

ELECTROCHEMICAL SENSORS FOR THE MEASUREMENT OF RELATIVE HUMIDITY AND THEIR SIGNAL PROCESSING

Michal Hedl

Master Degree Programme (2), FEEC BUT
E-mail: xhedlm01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ivan Krejčí

E-mail: ivan.krejci@vspj.cz

Abstract: In metrology, high demands are placed on accurate and sensitive measuring equipment. The aim of this project was to design and implement a highly accurate and sensitive device for the measurement of relative humidity in ambient gas with an absolute measurement error of less than 1 %, which can be used in numerous branches (food packing, health care, pharmacy, logging industry, labs etc.).

Keywords: EEICT, Relative humidity, conductometric sensor, hygroscopic material

1 ÚVOD

Během svého bakalářského studia jsem se zúčastnil dobrovolné výpomoci v laboratořích elektrotechniky, kde jsem se podílel na tvorbě měřiče relativní vlhkosti. Novou verzi projektu se značným zesložitěním jsem nakonec přebíral jako svoji bakalářskou práci. Změny oproti minulé verzi se týkají především ve dvou rozsazích měření a jeho automatickým přepínáním, zpracování signálů, nového el. schéma, návrhu nové desky plošných spojů a programového vybavení. Mým úkolem tedy bylo navrhnout a zrealizovat signálovou trasu měřiče relativní vlhkosti zpracovávající signál konduktometrického senzoru s aktivní hygroskopickou vrstvou pro měření relativní vlhkosti plynů. Trasa měřiče vodivosti byla zvolena se dvěma rozsahy, 1 mS - 10 μ S a 10 μ S - 100 nS. Zařízení bude komunikovat s nadřazeným PC přes USB rozhraní [1][2].

Měření relativní vlhkosti je v mnoha odvětvích velmi důležité, především pak ve zdravotnictví a potravinářském průmyslu. U potravin balených v ochranné atmosféře je relativní vlhkost těchto plynů velmi podstatná a z velké míry ovlivňuje celkovou trvanlivost takto ošetřených výrobků.

2 POPIS MĚŘENÍ

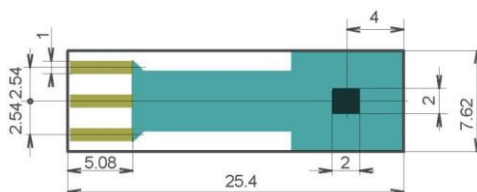
2.1 ZVOLENÁ MĚŘICÍ METODA

Jako měřicí metoda byla zvolena metoda s tuhým elektrolytem z důvodu určení zařízení pro potravinářský a farmaceutický průmysl. Zde tuhý elektrolyt představuje vrstvu Al_2O_3 (oxid hlinitý). Elektrody jsou ve tvaru dvou do sebe zasunutých hřebínků, které se navzájem nedotýkají. Emitací a absorpcí vodních par do hygroskopického elektrolytu se mění vodivost mezi elektrodami, z níž je následně vyhodnocena vlhkost.

Pro tento projekt byl k dispozici senzor pracující na principu vodivostních (admitančních) měření využívající tuhý elektrolyt. Lze jím měřit jak reálnou (vodivost), tak i imaginární složku (susceptanci) admitance. Porovnáním citlivostí obou typů měření a složitosti měřících aparatur, byla zvolena metoda vodivostní, kde je měřena reálná složka admitance (vodivost). Možnost aplikace kapacitní metody naráží na podstatně složitější obvodové řešení.

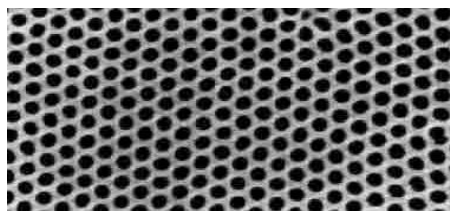
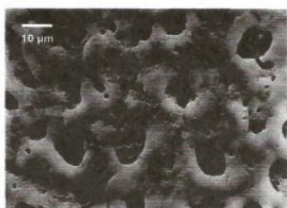
2.2 POPIS SENZORU

Senzor CC1 od firmy BVT Technologies a.s. je primárně určen pro konduktometrická měření. Základní destička je tvořena na keramické destičce ze slinutého korundu. Na základní keramickou destičku je napařen metodou tlustých vrstev elektroodový systém tvořený dvojicí elektrod. Elektrody mají tvar do sebe zasunutých hřebínků a jsou spojeny s konektorem stříbrnými propojkami, napařenými na základní desce. Neaktivní části senzoru jsou pokryty ochrannou izolační vrstvou. K výpočtu relativní vlhkosti je zapotřebí znát i okolní teplotu. Proto je na druhé straně senzoru teplotní čidlo PT1000.



Obrázek 1: Náčrten senzoru CC1. [5]

Oxid hlinitý se podle formy dělí na tři skupiny – α (alfa), β (beta) a γ (gama), z nichž se pouze modifikace alfa a gama používají pro snímání vlhkosti (forma β totiž existuje jen ve sloučeninách s dalšími prvky). Povrch modifikace α je tvořen rignonálními krystaly na povrchu stabilní porézní vrstvy. To zajišťuje senzorické vrstvě stálost parametrů, byť se sníženou citlivostí. Oproti modifikaci γ , která má povrch vysoce porézní stavbě krystalů se amorfní senzory používají pro svoji vysokou citlivost. Ovšem v přítomnosti vody jsou nestabilní a vytváří krystalickou podobu. Tím je znemožněna opakovatelnost měření. Z těchto důvodů byla vybrána krystalická forma – modifikace α [3].



Obrázek 2: Krystalická forma α Al_2O_3 (vlevo), porézní struktura γ Al_2O_3 (vpravo). [3]

2.3 REALIZACE PŘÍSTROJE

Jako řídicí mikrokontrolér byl zvolen MSP430AFE253 od firmy Texas Instruments především kvůli jeho počtu A/D převodníků s rozlišením 24-bit sigma-delta s PGA (programmable gain amplifier) vstupy a nízkou spotřebou v aktivním módu $220 \mu\text{A} @ 1 \text{ MHz}$, 2.2 V [6].

2.4 PROGRAMOVÁNÍ A KOMUNIKACE

Programové vybavení mikrokontroléru bylo napsáno v prostředí Code Composer Studio a programovacím jazykem C. Zařízení disponuje dvěma komunikačními rozhraními – JTAG a USB. JTAG byl použit pro naprogramování a dodatečné ladění programu mikrokontroléru.

ru v reálném čase. Po doladění se celý plošný spoj uzavře do krabičky a už k němu nebyl přístup. Programová funkce pro vyčítání napětí a proudu z A/D převodníků vypadá následovně.

```
void Measurement(void)
{
SD24CCTL1 |= SD24SC;
voltage = 0;current = 0;
for(cycle=256;cycle!=0;cycle--) //cislicova filtrace - prumerovani
{
suma0 = 0;suma1=0;
while ((SD24CCTL1 & SD24IFG)==0) //
{}
SD24CCTL1 &= ~SD24SC; //ADC stop
ADC();
voltage+=suma0;
current+=suma1;
SD24CCTL1 |= SD24SC;
}
voltage>>=8;
55
current>>=8;
}
```

USB rozhraní slouží pro kalibraci a vyčítání naměřených dat ze zařízení. Komunikace je založena na principu „request - response“. Řetězec znaků z měřiče vlhkosti se tvoří v mikrokontroléru podle dohodnutého předpisu. Pro měření stačí do zařízení odeslat předepsaný řetězec pro měření:

index	[0]	[1]	[2]
znak	#	M	;

Tabulka 1: Odesílací řetězec pro měření – measurement

Odesílaná zpráva se před odesláním ukládá do paměti a tvoří pole znaků. Řetězec pak může vypadat například následovně:

index	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
znak	#	1	.	2	3	4	k	0x0a	0x0d	;

Tabulka 2: Vysílací pole znaků z mikrokontroléru pro 1,234 kΩ

2.5 KALIBRACE

Podobně jako u měření se kalibrace zahájí odesláním řetězce jako se znakem „C“ na prvním indexu pole. Kalibrace vycházela z porovnání vodivostní normy s vodivostí senzoru. Pro tento účel byly vybrány vysoce časově a teplotně stabilní rezistory Tesla řady TR16x. Jejich odpor byl změřen precizním multimetrem Agilent 34410A, který měří s rozlišením 6½ digitu. Z jeho údajů byla vypočtena převrácená hodnota odporů – vodivost standardů. Takto vypočtené hodnoty jsou považovány za konvenčně správné hodnoty vodivosti normálů (GN). Kalibrační proces je součástí nabídky programových prostředků přístroje a po-

zůstává ze dvou kroků. První krok spočívá v připojení standardu, jehož vodivost odpovídá maximální vodivosti kalibrovaného rozsahu, na svorky přístroje. Následně jsou dvěma 24-bitovými převodníky změřeny napětí na svorkách a proud tekoucí standardem. V druhém kroku jsou určeny údaje převodníků pro nulový proud a nulové napětí (offsety převodníků). Potom lze určit převodní konstantu mezi údaji převodníků a měřenou vodivostí:

$$G_N = k_G \cdot \frac{ADC_{N_I} - ADC_{0_I}}{ADC_{N_U} - ADC_{0_U}} \quad (1)$$

kde G_N je konvenčně správná hodnota vodivosti standardu, ADC_{N_I} a ADC_{0_I} jsou údaje převodníku proudové trasy při aplikaci nulové vodivosti na svorkách, ADC_{N_U} je číselný údaj napěťového A/D převodníku při připojení standardu a ADC_{0_U} při nulovém napětí a k_G je převodní konstanta [1].

3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE

Díky realizaci zařízení s automatickým přepínáním citlivosti mezi dvěma rozsahy měření, z nichž jeden byl určen na měření velkých a druhý na měření malých vodivostí, vedlo ke zlepšení poměru signál – šum proudové trasy, což přispělo k vyšší stabilitě opakovaných výsledků a zvýšení přesnosti. Měřením jsme získali maximální absolutní chybu měření na měřeném odporu u systému s automatickou změnou měřeného rozsahu 0,8 % [4].

4 ZÁVĚR

Zařízení dosahuje vysoké citlivosti a absolutní chyby měření do 0,8 %. Může se tak použít v oblastech měření, kde jsou vysoké nároky na přesné měření relativní vlhkosti v plynech, jako je například zdravotnictví, farmacie, potravinářský průmysl a další. Tím, že zařízení disponuje sériovou komunikací prostřednictvím USB, je zde možnost dalšího vývoje. Zařízení by mohlo průběžně odesílat změřené hodnoty do PC nebo serverové databáze pro archivaci, monitoring a další zpracování. Projekt byl plně financován VŠPJ na základě interní grantové soutěže.

REFERENCE

- [1] KREJCI, Ivan a David KREJCI. Measurement of Relative Humidity Using Electrochemical Sensors. International Frequency Sensor Association [online]. 2017 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/february_2018/Vol_220/P_2973.pdf
- [2] BRDIČKA, prof. Dr. Rudolf. Základy fyzikální chemie. 45. 1. Praha 2: Přírodovědné vydavatelství, 1952, 704 s.
- [3] CHEN, Zhi a Chi LU. Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms [online]. Lexington, 2005 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://web.engr.uky.edu/~zhichen/publication/Humidity-Sensors-Review-Reprint.pdf>. University of Kentucky.
- [4] HEDL, Michal. Zpracování signálu konduktometrického senzoru měření relativní vlhkosti plynů. Jihlava, 2018. Bakalářská práce. Vysoká škola polytechnická Jihlava.
- [5] BVT Technologies: CC1 [online]. 2017 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <http://www.bvt.cz/ftp/Senzory%20new/CC1n.pdf>
- [6] Texas Instruments: MSP430AFE253 [online]. 2017 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430afe253.pdf>