



Univerzita Palackého
v Olomouci

Posudek diplomové práce

Komunikace v několikamódových optických vláknech

Autor práce: Bc. Nikola Horová

V Olomouci 15. 5. 2019

V předložené diplomové práci se autorka věnuje zkoumání možností přenosu signálu o vlnové délce 800 nm telekomunikačním optickým vláknem, které je běžně používáno pro vlnové délky 1550 nm. Cílem práce, respektive jeho vizí, je realizovat vláknovou telekomunikační linku, která by umožňovala přenos polarizačně kódovaných kvantových stavů na vlnové délce 800 nm s aktivní polarizační stabilizací signálu pomocí silného signálu na telekomunikačních vlnových délkách. Autorka nejprve charakterizuje telekomunikační optická vlákna z hlediska ztrát v závislosti na vlnové délce zdroje optického signálu a čase, disperzních vlastností a následné filtrace vybuzečných vyšších optických módů, takzvaného vymizení kanálu (channel fading) a změny polarizačního stavu signálu přeneseného optickým vláknem v čase. Dále bylo provedeno sestavení a změření vlastností využívaných optických vláken pomocí metody optické reflektometrie (OTDR). Byla navržena a sestavena telekomunikační linka, která byla také testována.

Po formální stránce je anglicky psaná práce dělená do osmi hlavních částí, seznamu použité literatury a příloh, ve kterých se nachází fotografie experimentu a seznam zkratk. V úvodní kapitole nás autorka seznamuje s cílem práce a metodami k jejímu dosažení. Druhá kapitola se věnuje útlumu optických signálů o různých vlnových délkách vedených v optických vláknech používaných pro telekomunikační účely. Tento útlum fakticky určuje maximální vzdálenost pro použití kvantových stavů. Ve třetí kapitole je popsána a demonstrována módová disperze signálu a dva způsoby jejího potlačení v optických vláknech. Ve čtvrté kapitole autorka zkoumá takzvané vymizení kanálu, které je obecně způsobeno fluktuacemi transmise.

Pátá kapitola se věnuje optické reflektometrii v časové doméně (OTDR). Je zde popsáno schéma a realizace OTDR přístroje a jeho využití pro měření délek a efektivního indexu lomu optických vláken. Šestá kapitola se věnuje polarizační analýze optického signálu získaného na vytvořené

telekomunikační lince, jejíž výsledkem je demonstrace změny polarizačního stavu v čase. V sedmé kapitole je ukázán možný návrh stabilizace vláknové telekomunikační linky. Poslední kapitola se věnuje závěru a diskusi získaných výsledků. Rád bych zmínil, že každá kapitola také obsahuje úvod do dané problematiky formou teoretického popisu či vysvětlení principu fungování daného jevu či metody.

Z práce je zřejmé, že autorka musela nastudovat a zvládnout experimentálně implementovat různé metody charakterizace optických vláken, což vyžadovalo poměrně dost času a úsilí. O to víc mě mrzí, že předložená práce na mě působí dojmem pracovní a ne konečné verze. Práce bohužel není příliš čtivá, což může být způsobeno jejím napsáním v anglickém jazyce. Například se v ní vyskytují pasáže, které v daném kontextu nedávají smysl, tvrzení, která nejsou plně pravdivá, či drobné překlepy. V práci je řada nejasností a nepřesností, jejichž neúplný výčet uvádím níže.

Předložený text splňuje požadavky kladené na diplomovou práci a **doporučuji ji k obhajobě**. S ohledem na autorkou dosažené výsledky, jejich zpracování a prezentaci, navrhuji hodnotit práci známkou **D**.

Mgr. Michal Mičuda, Ph.D.

Na autorku mám následující dotazy:

1) Kapitola 2.3, strana 5: Jak jste určila či změřila ztráty způsobené vláknovou spojkou (adaptérem)?

2) Kapitola 2.3, strana 6, tvrdíte: „As you can see in Figure 3, the expected value for $\log T$ at $L = 0$ km should be 0, but it is not due to the attenuation caused by the first adapter connecting the FUT with a certain LD.“

Vysvětlíte prosím, jak vláknová spojka, spojující testované vlákno se zdrojem signálu, ovlivňuje výkon dopadajícího signálu na detektor, když v experimentálním uspořádání žádné testovací vlákno není.

3) Obrázek 4, strana 7: Obrázek ukazuje ztráty v optickém vlákně v závislosti na vlnové délce. Zde je uvedeno, že jste vložila do tohoto obrázku naměřená data. Mohla byste prosím popsat, jakým způsobem jste naměřená data vkládala do převzatého obrázku?

4) Kapitola 3.3.1, strana 11 se tvrdí: „The pulser drove the laser diode QFBGLD-808-5 by QPhotonics with the current threshold $I_{th} = 17$ mA, the operating rate $I_{op} = 34$ mA and the central wavelength $\lambda = 808.3$ nm. The laser diode was below its threshold. The reason is that the diode had not been emitting continuously but the individual pulses still had to be detected.“

Proč se používala laserová dioda pod prahem? Jaké to má výhody a nevýhody?

5) Kapitola 4.2: Schéma měření vymizení kanálů (channel fading) na obrázku 10 (strana 14) indikuje, že jedním z cílů byla eliminace výkonových fluktuací laserové diody. Přitom ve zpracovaných výsledcích vyobrazených na obrázku 11 a) (strana 15) je vidět, že zvolená metoda kalibrace, výkonové fluktuace zdroje neeliminuje. Stejně zpracování naměřených dat pro vlákna o délkách 1 km, 4 km a 10 km budou vykazovat ovlivnění fluktuacemi zdroje. Prosím o vysvětlení.

Dále by mě zajímalo, zda fluktuace u měřené délky 4 km, která je realizovaná spojením 1 km a 3 km optickým vláknem, by mohly být ovlivněné zpětným odrazem na spojnici spojující obě vlákna?

6) V kapitole 5 se v první části provádí měření délky optických vláken pomocí metody OTDR ($l = 2030 \pm 10$ mm) a lze je srovnat s jejich reálnou délkou ($l = 2056$ mm). Jakým způsobem a s jakou přesností byla změřena fyzická délka testovaných optických vláken a jak si vysvětlujete rozdíl v délkách mezi fyzickým měřením a metodou OTDR?

7) V kapitole 6.5 na straně 31 se věnujete kalibračnímu měření telekomunikační vláknové linky. Jsou zde provedeny tři různá měření.

a) V kalibračním měření I), kde byl fakticky ve vzduchu měřen polarizační stav signálu za lineárním polarizátorem, bylo zjištěno, že se polarizační stav v čase mění pro obě měřené vlnové délky (810 nm a 1550 nm), viz obrázky 26 a) a b).

Jaké je vysvětlení pozorovaného jevu?

b) V kalibračním měření III), kde byly ve 4 m dlouhé vláknové lince měřeny změny polarizačního stavu v čase, je pro obě měřené vlnové délky (810 nm a 1550 nm) tvrzeno, že stupeň polarizace (DOP) se mění a dosahuje hodnot mezi 0.8 a 1.

Můžete prosím vysvětlit vznik depolarizace v optickém vlákně?

8) Kapitola 6.5.1, obrázek 27, strana 35: Jak to, že výsledné polarizační stavy na obrázcích 27 a) a c) (resp. 27 b) a d)) jsou různé, když byla použita stejná naměřená data?

Faktické připomínky/otázky k textu a obrázkům:

1) Tabulka 1 na straně 5: Jak byl určen výstupní výkon optických zdrojů $P(0)$, který je uveden v posledním sloupci?

2) Obrázek 3, strana 6: Čemu odpovídá statistická chyba?

3) Strana 6, poslední věta: Tvzení v této větě není vzhledem k obrázku 4 na následující straně úplně pravdivé.

4) Tabulka 3, strana 7: Zde máte uvedeny koeficienty útlumu dané výrobcem pro vlnové délky 1310 nm a 1550 nm – tyto jsou jiné, než jsou uvedeny v technických specifikacích pro dané vlákno. Explicitně se jedná o 0.334 pro 1310 nm a 0.194 pro 1550 nm. Prosím vysvětlíte.

5) Tabulka 4, strana 12: Zde jsou uvedeny naměřené (sloupec 2) a přepočtené (sloupec 3) hodnoty časového zpoždění na jeden kilometr mezi optickými módy LP_{01} a LP_{11} pro různé délky optického vlákna. Pro některé délky optických vláken nejsou přepočty mezi τ a τ_{1km} provedeny správně.

6) Kapitola 3.4, 5. věta od konce strany, taktéž v titulku obrázku 9 na straně 13: Opravdu pro filtrování vyšších módů bylo použito namotávání optického vlákna v délkách 1 m a 1.5 m na předmět o průměru 5 mm?

7) Kapitola 4.1, strana 14: Zde se zmiňuje, že byl použit pro měření vymizení kanálu (channel fading) ADC převodník. Jaké bylo rozlišení použitého převodníku?

8) V textu na straně 16, poslední odstavec, druhá věta: Zde je tvrzení o integračním času 34 hodin, které neodpovídá grafu na obrázku 12, strana 16.

9) Kapitola 5.1.1, strana 21: Hned v první větě jsou výsledky měření pro Δt_1 a Δt_2 . Jakým způsobem byla určena chyba u těchto veličin?

Dále v druhém odstavci, první větě, je zmíněn efektivní index lomu. Odkud je čerpána informace o jeho velikosti?

10) Kapitola 6.5, strana 31: Chybí zde informace o tom, kolik a jak dlouho trvá naměření potřebných dat, ze kterých je možné určit polarizační stav na výstupu telekomunikační vláknové linky. Není zde také napsáno, jakou metodou jsou data zpracovávána.

Technické připomínky k textu a obrázkům:

1) Jednotné definování zkratk v textu – v některých případech je zkratka definovaná za relevantním textem, jindy je nejprve napsaná zkratka a po ní následuje text.

2) Odkazy na obrázky v textu – jedná se o odkaz na straně 6, předposlední věta, kde se autorka odkazuje na obrázek 29. Autorka se zřejmě chtěla odkázat na obrázek 4 na následující straně a ne na obrázek v příloze A. Totéž na straně 7, v první větě.

3) Titulky obrázků – obrázek 26 na straně 33 zřejmě obsahuje chybnou informaci, neb se na něm nejedná o kalibraci HWP a QWP.

4) přílohy – zde by autorka mohla přidat technické specifikace důležitých použitých komponent, například zdrojů optického signálu, použitých optických vláken, detektorů či AD převodníku.