

JAK OVLIVŇUJÍ PARAMETRY MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ PŘESNOST MĚŘENÍ OPTICKÝCH TRAS

aneb zkušenosti s měřením tras a kalibrací přístrojů

Ing. Martin Hájek, MIKROKOM s.r.o.



1. Faktory ovlivňující měření

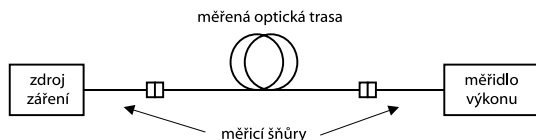
Každý, kdo provádí měření optických kabelových tras, musí počítat s tím, že na přesnost a reprodukovatelnost výsledných naměřených hodnot může působit celá řada vlivů. To platí, i pokud vezmeme jako příklad poměrně jednoduché měření přítlumu trasy přímou (nebo-li transmisní) metodou. I v tomto případě bude – či může být – výsledkem ovlivněn mnoha faktory, mezi které patří už volba samotné měřicí metody (u jednovidových tras 1a, 1b, 1c), dále kvalita použitých měřicích šňůr - zejména jejich konektorů, možné poškození nebo zašpinění čel těchto konektorů, ohyby na šňůrách, rozdíly mezi typy vláken měřené trasy a měřicích šňůr, reprodukovatelnost použitých konektorových spojení, čistota adaptorů na měřidle optického výkonu nebo podmínky buzení v případě mnohovidových tras. Pokud pomíneme vyslovené chyby, zůstává nám ještě celá skupina vlivů, které byly v předchozím výčtu vynechány a to vlastnosti použitých měřicích přístrojů. Naše optická laboratoř má s měřením optických vláken a tras dlouholeté zkušenosti a řadu let jsme též kalibrační laboratoř pro měřicí přístroje vláknové optiky. A právě o poznatky plynoucí z tohoto pohledu na celou problematiku jaksi „z obou stran“ bychom se chtěli podělit v tomto příspěvku.

Podíváme se tedy na základní druhy měření optické kabelové trasy ve světle vlivu měřicích přístrojů na získané výsledky. Zaměříme se zde pouze na zkoumání působení samotných parametrů přístrojů a pomíneme další faktory, jako byly výše zmíněné, nebo chyby při měření, nesprávné použití měřidel či jejich poškození. Nebudeme se tedy zabývat např. vlivy nečistot na vstupních či výstupních konektorech přístrojů, nečistot v adaptérech na detektory, na samotných plochách detektorů nebo dokonce jsou-li taková místa poškrábaná či prasklá (ferule vnitřních konektorů, ochranná sklička detektorů). Takové a i méně zjevné problémy může odhalit pravidelné použití přístrojů kvalifikovanou obsluhou a samozřejmě je ukáže jejich pravidelná kalibrace. My zde ale budeme zkoumat jen vliv parametrů měřidel na výsledky měření při správném použití přístrojů bez závad.

Pro zjednodušení se omezíme na základní metody měření útlumu optických kabelových tras a budeme se také zabývat pouze trasami s jednovidovými vlákny, kterých se problematika měření stejně týká nejvíce.

2. Měření útlumu optické trasy přímou metodou

Při přímé (transmisní) metodě používáme zdroj záření a měřidlo výkonu. Přístroje jsou při samotném měření zapojeny dle obr. 1. Podívejme se tedy na to, jaké parametry těchto přístrojů, jakým způsobem a do jaké míry ovlivňují naměřené hodnoty.

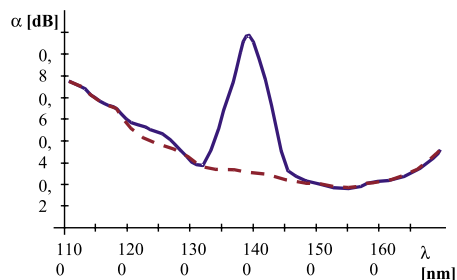


Obr.1 Zapojení měřicích přístrojů při měření optické trasy přímou metodou

2.1. Zdroj optického záření

Začneme u zdroje optického záření. Stejnými parametry zdrojů jsou vlnová délka záření, výstupní výkon a jeho stabilita. Vlnová délka zdrojů záření používaných pro měření není samozřejmě u všech přístrojů stejná a shodná s nominální vlnovou délkou daného spektrálního pásma. U přístrojů pro měření jednovidových tras bývá obvykle v tolerančním pásmu ± 20 nm kolem nominální vlnové délky pásma (typicky 1310 nm a 1550 nm) a obdobně to platí i pro zdroje přenosových systémů. Naše zkušenost s kalibrací měřicích zdrojů potvrzuje, že přístroje skutečně využívají celé toto toleranční pásmo a naměřili jsme i odchylky téměř 30 nm od nominální vlnové délky.

Jelikož měrný útlum vlákna je spektrálně závislý (spektrální závislost měrného útlumu jednovidového vlákna na obr. 2), představuje optická trasa pro záření o odlišných vlnových délkách různý útlum. A může dojít i k tomu, že při měření stejné optické trasy dvěma různými zdroji záření zjistíme rozdíl i několik dB.



Obr.2 Spektrální závislost měrného útlumu jednovidových vláken

[a] klasické konvenční jednovidové vlákno - plná čára, b) moderní konvenční jednovidové vlákno s potlačenou absorpční špičkou OH iontů tzv. LWP vlákno - čárkovaná čára]

Výrobci vláken udávají jako jeden z parametrů vlákna spektrální homogenitu měrného útlumu v používaných spektrálních pásmech, např. pro pásmo 1310 nm v oblasti 1285 – 1330 nm. Dnes u kvalitních moderních vláken (např. LWP vlákna s potlačenou absorpční špičkou OH iontů – čárkovaná křivka na obr. 2) výrobci garantují v tomto pásmu maximální rozdíl měrného útlumu 0,03 dB/km oproti útlumu na nominální vlnové délce 1310 nm. I tak, vezmeme-li k měření trasy dlouhé 50 km zdroj záření svítící přesně na 1310 nm a jiný blízký se 1330 nm, může rozdíl činit až 1,5 dB. Výrazně horší může být ovšem situace, když budeme měřit trasu s tradičním konvenčním vláknem, které obsahuje drtivá většina všech optických tras u nás i ve světě (s výraznou útlumovou OH špičkou – plná křivka na obr. 2). U těchto vláken bývá v pásmu 1310 nm homogenita útlumu až 0,05 dB/km (u starších vláken výrobci udávají dokonce až 0,1 dB) a rozdíl naměřený na uvedené 50-km trase s různými zdroji může činit až 2,5 dB. V oblasti 1550 nm budou tyto rozdíly o něco nižší, neboť spektrální homogenita útlumu vláken je v tomto pásmu lepší (v 1525 – 1575 nm max 0,02 dB/km), ovšem odchylky vlnových délek měřicích zdrojů záření bývají v této oblasti zase větší. Navíc je třeba dodat, jak už bylo výše naznačeno, že stejně jako se mohou rozcházet vlnové délky měřicích přístrojů, může být rozdíl mezi měřidlem a zdrojem záření přenosového systému.

Možnost rozdílů několik dB je samozřejmě velmi závažná a to jsme ještě neuvažovali případ, že by zdroj záření byl mimo běžné tolerance. Znalost konkrétní vlnové délky měřicího přístroje je tedy při vyhodnocení takovýchto měření velmi důležitá.

Jen jako poznámku bych chtěl zmínit, že vliv odchylky vlnové délky záření se může projevit i u dalších součástí a měřicích přístrojů, které mohou být spektrálně závislé. Například linearita měřicího optického atenuátoru se díky ní může „zhoršit“ v rámci svého rozsahu i o několik dB.

Dalšími významnými parametry zdroje záření jsou výstupní výkon a jeho stabilita. Samotná hodnota výstupního výkonu není většinou pro měření až tak zásadní, určuje ovšem spolu s parametry měřidla výkonu dynamický rozsah celé měřicí soupravy a změna výstupního výkonu je signálem, že „něco není v pořádku“ (např. poškození výstupního konektoru nebo vada samotného laseru či jeho řídicí elektroniky). Zdroj záření pro vláknovou optiku je charakterizován především výkonem, který z něj navážeme do příslušného typu vlákna (jednovidové, mnohovidové 50/125, nebo 62,5/125, anebo i např. plastové vlákno nejčastěji s průměrem jádra 1 mm).

Ještě důležitější ale je, aby hodnota výstupního výkonu byla stabilní, aby se během měření neměnila. Měří se a udává krátkodobá (např. 15 minut) a dlouhodobá stabilita (několik hodin). Ze zkušeností s měřením stability vyplývá, že i u kvalitnějších typů měřidel může jít o změny až několika desetin dB a to i v případě krátkodobé stability. Lze také říci, že zdroje na vlnové délce 1550 nm bývají častěji méně stabilní než na 1310 nm. Stabilita výkonu je z uvedených důvodů velmi důležitou vlastností zdroje záření a její měření patří mezi základní úkony při jeho kalibraci.

2.2. Měřidlo optického výkonu

Ještě závažnější než zdroj záření je pro výsledky měření často vliv měřidla výkonu. Po takovém přístroji budeme požadovat nejen, aby přesně měřil výkon vycházející z optického vlákna, ale aby jej byl schopen měřit podobně přesně i v rámci celého svého dynamického rozsahu.

Vezměme nejprve samotnou schopnost měřit přesně výkon na určité výkonové hladině (užívá se např. -10 dBm). Měření ukazují, že velká část moderních přístrojů měří takto výkon poměrně velmi přesně, i když i v tomto případě u mnohých měřidel mohou odchylky znamenat desetiny dB a u některých přístrojů až přes 0,5 dB.

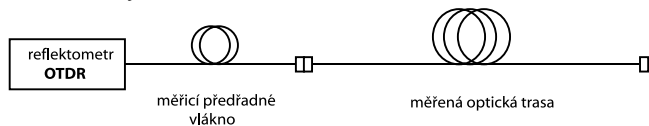
Jelikož je ovšem měření útlumu optických tras měřením relativním, bude nás z tohoto hlediska více zajímat, zda přístroj měří přesně v celém svém dynamickém rozsahu, resp. jestli má dostatečnou linearitu. Při měření linearity, která se provádí dle schopností daného přístroje do úrovně -40 až -60 dBm, se ukazuje, že odchylky dosahující na nižších výkonových úrovních několika desetin dB jsou již věci poměrně běžnou. Můžeme se setkat i s přístroji, které ačkoliv jsou na vyšších výkonových úrovních velice přesné (např. s odchylkou pod 0,1 dB), na nízkých úrovních měří chybně i o několik dB. Dokonce jsme zaznamenali i tak nelineární přístroj, že měřil na nízkých výkonových úrovních s odchylkou větší než 6 dB. Přitom na druhé straně nejsou výjimkou ani kvalitní přístroje měřící i na -60 dBm s odchylkou vlivem nelinearity pod 0,1 dB. Linearita patří tudíž z hlediska měření útlumu k vůbec nejdůležitějším parametrům měřící techniky.

2.3. Měřicí souprava pro přímou metodu

Pokud se ve světle výše uvedených zkušeností s parametry měřících zdrojů záření a měřidel výkonu (a stejně to platí i pro tzv. měřidla útlumu, která jsou kombinací obou) podíváme na situaci při měření, lze při nepříznivé situaci měřit „nepřesně“ i o několik dB. Výše probírané odchylky se mohou nešťastně sečíst a vlivem méně stabilního zdroje záření s vlnovou délkou vzdálenou nominální vlnové délce daného pásma a s nelineárním měřidlem výkonu se dobereme zcela zkresených výsledků, lišících se o několik dB oproti hodnotám naměřeným jinou soupravou.

3. Měření útlumu optické trasy metodou OTDR

Metoda zpětného rozptylu, tj. OTDR je pro měření optických tras větší nou ještě důležitější než metoda přímá a pro údržbu optické sítě je měřidlo OTDR resp. optický reflektometr zcela nepostradatelný. Zapojení při měření touto metodou je uvedeno na obr. 3.



Obr. 3 Zapojení při měření optické trasy metodou OTDR

3.1. Optický reflektometr OTDR

Optický reflektometr je výrazně složitější přístroj než měřidlo výkonu a zdroj záření, proto i vyhodnocení naměřených výsledků je výrazně komplikovanější. Z tohoto důvodu většina nepřesně nebo přímo špatně změřených hodnot pramení z neoptimálního či vysloveně chybného nastavení měřícího přístroje. My jsme se však již v úvodu tohoto příspěvku zaměřili na oblast správného použití přístrojů, a proto se ani zde nebudeme zabývat nastavením parametrů měření na měřidle, jako jsou index lomu, délka měřícího impulsu či doba průměrování. Vliv takového nastavení měřidla na výsledky je samozřejmě veliký a při kontrole a kalibraci přístrojů je mu věnována značná pozornost pro docílení optimálního stavu. Vyjdeme tedy z této skutečnosti a podívejme se na dva základní parametry reflektometru z pohledu měření optických tras, kterými jsou schopnost měřit přesně délku vlákna trasy – tzv. optickou délku a dále schopnost přesně měřit útlum.

Pokud se týká měření optické délky, většina používaných přístrojů je natolik přesná, že daleko významněji se u každého měření projevují spíše výše zmíněné parametry nastavení přístroje (zejména index lomu), které jsme z našeho rozboru předem vyloučili. Přesto i působení vlastního přístroje není leckdy zanedbatelné a může se projevit při požadavcích přesnějšího stanovení délky vlákna trasy (přístroje, které se odchylují i o více než 3 m na 20 km trase, nejsou příliš výjimečné). U jednoho reflektometru pro mnohovydová vlákna jsme se setkali dokonce s odchylkou téměř 9 m na trase dlouhé necelých 5 km. O přesném stanovení např. místa poruchy s takovýmto měřidlem bez jeho korekce nelze v podstatě hovořit.

Při měření útlumu vstupují do hry dva dominantní vlivy – vlnová délka přístroje a jeho linearita. Musíme si totiž uvědomit, že reflektometr je přístroj, který je zároveň zdrojem záření i měřidlem útlumu, resp. výkonu. Proto se tu bude vliv odchylky vlnové délky od nominální uplatňovat podobným způsobem, jak to bylo rozebráno v kapitole o zdroji záření. Když se naměřené hodnoty měrného útlumu vlákna (nebo útlumu celé trasy) pro různé přístroje rozcházejí, mohou být důvodem právě rozdílné vlnové délky. Jak bylo zmíněno v kapitole o zdroji, v obvyklé výrobní toleranci vlnové délky (± 20 nm) se mohou v pásmu 1310 nm hodnoty měrného útlumu rozcházet na klasických jednovydových vláknech např. až o 0,05 dB/km (což se v celkovém útlumu trasy může projevit i několika dB). I pro měřidlo OTDR je tedy důležité znát jeho vlnovou délku.

Druhý faktor, linearita, se při měření zase uplatňuje podobně jako v případě měřidla výkonu. U reflektometru se linearita udává v jednotkách dB/dB. To znamená, že pokud máme např. přístroj s linearitou 0,05 dB/dB, musíme počítat s tím, že při měření útlumu 1 dB bude odchylka vlivem jeho nelinearity 0,05 dB, ale při měření útlumu 10 dB (např. celkový útlum trasy) už to bude 0,5 dB atd. Většina dnešních kvalitních přístrojů má linearitu lepší než $\pm 0,05$ dB/dB. Setkali jsme se ovšem i s řadou přístrojů horších a dokonce i s takovými, u kterých byla překročena hodnota 0,1 dB/dB, což znamená pro měření útlumu 10 dB odchylku přes 1 dB. Navíc se nelinearity přístroje projevuje při měření ještě jedním poněkud zrádným způsobem. Útlum svaru či jakékoliv bodové poruchy na reflektogramu se obvykle vyhodnocuje tzv. čtyř, nebo pěti kurzorovou metodou, kdy se využívá aproximační metoda nejmenších čtverců LSA. Při takovémto vyhodnocení měření však útlum bodové poruchy vyjde tím menší, čím je přístroj více kladně nelineární. V měřících protokolech z měření OTDR pak mohou z tohoto důvodu vycházet záporné hodnoty útlumu svarů i po průměrování reflektogramů z obou stran.

Pokud se provádí kalibrace přístroje OTDR, je důležité z hlediska jeho schopnosti měřit přesně útlum ověřit oba uvedené parametry – jeho linearitu i vlnovou délku.

4. Závěry

Z výše uvedeného textu jednoznačně vyplývá, že i s přístroji nevykazujícími jakékoliv závady, se kterými je správně zacházeno a měřeno podle doporučených metodik, můžeme naměřit i velmi zavádějící výsledky, které mohou být výrazně rozdílné od měření s jiným měřícím přístrojem nebo soupravou. K tomu je třeba ještě říci, že zjištěné odchylky uváděné v článku – jakkoliv výrazné – vycházejí z našich zkušeností s přístroji, které jejich majitelé dávají pravidelně kalibrovat, což už samo svědčí o tom, že měřící technika má u nich patřičnou péči.

Na úplný závěr bychom zde však chtěli zdůraznit jednu zásadní věc. Problémy rozebírané v příspěvku nespočívají v tom, že by přístroje měřící s odchylkami byly obecně špatné a není s nimi možné přesně měřit. Naopak, přístroj může měřit (či zdroj svítit) velmi stabilně a reprodukovatě, jen s danou odchylkou. Klíčové je ovšem tuto odchylku znát. Jistěže u přístrojů pomocných a orientačních se nad mnohými odchylkami dá leckdy mávnout rukou, ale u přístrojů, u kterých nám na naměřených výsledcích záleží, se z důvodu znalosti těchto informací provádí jejich pravidelná kontrola – kalibrace. Pravidelná proto, že parametry měřidel se časem mohou měnit, ať už přirozeným stárnutím, nebo dalšími vlivy. Známe-li zmíněné vlastnosti našeho měřícího přístroje a případně jeho odchylky, jsme pak schopni naměřené hodnoty případně korigovat nebo alespoň vidět v tomto světle a mnohé zdánlivé chyby a rozdíly v naměřených hodnotách se tím vysvětlí.

Ing. Martin Hájek
MIKROKOM s.r.o.
Pod Vinicí 622
143 00 Praha 4

martin.hajek@mikrokom.cz
tel.: 241 760 100
fax.: 241 764 822
www.mikrokom.cz