

Kompaktní snímače teploty s velmi krátkou dobou odezvy

V článku jsou představeny nové kompaktní snímače teploty, jež ve srovnání s běžnými snímači vynikají výrazně lepším dynamickým chováním. Cíleně optimalizované geometrické uspořádání a umístění senzoru přímo na hrot stonku snímače zlepšuje tepelnou vazbu mezi senzorem a měřeným médiem.

Úvod

V posledních několika letech lze v oboru průmyslového měření teploty pozorovat vývoj směrem k velmi kompaktním a relativně levným odporovým snímačům teploty. Často jde o snímače s integrovaným převodníkem, jejichž výstupem je analogový nebo i digitální signál. K dispozici jsou snímače v mnoha konstrukčních variantách a s různými druhy mechanických připojení k technologickým zařízením. Používají se pro měření v rozsahu -50 až $+200$ °C, výjimečně větším, v chemickém, potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu.

Takovéto masově vyráběné snímače teploty musejí být především jednoduché a levné. Avšak očekává se od nich výborná přesnost a krátká doba odezvy. Pro snímače této kategorie je typický krátký ponor – tj. délka, jíž snímač zasahuje do měřeného média. Důsledkem jsou poměrně velké a obtížně odhadnutelné nejistoty měření způsobené tepelnými ztrátami.

Tepelné ztráty a jejich příčiny

Chyby měření teploty způsobené tepelnými ztrátami jsou sice dobře známé, ale často podceňované. Z principu měření je dáno, že měřicí prvek v praxi nikdy není v přímém tepelném kontaktu s měřeným médiem, např. kapalinou v potrubí, ale teplo se na něj přenáší ochrannou jímkou a stonkem snímače, prostřednictvím výplňového materiálu stonku, ale také jeho připojovacími kabely atd. Je tedy třeba smířit se s tím, že snímač nikdy nezměří teplotu měřeného média, ale teplotu mezi teplotou média a teplotou okolí. Jakou teplotu snímač změří, záleží na tom, jaký je tepelný odpor mezi měřicím prvkem a měřeným médiem a mezi měřicím prvkem a okolním prostředím.

Je snaha navrhnout konstrukci senzoru tak, aby tepelná vazba mezi měřicím prvkem a měřeným médiem byla co nejtěsnější, její tepelný odpor byl co nejmenší a nejistota měření, která vlivem tohoto odporu vzniká, byla co nejmenší. Ovšem u snímačů s malou délkou ponoru jsou jen omezené možnosti, jak měřicí prvek izolovat od okolního prostředí. Výsledkem jsou nejistoty měření řádově až v jednotkách kelvinů.

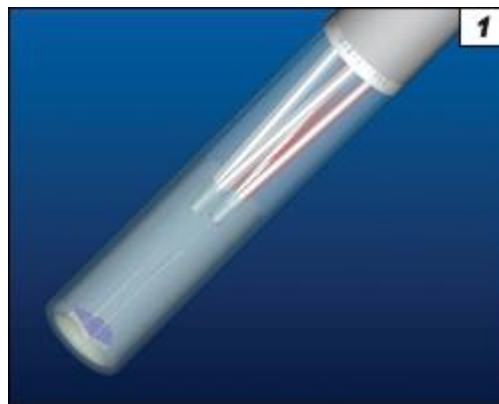
Hlavní příčina problémů spočívá v technologii výroby odporových snímačů teploty. Velmi často se používají vodiče potažené oxidem hořečnatým nebo hlinitým, k nimž je připojen platinový nebo niklový měřicí rezistor v podobě drátku stočeného do spirály nebo vyrobeného na keramické podložce metodou tenkých vrstev. Rezistor je umístěn ve stonku snímače a proti otřesům bývá chráněn výplní z keramického prášku. Tepelná vazba mezi měřeným médiem a měřicím rezistorem není ideální, protože použitý keramický prášek má relativně velký tepelný odpor.

Alternativní konstrukční uspořádání kompaktních snímačů teploty

Uvést měřicí rezistor do přímého kontaktu s měřeným médiem, bez ochranného stonku, ve většině měřicích úloh v průmyslové praxi není možné. Ovšem velmi dobré tepelné vazby lze dosáhnout, je-li rezistor v přímém kontaktu se stěnou stonkové trubice nebo přímo v jejím hrotu. S výhodou lze využít to, že rezistory vyrobené metodou tenkých vrstev lze vytvářet přímo na povrchu kovového materiálu. Potom je tepelný odpor mezi měřicím rezistorem a médiem dán pouze tloušťkou materiálu a tepelnou vodivostí ochranné trubice. V tomto směru již byly vykonány slibné pokusy a započaty vývojové práce, ale koncepce zatím není zralá pro využití v praxi.

Jiným způsobem vhodného konstrukčního uspořádání je rezistor napařený na tenké fólii, kterou lze upevnit na vnitřní stranu ochranné trubice snímače. Snímače této konstrukce se na trhu už objevily, ovšem jejich měřicí rozsah je omezen do $+140$ °C.

Obr. 1. Schematický pohľad na vnútorné usporiadanie špičky stonku snímača s tenkovrstvým měřicím rezistorom



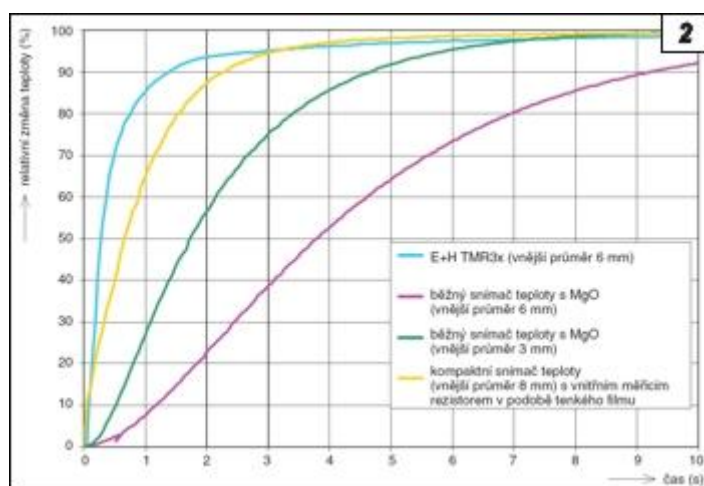
Nyní bude představeno jiné konstrukční uspořádání odporových snímačů teploty, jež je patentováno firmou Endress+Hauser, s výjimečně dobrou tepelnou vazbou mezi měřicím prvkem a měřeným médiem. Využívá běžný platinový měřicí rezistor vyrobený metodou tenkých vrstev. Výroba rezistorů metodou tenkých vrstev již dávno překonala své „dětské nemoci“ a dále se zdokonaluje: měřicí rezistory jsou stále menší a stále se zlepšuje jejich časová i tepelná stabilita. Jestliže je platinová vrstva napařena na podložce s pokovenou spodní stranou, což není problém, je možné celek nalepit nebo připájet na plochý kovový podklad, např. do hrotu měřicího stonku snímače, a tím dosáhnout velmi dobré tepelné vazby.

Protože teplotní gradient mezi měřicím prvkem a měřeným médiem je velmi malý, mají tyto snímače také velmi rychlou odezvu na změnu měřené teploty. Například u běžného snímače s vnějším průměrem 6 mm bez zúžené špičky lze očekávat dobu $t_{90} = 2$ s nebo kratší (podle IEC 60751 nebo ASTM E644, médium: voda).

Výsledky měření

Pro ověření vypočítaného modelu a pro srovnání nově vyvinutého snímače s běžnými odporovými snímači teploty bylo třeba vykonat množství laboratorních měření. Výsledky potvrdily očekávané výborné měřicí vlastnosti nového snímače. Jako srovnávací a referenční snímače byly použity snímače s podobně dobrou tepelnou vazbou. Byly to např.:

- měřicí vložka o průměru 3 mm s vestavěným tenkovrstvým platinovým měřicím rezistorem a s izolací oxidem hořečnatým,
- kompaktní snímač teploty o průměru 8 mm s měřicím rezistorem Pt1000 v podobě tenkovrstvého filmu.



Obr. 2. Porovnání doby odezvy různých snímačů teploty s rozdílným konstrukčním uspořádáním po ponoření do proudící vody (rozdíl teplot asi 10 K, průtok 0,4 m/s)

Pro určení dynamické odezvy byly snímače opakovaně vystavovány téměř skokovým změnám z pokojové teploty přibližně 30 °C na teplotu o asi 10 K vyšší, a to ponořením do proudící vody (rychlost proudění byla přibližně 0,4 m/s). Byly zaznamenány změny na výstupech snímačů (obr. 2).

Všechny snímače byly ponořeny do vodní lázně minimálně do hloubky 100 mm. Procedura odpovídá příslušným normám (IEC 60751, ASTM E644) a umožňuje velmi rychlé a reprodukovatelné srovnání snímačů teploty různých typů s ohledem na jejich vlastní doby odezvy.

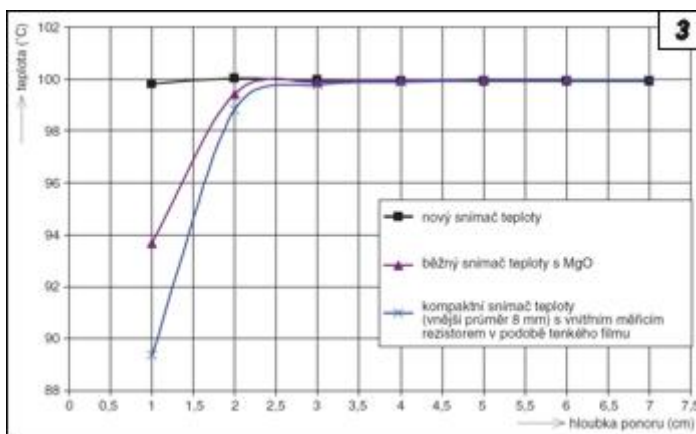
Měření velmi jasně ukázala lepší dynamiku nových snímačů teploty ve srovnání s jinými snímači. Změřená doba $t_{90} = 1,5$ s, což potvrzuje správnost numerické simulace chování snímačů.

Obr. 3. Vliv hloubky ponoru na změřenou teplotu (měření v silikonové lázni při 100 °C)

Snímače s konstrukčním uspořádáním schematicky znázorněným na *obr. 1* lze s výhodou použít také v těch případech, kdy je možné pro konstrukční omezení dosáhnout jen malé hloubky ponoru (např. u tenkostěnných potrubí).

Srovnatelné snímače běžné konstrukce musejí být do potrubí namontovány s dostatečnou hloubkou ponoru, aby se zamezil vznik nepříjemně velké nejistoty měření v důsledku tepelných ztrát.

Jak se prokázalo v testech (*obr. 3*), u nových snímačů teploty může být hloubka ponoru podstatně redukována. Je ovšem třeba vždy brát ohled na konkrétní podmínky měření.



5. Závěry a zhodnocení

Kompaktní odporové snímače teploty umožňují snadnou montáž, jsou levné a lze je použít na mnoha místech v provozní praxi. Při vhodném návrhu konstrukčního uspořádání snímače a odběrného místa mohou být relativně velmi rychlé, s minimální nejistotou měření způsobenou tepelnými ztrátami, a to dokonce i při malé hloubce ponoru.

Při použití převodní charakteristiky, výpočetní funkce specifické pro každý snímač a zadané přímo do převodníku, lze dosáhnout nejistoty měření do 0,2 K v relativně velkém rozsahu teplot, tj. nejistoty u běžných masově vyráběných snímačů teploty těžko dosažitelné.

Dr.-Ing. Dirk Boguhn, Endress+Hauser Wetzlar GmbH + Co. KG