

SLOPINIMŲ SKAIČIAVIMAS OPTINĖJE MAGISTRALĖJE SU SKIRSTOMOSIOMIS ATŠAKOMIS

Rimantas Plėštys, Jurgita Dabulytė-Bagdonavičienė, Renata Gudaitienė

Kauno kolegija

Anotacija. Optinės skaidulos yra naudojamos pasyviosios optinės prieigos tinkluose, kurie skirti vartotojų įjungimui į internetą. Kiekvieno vartotojo įjungimui galima naudoti tiek atskiras optines skaidulas, tiek panaudoti tas pačias. Jeigu esamose magistralėse nėra laisvų optinių skaidulų, tenka kloti naujus daug skaidulų turinčius optinius kabelius. Įvertinus, kad viena optine skaidula siunčiamų duomenų perdavimo spartos gali būti milijonus kartų didesnės palyginus su įvairių interneto vartotojų poreikiais, skaidula gali būti skirta nuo šimto iki tūkstančio vartotojų prijungimui. Šiuo atveju galima panaudoti optines skaidulas, esančias jau anksčiau paklotuose optiniuose kabeliuose, arba pakloti naujus, mažai optinių skaidulų turinčius magistralinius kabelius, kurių klojimo trasos būtų išsidėsčiusios arti vartotojų, o juose esančias skaidulas galima būtų sujungti įterpiant optinius daliklius reikiamose vietose. Tokiu atveju vartotojai jungiami panaudojant trijų išvadų optinius daliklius, kurių du išvadai skirti sudaryti magistralę, o trečias išvadas skirtas prijungti vartotojo įrangą. Pačios magistralės gali būti tiek be atšakų, tiek ir išsišakojančios. Atšakos jungiamos prie magistralinių daliklių trečiųjų išvadų. Darbe pateikiama magistralinių optinių daliklių parametru apskaičiavimo metodika, įvertinanti signalo slopinimus optinėje skaiduloje bei signalo nuostolius pačiuose dalikliuose. Metodika panaudota iširti per nuosekliai išdėstytus optinius magistralinius daliklius perduodamų signalų slopinimų pokyčius. Metodikos taikymas įgalina suvienodinti optinių signalų slopinimus nuo magistralės pradžios iki visų optinės magistralės daliklių išvadų. Metodikoje esantys skaičiavimo algoritmai taip pat įvertina optinių atšakų įtaką optinių signalų slopinimui. Parodyta, kaip pasikeičia optinio signalo slopinimai nuo magistralės pradžios iki visų išvadų skirtinguose magistralės vietose prijungus skirtingų slopinimų optines atšakas ir taip perskaičiavus optinių daliklių parametrus, kad signalo stiprumai visuose išvaduose būtų vienodi.

Reikšminiai žodžiai: optinės prieigos tinklai, pasyvūs optinis magistralinis tinklas, FTTx, G-PON

Įvadas

Tyrimo aktualumas. Optinės prieigos FTTx (angl. *Fiber To The x*) technologijos, skirtos galinių vartotojų įjungimui į kompiuterių tinklą. Jos pasižymi dideliu patikimumu, ypač mažais gabaritais ir galimybe informaciją perduoti labai didele sparta.

Prieš dešimtmetį optinės prieigos projektų pradėjo vykdyti Europos Sąjungos šalys (Shaping Europe's Digital Future, 2014.). Vieni iš pirmųjų Europoje G-PON tinklą pradėjo diegti Kosovas (Čaka ir kt., 2011). Lietuva Nuo 2005 m. iki 2018 m. kaimiškuosius optinius tinklus vystė keturiais etapais ir pasiekė visas seniūnijas ir didesnes gyvenvietes (Tvarionavičius, 2014). Už sėkmingą projektų vykdymą pelnė Europos komisijos apdovanojimą, kurį laimėjo tarp 48 Europos šalių (European Union Regional Policy, 2015). Pradėti kurti optinės prieigos tinklai universitetuose (Bakarman ir kt., 2021), Kinijoje (Yang, 2018). Pradėti vykdyti G-PON projektai Nepale (Khatiwoda ir kt., 2021).

Projektuojant pasyviųjų optinių tinklų (PON) (angl. *Passive Optical Network* – PON) infrastruktūrą, reikia priimti sprendimus derinant vartotojų išsidėstymą bei jų poreikius, o taip pat optinio tinklo galimybes bei ypatumus (Adiati ir kt., 2022).

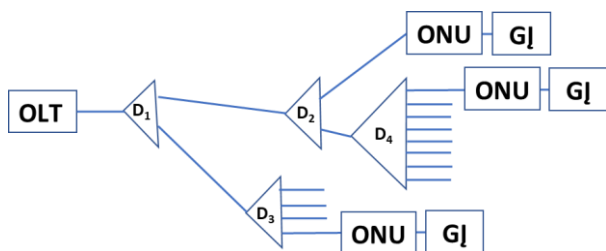
2014 metais priimtas G-PON (Gigabit-capable Passive Optical Networks) standartas, kuriame duomenų perdavimui naudojami du bangų ilgiai:

1310 nm ir 1490 nm (ITU, 2014). Kiekvienu bangos ilgiu informacijos perdavimo sparta gali siekti 2,5 Gb/s ir sujungti 128 vartotojus. 2021 metais priimtas naujas standartas NG-PON2 (40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks) duomenų perdavimo spartą padidino iki 40 Gb/s (ITU, 2021). Jame numatyta panaudoti aštuonis bangų ilgius. Kiekvienu bangos ilgiu gali būti perduodami duomenys iš 1024 vartotojų, kurių bendra sparta 40 Gb/s. Praktiškai nėra ribojimų toliau didinti bangų ilgių skaičių ir spartas.

Problema. Didžioji dauguma G-PON technologijos projektų paremti medžio struktūros taikymu vartotojų prijungimui. Tokios struktūros tinklo koncepcija paremta tuo, kad vartotojai yra sutelkti mažoje teritorijoje ir jos centre įrengus optinius daliklius, prie kurių jungiama vartotojo įranga spinduliniu principu. G-PON technologijoje tarp OLT ir ONU abejomis kryptimis, bet skirtingais bangų ilgiais. OLT siunčiamą optinį signalą optiniai dalikliai paskirsto į kryptis arba skirtingų ONU siunčiamus signalus apjungia į bendrą srautą, kuris grįžta į OLT.

Tokios struktūros tinklo sandara pavaizduota 1 pav. (Rose ir kt., 2018). Ją sudaro pasyvūs elementai: optinės skaidulos, optiniai dalikliai (D_i) ir aktyvūs elementai: optinės linijos terminalas – OLT (angl. *Optical Line Termination*) ir optinio tinklo prieigos blokas – ONU (angl. *Optical Network Unit*) (ITU, 2005). OLT siunčia vartotojams reikalingus duomenis ir formuoja duomenų perdavimo optinėmis skaidulomis tvarką.

ONU priima iš OLT duomenis ir persiūnčia į vartotojų galinius įrenginius (GĮ), o taip pat iš vartotojų galinių įrenginių priima duomenis ir juos persiūnčia į OLT. ONU darbas visada paklūsta OLT nustatytai duomenų perdavimo tvarkai.



1 pav. Supaprastinta FTTx tinklo sandara

Parodytoje tinklo topologijoje dalikliai D_1 ir D_2 signalą išskirsto į dvi lygias dalis nekeisdami signalo struktūros. Kiekviename tokio daliklio be nuostolių išvade bendras signalo lygis yra sumažėjęs du kartus, tai atitinka slopinimą 3,01 dB ($-10\lg 0,5 = 3,01$ dB). Daliklio D_3 išvaduose signalo lygis yra sumažėjęs keturis kartus, tai atitinka slopinimą 6,02 dB ($-10\lg 0,25 = 6,02$ dB), o daliklio D_4 išvaduose signalas susilpnėjęs 8 kartus, tai atitinka slopinimą 9,03 dB ($-10\lg 0,125 = 9,03$ dB).

OLT ir taip pat kiekvieno ONU siunčiamo signalo galia dažniausiai yra 1 mW. Tai atitinka signalo lygį 0 dBm ($0 \text{ dBm} = 10\lg 1$). Įvertinus daliklių slopinimus, OLT siunčiamo signalo lygiai daliklių išvaduose pasiskirsto taip:

- po daliklio D_2 signalo lygis yra $3,01 + 3,01 = 6,02$ dBm;
- po daliklio D_3 signalo lygis yra $3,01 + 6,02 = 9,03$ dBm;
- po daliklio D_4 – $3,01 + 3,01 + 9,03 = 15,05$ dBm.

Šiuo atveju magistralėje yra trijų lygių signalai: 6,02 dBm, 9,03 dBm ir 15,05 dBm. Jeigu optinių daliklių yra daug ir skirtingų parametrų, o jų tarpusavio sujungimai yra įvairūs, tada signalų lygių skirtumai gali būti labai dideli.

Signalų parametrų skirtumų ribojimai

Patikimam signalo priėmimui standartuose numatyti dviejų tipų signalų parametrų ribojimai: lygių ribojimai ir delsimo linijoje tarp OLT ir ONU ribojimai.

Ribojimai signalo lygiui. Standartuose nustatomi tiek siunčiamų signalų, tiek priimamų signalų lygiai. Signalo lygiai yra ribojami tiek OLT, tiek ir ONU įrenginiuose (Adiati, 2022). Labai svarbu, kad būtų išlaikomi siunčiamų ir priimamų signalų lygių skirtumai. Reikalavimai signalų lygiams pateikti 1 lentelėje (ITU, 2021).

1 lentelė. Signalų lygiai skirtingų FTTx klasių tinkluose

FTTx klasė	N1	N2	E1	E2
Didžiausias signalo lygis	14 dBm	16 dBm	18 dBm	20 dBm
Mažiausias signalo lygis	29 dBm	31 dBm	33 dBm	35 dBm

Didžiausias signalo lygis – tai toks priimamo signalo stiprumas, kuris neperkrauna optinio signalo imtuvo. Esant per dideliame signalo lygiui imtuve įvyksta signalo formos iškreipimai.

Mažiausias signalo lygis – tai toks priimamo signalo lygis, kuriam esant tiek OLT, tiek ir ONU nuosavi imtuvo triukšmai dar „neužgožia“ priimamo signalo. Šis lygis yra keletą dB didesnis už imtuvo jautrumą.

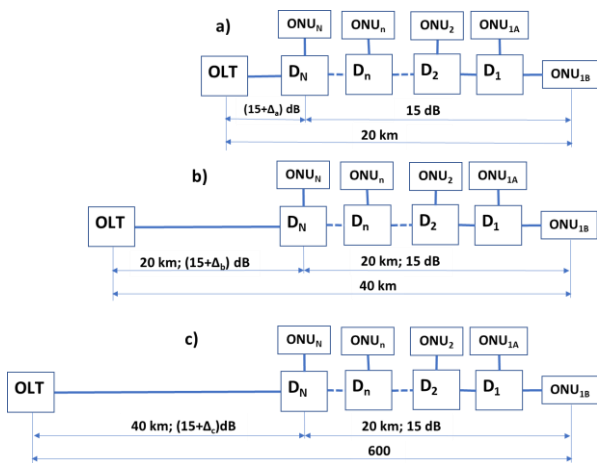
Lygių skirtumų dydžio ribojimas (15 dB) įvestas tam, kad esant dideliems iš įvairių ONU į OLT siunčiamų signalų lygių skirtumams, OLT signalų imtuvas galėtų prisiderinti prie tokių lygių kitimų ir signalai būtų priimami be iškreipimų.

Ribojimai signalo delšai. Ribojimas signalo delšai įvestas tam, kad galima būtų suformuoti bendrą 125 μ s trukmės siunčiamų signalų kadra, kuris leistų tinkamai išdėstyti iš OLT ir iš ONU siunčiamus signalus laike (ITU, 2021). Toks formatas leidžia 20 km ilgio linijoje nuo OLT iki ONU arba nuo ONU iki OLT signalo delšą iki 100 μ s ($20 \text{ km} \cdot 5 \mu\text{s}/\text{km} = 100 \mu\text{s}$). Čia 5 μ s/km atitinka signalo sklaidimo greitį optinėje skaiduloje. Skirtumas 125 μ s – 100 μ s = 25 μ s paliktas optinių signalų apdorojimui kiekviename kadre OLT ir ONU įrenginiuose.

Standarte numatyta galimybė diskretiškai padidinti prieigos linijos ilgį. Numatytos trys optinės prieigos modifikacijos (2 pav.) (ITU, 2021):

- artimojo nuotolio modifikacija (2a pav.);
- vidutinio nuotolio modifikacija (2b pav.);
- ilgojo nuotolio modifikacija (2c pav.).

Artimojo nuotolio modifikacija skirta prijungti ONU įrenginius, nutolusius iki 20 km. Vidutinio nuotolio magistralės modifikacija skirta prijungti ONU įrenginius, nutolusius daugiau kaip 20 km, bet mažiau kaip 40 km. Ilgojo nuotolio modifikacija skirta prijungti ONU įrenginius, nutolusius daugiau kaip 40 km, bet mažiau kaip 60 km.



2 pav. Magistralinio tinklo modifikacijos: a) artimojo nuotolio, b) vidutinio nuotolio, c) ilgojo nuotolio

Tokį skirstymą į modifikacijas sąlygoja 125 μ s siunčiamo grupinio signalo struktūra. Artimojo nuotolio modifikacijoje optinis signalas gaišta kelyje OLT-ONU-OLT nuo 125 μ s iki 250 μ s. Vidutinio nuotolio modifikacijoje optinis signalas gaišta kelyje OLT-ONU-OLT nuo 250 μ s iki 500 μ s. Tolimojo nuotolio modifikacijoje optinis signalas gaišta kelyje OLT-ONU-OLT nuo 375 μ s iki 750 μ s.

Projektuojat FTTx prieigos tinklus sudėtinga tarpusavyje suderinti reikalavimus signalo lygiui ir signalo delšai. FTTx praktikoje įvairių techninių parametrų daliklius sutelkia vienoje ar kelyje vietose ir nuo jų pakloja atsirus optinius kabelius. Tokių daliklių kryžių skaičius parenkamas naudojant dėsninę $1 \times 2^1, 1 \times 2^2, \dots, 1 \times 2^m$. Parametras m paprastai neviršija 8. Tokioje optinėje prieigoje ONU įrenginių prijungimui prie daliklių tenka naudoti daug skirtingo ilgio skaidulų. O tai didina vartotojų prijungimo prie interneto kainą ir daro sudėtingą tokių linijų aptarnavimą.

Jeigu interneto vartotojai yra išsidėstę vienoje linijoje (pavyzdžiui, kaimo teritorijose prie kelių arba gyvenvietėse išilgai gatvių, gamybiniuose pastatuose išilgai gamybos linijų, viešose įstaigose išilgai ilgų koridorių), optinės prieigos magistralėse tikslinga naudoti vieno tipo 1×2 daliklius, kurie signalus skirsto į 2 kryptis. Tokių daliklių kiekvienos krypties slopinimai turi būti labai kruopščiai parenkami, kad patenkintų ne tik 1 lentelėje nurodytus signalo lygių reikalavimus, bet ir užtikrintų vienodą signalų stiprumą visuose vartotojų prijungimo taškuose. Taip suprojektuotoje magistralėje sunaudojamas minimalus optinių skaidulų kiekis, magistralės įrengimas tampa pigesnis, gaunama aukšta interneto paslaugų pateikimo kokybė.

Atlikus literatūros analizę aptiktas tik vienas tinklo atvejis, kada panaudotos iki kelių šimtų metrų ilgio optinių magistralių atkarpos (Abdellaoui ir kt., 2021), jungiančios tinklo įrenginius. Toks

sprendimas neįvertina G-PON technologijos galimybių ir nekeičia pasenusios kompiuterių tinklo projektavimo koncepcijos, kurioje numatyti iki 100 m ilgio internetiniai varinių laidų kabeliai. Įrengiant vartotojų optines prieigas priemiesčių individualių namų kvartaluose arba vienkiemiuose kiekvienos magistralės atkarpos ilgis gali siekti kelis kilometrus, signalų lygių suvienodinimui reikia sukurti optinių daliklių parametrų skaičiavimo metodiką.

Tyrimo tikslas – sukurti magistralėse naudojamų 1×2 tipo optinių daliklių parametrų skaičiavimo metodiką, kurią pritaikius galima būtų užtikrinti vienodus signalų stiprumus visuose vartotojų prijungimo prie tinklo vietose.

Tyrimo uždaviniai:

1. Ištirti optinio signalo slopinimo priklausomybę nuo pasyvaus optinio tinklo konfigūracijos;
2. Nustatyti magistralės atšakų įtaką optinio signalo slopinimui optiniame tinkle.

Tyrimo objektas. Interneto vartotojų įjungimui į internetą skirtas pasyvusis optinis tinklas, sudarytas iš optinių skaidulų ir vieno 1×2 tipo optinių daliklių.

Tyrimo metodas. Tyrimui sukurtas matematinis tinklo modelis, sudarytas iš 1×2 tipo optinių daliklių, tinkamai sujungtų į bendrą tinklą. Pasinaudojant matematiniais modeliais nustatyta tinklo konfigūracijos įtaka optinių signalų galių pasiskirstymui įvairiuose prijungimo prie optinio tinklo taškuose.

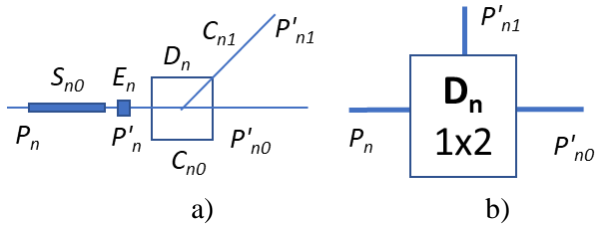
1. Paskirstytų optinių daliklių modelis

Paskirstytų optinių daliklių modelis skirtas ištirti optinių signalų slopinimus įvairios konfigūracijos pasyviosiose optinėse magistralėse. Modelyje panaudoti įvairiai tarpusavyje sujungti vieno tipo elementai, kurių kiekvienas sudarytas iš optinio daliklio D_n , jungiamosios optinės skaidulos, kurios slopinimas S_{n0} , ir optinio daliklio vidinių nuostolių ekvivalento E_n . Toks elementas įvertina signalo paskirstymą tarp 1×2 tipo daliklio išvadų, signalo nuostolius pačiame daliklyje ir signalo nuostolius daliklio įjungimo vietose.

1.1. Tiriamojo tinklo elementas

Pasyviojo optinio tinklo n -ojo elemento struktūra pavaizduota 3 pav. Daliklyje 1×2 be nuostolių, skirstančiame signalą į kiekvieną išvadą vienodomis dalimis signalo lygis sumažėja 3,01 dB ($-10 \lg 0,5$ dB). Tolimesniuose skaičiavimuose signalo nuostoliai pačiame elemente įvertinti taip: daliklio įjungimo į optinę liniją nuostoliai $S_{j0} = 0,1$ dB (signalų slopinimas sujungimo vietose gali kisti nuo 0 dB iki 0,5 dB); signalo nuostoliai

daliklius jungiančioje skaiduloje $S_n = 0,15$ dB (skaidulos ilgis apie 0,5 km); signalo nuostolius pačiame daliklyje $E_n = 0,25$ dB (kinta nuo 0,1 dB iki 0,3 dB) priklausomai nuo pagaminimo technologijos. Tada bendri signalo nuostoliai viename elemente sudaro $S_{j0} + S_n + E_n = S_{n0} + E_n = 0,50$ dB.



3 pav. Optinio daliklio scheminis vaizdas – a) ir žymėjimas – b)

Elemente pažymėti parametrai išreiškiami taip:

a) signalo nuostoliai daliklyje:

$$E_n = -10 \lg \frac{P'_{n0} + P'_{n1}}{P_n}; \quad (1)$$

b) signalo slopinimas daliklio išvaduose:

$$C_{n0} = CR_{n0} = -10 \lg \frac{P'_{n0}}{P'_{n0} + P'_{n1}}; \quad (2)$$

$$C_{n1} = CR_{n1} = -10 \lg \frac{P'_{n1}}{P'_{n0} + P'_{n1}}; \quad (3)$$

c) P_n – signalo galia elemento įvade;

d) P'_{n0} ir P'_{n1} – signalo galios išvaduose.

Optinis daliklis dar gali būti charakterizuojamas atšakotų signalų galių santykiu:

$$N:M, \quad (4)$$

čia:

$$N = 10^{-\frac{C_{n0}}{10}}; \quad (5)$$

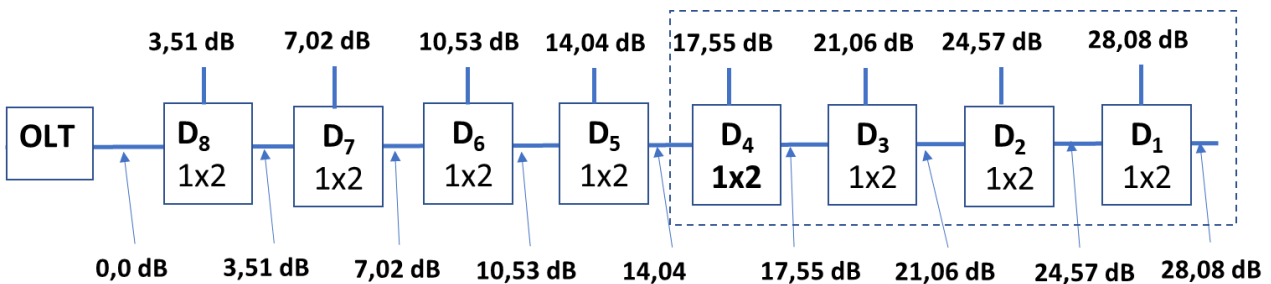
$$M = 10^{-\frac{C_{n1}}{10}}. \quad (6)$$

Tinklo elementas įvadinio signalo galią gali paskirstyti vienodu santykiu ($P'_{n0} = P'_{n1}$), arba skirtingu santykiu $N \neq M$ ($P'_{n0} \neq P'_{n1}$). Palyginsime tarpusavyje signalų slopinimus 8 elementų magistralėse, sudarytose su to pačio 1×2 tipo optiniais dalikliais. Pirmu atveju panaudoti dalikliai, kurių $N:M = 1$, antru atveju – dalikliai, kurių signalo galios paskirstymo santykis $N:M$ paskaičiuotas įvertinant visos magistralės parametrus.

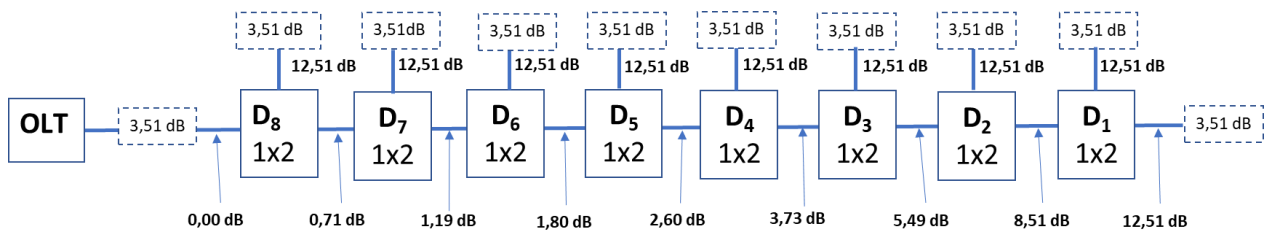
1.2. Optinė magistralė su vienodais 1×2 tipo dalikliais

Vienodų parametų dalikliams būdingas signalo galių vienodas paskirstymas tarp išvadų ($P'_{n0} = P'_{n1}$). Vienodas pasiskirstymas paprastai taikomas visiems dalikliams, kurie signalą skirsto į daugiau išvadų (1×2 , 1×4 , 1×8 , 1×16 , ir t. t.). Tegul magistralėje panaudoti dalikliai 1×2 , kurių $N:M = 1$ (4 pav.). Tokioje magistralėje signalo slopinimas kiekviename sekančiame elemente padidėja 3,51 dB.

Po kiekvieno iš pirmųjų 4 elementų signalo lygis netenkina signalo lygių reikalavimų, nurodytų 1 lentelėje. Po 8 elementų signalo slopinimas pasiekia 28,08 dB. Tokioje magistralėje galima įjungti ONU tik nuo ketvirtojo daliklio iki pirmojo daliklio (4 vnt.).



4 pav. Aštuonių elementų optinė magistralė su vienodų parametų dalikliais



5 pav. Aštuonių elementų magistralė su apskaičiuotais daliklių parametrais

1.3. Optinė magistralė su apskaičiuotų parametrų dalikliais

Optinė magistralė su apskaičiuotais daliklių parametrais parodyta 5 pav. Skaičiavimuose elementus patogiau numeruoti kryptimi nuo pabaigos į pradžią. Tokioje magistralėje daliklio parametrų C_{n0} ir C_{n1} reikšmės priklauso nuo daliklio vietos. Magistralės pabaigoje (daliklis D_1) signalas dalinamas į dvi vienodas dalis ($N:M = 1$). Tada $C_{10} = C_{11}$. Kituose elementuose į viršų nukreiptuose išvaduose signalo lygis visur vienodas. Tai reiškia, kad vis arčiau magistralės pradžios esančių daliklio parametro C_{n0} reikšmė turi būti mažesnė, o parametro C_{n1} reikšmė – didesnė.

Magistralėje, kurioje panaudoti elementai su apskaičiuotais daliklių parametrais, optinis signalas slopinamas mažiau negu nurodyta 1 lentelėje (12,51 dB). Tam, kad signalų lygiai tenkintų reikalavimus, galimi du sprendimai: magistralės pradžioje galima įjungti papildomą elementą, slopinantį signalą 3,51 dB, arba prie kiekvieno elemento išvado prijungti po tokį elementą. Abiem atvejais visuose išvaduose signalo slopinimas bus 16,02 dB.

Palyginus magistralių, pavaizduotų 4 pav. ir 5 pav., parametrus galima padaryti išvadą, kad prie magistralės su apskaičiuotais parametrais galima prijungti daug daugiau vartotojų (daugiau ONU).

2. Optinės magistralės su atšakomis parametrai

Interneto vartotojai gali būti išsidėstę tiek arti magistralės, tiek ir toliau nuo magistralės. Pasyviajame optiniame tinkle naudojant tinklo elementus, pavaizduotus 3 pav., galima sudaryti įvairaus ilgio atšakas ir apskaičiuoti optinio signalo slopinimus tokios konfigūracijos tinkle. Šias galimybes parodysime pirmiausia apskaičiuodami magistralės, sudarytos iš 16 elementų, daliklių parametrus. Po to į magistralę įjungsime atšakas ir stebėsime, kaip pakinta signalo slopinimai visuose pasyviojo optinio tinklo daliklių išvaduose. Reikiamus parametrus apskaičiuosime įvertindami sąlygą, kad visuose pasyviojo optinio tinklo išvaduose signalų galingumai turėtų būti vienodi.

2.1. Pagrindinės optinės magistralės be atšakų parametrų skaičiavimas

Magistralės daliklių parametrų C_{n0} ir C_{n1} reikšmės apskaičiuotos pagal metodiką, sudarytą Plėščio ir kt. (2023). Signalų slopinimų magistralėje skaičiavimui pasinaudosime schemą, pavaizduotą 6 pav. Schemoje parodytos trys magistralės dalys.

Pirmoje dalyje skaičiuojamas slopinimas nuo magistralės pradžios iki n -ojo elemento

$$A_{N,n+1} = \sum_{m=n+1}^N (S_{m0} + E_m + C_{m0}). \quad (7)$$

Antroje dalyje skaičiuojamas slopinimas n -ajame elemente

$$A_n = S_{n0} + E_n + C_{n1}. \quad (8)$$

Trečioje dalyje skaičiuojamas slopinimas nuo $n - 1$ -ojo elemento iki magistralės pabaigos

$$A_{n-1,1} = \sum_{m=1}^{n-1} (S_{m0} + E_m + C_{m0}). \quad (9)$$

Trečios dalies skaičiavimai būtini tam, kad apskaičiuoti visos magistralės daliklių parametrus.

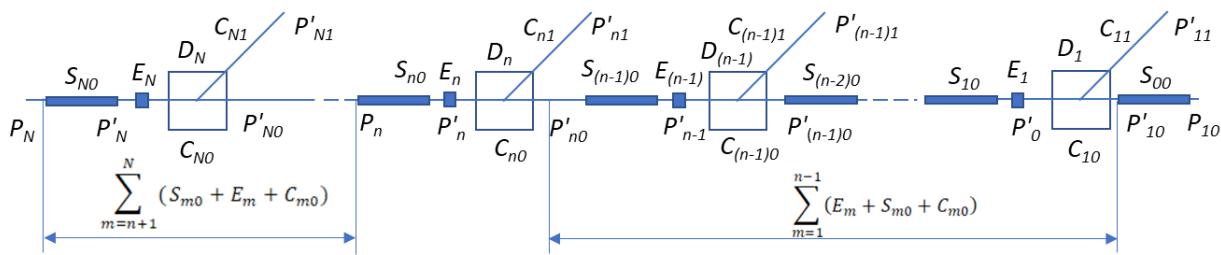
Tokiu būdu signalo slopinimas nuo magistralės pradžios iki n -ojo elemento išvado apskaičiuojamas pagal formulę

$$T_{Nn}[dB] = \frac{P_N}{P'_{n1}} [dB] = A_{N,n+1} + A_n. \quad (10)$$

Atskiros magistralės (be atšakų), sudarytos iš 16 elementų, daliklių parametrų skaičiavimo rezultatai pateikti 3 lentelėje ir atvaizduoti grafiškai. Grafiko pradžioje parodytos dvi vienodos reikšmės, nes galinis daliklis turi du identiškus išvadus 1 ir 1'. Magistralėje signalas slopinamas $T_{Nn} = 17,80$ dB. Lentelėje matyti, kai kinta parametrų N ir M reikšmės, apskaičiuotos pagal (5) ir (6) formules. Dėl to, kad didėjant n reikšmei parametro N reikšmė didėja, o parametro M – mažėja, signalo slopinimas visuose išvaduose lieka toks pat.

2.2. Optinės magistralės atšakų parametrai

Atšakų parametrus apskaičiuosime pagal tą pačią metodiką kaip ir pagrindinės magistralės. Parinksime tris atšakas, sudarytas iš 8, 6 ir 4 elementų, ir keisime jų įjungimo į magistralę vietas. Atšakų paskaičiuotos parametrų reikšmės pateiktos 2 lentelėje. Aštuonių elementų atšakoje apskaičiuotas signalo slopinimas 12,51 dB, šešių elementų – 10,80 dB ir keturių elementų – 8,71 dB. Šios reikšmės turi būti įvertintos vėliau skaičiuojant atitinkamų magistralės daliklių parametrus C_{n0} ir C_{n1} , apibrėžtus (2) ir (3).

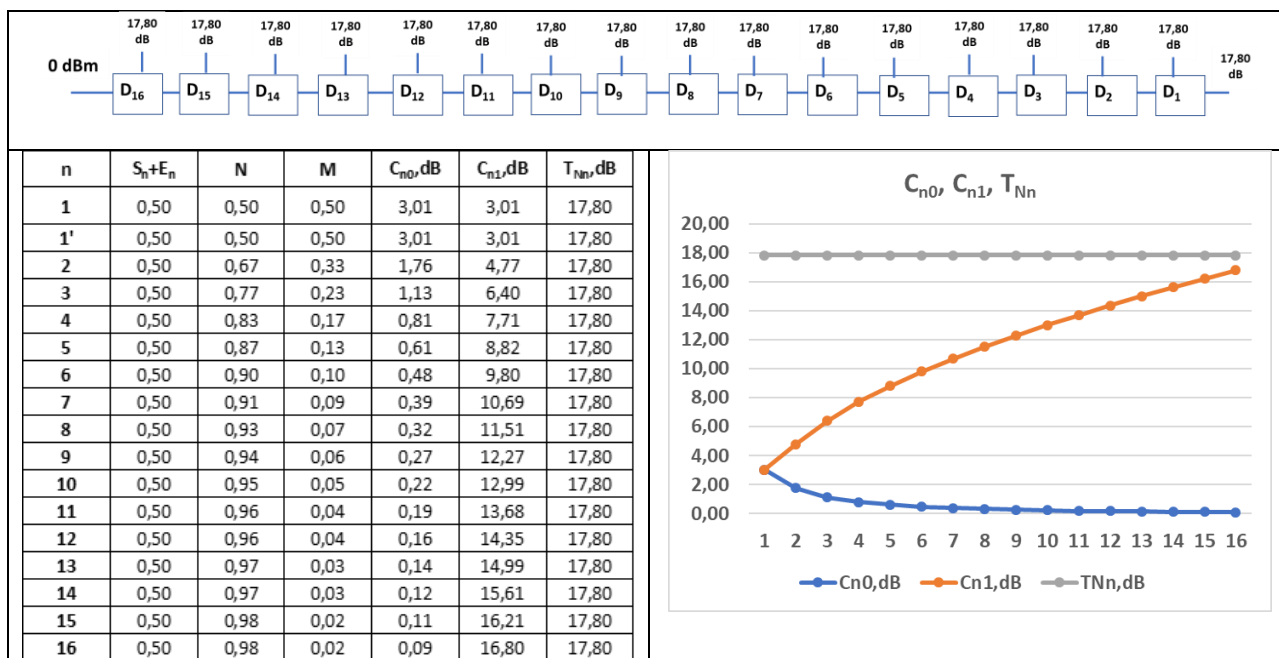


6 pav. Signalo slopinimo skaičiavimo schema

2 lentelė. Skirtingų ilgių atšakų parametrai

n	$S_{n0}+E_n$	N	M	C_{n0},dB	C_{n1},dB	T_{Nn},dB	n	$S_{n0}+E_n$	N	M	C_{n0},dB	C_{n1},dB	T_{Nn},dB	n	$S_{n0}+E_n$	N	M	C_{n0},dB	C_{n1},dB	T_{Nn},dB
Atšaka iš 8 elementų							Atšaka iš 6 elementų							Atšaka iš 4 elementų						
1	0,50	0,50	0,50	3,01	3,01	12,51	1	0,50	0,50	0,50	3,01	3,01	10,80	1	0,50	0,50	0,50	3,01	3,01	8,71
2	0,50	0,67	0,33	1,76	4,77	12,51	2	0,50	0,67	0,33	1,76	4,77	10,80	2	0,50	0,67	0,33	1,76	4,77	8,71
3	0,50	0,77	0,23	1,13	6,40	12,51	3	0,50	0,77	0,23	1,13	6,40	10,80	3	0,50	0,77	0,23	1,13	6,40	8,71
4	0,50	0,83	0,17	0,81	7,71	12,51	4	0,50	0,83	0,17	0,81	7,71	10,80	4	0,50	0,83	0,17	0,81	7,71	8,71
5	0,50	0,87	0,13	0,61	8,82	12,51	5	0,50	0,87	0,13	0,61	8,82	10,80							
6	0,50	0,90	0,10	0,48	9,80	12,51	6	0,50	0,90	0,10	0,48	9,80	10,80							
7	0,50	0,91	0,09	0,39	10,69	12,51														
8	0,50	0,93	0,07	0,32	11,51	12,51														

3 lentelė. Šešiolicos daliklių magistralės pagrindiniai parametrai

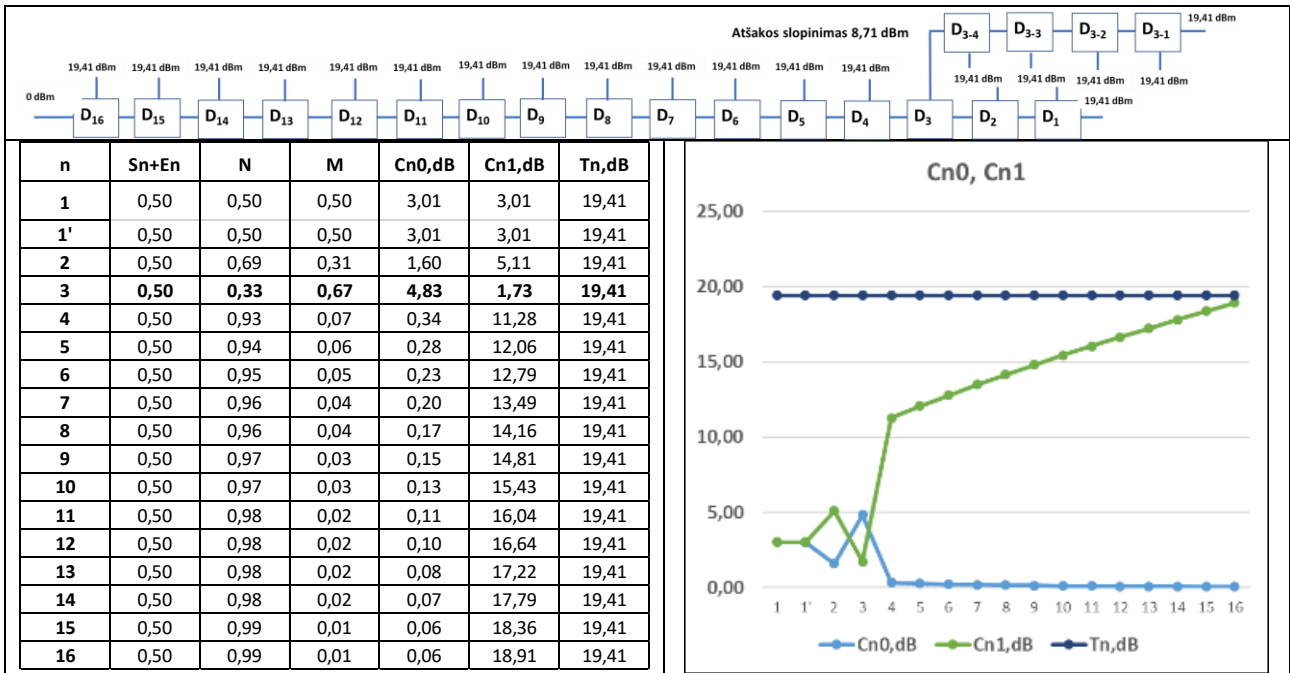


2.3. Optinės magistralės su atšakomis parametrai

Norėdami nustatyti atšakų įtaką signalų slopinimams visame magistraliniame PON tinkle, panagrinėsime tris atšakų prijungimo variantus, keisdami atšakų dydžius ir jų prijungimo prie magistralės vietas.

1 variantas. Tegul magistralė turi keturių optinių daliklių atšaką (4 lentelė), prijungtą prie daliklio D_3 (eilutė $n=3$). Tinkle yra 20 tinklo elementų. Prijungus atšaką reikia perskaičiuoti daliklio D_3 parametrų C_{30} ir C_{31} reikšmes, o taip pat ir visų kitų daliklių parametrus nuo magistralės galo iki daliklio D_3). Atlikus perskaičiavimus visuose magistralės išvaduose signalo slopinimas padidėja iki 19,41 dB (pokytis $19,41-17,80=1,61$ dB).

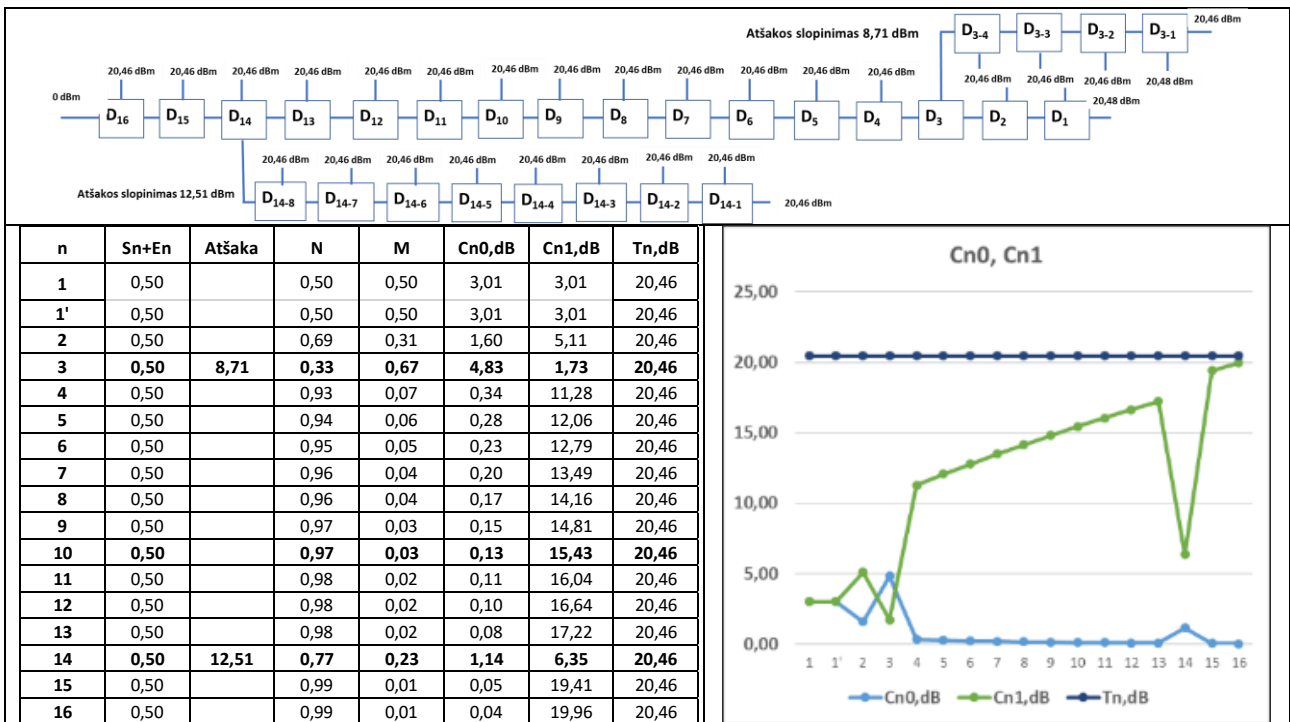
4 lentelė. Magistrale perduodamų signalų parametrai prijungus atšaką arti magistralės pabaigos



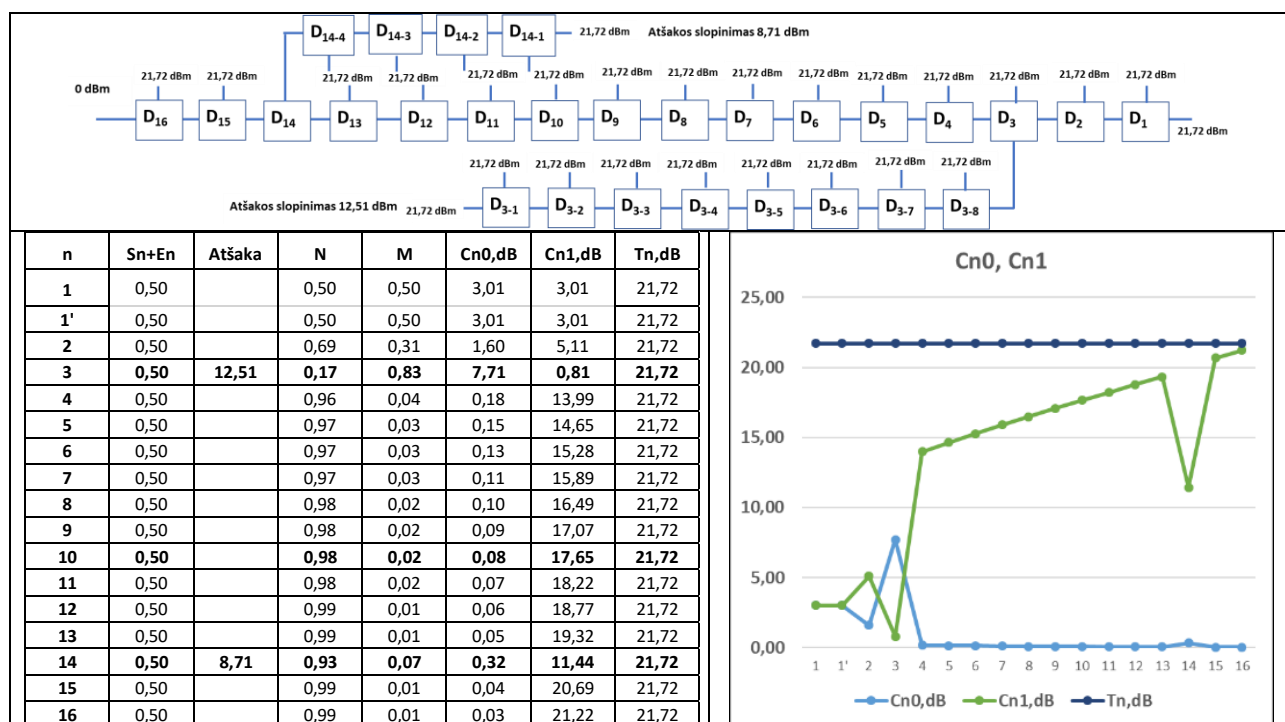
2 variantas. Tegul magistralė turi dvi atšakas (5 lentelė): vieną atšaką, sudarytą iš 4 daliklių (eilutė $n = 3$), ir kitą atšaką, sudarytą iš 8 daliklių (eilutė $n = 14$). Tinkle yra 28 elementai. Skaičiavimai parodo, kaip kinta parametru C_0 ir C_1

reikšmės. Magistralės visuose išvaduose signalo slopinimas padidėja iki 20,46 dB (pokytis $20,46 - 17,80 = 2,66$ dB). Sukeitus vietomis atšakų slopinimus, magistralės išvaduose signalo lygis padidėja iki 21,72 dB (pokytis $21,72 - 17,80 = 3,92$ dB) (6 lentelė).

5 lentelė. Magistrale perduodamų signalų parametrai prijungus dvi atšakas



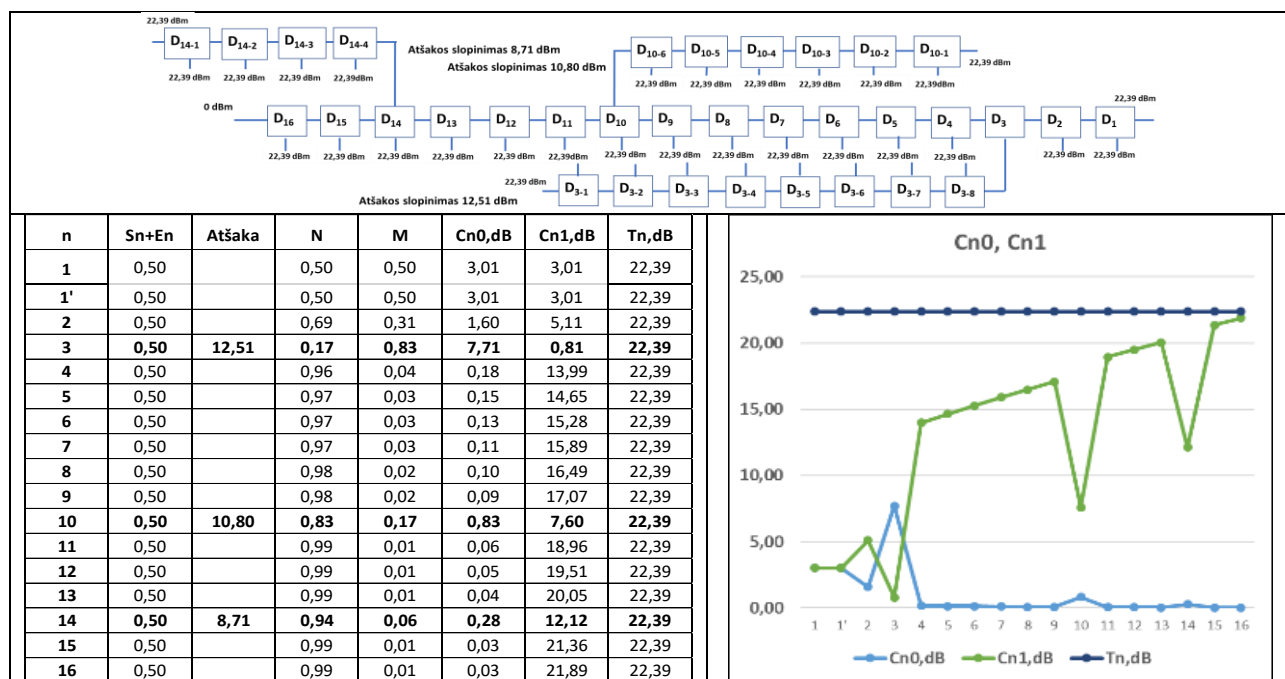
6 lentelė. Magistrale perduodamų signalų parametrai prijungus dvi atšakas



3 variantas. Tegul 2 varianto magistralėje yra trečioji atšaka (7 lentelė), kurioje yra 6 dalikliai (eilutė n=10). Tinkle yra 34 elementai. Magistralės

visuose išvaduose signalo slopinimas padidėja iki 22,39 dB (pokytis 22,39-17,80=4,59 dB).

7 lentelė. Magistrale perduodamų signalų parametrai prijungus tris atšakas



Analizuojant gautus rezultatus galima nustatyti, kaip pakistų signalo slopinimai pasyviajame optiniame tinkle, sudarytame iš dar daugiau elementų. G-PON standartas numato galimybę įjungti į tinklą iki 128 elementų (ITU, 2014). NG-PON2 standartas pritaikytas įjungti į tinklą iki 1024 elementų (ITU, 2021). Tam, kad būtų

išnaudotos visos prijungimo galimybės ir patenkinti 1 lentelėje pateikti reikalavimai, signalo nuostoliai optiniuose dalikliuose E_n , kiekvieno daliklio įjungimo į optinę liniją nuostoliai S_{j0} ir atstumai tarp daliklių turėtų būti nykstamai maži.

Išvados

1. Sukurtas paskirstytų optinių daliklių skaičiavimo modelis įgalino išdėliuoti optinių signalų slopinimus įvairios konfigūracijos optinėse magistralėse. Modelyje panaudoti skirtingai tarpusavyje sujungti vieno tipo elementai.
2. Panaudojus optinės magistralės, sudarytos iš vieno 1x2 tipo optinių daliklių, modelį gauti

Literatūra

1. European Union Regional Policy. (2015). Guide to Broadband Investment. Five Projects Get First Ever European Broadband Award. European Commission. Publication 16 November 2015. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/node/5930/printable/pdf>
2. Tvaronavicius, V. (2014). Rural Area Information Technology Broadband Network (RAIN) - Case Study of the Broadband Infrastructure Investment Project in Lithuania. European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/rural-area-information-technology-broadband-network-rain-case-study-broadband-infrastructure>
3. Shaping Europe's Digital Future (2014). Guide to High-Speed Broadband Investments. European Commission. Release, 1.1-22. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/broadband-investment-guide>
4. Adiati, R. F., Kusumawardhani, A., & Setijono, H. (2022). Design and Analysis of an FTTH-GPON in a Residential Area. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 8(2), 228–237. <http://dx.doi.org/10.29303/jpft.v8i2.4233>
5. Rose, F., Jacob, D.S., & Renjith, R.A. (2018). Design and Implementation of FTTH Network Based on GPON Technology. *International Journal of Innovations in Scientific and Engineering Research (IJISER)*, 4(11), 209–217. <http://ijiser.com/paper/2017/vol4issue11/Nov2017p101.pdf>
6. Caka, N., Hulaj, A. (2011). Optimization of FTTH Network in Kosovo through the Implementation of GPON Architecture and Analysis of the Cost of the Implementation. *International Journal of Communications*, 5, 175–182. https://www.researchgate.net/publication/235955583_Optimization_of_FTTH_network_in_Kosovo_through_the_Implementation_of_GPON_Architecture_and_Analysis_of_the_Cost_of_the_Implementation/link/00463514b89fb6e2f2000000/download
7. Abdellaoui, Z., Dieudonne, Y., Aleya, A. (2021). Design, Implementation and Evaluation of a Fiber To the Home (FTTH) Access Network Based on a Giga Passive Optical Network GPON, *Array*, 10, 1–22, ISSN 2590-0056, <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>
8. Bakarman, H. A., Alsagaf, A., Ba'afiah M., Baghoom F., Baraja, M. (2021). Planning, Design and Simulation of a Network Access Based on FTTH-EPON for Hadhramout University. The 1st International Conference on Engineering and Technology (ICoEngTech) 2021. *Journal of Physics: Conference Series*, 1962, 012004. doi:10.1088/1742-6596/1962/1/012004
9. Khatiwoda, N. R., & Dawadi, B. R. (2021). A Study on FTTH Implementation and Migration in Nepal. *Journal of Engineering Issues and Solutions*, 1(1), 174–196. <https://doi.org/10.3126/joeis.v1i1.36836>
10. Yang, X., (2018). Application of GPON in Campus Network. *Proceedings of the 2018 3rd International Conference on Humanities Science, Management and Education Technology (HSMET 2018), Advances in Social Science, Education and Humanities Research (ASSEHR)*, 237, 690–694. <https://doi.org/10.2991/hsmet-18.2018.137>
11. International Telecommunication Union [ITU] (2014). *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification: (ITU-T, G.984.3)*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/en>
12. International Telecommunication Union [ITU]. (2021). *40-Gigabit-capable Passive Optical Networks (NG-PON2): Transmission Convergence Layer Specification: (ITU-T, G.989.3)*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.3-202105-I/en>
13. International Telecommunication Union [ITU]. (2005). *Digital Sections and Digital Line System – Optical Line Systems for Local and Access Networks: Broadband Optical Access Systems Based on Passive Optical Networks (PON): (ITU-T, G.983.1)*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/en>
14. Plėštys, R., Dabulytė-Bagdonavičienė, J., Butkus, G. (2023). Pasyviosios magistralės panaudojimas optinės prieigos tinkluose. *Mokslo taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose*, 19(1), 237–245. <http://ojs.kaunokolegija.lt/index.php/mtlk/index>

CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE OPTICAL BUS WITH DISTRIBUTOR BRANCHES

Summary

Optical fibres are used in passive optical access networks designed to connect users to the Internet. Each user can be connected either via separate optical fibres or via the same optical fibre. If there are no free optical fibres in the existing bus lines, new optical cables with multiple fibres must be laid. Since the speed of transmitting the data sent by one optical fibre can be millions of times higher than the demand of various internet users, one optical fibre can connect hundreds to thousands of users. In this case, existing optical fibres in previously laid optical cables can be utilised, or new, small optical cable lines containing fibres can be installed, with the laying routes situated close to the users. Their fibres can be connected by inserting optical splitters at necessary points. In such cases, users are connected via three-way optical splitters, with two outputs forming the bus and the third output being used to connect the user's devices. The buses can either be without branches or branched. Branches are connected to the third output of the bus splitters. The paper presents a methodology for calculating the parameters of optical bus splitters, considering signal losses in the optical fibre and the signal losses in the splitters themselves. The method is used to analyse the changes in signal attenuation in sequentially arranged optical bus splitters. The application of the methodology enables the equalisation of optical signal losses from the beginning of the bus to all the outputs of the optical bus splitters. The calculation algorithms in the methodology also evaluate the influence of optical branchings on the attenuation of optical signals. It demonstrates how the attenuation of optical signals changes from the beginning of the bus to all the outputs at different points in the bus by connecting various attenuation optical branches and recalculating the parameters of the optical splitters so that the signal strength is uniform in all outputs.

Keywords: optical access networks, passive optical backbone networks, FTTH, G-PON

Informacija apie autorius

dr. Rimantas Plėštys. Kauno kolegijos Technologijų fakulteto Informatikos ir medijų technologijų katedros docentas. Mokslinių tyrimų kryptys: kompiuterių tinklai, kibernetinė sauga.

El. pašto adresas: rimantas.plestys@go.kauko.lt

dr. Jurgita Dabulytė-Bagdonavičienė. Kauno kolegijos Technologijų fakulteto Informatikos ir medijų technologijų katedros docentė. Mokslinių tyrimų kryptys: taikomoji matematika, matematinis modeliavimas.

El. pašto adresas: jurgita.dabulyte@go.kauko.lt

Renata Gudaitienė. Kauno kolegijos Technologijų fakulteto Informatikos ir medijų technologijų katedros docentė. Mokslinių tyrimų kryptys: informatikos inžinerija, gamybos inžinerija.

El. pašto adresas: renata.gudaitiene@go.kauko.lt