

**СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА 8-КАНАЛНА
WDM СИСТЕМА****SIMULATION MODELING AND RESEARCH OF 8-CHANNEL
WDM SYSTEM****Stanimir Sadinov***Technical University of Gabrovo, Bulgaria***Abstract**

The report presents the realization of a simulation model of a 8-channel Optical Communication Line with Spectral Multiplexing (WDM) to research the parameters and characteristics of the transmitted optical signals and to solve optimization problems related to concrete examples. The model has a wide range of possibilities to research the influence of optical setup parameters, to determine the system's energy budget when changing its configuration, to examine various effects in the transmission and processing of optical signals, and to conveniently evaluate the parameters and characteristics of the optical signals through graphical and digital visualization. Numerous results have been received, which have been analyzed and can be used in the training of students as well as in solving practical problems in the design of optical telecommunication networks.

Keywords: WDM, BER, P_{TX} , Q-factor, Mux, CW laser, EDFA, OSNR, Simulation model.

ВЪВЕДЕНИЕ

Преимствата на предаване чрез използване на оптично усилване на сигнала и вариантите на мултиплексиране по дължина на вълната (WDM) промениха значително концепцията на изграждане на оптичните мрежи [1-4, 7, 8, 10, 12, 13]. В днешно време оптичните линии за връзка се използват практически във всякакви мащаби – от корпоративни мрежи и мрежи за достъп до трансконтинентални линии за връзка. Анализ на развитието на дължините на линиите за връзка показва, че в качеството на среда за предаване на информация оптичното влакно няма друга алтернатива [5, 6, 9, 11].

Текущо в България широко и активно се развиват оптичните магистрални транспортни мрежи. При голяма част от операторите съществува развита инфраструктура, но увеличаването на скоростта за достъп на абонатите до мрежата и пакетното предаване на информацията предявяват нови изисквания към проектирането на този тип комуникационни мрежи.

ИЗЛОЖЕНИЕ**РЕАЛИЗАЦИЯ НА СИМУЛАЦИОНЕН
МОДЕЛ НА 8-КАНАЛНА WDM
СИСТЕМА**

Тук е представена реализацията на симулационен модел на 8-канална WDM система за изследване на параметрите и характеристиките на предаваните оптични сигнали и решаване на оптимизационни задачи, като са представени конкретни примери от практиката.

Първата стъпка е да се въведат глобални параметри за целия симулационен модел. Това се извършва в следната последователност:

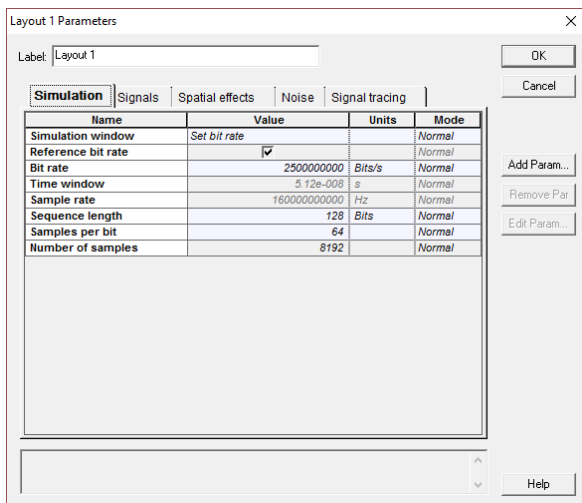
За да се визуализират глобалните параметри е необходимо да се кликне два пъти върху работното поле и изведе работният екран, представен на фиг. 1.

За този симулационен модел се задават следните глобални параметри (фиг. 1):

– Скорост на предаване (bit rate):
2500000000 Bits/s (2,5 Gbps)

– Продължителност на симулацията (Time

- window): $5,12 \cdot 10^{-8}$ s;
- Честота на дискретизацията (Sample rate): 160 GHz;
- Дължина на последователността (Sequence length): 128 бита;
- Брой дискрети за бит (Samples per bit): 64;
- Брой дискрети (Number of samples): 8192.



Фиг. 1. Глобални параметри

За реализация на 8-канална WDM система е необходимо да се мултиплексират/демуплексират оптичните сигнали от 8 отделни източника на оптичен сигнал. За целта се създадени 8 външно модулирани оптични предаватели, всеки от тях съдържащ лазерен източник на оптичен сигнал, източник на цифров електрически сигнал, кодер на електрическия сигнал в NRZ код и Мах-Зендер модулатор на оптичния сигнал. За да се извърши мултиплексирането на сигналите от 8-те оптични предавателя, то всеки от тях трябва да е на различна честота/дължина на вълната в диапазона на 1550 nm. Настройките на честота/дължина на вълната за всеки от оптичните предаватели е обобщена в Таблица 1.

Получените 8 модулирани оптични сигнали на различна дължина на вълната в диапазона на 1550 nm трябва да се мултиплексират спектрално, което се извършва чрез използване на WDM мултиплексор – блок WDM Mux 8x1.

Блок WDM 8x1 мултиплексор се намира в следната библиотека: Component Library/Default/ WDM Multiplexers Library/ Multiplexers.

Дължината на всеки усилвателен участък се задава чрез дължината на оптичното

влакното в блок Optical Fiber (наличен в Component Library/Default/ Optical Fibers Library). Дължината на оптичното влакно за целите на симулационния модел е 100 km. Настройките на блок оптично влакно са следните:

- затихване: 0,2 dB/km;
- дисперсия: 17 ps/nm/km;
- ефективна площ на влакното: $80 \mu\text{m}^2$;
- коефициент на пречупване на влакното: $n_2 = 2,6 \cdot 10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$;
- дължина на влакното 100 km.

Таблица 1. Настройки на честота / дължина на вълната на оптичните предаватели в 8-каналната WDM система

| Оптичен предавател | Дължина на вълната, nm | Честота, THz |
|--------------------|------------------------|--------------|
| CW laser 0 | 1552,52438115 | 193,1 |
| CW laser 1 | 1551,720797101 | 193,2 |
| CW laser 2 | 1550,91804449 | 193,3 |
| CW laser 3 | 1550,116122027 | 193,4 |
| CW laser 4 | 1549,315028424 | 193,5 |
| CW laser 5 | 1548,514762397 | 193,6 |
| CW laser 6 | 1547,715322664 | 193,7 |
| CW laser 7 | 1546,916707946 | 193,8 |

Усилването във всеки усилвателен участък се осъществява от EDFA усилвател (блок EDFA Ideal) (наличен в Component Library/Default/ Amplifiers Library/ Optical/ EDFA/Optical Amplifier). Настройките на блок оптичен EDFA усилвател са следните:

- Усилване на усилвателя: 20 dB;
- Изходно оптично ниво по мощност: 4 dBm;
- Шумов коефициент: 6 dB.

За създаване на един оптичен приемник са необходими следните блокове:

- PIN фотодетектор (блок Photodetector PIN) който се намира в следната библиотека: Component Library/Default/ Receivers Library/ Photodetectors;
- Нискочестотен филтър на Бесел (блок Low Pass Bessel Filter) който се намира в следната библиотека: Component Library/Default / Filters Library / Electrical.

Свързване на измервателните уреди

Разположението на измервателните уреди в модела може да се види в пълната схема, представена на фиг. 2.

За изследването ще бъдат използвани следните уреди:

- Визуализатор на оптичния сигнал във времевата област (Optical Time Domain Visualizer);
- Оптичен спектрален анализатор (Optical Spectrum Analyzer);
- Анализатор на BER (BER Analyzer)
- WDM Анализатор (WDM Analyzer);
- Измервател на оптична мощност (Optical Power Meter).

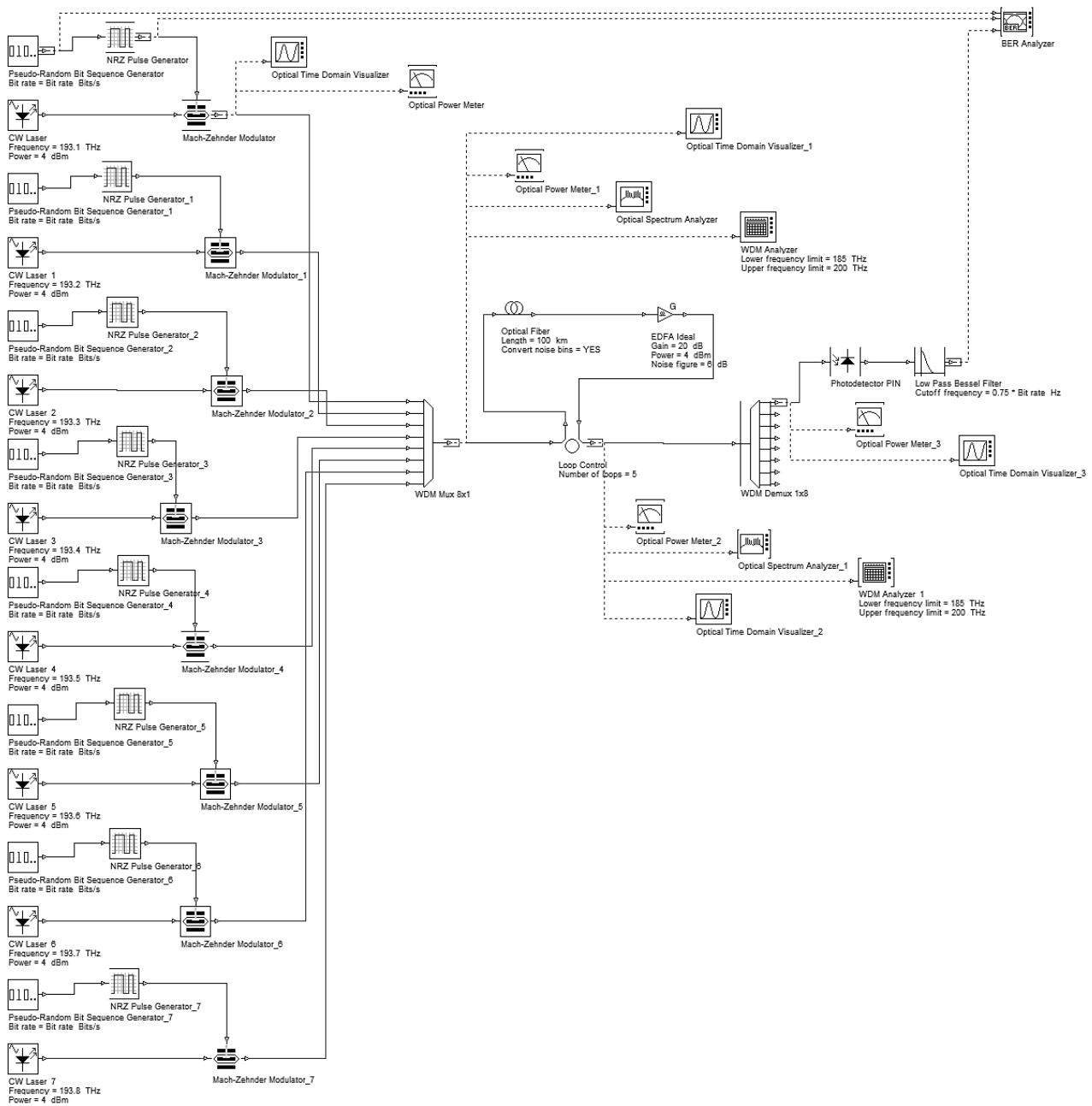
Всички оптични визуализатори се намират в следната библиотека: Component Library/ Default/ Visualizer

Library/Optical.

BER Analyzer се намира в следната библиотека: Component Library/ Default/ Visualizer Library/ Electrical.

Чрез BER анализаторът може да се изведат следните общи параметри на канала от край до край (от оптичния предавател до оптичния приемник за даден канал):

- Q-факторът на канала;
- Минималната стойност на BER;
- Око-диаграмата на канала;
- Праговото ниво за определяне на лог. 0 и лог. 1 в канала.



Фиг. 2. Пълен вид на симулационния модел на 8-канална оптична комуникационна линия със спектрално мултиплексиране

Чрез оптичния визуализатор във време-вата област може да се види изменението на формата на оптичния сигнал във времето.

Чрез измервателя на оптичната мощност се измерва нивото по мощност на оптичния сигнал (във W или dBm) в избрани точки от оптичния канал.

Оптичният WDM анализатор извежда таблични резултати включващи следната информация:

- Честота/дължина на вълната на всяка подносеца в мултиплексирания сигнал;
- Нивото по мощност за всяка подносеца в мултиплексирания сигнал;
- Шумовото ниво за всяка подносеца в мултиплексирания сигнал;
- Оптичното отношение сигнал/шум (OSNR) за всяка подносеца в мултиплексирания сигнал;
- Обобщена информация за min/max стойности на горните параметри.

На фиг. 2 е показана вече реализираната пълна схема, с помощта на която са реализирани симулационните изследвания на изследването на 8-канална WDM система.

Реално са реализирани няколко различни случая на изследване, чиято цел е да се решат различни оптимизационни задачи в търсене на най-добри параметри при определена конфигурация на канала в комуникационната линия.

За всяко от изследванията се търси оптимална стойност на един определен параметър при фиксирани стойности на дадени параметри и изменение на точно определени параметри. Оптималната стойност на параметъра се определя на базата на зададен за всяко изследване критерий.

Основните критерий по отношение на оптичните комуникационни линии със спектрално мултиплексиране са:

- зададена допустима стойност на BER: приема се $BER = 1 \cdot 10^{-12}$;
- стойност на Q-фактора при допустима стойност на BER: $Q > 6$;
- оптичното отношение сигнал/шум OSNR: $OSNR > 12$;
- оптично ниво по мощност.

Като допълнителни критерии при оценката на параметрите на системата се използват основните характеристики на оптич-

ния сигнал:

- разтвор на око-диаграмата – пряко свързан с BER и Q-фактора на системата);
- спектрална диаграма на оптичния сигнал - за оценка на влиянието на различни ефекти като дисперсията на сигнала, четиривълновото смесване при многоканален режим и нивото на шумовете в канала);
- диаграма във времевата област на оптичния сигнал - за оценка на междусимволната интерференция, групо-вото време на закъснение и др.

Изследванията се извършват в следната последователност:

1) Изследване за определяне на оптималната излъчвана мощност на каналния оптичен предавател P_{TX} :

При фиксиран брой усилвателни участъци $N_{AS} = 5$ и фиксирана дължина на всеки усилвателен участък $l_{AS} = 100 \text{ km}$ (обща дължина на оптичната линия $L = 500 \text{ km}$), се търси оптималната стойност на излъчената от оптичния предавател оптична мощност P_{TX} . Изследването се извършва за две различни стойности на коефициента на усилване на оптичния EDFA усилвател: $G = 20 \text{ dB}$ и $G = 18 \text{ dB}$. Критерий са измерените стойности на Q-фактора, BER, приетата оптична мощност P_{RX} от оптичния приемник, стойността на OSNR, времевата и спектралната диаграми на оптичния сигнал.

2) Изследване за определяне на оптималния коефициент на усилване G на оптичния EDFA усилвател:

При фиксиран брой усилвателни участъци $N_{AS} = 5$ и фиксирана дължина на всеки усилвателен участък $l_{AS} = 100 \text{ km}$ (обща дължина на оптичната линия $L = 500 \text{ km}$), се търси оптималната стойност на коефициента на усилване G на оптичния EDFA усилвател. Изследването се извършва за две различни стойности на излъчената от оптичния предавател оптична мощност: $P_{TX} = 0 \text{ dBm}$ и $P_{TX} = 3 \text{ dBm}$. Критерий са измерените стойности на Q-фактора, BER, приетата оптична мощност P_{RX} от оптичния приемник, стойността на OSNR, времевата и спектралната диаграми на оптичния сигнал.

3) Изследване за определяне на оптималната дължина l_{AS} на един усилвателен

участък:

При фиксиран брой усилвателни участъци $N_{AS} = 5$ и фиксирана стойност на коефициента на усилване на оптичния EDFA усилвател $G = 20 \text{ dB}$, се търси оптималната дължина на всеки усилвателен участък l_{AS} . Изследването се извършва за две различни стойности на излъчената от оптичния предавател оптична мощност: $P_{TX} = 0 \text{ dBm}$ и $P_{TX} = 3 \text{ dBm}$. Критерий са измерените стойности на Q-фактора, BER, приетата оптична мощност P_{RX} от оптичния приемник, стойността на OSNR, времевата и спектралната диаграми на оптичния сигнал.

4) Изследване за определяне на максималния брой усилвателни участъци N_{AS} :

При фиксирана дължина на всеки усилвателен участък $l_{AS} = 100 \text{ km}$ и фиксирана стойност на коефициента на усилване на оптичния EDFA усилвател $G=20\text{dB}$ се търси максималния брой усилвателни участъци N_{AS} . Изследването се извършва за две различни стойности на излъчената от оптичния предавател оптична мощност: $P_{TX} = 0 \text{ dBm}$ и $P_{TX} = 3 \text{ dBm}$. Критерий са измерените стойности на Q-фактора, BER, приетата оптична мощност P_{RX} от оптичния приемник, стойността на OSNR, времевата и спектралната диаграми на оптичния сигнал.

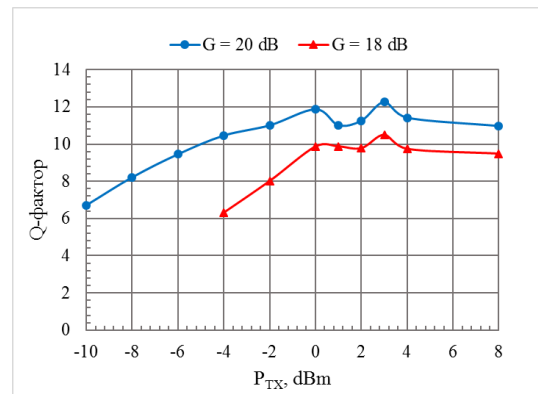
ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА СИМУЛАЦИОННИЯ МОДЕЛ НА 8-КАНАЛНА WDM СИСТЕМА

Тук ще бъде представено детайлно изследване на модела на 8-канална оптична WDM комуникационна линия, свързано с определяне на оптималната излъчвана мощност P_{TX} на каналния оптичен предавател

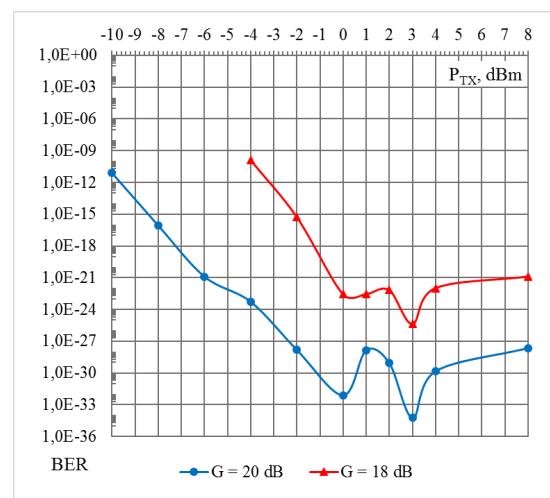
Първата стъпка е при брой усилвателни участъци $N_{AS} = 5$ и фиксирана дължина на всеки усилвателен участък $l_{AS} = 100 \text{ km}$ (обща дължина на оптичната линия $L = 500 \text{ km}$), да се определи каква ще бъде оптималната стойност на излъчената от оптичния предавател оптична мощност P_{TX} . Изследването се извършва за две различни стойности на коефициента на усилване на оптичния EDFA усилвател: $G = 20 \text{ dB}$ и $G = 18 \text{ dB}$.

Резултатите от изследването са представени графично на фиг. 3, 4 и 5.

При зададена допустима стойност $BER = 1.10^{-12}$ ($Q > 6$) от таблица 2 се вижда, че при зададения брой и дължина на усилвателните участъци и двата коефициента на усилване на оптичните EDFA усилватели, оптична мощност на предавателя P_{TX} може да варира в широки граници от -10 dBm до 8 dBm .

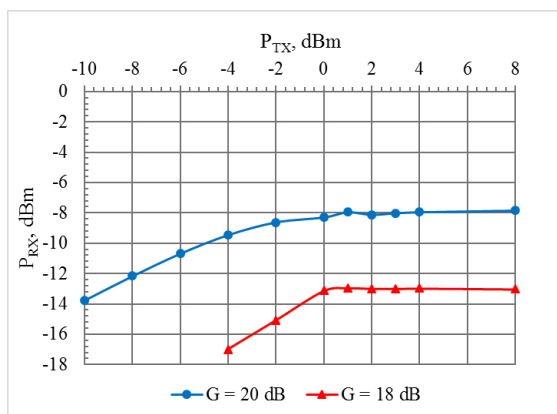


Фиг. 3. $Q = f(P_{TX})$ при $l_{AS} = 100 \text{ km}$ и $N_{AS} = 5$



Фиг. 4. $BER = f(P_{TX})$ при $l_{AS} = 100 \text{ km}$ и $N_{AS} = 5$

Въпреки това от фиг. 3 и фиг. 4 се вижда ясно, че в графиките на Q-фактора и респективно на BER има две характерни точки при мощност на оптичния предавател $P_{TX} = 0 \text{ dBm}$ и $P_{TX} = 3 \text{ dBm}$, което определя двете мощности и в частност втората като най-подходящи при дадените входни данни за трасето.



Фиг. 5. $P_{RX} = f(P_{TX})$ при $l_{AS} = 100$ km и $N_{AS} = 5$

От графичните зависимости на фиг. 5 се вижда, че за мощности на оптичния предавател P_{TX} по-големи от 0dBm, оптичния приемник влиза в режим на насищане, което не води до подобряване на качеството на приемане на оптичния сигнал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработеният симулационен модел за изследване на 8-канална оптична комуникационна линия със спектрално мултиплексиране разполага с широки възможности за изследване на влиянието на параметрите на настройка на оптичното оборудване, определяне на енергийния бюджет на системата при промяна на нейната конфигурация, изследване на различни ефекти при предаването и обработката на оптичните сигнали, както и удобна оценка на параметрите и характеристиките на оптичните сигнали чрез графична им и цифрова визуализация.

В представените графични зависимости се вижда, че за по-голям коефициент на усилване G на оптичния усилвател, резултатите са видимо по-добри. Измерванията на спектъра, времедиаграмите и OSNR чрез оптичните анализатори твърде голям коефициент на усилване води до влошаване на OSNR поради голямото усилване на собствените и добавените шумове в линията и от устройствата, както и до появата на нелинейни ефекти като четиривърловото смесване на канали.

БЛАГОДАРНОСТИ

Тази публикация и изследванията в нея са реализирани по проект „Създаване на иновативни информационно - базирани образовател-

ни модули за обучение по комуникационна техника и технологии”, договор 1712E/2017 г. към УЦНИТ при ТУ-Габрово.

REFERENCE

- [1] Rabov S., L. Hristov, Optical Communications, New Knowledge, Sofia, 2002.(Bulgarian)
- [2] Nanny O., Basic Technology Spectral Differential Multiplex Channel Speakers (WDM), LIGHTWAVE russian edition №2, pp.47-52, 2004. (Russian)
- [3] Ferdinandov E., Optical Communication Systems, Tehnika Publishing, Sofia, 2007.(Bulgarian)
- [4] Angelov K., S. Sadinov, K. Koitchev, Estimation of Optical Receiver Sensitivity in HFC Network, ICEST 2011, Proc. of Papers, Vol. 1, pp.111-114, ISBN: 978-86-6125-031-6, Niš, Serbia, 2011.
- [5] Characteristics of a Cut-off Shifted Single-Mode Optical Fiber Cable, ITU-T Rec. G.654, Geneva, 1997.
- [6] Balabanova I., Prepar Measuring the Main Parameters of Optical Transfer Media – Optical Fibers and Cables, ICEST 2007, Ohrid, Makedonia, Volume 1, pp.111-112.
- [7] Gumaste A, T. Antony, DWDM Network Designs and Engineering Solutions, Cisco Press, 2002.
- [8] Girard A., Guide to WDM Technology and Testing, EXFO, 2001.
- [9] Ojima M, H. Nakano, S. Sasaki, S, Hanatani, A Dense-wavelength-division-multiplexing Optical Network System, Hitachi Review Vol. 48, No. 4, 1999.
- [10] Koitchev K., K. Angelov, S. Sadinov, Determining Bit Error Rate in Digital Optical Transmission Network Using the Q-Factor, ICEST 2010, Proc. of Papers, Vol. 1, pp.53-56, ISBN: 978-9989-786-57-0, Ohrid, Macedonia, 2010.
- [11] Optiwave. OptiSystem User’s Reference, Optical Communication System Design Software v.10, 2011.
- [12] Optiwave. OptiSystem Getting Started, Optical Communication System Design Software v.10, 2011.
- [13] Sadinov S, P. Kogias, K. Angelov, Determination of Distortion in Broadband Amplifiers for Different Standards of Signals in CATV Networks, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.11, No.17, 2016, ISSN 1819-6608, pp. 10684-10688.