

ENHANCED INPUT RANGE FOR POTENCIOSTAT

Tomáš Havlíček, Master Degree Programme (4)
Dept. of Microelectronics, FEEC, BUT
E-mail: thavli@centrum.cz

Supervised by: Ing. Pavel Šteffan

ABSTRACT

This work is the first of three main parts of computer controlled potentiostat. It means high precision ultra-low input current amplifier for electro-chemical sensor. This circuit was designed, simulated and tested. Now I have to improve first circuits for better features.

1 ÚVOD

Pro určení jedné nebo několika skupin látek ve vzorku používáme biosenzory. Biosenzor je senzor obsahující citlivý prvek biologického původu, který je buď součástí nebo v přímém kontaktu s fyzikálně-chemickým převodníkem. Poskytuje průběžný elektronický signál úměrný koncentraci jedné nebo několika (skupiny) chemických látek ve vzorku. Tyto fyzikálně-chemické převodníky lze rozdělit do následujících skupin: elektrochemické, optické, piezometrické a akustické a kalorimetrické. Mezi elektrochemické metody, které vyhodnocují signál z bioelektrody patří například: potenciometrie, amperometrie, konduktometrie, voltametrie a mezi optické řadíme: fotometrii, fluorometrii, luminometrii a nelineární optiku. Biosenzory a jejich převodníky mají velký rozsah měřitelnosti (i přes několik řádů), ale rozsahy vstupních hodnot pro elektronické obvody (např. pro OZ) bývají podstatně menší. To je důvod, proč musíme rozsahy měnit. Při změnách rozsahu vznikají zákmity, které nepříznivě ovlivňují senzor. Níže uvedené zapojení bylo navrženo tak, aby počet přepínání rozsahů (tím i důvodů k zámkům) byl minimální. Proto byly navrženy pouze dva rozsahy => jedno přepnutí, ale i tak se při testech zařízení objevily zákmity řádově 25% velikosti vstupního signálu. Připravované zapojení se pokusí ještě více snížit velikost zámků a zvýšit tak stabilitu a přesnost měření.

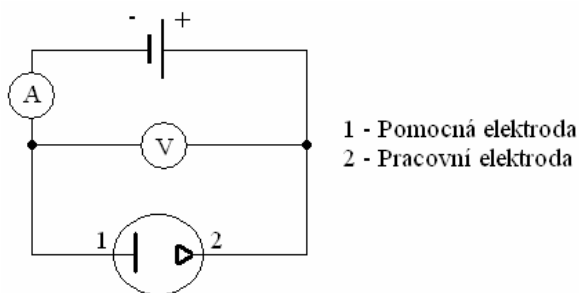
2 ROZBOR

U biosenzorů sledujeme několik důležitých parametrů, mezi které patří selektivita, dlouhodobá stabilita, citlivost, limit detekce a šum. Co se týče selektivity, tak odezva biosenzoru by měla být vyvolaná pouze přítomností stanovené látky, ostatní látky by se neměly projevit. Prakticky je často nutné rušivé látky eliminovat (např. zředěním) nebo jejich příspěvek na měřený signál paralelně určit jiným senzorem.

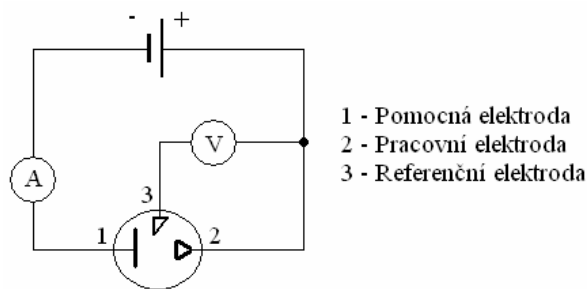
Dlouhodobá stabilita je podmíněna změnami citlivosti biosenzoru v čase. Citlivost obvykle klesá, ale může postupně i vzrůst (změna biovrstvy – ztenčení nebo nabobtnání). Postupný pokles citlivosti může být vyvolán například oxidací povrchu kovových elektrod nebo usazováním proteinů nebo jiných biomolekul nebo otrava biovrstvy těžkými kovy. Citlivost je definovaná jako konečná ustálená změna vstupního signálu biosenzoru v důsledku změny koncentrace analytu. Limit detekce je nejnižší stanovitelná hodnota analytu. Šum je převážně elektromagnetické povahy a lze ho minimalizovat stíněním jak biosenzoru, tak i přívodních vodičů. Dalším zdrojem šumu mohou být turbulence vzniklé při míchání.

2.1 ZAPOJENÍ ELEKTROD V BIOSENZORECH

Ampermetrie i potencimetrie nejčastěji používají 2 a 3 elektrodového uspořádání. Se dvěma elektrodami se dá velmi dobře pracovat, pokud netečou velké (pod $10\mu\text{A}$) a odpor roztoku není příliš velký. Tříelektrodový systém je univerzální, nicméně vyžaduje **potenciostat**. Potenciostat je zařízení udržující konstantní potenciál pracovní elektrody oproti referenční nezávisle na protékajícím proudu. Níže uvedené obrázky schematicky znázorňují 2 a 3 elektrodové uspořádání.



Obr. 1: 2 elektrodové uspořádání

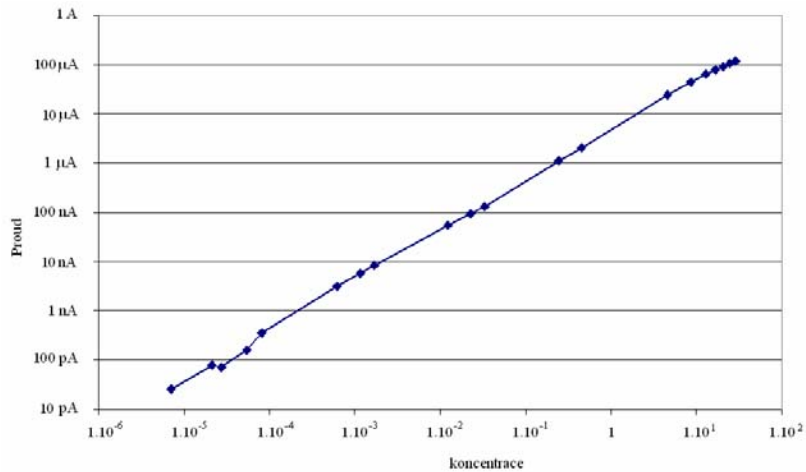


Obr. 2: 3 elektrodové uspořádání

2.2 POTENCIOMETRIE

Základem potencimetrie je změna potenciálu vyvolaná akumulací náboje na rozhraní elektrody s roztokem. Převodníkem je iontově selektivní elektroda ISE v kombinaci s enzymovou vrstvou. Rozsah měřitelných koncentrací je dán vlastnostmi ISE: $10\mu\text{M}$ a 1M , pro konečné biosenzory bývá typicky $0,1$ až 10mM , odezva je logaritmická.

Měří se potenciál pracovní elektrody proti referenční elektrodě. Ta musí být kvalitní a časově stálá. Přitom v systému neteče proud, proto je potřeba měřicí přístroj s velkým vstupním odporem (např. operační zesilovač).



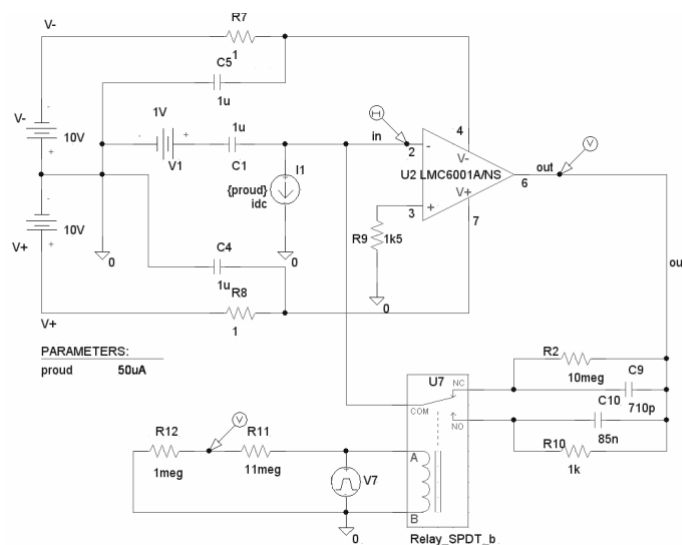
Obr. 3: Graf závislosti koncentrace na proudu

Zajímavé jsou polovodičové potenciometrické senzory. Jak kvůli miniaturním rozměrům, tak kvůli nízkým nákladům na pořízení oproti klasickým potenciometrickým elektrodám.

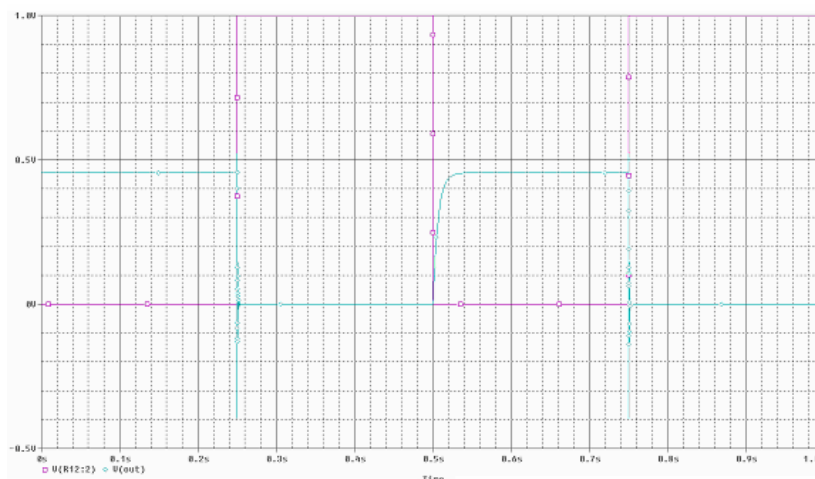
2.3 FYZICKÁ REALIZACE

Pro realizaci přesného, vysoce citlivého a nízkošumového zesilovače byl vybrán operační zesilovač LMC6001AIN. Bylo zvoleno invertující zapojení OZ a přepínání mechanickým prvkem, protože polovodičové prvky (při proudech od fA do jednotek mA) by mohly vnést do měření značnou hladinu šumu. Při přepínání zesílení se ale objevují značné zákmity. Ty se při testech zařízení pohybovaly řádově okolo 25 % velikosti vstupního signálu.

Níže uvedené obrázky zobrazují simulované zapojení obvodu a jeden z výsledků rozsáhlých simulací, kdy se zkoumal např. vliv změny vstupní kapacity, vlivy různých teplot, změny vstupního proudu a vliv kapacit ve zpětné vazbě.



Obr. 4: Schema simulovaného obvodu



Obr. 5: *Zámkity při přepínání zesílení*

3 ZÁVĚR

Protože zařízení pracuje s velmi malými signály, tak se musí co nejvíce potlačovat jak šum, tak i zvlnění signálu. Šum signálu se na funkčním vzorku potlačuje stíněním, jak přívodních signálových vodičů, tak i celého zesilovače. Zvlnění signálu je úspěšně potlačováno vhodným návrhem RC članku ve zpětné vazbě operačního zesilovače. Pro každé zesílení je vypočítána a odsimulována příslušná kapacita. K zámkitům výstupního signálu zesilovače při přepínání zesílení dochází proto, že po dobu přepínání je zpětná vazba odpojena a operační zesilovač se rozkmitá.

V současné době se připravuje další zapojení, které se pokusí ještě více snížit velikost těchto nežádoucích zámkitů a zvýšit tak stabilitu a přesnost měření. Jedná se o přepínání vstupního signálu na více zesilovačů, čímž by se mělo docílit lepších parametrů obvodu.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla při řešení projektů MPO FD-K2/53 ANTOPE Analýza toxicity pesticidů, IMAM GAČR 102/03/0619 a výzkumného záměru MSM 262200022 MIKROSYT.

LITERATURA

- [1] Skládal, P.: Biosenzory - Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, skriptum, Brno 2002, <http://orion.chemi.muni.cz/biosensor/vyuka/biosensory.pdf>
- [2] Dílčí zpráva projektu FD-K2/53 ANTOPE za rok 2003, Brno, prosinec 2003
- [3] Potentiostats - An introduction to the principle of potentiostatic control. Bank Elektronik - Intelligent Controls GmbH, 1999, <http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/potentiostate.pdf>, leden 2004