

Термосъпротивления.

Принципът на работа на тази група сензори се основава на зависимостта на съпротивлението на металите от температурата. Намират приложение платинени, медни и никелови термосензори. Тези на основата на платина (Pt) са известни като индустриален стандарт поради много добрите им качества. Другите (Cu, Ni) се използват когато изискванията не са много високи поради по-ниската им цена – например в абонатните станции на топлофикацията се използват медни резистори.

Терморезисторите от платина (Pt) се характеризират с:

- съпротивление 100Ω при 0 С (има 1000Ω, 2000Ω, ...) и 138,5Ω при 100 С.
- положителен температурен коефициент (TKR) 0,38-0,40 % на градус С.
- слаба нелинейност, в тесен обхват е по-малка от 0,1 С. При обхват от 200 С зависимостта се описва с функция от втори ред (коефициенти a, b), а за целия работен диапазон - от трети (a,b,c).
- много добра повторяемост на параметрите позволяваща взаимозаменяемост.
- стабилност във времето и устойчивост на външни въздействия.

По-подробни данни за този тип сензори има в допълнителните материали: *Termo1.pdf*, *Pt100.rar* и *TC_or_RTD.rar*.

Тези параметри на резисторите определят и изискванията към електронната апаратура с която ще се извършва измерването. Много разпространени са мостовите схеми при които лесно се отделя началният сигнал (съответстващ на 100Ω) като в изхода остава само изменението. Почти винаги се налага компенсиране на съпротивлението на свързващите проводници – те най-често са от мед, а нейният TKR е около 0,4% т.е е съизмерим с този на платината. Изисквания към електрониката:

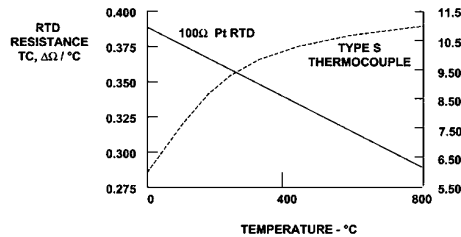
- схемата да е за измерване на съпротивление – омметър. Токът с който се извършва измерването трябва да е малък за да не загрява резистора. За точност около 0,1 С токът през резистора да е по-малък от 1mA.
- средна чувствителност - по-голяма от чувствителността на термодвойките, по-малка от тази на ПП сензори и значително по-малка от тази на термисторите.
- четири- или три-проводна схема на свързване за компенсация на свързващите проводници.
- схемно или програмно линеаризиране на характеристиката.

На графиката по-долу е показано изменението на чувствителността от температурата на Pt100 и на термодвойка. Сравнението показва значителното предимство на резистивния сензор – в целия обхват чувствителността се променя само от 0,3 до 0,4% за С. На схемата до тази графика пък е показано как свързващите проводници влияят върху измерването. Свързващите проводници добавят съпротивление със стойност която отговаря на изменение за съпротивлението на сензора при промяна на околната температура с 55 С. Това означава, че ще е необходима индивидуална настройка (нулиране и усилване) за всеки сензор което е неудобство, но може да се приложи. Промяната на съпротивлението на свързващите проводници от температурата обаче, няма как да се компенсира при използването на два проводника. Затова се използва четири-проводно свързване – два от проводниците се използват за пропускане на ток през сензора, а други два (които са свързани директно в двата края на Pt100) се използват за отвеждане на напрежението до волтметъра. Поради това, че входният ток на волтметъра е много малък, падът на напрежение върху тези проводници също е много малък. При този начин на мерене на практика грешката от свързващите проводници се отстранява напълно. Това става чрез оскъпяване – два проводника в повече. Ако се приеме (това обикновено е така), че напрежението върху двата захранващи проводника е еднакво, би могло да се използват три вместо четири проводника, като от изходното напрежение се извади пада на напрежение върху единия проводник. За това е необходимо да се използва подходяща схема на свързване.

Интересна схема на свързване е показана за измерване на съпротивление с високоразряден АЦП. Напрежението върху резистора (Pt100) се сравнява с напрежението върху еталонен резистор 6,25кΩ, като и двете напрежения се подават по отделни проводници. По този начин точността на измерване зависи само от еталонния резистор и качествата на АЦП. Не е нужно отделно опорно напрежение с високо качество.

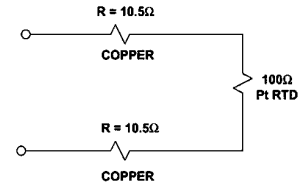
RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS (RTD)

- Platinum (Pt) the Most Common
- 100 Ω , 1000 Ω Standard Values
- Typical TC = 0.385% / °C,
0.385 Ω / °C for 100 Ω Pt RTD
- Good Linearity - Better than Thermocouple,
Easily Compensated



TYPE S
THERMOCOUPLE
SEEBECK
COEFFICIENT,
 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$

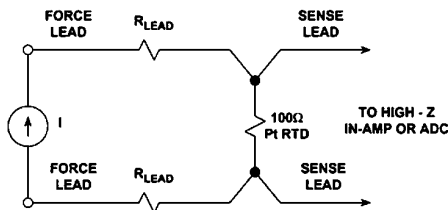
A 100 Ω Pt RTD WITH 100 FEET OF 30-GAUGE LEAD WIRES



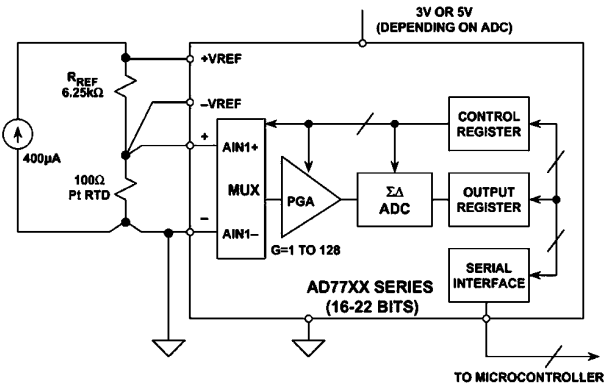
RESISTANCE TC OF COPPER = 0.40% / °C @ 20°C

RESISTANCE TC OF Pt RTD = 0.385% / °C @ 20°C

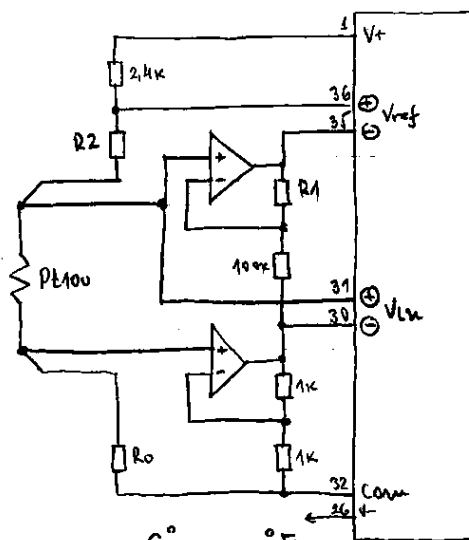
FOUR-WIRE OR KELVIN CONNECTION TO Pt RTD FOR ACCURATE MEASUREMENTS



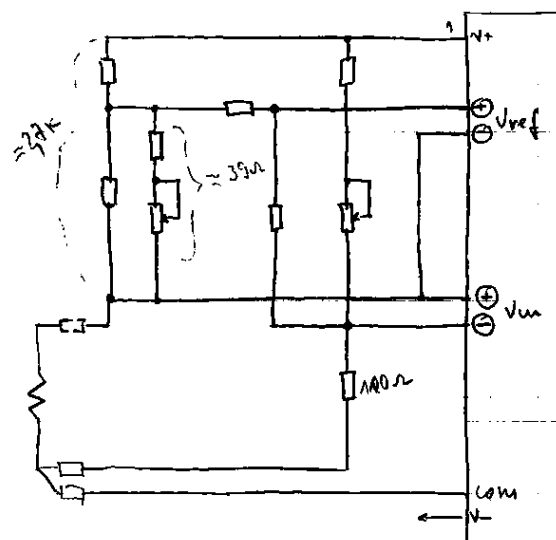
INTERFACING A Pt RTD TO A HIGH RESOLUTION ADC



За линеаризация често се използват схеми при които опорното напрежение е функция на температурата. Така се въвежда малка нелинейност с която се компенсира нелинейността на сензора – получава се грешка 0,1-0,2 С при обхват 0-100 С. Такива решения са дадени по-долу.



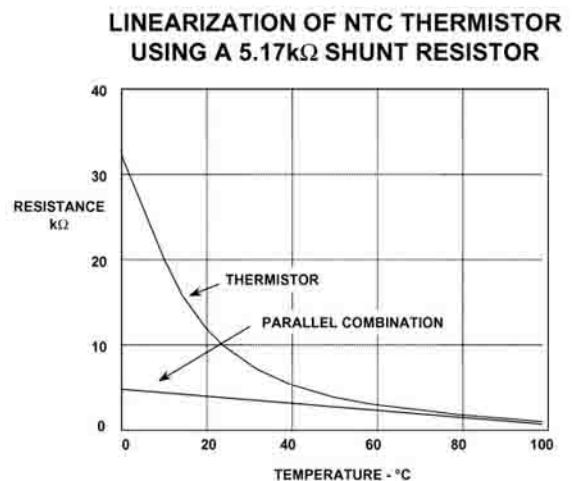
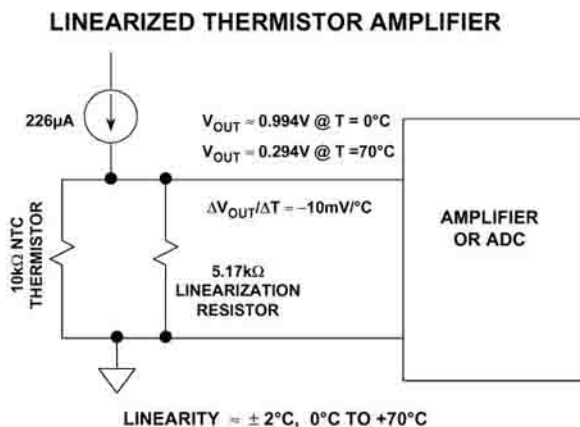
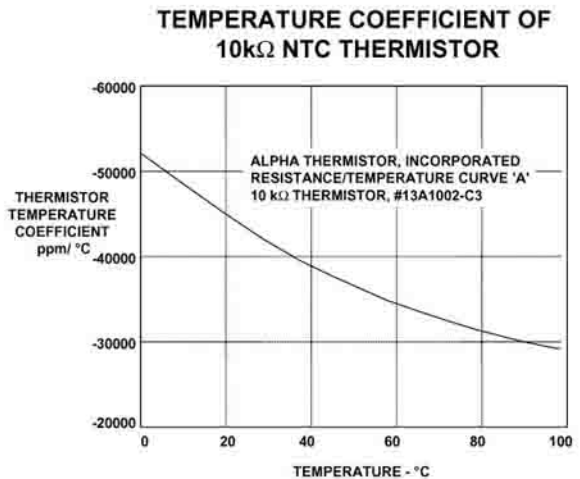
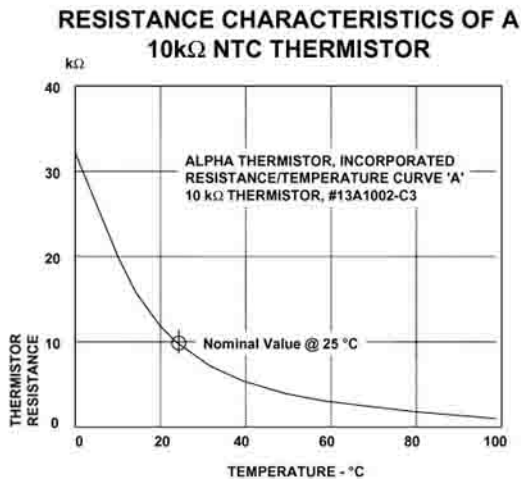
R_0	100	93,02
R_1	15,17k	9,34k
R_2	391,05	219,13



Друг начин е програмна компенсация с таблица или формула. Доколкото нелинейността е малка то и формулата не е сложна и се реализира сравнително лесно дори и с най-простите контролери.

Термистори.

Тези сензори се изработват от полупроводникови материали. Имат много голям обхват от стойности – от няколко Ω до няколко М Ω . Съпротивлението намалява от температурата с 3-5%/°C, т.е имат около 10 пъти по-голяма чувствителност в сравнение с Pt100. Температурният коефициент е отрицателен и се променя от температурата. Това прави термисторите едни от най-нелинейните сензори. На фигурите по-долу са показани как зависят от температурата съпротивлението и температурния коефициент на термистора.



За измервателни цели е задължително да се използват схеми за линеаризация. Обикновено това става с добавянето на резистори – серийно и паралелно. По-добрата линейност се получава за сметка на чувствителността. Подробно използването на термисторите е дадено в допълнителната литература - *AD7711_T.pdf* от *Termo_add.rar* и *betatherm.rar*.

При използването на термисторите трябва да се знае следното:

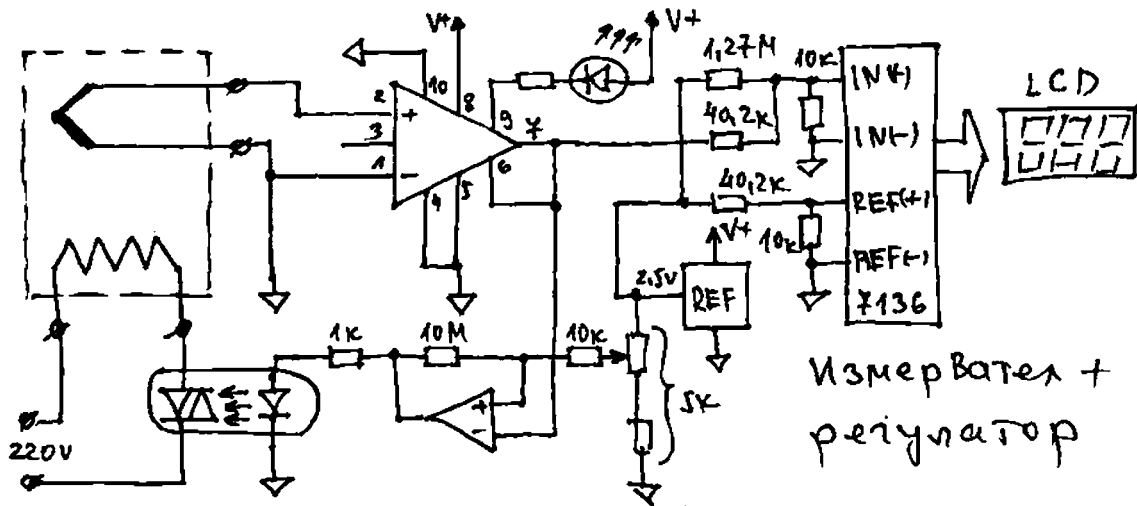
- това са сензори с голяма чувствителност с отрицателен TKR.
- характеризират се с голяма нелинейност.
- отделните екземпляри имат големи толеранси (10-20%), това налага индивидуална настройка при смяна на сензора.

Без предварителна линеаризация тези сензори се използват в схеми на терморегулатори, особено когато се поддържа температурата в тесен обхват.

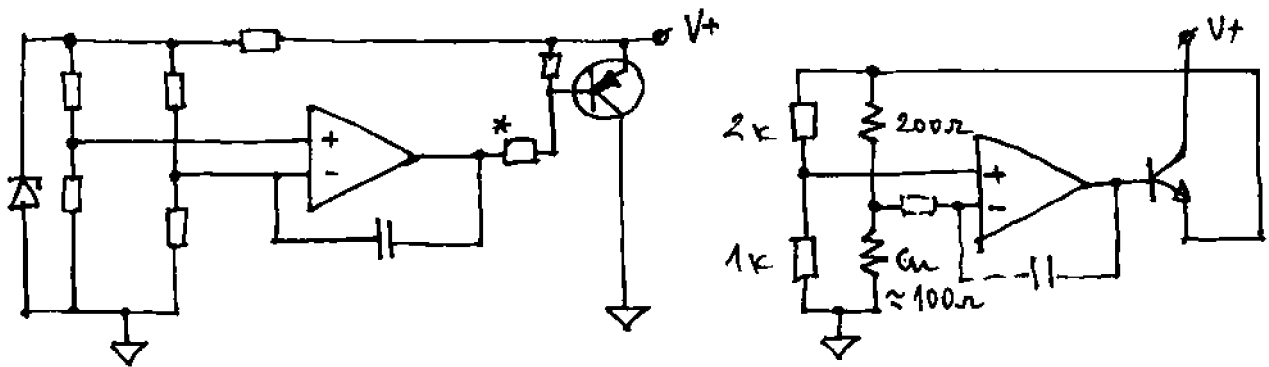
При подготовка за изпита по дисциплината трябва да се отдели внимание на схемите за линеаризация и на основните параметри на термисторите като сензори.

Примери на схеми за измерване и регулиране на температура.

На първата схема е показан терморегулатор с оптотриак като управляващ елемент. Използвана е специализирана схема за измерване с термодвойки AD594/595.



На изхода на AD594 се получава сигнал пропорционален на температурата. След това са включени две независими схеми – едната за цифрова индикация, а другата регулатор. Индикацията използва специализирана схема ICL7136 на фирма INTERSIL която представлява цифров волтметър. Стойностите на резисторите са подбрани така, че да се получи показание в градуси. Регулаторът представлява компаратор с хистерезис (положителна обратна връзка), като температурата се задава с потенциометър.

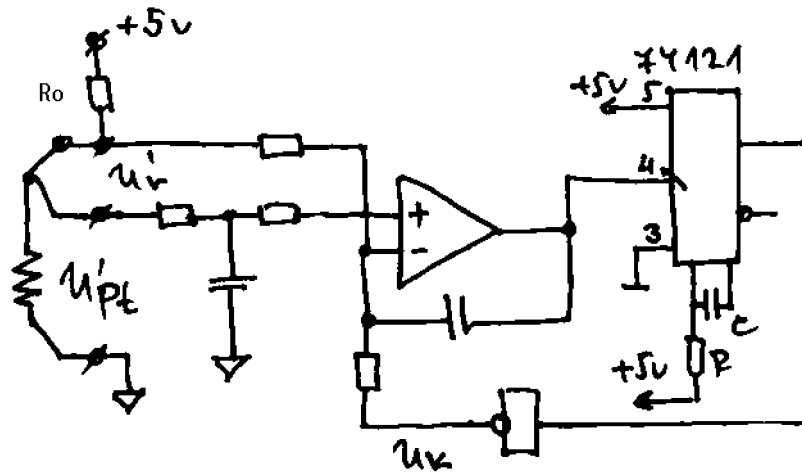


На схемите по-горе са показани два регулатора, които имат интересно конструктивно изпълнение. Лявата схема е с термистор като сензор. Нагревателният елемент е мощният транзистор. Термисторът е разположен директно върху корпуса на транзистора. Резисторът който е означен със звездичка служи за настройка на началния ток през транзистора.

Втората схема използва меден резистор като сензор. Медният проводник е навит върху цилиндър (термостатираното тяло) и едновременно е сензор и нагревател. Резисторът 200Ω също е нагревател и е от манганин (нулев ТКР). При показаните стойности на схемата поддържаната температура ще е тази при която медният резистор е със стойност 100Ω.

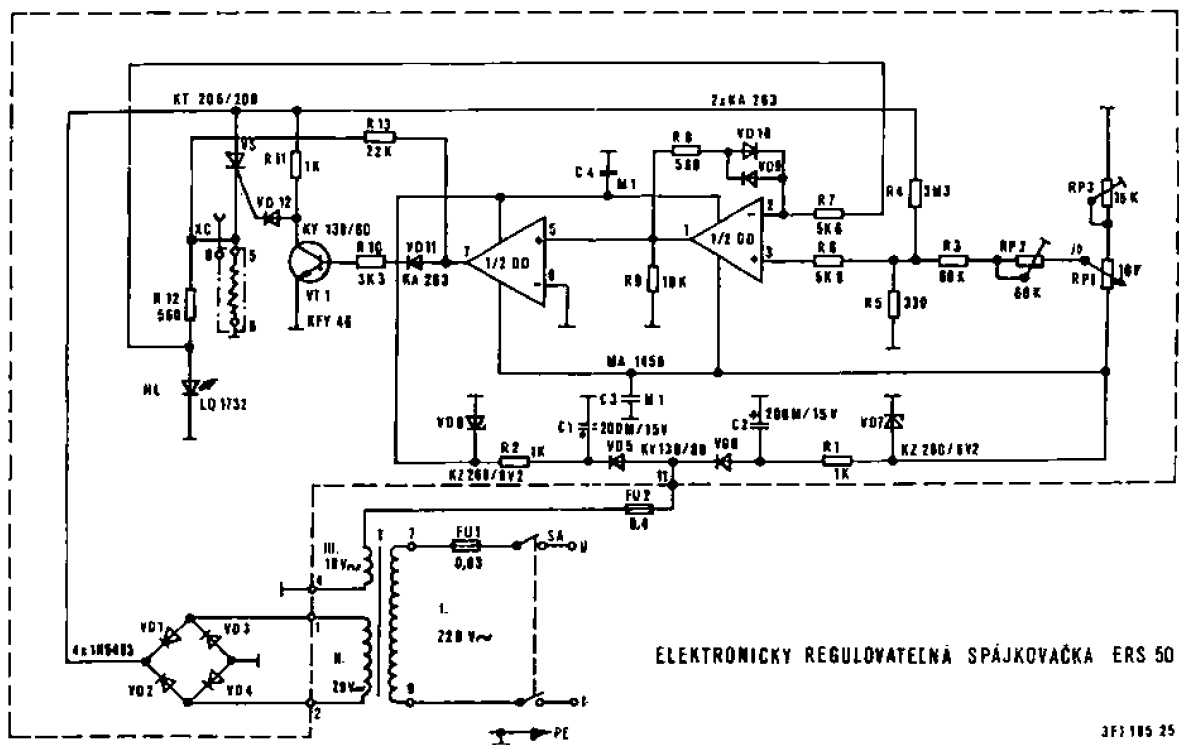
Схемата на следващата страница е измервател на температура с Pt100 като е използвана три-проводна схема на свързване. Операционният усилвател е свързан така, че от напрежението върху Pt100 (U'_{pt}) се изважда напрежението върху свързващия проводник (U'_r). Напрежението U'_{pt} е сума от напрежението върху сензора и това върху другия свързващ проводник. Ако двете напрежения върху свързващите проводници са равни за преобразуване се подава напрежението върху сензора. Чакащият мултивибратор SN74121 изработва импулси с продължителност t която

се задава от RC групата. Средната стойност на напрежението в изхода на инвертора е $V_c.t/T$ където T е периодът. Напрежението се сравнява с това върху Pt100: $U_{pt} = V_c.Pt100/(R_o+Pt100)$. Ако двете формули се изравнят се получава $V_c.Pt100/(R_o+Pt100) = V_c.t/T$. След преобразуване се вижда, че изходната честота ($1/T$) е функция на Pt100. Ако $R_o \gg Pt100$, зависимостта е близка до стандартната, ако не е, се получава допълнителна нелинейност в характеристиката.



Основни източници на грешка в този преобразувател са стабилността на импулса, дрейфа на ОУ, както и стабилността на резистора R_o от температурата и във времето.

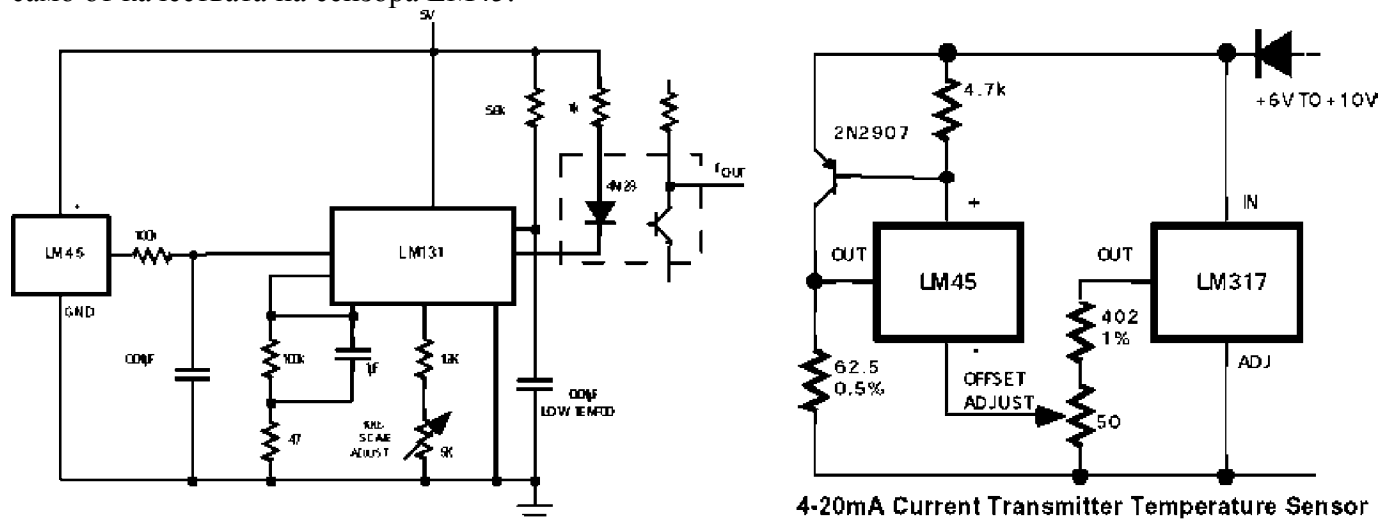
Схемата по-долу е на поялник с регулатор. Сензорът е термодвойка тип J, която се образува между корпуса (желязна тръбичка) на нагревателя и самия нагревател (константан). Проблем в схемата е, че полезният сигнал (20-25mV) се смесва с напрежението за нагряване на поялника – около 40V. Сравнението дали е достигната зададената температура може да се прави само когато мрежовото напрежение преминава през 0V. През останалото време ОУ са претоварени (наситени) и затова трябва да са достатъчно бързи - за да излизат навреме от насищане. Ако температурата е по-ниска от зададената тиристорът се включва. Паралелно на нагревателя има светодиоден индикатор който свети когато нагревателят нагрява.



ELECTRONICKY REGULOVATELNÁ SPÁJKOVAČKA ERS 50

Поялникът се настройва с тример-потенциометрите RP3 и RP2. Първият задава началната работна температура (T_{min}), а вторият ширината на обхвата ($T_{max}-T_{min}$). Обикновено температурата се задава от 150 до 400 C. Двете настройки не са напълно независими, налагат се няколко итерации.

Схемите по-долу показват две приложения за измерване на температура с ПП сензор LM45. Едната схема е преобразувател на температура в честота. Изходният сигнал на LM45 е 10mV/ C. Напрежението пропорционално на температурата се подава на специализираната схема LM131 (прецизен преобразувател U-f). При подходящо подбрани и качествени елементи линейността на преобразуване на тази схема е около 0.01%, което означава, че точността на измерване ще зависи само от качествата на сензора LM45.



Другата схема е предназначена за токова връзка 4-20mA. Схемата дава 160uA/ C, а това съответства на разрешаваща способност 0,1 C и обхват 100 C (при токовата връзка за сигнала са отделени 16mA). Тази чувствителност на изхода се получава от 10mV (изходен сигнал на LM45 за един градус C) и от резистора 62,5Ω ($10\text{mV}/62,5=160\text{uA}$). С тример-потенциометъра 50Ω се настройва нулевият ток – 4mA. Тази схема не е от най-прецизните защото разчита на постоянна консумация на сензора LM45 и на стабилизатора LM317 при промяна на захранващото напрежение и на околната температура.

Въпроси:

1. Какво характерно за термосъпротивлението като сензор?
2. Какви са основните параметри на термисторите като сензори?
3. Какво се изисква от електронните блокове работещи с термосъпротивления?
4. Защо е необходимо да се линеаризира характеристиката на термисторите?
5. Дайте примери на измерватели (регулатори) с различни сензори!