

# TECHNIQUE OF CONDUCTIVITY MEASUREMENTS

Petr NOVÁK, Bachelor Degree Programme (3)  
Dept. of Microelectronics, FEEC, BUT  
E-mail: xnovak70@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Dr. Jaromír Hubálek

## ABSTRACT

This paper presents a design of voltage method and their modification of bipolar pulse technique using for conductivity measurements. Described methods eliminate capacitance of the impedance. Analog part of instrument providing both mentioned methods is complete and digital part controlling the measurements and processing data is under development. Driving program of digital part is complete and tested with microcontroller development kit. The instrument simplifies a comparison of measured results taken by voltage and modified method.

## 1 ÚVOD

Cílem práce je navrhnout přípravek pro měření vodivosti chemických roztoků metodou bipolárního napětového pulsu a její modifikovanou verzí, metodou bipolárního proudového pulsu, která byla vyvinuta pro implementaci do CMOS struktury [1].

Výhodou použití metody bipolárního pulsu pro měření vodivosti je, oproti ostatním metodám (např. Thomsonův můstek), její malá teoretická chyba (až 0,01 %) a vysoká rychlost měření. Tato metoda eliminuje parazitní kapacity, které vznikají na rozhraní elektroda - roztok, při ponoření měřících elektrod do roztoku. Kvůli nelineárnímu chování elektrody v roztoku je důležité správné určení maximálního vstupního napětí. Při jeho překročení dochází v důsledku vzniku polarizace k poklesu impedance a vzniku vyšších harmonických složek. Jako ideální vstupní signál se jeví napětí o amplitudě maximálně 100 mV a frekvenci v rozsahu 1 – 10 kHz.

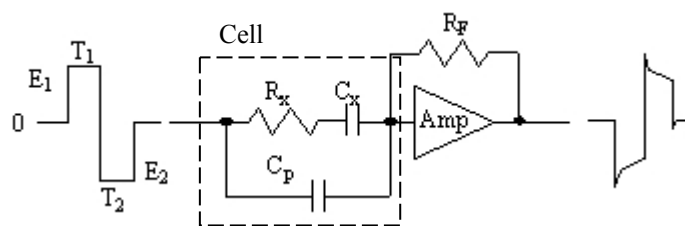
Vodivost je spojena s rychlostí toku náboje odpovídající elektrickému poli, její velikost závisí na koncentraci, pohyblivosti a náboji částic. Měření probíhá mezi dvěma elektrodami ponořenými do roztoku. V takovém případě mluvíme o chemickém článku, ve kterém probíhají elektrochemické děje. Tyto děje přímo ovlivňují přenosové parametry celého článku a jejich znalost je podmínkou pro stanovení vhodné metody měření.

### 1.1 PRINCIP ČINNOSTI [2]

Princip spočívá v přivedení například kladného pulsu o přesně definované amplitudě na chemický článek. Velikost proudu je převáděna operačním zesilovačem na napětí.

Na začátku prvního pulsu o periodě  $T_1$  bude nejrychleji nabita kapacita  $C_X$ , která představuje kapacity dvojvrstvy a kapacitu článku. Jestliže  $T_1 \ll C_X R_X$ , bude se  $C_X$  pomalu nabíjet a proud článkem se bude pomalu zmenšovat. Na konci periody bude článek nabit na napětí  $E_C$ . V tomto okamžiku je přiveden puls opačné polarity, v našem příkladu záporné, přičemž  $|E_1| = |E_2|$ . Děj se opakuje, s tím že k napětí  $E_2$  se přičte napětí  $E_C$ , na které se článek během periody  $T_1$  nabil. Během periody  $T_2$  se bude tento náboj snižovat, to znamená, že se kapacita článku vybíjí. Pro  $T_2$  shodné s  $T_1$  bude na konci druhého pulsu kapacita zcela vybita a proud článkem je úměrný odporu elektrolytu. Zavedením vzorkovače na výstup převodníku  $U/I$ , který na konci periody  $T_2$  zaznamená velikost proudu, je možné přesně změřit vodivost, neovlivněnou žádnými parazitními jevy článku. Výsledná vodivost je dána následujícím vztahem:

$$G_{CELL} = \frac{1}{R_{CELL}} = \frac{I_{CELL}}{U_1} = \frac{1}{R_F} \cdot \frac{E_{OUT}}{E_1} \quad (1)$$



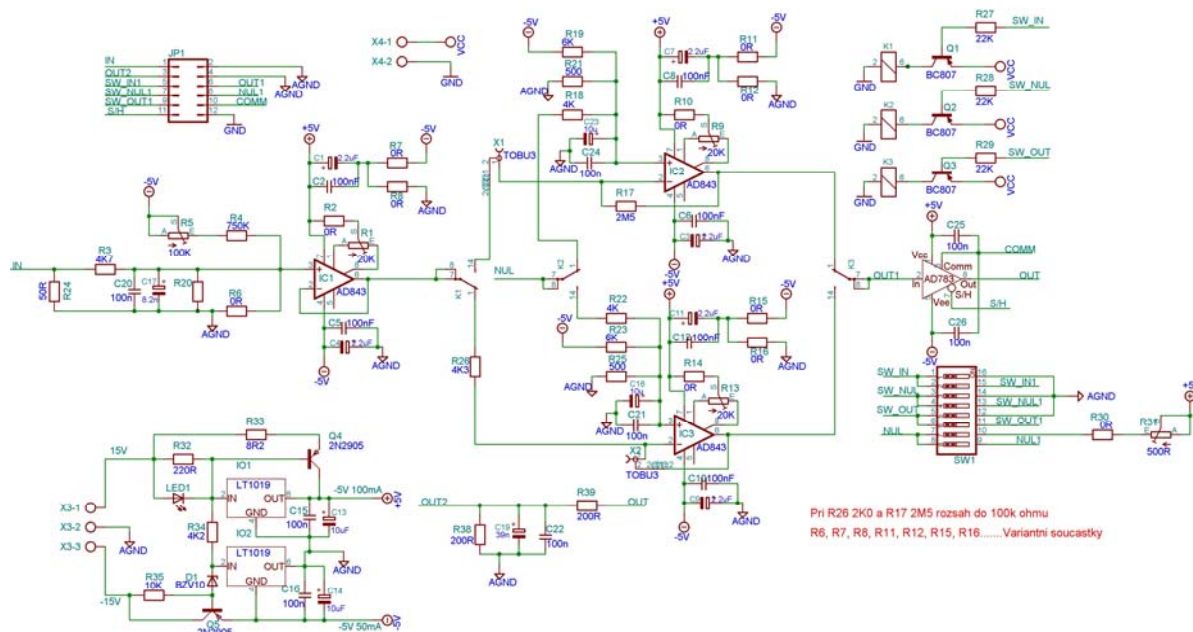
**Obr. 1:** *Princip činnosti*

## 2 REALIZACE

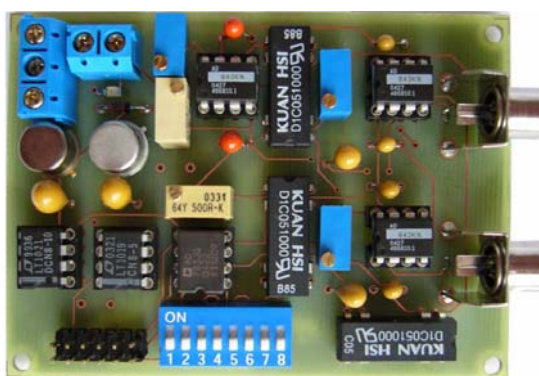
Blok řídicí logiky a vyhodnocovací logiky je zajišťován číslicovou částí s mikroprocesorem ADuC812 od firmy Analog Devices. Tímto mikroprocesorem zajišťujeme generování pulsu, kompenzaci offsetů, vyhodnocování a zobrazování výsledků, a případnou komunikaci s dalšími systémy.

Měřicí část je realizovaná tak, aby bylo možno vyzkoušet a porovnat obě metody bipolárního pulsu, tj. napětový bipolární puls a proudový bipolární puls. Před každým měřením procesor nabízí možnost zvolit jednu z těchto metod, což umožňuje velmi rychlé porovnání výsledků. V této analogové části obvodu je ve velké míře zastoupena kompenzace nežádoucích vlivů jednotlivých součástek, které je nutno aplikovat před samotným měřením. Jedná se o jednorázovou kalibraci, jež musí být provedena hlavně z důvodu minimalizace offsetů OZ, protože senzor musí být buzen velmi přesným symetrickým signálem. Offset větší než 1 mV způsobuje velkou chybu z důvodu měření velmi malých signálů. Proto je nutné kompenzovat offset pod 100  $\mu$ V pro dosažení maximální chyby 1% a pro dosažení 0.1% až k 10  $\mu$ V. Velká pozornost musí být věnována části, která zajišťuje napájení pro všechny části obvodu. Je nutné dodržet co největší stabilitu s minimálním možným rušením, které se negativně projevuje při měření malých napětí a proudů. Zde bylo provedeno několik změn v původním návrhu plošného spoje k dokonalému oddělení vlivu digitální a analogové části.

Takto realizovaný analogový systém (obr. 2 a obr. 3) umožní měření velmi malých napětí, zaručující velký odstup signál-šum a minimalizaci chybových parametrů součástek. Celé provedení využívá v maximální míře součástky SMT, jež snižují potřebnou velikost plošného spoje a podporují naše snahy o minimalizaci vzájemného rušení.



Obr. 2: Schéma zapojení analogové části



Obr. 3: Realizovaná analogová část

### 3 ZÁVĚR

Analogová část přípravku již byla zrealizována a nyní je na ní prováděno měření. Vstupní impuls generovaný mikrokontrolérem na vývojovém kitu prochází zařízením bez zkreslení. Navzorkovaný signál je možné zpracovat pomocí A/D převodníku.

### LITERATURA

- [1] Hubálek, J., Bečvář, D.: Mikrosystém pro měření vodivosti roztoku <http://www.elektrevue.cz/clanky/01045/.utf-8>
- [2] Johnson, D. E., Enke, C. G.: Bipolar Pulse Technique for Fast Conductance Measurements. Analytical Chemistry, vol.42, no.3, pp.329-335, March 1970