

Laboratorní úloha: Optický zesilovač EDFA v přenosovém systému

1 Zadání

Sestavte dle zadání optický přenosový systém. Vložným útlumem simulujte pokles světelného výkonu v přenosové trase. Měřte vstupní a výstupní výkon EDFA zesilovače. Porovnejte vstupní a výstupní hodnoty výkonu na zesilovači a určete jejich závislost. Výsledky zpracujte do přehledné zprávy.

2 Teoretický úvod

2.1 Optické zesilovače

Optické zesilovače jsou zařízení, které zesilují přímo optický signál bez nutnosti převádět ho na signál elektrický. Princip, na kterém fungují, je založen na existenci stimulované emise záření v optickém vlákně. Přejed soustavy elektronů do stavu s nižší energií vyvolaný stimulujícím fotonem je doprovázen vyzářením fotonu, který má stejnou energii, stejný směr šíření a stejnou fázi i polarizační vlnění jako foton stimulující. Stimulující foton se uvažovanou soustavou nepohlí, pouze soustavou projde a přidá se k němu foton stimulovaný. Tento jev se nazývá stimulovaná emise záření.

K zesilování je nutné dodat jistou energii, kterou poskytuje čerpací zdroj. Rozlišujeme dva základní druhy dodané energie:

- § optická energie – dodaná ve formě záření s koherentní vlnovou délkou (laserové čerpací zdroje). Využívá se ve vláknových zesilovačích s dotací.
- § elektrická energie – dodaná ve formě proudu. Využívá se v polovodičových zesilovačích.

Ani vláknový ani polovodičový zesilovač přichází signál jiným způsobem neupravují, pouze ho zesílí. Ale oba přináší do přenosové trasy přídavný šum – ASE (Amplified Spontaneous Emission). Tento šum je v podstatě světlo vytvořené samovolnou emisí, které je opticky zesíleno procesem stimulované emise záření ve vlákne. ASE negativně ovlivňuje maximální zisk, kterého lze dosáhnout. Velikost zisku zesilovače je funkcí vlnové délky vstupního světla a vstupní signálové úrovně (bodu saturace). Všechny optické zesilovače jsou omezeny svým maximálním výkonem na výstupu – saturačním výkonem.

2.2 Rozdělení zesilovačů dle umístění na trase

Zesilovače můžeme do optického přenosového systému umístit několika způsoby podle jejich zesilovacích vlastností. Podle umístění na trase dělíme zesilovače na:

§ Výkonové zesilovače (Booster)

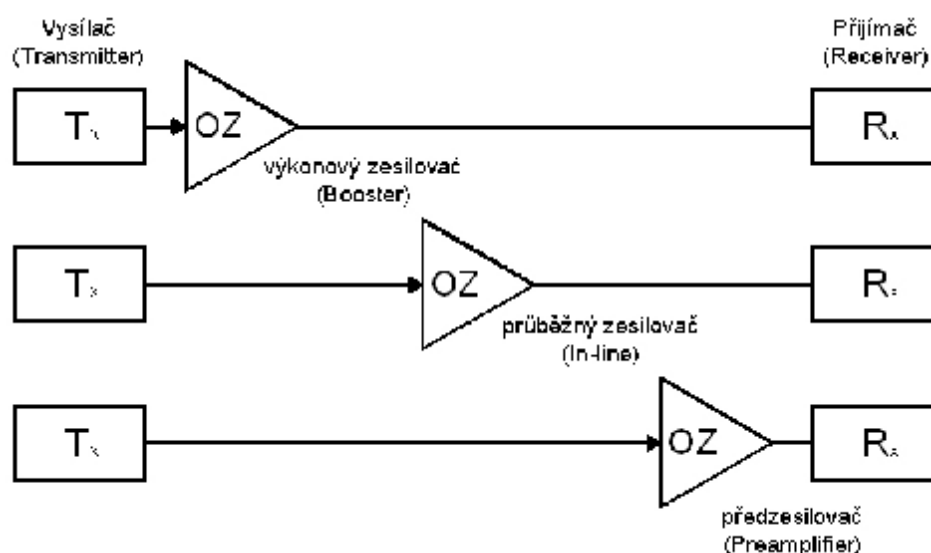
Umístujeme je na začátek optické trasy hned za vysílač. Zesilují signál na maximální úroveň, kterou lze do vlákna navázat, zároveň musí být uzpůsobeny k tomu, aby byly schopné přijmout velký vstupní signál z vysílače. Dosahují velkého výstupního saturačního výkonu a malého šumu.

§ Průběžné zesilovače (In-line)

Průběžné zesilovače umístíme do optické trasy. Jejich úkolem je zesilovat utlumený vstupní signál a zesilovat ho na co nejvyšší možný výstupní signál. Dochází ke kompenzaci útlumu způsobeného předchozím úsekem trasy. Zesilovače dosahují velkého zisku popřípadě velkého výstupního saturačního výkonu.

§ Předzesilovače (Preamplifier)

Zesilují velice nízké úrovně signálu na konci přenosové trasy tak, aby je byl koncový detektor schopný zpracovat. Je důležité aby předzesilovače měli co nejmenší úroveň vnitřního šumu.



Obr. 2.1: Rozmístění zesilovačů v přenosovém systému.

2.3 Optické vláknové zesilovače s dotací

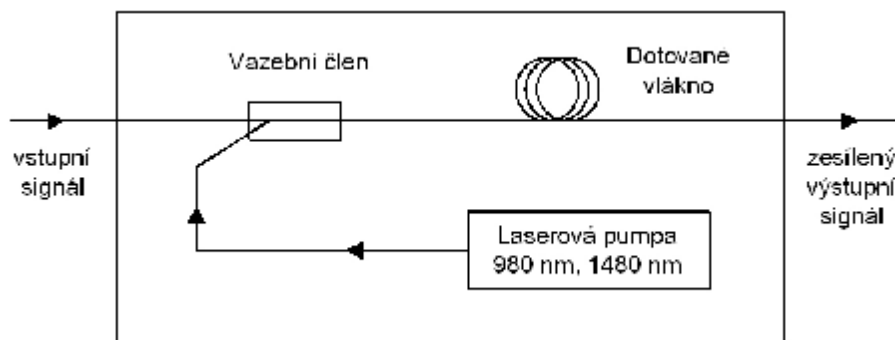
Jedná se o zesilovače, které využívají dotovaného optického vlákna jako média, které umožňuje zesílení optického signálu. Toto vlákno je rozměrově podobné normálnímu single módovému vláknu, a proto, aby bylo schopné zesilovat signál, musí být při výrobě dotováno některými vzácnými prvky. Spektrální závislosti zisku zesilovače jsou výrazně ovlivňovány volbou dopantu.

Optická vlákna mohou být dopována prvky:

- § Erbium (Er)
- § Neodymium (Nd)
- § Praseodymium (Pr)
- § Thulium (Tm)
- § Ytterbium (Yb)

Od názvu chemického prvku, který je přidán do vlákna, se odvozuje i první písmeno z označení zesilovače. Např. EDFA, PDFA, YDFA, kde DFA znamená Doped Fibre Amplifier (dotovaný vláknový zesilovač). Nejběžnějším prvkem, který se pro dopování vláken používá, je Erbium. Při výrobě vláken je třeba dbát na správnou volbu množství dopovaného prvku, protože při velké koncentraci dotace dochází ke zhoršení účinnosti zesilovače nebo ke snížení zisku, což je způsobeno ovlivňováním atomů dopantu mezi sebou.

Princip funkce optických zesilovačů s dotací je vesměs stejný. Zesílení je dosaženo pomocí stimulované emise fotonů z iontů, které byly přidány do optického vlákna. Energie čerpacího zdroje přesune atomy dopantu do vyšší energetické hladiny. Při přechodu z vyšší hladiny do nižší dochází k zářivému přechodu a dochází k uvolnění fotonu s jistou energií. Přechod může být buď stimulovaný, nebo spontánní. Spontánní emise a absorpce elektronů snižují účinnost světelného zesilovače.



Obr. 2.2: Optický zesilovač s dotovaným vláknem.

2.4 EDFA optický zesilovač CLA–PB01F

Použitý erbiem dotovaný optický zesilovač CLA-PB01F od českého výrobce firmy Optonon patří do rodiny výkonných zesilovačů s nízkým šumem, umožňuje nastavení zesílení i jiných parametrů dle potřeby přenosového systému. Je určený pro zesílení velkého počtu kanálů s plochou charakteristikou zisku.

Dostupné řídicí módy:

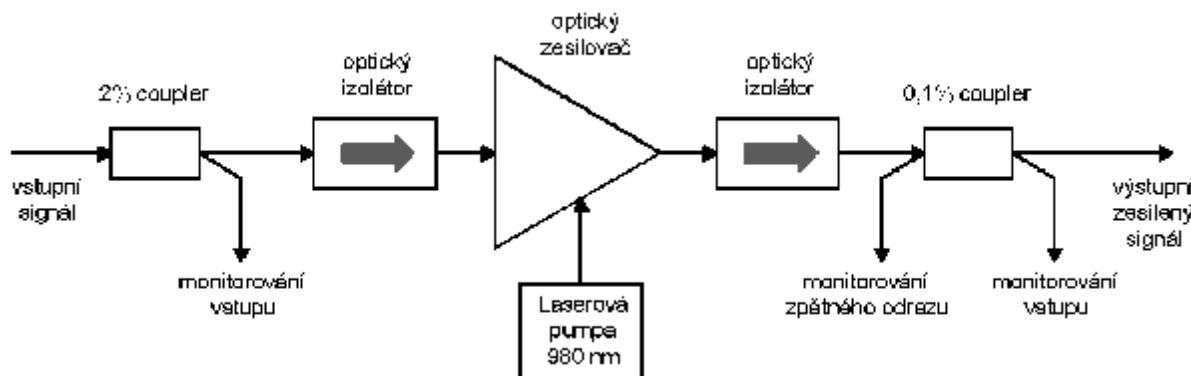
AGC (automatic gain control) – automatické řízení zisku.

APC (automatic power control) – automatické řízení výkonu.

ACC (automatic current control) – automatické řízení proudu.

Vlastnosti CLA-PB01F

Zesilovač vykazuje velmi nízký útlum a je schopný pokrýt široké spektrum vlnových délek. Zařízení obsahuje dva EDFA zesilovací moduly – výkonový zesilovač o výkonu 20 dBm a předzesilovač.



Obr. 2.3: Schéma EDFA zesilovače.

Součástí zesilovače je také mikropočítač s operačním systémem LINUX, který zesilovač řídí. Přes RS-232, Ethernet a USB rozhraní je umožněna vzdálená správa a komunikace se zesilovačem. Na přání je možno doplnit bezdrátové rozhraní GSM, Wi-Fi nebo Bluetooth. Pro vzdálený přístup a správu slouží příkazový řádek přes SSH. Varovné zprávy v případě problémů mohou být uživateli zasílány prostřednictvím e-mailů a všechny důležité provozní stavy jsou indikovány LED-diodami na čelním panelu zesilovače.

Při zacházení se zesilovačem je třeba se řídit bezpečnostními pravidly pro práci s lasery třídy 3B. Laser třídy 3B může poškodit zrak při přímém pohledu do světelného paprsku, ale odraz od papíru, nebo podobného matného materiálu je neškodný. V prostředí v němž se může vyskytnout přímé vyzařování laserových paprsků třídy 3B je nutné používat prostředky k ochraně zraku. Lasery třídy 3B musí být vybaveny zámkem s bezpečnostním klíčem.

Napájení je řešeno dvěma jednotkami, kdy jedna je hlavní a druhá slouží pro připojení UPS a je záložní. Napájecí napětí 100-230 V AC nebo 48 V DC. Spotřeba 50-150 W.

Rozměry: 430x300x88 mm (š x h x v)

Ovládání zesilovače

Z ovládacích prvků je na čelním panelu zesilovače pouze vypínač mikropočítače. Pro nastavení, ovládání a komunikaci se zařízením musí být k mikropočítači, připojen monitor a klávesnice. Komunikace probíhá pomocí speciálních příkazů na příkazové řádce. Další možností je spojení přes rozhraní sériového portu RS-232 a nebo vzdálená správa přes internet.

Signalizace pomocí LED diod na čelním panelu zesilovače slouží pro indikaci případných poplachových stavů na modulech zesilovače.

- § Červená LED – kritická signalizace– teplota čerpacích diod nebo modulu překračuje přípustné meze, čerpací proud překročil limit.
- § Žlutá LED – signalizace ztráty vstupního/výstupního výkonu – vstupní a/nebo výstupní výkon je mimo příslušné meze.
- § Modrá LED – signalizace čerpání – proudy čerpacích diod jsou vyšší než úroveň proudu a na výstupu zařízení může být zesílený optický signál.

Pro spuštění zesilovače musí být napájecí kabel zapojen do jednoho napájecího konektoru na zadní straně zesilovače. Druhý napájecí konektor slouží pro připojení záložního napájení ze zařízení UPS. Pro spuštění je třeba zapnout alespoň jeden napájecí zdroj, po jeho spuštění se roztočí ventilátory chlazení. Zabudovaný počítač se spustí zeleným vypínačem na čelním panelu. Jeho činnost po spuštění systému indikuje zelená LED dioda. Jakmile je počítač spuštěn a systém běží, tak jsou inicializovány moduly zesilovače a zaváděcí proces je ukončen. Nyní je zesilovač připraven k použití a pomocí řídicích příkazů je možné měnit jeho nastavení nebo zesilovací režimy.

2.5 Univerzální jednotka pro testovací moduly UMS-10

Modulární systém UMS-10 představuje univerzální šasi pro testovací moduly a slouží pro měření absolutního a relativního optického výkonu v optických sítích. Jeho využití je široké, jak při výrobě optických vláken a komponentů, tak při budování optických sítí a jejich údržbě. Hodí se také do laboratoří, výzkumných a vývojových ústavů.

Vlastnosti UMS-10

Jednotka UMS-10 může být vybavena mnoha typy zásuvných modulů. Řídící jednotka obsahuje modul pro měření optického výkonu s vysokokapacitní pamětí, která umožňuje uložit naměřená data i s informacemi o čísle měřeného vlákna, vlnové délce a absolutní nebo relativní hodnotě měření. Data uložená v paměti přístroje mohou být jednoduše přes USB rozhraní exportována do počítače a mohou být zpracována tabulkovým kalkulátorem, nebo jinou aplikací.

Při měření máme k dispozici univerzální jednotku se dvěma moduly světelného zdroje o vlnové délce 1310 nm a 1550 nm. Využijeme světelný zdroj o vlnové délce 1550 nm a zabudovaného měřicího přístroje pro odečítání výstupního výkonu ze zesilovače.

Při práci s tímto zařízením je nutno řídit se bezpečnostními pravidly pro práci s lasery třídy 1. Laser třídy 1 je bezpečný při normálním použití, to znamená že nemůže být překročena hranice dovoleného maximálního záření.

Ovládání

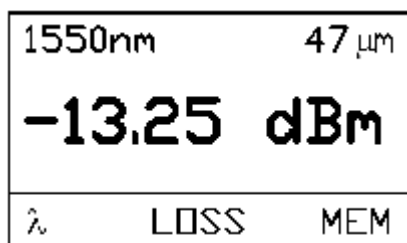
Po připojení napájecího kabelu a zapnutí hlavního vypínače řídicí jednotky na čelní straně přístroje se na displeji zobrazí typ, verze firmwaru a sériové číslo přístroje.

Modul pro měření výkonu se spustí v režimu měření absolutního výkonu a s nastavenou vlnovou délkou dle posledního měření.

Jednotlivé moduly světelných zdrojů můžeme zapnout až po řídicí jednotce. Zapínány a vypínány mohou být libovolně dle potřeby. Vypnutím řídicí jednotky dojde také k vypnutí všech modulů zdrojů světla i jiných doplňkových modulů.

Režim měření absolutního výkonu

V režimu pro měření absolutního výkonu se na displeji zobrazuje absolutní hodnota optického signálu v dBm.



Obr. 2.4: Režim měření absolutního výkonu

Funkční tlačítka

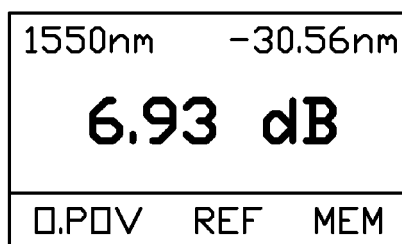
λ - zvolí jednu z dostupných vlnových délek

LOSS – přepne do režimu měření relativního výkonu

MEM – spustí menu paměti

Režim měření relativního výkonu

V režimu pro měření relativního výkonu se na displeji zobrazuje relativní hodnota optického výkonu v dB, vztažená k referenční hodnotě výkonu optického signálu, zobrazené v pravém horním rohu displeje.



Obr. 2.5: Režim měření relativního výkonu

Funkční tlačítka

O.POW - přepne zpět do režimu měření absolutního výkonu

REF – nastaví a uloží novou referenční hodnotu pro vybranou vlnovou délku

MEM – spustí menu paměti

2.6 Optický útlumový článek OFA-420

Optický útlumový článek představuje zařízení, které umožňuje digitálně nastavit úbytek výkonu optického signálu na optickém vlákně. Jedná se o kompaktní přenosné zařízení, vhodné pro certifikaci opto-vláknových tras, jejich běžnou údržbu a vhodné je také pro laboratorní účely.

Vlastnosti

nízký vložný útlum

široký rozsah útlumu

tři útlumové kroky: 10 dB, 1,0 dB, 0,1 dB

Ovládání

Po zapnutí útlumového článku tlačítkem ON/OFF, lze vybrat potřebnou vlnovou délku pomocí tlačítka se symbolem λ . Hodnota útlumu v decibelech se nastavuje pomocí šipek. Pro připojení optických vláken s různými typy konektorů slouží přiložené konektorové redukce.

2.7 Splitter SFT-TAP-AT-10

Optický rozdělovač kanálů SFT-TAP-AT-10 (Test Access Point splitter) slouží pro sledování činnosti optických sítí. Procházející signál je rozdělen v určitém poměru do výstupního konektoru a do konektoru sledovacího. Dle požadavků může splitter monitorovat optické vlákno jednosměrně, či obousměrně v rozsahu vlnových délek celého CWDM spektra. Dělicí poměr sledovacích portů může být nastaven od 1 do 10%.

Použitý splitter má nastaven dělicí poměr mezi sledovacím výstupním portem na 1:10. Při tomto poměru je vložný útlum na sledovacím konektoru $IL_S = -10,4 \text{ dB}$.

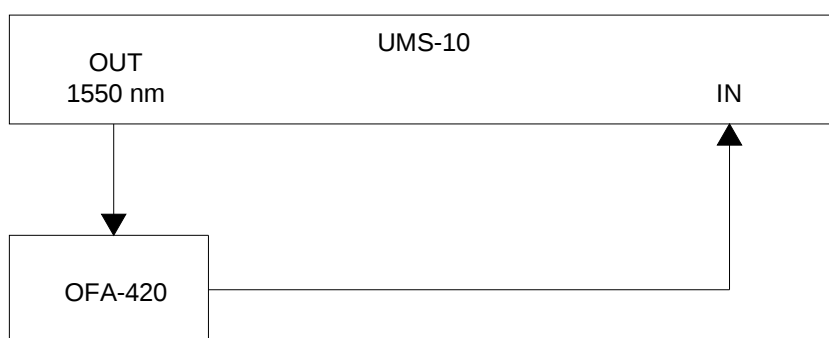
Hodnoty výstupního výkonu P_{Svyst} (dBm), zaznamenané měřícím přístrojem, jsou tedy pouze částí celkového signálu zesíleného zesilovačem a jsou ovlivněny vložným útlumem

splitteru IL_S (dB). Výstupní výkon zesilovače $P_{\text{výst}}$ (dBm) musí být z naměřených hodnot dopočítán dle vzorečku

$$P_{\text{výst}} = (P_{\text{svýst}} - IL_S) \cdot 10. \quad (7.1)$$

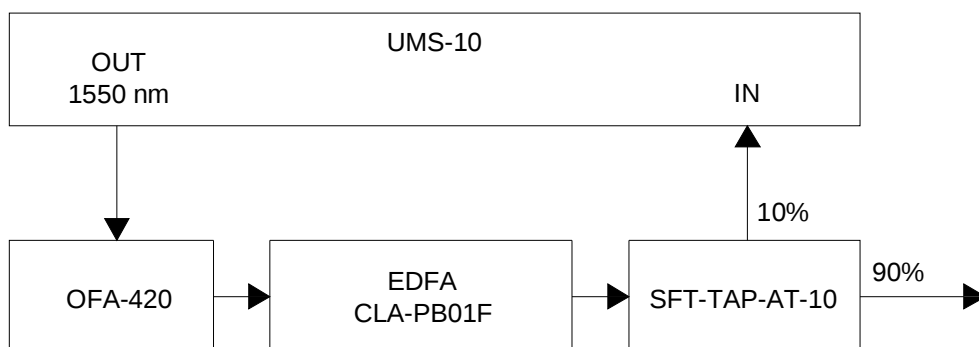
3 Pracovní postup

- 1) Seznamte se se základními ovládacími prvky optického zesilovače, měřícího přístroje a útlumového článku (viz příložené manuály).
- 2) Zapojte přenosový systém dle obrázku 3.1.



Obr. 3.1: Schéma zapojení univerzální jednotky a útlumového článku

- 3) Zapněte řídicí jednotku měřícího přístroje UMT-10, zapněte zdroj světelného signálu o vlnové délce 1550 nm, zapněte útlumový článek OFA-420 a nastavte na něm co nejnižší útlum.
POZOR: Nikdy se v případě zapnutého zdroje světelného záření nedívejte do paprsku laseru.
- 4) Zvyšujte útlum s pravidelným krokem až na úroveň -25 dB, zaznamenávejte útlum a výkon signálu (úroveň signálu přiváděná vstup zesilovače).
- 5) Přenosový systém zapojte dle obrázku 3.2 a na útlumovém článku nastavte nejnižší útlum.



Obr. 3.2: Schéma zapojení přenosové soustavy včetně optického zesilovače

- 6) Zapněte hlavní vypínač na optickém zesilovači CzechLight Amplifier a zapněte zabudovaný mikropočítač.
- 7) Po nastartování systému (indikace zelenou LED), zvyšujte vložný útlum na stejné hodnoty jako při prvním měření a zaznamenávejte hodnoty zesíleného signálu (10 % výstupního signálu utlumeného vložným útlumem splitteru).
- 8) Vypněte přístroje a uveďte pracoviště do původního stavu.

4 Zpracování

Zpracujte protokol z měření. Naměřené a vypočtené hodnoty vstupního a výstupního výkonu zanechte do přehledné tabulky a jejich závislost vyneste do grafu. Porovnejte naměřené hodnoty s údaji uváděnými výrobcem a krátce se rozepište o případných odchylkách.

5 Závěr

Zhodnot'te průběh laboratorního cvičení