

Енергетска ефикасност *OTN/DWDM* платформе *OTP10G IRITEL*

Бојан Пајчин

Електротехнички факултет Универзитета у
Београду, ИРИТЕЛ А.Д.
Београд, Србија
bojan@iritel.com

Предраг Мићовић

Сектор за оптичке системе преноса
ИРИТЕЛ А.Д.
Београд, Србија
micovic@iritel.com

Владимир Костић

Сектор за оптичке системе преноса
ИРИТЕЛ А.Д.
Београд, Србија
kosicv@iritel.com

Милан Бјелица

Електротехнички факултет Универзитета у
Београду
Београд, Србија
milan@etf.rs

Садржај—Пошто се глобалној енергетској ситуацији и заштити животне средине у последњих неколико година посвећује све више пажње, велики број нових истраживања у многим научним дисциплинама се бави технолошким решењима која ће довести до уштеде енергије. У претходној деценији је евидентан велики напредак оптичких транспортних мрежа, али је такође евидентан и пораст потрошње електричне енергије у тим мрежама. При развоју *OTN/DWDM* платформе *OTP10G IRITEL* посебна пажња је посвећена одабиру и коришћењу компоненти и модула у циљу смањења потрошње електричне енергије и повећању енергетске ефикасности уређаја. Резултати оваквог *green* инжинеринга ће бити приказани у раду у виду потрошње развијених уређаја, а навешће се и даљи кораци у развоју ради смањења потрошње уређаја.

Кључне речи - Енергетска ефикасност, *OTN*, *OTP10G IRITEL*

I. Увод

Укупна потрошња електричне енергије у целом свету 2040. године ће се по проценама Америчке енергетске информационе управе (*U.S. Energy Information Administration*) повећати за око 50% у односу на данашњу потрошњу [1]. У корак са повећаном потрошње електричне енергије мора да иде и производња исте, што је супротно тежњи да се смањи и на одређени ниво доведе емисија штетних гасова у атмосферу. Због тога на свим пољима треба тежити ка смањивању потрошње електричне енергије. Последње студије [2] показују да је удео савремених телекомуникационих мрежа у укупној потрошњи енергије чак 4%.

Традиционална основа већине модерних телекомуникационих мрежа је *SDH* (*Synchronous Digital Hierarchy*) технологија, развијена у време када се за

пренос података скоро увек користила само једна таласна дужина по оптичком влакну. У наредном периоду је дошло до напретка у технологији израде оптичких примопредајника, тако да је постало економично преносити више *SDH* сигнала по једном влакну. Паралелно са тим, нагли раст мултисервисних апликација је довео до потребе за преносом разнородних клијентских сигнала кроз оптичке транспортне мреже.

ITU-T је дефинисао транспортну мрежу која је оптимизована за економски ефикасан транспарентни пренос различитих клијентских сигнала преко *WDM* (*Wavelength-Division Multiplex*) инфраструктуре и развио низ стандарда који дефинишу таласне дужине и формате сигнала у сврху боље подршке мултиплексирању знатног броја сигнала за пренос по једном оптичком влакну. Оптичка транспортна мрежа *OTN* (*Optical Transport Network*) је специфицирана *ITU-T G.872* [3] препоруком, док су структура фрејма, мапирање и мултиплексирање сигнала за пренос *SDH*, *Ethernet* и *SAN* (*Storage Area Network*) дефинисани у *ITU-T G.709* препоруци [4].

OTN технологију карактерише прилагођеност *WDM* мрежама, чиме се постиже повећање укупног капацитета линка, док се повећање домета постиже коришћењем заштитних кодова са могућношћу исправљања грешака, *FEC* (*Forward error correction*) [4][5], скалабилност (основна грануларност од 1.25Gbit/s) и транспарентни пренос клијентских сигнала, укључујући и транспарентни пренос *SDH* сигнала са очуваним транспортним заглављем.

Поред агрегације постојећег *SDH* саобраћаја (*STM-1/4/16/64*), *OTN* омогућава и пренос *Ethernet* пакетског саобраћаја (100Mbit/s, 1Gbit/s, 10Gbit/s, 100Gbit/s *WAN* и *LAN*). Ово је посебно битно имајући у виду велики раст потреба за пакетским преносом, изазваних усвајањем широкопојасног приступа Интернету, све већим

корпорацијским повезивањем (WAN корпорацијске мреже и SAN примене) и развојем нових типова видео сервиса (IPTV, *telepresence*).

OTP10G представља оптичку транспортну платформу, која подржава мапирање и мултиплексирање свих типова корисничких сигнала (SDH, пакетски саобраћај, видео саобраћај, итд.) у јединствени линијски сигнал основног протока до 11,3Gb/s [4], за пренос по оптичким влакнима. Употребом више таласних дужина (DWDM (*Dense WDM*) мултиплексирање) укупни капацитет оптичког линка повећава се до 40x10Gb/s. Погодна је за примену у локалним, метро, регионалним и магистралним мрежама за повезивање различитих телекомуникационих сервиса и мрежа у мрежним конфигурацијама тачка-тачка, ланац, линеарне мреже са одграђивањем, мреже прстенастих структура и *mesh* мрежа.

У раду ће најпре бити дат кратак преглед уређаја OTP10G система, потом ће се навести уређаји и опрема који су коришћени при мерењу потрошње, као и резултати мерења. Добијени резултати су на крају продискутовани и упоређени са вредностима енергетских ефикасности других система и уређаја.

II. УРЕЂАЈИ У OTP10G ПЛАТФОРМИ

Према начину екипирања разликују се три основна типа уређаја:

- уређај OTP10G-C15, који се екипира у механички модул са петнаест позиција
- уређај OTP10G-C4, са модулом од четири позиције и
- компактни уређај OTP10Gs.

У OTP10G-C15 и OTP10G-C4 тип уређаја се екипирају исти типови јединица и интерфејсних модула [6]. Подржано је повезивање више механичких модула у један логички елемент.

Конструкција система OTP10G је развијена у складу са европским и светским стандардима из области механичке конструкције, безбедности и електромагнетне компатибилности телекомуникационе опреме. Материјали, технолошки поступци и саставни делови коришћени у производњи овог система су такође у складу са захтевима европских и светских стандарда из области заштите животне средине.

Могућности једног OTP10G уређаја дефинишу се типом уређаја, бројем и типовима јединица, као и бројем и типовима интерфејсних модула који су имплементирани у њему.

Један механички модул OTP10G-C15 може имати максимално шеснаест линијских OTU2 интерфејса [4], максимално шездесет четири линијска интерфејса OTU1 [4] капацитета, максимално шеснаест клијентских 10G интерфејса, и максимално сто двадесет осам универзалних клијентских интерфејса.

Табела I: Максимална потрошња уређаја OTP10G фамилије

Тип уређаја	Максимална потрошња
OTP10G-C15	1115W
OTP10G-C4	270W
OTP10Gs	135W



Слика 1. OTP10G-4 уређај

OTP10G-C4 је систем који може имати максимално четири линијска 10G интерфејса, максимално шеснаест линијских интерфејса OTU1 капацитета, максимално четири клијентска 10G интерфејса, и максимално тридесет и два универзална клијентска интерфејса.

OTP10Gs је систем који може имати максимално два линијска 10G интерфејса, максимално осам линијских интерфејса OTU1 капацитета, максимално два клијентска 10G интерфејса, и максимално шеснаест универзалних клијентских интерфејса.

У табели I је приказана потрошња за теоријску пуну конфигурацију и са укљученим свим интерфејсима максималних домета. Ове потрошње су израчунате на основу података о максималним потрошњама процесора, интегрисаних кола, трансиверских модула, итд. На Сл.1 је приказана физички изглед једног OTP10G уређаја.

Систем подржава DWDM мултиплексирање до 40 таласних дужина из *C* опсега, растојања међу каналима 100GHz, чиме се повећава капацитет линка до 400Gbit/s док се повећање домета оптичких секција постиже оптичким EDFA појачавачима [6].

Ради обезбеђивања преноса на велика растојања неопходно је након одређене пропагације оптичког сигнала електронски регенерисати тај оптички сигнала. То подразумева пријем оптичког сигнала, ослобађање сигнала од шума и његово појачање у електронском домену, а потом поновну трансмисију преко следећег сегмента оптичког линка (оптичка-електрична-оптичка (O-E-O) регенерација). Оптички појачавачи су дизајнирани да директно појачавају било који улазни оптички сигнал, без икакве потребе за његовом демодулацијом у електрични облик и имају могућност појачавања свих WDM канала заједно, које је транспарентно за број канала, њихове протоке, протоколе и модулационе формате. Оптички појачавачи не могу у потпуности заменити регенераторске станице, јер постоје ситуације када се не може користити оптичко појачање

Табела II: Максимална потрошња ОМА-ХУ појачавачких јединица

Варијанта јединице	Максимална потрошња
ОМА-В	35W
ОМА-Р	35W
ОМА-ВР	65W

сигнала, већ је неопходна употреба О-Е-О регенерације. У оквиру ОТП10G платформе развијена је фамилија ОМА-ХУ појачавачких јединица [6] које на себи могу садржати до два EDFA појачавача. Максималне потрошње ових јединица су дате у табели II.

III. МЕТОДЕ МЕРЕЊА

Од екипирања раније наведених уређаја и од конфигурације јединица зависи максимална потрошња електричне енергије уређаја. За потребе мерења уређаји ће бити екипирани тако да се постигне максимална потрошња, односно биће попуњени сви слотови [6] и на свим јединицама ће бити попуњени и конфигурисани сви интерфејси.

За потребе мерења максималне потрошње електричне енергије ОТП10G уређаја у нормалним условима рада при максималном оптерећењу у погледу количине преноса информација коришћене су следеће јединице система, интерфејси и опрема:

- ОТ-CMU јединица [6][7].
- ОТП10G-2 јединица [6].
- pDWDM-8Cx јединица [6].
- ОМА-ХУ јединица [6].
- Оптички XFP и SFP модули [6].
- Оптичко влакно дужине 75 km [8].
- Генератори и тестери клијентског саобраћаја.
- Амперметар и волтметар.
- Софтвер „СУНЦЕ+“ модул за OTN [6].

У табели III дат је преглед броја наведених јединица ОТП10G система које су коришћене за екипирање уређаја за потребе мерења потрошње, као и максимални проток информација кроз тако екипирани уређаје.

Табела III: Број јединица у уређајима и максимални линијски битски проток уређаја током мерења њихове електричне потрошње

	ОТ-CMU	ОТП10G-2	Максимални проток
ОТП10G-C15	1	8	320 Gb/s
ОТП10G-C4	0	2	80 Gb/s
ОТП10Gs	0	1	40 Gb/s

Пре почетка мерења се најпре попуњавају сви интерфејси јединица оптичким примопредајницима који имају највећу предајну оптичку снагу и који могу да премосте највеће растојање за тај тип сигнала [6]. Потом се мерни инструменти (амперметар и волтметар), уређаји, телекомуникационе јединице и оптичко влакно повежу тако да се направи окружење за мерење потрошње уређаја. Волтметар се повезује на изводе извора напајања, а амперметар између извора напајања и напојног кабла уређаја. Оптички интерфејси се повезују са генераторима саобраћаја, DWDM мултиплексерским и

демултиплексерским јединицама које се повезују на влакно. Након укључивања ОТП10G уређаја кроз софтверски систем „СУНЦЕ+“ модул за OTN се приступи ОТП10G уређају ради подешавања конфигурације јединица које се налазе у том уређају. Помоћу функционалног и једноставног графичко-корисничког интерфејса овог софтвера лако се препознају и одаберу жељени 10G интерфејси на јединицама који се желе користити. У софтверу се подеси и који тип сигнала се доводи на који од 16 SFP портова јединице, као и мапирање тих сигнала у линијске 10G интерфејсе. У сваком моменту мерења се прати BER на инструментима како би, уколико није детектована битска грешка при преносу, са вероватноћом од 99% могли трвдити да је пренос преко 10Gbit/s интерфејса остварен уз BER мањи од 10^{-13} у трајању мерења од 1 дана 10 сати и 58 минута. Са амперметра и волметра се читавају вредности о потрошњи уређаја. Целокупна процедура мерења се поновља за следећи ОТП10G уређај.

IV. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

Вредности измерених потрошњи електричне енергије за ОТП10G IRITEL уређаје, као и број јединица које су коришћене при екипирању и остварени протоци информација за сваки уређај су дати у табели IV.

Табела IV: Измерена потрошња ОТП10G IRITEL уређаја

	Измерена потрошња	Остварени проток	Енергетска ефикасност уређаја
ОТП10G-C15	693W	320 Gb/s	2.165 nJ/bit
ОТП10G-C4	170W	80 Gb/s	2.125 nJ/bit
ОТП10Gs	86W	40 Gb/s	2.15 nJ/bit

Пример реализације једног комерцијалног система је дат у табели V. За планирање овог линка коришћене су карактеристике ОТП10G IRITEL уређаја и јединица [6], а на основу података о њиховим потрошњама израчуната је енергетска ефикасност преноса DWDM мултиплексаног сигнала од 40 канала са међусобним фреквенцијским растојањем од 100GHz на дистанцу од 1000km (сачињену од 7 деоница). За формирање DWDM мултиплекса од 40 таласних дужина потребно је повезати 3 ОТП10G-C15 уређаја у једну логичку целину, пошто један овакав уређај може имати највише 16 10Gbit/s интерфејса.

Табела V: Потрошња енергије по биту за 1000 km транспортни линк (40x10Gb/s) реализован ОТП10G уређајима

	ОТП10G-C15	ОМА-В	ОМА-Р	Укупно
Потрошња енергије по јединици информације	2.165 nJ/bit	87.5 pJ/bit	87.5 pJ/bit	
Максимални број 10Gb/s DWDM канала	16	40	40	
Пренос на дистанцу од 1000 km	Број уређаја /јединица	3	1	6
	Енергија по биту	2.165 nJ/bit	87.5 pJ/bit	525 pJ/bit
				2,78 nJ/bit

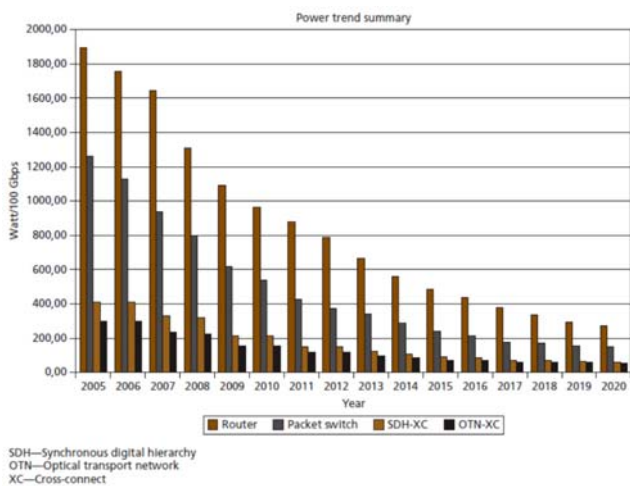
V. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

За квантификацију потрошње енергије у оптичким телекомуникационим уређајима се користи енергија по јединици информације, или једноставно енергија по биту. У литератури се често може срести и снага по брзини преноса (W/bit/s, W/Gbit/s, итд.) Када је у питању енергетска ефикасност преноса, она се изражава у J/bit/km (или J/bit/1000 km).

На основу података о теоријски максималној потрошњи *OTP10G* уређаја из табеле I, добија се да је теоријски максимална утрошена енергија по биту у *OTP10G* уређајима 3.5 nJ/bit. У односу на прошлу генерацију Ирителових транспортних оптичких система, *NG-SDH* платформа *ODS2G5 IRITEL* [9], енергетска ефикасност уређаја је већа. Поређења ради, енергетска ефикасност *ODS2G5* уређаја је реда 8÷10 nJ/bit [9]. Резултати мерења показују да је енергетска ефикасност *OTP10G IRITEL* уређаја већа од израчунате теоријски максималне и да износи нешто изнад 2 nJ/bit.

На Сл 2 [10] је приказано да је проспајање саобраћаја на *Layer-1 SDH* или *OTN Layer* нивоу енергетски ефикасније од *Layer-2 Ethernet* или *Layer-3 IP* рутирања. Али Сл. 2 такође показује тренд смањења побољшања енергетске ефикасности из године у годину, односно побољшања енергетске ефикасности за све врста опреме се смањују за нешто мање од 20% годишње [10]. Истовремено, предвиђа се да ће пораст капацитета преноса транспортних система расти за најмање 30% сваке године [10]. Дакле, неопходне су даље мере за побољшање енергетске ефикасности уређаја и смањење потрошње електричне енергије система преноса.

Поједини произвођачи телекомуникационе опреме наводе да се проширењем *IP backbone* транспортног нивоа OTN транспортним нивоом и њиховим заједничким планирањем постиже побољшање у виду искоришћења ресурса и протока саобраћаја, као и да оваквим решењем, потрошња енергије преносних мрежа може бити смањена [11] у односу на *IP backbone* без проширења OTN нивоом.



Слика 2. Тренд унапређења енергетске ефикасности уређаја. Извор слике [10]

Кораџи ка даљем смањењу потрошње електричне енергије OTP10G уређаја су примена процесорских јединица савременијих технологија израде у односу на тренутне. Са новим технологијама израде долазе компактнији процесори веће процесорске моћи, мање потрошње и мање термалне дисипације. Како процесорски блокови представљају највећи извор термалне дисипације у уређајима, њиховом заменом би се смањили и захтеви у погледу система хлађења уређаја (слабији вентилатори, који раде на мањем броју обртаја), што резултује додатним смањењем потрошње енергије уређаја. Потом, увођење нових јединица у постојећу транспортну платформу које имају интерфејсе за трансмисију сигнала битског протока од 40 Gb/s и 100 Gb/s ће проширити максималне капацитете преноса и у знатној мери повећати енергетску ефикасност уређаја.

ЗАХВАЛНИЦА

[illegible]

ЛИТЕРАТУРА

- [1] U.S. Energy Information Administration: International Energy Outlook 2013, July 2013.; <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html>
- [2] A. Gladisch, C. Lange, R. Leppla, "Power efficiency of optical versus electronic access networks", Proc. European Conference and Exhibition on optical communications, Brussels, 2008.
- [3] ITU-T Recommendation G.872, Architecture of optical transport networks, October 2012.
- [4] ITU-T Recommendation G.709/Y.1331, Interfaces for the optical transport network, February 2012.
- [5] ITU-T Recommendation G.975.1, Forward error correction for high bit-rate DWDM submarine systems, February 2004.
- [6] ИРИТЕЛ Београд: ОТП10G – OTN/DWDM Оптичка транспортна платформа 40x10Gb/s - Технички опис, Инсталација, Руковање и одржавање, Октобар 2013.
- [7] R.Đenić, P.Protić, B.Pajčin, V.Kostić - JEDNO REŠENJE MULTIFUNKCIONALNE, VIŠENAMENSKE CENTRALNO UPRAVLJAČKE JEDINICE OTCU IRITEL, Zbornik radova 56. Konferencije za ETRAN, Zlatibor, 11-14. juna 2012.
- [8] ITU-T Recommendation G.652, Characteristics of a single-mode optical fibre and cable, November 2009.
- [9] ИРИТЕЛ Београд: ODS2G5 – SDH Оптички дигитални систем 2.5Gbit/s - Технички опис, Инсталација, Руковање и одржавање, Јануар 2012.
- [10] The Institute for Energy Efficiency, UC Santa Barbara: ICT Core Networks: Towards a Scalable, Energy-Efficient Future, June 2013.
- [11] ZTE Corporation: ZTE Green Technology Innovations White Paper, 2011.

ABSTRACT

As concern about the global energy situation and environmental protection is increasing in recent years, the

technology solutions that will lead to energy savings are subjects of new researches in many scientific disciplines. In the last decade, great progress is evident in optical transport networks, but is also evident electricity consumption increase in these networks. In development process of OTN/DWDM platform OTP10G IRITEL special attention was paid to the selection and use of components and modules for the purpose of reducing energy consumption and improving energy

efficiency of new devices. The results of this green engineering will be presented as power consumption of developed devices, and the next development steps in order to reduce that consumption will be given.

**ENERGY EFFICIENCY OF OTP10G IRITEL
OTN/DWDM PLATFORM**

Bojan Pajčin, Vladimir Kostić, Predrag Mićović, Milan Bjelica