

Charakterizace tištěných senzorů vlhkosti

Josef Šlauf, Jan Řeboun
Katedra technologií a měření
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
yury@ket.zcu.cz

Characterization Of Printed Humidity Sensors

Abstract – This paper describes the characterization of chemically sensitive printed sensors based on interdigital topology. It's long-term stability, properties depending on the type of environment, method of calibration and the level of accuracy achieved with the chosen measuring apparatus were measured. Data used for calibration of sensors are obtained from a series of different experiments.

Keywords – Characterization; Humidity; Impedance; PEDOT:PSS; Printed electronics; Relative humidity; Sensors; Sensor stability

I. ÚVOD

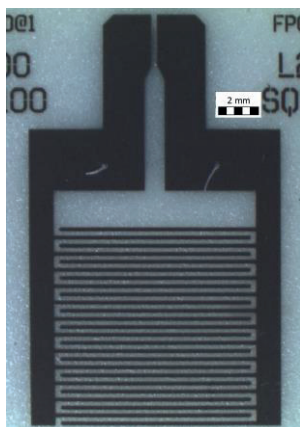
Poměrně masivní rozvoj tištěné elektroniky, který pozorujeme v poslední době se nevyhnul ani odvětví elektronických senzorů. I když vlastnosti dnes vyvíjených tištěných senzorů a vlastně tištěné elektroniky obecně nesnesou srovnání s konvenčními výrobky obdobných funkcí [1], nelze tvrdit, že tištěná elektronika nemá své opodstatnění a využití. V odvětví sensoriky disponují tištěné senzory nespornými výhodami oproti těm, které jsou vyráběny konvenčním způsobem. Jedná se především o míru flexibility a výrobní náklady, které jsou v dobře zvládnutém tiskovém procesu zlomkové oproti konvenčnímu způsobu výroby [2,3]. Měření vlhkosti je bezesporu velice důležitou disciplínou v řadě technologických procesů ale i v mnoha dalších aplikacích. V případě senzorů relativní vlhkosti lze produkovat senzory o plošných rozměrech řádově jednotky milimetrů až po senzory v rádech metrů, které lze poměrně snadno aplikovat i na nerovný povrch.

II. MĚŘENÍ TIŠTĚNÝCH RH SENZORŮ

A. Popis měřených vzorků

Popisované senzory jsou vytištěny technologií „spiral bar coating“. Použitým materiálem citlivé vrstvy je organický polymer PEDOT:PSS, kontaktovací plošky a interdigitální elektrody jsou natištěny z uhlíku pomocí sítotisku. Poměr PEDOT:PSS použitý k tisku testovaných senzorů je 1:15 hmotnostních jednotek. Tloušťka tištěné vrstvy PEDOT:PSS se pohybuje kolem 200 nm. Nosným substrátem je transparentní a flexibilní PET fólie.

Pro účely testování bylo realizováno celkem 480 kusů tištěných senzorů na deseti arších. Plošné rozměry jednoho senzoru jsou 12,4 x 20,3 mm.



Obrázek I. Snímek jednoho z testovaných RH senzorů

B. Použitá měřicí aparatura a způsob měření

Pro měření vzorků byla zvolena 4 bodová metoda, a to z důvodu jejího poměrně přesného měření malých i velkých impedancí. Pro měření byl zvolen harmonický signál o frekvenci 1 kHz a efektivní hodnotě napětí 100 mV. Frekvence měřicího signálu byla zvolena s ohledem na testovací, respektive měřicí signály využívané u komerčních senzorů, pracujících na principu impedanční odezvy. Hodnota měřicího napětí byla zvolena poměrně nízká (100 mV), tak aby bylo minimalizováno riziko destrukce, či degradace citlivé vrstvy senzoru vlivem napětí měřicího signálu.

K měření byla používána následující aparatura s ohledem na typ experimentu.

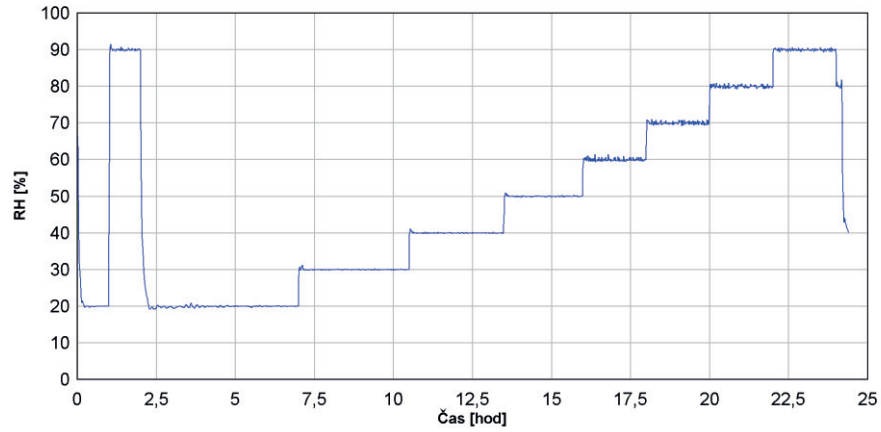
TABULKA I. POUŽITÁ MĚŘICÍ APARATURA

Zařízení	Typ
Impedanční analyzátor	HIOKI IM3590
LCR metr	Agilent E4980A
Multiplex	10-ti kanálový multiplex

C. Popis jednotlivých experimentů

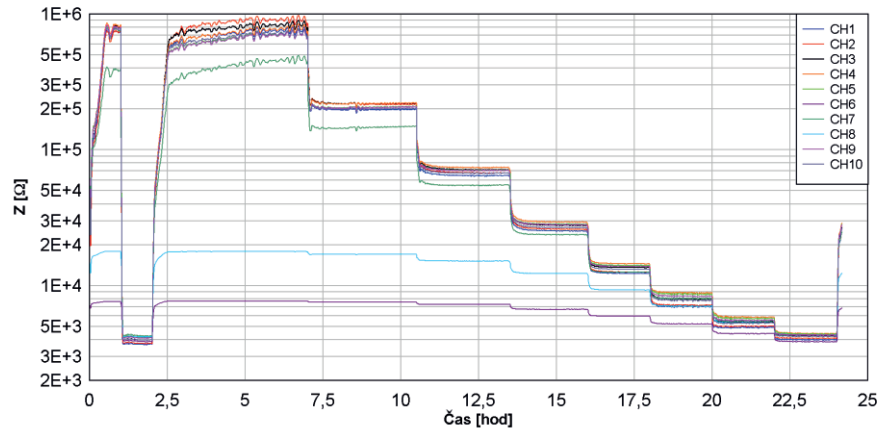
Pro účely charakterizace bylo provedeno několik experimentů, které testovaly klíčové vlastnosti senzorů. Jednalo se především o stanovení dlouhodobé stability, měření dynamického chování, míry degradace při vystavení různým prostředím a zatěžování elektrickými signály. K určování dlouhodobé stability a míry degradace byl využíván jednotný cyklus změny RH v klimatické komoře. Tímto cyklem prošel každý testovaný senzor z důvodu počátečního ověření jeho funkčnosti. K získání dat o dynamických vlastnostech byl využit skokový cyklus a pro zjištění vlivu elektrických signálů na degradaci senzoru byla udržována v okolí senzoru stabilní úroveň RH.

Rozsah relativní vlhkosti, jemuž byly senzory podrobeny, tedy 20 % RH – 90 % RH byl volen především s ohledem na budoucí možné využití senzorů, tedy jako levné detektory vlhkosti, umístěné například na obalech medikamentů či potravin. Rovněž dostupné klimatické komory, které byly používány pro testování senzorů mají určitá omezení v dostupném rozsahu generované relativní vlhkosti a poměrně dlouhou dobu dosahování nízkých (RH <10 %), či vysokých (RH >90 %) úrovní relativní vlhkosti. Cyklické zatěžování v klimatické komoře hodnotou nižší než 20 % RH a větší než 90 % RH je sice možné, ale s ohledem na časovou náročnost dosažení těchto úrovní se jeví pro harmonogram experimentů jako nereálné.



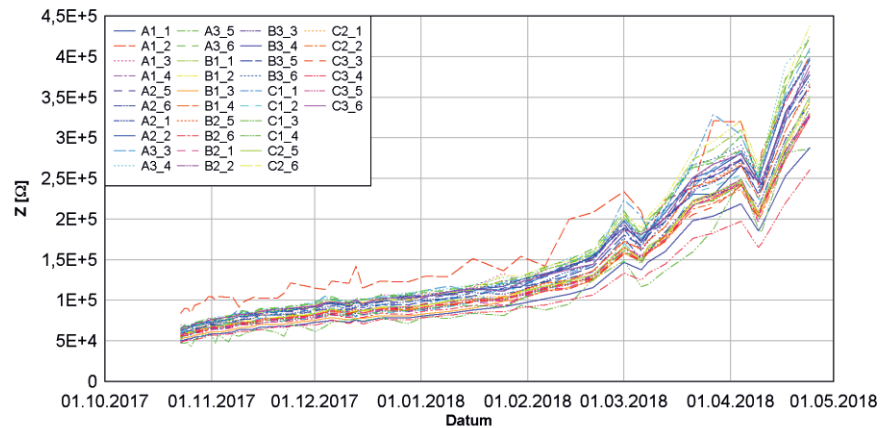
Obrázek II. Základní testovací cyklus RH

D. Dosažené výsledky



Obrázek III. Impedanční odezva deseti senzorů na základní cyklus

Na Obr. III je zřetelná značná odchylka impedanční odezvy senzorů měřených na kanálu CH6, CH7 a CH8. Tato odchylka je způsobena různou mírou nedokonalosti provedení interdigitálních elektrod, především pak v nedodržení daných rozměrů elektrod. Je tedy zřejmé, že kvalita provedení tisku má velký vliv na výslednou impedanční odezvu.



Obrázek IV. Impedanční odezva senzorů zatěžovaných el. signály při stab. RH

TABULKA II. POUŽITÉ ZATĚŽOVACÍ SIGNÁLY SENZORŮ

Svazky	Signál	Amplituda	Frekvence	Svazky	Signál	Amplituda	Frekvence
A_1-1,2,3,4	Obd.	100 mV	120 Hz	B_3-3,4,5,6	Bez zátěže	Bez zátěže	Bez zátěže
A_2-5,6,1,2	Sin.	100 mV	120 Hz	C_1-1,2,3,4	Obd.	1 V	120 Hz
A_3-3,4,5,6	Obd.	100 mV	1 kHz	C_2-5,6,1,2	Sin.	1 V	120 Hz
B_1-1,2,3,4	Sin.	100 mV	1 kHz	C_3-3,4,5,6	Sin.	1 V	1 kHz
B_2-5,6,1,2	Obd.	1 V	1 kHz				

III. ZÁVĚR

Z analýzy dat získaných sérií provedených experimentů lze vyvodit, že řešení testovaných senzorů, tedy použitá topologie a materiál použitý k tisku senzorů je funkční. Jinými slovy je patrná jasná reakce sledovaných elektrických parametrů, v tomto případě impedance na změnu okolní vlhkosti. Dosahovaná přesnost senzorů s použitím navržené metodiky testování vzorků první poloprovozní série dosahuje průměrné hodnoty ± 5 % RH. Tato hodnota se s přihlédnutím k velice nízké výrobní ceně a zamýšlenému okruhu aplikací těchto senzorů (nízkonákladové snímače hlídající vlhkostní podmínky například skladování medikamentů, potravin a podobně) jeví jako poměrně příznivá. Lze také předpokládat, že při zlepšení kvality tisku, a tím snížení variability šířky mezery mezi interdigitálními elektrodami, se dosahovaná přesnost senzorů ještě zvýší.

Data získaná z dlouhodobě prováděných experimentů naznačují, že proces degradace senzorů je výrazně urychlen v prostředí se zvýšenou teplotou, a to bez ohledu na hladinu relativní vlhkosti prostředí. Rovněž bylo dokázáno, že kontinuální elektrické zatěžování senzorů signály s různou amplitudou, frekvencí a tvarem nemá na míru degradace žádný nebo jen zanedbatelný vliv. Výsledná data z experimentu namáhání elektrickými signály ovšem poukázala na skutečnost, že u všech senzorů bez ohledu na typ zatěžovacího signálu, a to i u senzorů bez zátěže, docházelo k jasnému a kontinuálnímu nárůstu impedanční odezvy. Nicméně je potřeba poznamenat, že efekt byl pozorován pouze u senzorů zařazených do tohoto experimentu. Tento jev přetrvával po celou dobu běhu experimentu, tj. 6 měsíců až do jeho ukončení. Z časových důvodů nebylo možné určit původ tohoto impedančního nárůstu a v případě dalšího vývoje těchto senzorů bude potřeba se tímto efektem hlouběji zabývat.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-016: Diagnostika a materiály v elektrotechnice.

LITERATURA

- [1] A. Wilkes a D. Williams, „Measurement of humidity“, *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, roč. 19, č. 4, s. 198–201, dub. 2018.
- [2] H. Farahani, R. Wagiran, a M. N. Hamidon, „Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review“, *Sensors*, roč. 14, č. 5, s. 7881–7939, dub. 2014.
- [3] A. S. G. Reddy, B. B. Narakathu, M. Z. Atashbar, M. Rebrosov, E. Rebrosova, a M. K. Joyce, „Fully Printed Flexible Humidity Sensor“, *Procedia Engineering*, roč. 25, s. 120–123, 2011.