

Snímače teploty

Měření teploty patří k jednomu z nejdůležitějších oborů měření, protože je základem řízení řady technologických procesů. Pro měření teploty jsou stanoveny dvě stupnice:

- Termodynamická** – absolutní Kelvinova stupnice (K). Základním bodem je rovnovážný stav mezi třetími fázemi H₂O (led, voda, pára),
-273,16°C = 1K.
- Mezinárodní teplotní stupnice** – určena pro praktické použití. Teplota se v ní udává ve stupních Celsia (°C). Je založena šesti pevných bodech:

Časová konstanta snímačů teploty. Změní-li se měřená teplota sledovaného prostředí skokem o hodnotu ΔT , bude časový průběh údaje snímače teploty dán exponenciálou, vyjádřenou vztahem:

$$T = T_K - (T_K - T_0) * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

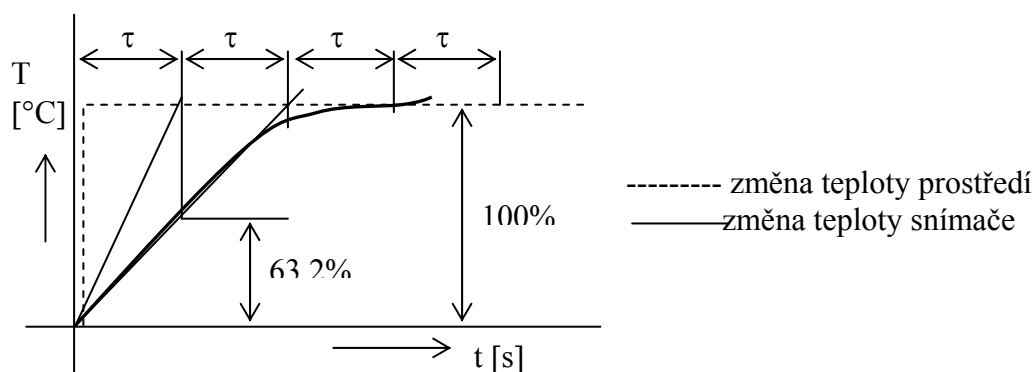
T_0 – počáteční hodnota před změnou

T_K – konečná hodnota po změně

t – čas měřený od počátku změny

τ - časová konstanta

Časová konstanta je doba, za kterou by snímač teploty nabyl stejné teploty jako je teplota měřeného prostředí, kdyby rychlost změny jeho údaje byla stále stejná jako na počátku. Grafická vyjádření průběhu oteplovací křivky snímače teploty (obr.:1)



Obr. 1

Grafické stanovení časové konstanty je znázorněno na (obr.:1). Časová konstanta je doba, za kterou snímač dosáhne teploty rovnající se 63,2% původní teplotního rozdílu. Jak je zřejmé dojde k ustálení teploty za dobu rovnající se prakticky 4τ .

Rozdělení snímačů teploty

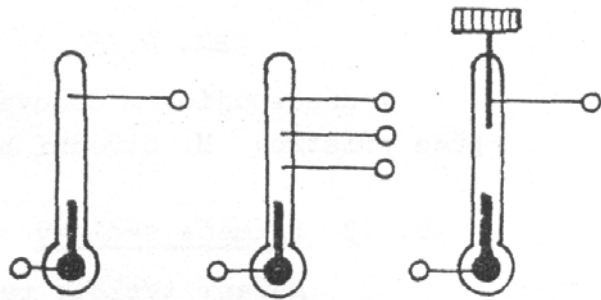
Při změně teploty se mění některé vlastnosti látek tuhých, kapalin a plynů. Tyto změny je možno využít pro měření teploty. Podle toho na které vlastnosti snímače teploty reagují je dělíme takto:

- 1) *Snímače teploty dilatační* (skleněné, tyčové, dvojkovové)
- 2) *Snímače teploty tlakové* (kapalinové, plynové, parotlačné)
- 3) *Snímače teploty odporové*
- 3) *Snímače teploty termoelektrické*
- 4) *Snímače teploty bezdotykové* (pyrometry, fotoelektrické)

Dilatační snímače teploty - **kapalinové dilatační teploměry** využívají změny objemu kapaliny v závislosti na teplotě. Podle druhu pracovní látky rozeznáváme teploměry rtuťové, alkoholové, pentanové, cínové atd. Pracovní rozsah je u nich omezen bodem tání a bodem varu teploměrné náplně.

Pro – rtuť	–38 až +365 °C
etylalkohol	–100 až +60 °C
pentan	–190 až +15 °C

Pro regulační účely jsou rtuťové teploměry vybaveny kontakty, buď pevně zatavenými s jedním nebo více rozsahy, nebo pohyblivými (obr.:2).



Obr.2

Tyčové dilatační teploměry využívají změny délky pevné látky v závislosti na teplotě. Změna délky tyče je dána vztahem:

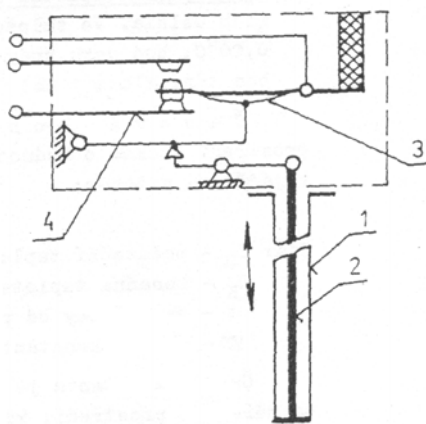
$$l_2 = l_1 [1 + \alpha (T_2 - T_1)]$$

l_2 – délka tyče při teplotě T_2

l_1 – délka tyče při teplotě T_1

α - teplotní součinitel délkové roztažnosti

Provedení tyčového termostatu je na (obr.3). Tyč 2 a trubka 1 jsou souose uloženy a na jednom konci pevně spojeny. Trubka 1 bývá zhotovena z materiálu s velkým součinitelem roztažnosti (mosaz, hliník, ocel). Střední tyč je z materiálu s velmi malou roztažností (invar). Při teplotní dilataci tyč pohybuje pákovými převody kontaktního systému. Aby docházelo k mžikovému přepínání je páka kontaktů 3 z bronzového pera zvlášť konstrukčně řešena pro tento účel. Narůstající tlak tyče při změně teploty způsobí při určité mezní teplotě mžikové přepnutí kontaktů 4.



Obr. 3

Horní hranice teploty u tyčových teploměrů závisí na materiálu dilatačního stonku. Pro hliník a mosaz je to 300 °C. pro ocel 500°C.

Dvojkovové (bimetalické) teploměry jsou založeny na deformaci dvojkovového pásku. Deformace dvojkovového pásku vlivem změny teploty $\Delta T = T_2 - T_1$ je dána výrazem:

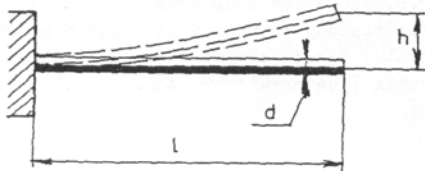
$$h = k \frac{l^2}{d} (T_2 - T_1) * 10^{-4}$$

Prohnutí h viz (obr.:4) je funkcí těchto veličin:

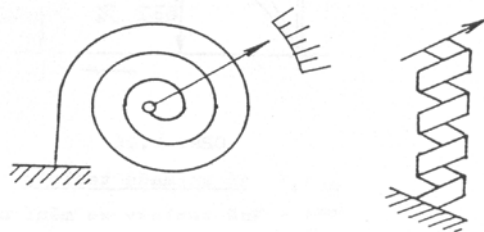
k - součinitel prohnutí dané dvojice kovů

l - délka pásku

d - tloušťka pásku



Obr. 4

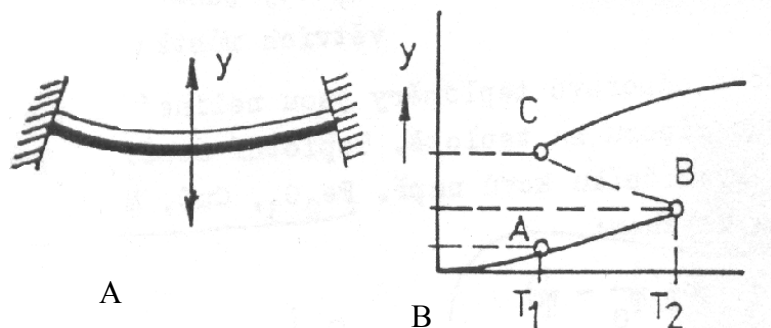


Obr. 5

Z uvedených vztahu vyplývá, že velikost deformace pásku je tím větší, čím je větší délka pásku. Aby se zvýšila citlivost, prodlužuje se dvojkovový pásek stočením do spirály nebo šroubovice viz. (obr.:5). Toto uspořádání se používá u dvojkovových teploměrů. Snímače tohoto typu jsou používány pro sledování teplot do 50°C. Dvojice kovů bývá pevně spojena slisováním. Jako pasivní materiál (s malou teplotní roztažností) se používá slitina železo-nikl (invar). Aktivní materiál bývá obvykle měď, případně ocel pro vyšší teploty.

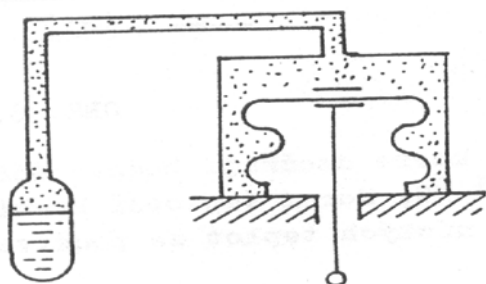
V případě termostatů využívajících dvojkovových pásku je třeba zajistit **mžikové přepínání kontaktů**. Toho se dosáhne pevným uchycením obou konců pásku (obr.:6 a). Pracovní charakteristika je na (obr.:6 b). Při zvyšování teploty narůstá pnutí v pevně uchyceném bimetalickém pásku. Při teplotě T_1 (bod A) je deformace nepatrná vlivem pevného uchycení. Při dalším nepatrném zvýšení teploty na hodnotu T_2 (**kritický bod B**) dojde náhle ke změně výchylky do bodu C. Další zvyšování teploty vede opět k nepatrné deformaci. Při ochlazení

dochází k opačnému jevu. Zpětné přepnutí nastává při nižší kritické teplotě. Bimetalické termostaty mají proto při své činnosti určitou hysterezi.



Obr. 6

Tlakové snímače teploty - mohou být plynové, parotlačné nebo kapalinové. Využívají změny tlaku kapaliny, plynu nebo par v uzavřené nádobce při změnách teploty. Princip je uveden na (obr.:7). Tlak par, plynu nebo kapaliny se převádí pomocí tlakoměrných čidel např. prostřednictvím vlnovce na mechanický pohyb a přepínání kontaktů. Tyto snímače jsou součástí různých termostátů nebo přímočinných regulátorů.



Obr. 7

Odporové snímače teploty - využívají vlastností kovů a polovodičů u kterých se el. odpor mění s teplotou. U kovů el. odpor se zvyšování teploty stoupá (α je kladné), u polovodičů, elektrolytů a uhlíků klesá (α je záporné). Pro kovy je vztah mezi teplotou a odporem vyjádřen rovnicí:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta T + \beta \Delta T^2)$$

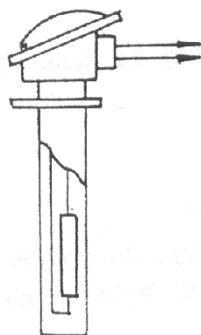
R_0 – odpor při teplotě 0°C

T – teplota ve $^\circ\text{C}$

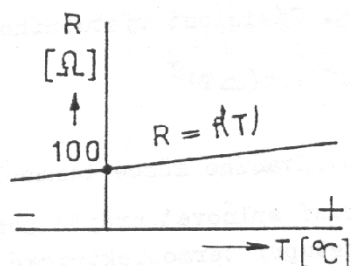
α, β - teplotní součinitelé odporu závisející na použitém materiálu.

Pro praktické účely a měření v užším rozsahu se obvykle kvadratický člen vypouští. Uvedený vztah umožňuje vypočítat teplotu známe-li odpor při teplotě 0°C a při měřené teplotě. Měrný element odporových teploměrů je zhotoven z tenkého drátku (platina nebo měď).

Základní odpor, tj. odpor při 0°C je u snímačů obvykle 100Ω . Např. PT 100. Měrné odpory jsou navinuty bifilárně (bezindukčně) na keramické, skleněné nebo papírové podložce nebo slídě. Vinutí je opatřeno ochranným lakem nebo jinou izolací. Vlastní měrný odpor je chráněn před vlivem okolního prostředí ochrannou armaturou. Schématické uspořádání je na (obr.:8). Závislost odporu na teplotě pro tyto teploměry je na (obr.:9).

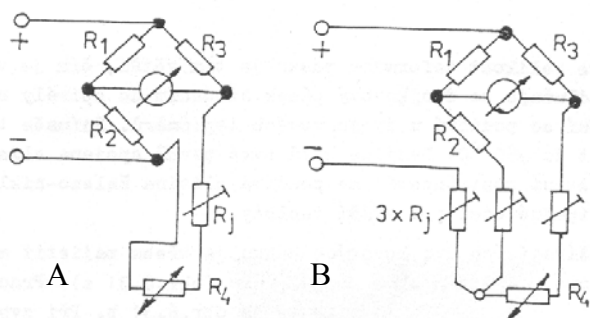


Obr. 8



Obr. 9

Rozsah měření teploty bývá -200 až $+800^{\circ}\text{C}$. Připojení odporového snímače k měřicímu přístroji se provádí buď jako dvou vodičové, nebo třívodičové. Pro měření se obvykle používá měřící přístroj s otočnou cívku, zapojený v uhlopříčce odporového můstku. Změna odporu vlivem změny teploty způsobí rozvážení můstku, které se indikuje měřícím přístrojem. Schéma **dvouvodičového** přístroje odporového snímače teploty je na (obr.:10 a). Jelikož se odpor vedení mezi přístrojem a snímačem vlivem teplotních změn okolí mění, vzniká chyba měření. Tento způsob připojení se proto používá pouze pro kratší vzdálenosti mezi snímačem a přístrojem a pro větší rozsahy teplot, kde je chyba vzhledem k rozsahu relativně menší. Zavádíme proto justovací odpor k vedení, kterým se nastaví konstantní velikost vedení 20Ω . Pro měření v malých rozsazích a delších vzdálenostech volíme **třívodičové** připojení odporového snímače teploty (obr.:10 b). Třetí vodič je připojen v sousední větvi a změny odporu vlivem změn okolní teploty působí současně v sousedních větvích můstku a tím se navzájem ruší.



Obr. 10

Termistory - polovodičové odporové teploměry jsou nelineární polovodičové součástky s velkou závislostí elektrického odporu na teplotě. Teplotní součinitel odporu u nich až 50x větší než u kovů. Vyrábí se z kysličníků kovů např. Fe_2O_3 , CuO , MnO , Závislost odporu na teplotě je u termistoru dána vztahem:

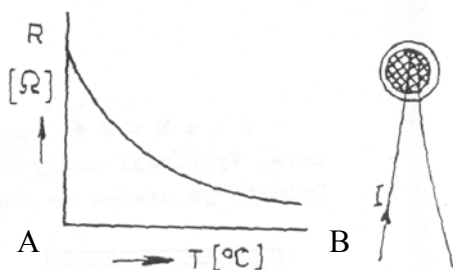
$$R = R_0 * e^{-Bt(1/T_0 - 1/t)}$$

R_0 – odpor termistoru při teplotě T_0 (K)

R – odpor termistoru při teplotě T (K)

Bt – materiálová konstanta

Grafické vyjádření této závislosti je na (obr.:11 a). Při malých změnách teploty můžeme teplotní závislost odporu považovat za lineární. Schématické znázornění termistoru je na (obr.:11 b). Perlička z polovodičového materiálu je opatřena ochranným obalem (skleněným). Do termistoru jsou zataveny přívodní drátky. Výhodou termistoru jsou velmi malé rozměry, až $0,3 \text{ mm}^3$, které umožňují bodové měření teploty a neovlivňují teplotu pole. Jejich citlivost je až $10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$. Horní teplotní hranice je až 200°C při speciálních aplikacích až 10°C . V oblasti nízkých teplot se používají pro rozsah 4 až 10 K.



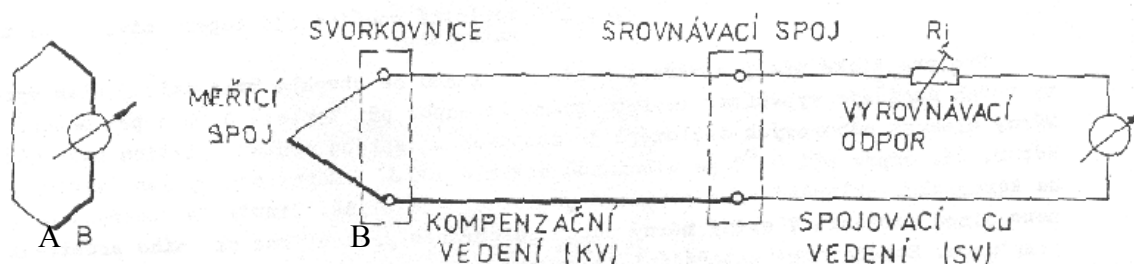
Obr. 11

Termoelektrické snímače teploty - jejich základem je termoelektrický článek. Je vytvořen spojením dvou vodičů podle (obr.:12 a). Za předpokladů, že teplota spoje A (studeného, srovnávacího) se mění, bude napětí v obvodu určovat spoj B - měrný konce termoelektrického článku. Závislost výstupního napětí je dána vztahem:

$$U = a + b\Delta T + c(\Delta T)^2$$

a, b, c – jsou konstanty

T – rozdíl teploty měrného a srovnávacího konce termočlánku.



Obr.12

Dvojice kovů pro výrobu termočlánků musí splňovat určité požadavky:

- odolnost proti korozním vlivům a požadavek
- výstupní termoelektrické napětí co největší

Základní parametry používaných termočlánků:

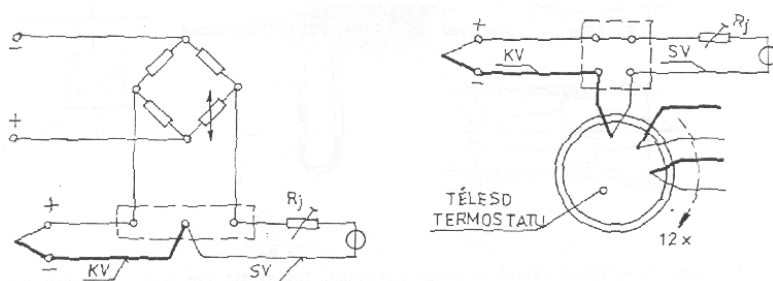
Termoelektrický článek	Rozsah teplot	Termoel.napětí (mV/100°C)	Barevné označení	Krátkodobé přetížení
T (Cu – Ko)	-200 až 400°C	4,25	Hnědá	600°C
J (Fe – Ko)	-200 až 600°C	5,37	Modrá	900°C
K (ch – a)	-50 až 1000°C	4,8	Žlutá (zelená)	1300°C
S (PtRh – Pt)	0 až 1300°C	0,64	bílá	1600°C
B (PtRh30 – PtRh6)	1000 až 1600°C			1800°C

V názvu termočlánku se na prvním místě udává kladná elektroda. Pro měření vysokých teplot se používá též nekovových termočlánků. Výchozím materiálem je grafit, karbid křemíku a bóru. Tyto termočlánky se používají pro měření teplot v elektrických pecích a v jaderných reaktorech.

Měrné tělísko termočlánku bývá vloženo do ochranné armatury, podobně jako u odporových snímačů teploty (obr.:9 a). na (obr.:12 b) je schéma obvodu termoelektrického článku

s měřicím přístrojem. Jsou zde vyznačena jednotlivá funkční místa obvodu. Kompenzační vedení v obvodu slouží pro posunutí srovnávacího konce termočlánku z místa měření teploty až do místa, kde se provádí kompenzace vlivu teploty okolí na srovnávací spoj. U termočlánků z obecných kovů se používá kompenzační vedení ze stejných kovů jako základní termočlánek. U článků platinové řady musí být vedení z náhradních kovů např. Cu a Ni. Termoelektrické napětí této dvojice musí být shodné s termoelektrickým napětím článku PtRh-Pt v rozmezí teplot 0 až 200°C.

Spojovací vedení slouží k připojení měřícího přístroje ke svorkovnici srovnávacího spoje a bývá z měděného vodiče. Přesnost měření závisí na tom do jaké míry je udržována teplota studeného spoje na konstantní teplotě. V laboratorních podmínkách se většinou udržuje teplota srovnávacího spoje na konstantní teplotě pomocí ledu a destilované vody. V provozních podmínkách se provádí kompenzace pomocí kompenzační krabice, nebo termostatu srovnávacích spojů. Hlavní součástí kompenzační krabice je odporový můstek, jehož tři odpory jsou tepelně nezávislé (konstantan), čtvrtý odpor je tepelně závislý (Cu).



Obr:13

Můstek je vyvážen na vztažnou teplotu např. 20°C. Je-li teplota okolí a tím teplota srovnávacího spoje vyšší nebo nižší, můstek se vlivem změny odporu Cu rozváží a na výstupu můstku vznikne napětí, které provede korekci termoelektrického napětí srovnávacího spoje na vztažnou teplotu. Schématické znázornění kompenzační krabice je na (obr.:13 a).

Kompenzační krabice je určena pouze pro jeden termočlánek.

U termostatu je srovnávací spoj termočlánku udržován na konstantní teplotě v uzavřeném prostoru. Principielní znázornění je na (obr.:13 b). Termostat je určen až pro 12 termočlánků, je proto výhodný v těchto případech, kdy počet měřících míst je větší. Dosahovaná přesnost udržování vztažné teploty je lepší než u kompenzační krabice. Vyrábějí se pro vztažnou teplotu např. 50°C nebo 70°C.

Indukce teploty při měření termočlánkem se může uskutečnit např. přímo pomocí milivoltmetru, cejchovaného ve stupních Celsia. Pro napájení registračních přístrojů nebo regulačních článků závisí na požadavcích. Odporové snímače jsou vhodné pro:

- a) měření nízkých teplot (do -200°C) – termočlánky jsou v této oblasti značně nelineární
- b) měření v úzkém měřicím rozsahu (např. 0-40°C)
- c) při přenosu údaje na větší vzdálenost. U termočlánků je nutné nakládat kompenzační vedení.

V ostatních případech je vhodné použít termočlánek.

Infrateploměry - slouží pro bezdotykové měření teploty. Jejich činnost je založena na faktu, že nad absolutní nulou emitují všechna tělesa energií. Pro praktické měření teploty se z celého spektra vyzařované energie převážně používá oblast infračerveného záření asi od 0,6 do 20 μ . Schopnost vyzařovat energii (emisivita) je různá podle povrchu tělesa např.(emisivita černého tělesa je 1,0 a lesklou ocel je 0,25). Proto přístroje pro tato měření bývají vybaveny prvky pro

korekci vlivu emisivity. Zářivý tok, který vstupuje do infrateploměru je soustředěn pomocí čočkové nebo zrcadlové opti. na vlastní snímač. Bývá to baterie termoelektrických článků, fotoelektrické snímače, dvojkovy,.... Teploměry pro bezdotykové měření teploty se používají k měření teploty zvířat při jejich průchodu konstantní místem.