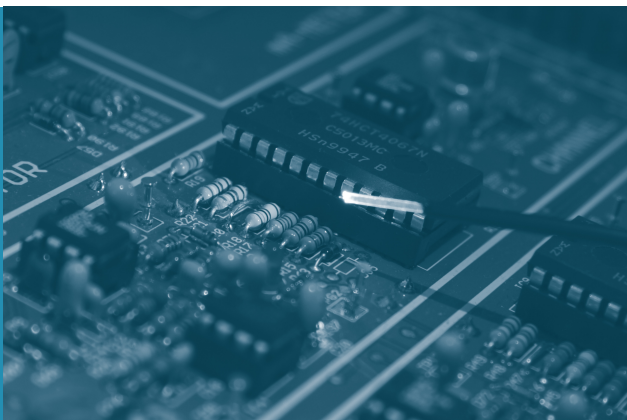


PODKLADY PRO PRAKTICKÝ SEMINÁŘ PRO UČITELE VOŠ



**Obnova signálu aktivní
optické sítě na fyzické vrstvě
pomocí erbiem dopovaného
vláknového zesilovače EDFA
a polovodičového zesilovače
SOA**

Ing. Michal Lucki, Ph.D.

AUTOR

Ing. Michal Lucki, Ph.D.

NÁZEV DÍLA

Obnova signálu aktivní optické sítě na fyzické vrstvě pomocí erbiem dopovaného vláknového zesilovače EDFA a polovodičového zesilovače SOA

ZPRACOVALO

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

KONTAKTNÍ ADRESA

Technická 2, Praha 6

POČET STRAN

55

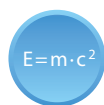
**INOVACE, PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI A ATRAKTIVITA
VE VZDĚLÁVACÍCH PROGRAMECH PRO VOŠ**

<http://ipzavos.sssep9.cz>



Evropský sociální fond
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti

VYSVĚTLIVKY



Definice



Zajímavost



Poznámka



Příklad



Shrnutí



Výhody



Nevýhody

ANOTACE

Cílem modulu je prezentovat přehled optických zesilovačů, jejich parametry, režimy práce. Mezi nejrozšířenější zesilovače v telekomunikační technice lze zařadit vláknové dopované zesilovače s příměsí vzácných zemin, např. EDFA zesilovač nebo polovodičové SOA zesilovače. Tyto typy zesilovačů budou postupně popsány, porovnány a zhodnoceny s ohledem na potenciální aplikace u optických přenosových systémů.

CÍLE

Primárním cílem tohoto výukového modulu je naučit studenta/pedagoga předpoklady pro volbu optického zesilovače a fyzikální podstatu této problematiky. Po prostudování modulu čtenář bude znát metody obnovy optického signálu zesilovačem, bude schopen určit a zdůvodnit umístění zesilovače na trase, nastavit jeho režim práce určit zisk a pracovní spektrum vlnových délek a zohlednit vliv dalších parametrů na chod optického systému.

LITERATURA

- [1] L. Boháč, M. Lucki, Optické komunikační systémy, skripta ČVUT, 2010, ISBN 978-80-01-04484-1.
- [2] G. Agrawal, Fiber Optic Communication Systems, Wiley series in microwave and optical engineering, 2010, ISBN 978-0-470-50511-3.
- [3] I. Kaminov, T. Li, A. Willner, Optical Fiber Telecommunications VB, Systems and Networks, Elsevier, 2008, ISBN 978-0-12-374172-1.
- [4] M.Škop, M. Petrásek, J. Petrásek a P. Boček, Synchronní digitální hierarchie SDH a WDM, skripta ČVUT, Praha: ČVUT v Praze, 2001. ISBN 80-01-02284-6.
- [5] M. Yasin, S. Harun, H. Arof, Recent Progress in Optical Fiber Research, Intech, Rijeka, 2012, ISBN 978-953-307-823-6

Obsah

1	Optické zesilovače v telekomunikacích	7
1.1	Útlumové parametry pasivních optických sítí bez zesilovačů	7
1.2	Vznik optických zesilovačů.....	8
1.3	Požadavky na optické zesilovače	9
1.4	Princip 3R obnovy optického signálů optickým zesilovačem.....	10
1.5	Umístění zesilovače na trase	11
1.6	Třídění optických zesilovačů.....	12
2	Vláknové zesilovače s dotací.....	13
2.1	Typy vláknových zesilovačů s dotací.....	13
2.2	Výhody a nevýhody vláknových zesilovačů	14
3	EDFA zesilovač – nejrozšířenější optický zesilovač pro WDM systémy.....	15
3.1	Použití EDFA zesilovače v praxi	15
3.2	Zapojení EDFA zesilovače pro obnovu signálu.....	16
3.3	Princip fungování EDFA zesilovače	17
3.4	Čerpací zdroje pro EDFA.....	18
3.5	Zisk optických zesilovačů	19
3.6	Zisk EDFA zesilovače a pracovní spektrum vlnových délek.....	20
3.7	Saturace zisku EDFA zesilovače.....	21
3.8	Příkladové katalogové parametry EDFA zesilovače.....	22
3.9	Výhody a nevýhody EDFA zesilovače	24
3.10	Laboratorní úloha zaměřená na měření na EDFA zesilovači.....	25
3.11	Schéma měření	26
3.12	Zapojení obvodu – vytvoření multiplexu dvou laserů.....	28
3.13	Měřené charakteristiky	29
4	Polovodičové zesilovače (SOA).....	31
4.1	Princip generování záření u polovodičů	31
4.2	Stimulovaná emise záření u SOA zesilovačů.....	32
4.3	Rekombinace u různých typů přechodů u polovodiče	33
4.4	Struktura polovodičového zesilovače.....	34
4.5	Antireflexní vrstvy SOA zesilovače.....	35
4.6	Pokročilejší polovodičové struktury zesilovačů.....	36
4.7	Zisk a pracovní spektrum vlnových délek polovodičového zesilovače	37
4.8	Saturace zisku polovodičového zesilovače a další parametry	38
4.9	Příkladové katalogové parametry polovodičového zesilovače.....	39
4.10	Zhodnocení polovodičového zesilovače a příkladové aplikace	41

4.11	Laboratorní úloha zaměřená na měření na polovodičovém zesilovači	42
4.12	Popis měřeného zesilovače.....	43
4.13	Postup měření	45
4.14	Závěr – možnosti řešení problému útlumu optických tras	48
5	Pro ty, kteří se zajímají o optiku – Ramanův zesilovač.....	49
5.1	Princip fungování Ramanova zesilovače	49
5.2	Čerpací zdroje pro Ramanův zesilovač	50
5.3	Zisk Ramanova zesilovače	51
5.4	Zhodnocení Ramanova zesilovače	52
5.5	Trendy v optoelektronice a fotonice – první zmínky o mikrostrukturních zesilovačích.....	53
5.6	Příkladové hybridní konfigurace zesilovačů	54
5.7	Závěr.....	55

1 Optické zesilovače v telekomunikacích

1.1 Útlumové parametry pasivních optických sítí bez zesilovačů

Doporučení ITU-T

ITU-T G.984.2 **GPON** (*Gigabit Passive Optical Network*), aktualizace XG-PON (2010).

Přenosová rychlost: 1,244 Gbit/s, 2,488 Gbit/s (2003) a 10 Gbit/s (2010)

Tři útlumové třídy A, B, C pro možnost použití levnějších zdrojů a detektorů optického záření.

- A: 5 – 20 dB (až 16 uživatelů)
- B: 10 – 25 dB (až 32 uživatelů)
- C: 15 – 30 dB (až 64 uživatelů)

Maximální počet připojených uživatelů: 64 (128 pro tzv. budoucí aplikace)

Jedná se o aktualizaci z roku 2010

- Fyzický dosah: 0 – 20 km (logický dosah dán protokoly a vyššími vrstvy teoreticky až 60 km)

Doporučení IEEE

EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) P.802.3ah Ethernet in the first Mile (2004), aktualizace **10GEPON** (*10 Gbit Ethernet Passive Optical Network*), (2009).

Přenosová rychlost: 1,25 Gbit/s (stejná rychlost pro downstream a upstream). V roce 2009 byla doporučena odlišná rychlost 10 Gbit/s pro downstream a 1 Gbit/s pro upstream.

Útlumové třídy:

- 1: 5 – 20 dB (až 16 uživatelů)
- 2: 10 – 24 dB (až 32 uživatelů)

Maximální počet připojených uživatelů: 32

- Fyzický dosah: 10 – 20 km

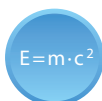
1.2 Vznik optických zesilovačů



Překonání dosahu **PON** (20 km) = nutnost použití optických zesilovačů. Pasivní síť s prodlouženým dosahem – *Reach Extended PON* nebo aktivní síť, které vyžadují aktivní prvky a napájení – **AON** (*Active Optical Network*)

Optické zesilovače byly vynalezeny na počátku 80. let. Zesilovače mají schopnost překlenout optickou trasu na vzdálenost asi 200 km.

Na každé optické trase dochází ke ztrátám výkonu při přenosu, které vyžadují obnovu signálu po určité vzdálenosti. Signál je nutné zesílit, obnovit jeho tvar a původní polohu signálu v čase. Použitím optického zesilovače lze obnovit amplitudu optických symbolů.



Optický zesilovač je zařízení, které zesiluje přímo optický signál v optické doméně a nepotřebuje ho převádět na elektrický signál pro potřeby obnovy a zpět na optický. Princip zesilovače je založen na existenci stimulované emise záření v materiálu a vyžaduje optické čerpání energie.

EOE (*Elektro-opticko-elektrická*) konverze u tradičních neoptických zesilovačů je pomalá a vyžaduje složitou elektroniku. Optický signál bylo nutno převádět na elektrický a zesílený signál zpět na optický.



Takové řešení bylo nevhodné pro vysokorychlostní přenosové signály z důvodu pomalé odezvy elektroniky, která nestačí zpracovat rychlý optický signál. Proto bylo nutno hledat řešení v podobě optických zesilovačů, které konverzi zcela opomíjejí.

1.3 Požadavky na optické zesilovače

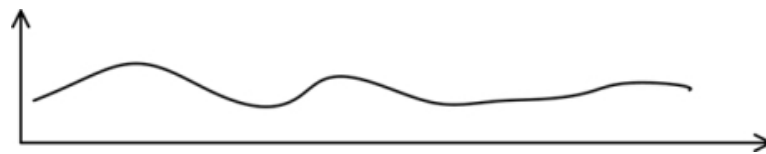
Požadavky na zesilovač, který se umísťuje na počátku trasy, jsou zcela odlišně od požadavků na průběžné zesilovače a předzesilovače na konci optické trasy. Rozhodujícími faktory jsou:

- Zisk G – poměr výstupního k vstupnímu výkonu, který se většinou udává v logaritmickém měřítku – rozhoduje o překlenovací vzdálenosti optické trasy
- Křivka zisku – v ideálním případě zesilovač by se měl vyznačovat vyrovnanou (plochou) charakteristikou zesílení pro obnovu všech vlnových délek se stejnou účinností
- Vstupní saturační výkon – schopnost přijmout velký vstupní výkon optického záření – rozhoduje o možnosti umístění zesilovače hned za vysílačem
- Saturace zisku – vypovídá o energetické účinnosti zesilovače
- Vložný útlum a útlum zesilovače odpojeného od zdroje energie – v ideálním případě zesilovač odpojený od zdroje čerpání energie by měl být průchozí pro světlo
- Šířka pásma zesilovače – rozsah vlnových délek, ve kterém je možné vstupní signál zesílit – rozhoduje o možnosti nasazení zesilovače u systémů s vlnovým dělením
- Šumové číslo – poměr odstupu signálu od šumu **SNR** (*Signal to Noise Ratio*) na výstupu zesilovače vůči SNR na vstupu zesilovače v logaritmické míře – důležité pro detekci slabých signálů a umístění před přijímačem
- Teplotní stabilita centrální vlnové délky – může ovlivnit chod systému s hustým vlnovým dělením

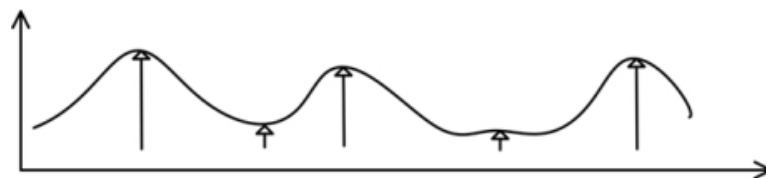
1.4 Princip 3R obnovy optického signálu optickým zesilovačem

U optického signálu se regeneruje nejen úroveň (amplituda), provádí se také např. kompenzace chromatické disperze (kompenzace roztažení pulsu v časové doméně způsobena skutečností, že každá frekvenční komponenta pulsu se šíří s jinou rychlostí).

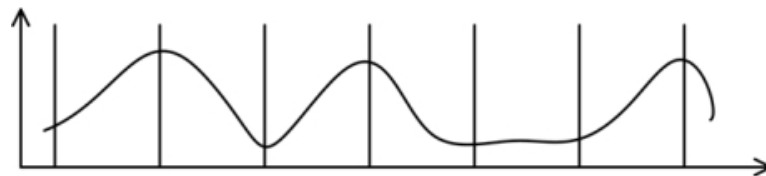
Princip **3R** obnovy optického signálu (*Re-amplification, Re-timing, Re-shaping*) spočívá v obnově amplitudy, obnově umístění náběžné hrany a tvaru optických pulzů:



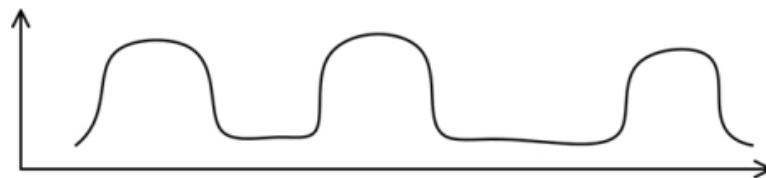
Degradovaný optický signál



Obnovená amplituda optického signálu



Zajištění správného umístění náběžné hrany v čase taktovacím signálem



Kompletní obnovení tvaru optických pulzů

1.5 Umístění zesilovače na trase

Zesilovače lze nasadit buď za vysílačem, před přijímačem nebo průběžně na trase. Každý ze tří přístupů vyžaduje jiné parametry zesilovače. Tyto typy zesilovačů nesou pojmenování:

- Booster
- In-line zesilovač (linkový zesilovač)
- Předzesilovač

$E = m \cdot c^2$

Booster. Umisťuje se hned za optický vysílač a slouží k zesílení jeho signálu na maximální úroveň, kterou lze do vlákna navázat. Musí být schopen pojmout velký vstupní signál z optického vysílače. Důležitý je maximální výstupní výkon, plochá charakteristika zisku v celém pracovním pásmu vlnových délek. SNR není podstatné, jelikož zesilovač pracuje se signály, které se vyznačují poměrně velkým odstupem signálu od šumu.

$E = m \cdot c^2$

Linkový zesilovač známý také jako in-line zesilovač. Tento zesilovač se umisťuje na trase optického vlákna, typicky ve vzdálenosti 30-50 km od počátku trasy. Zesiluje signál o nízké úrovni výkonu na co největší úroveň, která umožní maximální překlenovací vzdálenost. Plochá charakteristika zesílení má význam pro stejné zesílení všech kanálů a nízký šum pro bezchybný přenos.

$E = m \cdot c^2$

Předzesilovač. Slouží k zesílení velice nízkých úrovní signálu na úroveň dostatečnou pro správnou interpretaci přijímaných optických pulzů. Umisťuje se před optickým přijímačem na konci přenosové trasy. Umisťuje se před přijímačem. U předzesilovače je kladen požadavek na jeho minimální vnitřní šum. Parametry, jakými jsou velký zisk nebo saturace nejsou zde klíčové.



Umístění optických zesilovačů na trase – výkonový zesilovač (booster), linkový zesilovač (in-line) a předzesilovač (preamplifier)

1.6 Třídění optických zesilovačů

K tomu, aby zesilovač fungoval, je nutné dodat energii, např. v podobě optického čerpání. Z toho plyne rozdělení optických zesilovačů:

- energie je dodána ve formě elektrického proudu (elektrickým polem) - polovodičové zesilovače **SOA** (*Semiconductor Optical Amplifier*)
- energie je dodána ve formě záření z pumpy s konkrétní vlnovou délkou - vláknové zesilovače s dotací **xDFA** (*x Doped Fiber Amplifier*), kde *x* je přípustný chemický prvek, např. Erbium, Thulium a další
- energie je generována jako postranní vid záření v úzkém pásmu kolem jiné vlnové délky vlivem Ramanova rozptylu – **RA** (*Raman Amplifier*)

Z principu funkce zesilovače vyplývají různé možnosti nasazení v optickém přenosovém systému, jelikož různé způsoby optického čerpání vedou k odlišným vlastnostem zesilovačů.