

Deformační manometr v digitálním věku



V běžné provozní praxi v současnosti dochází k nahrazování mechanických etalonových tlakoměrů referenčními digitálními tlakoměry, které pro měření tlaku často používají moderní piezorezistivní křemíkový snímač tlaku. V tomto článku je popsáno, proč technologie piezorezistivního křemíkového snímače patří mezi ty nevhodnější pro použití při kalibraci a měření tlaku, zvláště mimo laboratoř.

Nejdůležitějším parametrem pro výrobu vysoce přesného tlakoměru je opakovatelnost prvku snímajícího tlak vzhledem na měřený tlak a teplotu okolního prostředí. Z tohoto a z dalších důvodů se jako ideální materiál pro snímač tlaku jeví krystalický křemík:

- krystalický křemík je naprosto elastický – hystereze je nulová;
- poměr pevnosti a hmotnosti křemíku je pětikrát vyšší než u oceli;
- krystalický křemík je křehký – nemůže být plasticky deformován.

Navíc jsou zde dobré obchodní důvody pro volbu křemíkového snímače tlaku. Křemíkové snímákové prvky se vyrábějí běžnou technikou používanou při výrobě integrovaných obvodů s přidanými kroky mikroobrábění, aby se vytvořila membrána snímače a obal odolávající tlaku. Cena snímače je nízká a jeho kvalita je vysoká, protože integrované obvody se vyrábějí ve velkých objemech.

Aby byl křemík přeměněn na snímač, který měří změnu polohy membrány, musí být do něj nebo na silově citlivou plochu vestavěn snímač pro měření síly. Toto se provádí difúzí nebo iontovou implantací, která vytvoří na sílu citlivé odpory – neboli piezorezistory. Působením tlaku se vychýlí membrána a změní se odpor piezorezistorů. Velkou výhodou piezorezistivního snímače síly je jeho citlivost, která je 10 až 20 krát vyšší než u snímačů z mědi nebo jiných kovů.

Klasické mechanické manometry, ale i snímače tlaku s kovovou membránou, jsou náchylné k poškození tlakovým přetížením. Jakékoli tlakové přetížení nad hodnotu maximálního rozsahu může významně ovlivnit metrologické vlastnosti, ale následné odečty tlaku se mohou i nadále jevit jako správné a mohou být chybně považovány za přesné.

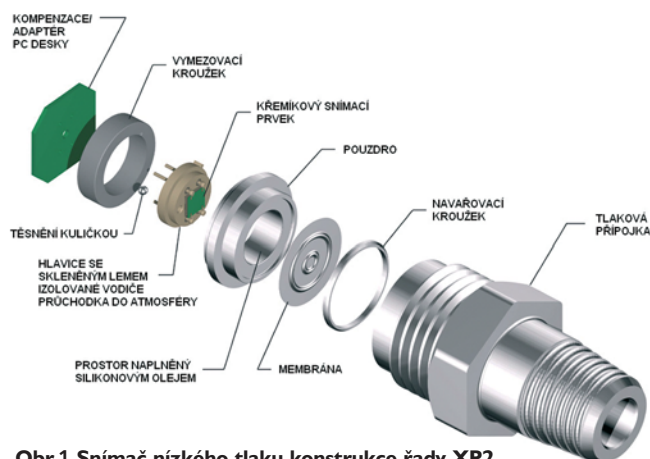
Je-li křemíkový snímač vystaven tlakovému přetížení (ne však dosahujícímu bodu mechanického poškození), bude stále odečít tlak správně a přesně, protože krystalický křemík je zcela elastický a přetížení nezmění jeho vlastnosti.

Nelze říci, že křemíkové snímače jsou nezníčitelné, ale je-li snímač poškozen, je to ihned patrné. Snímač z krystalického křemíku se poškodí podobným způsobem jako sklo – roztrhne se. Poškození je okamžité a další měření není možné. Mechanickým poškozením čidla se otevře nejméně jedna strana Wheastonova můstku a elektrický signál je okamžitě mimo rozsah, což nelze přehlédnout. Velkou výhodou křemíkového snímače je skutečnost, že nemůže provést nesprávné měření – buď měří správně, nebo neměří vůbec.

Použití technologie křemíkových piezorezistivních snímačů není jednoduché. Křemík je robustní materiál, ale elektrické připojení k snímači tak odolné není. Tak jako u mnoha jiných integrovaných spojů se používá pro spojení snímače síly a externího signálu vodič o malém průměru, vyrobený ze zlata. Toto propojení je také obvykle vystaveno tlaku působícímu na membránu. Tento způsob konstrukce lze lehce iden-

tifikovat, podle požadavku, že médiem může být „čistý, suchý vzduch“ nebo „nekorozivní plyny“. Voda a vodní páry způsobují poškození snímače, protože v případě přítomnosti elektrického proudu mezi rozdílnými materiály (v tomto případě zlatými vodiči a zalisováním připojení křemíku – hliníkovým nebo podobným pokovením) působí voda jako elektrolyt.

Je tedy zřejmé, že tato konstrukce není vhodná pro průmyslové použití. Snímač je potřebné chránit olejovým oddělovacím systémem. Tento systém je velmi podobný tomu, co najdete v převodnicích tlaku: kovová membrána a olejová náplň chrání měřící prvek. Otázkou je, zda kovová membrána ovlivňuje vlastnosti křemíkového snímače. Odpověď zní ne, pokud je zvolena správná konstrukce. Kovová oddělovací membrána neovlivňuje opakovatelnost proto, že i pro měření maximálního tlaku není potřeba prakticky žádná deformace membrány. Důvodem je to, že membrána křemíkového snímače je velmi malá – obvykle méně než 2 mm², zatímco membrána vystavená tlaku má průměr řádově 10 mm (nízkotlaké typy mohou mít průměr membrány i dvojnásobný). Na obr. 1 je znázorněna konstrukce takového snímače tlaku.



Obr.1 Snímač nízkého tlaku konstrukce řady XP2

Závěrečným úkolem při použití křemíkových piezorezistivních snímačů je jejich linearizace a teplotní kompenzace.

Tenzometry mají teplotní koeficient v řádu $2,2 \times 10^{-3}$, takže je nutné použít nějaký způsob teplotní kompenzace. Nejjednodušší metodou je doplnit můstek kompenzačními teplotně závislými odpory. Výsledkem je pouze částečné vylepšení a je obvykle provedeno již výrobcem snímače (ne výrobcem finálního výrobku), přičemž teorie a technické řešení je mimo rozsah tohoto článku.

U výrobků, které mají teplotní kompenzaci provedenou touto metodou, je často uvedeno, že technické údaje platí v rozsahu teplot od 18 °C do 28 °C. Při teplotě nad 28 °C nebo pod 18 °C se uplatní teplotní chyba 0,01 %/°C.

Piezorezistivní křemíkové snímače tlaku je možno ovšem teplotně kompenzovat i digitálně. V tomto případě každý tlakoměr musí být



zkoušen v teplotní komoře a jeho teplotní charakteristiky jsou individuálně modelovány. Tato technologie eliminuje teplotní vlivy a používá se také při korekci nelinearity snímače.

Pro digitální kompenzaci je třeba získat pro každý jednotlivý snímač tlaku poměrně velké množství naměřených údajů v různých tlakových hodnotách při různých teplotách okolního prostředí v celém rozsahu provozních teplot (obvykle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Z důvodu rentability je vhodné celé měření automatizovat a provádět charakterizaci snímačů ve velkých sériích. Na obrázcích je příklad počítačově řízeného pracoviště s automatickými regulátory/kalibrátory tlaku a s teplotními komorami.

Velmi důležitým parametrem etalonových tlakoměrů je odolnost vůči otřesům a nárazům. Mechanické deformační tlakoměry se i při malém otřesu mohou poškodit nebo mají pro běžného uživatele nezjistitelný

drift. Naproti tomu robustní konstrukce křemíkových piezorezistivních snímačů je vůči otřesům a nárazům velmi odolná.

Závěrem lze shrnout výhody moderního digitálního referenčního tlakoměru vůči "klasickému" etalonovému deformačnímu tlakoměru mechanické konstrukce:

- vyšší přesnost (obvykle lepší než $\pm 0,1\%$ odečtu od 20 do 100 % rozsahu);
- vyšší rozlišení zobrazení tlaku a snadnější čtení údaje;
- možnost teplotní kompenzace v celém rozsahu pracovních teplot;
- odolnost vůči tlakovému přetížení, otřesům a nárazům;
- schopnost komunikace s počítačem;
- možnost zobrazení tlaku v různých jednotkách tlaku a případné další zpracování dat (tlumení, záznam minimální a maximální hodnoty, průměr, odchylka, atd.).

Literatura

Firemní materiály Crystal Engineering Corporation

<http://www.crystalengineering.net>

<http://www.dex.cz>



D-Ex Instruments, s.r.o.

Petr Moravec
Pražská 11, 811 04 Bratislava
Tel.: 02/57 29 72 97
Fax: 02/57 29 74 24
e-mail: info@dex.sk
<http://www.dex.sk>

2