

Povećanje domena optičke trase primenom IRITEL pojačavačkih jedinica sa RAMAN modulima

Dragana Milosavljević, Luka Mladenović, Bojan Pajčin, Stevan Matavulj, Nebojša Mičić, Predrag Mićović, Vladimir Kostić

Sektor za optičke sisteme prenosa
IRITEL A.D.

Beograd, Srbija

dragana.milosavljevic@iritel.com, luka.mladenovic@iritel.com, bojan@iritel.com, stevan.matavulj@iritel.com,
micic@iritel.com, micovic@iritel.com, kosticv@iritel.com

Sažetak—Svedoci smo ubrzane ekspanzije dostupnih servisa, zbog čega je potreban bolji zagaranovani kvalitet servisa QoS (eng. *Quality of Service*). Novi servisi zahtevaju povećanje količine saobraćaja u transportnom delu optičkih mreža. Zbog toga je neophodno smanjiti međukanalno rastojanje prilikom multipleksiranja različitih talasnih dužina. Brzine prenosa signala na datim talasnim dužinama su reda veličine nekoliko stotina Gbit/s (100-400 Gbit/s). Posledica gušćeg multipleksiranja signala i velike brzine prenosa je smanjenje dometa trase pri predefinisanoj vrednosti odnosa optičkog signala i šuma, OSNR (eng. *Optical Signal-to-Noise Ratio*). Korišćenjem Ramanovih pojačavača pri opisanim uslovima moguće je povećati domet trase tako da predefinisani OSNR bude očuvan.

Gljučne reči—Ramanovi pojačavači, OSNR, 100Gbit/s, Long-Haul

I. UVOD

Optički pojačavači postaju ključna komponenta za postizanje visokih performansi na dužim trasama u optičkim komunikacijama, zbog čega je uloženo dosta napora i vremena u njihov razvoj. Danas postoje tri vrste komercijalno dostupnih optičkih pojačavača i to su: poluprovodnički optički pojačavači – SOA (eng. *Semiconductor Optical Amplifier*), pojačavači na bazi dopiranih vlakana i pojačavači na bazi nelinearnih efekata [1]. Poluprovodnički optički pojačavači mogu se integrisati na istom čipu sa ostalim komponentama (laser, dioda, filteri, itd.) ali je šum koji unose poprilično velik pa je odnos signala i šuma mali. Pojačavači na bazi dopiranih vlakana realizuju se dopiranjem optičkog vlakna elementima retkih zemalja kao što su erbijum (Er), iterbijum (Yb), neodimijum (Nd), tulijum (Tm), prasedomijum (Pr) i holmijum (Ho). Princip rada zasniva se na stimulisanoj emisiji. Dopirane atome je potrebno pobuditi u više energetske stanje, što se postiže korišćenjem optičke pumpe (laserskog zračenja). Zatim prilikom prostiranja signala kroz dopirano vlakno dolazi do interakcije između signala koji treba pojačati i pobuđenih dopiranih atoma. Prilikom date interakcije pobuđeni atomi retkih zemalja se relaksiraju u osnovno energetske stanje. Posledica relaksacije je emisija zračenja na talasnoj dužini koja odgovara signalu koji se prostire. U zavisnosti od elementa kojim dopiramo optičko vlakno razlikovaće se talasna dužina signala koji se pojačava, kao i talasna dužina pumpe. Za telekomunikacione potrebe

najčešće se primenjuju vlakna dopirana erbijumom – EDFA (eng. *Erbium-Doped Fiber Amplifier*) zato što pojačavaju talasne dužine iz C opsega (1530-1565 nm). Pojačavači na bazi nelinearnih efekata zasnivaju svoj rad na stimulisanoj Ramanovom rasejanju. Kao i u slučaju EDFA pojačavača neophodno je pobudno lasersko zračenje – optička pumpa kako bi ostvarili željeno pojačanje. Razlika između EDFA i Raman pojačavača je u nivou snage signala pumpe, gde Raman pojačavači koriste pumpe značajno veće snage u poređenju sa EDFA pojačavačima. Druga razlika je što EDFA pojačavač ima posebno vlakno gde se vrši pojačanje signala, dok Ramanov pojačavač pojačava signal u komunikacionom vlaknu. Karakteristično za Ramanove pojačavače je da se signal može pojačavati na dužini i do čak nekoliko stotina metara, odnosno dokle god vrednost snage signala pumpe ne padne ispod odgovarajućeg praga. Na deonicama dužina do 200 km primenjuju se EDFA pojačavači, dok se u slučaju deonica dužina većih od 200 km primenjuju Ramanovi i EDFA pojačavači. Ramanovi pojačavači predstavljaju inovaciju za long-haul trase, data centre, podmorske telekomunikacije.

II. ISTORIJA RAMANOVIH POJAČAVAČA

Gordon Gould je prvi predložio optičko pojačanje 1957. godine. U svom radu “Light Amplifiers Employing Collisions to Produce Population Inversions” razmatra pojačanje svetlosti na osnovu stimulisane emisije fotona usled raznih interakcija [2]. Nakon toga sledi niz istraživanja koja su omogućila realizaciju lasera, a potom i optičkih pojačavača. U 19.veku spominje se Rejljevo rasejanje [3], a 1928. godine Indija i Rusija otkrivaju Ramanovo rasejanje. Chandrasekhara Venkata Raman za ovo otkriće dobija Nobelovu nagradu 1930. godine [4]. Ramanov efekat je pojava gde usled interakcije svetlosti sa medijumom u kom se prostire dolazi do pobuđivanja atoma/molekula medijuma u više energetske stanje. Prilikom relaksacije atoma/molekula u osnovno energetske stanje emituje se foton talasne dužine koja se razlikuje od upadnog zračenja. Talasna dužina rasejanog fotona određena je razlikom energija pobuđenog i osnovnog stanja i razlikujemo Stoksovo (veća talasna dužina-manja frekvencija) i Anti-Stoksovo rasejanje (manja talasna dužina-veća frekvencija). Ramanovo rasejanje je inicijalno predstavljalo neželjenu pojavu prilikom prostiranja signala zato što dovodi do formiranja impulsa

talasne dužine različite u odnosu na signal koji se prvobitno prostirao i dodatno ga slabi. Ozbiljnija istraživanja počinju sedamdesetih godina prošlog veka, a već 1994. godine koristi se Ramanov pojačavač za podmorski telekomunikacioni saobraćaj radi prenosa signala između kontinenata [5]. Tehnologija potrebna za realizaciju Ramanovog optičkog pojačava se vremenom menjala, a najbitnija promena bila je razvoj i komercijalizacija praktičnih laserskih dioda velikih snaga koje se koriste kao laserska pumpa.

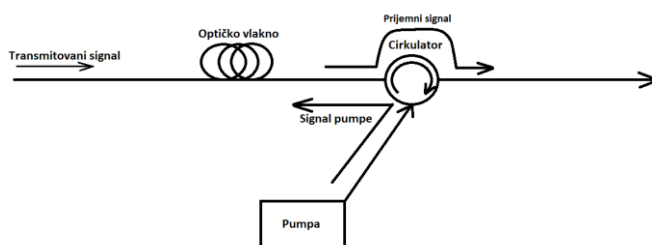
III. KARAKTERISTIKE RAMANOVOG POJAČAVAČA

Ramanovi pojačavači svoj rad zasnivaju na stimulisanoj Ramanovom rasejanju – SRS (eng. *Stimulated Raman Scattering*). Osnovni elementi su laserska pumpa i cirkulator. Laserska pumpa radi na talasnoj dužini od 1450 nm [6]. Cirkulator predstavlja element koji se koristi za usmeravanje svetlosnog signala, pri tome unoseći minimalne optičke gubitke. Pomoću cirkulatora signal pumpe se ubacuje u vlakno i pobuđuje molekule vlakna tako da prilikom prolaska vođenog signala dođe do njegovog pojačanja. Pumpa se može prostirati na dva načina: kopropagirajući (smerovi signala pumpe i signala koji želimo da pojačamo se poklapaju) i kontrapropagirajući (smerovi signala pumpe i signala koji želimo da pojačamo su suprotni).

Fenomen stimulisanoj Ramanovog pojačanja javlja se kao posledica neelastične interakcije incidentnog fotona pumpe i materijala koja rezultuje vibracijom molekula materijala. Signal pumpe koristi se za pobuđivanje molekula materijala. Daljom interakcijom signala pumpe sa molekulima materijala fotoni se rasejavaju pri čemu gube deo energije, što bi značilo da će njihova talasna dužina biti veća od talasne dužine pumpe – Stoksovi fotoni. Ukoliko je talasna dužina signala koji želimo da pojačamo veća od talasne dužine rasejanih fotona SRS će praktično povećavati broj fotona na talasnoj dužini signala koji pojačavamo na račun energije signala pumpe. Drugim rečima energija koju je signal pumpe trošio na pobuđivanje molekula materijala se sada troši na pojačanje signala veće talasne dužine od talasne dužine rasejanih fotona [2].

Kod Ramanovih pojačavača, laserska pumpa predstavlja izvor incidentne svetlosti koja preko cirkulatora dolazi do optičkog vlakna i služi za pobuđivanje molekula SiO₂. Signal pumpe prostire se u suprotnom smeru od signala koji pojačavamo. Šematski prikaz postavke Ramanovog pojačavača data je na Sl. 1. Pojačanje signala se ostvaruje na račun signala pumpe, praktično se vrši transfer energije sa signala veće učestanosti (manje talasne dužine) na signal manje učestanosti (veće talasne dužine).

Iritel OMA-R jedinica sadrži jedan Ramanov pojačavački modul koji je označen sa Iritel RA27 u tehničkoj dokumentaciji [7]. Karakteristike ove jedinice i modula su prikazane u tabeli I. Zauzimaju u OTP100G-C15e kućištu dve pozicije [6]. Kombinuju se sa EDFA da bi se proširila spektralna kriva pojačanja i dodatno povećao domet.



Slika 1 Šematski prikaz Ramanovog pojačavača

TABELA I. OPŠTE KARAKTERISTIKE OMA-R MODULA

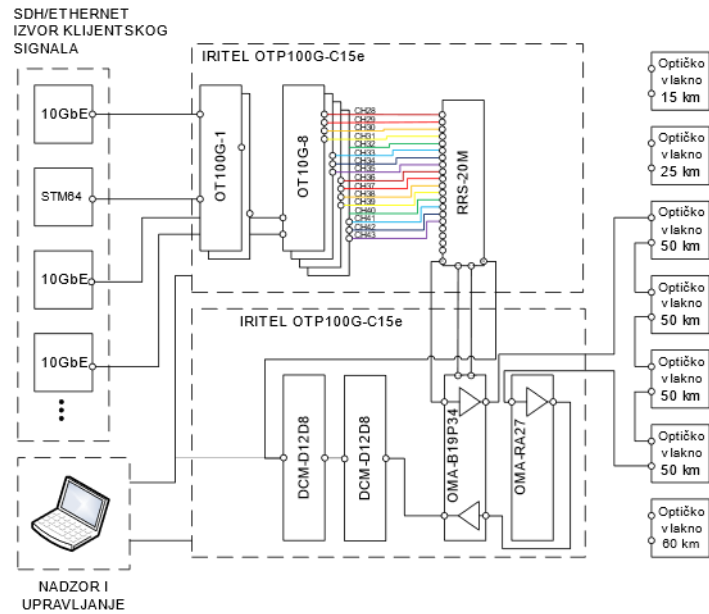
| | |
|----------------------------------|-------------|
| Tipično pojačanje [dB] | 12 - 20 |
| Opseg talasnih dužina [nm] | 1528 - 1565 |
| Opseg ulazne snage [dBm] | -40 - 5 |
| Flatness [dB] | 1.2 |
| Opseg izlazne snage pumpe [mW] | 500 - 600 |
| Tipična izlazna snaga pumpe [mW] | 550 |
| Tip konektora | LC i SC-UPC |

IV. MERENJE I TESTIRANJE KARAKTERISTIKA RAMAN I OMAS JEDINICA

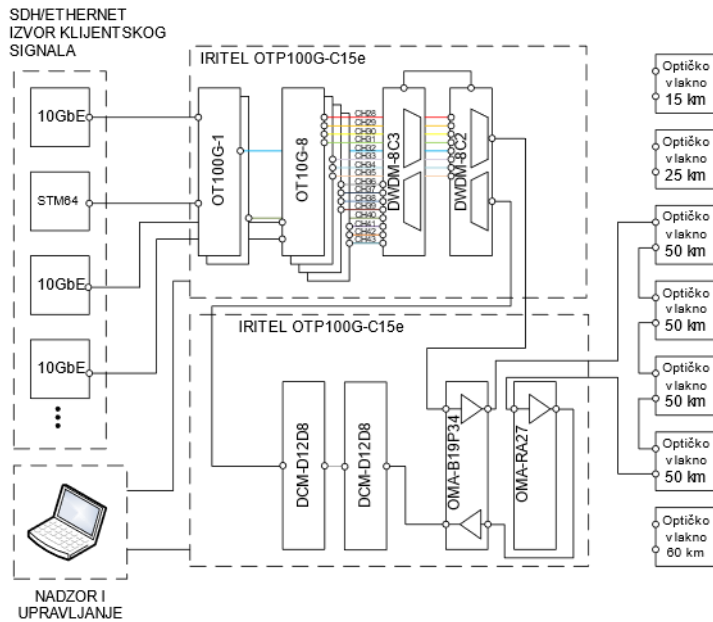
U cilju povećanja dužine optičke trase primenom predstavljenih Iritel OMAs jedinica sa EDFA modulima [8] i OMA-R jedinica izvršena su merenja i testiranja na njima [7]. Pored OMAs i OMA-R jedinica za potrebe formiranja multipleksiranog optičkog signala do 16 talasnih dužina korišćene su: dve jedinice OTP100G-1 sa po 10 SFP+ (eng. *enhanced small form-factor pluggable*) interfejsa koji podržavaju brzinu do 10 Gbit/s i po 1 CFP (eng. *C form-factor pluggable*) interfejs koji podržava brzinu do 100 Gbit/s, četiri jedinice OT10G-8 koja poseduje 8 XFP (eng. *10 gigabit small form-factor pluggable*) interfejsa koji podržavaju brzinu do 10 Gbit/s, DCM-D8D12, DWDM-8C2, DWDM-8C3 ili RRS-20M [6]. DCM-D8D12 predstavlja jedinicu sa modulima za kompenzaciju hromatske disperzije. Zauzima jednu poziciju u OTP100G-C15e kućištu. U datom primeru jedinica DCM-D8D12 ima dva modula koji kompenzuju disperziju na 120 odnosno 80 kilometara standardnog vlakna [7]. Moduli za kompenzaciju disperzije rade na principu FBG (eng. *Fiber Bragg grating*) tehnike i slabljenje koje unose je za slučaj kompenzacije na 80 km manje od 3.5 dB, dok je za kompenzaciju na 120 km manje od 5 dB. DWDM-8C2 (eng. *Dense wavelength-division multiplexing*) je jedinica za multipleksiranje po talasnim dužinama [7]. Kao i jedinica DCM-D8D12 zauzima jednu poziciju u OTP100G-C15e kućištu. Može multipleksirati 8 kanala iz C2 opsega (kanali od C28 do C35 – frekvencije od 192.8 do 193.5 THz). U slučaju DWDM-8C3 jedinice ona može multipleksirati signale iz C3 opsega (kanali od C36 do C43 – frekvencije od 193.6 do 194.3 THz). Maksimalno uneto slabljenje po kanalu je manje od 3 dB, dok je međukanalno rastojanje 100 GHz. Iritel jedinica RRS-20M spada u ROADM optičku matricu prespajanja na nivou talasnih dužina [7]. Za razliku od prethodno dve

pomenute jedinice zauzima dve pozicije u OTP100G-C15e kućištu. Maksimalno uneto slabljenje po kanalu je manje od 7.5 dB. RRS označava grupu jedinica sa *Route&Select* arhitekturom [7]. Jedinica se sastoji od dva WSS (eng. *Wavelength Selective Switch*) modula sa po 20 portova na kojima je moguće dinamički usmeravati optičke kanale različitih talasnih dužina i međukanalnih rastojanja (*flexgrid*) na bilo koji port i podešavati slabljenje pomoću NMS (eng. *Network Management System*) sistema upravljanja i nadzora. U imenu RRS-20M jedinice M sufiks implicira da jedinica poseduje integrisani modul za nadzor optičkog spektra – OSA (eng. *Optical Spectrum Analyzer*) kojim se nadgledaju svi kanali u multipleksiranom optičkom signalu [7]. Za formiranje optičke trase korišćena su laboratorijska vlakna dužine 15km, 25km, 50km (četiri ovakva laboratorijska vlakna) i 60km. Konfigurisanje jedinica i nadzor sistema su vršeni na Sunce+ modulu za OTN (eng. *Optical Transport Network*) [9]. Sve jedinice su postavljene u dva OTP100G-C15e kućišta. Korišćena su dva merna instrumenta za generisanje klijentskog saobraćaja 10 Gbit/s Ethernet i jedan za generisanje saobraćaja STM-64. Korišćeni merni instrumenti su akreditovani i podržavaju saobraćaje različitih vrsta i brzina. Proizvođač je Anritsu dok su modeli MT1100A [10] i MT1000A [11]. Testirani prenos saobraćaja smatra se uspešnim ako su klijentski signali generisani od strane mernih instrumenata preneti bez greške preko odgovarajuće trase u trajanju od najmanje 24h. Merenja su izvršena na dve postavke. Jedna postavka koristila je DWDM-8C2 i DWDM-8C3, dok je druga koristila RRS-20M za multipleksiranje signala. Postavke su prikazane na slikama SI 2. i SI 3. Respektivno. Ispitivanje odnosa signala i šuma izvršeno je za 8 i 16 talasnih dužina na različitim rastojanjima (200, 225 i 250 km). Jedinicu OT10G-8 smo koristili kako bi obezvedili 16 talasnih dužina. Kao mapirani klijentski signali u OTN linijske interfejske korišćeni su 10GE (eng. *10 Gigabit Ethernet*) i SDH STM-64 (eng. *Synchronous Digital Hierarchy Synchronous Transport Module level-64*). Linijski signali u koje se vrši mapiranje pomenutih klijentskih signala su OTN ODU2 i OTN ODU2e [12]. Instrument šalje signale koji ulaze u transponderske jedinice, potom dolaze do DWDM-8C2 i DWDM-8C3 ili RRS-20M, gde se multipleksiraju. Zatim se pojačani multipleksirani signal sa EDFA pojačavača povezuje na optičko vlakno. Kako su merenja izvršena na trasama velikih rastojanja neophodno je koristi DCM jedinice radi kompenzacije hromatske disperzije [7]. Signal se sa optičkog vlakna vraća nazad istom putanjom. Signal nakon prolaska kroz optičko vlakno, nakon EDFA i Raman pojačanja i prolaska kroz DCM jedinicu, se demultipleksira u DWDM ili RRS-20M jedinici. Nakon toga demultipleksirani kanali se povezuju nazad na transponderske jedinice gde se vrši demapiranje klijentskih signala. Na kraju, klijentski signal se vraća ponovo u instrument. Ako je signal nakon prolaska kroz sve jedinice i optičko vlakno zadovoljavajućih performansi i bez grešaka u prenosu, test se smatra uspešnim. Rezultati iz tabela II i III odnose se na postavku gde je primenjena RRS-20M jedinica, dok se rezultati iz tabela IV i V odnose na postavku gde su

premenjene DWDM-8C2 i DWDM-8C3 jedinice. Rezultati u tabeli II prikazuju OSNR po kanalu na prijemoj strani za različit broj talasnih dužina u multipleksiranom signalu i različite dužine optičke trase. U tabeli III prikazani su rezultati OSNR po kanalu na prijemoj strani za različit broj talasnih dužina u multipleksiranom signalu, različito međukanalno rastojanje i različite snage pumpe Ramanovog pojačavača. Tabela IV prikazuje rezultate OSNR po kanalu na prijemoj strani za 16 talasnih dužina u multipleksiranom signalu prilikom korišćenja različitih OMAs jedinica na različitim dužinama trasa. Tabela V prikazuje rezultate OSNR po kanalu na prijemoj strani za različit broj talasnih dužina u multipleksiranom.



Slika 2 Prikaz postavke određivanja OSNR za različit broj talasnih dužina u multipleksiranom signalu i različite dužine optičkih trasa primenom RRS-20M



Slika 3 Prikaz postavke određivanja OSNR za različit broj talasnih dužina u multipleksiranom signalu, različite dužine optičkih trasa i prilikom korišćenja različitih OMA jedinica primenom DWDM-8C2 i DWDM-8C3

TABELA II. OSNR PO KANALU NA PRIJEMU TESTNOG INSTRUMENTA ZA RAZLIČITI BROJ TALASNIH DUŽINA U MULTIPLEKSIRANOM SIGNALU I RAZLIČITE DUŽINE OPTIČKE TRASE

| RRS-20M | Raman & OMAs | | | |
|---------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|---------------------|
| | Međukanalno rastojanje [GHz] | Broj talasnih dužina | Snaga pojedinačnog kanala WSS modula [dBm] | OSNR po kanalu [dB] |
| 200km | 100 | 8 | 10 | 24,59 |
| | | 16 | 12 | 22,70 |
| 225km | 100 | 8 | 8 | 19,26 |
| | | 16 | 12 | 18 |

TABELA III. OSNR PO KANALU NA PRIJEMU TESTNOG INSTRUMENTA ZA RAZLIČITI BROJ TALASNIH DUŽINA U MULTIPLEKSIRANOM SIGNALU, RAZLIČITO MEĐUKANALNO RASTOJANJE, RAZLIČITE SNAGE PUMPE RAMANOVOG POJAČAVAČA I RAZLIČITE DUŽINE OPTIČKE TRASE

| RRS-20M | Raman & OMAs | | | | |
|---------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|------------------|---------------------|
| | Međukanalno rastojanje [GHz] | Broj talasnih dužina | Snaga pojedinačnog kanala WSS modula [dBm] | Snaga pumpe [mW] | OSNR po kanalu [dB] |
| 250km | Flex 50 | 8 | 10 | 550 | 19,35 |
| | 100 | 8 | 10 | 500 | 16,7 |
| | 100 | 8 | 10 | 600 | 15,01 |
| | 100 | 16 | 10 | 600 | 14,10 |
| | Flex 200 | 8 | 10 | 500 | 17,26 |

TABELA IV. OSNR PO KANALU NA PRIJEMU TESTNOG INSTRUMENTA ZA 16 TALASNIH DUŽINA U MULTIPLEKSIRANOM SIGNALU PRILIKOM KORIŠĆENJA RAZLIČITIH OMAs JEDINICA ZA RAZLIČITE DUŽINE OPTIČKE TRASE

| DWDM | Raman & OMAs | | | |
|-------|---------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| | OMAs jedinice | Broj talasnih dužina | Snaga po DWDM kanalu [dBm] | OSNR po kanalu [dB] |
| 225km | OMA-B19P25 | 16 | -12 | 18,79 |
| 225km | OMA-B19P34 | 16 | -12 | 17,99 |
| 250km | OMA-B19P25 | 16 | -9 | 15,32 |
| 250km | OMA-B19P34 | 16 | -12 | 12,81 |

TABELA V. OSNR PO KANALU NA PRIJEMU TESTNOG INSTRUMENTA ZA RAZLIČITI BROJ TALASNIH DUŽINA U MULTIPLEKSIRANOM SIGNALU I RAZLIČITE DUŽINE OPTIČKE TRASE

| DWDM | Raman & OMAs | | | | |
|-------|---------------------|----------------------|----------------------------|------------------|-----------|
| | Širina kanala [GHz] | Broj talasnih dužina | Snaga po DWDM kanalu [dBm] | Snaga pumpe [mW] | OSNR [dB] |
| 200km | 100 | 16 | -12 | 600 | 19,37 |
| 225km | 100 | 8 | -7 | 600 | 15,05 |

V. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Rezultati u tabeli II prikazuju OSNR pri različitim broju talasnih dužina i različitim dužinama optičkih trasa primenom RRS-20M jedinice. Iz tih rezultata se zaključuje da za dužinu trase od 225 km i 16 talasnih dužina u multipleksiranom signalu OSNR iznosi 18 dB, što u odnosu na rezultate iz rada [13] pokazuje produženje optičke trase za 50 km. U tabeli III prikazani su rezultati kada je korišćen *flexgrid* (*flexgrid* predstavlja osobinu RRS-20M jedinice koja dozvoljava promenu međukanalnog rastojanja) i različita snaga pumpe Ramanovog pojačavača. Za snagu pumpe Ramanovog pojačavača od 500mW OSNR je 16,7 dB dok je za 600mW OSNR 15,01 dB. Na osnovu datih vrednosti može se zaključiti da pri velikim vrednostima snage pumpe dolazi do stvaranja šuma, koji se potom ubacuje u vlakno i dodatno pojačava. Poredeći rezultate OSNR za 16 talasnih dužina u multipleksiranom signalu u slučaju optičke trase od 225 km kada je primenjena RRS-20M jedinica, odnosno DWDM-8C2 i DWDM-8C3 jedinice, može se uočiti da je OSNR bolji kada koristimo DWDM-8C2 i DWDM-8C3 jedinice. Generalno govoreći jedinice za multipleksiranje/demultipleksiranje koristimo kada želimo da postignemo što je moguće bolji OSNR signala. Pored manjeg OSNR RRS-20M jedinica njihova prednost ogleda se u velikoj fleksibilnošću koje nude. Moguće je prespajanje talasne dužine sa bilo kog ulaznog porta na bilo koji izlazni port, prostiranje kanala proizvoljnom optičkom putanjom i istovremeno izdvajanje, odnosno ubacivanje iste talasne dužine na datoj jedinici. Navedenim funkcionalnostima upravlja se putem Sunce+ modula. Zbog ograničenih mogućnosti u pogledu dužine optičkih trasa i minimalne snage ulaznog signala u EDFA pojačavač, neophodna je primena Ramanovih pojačavača za ispravan rad svih elemenata mreže. Preko testiranog OTN sistema vršen je prenos od 16 multipleksiranih talasnih dužinama sa brzinom signala od 100Gbit/s na rastojanjima do 250 km. Optički pojačavači postaju esencijalna komponenta za visoke performanse na dužim trasama optičkih komunikacija.

LITERATURA

- [1] Optičke telekomunikacije II – Nelinearni efekti u optičkim vlaknima, Dejan Gvozdić, Jasna Crnjanski
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_amplifier
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Raman_scattering#History
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Raman_spectroscopy
- [5] Raman amplification, Deben Lamon, Jelle Stuyvaert, Univesidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2007-2008.
- [6] Optičke pristupne mreže, Jovan Radunović, Petar Matavulj, 2004.
- [7] OTP10G, OTN/DWDM, ROADM, optička transportna platforma 80x100Gb/s, IRITEL a.d. Beograd, 2012-2021.
- [8] Technical Requirement Specification, Generic Raman Amplifier Module, Backward Distribution, 550mW.
- [9] Sunce-O -Managing OTP10G & CWDM8 User Guide ver 3.6.0, IRITEL a.d. Beograd, 2021.
- [10] <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/products/mt1100a>
- [11] <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/products/mt1000a>
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/G.709>
- [13] Unapređenje karakteristika IRITEL pojačavačkih jedinica sa EDFA modulima, 2023.

Abstract

We are witnessing the accelerated expansion of an increasing number of services, so it is required to have better guaranteed quality of service (*QoS*). With this accelerated increase in user traffic, an increase in the amount of traffic in the transport part of optical networks is inevitable. Because of that it is required to have denser multiplexing of wavelengths, which are used to transmit signals at high speeds such as 100Gbit/s, 200Gbit/s, 400Gbit/s. For this reason, the distance that can be achieved with the required and increasing ratios (*OSNR*) is reduced. By using Raman amplifiers under the

described conditions, guaranteed signal transmission is ensured.

INCREASING THE DOMAIN OF THE OPTICAL PATH BY USING IRITEL AMPLIFIER UNITS WITH RAMAN MODULES

Dragana Milosavljević, Luka Mladenović, Bojan Pajčin,
Stevan Matavulj, Nebojša Mičić, Predrag Mićović, Vladimir
Kostić