शोध पत्र / Research Paper

डुओ–बाइनरी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूप पर आधारित 1–Tera Bit/s डीडब्ल्यूडीएम प्रकाशीय संचरण प्रणाली के प्रदर्शन का अनुमानः एक अनुरूपण अंतर्दृष्टि

Performance Estimation of 1–Tera Bit/s DWDM Optical Transmission System Based on Duo–Binary and DPSK Modulation Formats: A Simulative Insight

कुलदीप सिंह एवं संदीप कुमार आर्य

Kuldeep Singh and Sandeep Kumar Arya

Guru Jambheshwar University of Science and Technology, Hisar - 125001 (INDIA)

kuldeepsingh@gjust.org, arya1sandeep@gmail.com

https://doie.org/10.10427/VP.2025421040

सारांश

यह शोध पत्र 0.4 nm चैनल अन्तर वाले 25–चैनल डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली के सफल प्रदर्शन का मूल्यांकन प्रस्तुत करता है, जिससे 600 किमी. के सिंगल मोड फाइबर (SMF) पर 1.024 Tbps की कुल डाटा दर प्राप्त की जा सकती है, जो प्रकाशीय दूरसंचार में एक प्रमुख तकनीक है। प्रदर्शन को Q–फैक्टर, बीईआर, चैनलों के अन्तर, चैनल घनत्व जैसे प्रमुख कारकों के रूप में व्यक्त किया गया है। प्रणाली ने डीपीएसके के मामले में बीईआर को 10^{-8} और 10^{-9} पर और DB फॉर्मेट के मामले में बीईआर को 10^{-5} पर बनाए रखा है। प्रणाली ने डीबी–मॉड्यूलेशन के लिए 7.90–8.39 dB की सीमा में और डीपीएसके के मामले में 14.93 – 16.94 dB की सीमा में Q–फैक्टर दिखाया है। यह देखा गया है कि डीपीएसके का उपयोग करने वाली संचार प्रणाली 600 किमी. की संचरण दूरी पर डुओ–बाइनरी (DB) मॉड्युलेटेड प्रणाली की तुलना में बेहतर प्रदर्शन करती है। यह देखा गया है कि 200 किमी. की संचरण दूरी के बाद डीबी– मॉड्यूलेशन आधारित प्रणाली में प्रकाश किरण में क्षति अधिक होती है। इसलिए, डीबी–मॉड्यूलेशन आधारित प्रणाली में प्रकाश किरण की पुनःप्राप्ति ध्वनि मात्र की उपस्थिति और किसी भी हस्तक्षेप से कठिन हो सकती है। दोनों मॉड्यूलेशन योजनाएं उच्च गति प्रकाशीय संचार प्रणालियों के लिए अद्वितीय लाभ प्रदान करती हैं। अनुरूपण परिणामों के आधार पर, डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूप का उपयोग सामान्य प्रकाशीय तार पर 600 किमी. तक 1.024 Tbps की डेटा दर के साथ किया जा सकता है। इसलिए, उच्च मात्रा में डेटा की मांगों को पूरा करने और बढ़ती उपयोगकर्ता मांग का समर्थन करने के लिए डीपीएसके मॉड्यूलेशन आधारित डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली के उपयोग की सिफारिश की जा सकती है।

Abstract

This paper presents a successful performance evaluation of a 25-channel DWDM system with 0.4 nm channel spacing achieving a total data rate of 1.024 Tbps over a 600 km. single mode fiber (SMF), a leading technology in optical telecommunication. The performance is expressed in terms of key factors such as Q-factor, BER, spacing of channels, channel density. The system maintained BER at 10^{-8} and 10^{-9} in case of DPSK and BER at 10^{-5} in case of DB format. The system showed Q-factor in the range of 7.90-8.39 dB for DB and 14.93 - 16.94 dB in case of DPSK. It is observed that the communication system using DPSK performs better than the duo-binary (DB) modulated system at a transmission distance of 600 km. It is observed that the signal loss is high in DB-based system

after a transmission distance of 200 km. Hence, signal recovery may be difficult in DB-modulation based system due to noise and any interference. Both the modulation schemes offer unique advantages for high speed optical communication systems. Based on the simulated results, the DPSK modulation format can be used over normal optical fiber up to 600 km. with a data rate of 1.024 Tbps. Hence, the use of DPSK modulation based DWDM system can be recommended to meet the demands of high volume of data and support the increasing user demand.

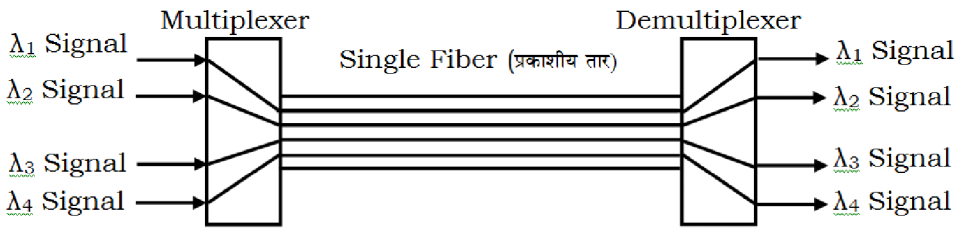
मुख्य शब्द: डुओ–बाइनरी मॉड्यूलेशन, डीपीएसके मॉड्यूलेशन, डीडब्ल्यूडीएम, प्रकाशिकी, सिंगल–मोड फाइबर (एसएमएफ), उत्तेजित रमन स्कैटरिंग (एसआरएस)।

Keywords: Duo-binary (DB) modulation, DPSK modulation, DWDM, Optics, Single-mode fiber (SMF), Stimulated Raman scattering (SRS).

प्रस्तावना

उच्च डेटा खपत और एक उच्च क्षमता वाले डेटा नेटवर्क की जरूरत ने प्रकाशीय संचार प्रणाली को आधुनिक दूरसंचार में उपयोग के लिए सबसे आगे खड़ा कर दिया है। यह स्वीकार किया जाता है कि 21वीं सदी में प्रकाशिकी विज्ञान और प्रौद्योगिकी के विकास में एक स्थान से दूरस्थ स्थानों तक सूचना प्रसारित करने के लिए सुदृढ़ संचार व्यवस्था की प्रमुख आवश्यकता होती है। आज प्रकाशिकी विज्ञान का प्रयोग इस बदलते वैश्विक परिपेक्ष्य के प्रमुख क्षेत्रों में हो रहा है, जो समाज के साथ–साथ राष्ट्र की प्राथमिक आवश्यकता बनता जा रहा है [1–2]। सूचना प्रौद्योगिकी की क्रांति के कारण; सूचना या डेटा ज्यादा विशाल रूप लेता जा रहा है, जिस कारण संचरण के विशाल क्षमता वाले अत्यधिक कुशल तंत्र की महती आवश्यकता है। संगणक डेटा केंद्रों के आविष्कार के बाद डेटा को संचित रखने और प्रसंस्करण की आवश्यकताओं के लिए बड़े संगणनात्मक संसाधनों का महत्त्व बढ़ रहा हैं। ये प्रौद्योगिकियाँ कृत्रिम बुद्धिमत्ता, क्लाउड और छोर (Edge) पर संगणना को संबल करने में सहायक और नए आयाम पैदा कर रही हैं। यह डेटा संचरण तंत्र प्रणाली में उच्च क्षमता और गति की आवश्यकता को बढ़ा रही है [3]। उच्च स्तरीय गति वाले डेटा नेटवर्क इस तकनीकी युग में रूपांतरण के लिए बहुत कारगर घटक सिद्ध हो रहे हैं [4–6]।

आधुनिक समय में निरंतर परिवर्तनशील इलेक्ट्रॉनिक पद्धति (एनालॉग) वाले संचार तंत्र को अंकीय (डिजिटल) संचार माध्यम से प्रतिस्थापित किया जा रहा है [7]। भूतकाल में हुआ तकनीकी विकास अपने आप में प्रकाशीय तार प्रौद्योगिकी में परिवर्तित हो रहा है। इस रूपांतरण काल में प्रकाशीय तार और तरंग दैर्ध्य डिविज़न मल्टीप्लेक्सिंग का आविष्कार वरदान सिद्ध हुआ है। जब अभियंता अलग–अलग तरंग दैर्ध्य पर एकल मोड प्रकाशीय तार (SMF) से प्रकाश की किरण को प्रसारित करने में सक्षम हुए, तो इस मौलिक सिद्धांत को तरंग दैर्ध्य डिवीजन मल्टीप्लेक्सिंग (डब्ल्यूडीएम) का रूप दिया गया। WDM का आविष्कार और निर्माण लौड़े [8] ने किया।



चित्र 1: विशिष्ट WDM के मौलिक सिद्धांत का चित्र आरेख [16-17]

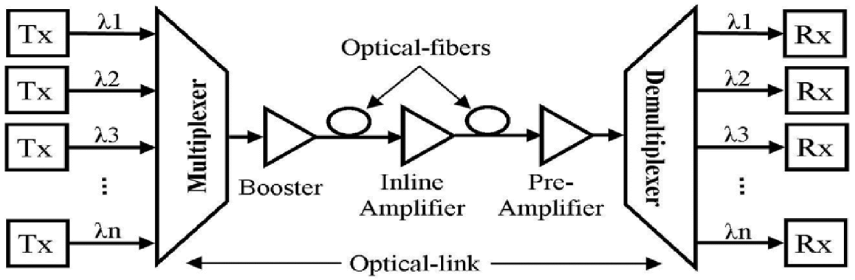
एक भारतीय मूल के अमेरिकी भौतिकी वैज्ञानिक, नरिंदर सिंह कपानी[9] ने जॉन टाइण्डल के प्रयोगों के आधार पर 1952 में पहली बार प्रकाशीय तार का आविष्कार किया। कपानी के प्रकाशिकी विज्ञान के क्षेत्र में योगदान ने समुन्द्र के अंदर तार नेटवर्क के निर्माण की आधारशिला रखी, जो आज इंटरनेट के नाम से जाना जाता है।

वर्ष 2003 और 2010 के दौरान, अंतर्राष्ट्रीय दूरसंचार संघ (ITU) द्वारा क्रमशः (जी–पीओएन) और (एक्सजी–पीओएन) के रूप में गीगा बिट और 10–गीगा बिट क्षमताओं के साथ व्यावसायिक रूप से मानकीकृत प्रकाशीय नेटवर्क विकसित और कार्यान्वित किए गए थे [10]। दूरसंचार उद्योग के क्षेत्र में कार्यरत Huawei Technologies ने 2019 में सुपर–सी बैंड आधारित प्रकाशीय लिंक प्रणाली के निर्माण का एक नया प्रस्ताव दिया, जिसे 6–THz पर संचालित किया जा सकता है [11–12]।

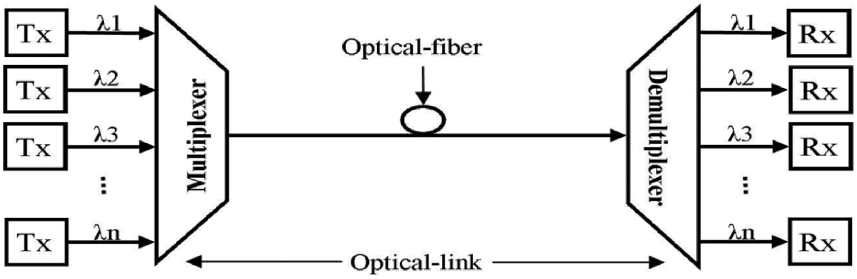
डेंस वेवलेंथ डिवीजन मल्टीप्लेक्सिंग (डीडब्ल्यूडीएम) प्रणाली डब्ल्यूडीएम की तुलना में कम चैनल अंतर का उपयोग करता है, जिससे उच्च क्षमता वाले संचरण की संरचना का निर्माण होता है। जैसे–जैसे डेटा दरें टेराबिट–प्रति–सेकंड व्यवस्था की ओर बढ़ती जा रही हैं, डीडब्ल्यूडीएम प्रणालियों का उपयोग महत्वपूर्ण होता जा रहा है। उपलब्ध मॉड्यूलेशन प्रारूपों में, डुओ–बाइनरी और डिफरेंशियल फेज़ शिफ्ट कीइंग (डीपीएसके) ने उच्च गति प्रकाशीय संचरण में अपने विशिष्ट प्रदर्शनों के कारण महत्वपूर्ण स्थान पाया है। डुओ–बाइनरी मॉड्यूलेशन को इसकी बेहतर वर्णक्रमीय दक्षता और अंतर–प्रतीक हस्तक्षेप में कमी के लिए पहचाना जाता है, जो इसे उच्च क्षमता प्रणालियों के लिए एक मजबूत समकक्ष बनाता है। दूसरी ओर, डीपीएसके मॉड्यूलेशन को ध्वनि प्रभाव चरण के खिलाफ मजबूती और प्रकाश किरण में विकिरण और अन्य चैनल क्षति की उपस्थिति में बेहतर प्रदर्शन के लिए प्रयोग में लाया जाता है [13–14]। इस शोध का लक्ष्य डुओ–बाइनरी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन योजनाओं का उपयोग करके 1–Tera bit/s डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली का व्यापक प्रदर्शन का अनुरूपण विधि से अनुमान लगाना है। यह तुलनात्मक अध्ययन इन मॉड्यूलेशन प्रारूपों के प्रायोगिक संलिप्तता की मूल्यवान अंतर्दृष्टि बिट त्रुटि दर (बीईआर), प्रकाश किरण की गुणवत्ता और समग्र प्रणाली कुशलता को प्रमाणित करता है। निम्नलिखित अनुभागों में, अध्ययन के दौरान डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली की रूपरेखा के निर्माण और प्रदर्शन प्राचलों का विवरण प्रस्तुत किया गया है। यह शोध कार्य प्रकाशीय नेटवर्क आवश्यकताओं के लिए ऑप्टिकल संचार प्रौद्योगिकियों के संभाषण पर चल रहे प्रयासों में एक योगदान हो सकता है।

डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली की रूपरेखा का निर्माण और विश्लेषण

प्रारंभिक अध्ययनों से ज्ञात हुआ है कि प्रकाशीय तार से डेटा संचरण और आवृत्तियों के बैंडविड्थ में उलेखनीय वृद्धि से क्षमता में प्राप्त लाभ के कारण DWDM तकनीक की महत्ता स्थापित हुई और निरंतर बढ़ती गई। उदाहरण के लिए, प्रकाशीय तार और मॉड्यूलेशन प्रारूपों की क्षमता से होने वाले लाभ पर अध्ययन से अजय कुमार शर्मा और उसके साथियों ने बताया कि डेटा दरों में वृद्धि तथा चैनल में हानियों को प्रबंधित करने में उन्नत मॉड्यूलेशन तकनीकों की आवश्यकता होती है। इसलिए बहु Tera–bit/s डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली की रूपरेखा के निर्माण में दो मॉड्यूलेशन प्रारूपों की संलिप्तता से प्रदर्शन में बदलाव का प्रायोगिक अध्ययन और विश्लेषण किया गया। डब्लूडीएम प्रणाली के परिचालित सिद्धांत की मूल अवधारणा में विभिन्न तरंग दैर्ध्य का उपयोग करके एक ही प्रकाशीय तार पर विभिन्न स्वतंत्र डेटा को संचारित करना होता है। अग्रवाल[16–17] द्वारा प्रकाशित अध्ययन डीडब्ल्यूडीएम नेटवर्क प्रणाली के विशिष्ट रेखाचित्र को चित्र 2 (ए) और (बी) में दर्शाया गया है।



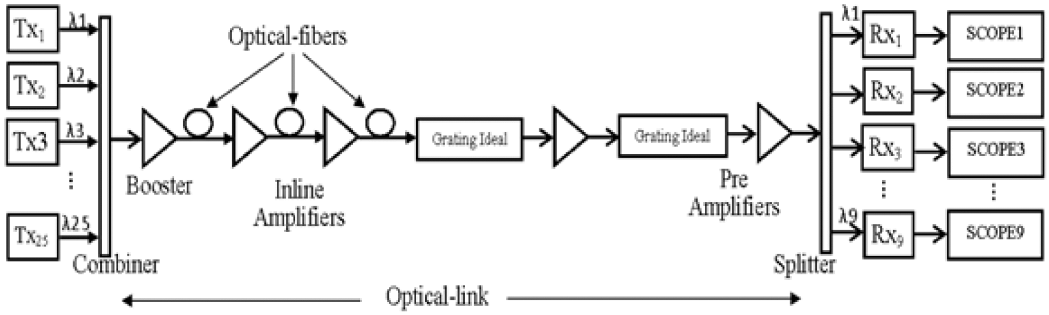
(a)



(b)

चित्र 2: विशिष्ट डब्ल्यूडीएम नेटवर्क का कार्यान्वयन (a) प्रकाश किरण प्रवर्धन के साथ और (b) प्रकाश किरण प्रवर्धन के बिना [16-17]

डब्लूडीएम की उपरोक्त सैद्धांतिक अवधारणा को प्रयोगात्मक नमूने के उपयोग में लाने हेतु चित्र 3 में दर्शाया गया है, जिसमें 25 ट्रांसमीटर और 09 रिसीवर ब्लॉकस लगे हैं। डुओ बाइनरी (डीबी) और डिफरेंशियल फेज़ शिफ्ट कुंजी (डीपीएसके) मॉड्यूलेशन प्रारूपों का उपयोग ट्रांसमीटर ब्लॉक में 25 चैनलों के लिए अलग अलग अनुरूपण के लिये किया गया।



चित्र 3: 40.96 GB/s पर 25 चैनलों वाले प्रस्तावित डीडब्ल्यूडीएम स्थापत्य का योजनाबद्ध प्रवाह संचित्र

200 से 600 किमी. की प्रकाशीय संचार श्रृंखला का 0.4 एनएम के चैनल अंतर के साथ 25 चैनलों से 1.024 Tera bit/s क्षमता उत्पन्न करने वाले डीडब्ल्यूडीएम प्रकाशीय तंत्र के प्रदर्शन का सफलतापूर्वक अनुरूपण किया गया। तालिका 1 में वर्णित परिणामों से पुष्टि होती है कि क्षमता बढ़ाने के लिए डीडब्ल्यूडीएम

प्रणाली बेहतर तरीका है। Tera bit/s क्षमता प्राप्त करने के लिए, चैनलों की संख्या (N) और डेटा दर प्रमुख प्राचल हैं।

तालिका 1: उच्च क्षमता वाले डब्लूडीएम के नमूने का अनुरूपण में किया गया प्रायोगिक प्रदर्शन [16–17]

चैनलों की संख्या N	डेटा दर (Bit Rate) B (Gb/s)	क्षमता NB (Tb/s)	डेटा संचरण की दूरी L (Km)	डब्लूडीएम की NBL संख्या [(Pb/s)-km]	
120	20	2.40	6200	14.88	
132	20	2.64	120	0.317	
160	20	3.20	1500	4.80	
82	40	3.28	300	0.984	
256	40	10.24	100	1.024	
273	40	10.92	117	1.278	
25	40.96	1.024	200	0.2048	इस शोध पत्र में प्रस्तावित कार्य के परिणाम
25	40.96	1.024	400	0.4096	
25	40.96	1.024	600	0.6144	

परिणाम और चर्चाएँ

संकीर्ण चैनल अंतर की संभावना को वास्तविकता में बदलने के लिए चित्र 3 में दर्शाये गए मॉडल को एक अल्ट्रा–सघन डब्लूडीएम प्रणाली से RSOFT OptSim सॉफ्टवेयर की सहायता से निर्मित किया गया। 1.024 Tera bit DWDM प्रणाली की योजना को बनाने में 25 ट्रांसमीटर, एक प्रकाशीय संयुक्ति घटक, प्रकाशीय शक्ति पूर्तिकारक (बूस्टर), प्रकाशीय तार, 09 एकल–चैनल रिसीवर ब्लॉक और 09 परिणाम मापक घटक लगे हैं। पहले और अंतिम चैनल का संचरण प्रकाश किरण की केंद्र तरंग दैर्ध्य क्रमशः 1545.24 nm और 1554.85 nm पर 40.96 Gb/s की दर से किया गया। प्रणाली के अनुरूपण के लिए उपयोग में लाये गये संसाधन के प्राचल तालिका 2 में सूचीबद्ध हैं।

तालिका 2 डीबी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूपों का उपयोग करके डीडब्ल्यूडीएम निर्माण में उपयोग हुए सिस्टम के प्राचल [18–19]

प्राचल	मूल्यमान
डेटा क्षमता	40.96 Gb/s x 25 ch.
चैनल आवंटन आवृत्ति रेंज	1545.24 -1554.85 nm (C-band)
VBS केन्द्र आवृत्ति (nm)	1550.03 nm
VBS केन्द्र आवृत्ति (THz)	193.41
चैनल अंतर (nm)	0.4 nm
डेटा दर (Bit rate) (Gb/s)	40.96
डेटा संचरण की दूरी (km)	200

संचरण के दौरान होने वाली क्षति की भरपाई के लिए प्रकाशीय शक्ति को बढ़ाने हेतु एक शक्ति पूर्तिकारक जोड़ा गया है। ट्रांसमीटर और रिसीवर के बीच संचरण को बनाने के लिए इसके बाद प्रकाशीय तार का इस्तेमाल किया जाता है। संचरण में 100 किमी. लंबाई का एक गैर रैखिक एकल–मोड तार (एसएमएफ) और तालिका 3 में दिए गए प्राचलों के साथ 50 किमी. लंबाई के दो प्रकाश किरण की विकिरणता की भरपाई वाले प्रकाशीय

तार (डीसीएफ) शामिल हैं। प्रकाशीय तार का गैर–रैखिकता गुणांक जो kerr's के प्रभाव के लिए जिम्मेदार है, को एक गणितीय सूत्र के माध्यम से निम्न अनुसार प्रस्तुत किया जाता है:[18–19]

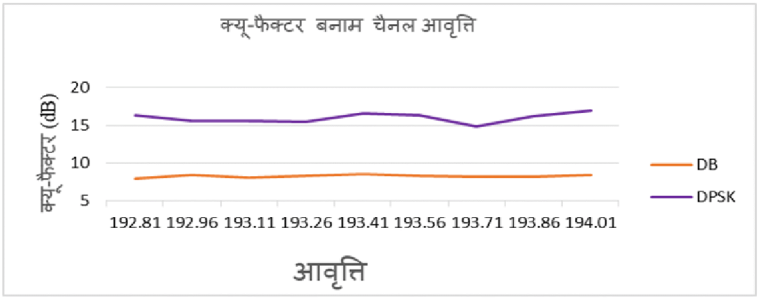
$$\gamma = \frac{2\pi F_r n_2}{c a_{eff}}$$

जहां F_r = विशिष्ट आवृत्ति संख्या, a_{eff} = प्रकाशीय तार का प्रभावी क्षेत्रफल और c = प्रकाश की किरण की गति को निरुपित करता है।

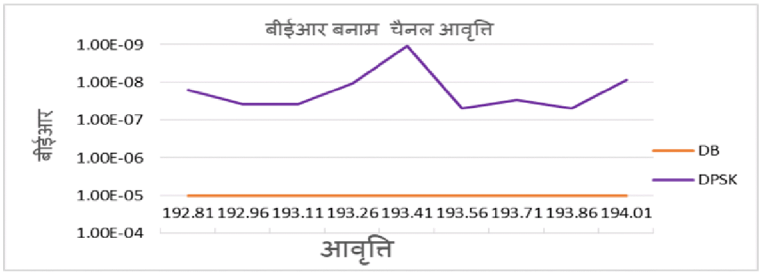
तालिका 3: डीबी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूपों का उपयोग करके डीडब्ल्यूडीएम के निर्माण में उपयोग हुए विकीर्णन प्रकाशीय तार के प्राचल [18–19]

प्राचल	मूल्यमान	इकाई
प्रकाशीय तार की लंबाई, L	50, 100, 50	kms
विकीर्णन (Dispersion), D	-32, 32, -32	ps/nm/km
विकीर्णन प्रवणता (Dispersion Slope), S_0	0.07	$ps/nm^2/km$
β_2	-2.255	ps^2/km
प्रकाशीय तार का प्रभावी क्षेत्रफल, a_{eff}	80	μm^2
गैर–रैखिकता गुणांक, γ	1.266	W^{-1}/km
क्षति, α	0.2	dB/km
PMD	0.1	$ps/km^{1/2}$
अरैखिक अपवर्तनांक, n_2	2.5	$x10^{-20}\ m^2/W$

इस प्रकार निर्मित किये गए डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली के प्रदर्शन को बीईआर, क्यू–फैक्टर और नेत्र आरेख के संदर्भ में मूल्यांकन के लिए निष्पादित किया गया है। यह देखा गया है कि रेडियो स्पेक्ट्रम के सी–बैंड में 10^{-6} के औसत बीईआर के साथ 1545.24 nm की सबसे कम तरंग दैर्ध्य और 1554.85 nm की अधिकतम तरंग दैर्ध्य के साथ 600 किमी. की दूरी तक 40.96 Gb/s की बिट दर से उच्च गुणवत्ता के साथ प्रकाश की किरण को परिणाम में प्राप्त किया गया। प्रकाशीय संचार तंत्र के प्रदर्शन को सत्यापित करने वाला दूसरा प्राचल क्यू–फैक्टर भी निर्धारित सीमा स्तर से ऊपर प्राप्त हुआ। परिणामों से निष्कर्ष निकलता है कि डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूप वाली प्रणाली प्रकाशीय तार संचार के लिए नामित डीबी मॉड्यूलेटेड डीडब्ल्यूडीएम की तुलना में अच्छा प्रदर्शन दिखाता है। विभिन्न प्रकाश किरणों की आवृत्तियों के अनुरूप क्यू–फैक्टर और बीईआर परिणाम में बदलाव को ग्राफ के माध्यम से क्रमशः चित्र 4 और चित्र 5 में दर्शाया गया है।



चित्र 4: डीबी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन का उपयोग करके विभिन्न आवृत्तियों पर 200 किमी. की संचरण दूरी पर प्लॉट किए गए क्यू–कारक मानों की तुलना



चित्र 5: डीबी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन का उपयोग करके विभिन्न आवृत्तियों पर 200 किमी. की संचरण दूरी पर प्लॉट किए गए बीईआर मूल्यों की तुलना

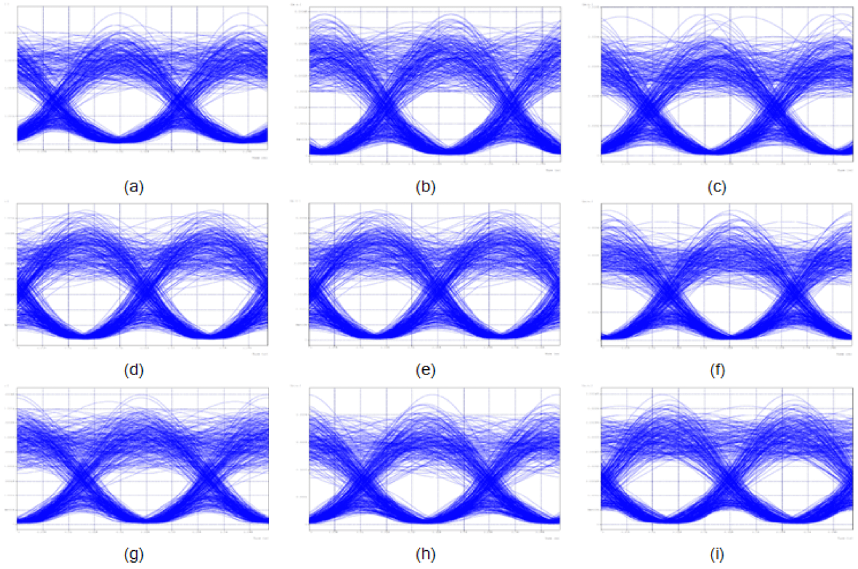
प्रदर्शन को ग्राफ के माध्यम से दिखाने हेतु रेडियो संचार की आवृत्तियों का 9.61 nm की बैंडविड्थ का 1545.24 nm से 1554.85 nm स्पेक्ट्रम प्रयोग किया गया। बीईआर, क्यू–फैक्टर को डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली के प्रदर्शन प्रमाणित करने के लिए स्पेक्ट्रम विंडो से नौ अलग–अलग तरंग दैर्ध्य (1545.23, 1546.43, 1547.63, 1548.83, 1550.03, 1551.23, 1552.44, 1553.65, और 1554.85 nm) चयनित किये गये है। चयनित की गई तरंग दैर्ध्य के अनुरूप दोनों प्रणालियों का तुलनात्मक अध्ययन तालिका 4 में सूचीबद्ध है।

तालिका 4: डीबी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूपों का क्यू–फैक्टर और बीईआर से तुलनात्मक प्रदर्शन

तरंग दैर्ध्य	बीईआर		क्यू-फैक्टर (dB)	
	डुओ-बाइनरी	डीपीएसके	डुओ-बाइनरी	डीपीएसके
1554.85	1.00E-05	1.62E-08	7.9	16.41
1553.65	1.00E-05	3.83E-08	8.4	15.6
1552.44	1.00E-05	3.71E-08	8.05	15.67
1551.23	1.00E-05	1.05E-08	8.27	15.52
1550.03	1.00E-05	1.06E-09	8.5	16.59
1548.83	1.00E-05	4.81E-08	8.29	16.39
1547.63	1.00E-05	2.95E-08	8.23	14.93
1546.43	1.00E-05	4.76E-08	8.19	16.23
1545.24	1.00E-05	8.63E-09	8.39	16.94

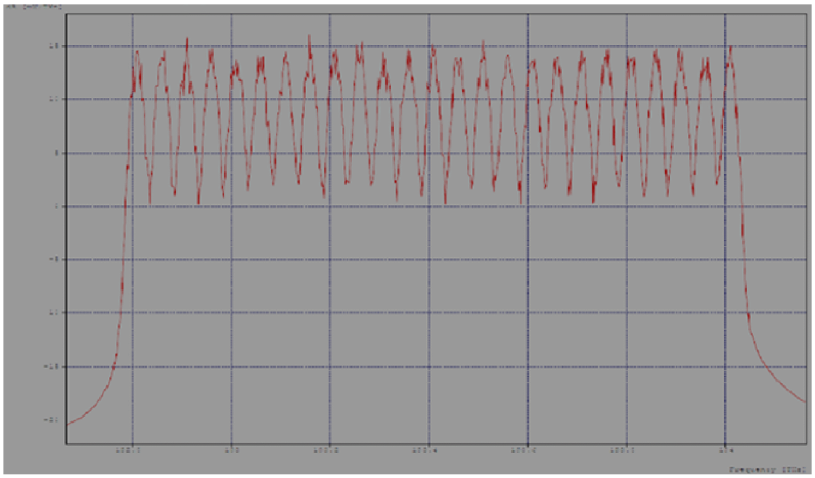
तालिका 4, प्रकाशीय तरंग दैर्ध्य पर बीईआर और क्यू–फैक्टर के प्रमाणित मूल्य को दर्शाती है। एक सत्यापित प्रकाशीय प्रणाली में, 10^{-6} बीईआर का अधिकतम स्तर माना जाता है, जहां प्रकाश की किरण को सफलतापूर्वक पुनर्प्राप्त और प्रसारित किया जा सकता है। डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूप वाली प्रणाली स्पष्ट रूप से सभी चैनल आवृत्तियों में 400 किमी. तक अच्छा प्रदर्शन दिखाता है, लेकिन डीबी वाली प्रणाली में मात्र 200 किमी. की संचरण दूरी तक पर्याप्त ही है और प्रदर्शन में सुधार की आवश्यकता रहती है। यह भी देखा गया है कि 600 किमी. की संचरण दूरी के बाद डीपीएसके मॉड्यूलेशन का प्रदर्शन भी ख़राब होने लगता है। डुओ–बाइनरी संचरण प्रणाली में क्यू–फैक्टर जिस पर प्रकाश किरण को सफलतापूर्वक प्रसारित किया जा सकता है वह 7.9 dB और बी ई आर 1E–5 देखा गया है। देखे गए मानों में डीबी मोड में क्यू–फैक्टर के लिए भिन्नता 7.9 से 8.5 dB तक है। लेकिन डीपीएसके प्रणाली में, यह 14.93 से 16.94 dB तक भिन्नता के

साथ लगभग 200% अधिक है। DPSK प्रणाली आधारित संचरण मोड में बीईआर मान 8.63E–09 से 1. 05E–08 अलग अलग आवृत्तियों पर भिन्न मिलता है।

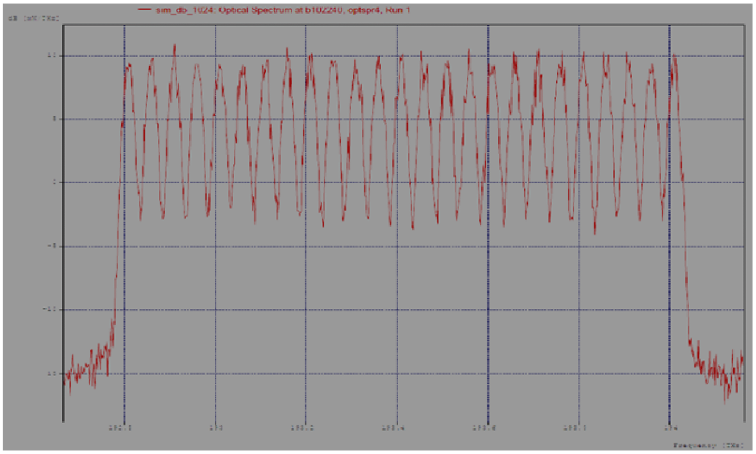


चित्र 6: 200 किमी. के प्रकाशीय संचरण में डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूप के लिए विभिन्न तरंग दैर्ध्य पर नेत्र आरेख (a) 1554.85 nm, (b) 1553.65 nm, (c) 1552.44 nm, (d) 1551.23 nm, (e) 1550.03 nm, (f) 1548.83 nm, (g) 1547.63 nm, (h) 1546.43 nm और (i) 1545.24 nm

चित्र 6 ((a)–(i)) में, नेत्र आरेख परिणाम दिखाते हैं कि प्रकाश किरण का संचरण 200 किमी. तक सफल है क्योंकि प्रत्येक आवृत्ति यानि तरंग दैर्ध्य पर आंख 50% से अधिक खुली है। बीईआर, क्यू–फैक्टर और खुली आंख के आंकड़े से डीपीएसके मोड संचरण प्रणाली की क्षमता को और अधिक आसानी से बढ़ाया जा सकता है।

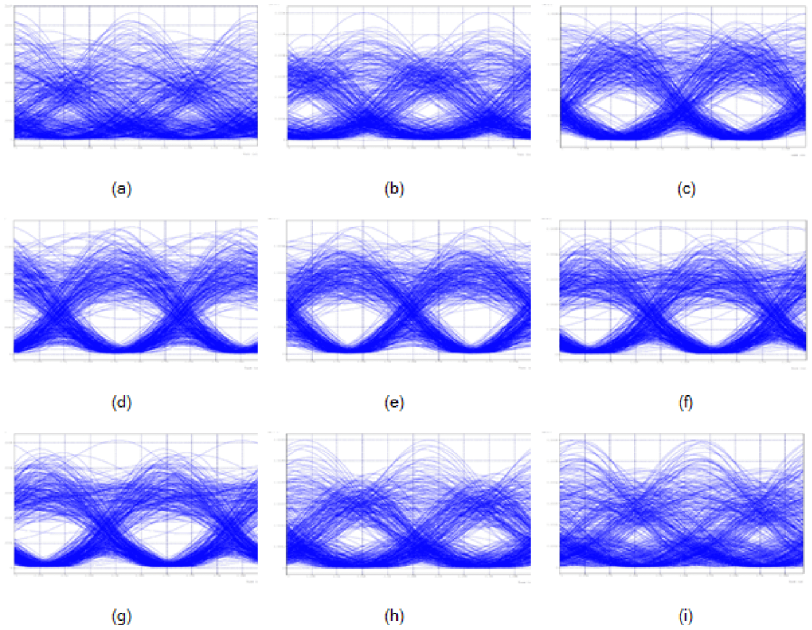


चित्र 7: 25 चैनलों का 200 किमी. वाले डीपीएसके मॉड्यूलेटेड डीडब्ल्यूडीएम के ट्रांसमीटर द्वारा संचारित आवृत्तियों का (तरंग दैर्ध्य) स्पेक्ट्रम

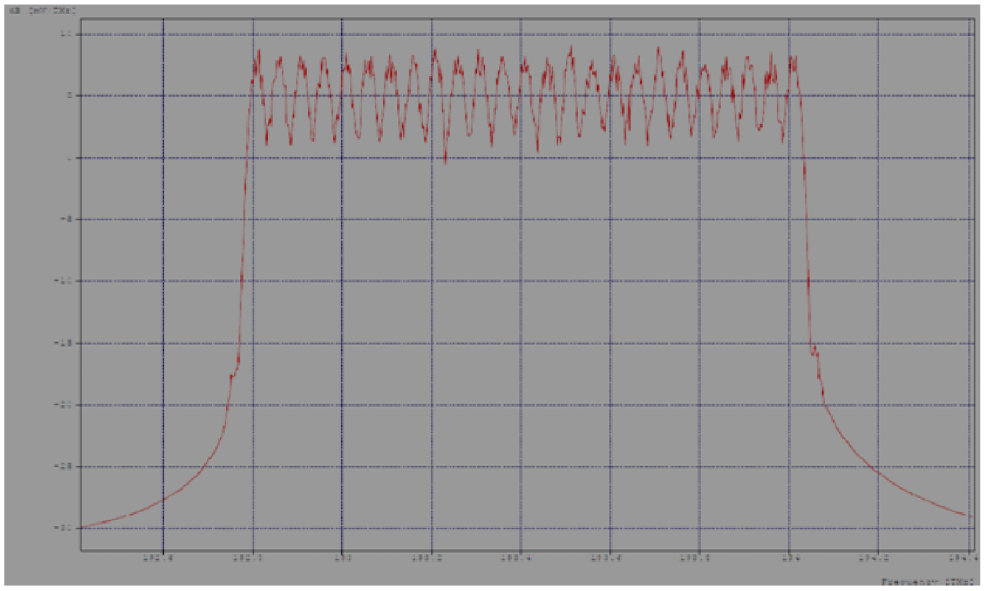


चित्र 8: 25 चैनलों का 200 किमी. की दूरी वाले डीपीएसके मॉड्यूलेटेड डीडब्ल्यूडीएम के रिसीवर द्वारा प्राप्त की गयी आवृत्तियों का (तरंग दैर्ध्य) स्पेक्ट्रम

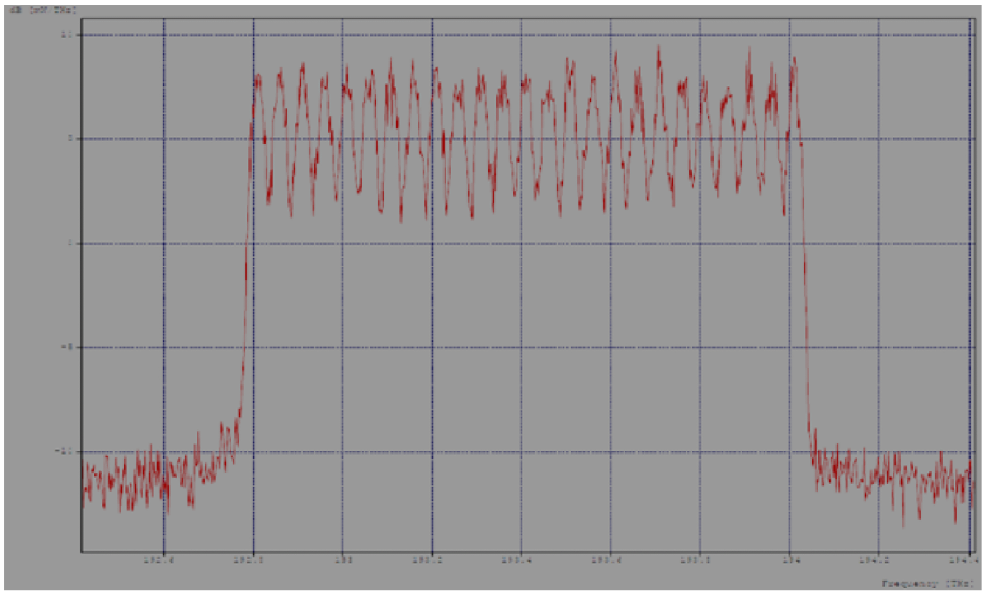
25 चैनलों का 200 किमी. की दूरी वाले प्रकाशीय तार पर डी पी एस के मॉड्यूलेटेड डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली के इनपुट और आउटपुट के लिए संचरण क्रमशः चित्र 7 और 8 में दर्शाये गये है। प्रकाशीय तार के शुरु वाले छोर पर प्रकाश की किरण का आरोह अवरोह 0 से 10 dB के बीच है और प्रकाशीय तार के अंतिम छोर (आउटपुट) पर यह लगभग –3 dB से 10 dB पाया गया है। 600 किमी. की दूरी तक का संभावित संचरण नेत्र आरेख की सहायता से चित्र 9((a)–(i)) में प्रस्तुत किया गया है।



चित्र 9: 600 किमी. के प्रकाशीय संचरण में डीपीएसके मॉड्यूलेशन प्रारूप के लिए विभिन्न तरंग दैर्ध्य पर नेत्र आरेख (a) 1554.85 nm, (b) 1553.65 nm, (c) 1552.44 nm, (d) 1551.23 nm, (e) 1550.03 nm, (f) 1548.83 nm, (g) 1547.63 nm, (h) 1546.43 nm और (i) 1545.24 nm

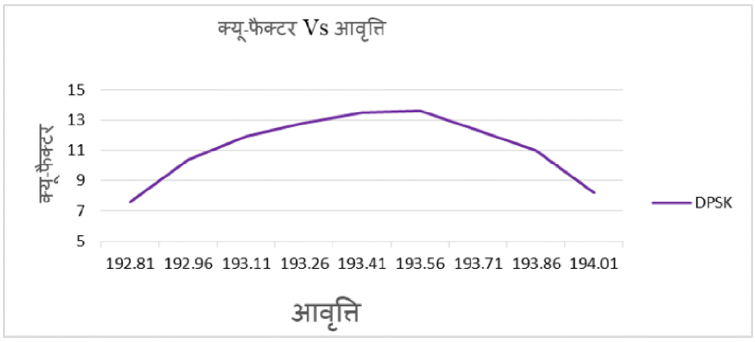


चित्र 10: 25 चैनलों का 600 किमी. वाले डीपीएसके मॉड्यूलेटेड डीडब्ल्यूडीएम के ट्रांसमीटर द्वारा संचारित आवृत्तियों का (तरंग दैर्ध्य) स्पेक्ट्रम



चित्र 11: 25 चैनलों का 600 किमी. की दूरी वाले डीपीएसके मॉड्यूलेटेड डीडब्ल्यूडीएम के रिसीवर द्वारा प्राप्त की गयी आवृत्तियों का (तरंग दैर्ध्य) स्पेक्ट्रम

25 चैनलों का 600 किमी. की दूरी वाले प्रकाशीय तार पर डी पी एस के मॉड्यूलेटेड डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली के इनपुट और आउटपुट के लिए संचरण क्रमशः चित्र 10 और 11 में दर्शाये गये है।



चित्र 12: डीपीएसके मॉड्यूलेशन का उपयोग करके विभिन्न आवृत्तियों पर 600 किमी. की ट्रांसमिशन दूरी पर क्यू–फैक्टर का आरेख

निष्कर्ष

1.024 Tera–bit/s डीडब्ल्यूडीएम प्रणाली का सफल मूल्यांकन क्यू–फैक्टर, बीईआर, चैनलों के अंतर के संदर्भ में वर्णित किया जा सकता है। प्रकाशीय संचार प्रणाली को डीबी और डीपीएसके मॉड्यूलेशन का उपयोग करके 200 और 600 किमी. की दूरी पर 0.4 nm के चैनल अंतर के साथ 25 चैनलों पर प्रयोग करके देखा गया। डीबी आधारित प्रणाली में 200 किमी. से ऊपर प्रकाशीय किरण का विरूपण बढ़ने लगता है। साथ मे यह भी देखा जा सकता है कि डीपीएसके प्रणाली में 600 किमी. संचरण को आसानी से प्रकाशीय तार के माध्यम से कार्यान्वित किया जा सकता है। अनुरूपण परिणामों के आधार पर डीपीएसके मॉड्यूलेशन का प्रारूप 1.024 Tera–bit/s की डेटा दर के साथ उपयोग हो सकता है।

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेज़ी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	वर्णमाला अनुक्रमित हिंदी शब्दावली
Amplification	प्रवर्धन
Artificial intelligence	कृत्रिम बुद्धिमता
Frequency	आवृत्ति
Insight	अंतर्दृष्टि
Optics	प्रकाशिकी
Simulation	अनुरूपण
Spectral efficiency	वर्णक्रमीय दक्षता

संदर्भ

1. Petr Chvojka, Paul Anthony Haigh, Izzat Darwazeh, Zabih Ghassemlooy, Stanislav Zvanovec. Duobinary Modulation for Visible Light Communications. 2019 European Conference on Networks and Communications (EuCNC 2019)), Jun 2019, Valence, Spain. pp.52-56, ff10.1109/EuCNC.2019.8801992ff.
2. Erik Agrell et al. (2016). Roadmap of optical communications J. Opt. 18 063002.
3. Curri, V. et al. (2015). Design Strategies and Merit of System Parameters for Uniform Uncompensated Links Supporting Nyquist-WDM Transmission, 0733-8724 (c) 2015 IEEE Journal of Lightwave Technology, DOI 10.1109/JLT.2015.2447151.

4. Le Nguyen Binh et al. (2010). Wavelength re-generation and re-modulation using optical phase lock loop techniques for 100-Gb/s DQPSK up-stream transmission in DWDM passive optical networks, Photon Netw Commun (2010) 19:265–276.

5. Winzer P.J., Neilson D.T., Chraplyvy A.R. (2018). Fiber-optic transmission and networking: the previous 20 and the next 20 years. [Invited]. Opt Express. 2018; 26(18):24190-24239. doi:10.1364/OE.26.024190.

6. Kaler, R.S., Kamal, T.S. and Sharma, Ajay K. (2002). Simulation Results for DWDM Systems with Ultra-High Capacity, Fiber and Integrated Optics, 21:5, 361-369, DOI: 10.1080/01468030290087697

7. Jin Wang and Joseph M. Kahn (2004). Conventional DPSK Versus Symmetrical DPSK: Comparison of Dispersion Tolerances. IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 16, No. 6, June 2004 1585-87.

8. Laude, Jean-Pierre (1998). N×N wavelength router, optical routing method and associated communication network. USA Patent Number: 5,838,848, Date of Patent: Nov. 17.

9. Kapany et al. Fiber Optics Communications Modules, USA Patent Number: 4,479,697, Date of Patent: Oct. 30, 1984

10. Aruna Rani and Manpreet Singh (2017). Impact of Different Modulation Data Formats on DWDM System Using SOA with Narrow-Channel Spacing. J. Opt. Commun. 2017; aop, doi.org/10.1515/joc-2017-009.

11. https://www-file.huawei.com/-/media/corp2020/pdf/giv/striding-towards-the-intelligent-world/the_intelligent_world_all_optical_network_en.pdf

12. https://www-file.huawei.com/-/media/corp2020/pdf/publications/huawei- research/2023/huawei-research-issue5-en-2.pdf

13. Sharma, Ajay K. and Arya, S.K. (2009). Improved analysis for SRS-and XPM-induced crosstalk in SCM-WDM transmission link in the presence of HOD, Optik 120(2009)773–781.

14. Sharma, Ajay K., Wadhwa, S.K. and Kamal, T.S. (2009). Robustness of NRZ, RZ, CSRZ and CRZ modulation on fiber nonlinearities and amplifier noise at 40 Gbps for (OC-786) long haul link. Optik 120 (2009) 614–618, doi:10.1016/j.ijleo.2008.02.015.

15. Sheetal, A., Sharma, Ajay K. and Kaler, R.S. (2010). Simulation of high capacity 40 Gb/s long haul DWDM system using different modulation formats and dispersion compensation schemes in the presence of Kerr's effect. Optik 121 (2010) 739–749, doi:10.1016/j.ijleo.2008.11.009.

16. Agrawal, G.P. (2011). Fiber-Optic Communication Systems. 3rd Edition, Wiley, ISBN: 978-81-265-1386-4.

17. Keiser, Gerd E. (1999). A Review of WDM Technology and Applications. Optical Fiber Technology 5, 3-39.

18. OptSim Models Reference, RSoft Design Group, 2010.

19. OptSim Simulation Tool User Manual v 2017_09-1-64.