

Primena xWDM IRITEL sistema za proširenje kapaciteta optičkih telekomunikacionih mreža

Vladimir M. Kostić, Predrag Z. Mićović, Ninko B. Radivojević, *Member, IEEE*

Sadržaj — U radu je dat pregled komercijalnih i standardizovanih tehnologija za multipleksiranje optičkih signala po talasnim dužinama. Dat je opis opšte šeme WDM sistema sa svim elementima koji se koriste u WDM/CWDM/DWDM mrežama. Opisana je uloga OTN tehnologije u tim sistemima. Pokazani su ograničavajući faktori i proračuni pri projektovanju sistema. Na kraju su predstavljene moguće primene bazirane na xWDM Iritelovim proizvodima.

Ključne reči — CWDM, DWDM, OTN, WDM.

I. UVOD

POVEĆANJE obima telekomunikacionog saobraćaja zahteva proširenje kapaciteta i brzina postojećih telekomunikacionih mreža. Jedan od načina je korišćenjem multipleksiranjem signala po talasnim dužinama. Multipleksiranje talasnih dužina (WDM – Wavelength Division Multiplexing) predstavlja tehnologiju koja je omogućila kombinovanje više različitih optičkih signala na različitim talasnim dužinama radi prenosa preko jednog optičkog vlakna. WDM tehnologija omogućuje optičkim sistemima prenosa povećanje kapaciteta, transparentnost i rutiranje signala po talasnim dužinama. Dodavanjem talasne dužine u WDM signal povećavamo kapacitet prenosa po optičkom vlaknu za onoliko koliko je brzina signala koji prenosimo preko te talasne dužine. Svaki od signala koji se prenosi u WDM sistemu može biti sinhroni ili asinhroni digitalni signal ili analogni signal, koji se može prenositi nezavisno od ostalih signala, bez obzira na njegovu strukturu. Prenosom i prospajanjem različitih signala po talasnim dužinama moguće je u čvorovima mreže realizovati optička prospajanja signala bez spuštanja na električni nivo.

CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) i DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) su standardizovane tehnologije multipleksiranja talasnih dužina od strane ITU organizacije [1, 2]. Talasne dužine koje se koriste za multipleksiranje smeštene su u drugom i trećem optičkom prozoru zbog karakteristika slabljenja pri izradi optičkih vlakana.

U drugom i trećem poglavlju opisane su opšte karakteristike, prednosti i osnovni elementi koji se koriste u WDM tehnologijama. U četvrtom poglavlju dati su

osnovni elementi koji se koriste pri proračunima trasa za realizaciju optičkih mreža. U poslednjem poglavlju rada opisane su aplikacije xWDM IRITEL sistema koje omogućuju proširenje kapaciteta postojećih telekomunikacionih mreža.

II. xWDM SISTEMI

Najjednostavniji WDM omogućava multipleksiranje dve talasne dužine na 1310nm i na 1550nm. Pasivnim optičkim filtrom postiže se multipleksiranje dva optička signala za realizaciju tačka-tačka veza. Domet sistema određen je karakteristikama samih predajnika koji se koriste. Slabljenje koje se pri tom unosi je približno 0,5dB po multipleksoru.

Realizacija pasivne optičke mreže sa multipleksiranjem do 18 talasnih dužina postiže se korišćenjem CWDM filtera. CWDM sistem radi u opsegu od 1271nm do 1611nm u koracima od 20nm. Upotrebom CWDM multipleksera nije moguće pojačavati signal, zbog širokog opsega talasnih dužina u kome se multipleksiraju signali. CWDM mreže upotrebljavaju se u realizaciji tačka-tačka veza, prstenastih i meš lokalnih i gradskih mreža, u kojima nije potrebno pojačavati optičke signale. Prednosti CWDM mreža su jednostavniji optički predajnici i jednostavniji filteri zbog manje strogih zahteva za preciznošću emitovane talasne dužine.

Za realizaciju mreža većeg dometa i većeg kapaciteta koriste se DWDM mreže. U DWDM sistemima frekvencije emitovanih signala, sa rastojanjem između signala od 100GHz, su na $(193.1 + n \times 0.1)$ THz, gde je n ceo broj [2]. Od DWDM predajnika zahteva se uski snop u kome se emituju signali i male tolerancije u odstupanju frekvencija u okolini emitovane, zbog blizine susednih talasnih dužina. Zbog toga je u DWDM sistemima neophodno koristiti stabilne, temperaturno kontrolisane optičke predajnike. Za realizaciju mreža većeg dometa koriste se EDFA pojačavači na liniji. Prednosti DWDM su veći broj talasnih dužina koji se može multipleksirati u jednom vlaknu, i veći dometi se postižu upotrebom pojačavača signala.

Postoji i mogućnost realizacije hibridnog rešenja gde će se koristiti deo CWDM a deo DWDM opsega za realizaciju mreža bez upotrebe pojačavača sa potrebom za većim brojem talasnih dužina nego što može da pruži CWDM sistem.

Radi povećanja odnosa signal/šum i unifikacije prenosa optičkih signala pri prenosu kroz optička vlakna dominantna tehnologija postaje ITU G.709 OTN [3]. OTN definiše način mapiranja različitih signala,

Vladimir M. Kostić, Iritel AD Beograd, Batajnički put 23, 11080 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-3073451, e-mail: kosticv@iritel.com)

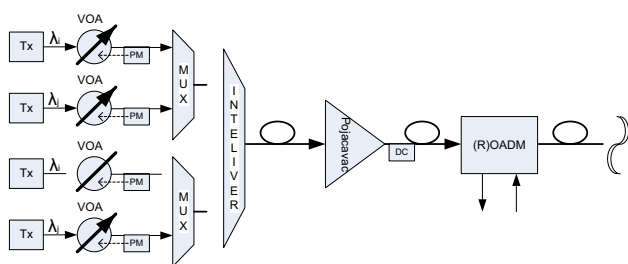
Predrag Z. Mićović, Iritel AD Beograd, Batajnički put 23, 11080 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-3073455, e-mail: micovic@iritel.com)

Ninko B. Radivojević, Iritel AD Beograd, Batajnički put 23, 11080 Beograd, Srbija (telefon: 381-11-3073443, e-mail: radni@iritel.com)

multipleksiranje i zaštitno kodovanje. Standardnim zaštitnom kodovanjem postiže se kodni dobitak do 6,2dB a sa super FEC (ITU-T G.975.1) i preko 8dB što omogućuje prenos na većim rastojanjima i/ili većem broju WDM multipleksiranih kanala. Zaglavlje OTN je optimizovano za prenos signala preko WDM mreža.

III. OPŠTA ŠEMA WDM SISTEMA

Opšta šema realizacije WDM sistema prikazana je na slici 1. Osnovni elementi su optički predajnici, multiplekseri (filtri) sa optičkim atenuatorima, interliveri, pojačavači, optički dodaj/izdvoj multiplekseri, kompenzatori disperzije, prijemnici.



Sl.1. Opšta šema WDM sistema.

Postoje dva tipa optičkih predajnika: sa fiksnom talasnom dužinom i sa podešavanjem radne talasne dužine. U DWDM sistemima, zbog bliskih talasnih dužina susjednih kanala zahtevaju se predajnici visokih preciznosti, sa uskim snopovima i malim odstupanjima oko centralne frekvencije. Tipična tolerancija je $\pm 0,1-0,2\text{nm}$. Da bi se očuvala radna zadana talasna dužina, koriste se predajnici sa termoelektričnim hladnjacima koji kontrolišu radnu temperaturu predajnika. Najčešće se koriste DFB laseri i njihove varijante kao EML (Electroabsorption Modulator Integrated Distributed Feedback Laser) za primenu do 11,3Gb/s. Korišćenjem predajnika sa podešavanjem radne talasne dužine povećava se fleksibilnost sistema, jer se ista komponenta može koristiti u različitim situacijama.

U CWDM sistemima su manji zahtevi u pogledu optičkih predajnika. U CWDM sistemu razmak između susjednih talasnih dužina je 20nm, a dozvoljena odstupanja od centralne frekvencije su $\pm 6-7\text{nm}$ [2]. Za potrebe CWDM sistema koriste se DFB (Distributed-feedback) laseri ili VCSE (Vertical Cavity Surface Emitting) laseri koji nisu temperaturno kontrolisani. U potrošnji energije se zbog toga javlja razlika, kod CWDM predajnika potrošnja je 0,5-1W, dok je kod DWDM predajnika 4-5W.

Za multipleksiranje talasnih dužina koriste se tankoslojni filtri, optička Bragova rešetka, rešetka sa nizom talasovoda,... Za potrebe multipleksiranja velikog broja kanala u DWDM sistemima kombinuju se pasivni multiplekseri. U DWDM multiplekserima potrebno je realizovati sistem sa kontrolisanim snagama na ulazima filtera. Realizacija DWDM multipleksera je takva da se sastoje od pasivnih multipleksera talasnih dužina sa varijabilnim optičkim atenuatorima (VOA). VOA se podešavaju ručno ili pomoću električnog sklopa koji podešava slabljenje na osnovu dobijene informacije iz monitora optičke snage koji se postavljaju na ulazima u

pasivne multipleksere. U CWDM sistemima za multipleksiranje signala koriste se jednostavniji pasivni filtri usled manje strogih zahteva u pogledu centralne frekvencije i propusnog opsega.

Interliveri su pasivni elementi WDM sistema male disperzije kojima je osnovna funkcija multipleksiranje grupa međusobno učešljanih susjednih kanala radi povećanja gustine kanala u WDM sistemima.

Optički pojačavači koriste se za pojačavanje signala bez vraćanja na električni nivo ili razdvajanja multipleksiranih signala. Pojačavači EDFA se najčešće koriste za pojačavanje signala iz C opsega, a Ramanovi pojačavači našli su primenu u pojačavanju signala iz C i L opsega. Zbog širokog opsega u kom se nalazi multipleksirani CWDM signal u njihovoj primeni se ne koriste pojačavači.

Optički add/drop multiplekseri omogućuju dodavanje i/ili izdvajanje jedne ili više talasnih dužina iz WDM signala. Postoje statički i dinamički OADM (rekonfigurabilni ROADM). Statički OADM najčešće su realizovani sa dva optička cirkulatora sa optičkim Bragovim rešetkama sa fiksnim talasnim dužinama. ROADM se realizuju na nekoliko načina: pomoću iPLC (Integrated planar lightwave circuit), pomoću WSS (Wavelength selective switch),...

Dva tipa disperzije se pojavljuju pri prenosu signala po optičkim vlaknima: hromatska disperzija i disperzija polarizacionih modova. Hromatska disperzija se javlja kao posledica različitih brzina prostiranja komponenti na različitim talasnim dužinama u okviru spektra zračenja predajnika. Kao posledica javlja se preklapanje i interferencija sa susjednim signalima. Hromatska disperzija je više izražena sa povećanjem brzine signala i povećanjem dometa. Za kompenzaciju disperzije se koriste DCF (Dispersion Compensating Fiber) i kompenzatori sa Bragovom rešetkom. Disperzija polarizacionih modova je posledica različitog prostiranja polarizacionih modova signala usled nesavršenosti vlakna koje se ogleda u različitim indeksima refrakcije. Rezultat je različito propagaciono vreme polarizacionih modova koje uzrokuje širenje impulsa. Disperzija polarizacionih modova ima veći uticaj na brzine preko 10Gb/s. Usled spoljnih uticaja (temperatura, pomeranje vlakna...) disperzija polarizacionih modova je vremenski promenljiva.

IV. PRORAČUNI ZA REALIZACIJU TRASE

Osnovni zahtevi pri projektovanju WDM sistema su: rastojanje između stanica, brzine prenosa, zahtevani BER, broj WDM kanala, margina linka i prihvatljiva slabljenja na linku. Organičavajući faktori su disperzija ili slabljenje.

Margina linka je faktor koji definiše dodatnu rezervu snage radi neželjenih situacija na linku. Tipična vrednost koja se uzima je 3dB.

Pri proračunu dometa na osnovu budžeta snage može se koristiti sledeća jednačina:

$$P_t - a_{ekv} \cdot L - P_d - M - \sum_i P_{ei} + \sum_j P_{gj} - n \cdot P_{sl} - k \cdot P_k - P_o - P_r \geq 0 \quad (1)$$

gde je P_t minimalna predajna snaga, P_r osetljivost prijemnika, a_{ekv} ekvivalentni koeficijent slabljenja, L

dužina sekcije, Pd gubitak usled disperzije, M margina linka, Pei slabljenje elemenata na trasi (multiplekseri, OADM, kompenzatori disperzije,...), Pg dobitak snage usled pojačavača, Pls slabljenje usled splajsovanja vlakna, Pk slabljenje konektora, Po ostali gubici na trasi i nelinearna slabljenja.

Pri proračunu maksimalnog dometa usled uticaja hromatske disperzije koristi se sledeći izraz:

$$\Delta T_{hd} \cdot L = pd \cdot B \cdot \sigma \cdot L < \varepsilon, \quad (2)$$

gde je L dužina trase, pd koeficijent hromatske disperzije, B bitska brzina, σ RMS spektralne širine izvora, ε koeficijent performanse.

Za proračun uticaja disperzije polarizacionih modova koristi se jednačina (3) po kojoj dobijamo vrednost širenja impulsa ΔT_{pmd} :

$$\Delta T_{pmd} = D_{pmd} \cdot \sqrt{L}, \quad (3)$$

gde je L dužina trase, D_{pmd} koeficijent uticaja polarizacione disperzije. Koeficijent ima vrednost od 0,2 do $0,5 ps/\sqrt{km}$ u zavisnosti od tipa vlakna. Maksimalna brzina protoka signala $Bmax$ zavisi od maksimalno dozvoljenog širenja impulsa u odnosu na širinu impulsa δ , tipa signala i vrednosti širenja impulsa. Za NRZ signal iznosi:

$$Bmax = \delta / \Delta T_{pmd}. \quad (4)$$

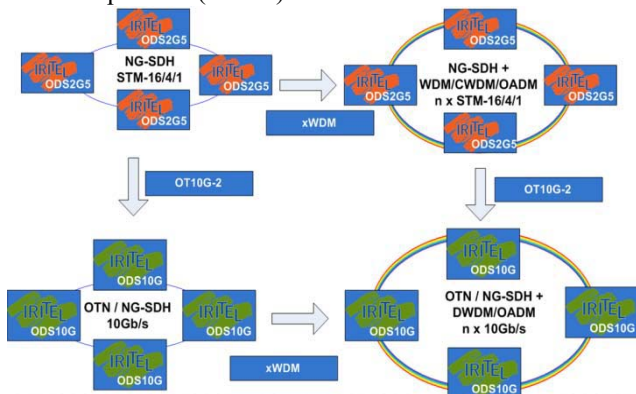
Analizom budžeta usponske ivice dobija se vrednost disperzije kao ograničavajući faktor optičkog linka. Ukupno vreme usponske ivice t_{rs} iznosi:

$$t_{rs} \approx \sqrt{t_{rx}^2 + t_{mod}^2 + \Delta T_{hd}^2 + \Delta T_{pmd}^2 + t_{rx}^2}, \quad (5)$$

gde je t_{rx} vreme trajanja usponske ivice predajnika, t_{mod} uticaj modalne disperzije multimodnog vlakna, ΔT_{hd} uticaj hromatske disperzije, ΔT_{pmd} uticaj disperzije polarizacionih modova, t_{rx} vreme trajanja usponske ivice prijemnika. Za NRZ kodove ukupno vreme usponske ivice t_{rs} mora biti manje od $0,7/B$, gde je B bitska brzina signala.

V. PRIMER PROŠIRENJA KAPACITETA MREŽE

Proširenje postojećih resursa u telekomunikacionim mrežama pomoću Iritelovih sistema prenosa može ići u nekoliko pravaca (slika 2).

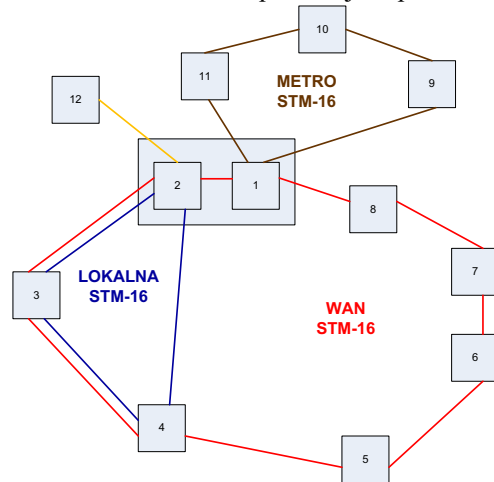


Sl.2. Proširenje kapaciteta mreže pomoću Iritelovih sistema.

Proširenje kapaciteta moguće je povećanjem protoka

linijskih interfejsa na OTN OTU2 ili SDH STM64 sa OT10G-2 jedinicom. Drugi pravac proširenja je upotrebom xWDM Iritel sistema i to pomoću CWDM sistema ili DWDM sistema.

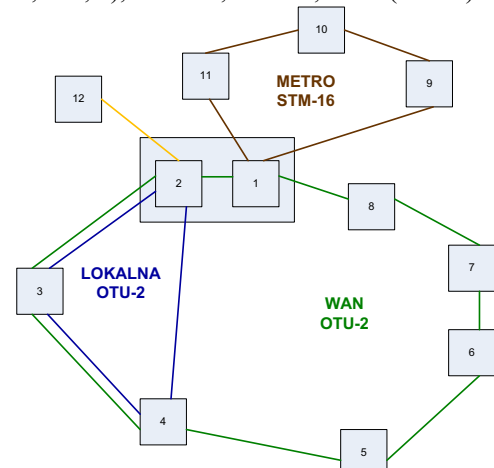
Pri proračunima dometa i ograničavajućih faktora pri realizaciji transportne mreže koriste se jednačine koje su date u prethodnom poglavlju sa parametrima koji se zahtevaju u projektovanju. Na primeru sa slike 3 prikazaćemo nekoliko načina proširenja kapaciteta mreže.



Sl.3. Primer jedne telekomunikacione mreže.

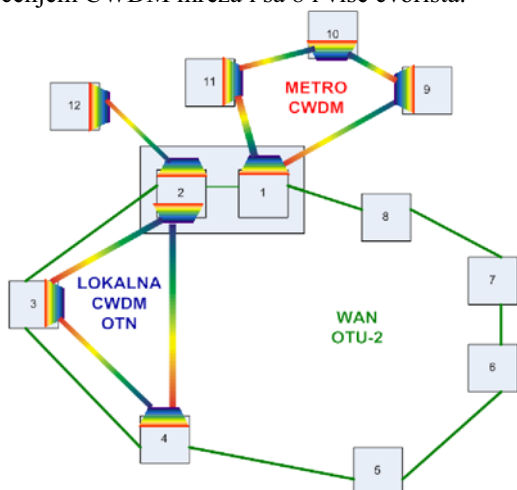
Povećanjem kapaciteta linkova pomoću OTN sistema gde po jednom interfejsu OTU2 imamo protok klijentskog saobraćaja od 10Gb/s (slika 4). U čvorovima mreže koji poseduju Iritelove ODS2G5 sisteme, a imaju slobodnih resursa, dodavanjem OT10G-2 jedinice u sistem povećavaju se kapaciteti linijskih interfejsa u datom primeru četiri puta. Ukoliko nema slobodnih resursa u postojećim sistemima ili su potrebni veći kapaciteti sistema, koriste se ODS10G Iritel sistemi u varijantama koja zadovoljava potrebe mreže. U okviru jedne OT10G-2 jedinice postoje dva softverski programabilna 10Gb/s interfejsa. Dometi koji se pri tom ostvaruju su do 100km između čvorova sistema.

Na samom OTN Iritelovom sistemu realizovani su multifunkcionalni klijentski portovi pomoću kojih je moguće mapirati različite tipove signala: PDH, SDH (STM-1/4/16/64), Ethernet (FE, GbE, 10GbE LAN, 10GbE WAN), video (DVB-ASI, HD-SDI), Fiber Channel (FC-100, 200,...), ESCON, FICON, OTN (OTU1).



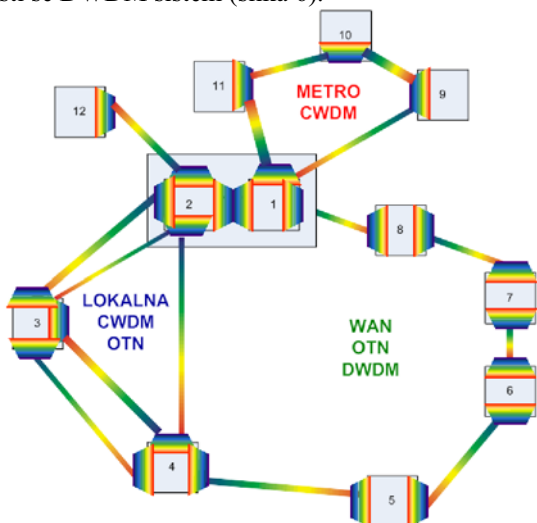
Sl.4. Proširenje mreže sa OTN sistemom.

Moguće je proširenje kapaciteta pomoću pasivnih WDM sistema sa WDM ili CWDM sistemima (slika 5). Na čvorištima mreže je potrebno dodati optičke predajnike odgovarajućih talasnih dužina i CWDM multipleksere/demultipleksere. Za realizaciju prstenastih struktura i lanaca koriste se OADM. U praksi se ovakva rešenja koriste za realizaciju mreža manjih dometa sa nekoliko čvorišta čiji broj zavisi od broja talasnih dužina i optičkih predajnika. Tipična primena CWDM sistema je za realizaciju tačka-tačka, lokalnih (LAN) i metro (MAN) mreža [4]. Dometi koji se postižu pri realizaciji tačka-tačka veza su reda 100km, a pri realizaciji prstenastih struktura u zavisnosti od broja čvorova u prstenu. Broj kanala koji se mogu multipleksirati su dva, četiri, osam ili šesnaest talasnih dužina. U prstenastim mrežama sa 3-4 čvora postižu se rastojanja između dve najudaljenije tačke oko 50-60km. Realizacija gradskih mreža sa rastojanjima između dve najudaljenije stanice oko 15-20km moguća je korišćenjem CWDM mreža i sa 8 i više čvorišta.



Sl.5. Proširenje mreže sa CWDM sistemom.

Ukoliko je potrebno imati veći broj talasnih dužina od mogućnosti CWDM sistema i ukoliko su potrebni veći dometi za realizaciju mreža dalekog dometa i WAN mreža koristi se DWDM sistem (slika 6).



Sl.6. Proširenje mreže sa CWDM/DWDM/OTN sistemom.

Potrebno je na postojećim mrežama dodati optičke predajnike koji rade u DWDM opsegu talasnih dužina (do 40 talasnih dužina u Iritelovim sistemima). Ukoliko nije

moguće promeniti predajnike na postojećoj opremi mogu se koristiti transponderske jedinice. Tipična realizacija mreža je u prstenastim strukturama zbog povećanja pouzdanosti i zaštitnih mehanizama. Na pojedinim trasama usled velikih rastojanja nalaze se optički pojačavači (na svakih 60-100km). Pošto se pojačavanjem signala pojačava i šum posle nekoliko deonica pojačavača potrebno je izvršiti regeneraciju signala. Zbog velikog broja talasnih dužina, operatorima se nudi i iznajmljivanje talasnih dužina klijentima ne razmatrajući vrstu signala koju klijent prenosi. U DWDM sistemima se koriste elementi navedeni u trećem poglavlju rada. Postoji mogućnost i hibridne konfiguracije u pasivnim delovima mreže gde bi se multipleksirali CWDM signali sa DWDM talasnim dužinama. Ukoliko se postepeno proširuje mreža može se doći do krajnjeg hibridnog rešenja sa korišćenjem svih tehnologija.

VI. ZAKLJUČAK

Korišćenjem CWDM/DWDM tehnologije moguće je efikasno povećati kapacitete optičkih telekomunikacionih mreža. Standardizovana OTN tehnologija prilagođena je efikasnom korišćenju WDM sistema. Radi pravog odabira brzina interfejsa, WDM sistema i topologije mreža, moraju se proračunati parametri mreže i ograničavajući faktori. Pravci proširenja kapaciteta postojećih optičkih telekomunikacionih mreža korišćenjem Iritelovih sistema prenosa mogu biti u nekoliko pravaca: upotrebom OTN sistema, WDM, CWDM ili DWDM sistema ili kombinacijom više tehnologija.

ZAHVALNICA

Ministarstvu nauke Republike Srbije koje je delimično finansiralo rad na projektu TR-11036 „Multiservisna SDH/Ethernet/CWDM/OADM platforma za prenos 2,5Gbps / 1000baseT/X saobraćaja”.

LITERATURA

- [1] ITU-T Recommendation “G.694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid”.
- [2] ITU-T Recommendation “G.694.2: Spectral grids for WDM applications: CWDM frequency grid”.
- [3] ITU-T Recommendation “G.709: Interfaces for Optical Transport Network (OTN)”.
- [4] Tehnička dokumentacija „Optički sistemi prenosa ODS10G Iritel“, Beograd 2010.

ABSTRACT

The paper provides an overview of commercial and standardized technology for multiplexing optical signals on wavelengths. The description of a general scheme WDM system with all elements that are used in WDM/CWDM/DWDM networks and the role of OTN technology in these systems is presented. The limiting factors and calculations in the design of the WDM system is described. Finally, it is presented possible applications based on xWDM Iritel’s products.

CAPACITY EXPANSION OF OPTICAL TELECOMMUNICATION NETWORKS USING xWDM Iritel SYSTEM

Vladimir Kostić, Predrag Mićović, Ninko Radivojević