

# **ELECTRONIC VELOCITY MEASUREMENT OF GASES WITH THERMAL ANEMOMETERS**

Martin DOSEDĚL, Bachelor Degree Programme (3)  
Dept. of Radio Electronics, FEEC, BUT  
E-mail: xdosed04@feec.vutbr.cz

Supervised by: Ing. Tomáš Urbanec

## **ABSTRACT**

This work deals with electronic velocity measurement of gases, esp. of the air. It concentrates mainly the questions connected with thermal anemometers – anemometers using hot temperature-dependent sensors. It also shows some possible types of those sensors and indicates positives and negatives of measurement with thermal anemometers. At the end of this work is my own possibility of thermal anemometer block scheme.

## **1 ÚVOD**

Elektronické měření rychlosti proudění se dá provádět několika způsoby (např. pomocí LDA, kalorimetrických anemometrů, atd. – viz [1]), ale nejpřesnější je měření pomocí termálních anemometrů. Tyto přístroje se používají i jako méně přesné etalony pro rychlost. Využívají teplotní závislosti elektronických prvků – nejčastěji termistorů, popř. speciálních profesionálních čidel, založených na principu termistoru.

## **2 ROZBOR**

Jak již bylo řečeno, základním principem termálních anemometrů je použití teplotně závislého prvku. Tento prvek se vyhřeje (pomocí příslušné elektroniky v měřiči) na určitou teplotu (tzv. horké čidlo) a je vložen do proudícího plynu (pro jednoduchost budeme nadále uvažovat vzduch). Proudící vzduch tento prvek ochladí, což se projeví na změně jeho elektrických vlastností – nejčastěji elektrického odporu. Změna je dále vyhodnocována a z ní je určena rychlost proudění.

### **2.1 KOMPENZACE TERMÁLNÍCH ANEMOMETRŮ**

Tento jednoduchý princip by byl úspěšně realizovatelný pouze v prostředí s konstantní teplotou. Protože se však v technické praxi toto prostředí vyskytuje pouze zřídka, potřebují teplotní anemometry kompenzaci. Nejčastěji je to pouze kompenzace teplotní (protože odpor prvku závisí nejen na míře ochlazování (tedy na rychlosti vzduchu), ale také na teplotě ochlazujícího vzduchu). Tato kompenzace má největší vliv na správnost měřené rychlosti.

Dalšími negativními vlivy mohou být např. vlhkost vzduchu, tlak vzduchu apod. Tyto účinky jsou však zanedbatelné, proto se jejich vliv neuvažuje. Teplotní kompenzace se dá provést v principu dvěma způsoby:

První způsob je použití druhého teplotně závislého prvku, který nebude vyhříván (tzv. studené čidlo). Toto pak bude měřit teplotu vzduchu a horké čidlo bude měřit rychlost ovlivněnou teplotou. Vhodným zpracováním těchto dvou signálů se získá signál nezávislý na teplotě měřeného vzduchu. Výhodou tohoto způsobu je možnost měření vysokých rychlostí proudění (rychlost a teplota se měří současně), nevýhoda je potom v nutnosti použití dvou čidel a v jejich prostorovém umístění (tak, aby byla v minimální vzdálenosti kvůli měření v jednom místě a zároveň aby byla v maximální vzdálenosti kvůli ovlivňování studeného termistoru horkým a tedy zkreslení údaje o teplotě).

Druhý způsob je použití časového multiplexu – tedy měření pomocí jednoho čidla, které měří chvíli teplotu vzduchu a chvíli jeho rychlost ovlivněnou teplotou. Opět zpracováním těchto signálů lze získat údaj pouze o rychlosti vzduchu. Tento způsob není použitelný pro měření vysokých rychlostí proudění s velkou rychlostí změn teploty (perioda multiplexu musí korespondovat s termální časovou konstantou použitého čidla – aby se při přepnutí z měření teploty na měření rychlosti, příp. opačně, stačilo ohřát, příp. ochladit) – může se stát, že budeme měřit teplotu vzduchu, který už je, díky jeho vysoké rychlosti, o několik metrů vzdálen od čidla.

## 2.2 DĚLENÍ A TYPY ČIDEL

Kromě dělení na anemometry s jedním a se dvěma čidly lze dále tyto měřiče dělit **podle principu** na typy:

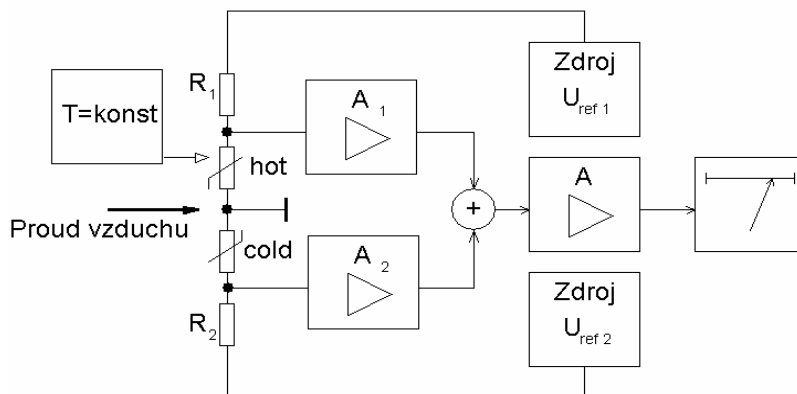
- **CTA** (*Constant Temperature Anemometers*) – tyto anemometry udržují konstantní teplotu čidla a rychlost se měří vyhodnocováním změny veličiny potřebné k udržení této konstantní teploty. Teplota čidla se volí daleko vyšší, než je maximální teplota měřeného vzduchu. Nevýhodou této skupiny je právě vysoká teplota čidla (cca 200 °C – 1500 °C).
- **CCA** (*Constant Current Anemometers*) – tyto anemometry udržují konstantní proud čidlem a rychlost se měří vyhodnocováním změny napětí potřebné k udržení tohoto konstantního proudu. Výhodou je relativně nízká teplota čidla, ale podstatnou nevýhodou je právě konstantní proud, který může (při nízké či nulové rychlosti proudění) způsobit poškození nebo, v extrémních případech, až vznícení čidla.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, lze použít několik typů čidel. Všechna mají jednu společnou vlastnost – teplotní závislost **odporu**. Jiná než odporová čidla (např. čidla využívající teplotní závislost PN přechodu apod.) se nepoužívají (např. kvůli nutnosti vysoké teploty čidla). Odporová čidla používaná v termálních anemometrech jsou tedy:

- **profesionální čidla** (*Hot-wire, Hot-film*) – čidla vyrobená z drátku (*Hot-wire*) popř. plíšku (*Hot-film*) malých rozměrů – typ. průměr (tloušťka plíšku) 4 μm, délka 1-2 mm z materiálů s požadovanou teplotní závislostí (např. Pt, W, ...). Jejich výhodou je velikost, velmi malá termální časová konstanta a možnost vyrobit jednoduše čidlo s požadovanou velikostí odporu. Velkou nevýhodou je malá mechanická odolnost.

- **termistorická čidla** – tvořena termistorem (buď PTC nebo NTC). Snahou je volit jej co nejmenší (rozměrově) – kvůli velké termální časové konstantě (která se u termistorů pohybuje v desítkách sekund – viz [2]), což je jedna z nevýhod tohoto čidla; mezi výhody by se dala zařadit dobrá mechanická odolnost. Se současnými termistory se dá dosáhnout výrazné přesnosti měření (chyba podstatně menší než 1 %).

### 2.3 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚŘIČE CTA SE DVĚMA TEMISTORY



**Obr. 1:** *Blokové principiální schéma měřiče CTA.*

Na obr. 1 je jedna z možností realizace měřiče. Signál z horkého čidla nese informaci o rychlosti vzduchu ovlivněné teplotou, signál ze studeného pouze informaci o teplotě. Oba jsou upraveny (zesílení/zeslabení) v zesilovačích A<sub>1</sub> a A<sub>2</sub> a poté jsou od sebe odečteny (horký – studený) – získáváme tedy pouze informaci o rychlosti vzduchu bez teplotní závislosti. Tento signál je potom dále upraven (výkonově či napěťově zesílen, ...) a zobrazován. Obě čidla jsou napájena ze zdrojů referenčních napětí. Blok stabilizace teploty (T=konst) zajišťuje v případě termistoru PTC sám termistor (při zvýšení teploty se zvýší jeho odpor, teče jím menší proud a termistor se znovu ochladí), v případě NTC se o udržení konstantní teploty musíme postarat jiným způsobem. Je jasné, že celé zapojení musí mít velmi malou teplotní závislost (neboť je spolu s čidly umístěno do proudu vzduchu o různých teplotách).

### 3 ZÁVĚR

Měření rychlosti proudění pomocí termálních anemometrů je velmi přesnou metodou, která je však poměrně náročná na realizaci (teplotní kompenzace čidla, minimální teplotní závislost elektroniky, ...). Při použití termistorů jako čidel rovněž vystupuje i problém tepelné setrvačnosti celého měřiče (cca 10 s). Tyto problémy jsou však překonatelné; kromě teplotní setrvačnosti. Ta se dá zmenšit pouze jiným typem čidla (např. termistor v menším pouzdře, čidla Hot-wire, Hot-film apod.).

### LITERATURA

- [1] Engineering Fundamentals : Fluid flow [online] URL:  
[http://www.efunda.com/designstandards/sensors/hot\\_wires/hot\\_wires\\_theory.cfm](http://www.efunda.com/designstandards/sensors/hot_wires/hot_wires_theory.cfm)
- [2] Phillips Semiconductors: KTY84-130 series silicon temperature sensors [online],  
 URL: [www.phillips.com](http://www.phillips.com)