

Přehled trhu snímačů teploty do průmyslového prostředí

Přehled trhu snímačů teploty na str. 36 a 37 představuje v přehledné tabulce nabídku snímačů teploty do průmyslového prostředí, které jsou navrženy pro montáž do ochranné jímky. Tabulka vznikla na základě údajů poskytnutých dodavateli snímačů na českém trhu. Redakce časopisu Automa děkuje všem firmám, které se rozhodly uvést své výrobky v tomto přehledu a umožnily zmapovat uvedený segment trhu. Tento průvodní článek stručně představuje široký obor měření teploty a podává přehled o používaných typech snímačů a principech měření teploty v průmyslu.

Teplota a její měření

Teplota je stavová veličina, jejíž hodnota se určuje porovnáním daného stavu s teplotní stupnicí. Teplotní stupnice vychází z fyzikálních zákonů, zejména ze stavové rovnice ideálního plynu

$$pV = R_p T \quad (1)$$

kde

p je tlak plynu,

V objem plynu,

R_p univerzální plynová konstanta,

T absolutní teplota.

Pro vyšší teploty je důležitý Planckův zákon, podle něhož pro spektrální hustotu vyzařování H_λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$) platí

$$H_\lambda = C_1 \lambda^{-5} \left(\exp \frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right)^{-1} \quad (2)$$

kde

λ je vlnová délka záření (m),

C_1 první radiační konstanta ($3,74 \cdot 10^{-16} \text{W}\cdot\text{m}^2$),

C_2 druhá radiační konstanta ($1,4388 \cdot 10^{-2} \text{m}\cdot\text{K}$).

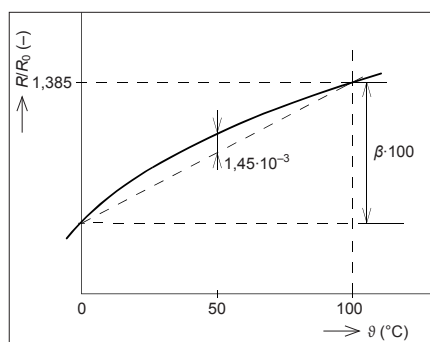
Tyto zákony umožňují určovat termodynamickou teplotu. Měřit s jejich použitím je velmi náročné, proto jsou přesně definovány některé teplotní body, které tvoří Mezinárodní teplotní stupnici (International Temperature Scale – ITS). Rozsah ITS je vymezen teplotou bodu varu kyslíku $-182,962 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplotou bodu tuhnutí wolframu $3387 \text{ }^\circ\text{C}$. Od roku 1990 platí ITS-90 tvořená sedmnácti přesně definovanými body [10].

Umístění snímačů teploty

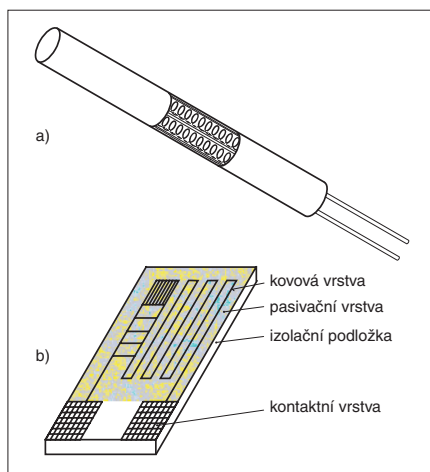
V praxi se používá mnoho snímačů teploty různých konstrukcí a různých způsobů unifikace signálu, na které se vztahují ČSN IEC 751, ČSN IEC 584 a další. Protože snímače teploty nemohou být v praxi umístěny přímo v měřeném prostředí, používají se k jejich ochraně teploměrné jímky nebo ochranné trubky. Teploměrné jímky buď mohou být samostatné (válcové a kuželové), nebo mohou být součástí snímačů teploty. Připojují se zašroubováním, svařo-

váním nebo při použití přírub. Kuželové jímky chrání snímače při měření teploty médií tekoucích velkou rychlostí.

Ochranné trubky jsou vyrobeny z kovu (do $1200 \text{ }^\circ\text{C}$), popř. z keramických mate-



Obr. 1. Teplotní závislost platinového čidla [3]



Obr. 2. Platinové odporové čidlo teploty [3]: a) provedení s vinutým drátkem, b) plošné (tenkovrstvé) provedení

riálů (pro beztlaká prostředí a teploty až do $1700 \text{ }^\circ\text{C}$). Trubky jsou spojeny s tyčovými snímači a řešeny tak, aby bylo možné čidlo (měřicí vložku) vyměňovat za provozu. Je nutné mít na zřeteli, že při jejich použití roste nejen nejistota měření, ale zejména tepelná setrvačnost (časová konstanta) snímače jako celku. Materiály jímek a trubek musí

být plynotěsné a nesmějí uvolňovat plyny, které by mohly poškodit snímač teploty. Dále musí být odolné proti vlivům chemických látek, mechanickému namáhání, vysoké teplotě měřeného prostředí, prudkým změnám teploty apod. Požadavky jsou v příslušných normách, podobně jako i požadavky a doporučení týkající se jejich zástavby (ON 02 7201 až ON 25 8012).

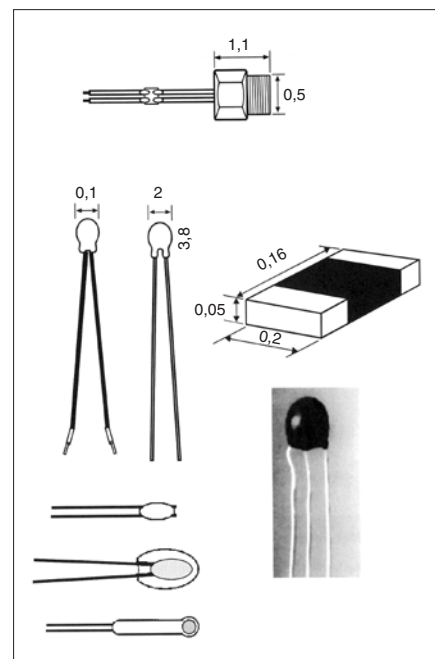
Rozdělení snímačů teploty

Snímače teploty se dělí podle různých kritérií, např. podle fyzikálního principu na:

- dilatační (plynové, kapalinové, parní a bimetalové),
- elektrické (kovové, polovodičové, termoelektrické),
- speciální (včetně optických).

Podle vzájemného působení měřeného objektu a čidla (metody) lze rozlišovat snímače dotykové a bezdotykové. Podle typu výstupního signálu se snímače rozdělují na analogové a číslicové.

Další dělení je možné podle teplotního rozsahu, konstrukčního řešení, použitých materiálů atd. Přehled základních snímačů k měření teploty v automatizační technice je v tab. 1 [1]. K nim se dále řadí speciální snímače a také v současnosti již samostatná skupina optických snímačů teploty.



Obr. 3. Typy miniaturních termistorů (rozměry) v milimetrech [4]

Dilatační snímače teploty

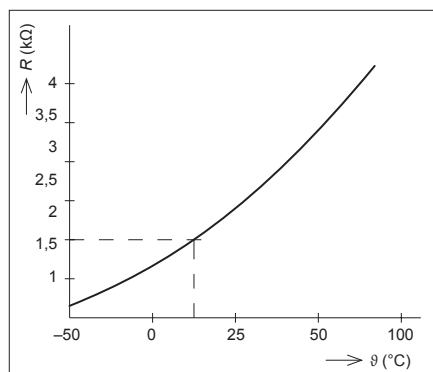
Dilatační snímače využívají roztažnost látek všech tří skupenství. Existují tedy dilatační snímače teploty:

- s plynovou náplní,
- s kapalinovou náplní,
- s pevnou látkou.

Při změně teploty látky se mění její rozměr (objem) a měřítkem této změny je součinitel teplotní délkové (objemové) roztažnosti.

Odporové snímače teploty

V odporových snímačích teploty se využívá závislost ohmického odporu materiálu měřicího čidla snímače na teplotě. Použitý materiál určuje měřicí rozsah, nejistotu a popř. konstrukci čidla. Mezi základní požadavky patří, aby byl teplotní součinitel odporu použitého materiálu co největší a stálý, závislost na odporu na teplotě lineární a měrný elektrický od-



Obr. 4. Charakteristika křemíkového čidla teploty [3]

por (rezistivita) co největší. Proud procházející čidlem musí být co nejmenší, aby Jouleovo teplo vznikající v čidle způsobilo co nejmenší oteplení. Podle materiálu se dělí odporová čidla na kovová a polovodičová (polykrystalická nebo monokrystalická, která mohou být s přechodem PN nebo bez něj).

Odporové snímače jsou z používaných typů snímačů teploty nejpropracovanější. V několika posledních letech nabývají stále většího významu polovodičové odporové snímače teploty.

Kovové odporové snímače teploty

Čidla kovových odporových snímačů se zhotovují především z čistých kovů (Pt, Ni

a Cu), které nesmí reagovat s izolačním nebo ochranným krytem. Jakékoliv chemické nebo fyzikální vlivy by mohly způsobit nestálost odporu při neměnné teplotě. Hystereze použitého materiálu musí být co nejmenší a jeho teplotní součinitel odporu se musí s časem měnit co nejméně (stárnutí).

+850 °C (výjimečně až do 1 200 °C). Hlavní předností platinových čidel je jejich vynikající dlouhodobá stálost odporu, zaručující malé nejistoty a výbornou reprodukovatelnost měření (u etalonových čidel se dosahuje nejistoty až 0,1 mK). Jejich nedostatkem je citlivost na magnetické pole (především při nižších teplotách) a na vibrace (chvění). Závislost poměrného odporu platiny na teplotě v rozmezí 0 až 100 °C ukazuje obr. 1.

Nikl je vhodný k výrobě čidel pro měření teplot v rozsahu -60 až +150 °C (maximálně do 300 °C). Výhodou je větší teplotní součinitel odporu. Niklová čidla mají oproti platinovým menší dlouhodobou stálost.

Výjimečně se k výrobě čidel teploty používá měď (Cu), která vykazuje menší dlouhodobou stálost a menší citlivost pro teploty vyšší než 100 K. V širokém rozsahu nízkých teplot má lineární závislost na teplotě.

Při konstruování kovových odporových snímačů teploty je nutné zajistit, aby materiál čidla citlivý na teplotu nebyl vystaven parazitnímu vlivu prostředí. Čidlo je obvykle plochého nebo válcového tvaru s bifilárně vinutým drátem o průměru 20 až 100 μm. Podložka je z keramického materiálu, skla, slídy apod. Čidlo se chrání před vnějšími vlivy ochrannou jímku (trubkou). Používá se mnoho konstrukcí, jejichž uspořádání je většinou normováno.

Mimo běžné konstrukce se vyrábějí čidla plošná s velmi malou časovou konstantou.

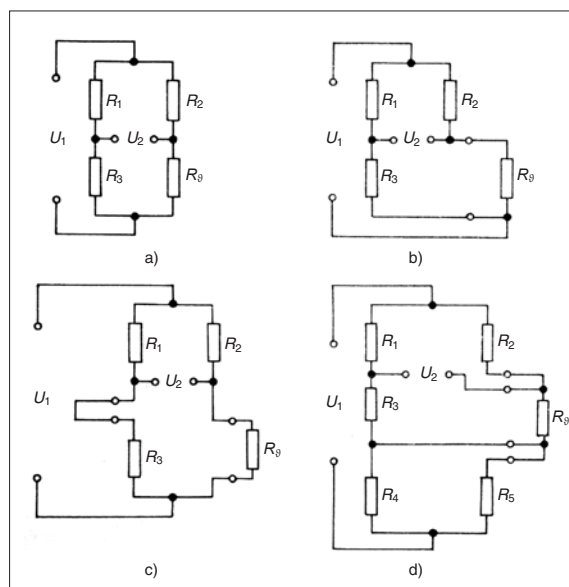
Na obr. 2 je naznačeno provedení drátkového a plošného (tenkovrstvého) čidla. Časová konstanta vinutých platinových měřicích rezistorů je až 0,3 s. Lze ji zmenšit až na 1 μs vytvořením rezistoru v podobě tenké vrstvy (fólie) na pevné podložce. Odporová čidla tvořená tenkými kovovými vrstvami mají také malé rozměry a velmi stabilní parametry.

Polovodičové odporové snímače

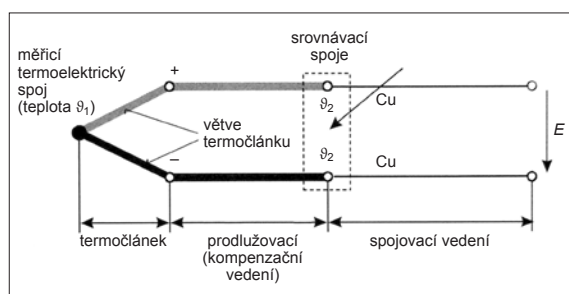
Polovodičové snímače se stále vyvíjejí a lze je rozdělit na snímače poly- a monokrystalické. Polykrystalické snímače (termistory) se dělí na:

- negasty (zkratka NTC), se zápornou závislostí odporu na teplotě,
- pozistory (PTC), s kladnou závislostí odporu na teplotě.

Teplotní součinitel odporu termistorů je pětikrát až padesátkrát větší než u kovových



Obr. 5. Základní zapojení odporových čidel



Obr. 6. Terminologie měřicího řetězce termoelektrického článku (termočlánku) [3]

Nejčastěji používaným materiálem je pro svou velkou chemickou stálost, vysokou teplotu tavení a velkou dosažitelnou čistotu platina (Pt). Čidla z platiny se vyznačují malými nejistotami, a proto se používají i jako etalony k měření teplot v rozsahu -259,34 až +630,74 °C. Vyrábějí se podle dovolených odchylek ve dvou jakostních třídách označených A a B. Podle ČSN IEC 751 (ČSN 25 8306) se platinová čidla používají pro provozní měření teploty v rozsahu -200 až

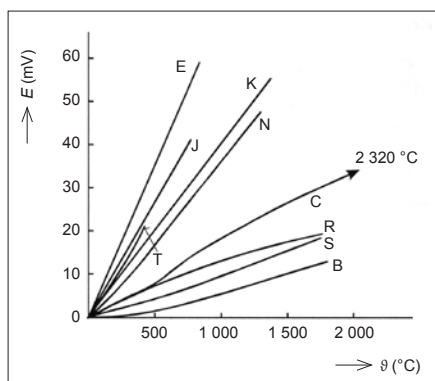
Tab. 1. Přehled základních typů dotykových teploměrů [1]

Princip teploměru	Rozsah (°C)	Dovolená chyba
dilatační	-270 až +1 000	1 až 2 %
odporový	-250 až +1 000	(0,15 ± 0,002 t) °C
termoelektrický	-200 až +2 500	0,5 až 4 °C, 0,25 až 1,5 %
indikátory teploty	0 až +1 000	1 %

odporových snímačů. Termistory se vyrábějí metodami práškové metalurgie spékáním oxidů Fe_2O_3 , TiO_2 , CuO , MnO , NiO , CoO , BaO a dalších. Používají se především k měření nízkých a středních teplot v rozmezí 4,2 až 600 K ($-269,8$ až $+327$ °C), horní hranice je zatím 1 000 °C.

Termistory (obr. 3) mohou být i velmi malé prvky ve tvaru perliček, tyčinek či destiček a vyrábějí se v širokém rozsahu hodnot základního odporu R_0 od 10^{-1} do 10^6 Ω (i více). Podle provedení se dělí na:

- standardní,
- průmyslové,
- se zaručenou teplotní závislostí odporu.



Obr. 7. Charakteristiky základních typů termoelektrických článků [4]

Časová stálost je u běžných (standardních) typů horší než u čidel kovových. Výrazně lepších vlastností se dosahuje výběrem a umělým stárnutím (nejistota ± 1 až $\pm 0,1$ °C v rozmezí teploty -80 až $+150$ °C). Uvedené vlastnosti mají průmyslové typy se zaručovaným teplotním průběhem – zaměnitelností. Používají se i pro sekundární etalony (např. firma Thermometrix je takto používá v tzv. ultraliniárním zapojení).

Polovodičové *monokrystalické* odporové snímače jsou vyráběny ve třech provedeních:

- bez přechodu PN,
- s jedním nebo několika přechody PN,
- integrované (inteligentní, *smart*).

Vyrábějí se z germania (Ge), křemíku (Si) a arzenidu galia (GaAs). Germaniová čidla jsou vhodná zejména k měření nízkých teplot od 1,5 K (10 mK) do 75 K (100 K), v rozsahu 1 až 30 K patří mezi nejpřesnější a nejcitlivější. Jejich nevýhodou je citlivost na magnetické pole.

Křemíková čidla jsou vhodná k měření teplot obvykle v rozsahu -160 až $+150$ °C a čidla z arzenidu galia pro rozsah -270 až $+270$ °C, u SiC do $+450$ °C. Závislost jejich odporu na magnetickém poli je menší než u germaniových čidel.

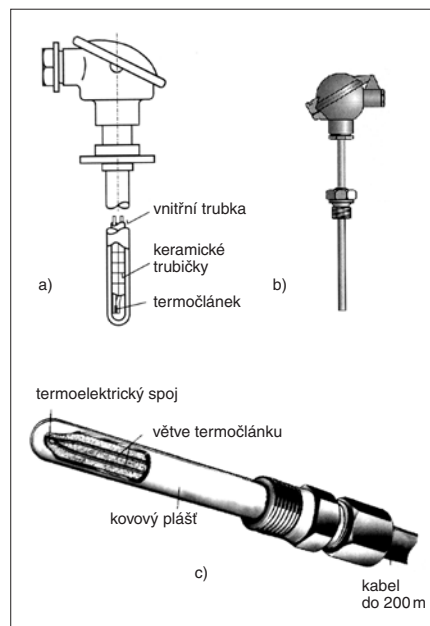
Čidla s přechodem PN (diody, tranzistory) se používají v rozmezí teplot 1 až 400 K. Vyrábějí se z Si, Ge a GaAs. Výhodou polovodičové diody (tranzistoru v diodovém zapojení) jako čidla teploty je lineární závislost výstupního napětí přechodu na teplotě. V pásmu 1 až 30 K

je citlivost čidla -55 mV/K, mezi 30 až 400 K je $-2,75$ mV/K. Křemíková čidla se vyznačují malým šumem, jsou ale citlivější na vnější magnetické pole. Diody z GaAs se vyrábějí pro teploty 1,5 až 400 K a mají v rozmezí 50 až 400 K téměř lineární charakteristiku.

Z hlediska citlivosti je zajímavé i použití Zenerových diod jako čidel teploty. Volbou Zenerova napětí U_z lze měnit hodnotu teplotního součinitele (podle konstrukce a technologie v rozsahu od -9 do 110 mV/K). Sériově se vyrábějí pro teploty -40 až $+125$ °C s citlivostí 10 mV/K. Diodová čidla se vyznačují velkou citlivostí, lineární převodní charakteristikou a miniaturními rozměry.

Integrované odporové snímače teploty

Velmi často se používají integrované snímače teploty opatřené proudovým, frekvenčním (impulzním) nebo napěťovým výstupem. Ke známým výrobcům těchto snímačů patří např. Analog Device, National Semiconductor, Smartec, Dallas Semiconductor, Texas Instruments, Microchip a další. Pracují obvykle v rozsahu od -55 do $+150$ °C s nejistotou 0,5 až 2 °C.

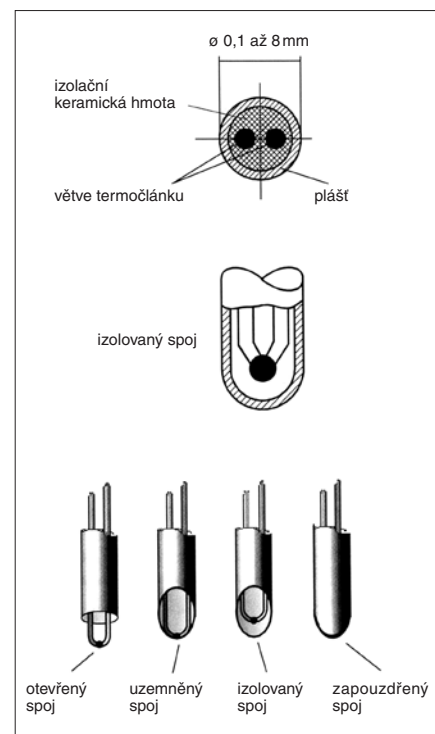


Obr. 8. Konstrukční řešení termočlánků [4]: a) tyčový, b) do jímky, c) plášťový)

Připojení odporových snímačů teploty

K připojení snímačů se používají především můstkové obvody. Základním požadavkem je, aby výstupní měřicí signál nebyl závislý na změnách elektrických parametrů přívodů k čidlu (vliv odporů přívodů). Na obr. 5 jsou znázorněna základní zapojení čidel do můstku. Podmínkou správné činnosti je stejný odpor všech přívodů k čidlu a stejné teplotní působení okolí. Obecně platí, že vedení má být co nejkratší a jeho odpor co nejmenší. Při přesném měření a velkých děl-

kách vedení se používá čtyřvodičové zapojení podle obr. 5d. Výsledek měření je téměř nezávislý na absolutní hodnotě odporu vnitřního i vnějšího vedení (mění se vlivem teploty a přechodových odporů, pokud je změna



Obr. 9. Plášťové termoelektrické články [4]

ve všech větvích vedení stejná). Další možností je použít dvouvodičové měřicí převodníky (napětí, proudu nebo odporu na proud [7]). Jde o kompenzační typ převodníku s unifikovaným proudovým výstupním signálem 0/4 až 20 mA. Napájení převodníku i přenos měřicího proudového signálu obstarává pouze jeden pár vodičů. Změna odporu vedení (např. v důsledku změny teploty nebo přechodových odporů) nemá v širokých mezích (0 až 1 500 Ω) na výstupní proudový signál vliv. Převodník musí být co nejbližší vlastnímu čidlu (např. v hlavici snímače).

Přednosti a nedostatky odporových snímačů teploty

Hlavními přednostmi odporových snímačů teploty jsou [1]:

- v podstatě nejmenší nejistota v oboru nízkých a středních teplot,
- možnost volby rozměrů i odporu měřicího rezistoru,
- žádné pohyblivé části,
- možnost měřit rozdíl teplot,
- dostatečně vysoká úroveň signálu,
- zaměnitelnost měřicích vložek,
- možnost dálkově měřit, registrovat, linealizovat a zpracovávat signál,
- jedině vyhodnocovací zařízení ke sledování (monitorování) velkého počtu míst současně.

Naproti tomu mezi hlavní nedostatky těchto přístrojů patří:

- ovlivňování (citlivost) mechanickými vlivy (namáhání, vibrace apod.),
- požadavky na kvalifikaci personálu, obsluhu, údržbu a kontrolu,
- nutné napájení (pasivní snímač, stabilizované zdroje),
- vyšší pořizovací náklady,
- nemožnost použít je přímo v prostředí s nebezpečím výbuchu.

Termoelektrické snímače teploty

Termoelektrické snímače teploty patří mezi generátorová čidla teploty (Seebeckův jev; 1821). Používají se velmi často. Při dotykovém měření vyšších teplot představují v podstatě jediné řešení použitelné v praxi.

Termoelektrický článek

Na styku dvou různých kovů s různou výstupní prací vzniká rozdíl potenciálů E úměrný teplotě tohoto místa a použitým materiálem. Při uzavření obvodu bude výstupní termoelektrické napětí U úměrné rozdílu teploty obou míst

$$E \equiv U = f[\alpha(\vartheta_1 - \vartheta_2)] \quad (3)$$

kde ϑ_1 je teplota měřicího spoje, ϑ_2 teplota srovnávacího spoje (vztažná teplota, ČSN IEC 584), α Seebeckův koeficient použitých materiálů. Termoelektrické čidlo tedy představuje generátor napětí, jehož velikost závisí na materiálu, z něhož je zhotoveno, a na rozdílu teplot obou spojů. Obvyklé uspořádání obvodu termoelektrického čidla je na obr. 6. Pro jeho správné fungování jako měřidla je nezbytné, aby teplota srovnávacího spoje byla konstantní nebo známá (parazitní vliv termoelektrického napětí tohoto spoje se kompenzuje). Polarita termoelektrického napětí závisí na materiálech termočlánku.

Materiál a konstrukce termoelektrických čidel

Termočlánky se označují značkami prvků, z nichž jsou vyrobeny, a velkým písmenem vyjadřujícím typ termočlánku (doporučení ČSN IEC 584), navíc se termočlánky označují i barevně. Pro zajištění zaměnitelnosti termoelektrických čidel jsou normovány hodnoty napětí a aproximační polynomy. Velikost výstupních napětí základních termoelektrických čidel je patrná z obr. 7.

V závislosti na použití se volí konstrukce termoelektrického snímače: v automatizační technice se používají tyčové, v jímkách a plášťové (obr. 8). Plášťové termoelektrické snímače se vyznačují značnou dlouhodobou stabilitou a malou časovou konstantou (obr. 9). Materiály termoelektrických čidel je nutné během provozu chránit před parazitními vlivy okolí. Dobu

života čidla lze prodloužit zvětšením průřezu vodiče, což je však omezeno s ohledem na odvod tepla, vyšší cenu atd. [6].

Měřicí obvod termoelektrického čidla

Pro spojení čidla s místem zpracování informace je určeno tzv. prodlužovací, popř. kompenzační vedení (obr. 6). Prodlužovací vedení je ze stejného materiálu jako větve ter-

mezor z kovu nebo polovodiče, při aktivní se do obvodu termoelektrického článku přivádí napětí z pomocného zdroje, jehož velikost závisí na teplotě srovnávacího spoje. Dále je možné použít i softwarovou kompenzaci při zpracování údajů z měření.

Často používané zapojení termoelektrického článku s integrovaným dvou vodičovým převodníkem např. firmy Burr-Brown XTR101 je na obr. 11, kde je použita kompenzace srovnávacího spoje diodou (napětí U_D) a děličem tvořeným rezistory R_1 a R_2 . Podobný obvod XTR103 se používá pro platinové měřicí rezistory (včetně linearizace a zmenšení chyby o řád) [7].

Základní zapojení termoelektrických snímačů

U termoelektrických snímačů se používá sériové, paralelní a rozdílové (diferenční) zapojení. Zajímavé je zapojení termoelektrických článků s jedním společným vodičem (větví), které má výhodné vlastnosti – je hospodárné a nenáročné

na prostor, a proto se uplatní u miniaturních termočlánkových sond teploty.

Sériové zapojení

Sériové řazení termočlánků zvyšuje zejména úroveň výstupního signálu z termočlánkových sond. Dále umožňuje určit střední (průměrnou) teplotu při měření na několika místech. Používá se také u alternativních napájecích zdrojů, tzv. termočlánkových baterií. Zde se často volí polovodičové materiály. Pro termoelektrickou sílu E platí

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i \quad (4)$$

Paralelní zapojení

Při paralelním spojení termoelektrických článků lze přímo stanovit střední hodnotu teploty z N měřených míst

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_N}{N} \quad (5)$$

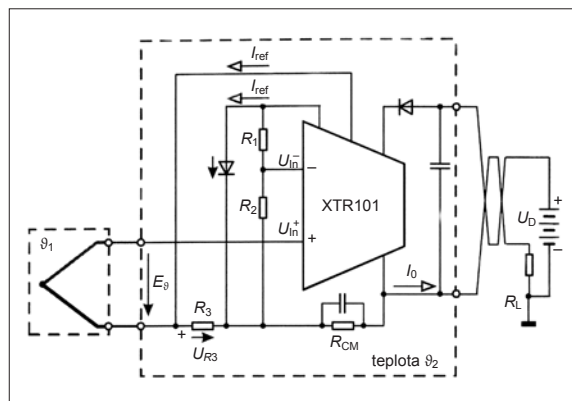
Presnost stanovení aritmetického průměru závisí především na rozdílech mezi odpory jednotlivých termoelektrických článků.

Rozdílové zapojení

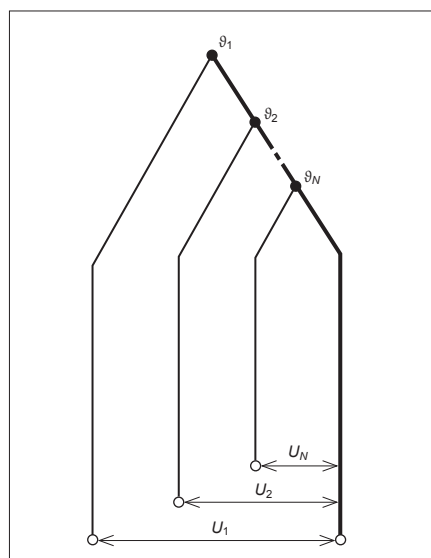
Rozdílové zapojení termoelektrických článků umožňuje přímo měřit rozdíl teplot mezi dvěma místy (měřicím a srovnávacím spojením).

Zapojení se společným vodičem

Zapojení se společným vodičem vyplývá z prvního a třetího termoelektrického zákona. Jeho hlavní předností jsou úspory pořizovacích nákladů, zejména u termoelektrických článků z ušlechtilých kovů, a úspora místa.



Obr. 10. Použití dvou vodičového měřicího převodníku XTR101 [4]



Obr. 11. Zapojení termoelektrických článků se společným vodičem

močlánku, zatímco kompenzační je z levnějších materiálů, jejichž termoelektrické vlastnosti jsou do 200 °C stejné jako u materiálů termočlánku (nic se tedy nekompensuje).

Srovnávací spoje vyznačené na obr. 6 trpí kolísáním teplot, které lze omezit dvěma způsoby:

- udržováním konstantní teploty srovnávacího spoje,
- kompenzací parazitního termoelektrického napětí srovnávacího spoje.

Vliv kolísání teploty srovnávacího spoje lze omezovat pomocí kompenzačních obvodů s pasivní nebo aktivní kompenzací. Při pasivní kompenzaci se využívá teplotně závislý

Při měření teploty na N místech je při standardním způsobu zapojení zapotřebí $n = 2N$ termoelektrických vodičů a přípojných svorek, zatímco při zapojení s jedním společným termoelektrickým vodičem je $n = N + 1$. Znamená to, že rozdíl (úspora) je $\Delta n = N - 1$ pro $N > 1$. V případě neizolovaných měřicích spojů je však třeba brát v úvahu vliv odporů vnějšího prostředí.

Toto zapojení je časté u vpichovacích sond měřících teplotu ϑ obvykle ve dvou až pěti místech (obr. 11 [5]).

Přednosti a nedostatky termoelektrických snímačů teploty

Termoelektrická čidla jsou aktivní (generátorové) snímače schopné měřit teploty v širokém rozsahu (nízké, střední i vysoké). Jde o nejpřesnější metodu měření v pásmu mezi bodem tuhnutí antimonu (Sb; 630,5 °C) a zlata (Au; 1 063 °C). K jejich dalším přednostem patří:

- velmi malé rozměry, a tím i nepatrná hmotnost a rychlá odezva,
- malý odvod tepla z měřicího místa (ovlivnění teplotního pole),
- možnost měřit i v obtížně přístupných místech,
- ohebnost (u plášťových termočlánků),
- žádné pohyblivé části,
- mechanická odolnost (drsné pracovní podmínky, rázy, otřesy, vibrace),
- možná velká vzdálenost místa měření a vyhodnocení,
- přímé měření rozdílu teplot a střední teploty,
- zaměnitelnost měřicích vložek.

Mezi nedostatky termoelektrických čidel patří:

- nízká úroveň termoelektrického napětí (signálu),
- nelineární převodní charakteristika,
- změna termoelektrických konstant s teplotou,
- velké výrobní tolerance (odchyly, nejistoty),
- časová závislost termoelektrických parametrů,
- chemická a fyzikální „nehomogenita“ termočlánku (dominantní vliv okolí),

- ovlivňování přesnosti (nejistot) měření změnami přechodových odporů,
- nestabilita (K-stavy) některých termočlánků,
- vyšší pořizovací náklady (celého měřicího řetězce),
- obtížná identifikace nepřípustných změn charakteristik termočlánků (diagnostika),
- potřeba kvalifikované obsluhy.

Optické vláknové snímače

Vznik optických vláknových snímačů (OVS) spadá zhruba do konce šedesátých let minulého století. Přestože současné prognózy jsou velmi optimistické [9], je otázkou, nakolik se naplní. Zatím ještě nejsou tyto přístroje používány v takovém rozsahu, jak se dříve předpokládalo. Za hlavní důvody lze považovat jak ekonomickou stránku věci, tak i určitý konzervatismus uživatelů měřicí a regulační techniky. Naproti tomu je nutné uvést, že použití OVS je v některých případech nezastupitelné (např. u hydrofonů a gyroskopů), protože i nejlepší „klasické“ snímače nedosahují jejich parametrů. Vyplyvá to jednak z odlišného fyzikálního charakteru nosičů informace o měřené veličině (elektronů u „klasických“ snímačů, fotonů u OVS) a dále z rozdílné interakce vlnové délky optického záření s měřenou veličinou.

Podrobnějšímu popisu optických vláknových snímačů bude věnován článek v jednom z příštích vydání časopisu Automa.

Speciální čidla teploty

Další snímače teploty využívají jiné fyzikální principy. Patří sem např. čidla s frekvenčním výstupním signálem a dále čidla kapacitní, magnetická, piezoelektrická a šumová. V průmyslové praxi je jejich použití obvykle omezené.

Závěr

Stejně jako u jiných snímačů neelektrických veličin, platí i pro snímače teploty, že mezi nimi neexistuje žádný ideální (univer-

zální) typ splňující všechny požadavky průmyslové praxe. Výběr jak snímače teploty, tak měřicí metody musí vždy vycházet ze zcela konkrétních požadavků (podmínek zadání), důležitá je také erudice a zkušenosti projektanta z praxe. Naštěstí existuje v tomto oboru dostatek podrobné literatury, která výběr snímačů a projektování jejich instalace výrazně usnadňuje.

V budoucnosti lze očekávat stále rozsáhlejší uplatnění optických vláknových snímačů teploty, a to jak v průmyslu, tak i v ostatních oblastech (např. pracujících na principu Ramanova rozptylu v bezpečnostních systémech v tunelech atd.). S ohledem na omezený rozsah článku i jejich omezené využití v praxi nebyly do tohoto příspěvku zahrnuty indikátory teploty.

Literatura:

- [1] ČSN 25 0810 *Směrnice pro měření teplot v průmyslu*. ÚNM, Praha, 1989.
- [2] BEJČEK, L.: *Refraktometrický snímač teploty*. Studie. ÚPT ČSAV a FEE ÚAMT, Brno, 1990.
- [3] ĎAĎO, S. – KREIDL, M.: *Senzory a měřicí obvody*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996.
- [4] KREIDL, M.: *Měření teploty*. BEN, Praha, 2005, ISBN 80-7300-145-4.
- [5] BEJČEK, L.: *Vicenasobná vpichovací TC sonda*. Studie. VUT FEKT ÚAMT, Brno, 2006.
- [6] ČERNÝ, M.: *Zdroje nejistot a chyb při měření teploty v průmyslu*. Automa, 2003, roč. 9, č. 1, s. 54–59.
- [7] BEJČEK, L.: *Dvou vodičové měřicí převodníky I, II*. Automatizace, 1978, roč. XXI, č. 9, s. 240–245.
- [8] ČSN 25 8005 *Názvoslovní z oboru měření teplot*. ÚNM, Praha, 1989.
- [9] RIGHINI, G. C. – TAJANI, A. – CUTULO, A.: *An introduction to optoelectronic sensors*. World Scientific, 2009, ISBN-10 981-283-412-5.
- [10] BĚTÁK, J.: *Teplotní stupnice*. Automa, 2003, roč. 9, s. 43–46.

doc. Ing. Ludvík Bejček, CSc.,
ústav automatizace a měřicí techniky,
FEKT, VUT v Brně

► Nástroj k automatizovanému ověření shody se standardem HART

Nový softwarový nástroj HART® Test System, nedávno nabídnutý organizací *HART Communication Foundation* (www.hartcomm.org), má zásadní význam při zajišťování interoperability přístrojů a zařízení určených k použití v sítích s komunikačním protokolem HART, kabelových i bezdrátových. Umožňuje automatizovaně ověřit a potvrdit shodu libovolného zařízení od kteréhokoli výrobce se standardem bez ohledu na to,

kteřá z existujících verzí protokolu HART je v zařízení použita. Nástroj je nedílnou součástí programu *HART Device Registration*. Zařízení verifikovaná v rámci registračního programu nesou označení *HART Registered*, skýtající zákazníkům jistotu, že nově zakoupené zařízení bude bez problémů spolupracovat se zařízeními, která již v závodě používají.

Nástroj HART Test System pracuje se všemi zařízeními s rozhraním HART, ať už připojenými kabelem nebo přes brány s rozhraním WirelessHART™, podporujícím standardizované rozhraní HART UDP. Pracuje pod operačním systémem Linux a obsahuje programy pro automatické ověření zařízení a analýzu

dat, včetně aplikační vrstvy, potřebné k verifikaci shody zařízení s libovolným komunikačním standardem skupiny HART. Nástroj je navržen jako otevřený, takže bude možné jeho působnost rozšiřovat na další verze a komponenty, jak se postupně objeví. Prvním z připravovaných dodatků je modul WiHTEST pro ověřování přístupových bodů bezdrátových sítí. Umožní ověřovat spojuovou vrstvu s časovým multiplexem (*TDMA Data Link Layer*) zařízení s rozhraním WirelessHART a má být zveřejněn ve druhém čtvrtletí roku 2009.

[HART Communication Foundation, 18. března 2009.] (sk)