

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**



**TEZE K DISERTAČNÍ PRÁCI**

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra mikroelektroniky

**Ing. Adam Bouřa**

**BEZDRÁTOVÉ NAPÁJENÍ A PŘENOS DAT V MIKROSYSTÉMECH  
A SENZOROVÝCH SYSTÉMECH**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Elektronika

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha, srpen 2011

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na Katedře mikroelektroniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

Uchazeč: Ing. Adam Bouřa  
Katedra mikroelektroniky  
Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze  
Technická 2, Praha 6, 166 27

Školitel: Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
Katedra mikroelektroniky  
Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze  
Technická 2, Praha 6, 166 27

Školitel-specialista: -----

Oponenti: .....  
.....  
.....

Teze byly rozeslány dne: .....

Obhajoba disertace se koná dne ..... v ..... hod. před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Elektronika v zasedací místnosti č ..... Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátu Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze, na oddělení pro vědu, výzkum a zahraniční styky, Technická 2, Praha 6.

předseda komise pro obhajobu disertační práce  
ve studijním oboru  
Elektronika  
Fakulta elektrotechnická ČVUT, Technická 2, Praha 6

## ANOTACE

Disertační práce se zabývá návrhem a realizací systému pro bezdrátové napájení a zpracování senzorových dat. Zaměřuje se na bezdrátové napájení a komunikaci pomocí blízkého magnetického pole, která umožňuje dlouhodobý a zcela pasivní provoz na vzdálenost jednotek centimetrů. Je založen na principu známém u RFID systémů, avšak je modifikován za účelem maximalizace energetického přenosu při zachování funkčnosti pasivního přenosu dat pomocí modulace zátěže. Navržený systém k provozu nepotřebuje baterie ani elektrolytické kondenzátory, což umožňuje jeho dlouhodobý provoz i v prostředích s extrémními teplotami, který je s bateriemi téměř vyloučen. Navržený systém je vhodný pro měření v izolovaných prostorech, jako jsou například rotující objekty, biomedicíncké sondy, hermeticky uzavřené oblasti a podobně.

Hlavním výstupem práce je návrh integrovaného obvodu, který je schopen zpracovat data z různých typů senzorů, umí přizpůsobit jejich převodní charakteristiku a následně změřená data bezdrátově přenést do vyhodnocovací jednotky. Čip je navržen pomocí CMOS technologie AMIS350uc s minimální délkou kanálu 350 nm a převážně využívá tranzistory v režimu podprahové vodivosti. Tím je zajištěna extrémně nízká vlastní spotřeba energie. Čip pracuje v proudovém režimu a s napájecím napětím již od 1 V. Jeho vlastní spotřeba se pohybuje v řádech stovek nA v závislosti na velikosti vstupního signálu. Vstupní periferie obvodu umožňují připojit senzory s proudovým výstupem, s napěťovým výstupem, odporové senzory a můstky, kapacitní senzory a rovněž senzory, které jsou založeny na principu změny rezonanční frekvence. Navržený čip obsahuje obvodový blok pro úpravu převodní charakteristiky senzoru, což lze využít zejména pro standardizaci jeho výstupu a kalibraci na dané okolní podmínky.

## 1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Bezdrátové měření formou jednoduchých senzorů, případně senzorových sítí [1], je jedním z posledních trendů doby. Největší výhodou tohoto způsobu je především nenáročnost a univerzálnost nasazení těchto senzorů a minimální náklady na montáž a údržbu. Rovněž nachází uplatnění v místech, kde je přímé měření komplikované, nebo přímo nemožné. V současné době jsou tato měření již dobře zavedena a pro mnohé aplikace jsou komerčně vyráběny hotové moduly [2, 3]

Klíčovou otázkou použitelnosti bezdrátového senzoru je jeho schopnost být dlouhodobě energeticky nezávislý. Nejjednodušší způsob řešení je napájení z baterie o velké kapacitě a minimalizovat odběr součástek. To se děje především volbou technologie a režimem provozu. Tím však lze pouze prodloužit čas možného provozu. Poté se musí k senzoru přijít a zdroj energie mu vyměnit. To je však v některých případech obtížné či velmi nepříjemné (biomedicínská sonda).

Proto je vhodné uvažovat o využití obnovitelných zdrojů energie z okolí senzoru. Bezdrátová energie z okolí je konvertována na energii elektrickou a ta následně slouží k napájení celého obvodu. V tabulce 1 jsou uvedeny příklady zdrojů energie a rámcové hodnoty hustoty energie, kterou jsou schopny zdroje poskytnout. Asi nejčastěji užívané metody jsou s využitím solárních článků a konverze pomocí mechanických vibrací.

**Tabulka 1: Zdroje energie a odpovídající potenciál jejich využití [4]**

Zdroj energie	Hustota výkonu ( $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
Sluneční světlo	
Přímé slunce	15000
Zamračeno	150
Deska pracovního stolu v kanceláři	6
Vibrace	
Piezoelektrická konverze	250
Elektrostatická konverze	50
Akustický hluk 75 dB	0,003
Akustický hluk 100 dB	0,96
Teplotní rozdíl 10 °C	15
Vložky do bot (elastická deformace)	330

Lze jen těžko očekávat, že tato energie z okolí bude vždy přítomna v dostatečné intenzitě tak, aby byl senzor schopen pracovat nepřetržitě. Proto je důležité do systému začlenit též zásobník, který bude sbírat energii z okolí během doby, kdy je senzor neaktivní a energii pak uvolní až v okamžiku

potřeby. O toto se stará blok řízení spotřeby, který obvykle rovněž obsahuje konvertor napěťových úrovní (DC/DC konvertor).

Kromě běžných kondenzátorů lze jako zásobník energie též využít akumulátory typu NiCd nebo lithiumové baterie. Zejména v poslední době se též prosazují takzvané super-kapacitory. Jedná se o kondenzátory, které mají kapacitu jednotky až desítky faradů. Výhodou těchto součástek je jejich schopnost akumulace velkého množství energie při velkém počtu možných nabíjecích cyklů.

Ne vždy je však možno baterii/kondenzátor použít. Omezení může být dáno jejich toxicitou nebo malou odolností. V případě biomedicínských sond, které jsou trvale implantovány do těla pacienta, je použití například kadmia v baterii vždy problematické. Baterie a elektrolytické kondenzátory jsou též teplotně málo odolné. Při nutnosti měření v prostředích o vysoké nebo nízké teplotě (typicky pod  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nad  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) je jejich nasazení nemožné, nebo si vyžaduje speciální přístup [5]. V tomto případě může být vhodné použití bezdrátové napájení magnetickým polem.

V případě bezdrátových senzorů na střední vzdálenost (do stovek metrů) se obvykle používají radiofrekvenční moduly. V případě radiofrekvenčního přenosu se nejčastěji používají moduly s přesně definovaným kmitočtovým pásmem a standardem komunikace. Obvykle jsou to pásma ISM (Industrial, Science and Medical), která jsou při splnění definovaných standardů bezplatná [6]. Tabulka 2 podává přehled těchto pásem. Nejčastěji využívané komunikační protokoly pro bezdrátový přenos dat jsou tyto:

**Wi-Fi – standard IEEE 802.11:** komunikace probíhá v pásmu ISM na frekvencích 2,4 nebo 5 GHz. Tento standard má více podstandardů (IEEE 802.11a/b/g/n) a je nejčastěji využíván při konstrukci lokálních bezdrátových sítí WLAN.

**Bluetooth – standard IEEE 802.15.1:** standard pro nízkourovňovou pozemní síť a datové komunikace typu Ad-hoc. Komunikace probíhá na vzdálenost do 100 m (Bluetooth třída 1), do 10 m (Bluetooth třída 2) nebo do 1 m (Bluetooth třída 3). Komunikace probíhá v pásmu 2,4 GHz s tím, že má definovány vlastní signalizační metody, aby předcházela rušení (není kompatibilní například s Wi-Fi). Umožňuje současně propojení více prvků zároveň a vyznačuje se nízkou energetickou náročností.

**ZigBee – standard IEEE 802.15.4:** standard je v mnoha směrech podobný Bluetooth, ale má některé odlišnosti. Využívá komunikační pásma 868 MHz, 915 MHz a 2,4 GHz. Má dosah až 75 m a díky multiskokovému Ad-hoc směřování umožňuje komunikaci na větší vzdálenosti i bez přímé viditelnosti jednotlivých zařízení.

**Tabulka 2: Frekvenční pásma ISM [7]**

Frekvenční rozsah (MHz)		Střední frekvence (MHz)
6,765	6,795	6,780
13,553	13,567	13,560
26,957	27,283	27,120
40,66	40,70	40,68
433,05	434,79	433,92
902	928	915
2400	2500	2450
5725	5875	5800
24000	24250	24125
61000	61500	61250
122000	123000	122500
244000	246000	245000

Velmi často se vyskytuje potřeba bezdrátového měření na velmi malou vzdálenost; typicky jednotky až desítky centimetrů. Již byly zmíněny biomedicínské sondy a implantáty, měření v uzavřených prostorech – například izolované prostory s nebezpečnými plyny, měření mechanických vlastností u zazděných travers, uvnitř plastových tubusů [8] a podobně.

V těchto případech není vhodné používat radiofrekvenční moduly kvůli problémům s elektromagnetickou kompatibilitou. Spíše se hodí využití blízkého magnetického pole (induktivní vazby). Krátká vzdálenost mezi senzorem a čtecím zařízením též umožňuje realizaci bezdrátového napájení a zajistit tak prakticky neomezený provoz.

Nejčastější případ využití blízkého magnetického pole k napájení a komunikaci je u čtení RFID tagů a karet. Tento princip je používán již řadu let (komerčně asi od osmdesátých let dvacátého století [9]), avšak v poslední době se k tomuto principu přidávají další možnosti využití. Zejména díky snižování energetické náročnosti senzorů a vyhodnocovacích obvodů se k prosté identifikaci přidává též možnost měření [10].

Komunikace se u RFID řídí podle standardů, v případě RFID tagů, které jsou kombinovány se senzory, jsou to například *ISO 15693 cool-Log™* a *EPC Gen2 cool-Log™*.

## 2. MOTIVACE A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

V předchozí kapitole byly prezentovány základní metody, které se využívají při bezdrátovém napájení a přenosu sensorových dat. Kromě komerčně dostupných zařízení jsem též představil obecné možnosti využití radiofrekvenčních modulů pro komunikaci a princip sběru energie z okolí.

Z uvedených příkladů je zřejmé, že pro běžně aplikace existuje celá řada dostupných možností pro realizaci. Tyto integrované moduly však mají určitá aplikační omezení, jako například při nasazení v extrémních podmínkách. Zejména je to nutnost uvažovat nevhodnost použití baterií a elektrolytických kondenzátorů, které dlouhodobě neodolávají zvýšené teplotě. Tato aplikační omezení tvoří základ vytyčení cílů mé disertační práce, jelikož ta si klade za cíl tato omezení překonat pomocí nestandardních metod řešení.

### Jako cíle této práce byly stanoveny:

1. Návrh a realizace metody pro bezdrátovou komunikaci a napájení sensorové struktury pomocí blízkého magnetického pole. Napájení musí být schopno doručit jednotky miliwattů na vzdálenost alespoň 10 cm a s napětíovou úrovní alespoň 2 V.
2. Návrh univerzálních periférií pro zpracování signálu, která umožní připojení:
  - Sensorů s proudovým výstupem
  - Sensorů s napětíovým výstupem
  - Odporových sensorů a můstků
  - Kapacitních sensorů
  - Sensorů na principu změny rezonanční frekvence
3. Návrh obvodové struktury pro úpravu převodní charakteristiky sensorů
4. Návrh integrovaného obvodu, který umožní realizaci podle bodů 1 až 3 a zároveň splní požadavky:
  - Dostatečné napájecí napětí pro obvod již od 1,5 V
  - Vlastní energetický odběr struktury pod 10  $\mu\text{W}$



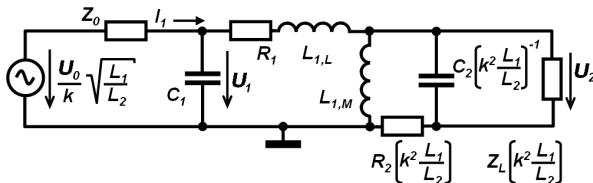
### 3. METODY ZPRACOVÁNÍ

Disertační práce se zabývá dvěma základními tématy. Jednak je to návrh bezdrátového napájení a komunikace podle cíle 1 této disertace, jednak návrhem obvodových struktur pro realizaci vstupních periferií a zpracování signálu (cíle 2, 3 a 4).

#### Napájení a komunikace

Napájecí a komunikační schéma je založeno na modifikované metodě indukčního napájení, které je používáno u pasivních RFID systémů. Využívá blízké magnetické pole, tedy pro napájení a komunikaci na vzdálenost do asi  $0,16 \lambda$ , kde  $\lambda$  je vlnová délka signálu (pro pracovní frekvenci 135 kHz je  $\lambda = 2200$  m, pro frekvenci 13,5 MHz je to 22 m). Prakticky se dá indukční vazba použít do vzdálenosti, která řádově odpovídá průměru použitých cívek, tedy asi do několika desítek centimetrů a poskytnout tak napájecí příkon v řádech jednotek miliwattů. [9].

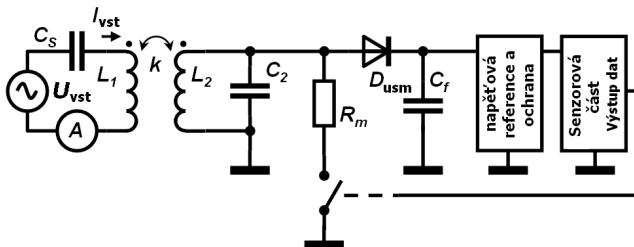
Na obrázku 1 je ekvivalentní obvod induktivně vázaných cívek, ze kterého lze odvodit vztahy pro napěťový přenos. Klíčovým aspektem je z hlediska napájení dostatečně vysoký napěťový přenos. Toho se docílí udržováním vysílací i přijímací strany v rezonanci.



Obrázek 1: Ekvivalentní obvod induktivně vázaných cívek [11]

U rezonančně vázaných obvodů se též projevuje velký vliv změny zátěže na vstupní proud do primární cívky. Na principu snímání tohoto proudu je založeno pasivní vysílání dat z měřicí sondy. Na obrázku 2 je zjednodušené schéma napájení a komunikace, které tento způsob využívá. Princip je široce užíván především v pasivních RFID systémech.

Výstupní data z napájené měřicí sondy modulují spínač, který mění vlastnosti rezonančního obvodu na přijímací straně, a tím též ovlivňuje velikost vstupního proudu. Vstupní proud je však rovněž závislý na velikosti proudu, který je veden do napěťové reference. Jestliže je proudový odběr napájené sondy příliš veliký, tak dojde k přetížení komunikačního kanálu a ten se stává neúčinným (velikost změny zátěže v důsledku připojení modulačního odporu  $R_m$  se je zanedbatelný vůči zátěži tvořené napájeným obvodem).



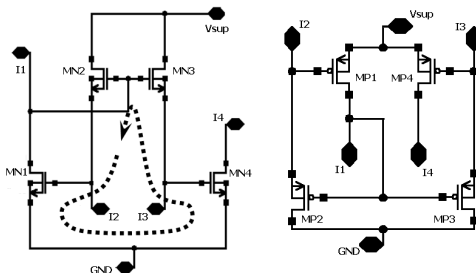
Obrázek 2: Zjednodušené napájecí a komunikační schéma

Pro účely maximalizace energetického přenosu a zachování principu komunikace jsem navrhnul modifikovanou metodu, která vysílací a napájecí kanál frekvenčně odděluje.

### Obvod pro korekci převodní charakteristiky

Pro účely návrhu obvodů pro zpracování signálu ze senzorů a mikrosystémových struktur bylo třeba navrhnout struktury o extrémně nízké energetické náročnosti a nízké náročnosti na velikost napájecího napětí. Standardní metody s využitím operačních zesilovačů nepřipadaly v úvahu zejména díky požadavku cíle 4.

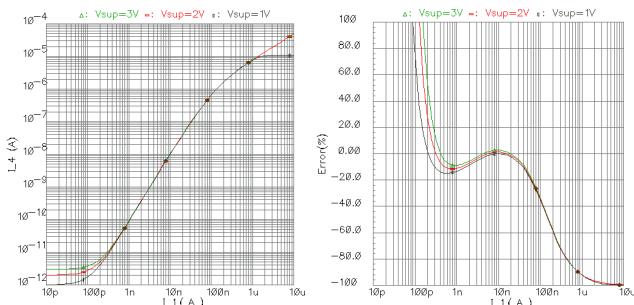
Pro návrh jsem použil analogový blok, který se skládá z násobičkových buněk typu B v proudovém módu [12] (obrázek 3).



Obrázek 3: NMOS a PMOS násobičková buňka typu B [13, 14]

Pro jejich realizaci jsem využil CMOS technologie. Požadovaný přenos násobičkové buňky je platný pouze při exponenciální závislosti proudu drainem na napětí na hradle. CMOS tranzistory tuto závislost vykazují pouze v režimu podprahové vodivosti, takže funkčnost navrženého obvodu je limitována velikostí zpracovávaného signálu. Na obrázku 4 je převodní charakteristika násobičkové buňky, která realizuje druhou mocninu vstupního

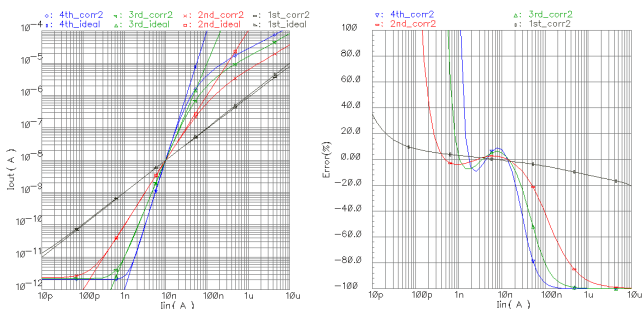
signálu. Na pravé části obrázku je vynesena chyba tohoto přenosu oproti ideální druhé mocnině. Z této charakteristiky je patrný rozsah vstupních proudů pro které se buňka chová korektně. Pro daný referenční proud je dynamický rozsah buňky a asi dva řády.



**Obrázek 4: Přenos sekce druhé mocniny a chyba přenosu oproti ideálnímu stavu pro různé hodnoty napájecího napětí (tranzistory v násobičkových buňkách mají rozměry  $L = 5 \mu m$ ,  $W = 20 \mu m$ ).**

Z obrázku 4 je též patrné, že buňka se chová konzistentně v širokém rozmezí napájecích napětí o 1 do 3 voltů. To je důležitý předpoklad pro splnění cíle 4 této práce.

Z jednotlivých násobičkových buněk lze realizovat mocninné sekce. Na obrázku 5 je vidět přenos a chyba přenosu těchto mocninných sekcí. S velikostí mocniny se dynamický rozsah použitelnosti snižuje. Prakticky lze použít mocninnou sekci do čtvrtého řádu.

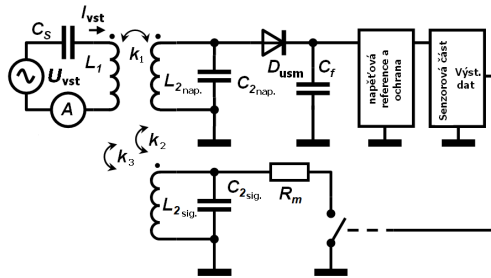


**Obrázek 5: Korigovaný přenos (vlevo) a chyba (vpravo) mocninných sekcí pro první až čtvrtou mocninu (napájecí napětí 3 V, tranzistory v násobičkových buňkách mají rozměry  $L = 5 \mu m$ ,  $W = 20 \mu m$ ).**

## 4. VÝSLEDKY

### Napájení a komunikace

Pro účely napájení a komunikace jsem navrhnul modifikovanou verzi klasického schématu, používaného v RFID systémech. Na obrázku 6 je zjednodušené blokové schéma napájení a komunikace, které koresponduje se schématem na obrázku 2. V tomto případě jsou však na přijímací straně dvě cívky, kde jedna slouží pro napájení ( $L_{2nap.}$ ) a druhá pro pasivní přenos signálu ( $L_{2sig.}$ ). Toto rozdělení jednak umožňuje zachování přenosu signálu i při velkém odběru energie pro napájení, jednak umožňuje mnohem hlubší modulaci při přenosu informace, aniž by bylo napájení přerušováno. V tomto případě se může velikost odporu  $R_m$  blížit téměř k nule, a tím je umožněna detekce signálu na maximální vzdálenost.



Obrázek 6: Zjednodušené schéma pro napájení a komunikaci na různých frekvencích

Příjem signálu probíhá na stejném principu, jak byl popsán v kapitole 3. Změna zátěže na sekundární straně se projeví ve změně proudu ve vysílací cívce  $L_1$ . V případě přítomnosti sériové rezonance lze proudovou sondu z obrázku 6 vynechat a měřit přímo napětí na cívce. Vyhodnocovací obvod se tak podstatně zjednoduší. Změna proudu cívkou je způsobena jak změnou zátěže ve vysílací větvi, tak změnou odběru ve větvi napájecí. Rychlost těchto změn je rozdílná a navíc se změny dějí na různých frekvencích. Proto je snadné tyto dva jevy odlišit. Pro vyhodnocení přijímaného signálu je vhodné snímané napětí z cívky  $L_1$  filtrovat, čímž se citlivost příjmu ještě zvýší.

Vazební koeficient  $k_2$  reprezentuje vazbu mezi přijímacími cívkami a lze jej považovat za parazitní. Pro ideálně oddělené kanály by se měl blížit nule. Pro simulace a měření byly testovány dvě konfigurace přijímacích cívek podle. Jednalo se o sousou konfiguraci s vazebním koeficientem 0,44 a o

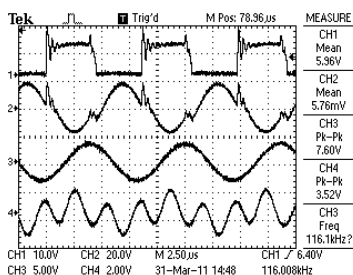
konfiguraci cívek vedle sebe, kde je vazební koeficient 0,024. Plocha obou cívek byla pro obě konfigurace stejná. Vazební koeficient je při sousední konfiguraci mnohem větší, než je typická hodnota vazby s primární cívkou. Proto je tato konfigurace nevhodná. Pro simulace i pro měření je nutné uvažovat pouze konfiguraci sekundárních cívek vedle sebe.

Simulace i měření byly provedeny s reálnými cívkami a vazební koeficient mezi primární a sekundární stranou byl změřen a pro simulace nastaven na hodnotu 0,2, což odpovídá vzdálenosti mezi cívkami asi 4 cm. Velikosti kondenzátorů z rezonančních obvodů byly spočítány tak, aby bylo dosaženo odpovídajících rezonančních kmitočtů.

Rovnice 1 udává rozvoj obdélníkového signálu pomocí Fourierovy řady.

$$u_0(t) = U_m \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[ \frac{1}{n} \cdot \sin(n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \right] \quad (1)$$

Hodnoty frekvencí pro napájení a komunikaci mohou být zvoleny prakticky libovolně, ale v případě, že se zvolí v poměru 3:1, opět se výrazně zjednoduší konstrukce vysílacího obvodu. Z rovnice 1 totiž vyplývá, že právě první a třetí harmonická složka mají největší amplitudu. Vysílací zdroj lze tedy nahradit pouze zdrojem obdélníkového signálu – například spínačem. Spínač s rezonančním obvodem tak tvoří zesilovač ve třídě D, který se vyznačuje vysokou účinností.



**Obrázek 7: Oscilogram reálného měření podle schématu na obrázku 6**

Navržené komunikační schéma jsem prakticky testoval. Na obrázku 7 je oscilogram z reálného měření. Na kanálu 1 je obdélníkové budící napětí. Kanál 2 odpovídá napětí na primární cívce  $L_1$ , kanál 3 je napětí na cívce  $L_{2sig}$ , a na kanálu 4 je zobrazeno napětí na cívce  $L_{2nap}$ . (značeno podle obrázku 6). Měření se od simulace nepatrně liší ve fázových posunech. Je to způsobeno chybou v přesném nastavení rezonančních kmitočtů. Velikosti napětí je nutno přepočítat příslušnými poměry a velikostí amplitudy budícího signálu. Poté

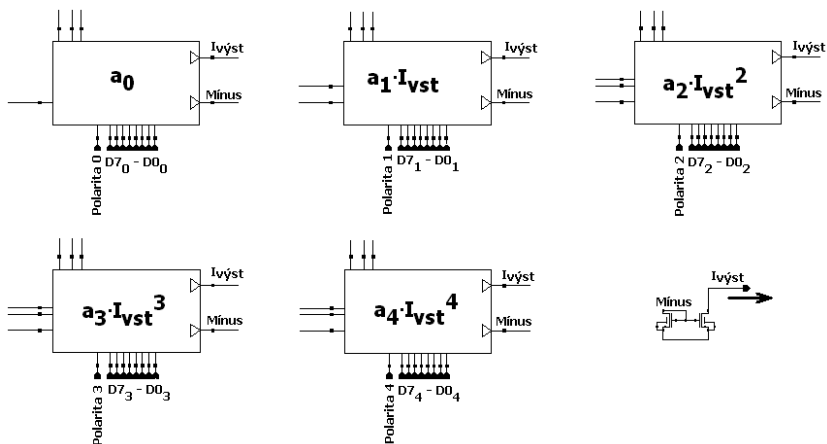
jsou v dobré shodě se simulací – v reálu jsou jen o trochu menší díky ztrátám, které v simulaci nebyly zcela zohledněny. Zejména jde o ztráty v důsledku povrchového jevu ve vodičích, které zvyšují ztrátový odpor cívek oproti měření, a tím částečně přispívají k rozladění obvodu.

## Obvod pro korekci převodní charakteristiky

Pro účelu korekce převodní charakteristiky jsem navrhnul obvod, který je tvořen z CMOS násobičkových buněk. Navržený obvodový blok má polynomicou převodní charakteristiku, kterou je možno digitálně nastavit podle potřeby. Polynomická sekce se skládá z mocninných sekcí, stejně jako ta, která byla popsána v předchozí kapitole. Každá mocninná sekce je ovládána deseti bity. Bit  $V_{sup\_pov}$  povoluje příslušnou sekci, bit  $Polarita$  určuje polaritu výstupního proudu a osm bitů  $D0$  až  $D7$  nastavuje velikost násobícího koeficientu  $a$ . Rovnice 2 reprezentuje obecný polynomický přenos korekčního obvodového bloku. Volbou koeficientů  $a$  je možno nastavit požadovanou převodní charakteristiku bloku. Neméně důležitá je též velikost referenčního proudu  $I_{ref}$ . Jeho volbou se dá charakteristika doladit v případě, když už osmibitová hodnota koeficientů  $a$  nestačí. Navíc slouží jako teplotní kompenzace.

$$I_{výst} = f_2(I_{vst}(x)) \approx a_0 + a_1 \cdot I_{ref} \cdot \frac{I_{vst}}{I_{ref}} + a_2 \cdot I_{ref} \cdot \frac{I_{vst}^2}{I_{ref}^2} + \dots + a_n \cdot I_{ref} \cdot \frac{I_{vst}^n}{I_{ref}^n} \quad (2)$$

Realizace polynomické sekce čtvrtého řádu je na obrázku 8. Schéma je pro přehlednost zjednodušeno a jsou popsány jen nejdůležitější vodiče a uzly. Na obrázku je 5 bloků, které reprezentují nultou až čtvrtou mocninu. Na základě hodnoty pinu  $Polarita$  jsou výstupy těchto sekcí připojeny buď přímo na výstup  $I_{výst}$  nebo jsou spojeny do uzlu  $Minus$ . Výstupní proudy ze sekce jsou buzeny tranzistorem  $MP4$  z poslední násobičkové buňky (obrázek 3 vpravo) tak, že proudy vytékají ven. Spojením pozitivních výstupů se jednotlivé proudy sečtou. Podobně se sečtou výstupy negativní, které jsou však přivedeny na vstup proudového zrcadla (obrázek 8 vpravo dole). Toto zrcadlo odečte všechny negativní proudy od těch pozitivních, takže z výstupu polynomické sekce pak vytéká pouze rozdíl těchto proudů. V případě, že rozdíl vyjde záporně, z výstupu neteče nic. Polynomickou sekci lze použít v přímém režimu transformace nebo ji lze zapojit do smyčky záporné zpětné vazy a pak tento blok bude mít převodní charakteristiku inverzní k nastavenému polynomu. Režim transformace je volen speciálně navrženým obvodovým blokem.



**Obrázek 8: Zjednodušené schéma polynomické sekce čtvrtého řádu**

Výstupy z jednotlivých polynomických sekcí jsou váhovány digitálně analogovým převodníkem, takže výsledný transformační polynom je digitálně nastavitelný. Jeho přenos je řízen registry, které lze externě programovat pomocí sériového vstupu.

### Vstupní periferie

Navržený obvod obsahuje periferie, které splňují požadavek cíle 2 této práce. Pro napěťové a proudové vstupy je navržen diferenciální vstup v proudovém módu. Ten lze rovněž využít k vyhodnocení odporových senzorů a můstků. Dále je na čipu implementována periferie pro vyhodnocení rozdílu vstupních frekvencí a pomocné obvody pro realizaci oscilátorů a multivibrátorů. Takto periferie může být použita k připojení kapacitních a odporových senzorů. Rovněž ji lze použít k vyhodnocení senzorů, které jsou založeny na změně rezonanční frekvence. Třetí periferie je převodník proudu na impulsně modulovaný signál. Ten slouží primárně k vyhodnocení proudu z polynomické sekce, ale lze jej zapojit též samostatně. Je založen na principu převodníku s dvojitou integrací, takže pokud je integrační kondenzátor nahrazen kapacitním senzorem, je na výstupu přímo signál, který této kapacitě odpovídá.

V práci jsou rovněž navrženy struktury pro teplotní kompenzaci obvodu.

## 5. ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat rozhraní pro bezdrátové napájení a komunikaci s mikrosystémy a senzory. Toto rozhraní mělo umožnit připojení široké škály různých senzorů a mikrosystémů a mělo obsahovat obvod pro úpravu převodní charakteristiky. Byly stanoveny minimální požadavky na velikost napájecího napětí (již od 1,5 V) a na maximální vlastní energetickou spotřebu (pod 10  $\mu$ W).

Hlavním výstupem práce je návrh integrovaného obvodu, který je schopen zpracovat data ze senzorů a mikrosystémových struktur, umí přizpůsobit jejich převodní charakteristiku a následně změřená data bezdrátově přenést do vyhodnocovací jednotky. Čip je navržen pomocí CMOS technologie AMIS350uc s minimální délkou kanálu 350 nm. Čip pracuje v proudovém režimu a s napájecím napětím již od 1 V. Jeho vlastní spotřeba se pohybuje v řádech stovek nA v závislosti na velikosti vstupního signálu. Vstupní periferie obvodu umožňují připojit senzory s proudovým výstupem, s napěťovým výstupem, odporové senzory a můstky, kapacitní senzory a rovněž senzory, které jsou založeny na principu změny rezonanční frekvence. Navržený čip obsahuje obvodový blok pro úpravu převodní charakteristiky senzoru, což lze využít zejména pro standardizaci jeho výstupu a kalibraci na dané okolní podmínky. **Cíle, které byly pro disertační práci definovány, byly splněny v plném rozsahu.**

Následující přehled heslovitě shrnuje vlastnosti celého systému

- Umožňuje bezdrátové napájení i komunikaci na vzdálenost větší než 10 cm pomocí magnetického pole.
- Zachovává elektromagnetickou kompatibilitu se vzdáleným okolím
- Umožňuje kontinuální a dlouhodobý provoz bez baterií, elektrolytických kondenzátorů a jiných teplotně náchylných akumulacních prvků
- Je schopen uspokojit i vyšší nároky na spotřebu energie oproti běžným systémům na principu RFID (frekvenční rozdělení kanálů na napájecí a komunikační)
- Má minimální nároky na vlastní spotřebu energie, maximální tok energie tak lze směřovat k externím sensorovým a mikrosystémovým strukturám
- Vykazuje minimální nároky na velikost napájecího napětí, je provozuschopný již od napájecího napětí 1 V
- Umožňuje úpravu převodní charakteristiky na straně senzoru pomocí digitálně nastavitelného korekčního bloku s polynomičkou převodní charakteristikou



- Systém je v dlouhodobě provozuschopný i při vyšších teplotách v řádech desítek stupňů Celsia; u návrhu integrovaného řešení ve speciálních technologiích lze uvažovat i o teplotách vyšších.
- Je aplikovatelný na široké spektrum senzorů a MEMS struktur; modularita připojitelných rozhraní dle aktuální potřeby. Navržené řešení umožňuje připojení senzorů s proudovým výstupem, napětovým výstupem, odporové senzory a můstky, kapacitní senzory a senzory na principu změny rezonanční frekvence.
- Byl navržen ve finančně nenáročné technologii. Pro návrh byla použita technologie amis350uc firmy ON Semiconductors, dostupná v rámci služby Europractice-ic

### **Přínosy práce**

Vědeckým přínosem práce je návrh nestandardně řešených obvodových struktur, které umožňují zachování funkčnosti celého systému i při velmi nízkých nárocích na napájecí napětí a příkon. Jedná se především o obvody v proudovém módu, které využívají translineární násobičkové buňky pro realizaci korekčního bloku s polynomickou převodní charakteristikou. Tato polynomická charakteristika je digitálně nastavitelná, avšak její samotný přenos je analogový. Obvod zpracovává signály o velikosti desítek až stovek nA, čímž jsou zaručeny minimální nároky na napájení.

Pro napájení byla navržena modifikovaná metoda s využitím slabě vázaných indukčností, která umožňuje maximalizaci energetického toku a komunikační dosah na vzdálenost jednotek až desítek centimetrů. Navržený princip napájení a komunikace je vhodný pro měření v izolovaných prostorech, jako jsou například rotující objekty, biomedicíncké sondy a hermeticky uzavřené oblasti.

## Seznam v teziích použité literatury

- [1] Popovic, Z.: *Wireless Powering for Low-Power Distributed Sensors*, SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, Vol. 3, No. 2, November 2006, p. 149–162, ISSN 1451 – 4869
- [2] Catrysse, M., Hermans, B., Puer, R.: *An inductive power system with integrated bi-directional data-transmission*, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 115, Issues 2-3, září 2004, p. 221 - 229, ISSN: 0924-4247
- [3] Advanced Linear Devices, Inc.: *EH300/EH301 EPAD® ENERGY HARVESTINGTM Modules*, datasheet, dostupné ke dni 16.8.2011 na URL: <http://www.aldinc.com/pdf/EH300ds.pdf>
- [4] Klein, M., Voigt, M.: *Energy-autonomous Microsystems – a Key Technology for a Mobile Future*, mstnews, international newsletter on micro-nano integration, ENERGY for AUTONOMOUS MICRO-SYSTEMS, No. 4/05 – August 2005
- [5] Havlíček, A.: *Jaderný zdroj energie sondy New Horizons*, duben 2006, ke dni 1.6.2011 dostupné online z URL: <http://spaceprobes.kosmo.cz/index.php?cid=160>
- [6] Tjensvold, J. M.: *Comparison of the IEEE 802.11, 802.15.1,802.15.4 and 802.15.6 wireless standards*, září 2007, ke dni 1.4.2010 dostupné z URL: <http://janmagnet.files.wordpress.com/2008/07/comparison-ieee-802-standards.pdf>
- [7] Wikipedia.org: *ISM band*, 1.6.2011 dostupné z URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/ISM\\_band](http://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band)
- [8] Suster, M., Chaimanonart, N., Guo, J., Ko, W., Young, D.: *Remote-Powered High-Performance Strain Sensing Microsystem*, Micro Electro Mechanical Systems, MEMS 2005. 18th IEEE International Conference on, 30 Jan.-3 Feb. 2005, p. 255 – 258, ISSN: 1084-6999
- [9] Finkenzeller, K.: *RFID Handbook*, John Wiley & Sons Ltd, England, 2<sup>nd</sup> edition, 2003, ISBN 0-470-84402-7
- [10] IDS Microchip AG: *IDS-SL13A, Smart Label Chip with Sensor For Unique Identification, Monitoring and Data Logging*, datasheet, prosinec 2008, k 1.2.2011 dostupné z URL: [http://www.ids.si/doc/sd/SL13A\\_SD.pdf](http://www.ids.si/doc/sd/SL13A_SD.pdf)
- [11] Wu, J., Quinn, V., Bernstein, G.: *A simple, wireless powering scheme for MEMS devices*, MEMS Components and Applications for Industry, Automobiles Aerospace, and Communications, Proceedings of SPIE, 2001, Vol. 4559, ISBN 0-8194-4287-9, dostupné ke dni 1. 8. 2011 na adrese:
- [12] Toumazou, C., Lidgey, F. J., Haigh, D. G.: *Analogue IC Design: the current-mode approach*, Peter Peregrinus Ltd., 1993, 1998, ISBN 0-86341-297-1
- [13] Ngarmnil, J., Yodprasit, U.: *Log-domain Differentiator for BP-HP Filters*, 24.5.2006  
URL: [http://www.ee.mut.ac.th/research/1998/eecon21/A\\_EECON21\\_02E.pdf](http://www.ee.mut.ac.th/research/1998/eecon21/A_EECON21_02E.pdf)
- [14] Martín, A.J.L., Carlosena, A.: *Current-Mode Multiplier/Divider Circuits Based on the MOS Translinear Principle*, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, vol.28, Kluwer Academic Publishers, 2001, p. 265-278, ISSN:0925-1030

## Seznam publikací

Ing. Adam Bouřa

Platný ke dni 31.8.2011

### 1. Publikace vztahující se k tématu disertační práce

Publikace v impaktovaných časopisech		
Ke dni 31. 8. 2011 přijato v prvním kole recenzního řízení: Radioengineering. ISSN 1210-2512, (impakt faktor 0,503 v roce 2010), Termín očekávaného vydání: duben 2012		
<b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Communication and Powering Scheme for Wireless and Battery-Less Measurement</i>		
Publikace v recenzovaných časopisech		
<b>Bouřa, A. - Husák, M. - Kulha, P.:</b> <i>ANALGOVÁ KOREKCE PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY POMOCÍ OBVODU V PROUDOVÉM MÓDU.</i> Slaboproudý obzor. 2011, roč. 67, č. 1, s. 30-35. ISSN 0037-668X		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 10%	Kulha, P.: 10%
<b>Bouřa, A. - Husák, M. - Kulha, P.:</b> <i>BEZDRÁTOVÉ NAPÁJENÍ INDUKČNÍ VAZBOU.</i> Slaboproudý obzor. 2009, roč. 65, č. 2, s. 16-22. ISSN 0037-668X		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 10%	Kulha, P.: 10%
Patenty		
nejsou		
Publikace excerptované WOS		
<b>Bouřa, A. - Kulha, P. - Husák, M.:</b> <i>Simple Wireless A/D Converter for Isolated Systems.</i> In IEEE ISIE 2009, 2009 IEEE International Symposium on Industrial Electronics [CD-ROM]. Wonmi-gu, Gyeonggi-do: Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS), 2009, p. 323-328. ISBN 978-1-4244-4349-9		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 10%	Kulha, P.: 10%

<p><b>Bouřa, A. - Husák, M. - Kulha, P.:</b> <i>NMOS and PMOS Translinear Multiplying Cell for Current-Mode Signal Processing</i>. In ASDAM 2008 Conference Proceedings. Bratislava: Slovak University of Technology, 2008, vol. 1, p. 83-86. ISBN 978-1-4244-2325-5</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 10%	Kulha, P.: 10%
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Digitally Tunable Section for an Analog Current-Mode Predistortion</i>. In IEEE ISIE 2007 Proceedings [CD-ROM]. Vigo: IEEE, 2007, p. 1391-1394. ISBN 1-4244-0755-9</p>		
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%

<p><b>Publikace ostatní</b></p>		
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Dual frequency system for power-demanding measurement in the isolated areas</i>. In International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'11 [CD-ROM]. Vigo: Universidad de Vigo, 2011, vol. 1, p. 1-3. ISBN 978-84-614-7527-8</p>		
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Communication and Powering scheme for wireless and battery-less measurement</i>. In EDS 2011 Electronic Devices and Systems. Brno: VUT v Brně, FEI, Ústav mikroelektroniky, 2011, vol. 1, p. 73-78. ISBN 978-80-214-4303-7</p>		
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Potentiality of the Inductive Powering for Measurement in the Enclosed Systems</i>. In Conference Proceedings of the Eighth International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems. Bratislava: IEEE, 2010, p. 235-238. ISBN 978-1-4244-8572-7</p>		
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Powering for Long Term Monitoring in the Enclosed Areas</i>. In International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'10 [CD-ROM]. Vigo: Universidad de Vigo, 2010, vol. 1, p. 414-418. ISBN 978-84-613-7543-1</p>		
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%

<p><b>Bouřa, A. - Kulha, P. - Husák, M.:</b> <i>Applicability of the Inductive Powering for Enclosed Systems and Data Transfer</i>. In 45th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials, MIDEEM 2009. Ribno at Bled: MIDEEM, 2009, vol. 1, p. 141-146. ISBN 978-961-91023-9-8</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 10%	Kulha, P.: 10%
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M. - Kulha, P.:</b> <i>Inductance Powering for Electronic Systems</i>. In Electronics Devices and Systems Proceedings. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008, vol. 1, p. 230-235. ISBN 978-80-214-3717-3</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 10%	Kulha, P.: 10%
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Current-Mode Preamplifier with Digitally Tunable Transfer Characteristic</i>. In MIPRO 2008 - Proceedings Vol. 1 MEET &amp; GVS. Zagreb: Croatian Society SMFE, 2008, vol. 1, p. 148-152. ISBN 978-953-233-036-6</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 20%	

## 2. Publikace ostatní

<b>Publikace v impaktovaných časopisech</b>			
nejsou			
<b>Publikace v recenzovaných časopisech</b>			
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Universal Test Bench for Characterization of Distance-measuring and Strain Sensors</i>. ElectroScope [online]. 2010, vol. 2010, no. 3, p. 1-6. ISSN 1802-4564.</p>			
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 20%		
<p><b>Kulha, P. - Bouřa, A. - Husák, M., et al.:</b> <i>Výroba SOI tenzometrů pro vysokoteplotní aplikace</i>. Slaboproudý obzor. 2009, roč. 65, č. 3, s. 26-28. ISSN 0037-668X</p>			
Kulha, P.: 75%	Bouřa, A.: 10%	Husák, M.: 10%	et al.: 5%

<b>Husák, M. - Jakovenko, J. - Bouřa, A. - Kulha, P.:</b> <i>Design of MEMS and Microsystems - Models and Simulation</i> . WSEAS Transactions on Systems. 2005, vol. 4, no. 5, p. 85-93. ISSN 1109-2777			
Husák, M.: 80%	Jakovenko, J.: 10%	Bouřa, A.: 9%	Kulha, P.: 1%
<b>Patenty</b>			
nejsou			
<b>Publikace excerpané WOS</b>			
<b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Translinear Subthreshold MOS Filter for the Wireless Sensors Applications</i> . In The Sixth International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems. Bratislava: Slovak University of Technology, 2006, p. 173-176. ISBN 1-4244-0396-0			
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%	
<b>Kulha, P. - Bouřa, A. - Husák, M., et al.:</b> <i>Design and Characterization of NCD Piezoresistive Strain Sensor</i> . In IEEE ISIE 2009, 2009 IEEE International Symposium on Industrial Electronics [CD-ROM]. Wonmi-gu, Gyeonggi-do: Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS), 2009, p. 121-126. ISBN 978-1-4244-4349-9			
Kulha, P.: 80%	Bouřa, A.: 10%	Husák, M.: 5%	et al.: 5%
<b>Kulha, P. - Husák, M. - Bouřa, A., et al.:</b> <i>Design and Fabrication of High-Temperature SOI Strain-Gauges</i> . In ASDAM 2008 Conference Proceedings. Bratislava: Slovak University of Technology, 2008, vol. 1, p. 175-178. ISBN 978-1-4244-2325-5			
Kulha, P.: 80%	Husák, M.: 10%	Bouřa, A.: 7%	et al.: 3%
<b>Husák, M. - Bouřa, A. - Jakovenko, J.:</b> <i>Direction sensitivity matrix with PLL temperature sensor</i> . In The Sixth International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems. Bratislava: Slovak University of Technology, 2006, vol. 1, p. 177-180. ISBN 1-4244-0396-0			
Husák, M.: 80%		Bouřa, A.: 10%	Jakovenko, J.: 10%

<p><b>Husák, M. - Jakovenko, J. - Bouřa, A.:</b> <i>Sensor System with Differential Arrangement of Temperature MOS Sensor.</i> In Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology (IEEE ICIT2005) [CD-ROM]. ? : IEEE Industrial Electronic Society, 2005, vol. 1, p. 1-4. ISBN 0-7803-9484-4</p>		
Husák, M.: 75%	Jakovenko, J.: 15%	Bouřa, A.: 10%

<b>Publikace ostatní</b>			
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>UNIVERSAL TEST BENCH FOR SENSOR CHARACTERIZATION.</i> In EDS 2010 Electronic Devices and Systems. Brno: VUT v Brně, FEI, Ústav mikroelektroniky, 2010, vol. 1, p. 41-44. ISBN 978-80-214-4138-5</p>			
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%	
<p><b>Bouřa, A. - Kulha, P. - Husák, M. - Horník, M.:</b> <i>Univerzální charakterizační lavice pro testování senzorů.</i> [Funkční vzorek]. 2010.</p>			
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 9%	Kulha, P.: 10%	Horník, M.: 1%
<p><b>Bouřa, A.:</b> <i>Regulovaný zdroj napětí nastavitelný s přesností na 1mV.</i> [Funkční vzorek]. 2009</p>			
<p><b>Bouřa, A.:</b> <i>Temperační komora pro charakterizaci součástek.</i> [Funkční vzorek]. 2009.</p>			
<p><b>Bouřa, A. - Kulha, P. - Husák, M.:</b> <i>IMPROVED METHOD FOR TID ESTIMATION.</i> In Electronic Devices and Systems, IMAPS CS International Conference 2009 Proceedings. Brno: VUT v Brně, FEI, 2009, vol. 1, p. 10-15. ISBN 978-80-214-3933-7</p>			
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 10%	Kulha, P.: 10%
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>CMOS Sensor of the Temperature Difference with Analog Compensation.</i> In Moderní metody řešení, návrhu a aplikace elektronických obvodů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007, p. 31-34. ISBN 978-80-214-3535-3</p>			
Bouřa, A.: 80%		Husák, M.: 20%	

<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Design of the Air Flow Sensor Based on Heating the CMOS Chip.</i> In 6th Electronic Circuit and Systems Conference Proceedings. Bratislava: STU v Bratislave, 2007, vol. 1, p. 117-120. ISBN 978-80-227-2697-9</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 20%	
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Log-Domain CMOS Biquad Section for Current Mode Filters.</i> In Moderní metody řešení, návrhu a aplikace elektronických obvodů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006, vol. 1, p. 21-25. ISBN 80-214-3328-0</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 20%	
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Log-Domain CMOS Multiplier for an Analog Current Mode Linearization.</i> In Electronic Devices and Systems - IMAPS CS International Conference 2006. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006, vol. 1, p. 52-57. ISBN 80-214-3246-2</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 20%	
<p><b>Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>V/F Converter for the Pressure Sensors and Wireless Applications.</i> In EDS '05 IMAPS CS International Conference Proceedings. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005, vol. 1, p. 1-6. ISBN 80-214-2990-9</p>		
Bouřa, A.: 80%	Husák, M.: 20%	
<p><b>Bouřa, A.:</b> <i>Design of the Wireless V/F Converter for the Pressure Sensors.</i> In POSTER 2005 [CD-ROM]. Prague: CTU, Faculty of Electrical Engineering, 2005, p. EI37</p>		
<p><b>Husák, M. - Bouřa, A. - Jakovenko, J.:</b> <i>One-chip MOS Structure for Temperature Flow Sensor.</i> In 2010 Proceeding Nanotech, Clean Technology, Microtech, Bio nanotech [CD-ROM]. Boston: Nano Science and Technology Institute, 2010, p. 1-3. ISBN 978-1-4398-3421-3</p>		
Husák, M.: 80%	Bouřa, A.: 10%	Jakovenko, J.: 10%
<p><b>Husák, M. - Bouřa, A. - Jakovenko, J.:</b> <i>Wireless Sensor Network Control System.</i> In Conference Proceedings of the Eighth International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems. Bratislava: IEEE, 2010, p. 215-218. ISBN 978-1-4244-8572-7</p>		



Husák, M.: 80%	Bouřa, A.: 10%	Jakovenko, J.: 10%
<p><b>Husák, M. - Bouřa, A. - Jakovenko, J.:</b> <i>Wireless Sensor System with Bidirectional Communications</i>. In 2010 Proceeding Nanotech, Clean Technology, Microtech, Bio nanotech [CD-ROM]. Boston: Nano Science and Technology Institute, 2010, vol. 1, p. 1-3. ISBN 978-1-4398-3421-3</p>		
Husák, M.: 80%	Bouřa, A.: 10%	Jakovenko, J.: 10%
<p><b>Kulha, P. - Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>Design and Fabrication of Piezoresistive Strain-Gauges for Harsh Environment Applications</i>. In <i>International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'10</i> [CD-ROM]. Vigo: Universidad de Vigo, 2010, vol. 1, p. 510-513. ISBN 978-84-613-7543-1</p>		
Kulha, P.: 80%	Bouřa, A.: 10%	Husák, M.: 10%
<p><b>Kulha, P. - Bouřa, A. - Husák, M.:</b> <i>High-Temperature Strain-Gauges Based on Nanocrystalline Diamond Layers</i>. In <i>Electronic Devices and Systems, IMAPS CS International Conference 2009 Proceedings</i>. Brno: VUT v Brně, FEI, 2009, vol. 1, p. 197-200. ISBN 978-80-214-3933-7</p>		
Kulha, P.: 85%	Bouřa, A.: 10%	Husák, M.: 5%
<p><b>Husák, M. - Bouřa, A. - Jakovenko, J.:</b> <i>Strong and Weak Inversion Mode of MOS in the Design of Direction Sensitivity Matrix</i>. In <i>NSTI Nanotech 2006 - Technical Proceedings Vol. 1-3. (CDROM)</i> [CD-ROM]. Boston: Nano Science and Technology Institute, 2006, p. 574-577. ISBN 0-9767985-9-X</p>		
Husák, M.: 80%	Bouřa, A.: 10%	Jakovenko, J.: 10%

## SUMMARY

The scope of the dissertation is design and realization of the interface for wireless powering and communication with sensors and microsystems. The interface should allow the connection of different sorts of the sensors and it also must have an ability to correct the transfer characteristic. There were stated demands which should be fulfilled. The minimal powering voltage should be 1.5 V and the maximal self power consumption should not exceed the value of 10  $\mu$ W.

The main output of the dissertation is a chip design which is able to process signals from the sensors and microsystem structures; it can correct their transfer characteristic and wirelessly transfer the data to the receiver. The chip is designed in CMOS technology AMIS350uc with minimal transistor channel length of 350 nm. The chip is designed in the current mode and it is able to operate with powering voltages from 1 V. Its self consumption is in the range of hundreds of nA and it depends on the input signal value. The input interfaces allow connecting sensors and microsystems with current output, voltage output, resistive sensors and resistive bridges, capacitive sensors and sensors that are based on the resonance frequency change. The chip contains a circuit structure which is able to correct the transfer characteristic of the connected sensor. This can be used for the standardization and calibration to the specific environmental conditions.

All the objectives that were stated for the dissertation were fulfilled.

The main scientific goal of the dissertation is the design of the nonstandard circuit structures that are able to deal with extremely low powering voltages and that exhibit extremely low self power consumption. The circuits are designed in the current mode and they are consisting of translinear CMOS multiplying cells. The cells are forming the powering stages and their contributions are summed to form the multinomial transfer characteristic. The multinomial characteristic is digitally tunable using eight bits but the transfer itself is analog-based. The circuit processes the currents with typical values of tens or hundreds nanoamperes and thus the power consumption is very low.

In the work there was designed a modified method for wireless powering and communication that is based on weakly coupled inductances. It allows maximization of the power transfer and communication distance. The powering and communication is applicable up to distances of several tens of centimeters. The powering and communication scheme is suitable for isolated systems such as rotating objects, biomedical probes and hermetically enclosed areas.