

NOVE TEHNOLOGIJE OPTIČNIH PRENOSNIH SISTEMOV ZA ELEKTROGOSPODARSKA PODJETJA

Peter Ceferin

Smart Com, d.o.o, Brnčičeva ulica 45, Ljubljana

peter.ceferin@smart-com.si

Povzetek – Optična vlakna kot prenosni medij za potrebe telekomunikacijskih omrežij elektrogospodarskih sistemov že dolgo prevladujejo, kot optimalen medij, ki omrežnim sistemom omogoča optimalne pogoje pri zagotavljanju TK storitev za širok nabor uporabnikov, vključujoč najzahtevnejše. Dosedanji, tradicionalen pristop pri snovanju prenosnih sistemov, ki večinoma temeljijo na uporabi SDH in PDH prenosnih sistemov se z uporabo IP in Ethernet storitev za uporabnike umika novim tehnologijam, ki morajo biti optimalneje prilagojene za prenos paketnih storitev. V članku so obravnavane možne tehnološke rešitve optičnih prenosnih sistemov za paketna omrežja ter načini prehoda tradicionalnih prenosnih optičnih omrežij na nove tehnološke rešitve, z upoštevanjem zahtev v elektrogospodarskih podjetjih.

NEW TECHNOLOGIES OF OPTICAL NETWORKS FOR POWER UTILITIES

Peter Ceferin

Smart Com, d.o.o, Brnčičeva ulica 45, Ljubljana

peter.ceferin@smart-com.si

Abstract – *Optical fibers in the power utilities infrastructure are prevailing as a transmission media for the telecommunication networks used to assure services for the users inside utility systems, including the most mission critical subsystems. The most common solutions used in the past were based on the PDH and SDH technology, providing TDM services as well as some Ethernet/IP services. Growth and prevalence of packet based services (Ethernet, IP, FC for data centers) in the emerging SmartGrids infrastructure demand also new technologies in the field of optical networks, providing optimum conditions for the convergent telecommunication networks with the packet based services, as well as TDM services, which will be present for the period of the migration process. The article deals with the technologies and solutions for the next generation optical networks for the power utilities.*

I. UVOD

Storitve v telekomunikacijskih omrežjih elektroenergetskih podjetij zagotavljajo potrebe in zahteve širokemu naboru uporabnikov, ki jih predstavljajo različni podsistemi, namenjeni tako izvajanju procesnih, kot poslovnih funkcij. Z razvojem in uvajanjem novih rešitev pri informatizaciji in avtomatizaciji elektroenergetske infrastrukture, postajajo potrebe po tehnologiji IKT še intenzivnejše, porazdeljena inteligenca v pametnih omrežjih (SmartGrids) pa postavlja nove zahteve po povezljivosti množice inteligentnih naprav. Tako kot vsak sistem zahteva tudi telekomunikacijsko omrežje zasnovo, ki jo je potrebno obravnavati sistematsko, pri čemer se je potrebno posluževati načrtovalskih načel v smislu od vrha proti dnu. Konkretno to pomeni, da se načrtovanje ne prične pri gradnikih, ki bodo vgrajeni v TK omrežje, pač pa pri treh ključnih segmentih, ki dajejo širši pogled na dolgoročno ustrezne usmeritve pri uporabi tehnologij in izbranih rešitev v TK omrežjih. Elementi, ki določajo telekomunikacijsko omrežje so naslednji:

- Arhitektura, ki ima dva vidika: hierarhično razdelitev TK omrežja na posamezne sloje, glede na potrebe po prenosu in povezovanju prometnih tokov. Običajna je trislojna hierarhična zasnova TK omrežja: jedrni sloj, agregacijski sloj ter dostopni sloj. Druga arhitekturna razdelitev je glede na OSI model zagotavljanja omrežnih funkcionalnosti. Sodobna TK omrežja tako za ponudnike storitev, kot elektroenergetske sisteme so postala dvoslojna: sloj optičnega transporta ter storitveni/podatkovni sloj.
- Topologija, ki določa krajevno povezljivost vozlišč TK omrežja. Pri načrtovanju topologije omrežja je potrebno načrtovati fizično topologijo (povezljivost vozlišč preko prenosnih medijev), topologijo prometnih tokov v TK omrežju, ter topologijo zaščitnih mehanizmov.
- Funkcionalnosti TK omrežja, ki določajo parametre delovanja TK omrežja od lastnosti fizičnih komponent vgrajene opreme do lastnosti vgrajenih tehnoloških rešitev, protokolov na različnih slojih TK omrežja ter funkcionalnosti kontrolne ravni za vodenje TK omrežja in vgrajenih gradnikov.

Pri načrtovanju TK omrežja je potrebno načrtovati vse tri vidike TK omrežja, ki se medsebojno tudi prepletajo. Zahteve, ki jih narekujejo uporabniki TK storitev se odražajo v vseh treh elementih načrtovanja TK omrežja, zato je potrebna skrbna analiza zahtev. Pri tem je ključnega pomena tudi ustrezna odprtost v smislu razvoja TK storitev, ki jih bodo zahtevali uporabniki v prihodnosti. Dejstvo je namreč, da gre pri investicijah v TK infrastrukturo za dolgoročne procese, zato je izredno pomembno, da so izbrane

rešitve takšne, da omogočajo ustreznost zahtevam v sistemu v čim daljšem časovnem obdobju. TK sistemi, ki združujejo vse ali večino storitev za uporabnike, kamor sodijo tudi optični prenosni sistemi so temu podvrženi v polni meri. Potrebe in zahteve uporabnikov običajno divergirajo, zato ob nepravilnem načrtovanju ter odzivu na uporabniške zahteve obstaja nevarnost divergence tudi v TK sistemih, kar pa vodi v neoptimalno zgradbo TK sistema, posledično pa do težav pri obratovanju in povečevanja stroškov investicij in obratovanja. V elektroenergetskih podjetjih so TK storitve za uporabnike postale nepogrešljiv del izvajanja procesov, tako v smislu obratovanja in upravljanja elektroenergetskega omrežja in gradnikov le-tega, kakor tudi izvajanja poslovnih procesov v podjetjih. Pri tem se morajo tudi v TK sistemu odražati ključne lastnosti, ki jih imajo elektroenergetska omrežja: visoka razpoložljivost, varnost ter transparentna rast glede na potrebe.

Pomemben korak pri uvajanju avtomatizacije ter informatizacije tehnoloških procesov v elektroenergetskih omrežjih je bil mogoč s pojavom optičnih vlaken v preteklosti, saj so danes praktično vsi objekti visokonapetostne ravni prenosnega sistema, sredjenapetostne ravni elektrodistribucijskih podjetij ter objektov proizvodnje električne energije povezani preko optičnih kablinskih povezav, različnih izvedb ter kapacitet. Poleg tega prihaja tudi do uvajanja optičnih povezav do nizkonapetostnih objektov elektrodistribucijskih podjetij - TP postaj, ki postajajo pomemben segment pri razvoju pametnih omrežij. Optična vlakna v elektroenergetskih podjetjih so omogočila razvoj in vgradnjo različnih tehnoloških rešitev na ravni optičnih prenosnih sistemov. Tudi na tem segmentu se dogajajo spremembe in pojav novih zahtev z vidika uporabnikov ter vplivajo na izbor optimalnih tehnoloških rešitev optičnih prenosnih sistemov nove generacije v TK omrežjih elektroenergetskih podjetij.

II. OPTIČNI PRENOSNI SISTEMI V ELEKTROENERGETSKIH TK OMREŽJIH

TK omrežja v elektroenergetskih podjetjih so v smislu arhitekturnih lastnosti običajno grajena v hierarhičnem zaporedju jedro-agregacija-dostop, v smislu slojev OSI pa v zaporedju optični prenos (realizira sloj 1) ter podatkovni sloj (realizira sloj 2 in 3). Optični prenosni sloj je potreben za izvajanje naslednjih zahtevanih funkcij v TK omrežju:

- Zagotavljanje medsebojne povezljivosti vozlišč preko optičnih vlaken v ustrezno topološko strukturo. V elektroenergetskih TK omrežjih so

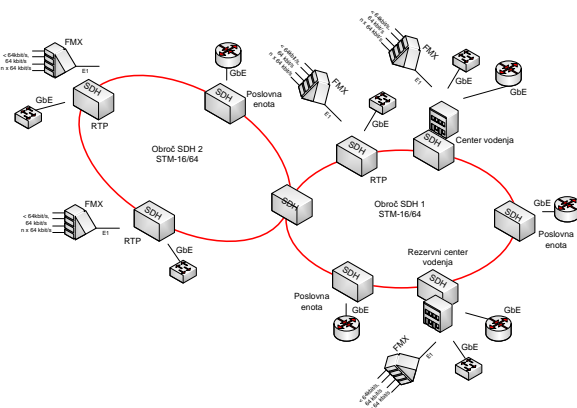
vozišča povezana v obročno strukturo, saj edino ta zagotavlja zahtevano visoko stopnjo razpoložljivosti TK storitev.

- zagotavljanje mehanizmov visoke razpoložljivosti storitev – preklope na obhodne poti v obroču. Velja, da morajo biti zagotovljeni preklonni časi v primeru okvar ali napak na prenosnih poteh pod 50 ms.
- Zagotavljanje dodajanja/odvzemanja (multipleksiranja) in prevezovanja posameznih storitev za prenos preko linijskih vmesnikov ter ustreznega umeščanja storitev v prenosno strukturo glede na njihove lastnosti.

Glede na tehnološke zahteve oz. naravo storitev uporabnikov so dolgo časa prevladovala storitve TDM, ki pa se zaradi prehoda uporabniških sistemov na Ethernet/IP tehnologije umikajo uporabi paketnih podatkovnih struktur (npr. Ethernet ali MPLS). Ključno je dejstvo, da bo v sistemih pametnih omrežij (SmartGrids) tako na obstoječi infrastrukturi, kot še na razvijajočih se sistemih vsaka inteligentna naprava imela lasten naslov IP (IPv4 in že v bližnji prihodnosti IPv6), kar za TK storitve pomeni nujno prilagajanje paketnemu načinu prenosa. Porast prometa zaradi večjega števila podatkov (npr. sistemi naprednega merjenja AMM/AMI, pojav novih rešitev upravljanja z električnimi porabniki, itd) bo pomenila tudi porast potreb po prenosnih kapacitetah v TK omrežjih elektroenergetskih podjetij. Naštete ugotovitve zahtevajo razmislek in uvajanje novih rešitev optičnih prenosnih sistemov, saj obstoječe TDM tehnologije ne bodo več optimalne za takšne potrebe.

III. DOSEDNJA PRAKSA IN REŠITVE

Optični prenosni sistemi v TK omrežjih elektroenergetskih podjetij so se v preteklem obdobju uveljavili z uporabo tehnologije sinhrono digitalne hierarhije - SDH, ki je z visoko stopnjo zrelosti, razvitimi mehanizmi visoke razpoložljivosti, visoko stopnjo standardizacije ter mehanizmi za obratovanje, vzdrževanje in upravljanje (OAM) praktično edina zagotavljala ustrezne zahteve v elektrogospodarskih podjetjih. Običajna arhitektura pri uporabi SDH tehnologije je prikazana na sliki 1. SDH omrežni gradniki združujejo funkcionalnosti NG SDH prenosnih sistemov (zmožnost zagotavljanja Ethernet storitev), multipleksorjev dodaj/odvzemi (ADM) ter digitalnih povezovalnikov (DXC). Storitve optičnega prenosnega sistema SDH zajemajo povezave točka – točka za sisteme fleksibilnih multipleksorjev (FMX) na ravni E1 ter storitve povezovanja Ethernet stikal ali IP/MPLS usmerjevalnikov na ravni GbE. Običajne prenosne kapacitete pri povezovanju vozlišč so STM-16 ali STM-64.



Slika 1: Optični prenosni sistemi SDH

S postopnim uvajanjem uporabnikov, ki zahtevajo Ethernet/IP storitve je bilo možno uvajanje storitev Ethernet ter Gigabit Ethernet povezljivosti med posameznimi gradniki podatkovnega/storitvenega sloja. SDH sistemi so se namreč razvojno usmerili v t.i. NG SDH sisteme, ki lahko zagotavljajo prenos TDM in Ethernet storitev hkrati. Prenos obeh pa se še vedno izvaja preko ustreznih SDH linijskih povezav (STM-1, STM-4, STM-16 ali STM-64). V rabi je namreč še vedno ostal temeljni koncept tovrstnih omrežij – multipleksiranje privodnih povezav v SDH strukturo – standardizirane virtualne kontejnerje. Le-ti so bili s svojo strukturo prvotno namenjeni in optimizirani za prenos TDM storitev (PDH hierarhije), kot so E1 in E3. Zagotavljanje prometnih tokov nižjih prenosnih kapacitet (pod 64 kbit/s, 64 kbit/s ali nx64 kbit/s) se je izvajalo na ravni fleksibilnih multipleksorjev. S pojavom potreb povezovalnika Ethernet naprav s povezavami točka - točka so bili razvite in standardizirane metode umeščanja Ethernet paketov v SDH virtualne kontejnerje – virtualna konkatenacija VCAT (ang. virtual concatenation), GFP (ang. Generic Framing Procedure) ter LCAS (ang. Link Capacity Adjustment Scheme). Pri tem so bile ohranjene bistvene lastnosti SDH omrežij za potrebe prenosa v elektroenergetskih omrežjih – visoka razpoložljivost z mehanizmi zaščit v obročnih topologijah, visoka stopnja standardizacije, nizke zakasnitve za kritične aplikacije ter razvite in standardizirane funkcionalnosti OAM (ang. Operation, Administration and Maintenance), ki so v povezavi z intuitivnimi omrežnimi sistemi vodenja dale zahtevane pogoje glede učinkovitega vodenja tovrstnih omrežij.

IV. NOVE ZAHTEVE ZA OPTIČNE PRENOSNE SISTEME

Postopno uvajanje in prevlada TK storitev, ki jih narekujejo uporabniki s prenosom Ethernet/IP prometnih tokov so privedli do potreb po uvajanju novih tehnoloških rešitev na področju optičnih

prenosnih sistemov. Obstoječi SDH prenosni sistemi namreč zahtevam, ki se pojavljajo že sedaj, v prihodnosti pa se bodo še dodatno spremenile in zaostrele niso več optimalno tehnično prilagojeni, posledično pa vodijo k zviševanju stroškov investicij in obratovanja. Poleg tega velja tudi, da je na globalni ravni v TK industriji SDH tehnologija v postopnem zatonu, kar zahteva ustrezen razmislek glede migracij k novim zrelim in zahtevam bolj prilagojenim rešitvam.

Ključne zahteve, ki oblikujejo razmišljanje o tehnološkem preskoku na področju optičnih prenosnih sistemov za elektrogospodarska TK omrežja so naslednje:

- Porast in prevlada Ethernet/IP prometnih tokov nad TDM prometnimi tokovi. NG SDH sistemi se izkažejo kot optimalni samo v primeru prevlade TDM prometa nad Ethernetom, česar pa glede na potrebe po čedalje večjem obsegu Ethernet storitev ni več. V prihodnosti je pričakovati manjšinski delež TDM prometa (tako po številu storitev, kot po potrebnih prenosnih kapacitetah). V primeru neprilagoditve optičnega prenosnega sistema nastalim razmeram se bodo stroški SDH omrežij znatno povečali. Z uporabo ustreznih rešitev paketnih optičnih prenosnih sistemov (POTS) je možno zniževati stroške investicij ter opreme v primerjavi z SDH tehnologijo med 30 in 40%.
- Porast Ethernet/IP uporabniški prometnih tokov s kapacitetami n x GbE, ter 10 GbE in n x 10GbE.
- Potrebe po povezovanju podatkovnih centrov, kjer se s porastom aplikacij povečujejo tudi potrebne kapacitete pri povezovanju med podatkovnimi centri in uporabniki ali inteligentnimi napravami v različnih podsistemih elektroenergetskih podjetij. Dodatno je potrebno upoštevati potrebe po rezervnih podatkovnih centrih zaradi zagotavljanja visoke razpoložljivosti podatkovnih centrov (npr. DRC centri)
- Nove vrste storitev pri povezovanju podatkovnih centrov – Fibre Channel (FC), kapacitet 1/2/4/8 Gbit/s ter FcoE, ki bo zahteval povezovanje preko 10 GbE povezav. Te storitve so paketne narave, ključne pa so nizke zakasnitve pri prenosu. Tem zahtevam SDH tehnologija ne zagotavlja več optimalnih pogojev.
- Potrebe po racionalizaciji izrabe optičnih prenosnih poti. Zaradi različnih potreb v preteklosti, neuskajane izrabe optičnih vlaken za različne uporabnike je tudi v elektroenergetskih podjetjih že prišlo ponekod do primanjkljaja optičnih vlaken. Potrebno je izvesti racionalizacijo z uporabo valovnega multipleksiranja ter submultipleksiranja znotraj optičnih kanalov in povečanja kapacitet linijskih povezav na raven 10Gb/s.

- Potrebe po združevanju prometnih tokov TDM, Ethernet in podatkovnih centrov v okviru primerne tehnologije prenosa, ki ohrani in nadgradi obstoječe mehanizme v SDH optičnih prenosnih sistemih: visoko razpoložljivost, varnost, fleksibilnost, mehanizme OAM z ustreznimi sistemi vodenja ter zniževanje stroškov investicij in obratovanja.
- Interoperabilnost na ravni povezovanja optičnih prenosnih sistemov različnih elektrogospodarskih podjetij, tako na ravni linijskih povezav, kot na ravni storitev, ki se prenašajo preko teh sistemov.

V. TEHNOLOŠKE REŠITVE ZA OPTIČNE PRENOSNE SISTEME NOVE GENERACIJE

Izhajajoč iz naštetih potreb oz. zahtev glede TK storitev optičnih prenosnih sistemov je potrebno zagotoviti naslednje mehanizme:

- Uporaba standardizirane prenosne tehnologije, ki je optimizirana za paketne storitve ter zagotavlja povezljivost oz. preklapljanje prometnih tokov v vozliščih. Z uvedbo standardov je zagotovljena zahtevana zrelost tehnologije, ki je potrebna za elektroenergetska TK omrežja. Kapaciteta prenosnih povezav (spojnih vodov) mora biti prilagojena seštevku privodnih kapacitet na gradnikih optičnega prenosnega sistema.
- Vzpostavitev optične prenosne infrastrukture, ki omogoča topologijo zankastih storitev (ang. mesh).
- Gradniki vozlišč optičnih prenosnih omrežij morajo zagotavljati širok nabor vmesnikov, ki jih določajo sistemi podatkovnega/storitvenega sloja – od FE, GbE, 10 GbE, različnih izvedenk in kapacitet FC vmesnikov ter obstoječih SDH vmesnikov. Na ta način se zagotovi konvergenčna rešitev za prenos vseh oblik storitev prenosnih omrežij: paketnih – Ethernet in FC ter TDM.
- Uporaba valovnega multipleksiranja za optimizacijo izrabe optičnih vlaken ter uvedba submultipleksiranja za optimizacijo izrabe kapacitete optičnih kanalov posameznih valovnih dolžin.
- Zagotavljanje mehanizmov visoke razpoložljivosti na ravni opreme (redundanca vitalnih komponent) ter hitrih preklpov na obhodne poti pod 50 ms.
- Pri uvajanju novih rešitev na ravni optičnih prenosnih sistemov je potrebno upoštevati tudi obstoječe stanje in usihanje potreb po TDM storitvah, za katere pa bo v vmesnem obdobju potrebno zagotavljati enake pogoje kot dosedaj.

Glede na podana izhodišča gre iskati rešitve nove generacije optičnih prenosnih sistemov za elektrogospodarska podjetja na osnovi naslednjih tehnologij:

- Valovno multipleksiranje (DWDM) z uvedbo avtomatiziranega usmerjanja optičnih kanalov v vozliščih - ROADM;
- G.709 - OTN (ang. Optical Transport Networks);
- Prenosni sistemi na osnovi 40Gb/s in v prihodnosti 100Gb/s linijskih povezav z uporabo koherentnih optičnih sistemov.

Pri uporabi naštetih tehnologij je potrebno le-te v ustreznih rešitvah medsebojno uskladiti, pri čemer je potrebno podrobneje preučiti in določiti zahteve po prometnih tokovih in prometnih matrikah za zagotavljanje storitev prometnih tokov.

a. VALOVNO MULTIPLEKSIRANJE IN ROADM

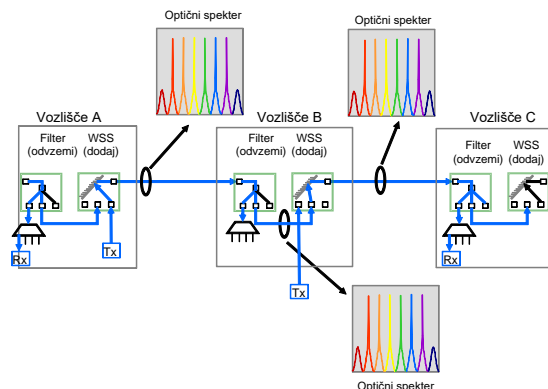
Glede na porast zahtev s strani uporabnikov optičnih transportnih sistemov, katerih seštevek presega linijske prenosne kapacitete 10Gb/s, kar se z uvajanjem 10 GbE in FC povezav zgodi, je potrebno upoštevati, da število povezav, ki jih je potrebno prenašati med vozlišči narašča. Z namenom optimizacije izrabe optičnih vlaken se zato uporabi tehnologija valovnega multipleksiranja – WDM, pri čemer je najpogostejša uporabljena različica DWDM. ITU-T je v priporočilu G.694.1 standardiziral razdelitev svetlobnega spektra med 190.100 GHz in 197.300 GHz za uporabo nosilcev optičnega prenosa z medsebojnim razmikom 100GHz. Z vsakim nosilcem je možno prenašati 10 Gb/s prenosne kapacitete kateregakoli protokola optičnega prenosnega sistema (SDH, OTN, 10GbE). Z uvajanjem 10Gb/s prenosnih kapacitet je potrebno upoštevati pravila širjenja optičnega signala preko obstoječega nabora optičnih vlaken. Različni efekti, ki nastopijo, vplivajo na prenos optičnega signala, pri čemer sta najpomembnejša naslednja:

- Slabljenje na trasi med dvema vozliščema;
- Polarizacijski učinki (kromatska in polarizacijska).

Zaradi slabljenja na trasi (posebej če ne izvajamo optično-električne-optične pretvorbe na vmesnih vozliščih optičnega kanala) je potrebno optični signal ojačevati, posledično pa se ojači tudi šum, kar vpliva na razmerje OSNR, ki ne sme pasti pod mejo dovoljenega za kakovosten prenos. Zato je potreben ustrezen izračun ter razpored optičnih ojačevalnikov na optični prenosni poti, kar se običajno izvaja z ustreznimi načrtovalskimi orodji. Ob potovanju optičnega signala, ki vsebuje različne frekvence

optičnega spektra (prenos več valovnih dolžin) posamezne komponente potujejo preko optičnega vlakna z različno hitrostjo, zato pride do popačenj vhodnega signala na sprejemniku. Na optični trasi je zato potrebna kompenzacija disperzije, ki se izvaja s pasivnimi komponentami. Vsi trije parametri pri prenosu optičnega vlakna - slabljenje, OSNR ter disperzija morajo biti na prenosni poti optimalni.

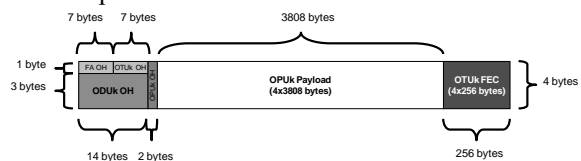
Zaključevanje optičnih kanalov v skladu z DWDM razdelitvijo spektra znotraj posameznih vozlišč zagotavljajo optični multipleksorji OADM, ki iz svetlobnega spektra izsejejo natančno določen nabor valovnih dolžin, ki se kasneje zaključijo na optičnih vmesnikih prenosnih naprav. Takšen, statičen način zaključevanja in dodajanja optičnih kanalov ima omejitve, predvsem v preglednosti ter upravljanju, posebej kadar število optičnih kanalov v TK omrežju narašča. Zato je v takem primeru smiselno uporabljati ROADM vrste optičnih multipleksorjev, kjer je mogoče daljinsko upravljati usmerjanje in prevezovanje optičnih kanalov. Ključna komponenta ROADM elementa je WSS (ang. Wavelength Selective Switch), ki s pomočjo zrcalne tehnologije, krmiljene s kontrolnimi protokoli izseje ustrezne valovne dolžine na vozlišču. Razmere prikazuje slika 2.



Slika 2: Usmerjanje optičnih kanalov preko ROADM

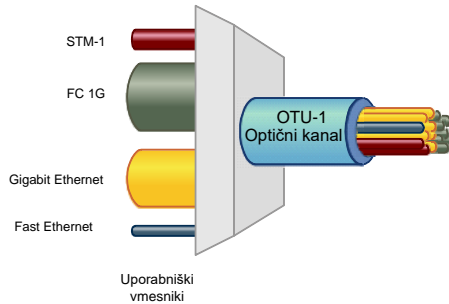
b. G.709 IN OTN

OTN predstavlja novo generacijo optičnih prenosnih sistemov, ki so optimizirani za prenos v konvergenčnih omrežjih, kjer prevladujejo prometni tokovi na osnovi paketnih tehnologij Ethernet/IP. Temu ustrezno je prilagojena struktura optičnega kanala OCh, ki je nosilec storitev, ki jih OTN ADM uvršča v prikazano strukturo na sliki 3.



Slika 2: Struktura optičnega kanala OCh v OTN

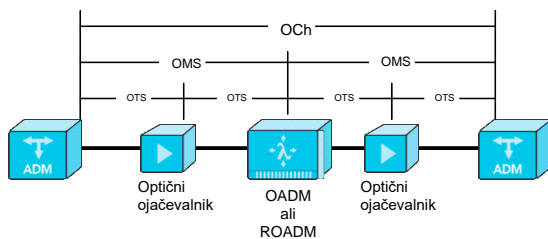
Okvir vsebuje glavo, koristno vsebino in zaključek, namenjen mehanizmu FEC. Slednji omogoči povečanje optičnega dometa s popraviljanjem napak pri povezavi dveh vozlišč. V glavi okvirja so standardizirana polja, ki zagotavljajo strukturo OTN, ter mehanizmi OAM. Uvrščanje storitev v koristno vsebino omogoča prenos vseh storitev v okviru enega optičnega kanala, npr. kapacitete OTU-1 (2,67 Gb/s), kar prikazuje slika 3.



Slika 3: Uvrščanje storitev v optični kanal

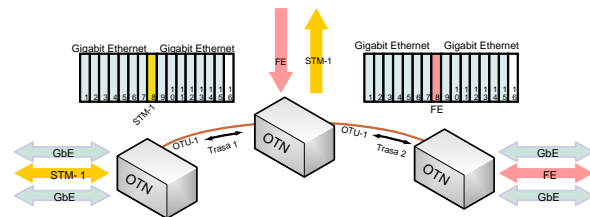
OTN tehnologija ima vgrajene mehanizme, ki so bili uspešno preizkušeni v praksi že v SDH omrežjih, vendar je bistveno bolj prilagojena prenosu paketnih prometnih tokov, zato tudi ekonomska primerjava, tako v smislu stroškov investicij, kot obratovanja daje tehnologiji OTN prednost pred SDH. Zato je logičen korak tudi uvajanje te tehnologije v elektroenergetska TK omrežja.

Poleg standardizirane strukture osnovnih celic prenosa storitev med vozlišči je standardizirana tudi hierarhija prenosnih sekcij optičnih povezav med vozlišči, kar prikazuje slika 4. Med posameznimi vozlišči so optične transportne poti OTS, ki se seštevajo v optično multipleksno sekcijo OMS, medtem, ko predstavlja optični kanal OCh sekcijo med dvema elementoma, ki opravljata optično električno pretvorbo (ADM). Na mestu ADM se izvaja odzemanje in dodajanje storitev (npr. GbE, FC), z namenom ustvarjanja zankaste (ang. mesh) topologije tudi za potrebe storitev, hkrati pa ADM naprava omogoča tudi digitalno prevezovanje teh storitev med različnimi linijskimi vmesniki. Digitalna hierarhija OTN omrežij opredeljuje naslednje nosilne hitrosti, ki se prenašajo v optičnih kanalih OCh: OTU1 (2,67 Gb/s), OTU2 (10,71Gb/s), OTU3 (43,02 Gb/s) ter OTU4 (111,81 Gb/s).



Slika 4: Optična hierarhija v OTN

Gre torej za ekvivalenten sistem, kot je bil uveden že v SDH omrežjih, katerih ključni elementi so bili ravno tako optični prenos med vozlišči, odzemanje in dodajanje (ADM) storitev (v primeru SDH od E1 navzgor do STM-16) ter digitalno prevezovanje (DXC) storitev na različnih ravneh (LO – Low order ter HO – High Order). Digitalno prevezovanje na ravni OTN omrežij je na ravni časovnih oken, v katere se razmestijo posamezne storitve. Časovna okna so prilagojena umeščanju vseh paketnih in TDM storitev, zato je izbrana osnovna enota 155Mb/s. Paketne storitve Ethernet, GbE ter FC se umeščajo v skladu s priporočilom ITU-T G.7041 (GFP), medtem ko se TDM storitve umeščajo neposredno. (STM-1 je ekvivalent 155Mb/s časovnemu oknu). Digitalno prevezovanje storitev je enostavno in učinkovito, kar zopet prinaša prednosti tako v smislu enostavnejšega obratovanja omrežij, kot stroškov tehnologije. Na ta način je možno ustvariti zankasto (mesh) topologijo storitev v optičnem prenosnem omrežju, kar je nujen pogoj za fleksibilnost, ki jo zahtevajo podatkovni/storitveni (Ethernet storitve, MPLS) sloji TK omrežij. Razmere prikazuje slika 5.

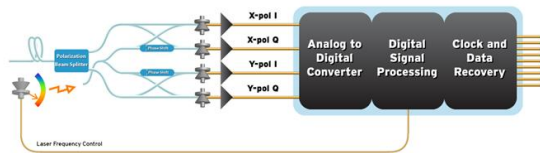


Slika 5: Digitalno prevezovanje ter dodajanje/odzemanje storitev v OTN

c. PRENOSNI SISTEMI 40 GB/S IN 100 GB/S

Prenosni sistemi kapacitet 40Gb/s in 100Gb/s so se razvili zaradi naraščajočih potreb pri prenosu različnih storitev v TK omrežjih. Uporabniški sistemi (usmerjevalniki, stikala) s potrebami po povezovanju 10GbE ali FC povezav povzročijo koncentracijo 10 Gb/s uporabniških povezav in posledično povečevanje števila optičnih kanalov OCh med posameznimi vozlišči, v kolikor so le-ti kapacitet OTU2. Z opisanimi metodami uporabe usmerjanja optičnih kanalov preko OADM ali ROADM je možno zagotoviti ustrezno zanko topologijo povezav OTU2 povezav med vozlišči, vendar se število kompenzacijskih komponent pri povečevanju OTU2 povezav začne povečevati, kar povzroča kompleksnejše razmere v omrežju na eni strani, na drugi pa povečevanje stroškov. Zavedati se je potrebno tudi, da bodo prenosne kapacitete podatkovnih centrov presegle 10 Gb/s z uvedbo 40Gb/S in 100 Gb/s vmesnikov omrežnih komponent v podatkovnih centrih. Tako bo potrebno preko

optičnih sistemov zagotoviti tudi prenos storitev takšnih kapacitet. Zato je v nekaterih primerih smiselna uporaba prenosnih sistemov predvsem 40Gb/s, v prihodnosti pa tudi 100 Gb/s, ki za svoje delovanje izkoriščajo koherentne optične sprejemnike. Pri tej metodi je uvedena drugačna vrsta modulacije in sicer gre za modulacijo obeh polarizacijskih komponent optičnega signala z metodo DP-QPSK. Na ta način so izpolnjeni pogoji za povečanje izkoristka posameznega simbola v modulacijski shemi in posledično povečanje hitrosti prenosa. Tehnološke inovacije pa so z uvedbo koherentnih sprejemnikov omogočile sprejem signalov kapacitet 40 Gb/s in 100Gb/s s pretvorbo analognih signalov v digitalne že na ravni dekodiranih optičnih signalov. Zmogljivosti digitalnih signalnih procesorjev DSP pa omogočajo obdelavo digitalnih signalov. Razmere prikazuje slika 6.



Slika 6: Koherentni sprejemnik v sistemih 40Gb/s in 100Gb/s

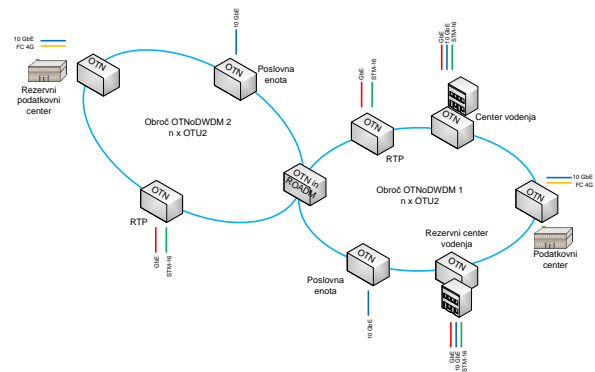
Na ta način se drastično poveča razpon disperzije (do 32 000 ps/nm), pri kateri sprejemnik lahko kompenzira sprejem popačenega optičnega signala. S tem iz optičnega omrežja izločimo uporabo disperzijskih komponent in močno poenostavimo prenos optičnih kanalov med vozlišči. Sistem postane analogen prenosu v SDH omrežjih kapacitet do STM-16, kjer razen slabljenja praktično ni bilo potrebno upoštevati drugih lastnosti prenosa optičnega signala. Vodenje storitev preko prenosnega sistema 40 Gb/s ali 100 Gb/s lahko torej primerjamo s tistim v SDH – 40 Gb/s (OTU3) linijske povezave, v katere so multipleksirane hierarhično nižje storitve (GbE, 10 GbE, FC 1/2/4/8, STM-1/4/16/64).

VI. ARHITEKTURA OPTIČNEGA PRENOSNEGA SISTEMA NOVE GENERACIJE

Nabor tehnologij in gradnikov, ki so na voljo za načrtovanje optičnih prenosnih sistemov v elektroenergetskih TK omrežjih in ki izpolnjujejo zadane zahteve je postal širok, zato je možno načrtovanje fleksibilnih omrežij, ki ustrezajo novim razmeram, ki jih določa razvoj pametnih omrežij (SmartGrids). S tem dosežemo pogoj za zaščito investicij saj je mogoče dolgoročneje načrtovanje, ker so našteje tehnologije na eni strani zrele in

standardizirane, na drugi pa se bodo uporabljale in dopolnjevale v daljšem časovnem obdobju. Veljajo podobne razmere, kot so bile npr. pri SDH tehnologiji v devetdesetih letih 20. stoletja.

Zato je glede na zoznane in predvidene nove potrebe možno opredeliti različne predloge arhitekture optičnih prenosnih omrežij, ki zagotavljajo storitve obstoječim in bodočim sistemom v elektroenergetskih podjetjih. Slika 7 prikazuje primer arhitekture optičnega prenosnega sistema nove generacije, ki vgrajuje našteje možne tehnologije in zagotavlja vse mehanizme, ki jih tovrstna omrežja v elektroenergetskih podjetjih potrebujejo – visoko razpoložljivost, zagotavljanje storitev glede na različne uporabnike – Ethernet/IP, podatkovnih centrov ter TDM, realizacijo nabora vseh zahtevanih uporabniških storitev glede na kapacitete prenosa od FE do 10 GbE, optimizacijo uporabljenih optičnih virov ter zankasto topologijo na ravni storitev, ki omogoča povezovanje med katerikoli izbranimi vmesnikoma v omrežju. Poleg tega prilagojena struktura OTN zagotavlja manjše zakasnitve pri prenosu storitev FC med podatkovnimi centri, kot je to omogočala tehnologija SDH.



Slika 7: Arhitektura prenosnega sistema OTN

Uporabljene so tehnološke rešitve OTN za multipleksiranje, optično povezovanje med vozlišči (ravni OTU2) ter digitalno povezovanje subvalovnih storitev (pod 10 Gb/s) ter ROADM za prevezovanje optičnih kanalov na lokaciji, kjer ni potreb po optično- električnih pretvorbah.

VII. ZAKLJUČKI

Optični prenosni sistemi v elektroenergetskih TK omrežjih se morajo vedno prilagajati uporabniškim zahtevam. Le-te se z uvajanjem Ethernet/IP storitev spreminjajo glede na stanje v preteklosti, ko je prevladovala TDM vrsta storitev za uporabniške podesisteme tako za tehnološke procesne sisteme, kot poslovne sisteme IKT. Razvoj pametnih omrežij daje

temu procesu dodaten pospešek, zato bo potrebno v elektroenergetskih podjetjih ustrezno prilagoditi optične prenosne tehnologije v smeri, ki bo omogočila na eni strani prilagajanje nastalim razmeram ter slediti zahtevam, ki se bodo še pojavile, na drugi strani pa z ustreznimi rešitvami zagotoviti zniževanje stroškov investicij ter obratovanja, kar bo prineslo nižje stroške posesti TCO ter zaščito investicij preko daljšega časovnega obdobja. Rešitve, ki jih je v ta namen potrebno uvajati v elektroenergetska TK omrežja slonijo na zrelih in standardiziranih tehnologijah DWDM, ROADM, OTN ter prenosnih sistemih 40 Gb/s ter v naslednji stopnji 100 Gb/s.

Reference

- [1] ITU-T: standard G.709/Y.1331 – Interfaces for the Optical Transport Network (OTN), december 2009
- [2] " From Legacy to SmartGrid - A practical modernization strategy", Ciena, 2011
- [3] J.M. Simmons: " Optical Network Design and Planning", Springer Science+Business Media, New York, 2008