

# Rozšíření, úprava a ověření testovacího systému tištěných senzorů pro testování RH senzorů

Karel Šíma

Katedra technologií a měření  
Fakulta elektrotechnická  
Západočeská univerzita v Plzni  
karels@ket.zcu.cz

## Extension, modification and verification of printed sensors test system for printed RH sensors measuring

*Abstract* – The paper focuses on the extension, modification and verification of the testing system for printed sensors. The first part of this paper describes the modifications of the system. The main modifications are: sending data through the LoRa LPWAN and extension from two measuring channels to four measuring channels. The second part of this paper informs about the results of the verifying of function and precision of the modified measurement method.

*Keywords* – ICM; Measurement; Resistance; RH Sensors

### I. ÚPRAVY TESTOVACÍHO SYSTÉMU

Testovací systém je založen na HW jednotce [1], ke které byl původně připojován modul umožňující dvou kanálové měření odporu pomocí ICM metody. Z důvodu velkého množství vzorků vyvstala otázka, zda by nebylo možné zvýšit počet měřicích kanálů ze současných dvou kanálů na čtyři kanály a provádět měření odporového charakteru na tištěných RH senzorů. ICM metoda (integračně komparační měřicí metoda) je metoda pro měření odporu. Tato metoda je založena na obecném principu nabíjení kapacity přes odporový element a znalosti vztahu pro výpočet časové konstanty RC obvodu. Pokud tedy dochází k měření času během nabíjení kapacity na určitou úroveň napětí, postupně přes známý a neznámý odporový element, lze pak ze znalosti hodnoty známého odporového elementu a času nabíjení dopočítat velikost neznámého odporového elementu. Hlavní výhody této metody jsou: nezávislost na napěťovém driftu měřicího napětí, nezávislost na změně velikosti kapacity způsobené stárnutím dielektrika, velmi nízká spotřeba a potenciálně velký měřicí rozsah. [2] [3]

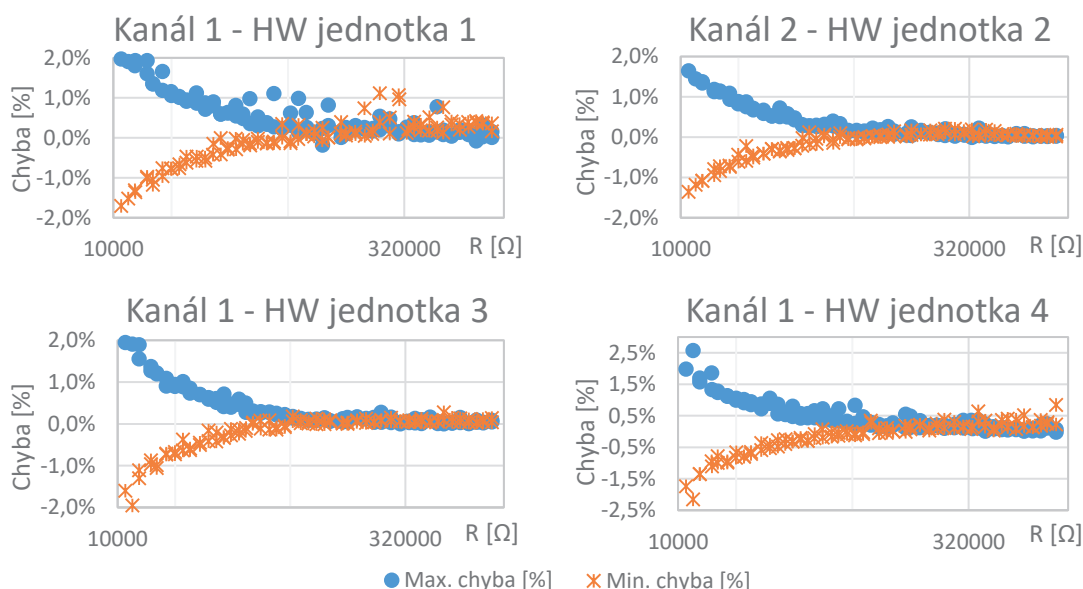
Po opětovném prostudování dokumentace mikrokontroléru [4], bylo určeno několik možných konfigurací čítačů, komparátorů a GPIO pinů, jež by se měli vzájemně minimálně ovlivňovat prostřednictvím tzv. „leaked current“. Z těchto několika konfigurací byla postupným ověřením nalezena „nejvhodnější konfigurace“. Dále byla odstraněna přílišná abstrakce v kódu původní implementace ICM metody. V oblasti zpracování dat byly k metodě klouzavého průměru implementovány další dvě metody zpracování změřených dat: klouzavý medián a dvouúrovňový klouzavý medián. Dle předpokladu získaného z literatury a na základě praktického vyzkoušení se dvouúrovňový klouzavý medián jeví jako nejvhodnější metoda pro filtraci dat.[2] Pro jednodušší a přesnější testování RH senzorů na různých rozsazích byly navrženy a vyrobeny moduly pro ICM měření, které jsou připojitelné k testovací jednotce. K jednotce byl také připojen

modul pro síť LPWAN LoRa (USI WM-SG-SM-42), který umožňuje bezdrátový přenos změřených dat do serverové části. Dále byly k testovací jednotce vytvořeny a upraveny i další systémové části: webová aplikace pro práci s kalibračními daty, mobilní aplikace, serverová část pro zpracování dat a serverová část pro ukládání dat do databáze.

## II. OVĚŘENÍ PŘESNOSTI UPRAVENÉ MĚŘICÍ METODY

Pro ověření přesnosti měřicí metody byly zvoleny pevné odpory s přesností 1% (0,6W). Pro současné a budoucí testování byl zvolen rozsah  $100\Omega$  až  $10M\Omega$ . Celkem se jedná o 120 hodnot (od každé jmenovité hodnoty byli vybrány dva kusy - celkem 240 kusů odporů). Tyto odpory byly přesně změřeny laboratorním multimetrem Keythley 2700. Přesně změřená hodnota byla vždy zaznamenána a „přiřazena“ ke konkrétní součástce. Tento krok vytvořil velmi rozsáhlý základ pro ověření přesnosti implementované ICM metody v měřicím systému. Konfigurace testovacích ICM desek byla vybrána takto: 15nF referenční kapacita a 330k $\Omega$  referenční odpor. Na základě těchto hodnot byl stanoven testovací rozsah 10k $\Omega$  až 1M $\Omega$ . Tento rozsah obsahoval 45 hodnot odporu – 90 fyzických součástek.

V první fázi byly testovány čtyři unikátní jednotky v jednobanální modifikaci. Testování bylo realizováno změřením testovacích odporů 100x na každé jednotce. Výsledky tohoto testování jsou znázorněny na obrázku I.

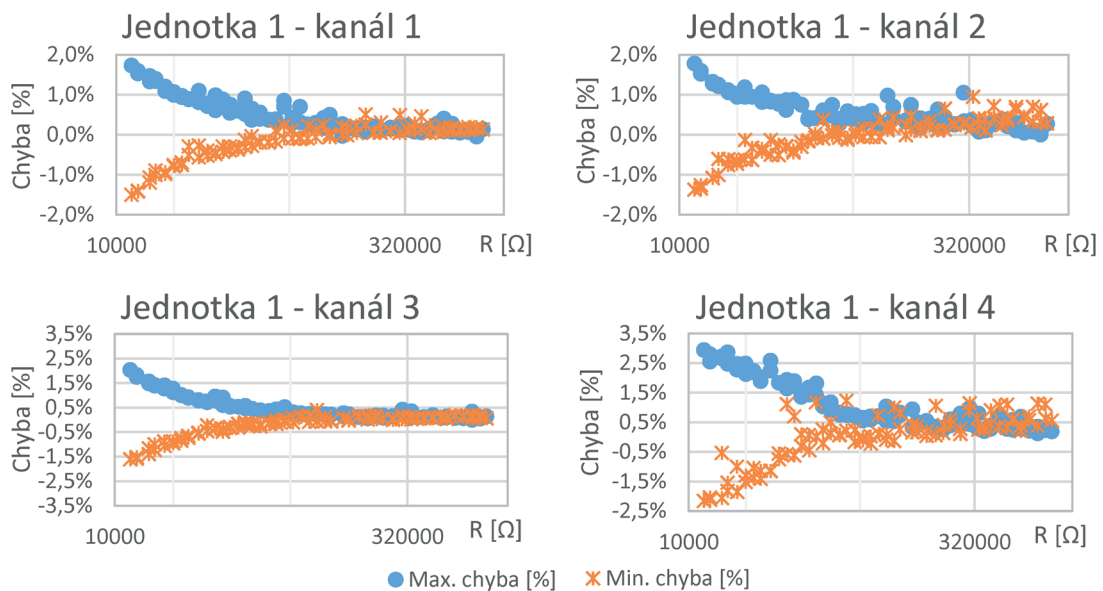


**Obrázek I. Testování přesnosti jednobanálního měření**

Z obrázku I. je patrné, že největší chyba měření vzniká při měření malých hodnot odporů. Tato skutečnost vychází z principu měření, kdy čítač při malém odporu čítá jen velmi krátkou dobu (nabíjení kapacity je velmi rychlé). Pro případné zpřesnění měření malých hodnot odporu by muselo dojít ke změně referenčních součástek (referenční odpor a kondenzátor).

Dle získaných výsledků je na rozsahu 10k $\Omega$  až 1M $\Omega$  chyba měřené hodnoty maximálně  $\pm 2\%$  (pro jednobanální měření a pro danou konfiguraci referenčních součástek ICM desek).

V druhé fázi byla implementace testována ve čtyř kanálové modifikaci na jedné unikátní jednotce. Princip testování byl podobný jako v první fázi, na všech kanále byl změřen každý testovací odpor z vybraného rozsahu 100x. Odlišný princip byl ve výměně testovacích odporů. Během tohoto testování byly odpory na čtyřech měřicích kanálech měněny sekvenčně. Výsledky tohoto testování jsou znázorněny na obrázku II.

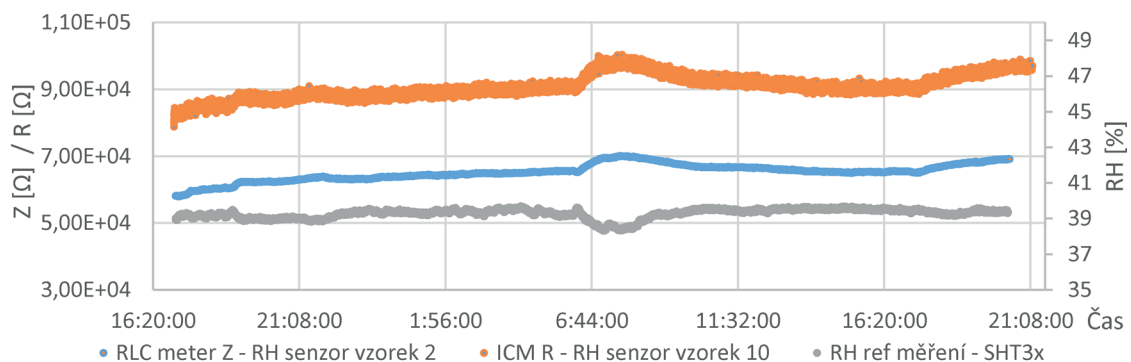


**Obrázek II. Testování přesnosti čtyřkanálového měření**

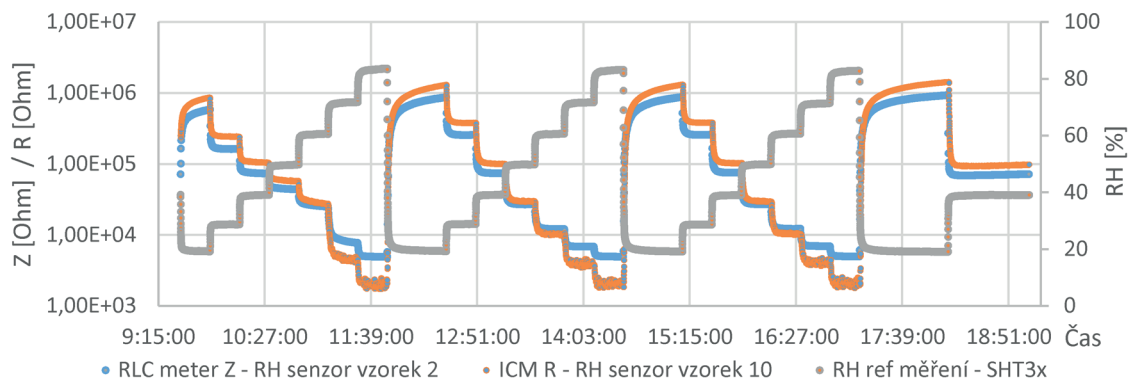
Z výsledků prezentovaných na obrázku II. Je patrné, že chyba měření ICM metodou napříč čtyřmi kanály je maximálně  $\pm 3\%$ . Největší chybu vykazuje čtvrtý kanál a to i po provedené optimalizaci algoritmizace a nalezení zdánlivě „nejvhodnější konfigurace“ MCU periférií pro jednotlivé ICM kanály. Z obrázku II. je dále patrné, že první tři kanály vykazují chybu maximálně  $\pm 2\%$ .

### III. OVĚŘENÍ VYUŽITELNOSTI ICM METODY PRO TESTOVÁNÍ RH SENZORŮ

Ověření bylo testováno na několika vzorcích RH senzorů založených na organickém materiálu. Tyto RH senzory z podstaty provedení vykazují kromě odporového charakteru i malý kapacitní charakter. [3] Měření těchto elementů je standardně prováděno střídavě, jelikož dlouhodobě působící stejnosměrný proud akceleruje degradaci použitých organických materiálů. Na základě dřívějších testů je ověřeno, že ICM metoda nemá na tyto RH senzory tento degradační vliv. Pro ověření využitelnosti byly vybrány vzorky senzorů s nejvíce identickými parametry. Vzorek označen jako 2 byl měřen RLC metrem (střídavé měření komplexní impedance) a vzorek označen jako 10 byl měřen ICM metodou (měřen stejnosměrný odpor). První ověření bylo provedeno vystavením RH senzorů „konstantní“ hodnotě RH a během druhého ověření byly vzorky vystaveny měnícímu se RH dle definovaného průběhu. Výsledky měření jsou zobrazeny na obrázku III. a na obrázku IV.



**Obrázek III. Ověření využitelnosti ICM metody měření na tištěném senzoru RH („konstantní“ RH)**



**Obrázek IV. Ověření využitelnosti ICM metody měření na tištěném senzoru RH (RH průběh - "schody")**

Z obrázku III. a IV. je patrné, že výsledky měření sensorového elementu pomocí ICM metody odpovídají tvarem křivky měření prováděny RLC metrem. Hodnota samozřejmě nemůže odpovídat, jelikož RH senzory vykazují i malý kapacitní charakter. Tudíž měření ICM metodou je zatíženo statickou chybou odpovídající velikosti vnitřní kapacity senzoru. V případě, že ale sensor bude kalibrován a následně měřen během testování stejnou metodou (ICM metodou), výsledky testovacích měření budou relevantní.

#### IV. ZÁVĚR

V tomto článku byla představena úprava testovacího systému pro tištěné senzory a ověření jeho funkčnosti a přesnosti. Hlavním cílem úpravy bylo zpřesnění, umožnění a usnadnění testování vyvíjených RH senzorů za pomoci této platformy. Tento cíl byl splněn rozšířením počtu kanálů a úpravou implementace ICM metody. Na základě výsledků z testování lze prohlásit, že čtyř kanálové měření bude vhodné pro orientační testy nebo aplikační fázi senzorů, jelikož vykazuje chybu měření až  $\pm 3\%$  hodnoty odporu. Pro přesnější testování bude vhodné do budoucna využívat pouze tří kanálovou konfiguraci, která vykazuje chybu měření odporu  $\pm 2\%$ . Dále výsledky testů potvrdili využitelnost ICM metody pro měření RH senzorů na bázi organických materiálů.

#### 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. Dále tento článek vznikl za podpory TAČR pod projektem FLEXPINT – TE01020022.

#### LITERATURA

- [1] ŠÍMA, K. Systém pro vývoj a testování tištěných senzorů, Elektrotechnika a informatika 2017 [online], Plzeň (Česká Republika): ZČU, FEL, © 2004–2018 [cit. 2018-09-20]. Dostupné z <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/26453/1/Sima.pdf>.
- [2] WEBSTER, John G. The measurement, instrumentation, and sensors handbook. CRC Press, 1999. ISBN 978-0849383472.
- [3] DU, Winncy Y. Resistive, capacitive, inductive, and magnetic sensor technologies. CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4398-1244-0.
- [4] STM32F303x6/x8: Datasheet [online]. STM © 10/2017, [ref. 2018-09-20]. Dostupné z: <http://www.st.com>.