

Modelovanje i simulacija prenosa signala kroz optičko vlakno G.652 u okviru DWDM mreže

Petar Spalević / Branimir Jakšić / Đoko Bandur
 Departman za Elektrotehničko i računarsko inženjerstvo
 Fakultet tehničkih nauka
 Kosovska Mitrovica, Srbija
 petarspalevic@yahoo.com / branimir.jaksic@pr.ac.rs

Aleksandar Marković
 Departman za Telekomunikacije
 Elektronski fakultet
 Niš, Srbija
 acomarkovic87@yahoo.com

Vladislav Simić
 Sektor NOC
 Telekom Srbija
 Beograd, Srbija
 vladislavs@telekom.rs

Sadržaj — U radu je primenom softvera OptiSystem izvršena simulacija DWDM optičke mreže sastavljene od optičkog vlakna G.652. Prikazan uticaj termičkog šuma PIN fotodektora i broja DWDM kanala na kvalitet prenosa. Kao mera kvaliteta korišćen je BER parametar i optički Q-faktor. Na osnovu dobijenih rezultata razmatrano je kako se menja kvalitet prenosa i uticaj termičkog šuma sa promenom broja pojačavačkih deonica i broja kanala. Posmatrana su dva slučaja protoka po kanalu: 2.5 Gb/s i 10 Gb/s. Grafički su prikazane promene Q-faktora za različite vrednosti termičkog šuma, broja pojačavačkih deonica i broja DWDM kanala.

Ključne riječi - DWDM kanal, termički šum, Q-faktor, BER parametar

I. UVOD

WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) je tehnologija koja multipleksira više optičkih nosioca signala kroz jedno optičko vlakno koristeći različite talasne dužine za prenos različitih informacija. DWDM sistemi omogućavaju proširenje postojećih kapaciteta bez polaganja dodatnih optičkih kablova. Kapacitet postojećeg sistema se proširuje korišćenjem multipleksera i demultipleksera na krajevima sistema [1, 2]. Najmanje slabljenje u optičkom vlaknu se postiže na talasnoj dužini od 1550 nm, odnosno korišćenjem "trećeg optičkog prozora" [3]-[6]. Za uspešan prenos optičkog signala na velike razdaljine koriste se pojačavači na bazi erbijumski dopiranih vlakana (EDFA - Erbium Doped Fiber Amplifier). EDFA je raspoloživ u C i L prozorima ali u dosta uskom opsegu (1530-1560 nm) [3, 4]. EDFA može pojačati onoliko optičkih signala koliko ih se može multipleksirati u dotičnom opsegu sve dotle dok prima dovoljno jak signal.

Termički šum (poznat pod nazivom Džonson-Nikvistov šum) je električni šum nastao toplotnim (Braunovim) kretanjem elektrona unutar električnog provodnika bez ikakvog spoljnog uticaja. Ovaj šum se javlja bez obzira na primenjeni

spoljašnji napon za razliku od drugih izvora šumova. Varijansa ovog šuma se može dati izrazom [3, 4]:

$$\sigma_T^2 = \frac{4k_B T}{R_L} F_n \Delta f \quad (1)$$

gde je k_B Bolcmanova konstanta, T apsolutna temperatura, R_L otpornost, Δf efektivni propusni opseg šuma, a F_n predstavlja faktor doprinosa koji se dodaju termičkom šumu na ulazu od strane raznih otpornosti u glavnom pojačavaču.

Performanse optičkog komunikacionog sistema su specificirane BER-om (Bit Error Ratio). To je verovatnoća da se impuls interpretira nekorektno (tj. logička '1' detektuje kao '0' i obrnuto). Vrednost BER-a zavisi od karakteristika laserskog izvora i prenosnog puta. Sa porastom bitskih protoka u optičkim sistemima, kako sa standardnim monomodnim optičkim vlaknima tako i sa vlaknima specijalne namene, uticaji pojačane spontane emisije, disperzije polarizacionog moda, hromatske disperzije, nelinearnosti optičkog vlakna i šuma u prijemniku su sve veći, pa samim tim merenje BER-a postaje sve duže u cilju dobijanja što adekvatnijih rezultata [3, 4, 7].

Kriterijum koji se obično primenjuje kod optičkih prijemnika je da BER bude manji od 10^{-9} . Za fluktuirajući signal primljen na kolu za odlučivanje, odlučivanje o uzorcima određeno je u trenutku t_D . Semplovana vrednost I varira od bita do bita oko srednje vrednosti I_1 ili I_0 , u zavisnosti da li bit odgovara 1 ili 0 u prenosu bitova. Kolo za odlučivanje vrši poređenje semplovane vrednosti sa vrednošću praga I_D i naziva je bit 1 ako je $I > I_D$ ili bit 0 ako je $I \leq I_D$. Greška se javlja ako je $I \leq I_D$ za bit 1 zbog šuma u prijemniku, ili ako je $I > I_D$ za bit 0. Obe vrste grešaka doprinose ukupnoj verovatnoći greške kao [3, 4]:

$$BER = p(1)P(0/1) + p(0)P(1/0), \quad (2)$$

gde su $p(1)$ i $p(0)$ verovatnoća prijema bitova 1 i 0, respektivno, $P(0/1)$ je verovatnoća da je detektovana 0 kada je

poslata 1, a $P(1/0)$ je verovatnoća detektovanja 1 kada je poslata 0. Ukoliko je verovatnoća pojavljivanja bita 1 i 0 jednaka onda je $p(1)=p(0)=1/2$, pa BER postaje

$$BER = \frac{1}{2} [P(0/1) + P(1/0)]. \quad (3)$$

BER sa optimalnim podešavanjem praga odlučivanja zavisi samo od Q parametra:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \approx \frac{\exp(-Q^2/2)}{Q\sqrt{\pi}}, \quad (4)$$

gde je erfc komplementarna funkcija greške [8], definisana sa:

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} \exp(-y^2) dy. \quad (5)$$

Parametar Q može se napisati u obliku [3], [4]:

$$Q = \frac{I_0 + I_1}{\sigma_0 + \sigma_1}, \quad (6)$$

gde su σ_1^2 i σ_0^2 odgovarajuće varijanse šuma za simbole 1 i 0, respektivno.

softverskog paketa OptiSystem [9]. Korišćeno je optičko vlakno G.652 [10]. Mreža se sastoji od optičkog izvora, DWDM multipleksera, optičkog vlakna, EDFA pojačavača, WDM demultipleksera i optičkog prijemnika [11]. Modelovana DWDM optička mreža je prikazana na Sl. 1.

Posmatra se optička DWDM mreža u trećem optičkom prozoru i čiji je protok po kanalu 2.5 Gb/s i 10 Gb/s i slučajevi sa 4, 8, 16 i 32 DWDM kanala.

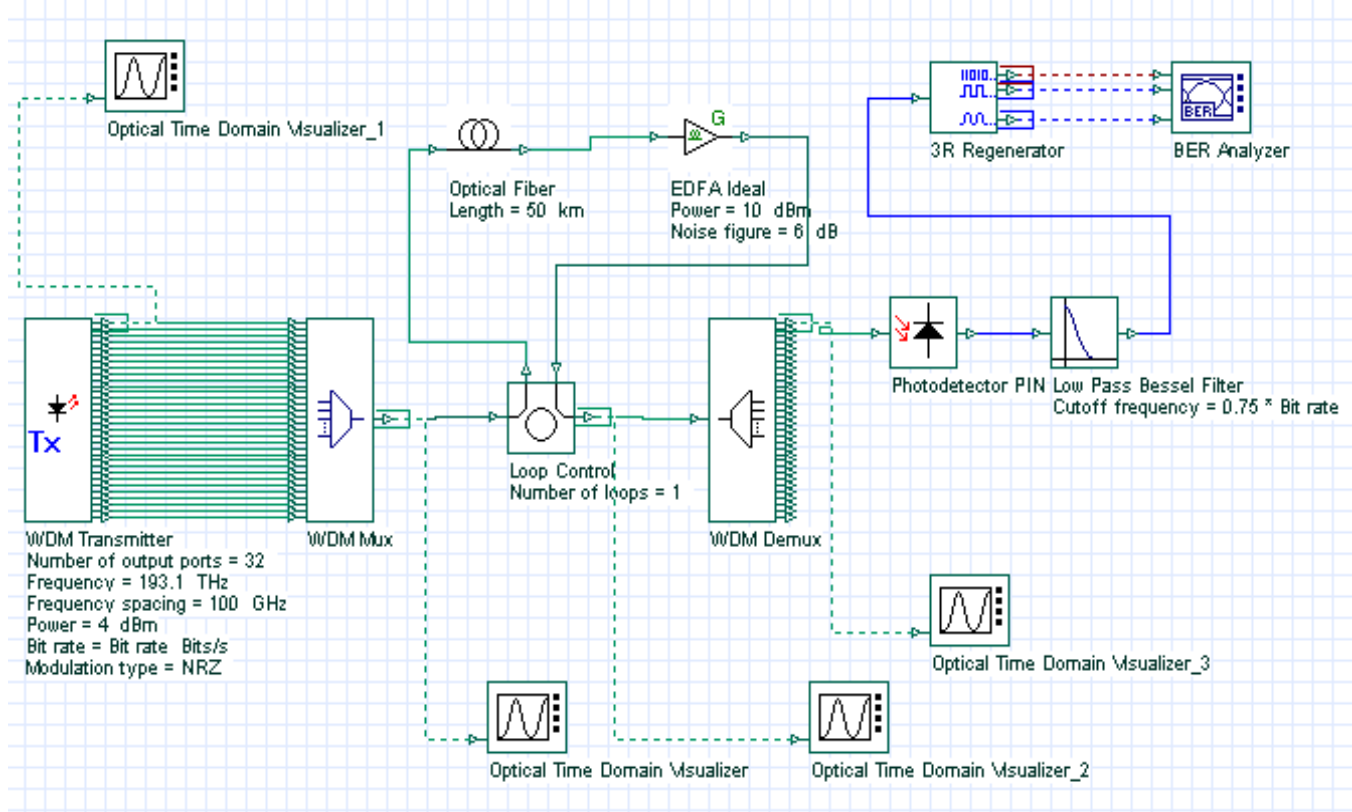
Sistem radi u trećem optičkom prozoru pa su frekvencije WDM kanala sledeće: prvi kanal 193.1 THz, drugi kanal 193.2 THz, treći kanal 193.3 THz, itd., odnosno kanali rade na talasnim dužinama 1552.524 nm, 1551.721 nm, 1550.918 nm, itd., respektivno. Frekvencija svakog kanala je razdvojena od susednih za 100 GHz.

Pojačavači su postavljeni na rastojanjima od 50 km, a broj pojačavačkih deonica se menja od 1 do 10 kako bismo uočili uticaj dužine deonice na kvalitet prenosa signala. U pomenutom opsegu talasnih dužina nosioca slabljenje je gotovo konstantno i iznosi 0.2 dB/km.

Na prijemnoj strani signali dolaze do demultipleksera, koji ima obrnutu funkciju od multipleksera i čiji kanali rade na istim frekvencijama kao i kanali multipleksera.

II. MODEL SISTEMA

DWDM optičke mreža je modelovana upotrebom



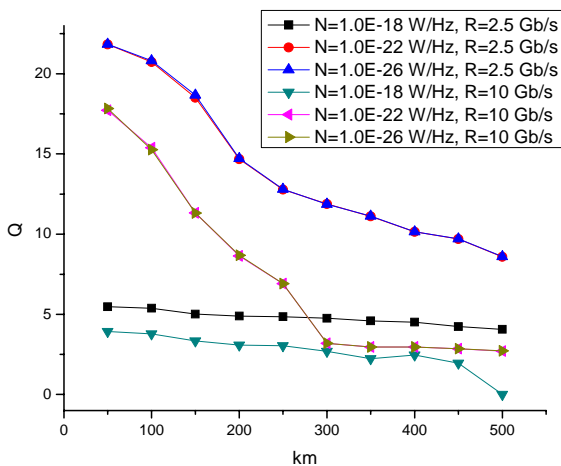
Slika 1. Modelovana DWDM optička mreža u softveru OptiSystem

Na izlazu demultipleksera nalazi se optički prijemnik. Optički prijemnik se sastoji od tri elementa: PIN fotodetektora, niskopropusnog Beselovog filtra i 3R regeneratora. Termički šum se menja u PIN fotodetektoru u rasponu od 10^{-26} W/Hz do 10^{-18} W/Hz. Optički prijemnici obično imaju opseg termičkog šuma u granicama 10^{-24} W/Hz do 10^{-20} W/Hz.

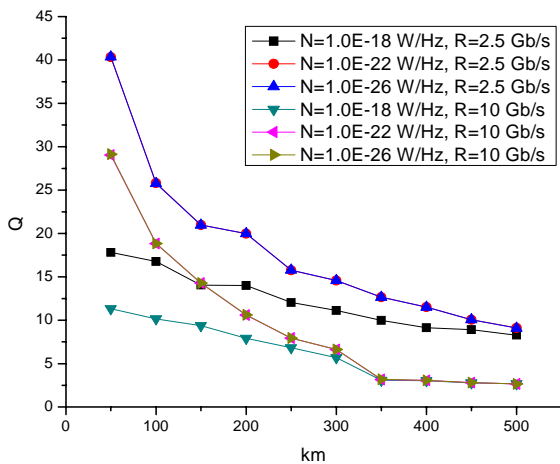
Na prijemniku je postavljen BER analizador kako bi se utvrdilo koliko iznosi BER i Q-faktor, na osnovu kojih se mogu utvrditi performanse sistema za prenos.

III. REZULTATI SIMULACIJE

Na Sl. 2 i Sl. 3 prikazana je promena Q faktora pri protoku od 2.5 Gb/s i 10 Gb/s po kanalu za vrednosti termičkog šuma od 10^{-18} W/Hz i 10^{-22} W/Hz na pojačavačkim deonicama od 50 km, a za 8 i 32 kanala.



Slika 2. Promena Q-faktora za 8-kanalnu DWDM mrežu



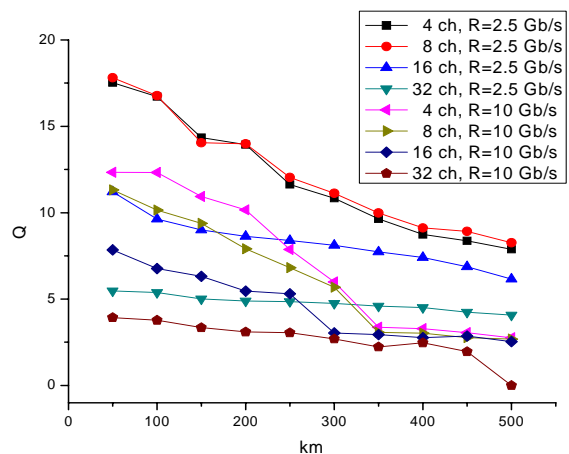
Slika 3. Promena Q-faktora za 32-kanalnu DWDM mrežu

Sa datih slika možemo videti da bez obzira koliki je broj DWDM kanala i koliki je protok po kanalu, promena Q faktora je identična za niže vrednosti termičkog šuma. Takođe, pad Q-

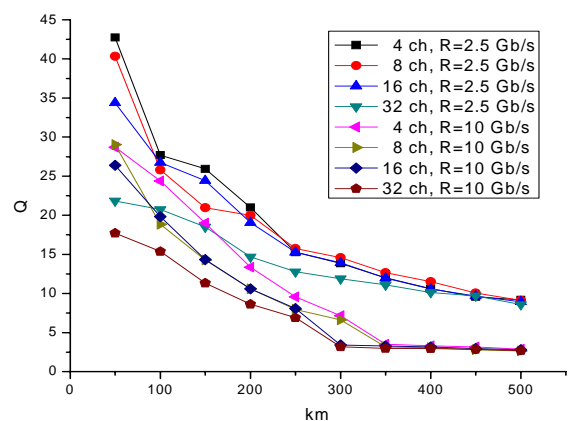
faktora znatno je izraženiji kod nižih vrednosti termičkog šuma nego kod viših vrednosti. Varijacije pada i rasta Q-faktora pri termičkom šumu od 10^{-18} W/Hz znatno su izraženije kod viših bitskih protoka.

Na Sl. 4 i Sl. 5 prikazana je promena Q faktora za različiti broj DWDM kanala pri termičkom šumu od 10^{-18} W/Hz i 10^{-22} W/Hz, respektivno.

Sa Sl. 4 možemo videti da sa porastom broja kanala i protoka po kanalu opada vrednost Q faktora. Uzimajući u obzir da se kvalitetan prenos ostvaruje sa $Q > 6$, možemo videti da u slučaju protoka 2.5 Gb/s po kanalu, a za vrednost termičkog šuma od 10^{-18} W/Hz kvalitetan prenos se ostvaruje za sve pojačavačke deonice za broj kanala 4 i 8, dok je za 16-kanalnu mrežu kvalitetan prenos delimično ostvaren. U slučaju 32 kanala kvalitetan prenos se ne ostvaruje. Pri protoku od 10 Gb/s delimičan kvalitetan prenos se ostvaruje u slučaju 4 i 8 kanala, dok za 16 i 32 kanala kvalitetan prenos ne postoji. U slučaju smanjene vrednosti termičkog šuma od 10^{-22} W/Hz kvalitetan prenos pri protoku od 2.5 Gb/s je ostvaren za 4, 8, 16 i 32 kanala za sve pojačavačke deonice.



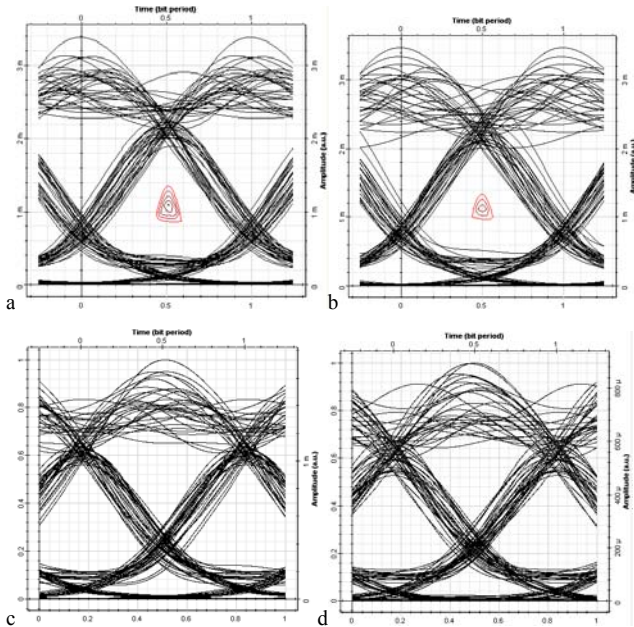
Slika 4. Promena Q-faktora pri termičkom šumu od 10^{-18} W/Hz



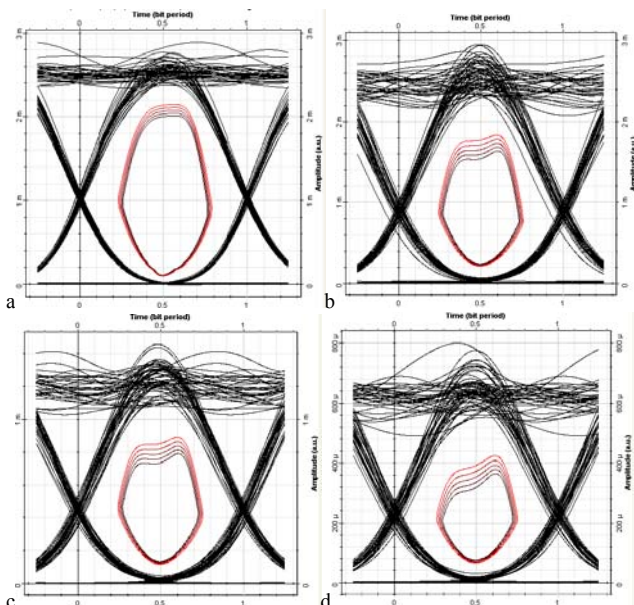
Slika 5. Promena Q-faktora pri termičkom šumu od 10^{-22} W/Hz

Pri protoku od 10 Gb/s po kanalu kvalitetan prenos ostvaren je na delimičnom broju pojačavačkih deonica, za razliku od slučaja kada je pri termičkom šumu od 10^{-18} W/Hz delimičan kvalitetan prenos ostvaren samo 4 i 8 kanala.

Na Sl. 6 dat je izgled dijagrama oka za slučaj prenosa od 10Gb/s po kanalu i 6 pojačavačkih deonica, a za broj kanala 4, 8, 16 i 32, a na Sl. 7 dijagram oka za slučaj prenosa od 2.5 Gb/s. Zatvorene krive predstavljaju sektore BER vrednosti od 10^{-8} do 10^{-12} . Otvor oka odgovara promeni Q-faktora na Sl. 5.



Slika 6. Dijagram oka pri prenosu 10 Gb/s za: a) 4, b) 8, c) 16 i d) 32 kanala



Slika 7. Dijagram oka pri prenosu 2.5 Gb/s za: a) 4, b) 8, c) 16 i d) 32 kanala

IV. ZAKLJUČAK

Simulacijom optičke DWDM mreže sa G.652 vlaknom prikazan je uticaj termičkog šuma u prijemniku i broj DWDM kanala na kvalitet prenosa koristeći BER parametar i Q faktor. Bez obzira na broj DWDM kanala i veličinu protoka po kanalu, promena Q faktora se malo razlikuje za niže vrednosti termičkog šuma. Sa porastom broja kanala i protoka po kanalu opada vrednost Q faktora. Pri nižim protocima po kanalu kvalitetan prenos je moguće ostvariti na svim pojačavačkim deonicama. Sa porastom protoka smanjuje se broj deonica na kojima je moguće ostvariti kvalitetan prenos.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je napisan u okviru istraživanja na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije TR 32023 i TR35026.

LITERATURA

- [1] R. Ramaswami and K. Sivarajan, Optical Networks: A Practical Perspective, 2nd ed., Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2002.
- [2] J. Zysskind, R. Berry, Optical Fiber Telecommunications IV, Vol. B, Academic Press, San Diego, CA, 2002
- [3] G.P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, 2nd Ed., 2001.
- [4] G. Agrawal, Fiber-Optic Communication Systems, Wiley, 3rd Ed., 2002.
- [5] K. M. Sivalingam and S. Subramaniam, Optical WDM Networks: Principles and Practice, Kluwer Academic, Norwell, MA, 2000.
- [6] B. M. T. Fatehi and M. Wilson, Optical Networking with WDM, McGraw-Hill, New York, 2001.
- [7] C. Lester, K. Bertilsson, K. Rottwitt, P. A. Andrekson, M. A. Newhouse, and A. J. Antos, Electron, 1995.
- [8] M. Abramowitz, I. A. Stegun, Eds., Handbook of Mathematical Functions, Dover, New York, 1970.
- [9] <http://www.optiwave.com>.
- [10] ITU-T, Transmission media and optical systems characteristics – Optical fibre cables Characteristics of a single-mode optical fibre and cable G.652, Switzerland, Geneva, 2010.
- [11] P. Spalevic, D. Milic, B. Jaksic, M. Petrovic and I. Temelkovski, "Simulation influence of the thermal noise of PIN photodetector on performance DWDM optical network", ICEST 2012, Veliko Tarnovo, Bulgaria.

ABSTRACT

In this paper, with the software OptiSystem made simulation of DWDM optical network consisting of optical fiber G.652. Presented influence of PIN photodetector thermal noise and number of channels on transmission quality of a simulated DWDM network. We use BER and optical Q-factor as indicators of transmission quality. Based on the obtained results, we analyze the influence of thermal noise and number of DWDM channels in the case of bit rates of 2.5 Gb/s and 10 Gb/s per channel. The change in Q-factor is shown for different values of thermal noise, number of DWDM channels, number and lengths of amplifying section.

MODELING AND SIMULATION OF SIGNAL TRANSMISSION THROUGH OPTICAL FIBER G.652 IN THE DWDM NETWORK

Petar Spalević, Branimir Jakšić, Đoko Bandur, Aleksandar Marković, Vladislav Simić