

Oponentní posudek na disertační práci:

Ing. Ivo Veřtát: Efektivní komunikační systém pikosatelitů

Cílem předložené disertační práce byl komplexní rozbor energetické bilance rádiového komunikačního spoje mezi pikosatelity a pozemní řídicí stanicí se specifikací rezerv při využití kapacity přenosového kanálu. Na základě toho rozboru pak navrhnout efektivní komunikační formát s využitím adaptivity modulačního schématu pro přenos experimentálních dat z pikosatelitů do řídicího pozemního střediska. Předložené cíle práce jsou velmi aktuální a jsou velmi úzce svázány s jejich praktickým využitím.

Rozsah práce v českém jazyce je 120 stran včetně příloh a daná problematika je členěna do pěti základních kapitol. Práce je vypracována velmi pečlivě a precizně popisuje řešené úkoly a prezentuje výsledky. Z hlediska náplně ji lze rozdělit na dvě základní oblasti: energetický rozbor spoje a návrh adaptivního komunikačního systému.

Teoretickému rozboru energetické bilance rádiového spoje pikosatelit - pozemní řídicí stanice včetně současně využívaných prostředků a požadavků na efektivní inovaci komunikačních subsystémů je věnována kapitola 2. V této části práce je proveden precizní rozbor energetické bilance rádiového spoje s ohledem na specifika aplikace pikosatelitů pracujících na nízké orbitální dráze LEO. Oceňuji především rozbor z hlediska komunikace s pikosatelitem při nízké elevaci, kdy jsou podmínky energetické bilance nejkritičtější, avšak pravděpodobnost výskytu družice velmi vysoká. Pro řadu dnes používaných pikosatelitů se komunikace při nízkých elevacích (pod 5 až 10°) vůbec neuvažuje a postupy a výsledky v práci Ing. Iva Veřtáta lze považovat za původní. Diskutabilní je v práci řešená problematika definice ztrát nepřesného směřování antény pikosatelitu. Řešení je velmi přibližné a čistá náhrada ideálním půlvlnným dipólem může vnést významnou chybu. Jako vhodné řešení bych spíše doporučoval ověření s vybranými konstrukčními modely pikosatelitů v některém z EM simulátorů a následné statistické vyhodnocení s využitím rovnoměrného rozdělení natočení pikosatelitu vzhledem k pozemní stanici. Je zjevné, že i autor práce výše nastíněný problém zcela neuzavřel a že přesnější analýze této problematiky se bude dále věnovat (viz podaná přihláška postdoktorského projektu GAČR P102/12/1406). Na druhou stranu oceňuji snahu získat řešení i pro vlivy, které dosud nebyly normativně determinovány pro požadované parametry (např. elevace, kmitočtová pásma), aplikací extrapolace.

Návrh řešení efektivního komunikačního systému pro pikosatelity je náplní kapitoly 3. Jsou uvažována pásma 144 MHz, 430 MHz a 2400 MHz, která jsou pro tyto systémy typická. Na základě rozboru z kapitoly 2 a aplikace pro daná pásma jsou vyčísleny nejistoty (krajní meze ztrát pro reálnou komunikaci) v energetické bilanci pro jednotlivé efekty. Tato část je opět zpracována velmi pečlivě a s jasným vysvětlením. Drobnou připomínku mám k extrapolaci atmosférických ztrát pro kmitočet pod 1 GHz, kde je patrný neočekávaný skok (Obr. 3.3). Naštěstí jsou tyto ztráty poměrně malé a celkovou energetickou bilanci příliš neovlivní. V podkapitole 3.2 jsou výsledky předchozího rozboru využity pro definici rozsahu změn výkonu užitečného signálu ku spektrální hustotě šumu pro šest typických (i speciálních) případů komunikace s pikosatelitem na dráze LEO ve výšce 350 a 750 km. Tyto výsledky podle očekávání ukazují, že dynamika C/N_0 na vstupu pozemního přijímače je při komunikaci s pikosatelitem značná a to i pro elevace nad 10° (až 38 dB) a že aplikace pevného komunikačního schématu je velmi neefektivní. Následující část práce je tudíž věnována návrhu vhodného adaptivního modulačního schématu pro komunikaci s pikosatelity.


Vzhledem k limitům daným energetickými zdroji pikosatelitů a technickými požadavky na reálný komunikační subsystém je volba vyžití hybridních modulací M-FSK/N-PSK (včetně odvození) v adaptivním režimu velmi přínosná. V práci byl proveden rozbor závislosti chybovosti BER na E_b/N_0 pro uvedené typy modulací modelováním v Matlabu. V této fázi bych spíše doporučoval obecné matematické odvození s využitím chybové funkce a případné srovnání se simulací. Taktéž ne zcela jasná je definice „přepínacích“ mezi C/N_0 v adaptivním modulačním systému. Určitý nástin je uveden v tabulkách 3.24 a 3.25, otázkou však zůstává zavedení alespoň jednoduché metody kanálového kódování nejen pro efektivnější přenos dat, ale i pro odhad C/N_0 . V kapitole je uveden i návrh řešení modulátoru a demodulátoru hybridní DM-FSK/DQPSK, který nabízí poměrně jednoduchou a energeticky nenáročnou realizaci vhodnou k implementaci v pikosatelitu.

Shrnutí výsledků je uvedeno v kapitole 4, v závěru v kapitole 5 jsou zobecněny jak dosažené výsledky, tak i další směry výzkumu dané problematiky včetně nastínění problémů s aplikací a extrapolací různých modelů ITU pro šíření elektromagnetické vlny a výskytu nesourodostí především pro nižší kmitočtová pásma. I zde se otevírá možnost dalšího výzkumu, především pak v případě, pokud bude pikosatelit PilsenCUBE v budoucnu vynesena na oběžnou dráhu. Z formálního hlediska je práce napsána srozumitelně a odborně, bez překlepů s minimem chyb a nepřesností (např. na straně 17 v rovnici 2.20 je použit jiný symbol pro elevační úhel).

Disertační práce Ivo Veřtáta se zabývá aktuální tematikou a přináší nové možnosti zdokonalení komunikačního schématu mezi pikosatelitem a pozemní řídicí stanicí. Pro odbornou veřejnost bude velkým přínosem, pokud navržený komunikační systém bude implementován a prakticky ověřen v pikosatelitu PilsenCUBE, který je vyvíjen na ZČU v Plzni. Erudice uchazeče o titul Ph.D. je podpořena dvanácti publikacemi (tč. tři jsou v recenzním řízení). Přestože je v práci řada původních výstupů, publikování výsledků spojených s předloženou disertační prací poněkud zaostává. Doporučuji, aby uchazeč vhodnou formou významné dosažené výsledky publikoval v mezinárodním odborném časopise.

Přes uvedené výtky k práci, jsou prezentované výsledky důkazem o vědeckých schopnostech uchazeče a **práci doporučuji k obhajobě.**

V Brně dne 9.12.2011



doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.
Ústav radioelektroniky
FEKT, VUT v Brně
Purkyňova 118, 612 00 Brno

Doc. Ing. Václav Žalud, CSc
Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická ČVUT
Praha 6, Technická 2

OPONENTNÍ POSUDEK

disertační práce p. Ing. Ivo Veřtáta

Efektivní komunikační systém pikosatelitů

Ve své disertační práci se autor, p. Ing. Ivo Veřtát, zabývá otázkami zvýšení spektrální a energetické účinnosti radiokomunikačních systémů pikosatelitů, což by umožnilo přenosy větších objemů dat z pikosatelitu do pozemních přijímacích středisek. V klasické pozemní fixní i mobilní komunikaci se otázkám všestranného zvýšení efektivity radiokomunikačních systémů nepřetržitě věnuje velká pozornost a díky tomu bylo ve vylepšování uvedených základních přenosových parametrů dosaženo v minulých letech velkých pokroků. Naproti tomu v oblasti pikosatelitů se radiokomunikační technologie vyvíjejí jen relativně pomalu, takže snahu dizertanta změnit alespoň částečně tuto situaci lze jen uvítat.

Ve své práci se disertant nejprve zaměřuje na teoretický rozbor rádiové komunikace pikosatelitů a poté přistupuje k vlastnímu návrhu řešení efektivního komunikačního systému pikosatelitů. Takový metodický postup je možné považovat za adekvátní vytčeným cílům práce. V kompilačním teoretickém rozboru se nejprve důkladně zkoumá energetická bilance uvažovaného spoje, s uvažováním všech faktorů, které tento parametr ovlivňují. Ve vlastním návrhu řešení efektivního komunikačního systému pikosatelitů je věnována značná pozornost výpočtu nejistot v energetické bilanci rádiového spoje, závislých na aktuální poloze a orientaci pikosatelitu vůči pozemnímu středisku a na vlastnostech používaného rádiového kanálu. U pikosatelitů pohybujících se na nízké dráze (LEO) je tento kanál ovlivňován především vlastnostmi atmosféry, které se mohou velmi výrazně měnit v čase, takže uvedený rozbor je zde velice aktuální.

Při volbě optimálního modulačního způsobu se zvýšenou spektrální účinností disertant předem vylučuje formát MQAM, a to vzhledem k jeho vysokému poměru PAPR a tím i malé výkonové účinnosti koncového zesilovače vysílače, která je zvláště u pikosatelitů nepřijatelná. Jako optimální modulační způsob navrhuje skupinu hybridních modulací M-FSK/N-PSK, kdy do symbolu modulace M-FSK je vložen i stav modulace N-PSK. Tyto modulace do určité míry odstraňují slabiny malé energetické účinnosti vícecestavových modulací MPSK a malé spektrální účinnosti modulací MFSK. Problémy spojené s dopplerovským posuvem kmitočtů nosné vlny u M-FSK a s obtížnou

koherentní demodulací u M-PSK potom potlačují odvozené hybridní modulace DM-FSK/D-QPSK (tj. diferenčně kódovaná FSK a diferečně kódovaná QPSK), které disertant volí jakožto optimum pro danou aplikaci. I když tyto typy modulací v literatuře již byly popsány, jejich aplikace v radiokomunikačních systémech pikosatelitů jsou původním přínosem posuzované dizertační práce.

V moderních systémech pozemní rádiové komunikace se kromě metod adaptivních modulací využívají také metody adaptivního ochranného kanálového kódování FEC. Spojení obou přístupů (ACM tj. Adaptive Modulation and Coding) dovoluje přizpůsobení datových rychlostí k okamžitým parametrům kanálu v jemnějších stupních, což vede k dokonalejšímu přiblížení k dosažitelnému přenosovému maximu. Zahrnutí problematiky adaptivního kódování do předložené, již tak dosti rozsáhlé práce, by však vedlo k jejímu dalšímu rozšíření. Bylo by však záhodno ve výzkumu adaptivních technik ochrany rádiového přenosu z pikosatelitů v budoucnu pokračovat, a to nejen v oblasti adaptivních metod FEC, ale i adaptivních technik prostorové přijímací diverzity s různými metodami kombinování přijímaných signálů (selection combining, maximum ratio combining apod). Užitečné by bylo i prozkoumání techniky kódovaných modulací (Trellis coded modulation a j.) v dané aplikaci, které rovněž překonávají rozpor v současném dosažení vysoké spektrální i energetické účinnosti.

Celková koncepce písemné zprávy je vyvážená, jsou v ní zachyceny všechny důležité aspekty zkoumané problematiky. Vytčené cíle práce byly splněny. Navržené hybridní modulace zvyšují přenosové rychlosti až o 150 %, při zachování relativně vysoké energetické účinnosti. To potom umožňuje značně prodloužit přenos dat i během nízkých elevací pikosatelitu, při jeho přeletech okolo Země.

Vůči formální podobě předkládané práce nelze též vznést závažnější připomínky. Je nutné připomenout jen některé drobnější nedostatky:


- poněkud zbytečné a nezvyklé vpisování jednotek stupně Kelvin [K] a decibel [dB] k jednotlivým číselným hodnotám v rovnicích na str. 46 a 47 i jinde, nehledě nato, že tyto jednotky a také nejrůznější konstanty (Boltzmannova konstanta k apod) se píší stojatým písmem, kdežto kurzívou se píší proměnné veličiny (frekvence f apod);
- již v rov. (1.1) a dále ještě mnohokrát jsou číselné hodnoty na osách grafů psány velmi malým písmem, někdy až na hranici čitelnosti;
- písemná zpráva má 127 stran, ty jsou však číslovány jen do str. 80 a dále nikoliv, takže orientace je v této závěrečné části práce obtížná;
- v Seznamu zkratk a specifických symbolů na str. ? (!) se vícekrát vyskytuje vágní slovní spojení „označení pro druh digitální modulace“, ačkoliv podstatně více informací by přineslo konkrétní označení, tedy např. „FSK - klíčování frekvenčním posuvem“ apod.; užitečné by bylo i doplnění příslušnými anglickými termíny, tedy „Frequency Shift Keying“ apod.

Formální nedostatky tohoto typu však nikterak nesnižují nespornou věcnou hodnotu této práce, dizertant by se jich ale měl ve svých příštích odborných písemných projevech rozhodně vyvarovat.

Seznam použité literatury dokazuje, že autor dizertace má dostatečně široký, aktuální přehled o zpracovávané problematice. V seznamu vlastních publikací je obsaženo 12 položek. Z nich několik posledních dokumentuje, že dizertant má předpoklady publikovat i na uznávaných mezinárodních publikačních platformách, tyto aktivity by měl proto v budoucnu nadále rozvíjet.

V souhrnu lze konstatovat, že disertační práce p. Ing. Ivo Veřtáta má velmi dobrou teoretickou úroveň. Prokazuje, že dizertant ovládá vědecké metody a má schopnosti teoretické poznatky aplikovat při řešení konkrétních problémů z praxe. Doporučuji postoupit tuto práci k obhajobě a v případě jejího kladného výsledku udělit jmenovanému akademický titul doktor v oboru Elektronika v souladu se zákonem o vysokých školách č. 111/1998 Sb. § 47.

Praha, 28. listopadu 2011


Doc. Ing. Václav Žalud, CSc.
oponent disertační práce