MASS FLOWMETER FOR LOW FLOWS MEASUREMENT

Petr MELICHAR, Master Degree Programme (5)
Dept. of Microelectronics, FEEC, BUT
E-mail: xmelich@post.cz

Supervised by: Ing. Martin Adámek

ABSTRACT

This work covers one of the possible variants for noninvasive small mass flow measurement of homogenic fluids or gasses using the calorimetric method. The principle is based on measurement of the temperature difference caused by the convection and conduction. The presented flowmeter can measure the flow in both directions and it solves the basic linearity problem of the classical Thomas type calorimetric flowmeters by use of temperature difference and one source of heat.

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá jednou z možných variant neinvazivního měření malých hmotnostních průtoků homogenních kapalin nebo plynů pomocí kalorimetrické metody [1]. Měření malých průtoků má významné postavení téměř ve všech průmyslových oblastech, kde je třeba znát množství látky proteklé vedením za jednotku času. Využití nachází i v laboratořích nebo v lékařství, např. pro přesné dávkování léků, vytváření roztoků s různou koncentrací, atd..

Níže uvedený průtokoměr umožňuje měřit průtok v obou směrech. Řeší základní nedostatky kalorimetrického průtokoměru Thomasova typu, mezi které patří problémy s linearitou a závislost na pracovní poloze.

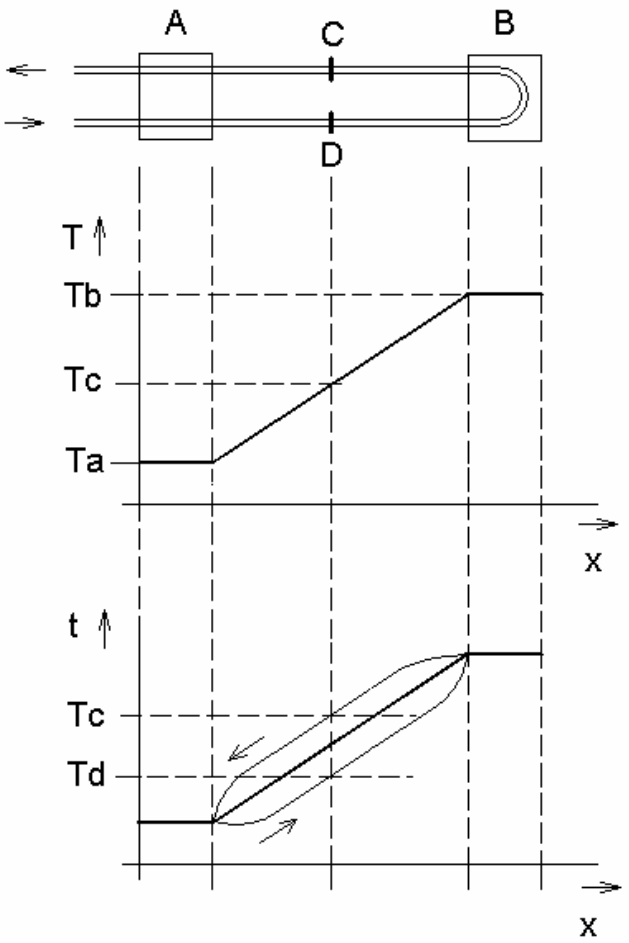
2 PRINCIP PRŮTOKOMĚRU

Princip průtokoměru je založen na měření rozdílu teplot vznikajících konvekcí a kondukcí. Uspořádání průtokoměru je na obr.1. Základ měřícího systému tvoří trubička (kapilára) vytvarovaná do tvaru U s teplotně spojenými konci a v ohybu umístěným topným elementem. Dále zařízení obsahuje diody sloužící pro snímání teploty, vyhodnocovací a regulační elektroniku. Z důvodů minimalizace tepelné časové konstanty a lineární závislosti výstupní veličiny na teplotě jsou pro snímání teploty použity miniaturní křemíkové diody zapojené v propustném směru s konstantním proudem.

Médium je vedeno tepelně vodivou trubičkou ve tvaru U, jejíž vstupní a výstupní konce (ramena) jsou spojeny tepelným mostem **A** o konstantní teplotě T_a, která je snímána diodou.

V ohybu trubičky je umístěn další tepelný most **B** obsahující tranzistor, který slouží jako topný element, a snímací dioda pracující jako zpětná vazba pro regulaci požadované teploty T_b v tomto bodě. Uprostřed mezi jednotlivými tepelnými mosty jsou na obou částech trubičky umístěny v bodech **C** a **D** diody určené pro snímaní teplot T_c a T_d.

Základním předpokladem správné funkce je laminární proudění média v trubičce a nastavení konstantního rozdílu teplot T_b-T_a **(**např. 20°C). Pokud kapalina nebo plyn neproudí, dochází vlivem volné konvekce stěn trubiček a vodivosti tekutiny k lineárnímu rozložení teploty mezi body **A** a **B,** za předpokladu tepelně izolovaných trubiček od okolí. Jelikož snímací body teploty **C** a **D** jsou umístěny ve stejné vzdálenosti na obou ramenech trubičky, teploty T_c a T_d jsou stejné a výsledný rozdíl je nulový. Prouděním tekutiny nebo plynu se však naruší rovnoměrné rozložení teploty na obou trubičkách, kdy mezi měřícím bodem *C* a *D* vznikne teplotní rozdíl, který vyvolá rozdílné napětí na diodách a tento rozdíl napětí je funkcí průtoku.



Obr. 1: *Uspořádání průtokoměru, průběhy teploty*

Proudící kapalina nebo plyn je mírně ohříván nebo ochlazován při toku z místa **A** do **B** nebo z místa **B** do **A.** Toto způsobuje odebírání či předávání tepla (energie) ze stěny trubičky či do stěny trubičky. Diody v měřících bodech **C** a **D** měří teplotu trubičky, která je funkcí přenosu tepla.

Tepelný přenos je v tomto případě složen z přenosu tepla kondukcí skrze stěnu trubičky a konvekcí do proudící tekutiny. Přenos tepla kondukcí, neboli vedením, znamená přenos formou kinetické energie částic hmoty. Existuje-li v látce teplotní gradient, pak touto látkou proteče ve směru gradientu za jednotku času množství tepla $\boldsymbol{Q}$ [$Jm^{-2}s^{-1}$], které je dáno vztahem:

$$Q = \lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x} t = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{l} t \qquad [Jm^{-2}s^{-1}] \qquad (1)$$

kde $\boldsymbol{\lambda}$ [$Wm^{-1}K^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti.

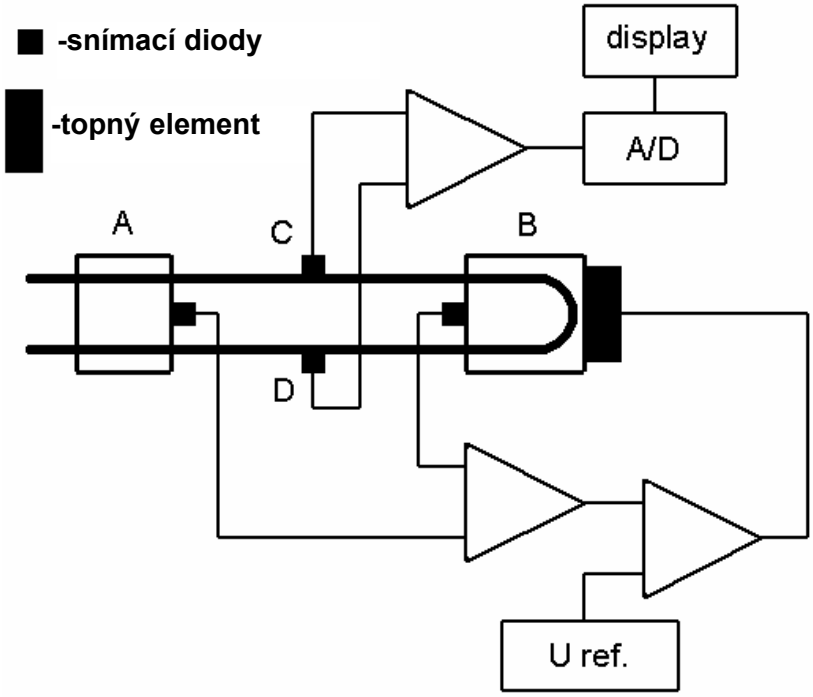
Při přenosu tepla mezi tekutinou s teplotou T_1 a stěnou s teplotou $T_2 < T_1$ vznikne u stěny mezní vrstva, kterou prochází teplo Q plochou S po dobu t. Potom platí

$$Q = \alpha S t \left(T_1 - T_2\right) \qquad [Jm^{-2}s^{-1}] \qquad (2)$$

kde $\boldsymbol{\alpha}$ [$Wm^{-2}K^{-1}$] je součinitel přestupu tepla, stanoví se experimentálně, jelikož závisí na mnoha parametrech ovlivňujících proudění v blízkosti stěny, např. na hustotě, teplotním rozdílu, rychlosti proudění, viskozitě, tepelné vodivosti, měrné tepelné kapacitě, součiniteli tepelné roztažnosti, zrychlení a charakteristickém rozměru tělesa [2].

2.1 BLOKOVÉ SCHÉMA, POPIS FUNKCE ZAŘÍZENÍ A VYHODNOCUJÍCÍ ELEKTRONIKY

Regulační obvod (obr.2) zajišťuje konstantní rozdíl teploty mezi jednotlivými tepelnými mosty. Teplota na obou tepelných mostech **A** a **B** je snímána diodami, jejichž napětí, se přivádí do diferenčního zesilovače. Výstup z tohoto zesilovače je veden na komparátor, kde se porovnává s požadovanou hodnotou nastavenou pomocí zdroje referenčního napětí. Výstup komparátoru je připojen na topný element, který je realizován pomocí výkonového polem řízeného tranzistoru upevněného přímo na tepelný most.



Obr. 2: *Blokové schéma řídících a vyhodnocujících obvodů*

Vyhodnocující obvod (obr.2) zajišťuje lineární převod rozdílů teplot na jednotlivých ramenech trubičky na napětí, které se převádí na digitální signál pro snazší zpracování a zobrazení naměřených dat. Teplotní napětí diod se porovnává v diferenčním stupni operačního zesilovače. Uvedený obvod je navržen tak, aby byl schopen přenášet obě polarity měřeného rozdílu. Z tohoto důvodu lze měřit i směr průtoku média. Kalibrace na daný typ média se provádí změnou zesílení operačního zesilovače.

3 ZÁVĚR

Byl navržen a zrealizován průtokoměr pro měření velmi malých průtoků. Průtokoměr se vyznačuje relativně jednoduchou konstrukcí a nenáročností na vyhodnocovací a kompenzační obvody. Za jeho hlavní výhody lze považovat možnost měření průtoku v obou směrech, nezávislost na pracovní poloze a konstantní změnu teploty média nad teplotu okolí. Z posledně jmenovaného se dá snadno určit na jakou teplotu bude médium zahřáté. Pokud vezmeme v úvahu tento fakt při aplikaci na konkrétní typ média, je zaručeno, že nemůže dojít k lokálnímu přehřátí média i při minimálním průtoku či v případě nulového průtoku.

LITERATURA

[1] Krejčí,V., Stupka, J.: Elektrická měření, SNTL, Praha 1973

[2] Kafka, M.: Průtokoměr pro měření malých objemových toků, Diplomová práce, VUT v Brně, 2000