

Posudek doktorské disertační práce

Doktorand: Ing. Jaromír Žák

Název práce: Návrh a optimalizace senzorických systémů využívajících malovýkonových napájecích generátorů

Obor: Mikroelektronika a technologie

Školitel: Doc. Ing. Jaromír Hubálek, Ph.D.

Oponent: Doc. Ing. Arnošt Bajer, CSc.

Základem práce je řešení problematiky komplexní optimalizace spotřeby systému včetně získávání energie z externích zdrojů pomocí tzv. „energy harvesting“ technik (EH), s orientací na miniaturní senzorické systémy, ve kterých lze maximálně využít potenciál nízkovýkonových generátorů pro zajištění energetické nezávislosti systémů. Předložená práce, zabývající se daným tématem, je rozdělena do šesti kapitol.

Komplexní pohled na současný stav výzkumu je přehledně uveden ve druhé kapitole rešerže. Je zde uveden přehled konvenčních senzorických systémů z hlediska jejich charakteristik a možností jejich využití v průmyslové a medicínské praxi, včetně nejnovějších trendů, směřujících k energetické nezávislosti a bezdrátovému přenosu dat. S tím souvisí i klasifikace spotřeby systémů a následně řešení její optimalizace.

Možnosti snižování spotřeby při zvyšující se integraci např. využitím kombinovaných obvodů ASIC je teoreticky možné, avšak za cenu vysokých nákladů na vývoj a výrobu. Proto autor při řešení úkolu správně vychází ze srovnání energetických poměrů pro různé architektury mikrokontrolérů v různých pracovních režimech a zaměřuje se na možnosti řízené spotřeby, což se jeví jako jedna z efektivních možností řešení problému. Některé možnosti jsou demonstrovány na ukázkách konkrétních mikrokontrolérů. Dále jsou probány i možnosti řízení spotřeby, především prostřednictvím externích obvodů, sledujících komplexně spotřebu systému. Tyto struktury jsou opět demonstrovány na reálných obvodech.

Další část je zaměřena na možnosti napájení systémů s extrémně nízkou spotřebou. Efektivní minimalizace celkového příkonu systému je zásadním problémem pro využití techniky „energy harvesting“ a proto také snaha o optimalizaci spotřeby a efektivnosti přenosu energie je vhodným námětem pro výzkum.

Při snaze vytvořit energeticky nezávislý systém, je třeba vycházet z parametrů cílového systému. Touto záležitostí se zabývá další část práce a pokračuje přehledem metod získávání energie z okolního prostředí.

V další obsáhlé části práce je uveden princip využitelných napájecích generátorů a jejich charakteristik. Je zde probáno pět způsobů získání energie z malovýkonových externích zdrojů (EH), z hlediska principů, konstrukce, energetické výtěžnosti a jejich očekávané stability. Jedná se o generátory, využívající kinetickou energii, elektromagnetické pole, světelné záření, teplotní gradient a chemickou energii. V některých případech se autor zabývá zbytečně do hloubky obecně známými fyzikálními jevy. Zmínka o palivových článcích při řešení dané problematiky se jeví jako poněkud nadsazená.

Vzhledem k tomu, že energii dodávanou zejména malovýkonovými generátory EH nelze nikdy v systémech zpracovat okamžitě, je třeba i řešit problém dlouhodobé akumulace energie, případně její

transformace. Je tedy nedílnou součástí úkolu i sledování problematiky prostředků pro dlouhodobé uchování energie. Proto jsou následně probrány existující typy akumulčních prvků, jako jsou olověné akumulátory, tzv. solid-state baterie a různé typy kondenzátorů s důrazem na tzv. superkondenzátory. Využití zdrojů na bázi energy harvesting je možné u sensorických systémů s extrémně nízkou, nejlépe řízenou spotřebou. Zde autor vychází z rozboru možností optimalizace spotřeby uvažovaných systémů.

Dále jsou v přehledu uvedeny současné sensorické systémy sloužící pro převod jak elektrických, tak především neelektrických veličin na veličinu elektrickou a metody optimalizace spotřeby obecného systému.

Blíže jsou sledovány sensorické systémy vhodné pro napájení pomocí technik energy harvesting, s užší orientací na medicínské využití a na bezdrátové senzory a sensorové sítě s orientací právě na systémy s nezávislým napájením neobsahující napájecí zdroj s omezenou životností. Za vhodné pro medicínské využití s případným bezdrátovým přenosem dat, vidí autor generátory využívající kinetické energie, termoelektrické generátory a perspektivně i generátory biochemické.

Na oblast medicínského využití malovýkonových systémů ve spolupráci generátory EH se autor zaměřuje v další části rešerže. Věnuje se zde především možnosti využití popsaných systémů pro vytvoření implantátů a demonstruje to na příkladu náhrady chybějících nebo poškozených zvukových receptorů v lidském uchu.

Po předchozím, dosti obsáhlém přehledu, se autor dostává k definici cíle práce a jeho rozdělení na tři konkrétní dílčí úkoly. Je to optimalizace spotřeby robustních sensorických systémů, optimalizace spotřeby miniaturizovaných systémů s využitím EH a vytvoření komplexního modelu systému s EH generátory v prostředí programu SPICE.

Přechod k experimentální části práce je proveden poněkud skokovým způsobem a použitý citát J. W. von Goetha možná i tento jev do jisté míry charakterizuje. V experimentální části práce je jako součást dílčího cíle rozpracována problematika optimalizace dvou základních typů biomedicínských sensorických systémů - robustního bezdrátového systému a plně implantovatelného sensorického systému s nezávislým napájením za využití generátorů EH.

Úvod do experimentální části by asi vyžadoval bližší definici některých pojmů – např. význam pojmu „robustní systémy“ se sice dá vydedukovat, ale jednoznačné vysvětlení by bylo určitě vhodné. Podobně by se dalo najít více pojmů, které by si zasloužily bližší vysvětlení. Z úvodu do experimentální části tak není docela zřejmý autorův záměr. Jsou zde poskládány pojmy, mezi nimiž není zřejmá přímá návaznost a není zcela jasné, kde končí rešerže a začíná praktická část, nebo jinak, co je bude vlastní prací autora. Často používané formulace typu „bylo navrženo; bylo využito“ nevyjadřují dostatečně autorův podíl na popisovaných řešeních.

Další část práce se zabývá univerzálním systémem, řešeným, jak uvádí autor, v rámci spolupráce v evropském projektu MAS, do kterého bylo zapojeno mnoho českých i zahraničních partnerů z průmyslu i výzkumných institucí. Úkolem systému je monitorovat kritické medicínské parametry a sdílet je s lékařem „online“. Chybí zde, bohužel, náznak formy této spolupráce a autor se „bez výstrahy,“ zabývá problematikou sledování oběhu tekutin v lidském organizmu, organizací sběru dat a vytvářením tzv. personální sítě řízené koordinátorem sítě, zařízením, které je současně sběrným prvkem dat systému.

Činnost zařízení - koordinátoru sítě, a forma přenosu dat je popsána velmi povrchně a není z popisu zřejmé, zda je autor konstruktérem zařízení nebo je získal již jako hotové. Sensor pro měření teploty a množství vyloučeného potu z povrchu kůže je zřejmě autorovou konstrukcí. S tímto zařízením provedl řadu měření, která jsou uvedena ve formě grafu. Dalším navrženým senzorem je sensor pro detekci koncentrace draslíku v moči sledované osoby. Příklad měření tímto senzorem je opět uveden v grafu, který vyjadřuje citlivost senzoru. Jako další sledovaný prvek je osobní váha. Tato veličina je sledována váhou opatřenou tenzometrickými snímači. Uvedené veličiny jsou vyhodnocovány koordinátorem sítě. Spotřeba senzorů je vyhodnocena a její průběh je vyjádřen časovou

závislosti v základním zapojení a po provedení obvodových úprav. Tím měly být naznačeny možnosti redukce spotřeby sestaveného systému.

Dále jsou naznačeny možnosti realizace kochleárního implantátu, který nevyužívá techniku *energy harvesting*. Práce pokračuje přípravou modelu kochleárního implantátu a vytvářením vhodných prvků systému pro simulaci v prostředí SPICE. Součástí systému je napájecí zdroj, obvod pro řízení napájení, akumulární prvek, akustický prvek typu MEMS a transkduktanční zesilovač v součinnosti s technikou pro minimalizaci ztrát. Autor provedl nejprve simulace jednotlivých prvků a následně sestavil komplexní simulační model v prostředí SPICE. Výsledky simulací jsou zpracovány tabelárně a graficky. Práce byla řešena v návaznosti na projekt základního výzkumu možností realizace umělé kochley řešený ústavem mikroelektroniky.

Po grafické stránce je práce na dobré úrovni, avšak experimentální část je poněkud neuspořádaná, což ztěžuje orientaci.

Za hlavní přínos práce lze považovat popis inovativních technik pro optimalizaci malopříkonového spotřebiče, nově navržených v průběhu řešení této části práce. Jedná se zejména o Charge Push-Through techniku, techniku adaptivních obvodů a o nová obvodová řešení dílčích subbloků implantátu. Dalším přínosem je zpracování charakterizace vytvořených snímačů MEMS, jejich analýza a elektrický návrh generátoru. Uvedený přínos koresponduje z vytyčenými cíly. Vzhledem k novosti problematiky je nezbytné experimentální ověření.

V neposlední řadě, vytvoření komplexního simulačního modelu senzoričského systému napájeného technologiemi „energy harvesting“, lze považovat za inspirativní pro výzkum dalších perspektivních možností a aplikací.

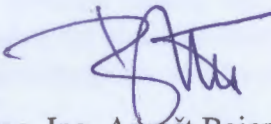
Přes některé výše uvedené nedostatky jsou zřejmé autorovy schopnosti, tvůrčím způsobem řešit technické problémy. Ing. Žák se zabýval tématem disertační práce dlouhodobě, podrobně a systematicky. K řešení práce doktorand využil metod vědecké práce. Práce má přímé praktické uplatnění jak ve vývoji, tak v praxi. Disertační práce splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce a obsahuje původní výsledky, které byly průběžně publikovány.

Předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě a po úspěšném obhájení navrhuji udělit Ing. Jaromíru Žákovi akademický titul Ph.D.

K autorovi mám následující dotazy:

- 1) V kapitole 4.1.2.1. je uvedeno, že každý ze senzoričských modulů má pro všechny své senzory samostatně uložená kalibrační data. Může autor blíže vysvětlit, jak jsou tato kalibrační data získávána a jaké tvary kalibračních křivek jsou pro použité senzory nejvhodnější?
- 2) V kapitole 4.1.2. je popisován koordinátor osobní sítě. Vzhledem k tomu, že autor je zřejmě konstruktérem tohoto zařízení, bylo by možné uvést alespoň blokové schéma?
- 3) Ve stejné kapitole je řeč o použití komunikačního protokolu ZigBee. Jaké hardwarové prvky byly pro tento účel použity?

V Brně 4.12.2015


Doc. Ing. Arnošt Bajer, CSc.