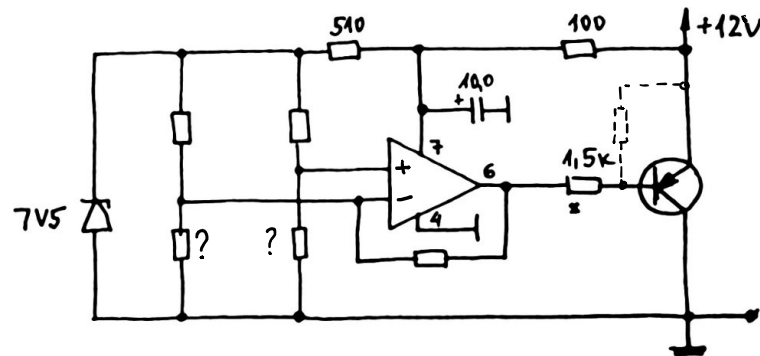
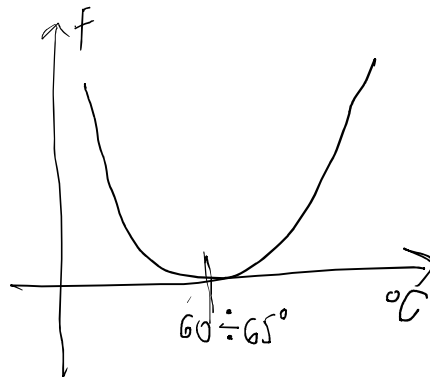
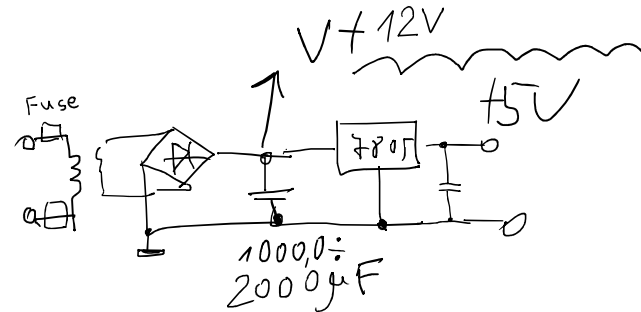
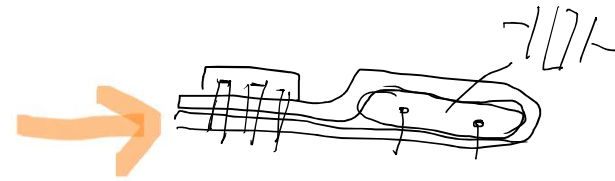
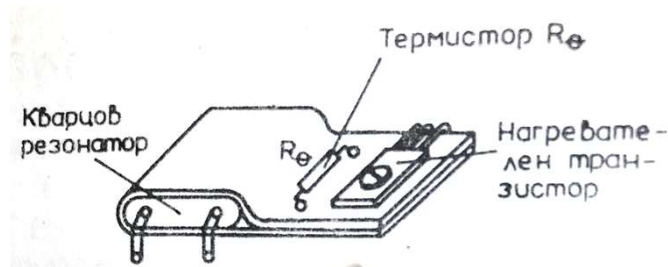
Нагревател от
константан, сензор
термодвойка
желязо - константан;

Нагревателят е и
част от сензора;

Тиристорно релейно
управление

Електронни устройства за измерване и управление

- Термостат за поддържане на температурата на кварцов генератор:



Параметри:

задание - 63°C ,

точност - $0,5^{\circ}\text{C}$, на

термистора - $0,1^{\circ}\text{C}$,

захранване - $7 \div 10 \text{ V}$;

Транзисторът е и нагревател.

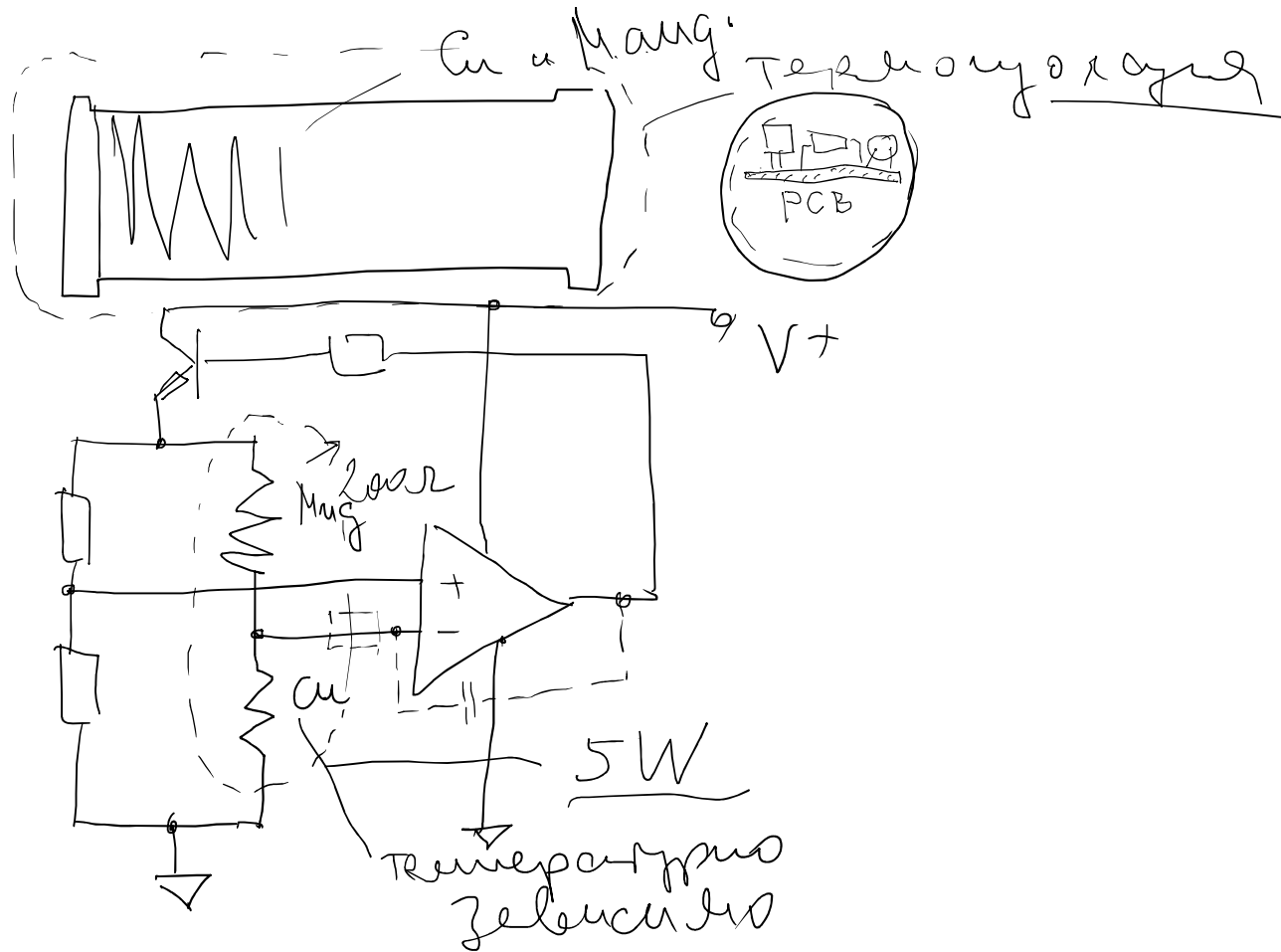
Резисторът с * ограничава
максималния ток.

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;