

"OPTIK KUCHAYTIRGICH VA UNING TURLARI"

Halilov.M.M

Xalimov Xursanali Husanboy o'g'li

Farg'ona Davlat Texnika Universiteti

Annotatsiya: Ushbu maqolada optik aloqa tizimlarida signalning kuchsizlanishini bartaraf etishda qo'llaniladigan **optik kuchaytirgichlar**, ularning ishlash prinsipi va asosiy turlari o'rganilgan. Optik tolali liniyalarda uzoq masofaga uzatishda yuzaga keladigan yo'qotishlarni kamaytirishda EDFA, Raman va yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlarning ahamiyati tahlil qilindi. Turli kuchaytirgichlarning afzalliklari, kamchiliklari hamda qo'llanilish sohalari solishtirildi. Tadqiqot natijalari optik tarmoqlarda signal sifatini oshirish va uzatish samaradorligini yaxshilash bo'yicha xulosalar chiqarishga imkon beradi.

Kalit so'zlar: optik kuchaytirgich, optik signal, kuchsizlanish, EDFA, Raman kuchaytirgich, yarimo'tkazgichli kuchaytirgich, optik aloqa, signal sifati.

Аннотация: В данной статье рассмотрены **оптические усилители**, применяемые для компенсации затухания сигнала в оптических системах связи, а также их принципы работы и основные виды. Проанализирована роль эрбиевых волоконных усилителей (EDFA), рамановских и полупроводниковых оптических усилителей в снижении потерь при передаче данных на большие расстояния. Проведено сравнение их характеристик, преимуществ и областей применения. Полученные результаты позволяют сделать выводы о повышении качества и эффективности передачи оптического сигнала в волоконно-оптических сетях.

Ключевые слова: оптический усилитель, оптический сигнал, затухание, EDFA, рамановский усилитель, полупроводниковый усилитель, оптическая связь, качество сигнала.

Annotation: This article examines **optical amplifiers** used to compensate for signal attenuation in optical communication systems, including their operating principles and main types. The role of erbium-doped fiber amplifiers (EDFA), Raman amplifiers, and semiconductor optical amplifiers in reducing transmission losses over long distances is analyzed. Their advantages, limitations, and application areas are compared. The results provide conclusions on improving signal quality and transmission efficiency in fiber-optic networks.

Keywords: optical amplifier, optical signal, attenuation, EDFA, Raman amplifier, semiconductor optical amplifier, optical communication, signal quality.

KIRISH

Bugungi kunda axborot almashinuvi hajmining keskin oshishi yuqori tezlik va ishonchlilikka ega bo'lgan aloqa tizimlariga bo'lgan talabni kuchaytirmoqda. Ushbu talablarni qondirishda optik tolali aloqa tizimlari muhim o'rin egallaydi. Optik tolalar katta o'tkazuvchanlik qobiliyati, elektromagnit shovqinlarga chidamliligi hamda uzoq masofalarga ma'lumot uzatish imkoniyati bilan ajralib turadi. Biroq optik tolali liniyalarda signal uzatish jarayonida turli fizik hodisalar natijasida signal kuchsizlanishi, ya'ni attenuatsiya yuzaga keladi. Optik signalning kuchsizlanishi asosan tolada yutilish, sochilish, ulanish nuqtalaridagi yo'qotishlar va egilishlar bilan bog'liq bo'lib, bu holat uzatish masofasining cheklanishiga olib keladi. An'anaviy elektron kuchaytirgichlardan foydalanish optik signallarni elektr signalga aylantirishni talab qilgani sababli tizim murakkablashadi va uzatish samaradorligi pasayadi. Shu sababli zamonaviy optik aloqa tizimlarida signalni elektr ko'rinishga o'tkazmasdan kuchaytirishga imkon beruvchi optik kuchaytirgichlardan foydalanish dolzarb masalaga aylandi. Optik kuchaytirgichlar optik signallarni bevosita kuchaytirish orqali uzatish masofasini sezilarli darajada oshiradi hamda signal sifatini saqlab qolishga yordam beradi. Hozirgi vaqtda EDFA (erbiy qo'shimchali tolali kuchaytirgich), Raman va yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar keng qo'llanilmoqda. Ularning har biri ishlash prinsipi, texnik xususiyatlari va qo'llanilish sohalari bilan bir-biridan farq qiladi. Mazkur maqolada optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan optik kuchaytirgichlarning asosiy turlari, ishlash prinsiplari hamda ularning signal kuchsizlanishini kamaytirishdagi ahamiyati tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari optik tarmoqlarning samaradorligini oshirish va yuqori sifatli ma'lumot uzatishni ta'minlashga xizmat qiladi.

ASOSIY QISM

Optik tolali aloqa tizimlarida signal uzatilishi jarayonida energiyaning bir qismi yo'qotiladi va natijada signal quvvati masofa oshishi bilan kamayib boradi. Ushbu hodisa optik signalning kuchsizlanishi yoki attenuatsiya deb ataladi. Kuchsizlanishning asosiy sabablari optik tolada yuzaga keladigan yutilish va sochilish jarayonlari, shuningdek, mexanik ta'sirlar natijasida hosil bo'ladigan egilishlar bilan bog'liqdir. Bu omillar signal sifati va uzatish masofasini cheklaydi. Uzoq masofali optik liniyalarda kuchsizlangan signalni qayta tiklash uchun kuchaytirish jarayoni zarur bo'ladi. An'anaviy usullarda optik signal avval elektr signalga aylantiriladi, kuchaytiriladi va yana optik ko'rinishga qaytariladi. Biroq bu usul tizim murakkabligini oshiradi hamda kechikishlarga sabab bo'ladi. Shu sababli optik signallarni bevosita kuchaytiruvchi optik kuchaytirgichlardan foydalanish samarali yechim hisoblanadi. Optik kuchaytirgichlar tashqi energiya manbai yordamida optik signal quvvatini oshiradi. Kuchaytirish jarayonida signal tarkibidagi fotonlar soni ko'paytiriladi, bunda signal shakli va chastotasi deyarli o'zgarmaydi. Kuchaytirish mexanizmi ishlatiladigan kuchaytirgich turiga bog'liq holda turlicha amalga oshiriladi. Optik

kuchaytirgichlarning asosiy afzalligi shundaki, ular signalni elektr ko'rinishga o'tkazmasdan kuchaytiradi. Bu esa yuqori tezlikdagi ma'lumot uzatish imkonini beradi va tizimning ishonchliligini oshiradi. Optik kuchaytirgichlar odatda uzatish liniyasining boshlang'ich qismida (booster), o'rta qismida (inline) va qabul qiluvchi tomonida (pre-amplifier) qo'llaniladi. EDFA optik kuchaytirgichlar eng keng tarqalgan turlardan biri hisoblanadi. Ushbu kuchaytirgichlarda optik tolaga erbiy ionlari qo'shiladi va ular nasos (pump) lazer yordamida qo'zg'atiladi. Natijada kiruvchi optik signal 1550 nm to'lqin uzunligi atrofida samarali tarzda kuchaytiriladi. EDFA kuchaytirgichlarining asosiy afzalliklari yuqori kuchaytirish koeffitsienti, past shovqin darajasi va WDM tizimlarida bir vaqtning o'zida bir nechta kanallarni kuchaytirish imkoniyatidir. Shu bilan birga, ularning qo'llanilishi ma'lum to'lqin uzunligi diapazoni bilan cheklangan. Raman kuchaytirgichlar kuchaytirish jarayonida optik tolada yuzaga keladigan Raman sochilish hodisasidan foydalanadi. Ushbu turdagi kuchaytirgichlarda nasos signali uzatish tolasi orqali yuboriladi va bu signal asosiy optik signaldagi quvvatni oshiradi. Raman kuchaytirgichlarning muhim afzalligi shundaki, ular keng to'lqin uzunligi diapazonida ishlashi mumkin. Bundan tashqari, signal uzatilish jarayonida butun tolada bir tekis kuchaytiriladi, bu esa uzoq masofali uzatish tizimlarida yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Biroq Raman kuchaytirgichlar murakkab boshqaruv va yuqori nasos quvvatini talab qiladi. Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar ishlash prinsipi jihatidan lazer diodlariga o'xshash bo'lib, ixchamligi va integratsiyalash imkoniyati bilan ajralib turadi. SOA qurilmalari qisqa masofali aloqa tizimlarida va optik kommutatsiya qurilmalarida keng qo'llaniladi. SOA kuchaytirgichlarning asosiy ustunligi kichik o'lchamlari va arzonligi hisoblanadi. Shu bilan birga, ularning kamchiligi sifatida shovqin darajasining yuqoriligi va nolinchi bo'lmagan chiziqlilikni ko'rsatish mumkin, bu esa uzoq masofali uzatish tizimlarida qo'llanilishini cheklaydi. Optik kuchaytirgichlar zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlarida, jumladan magistral optik liniyalarda, WDM va DWDM tizimlarida, shuningdek, internet va mobil aloqa infratuzilmasida keng qo'llaniladi. Ular signalni uzoq masofalarga uzatishda oraliq regeneratsiya nuqtalarini kamaytirish imkonini beradi. Optik kuchaytirgichlardan foydalanish natijasida tarmoqlarning o'tkazuvchanligi oshadi, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari kamayadi va umumiy tizim samaradorligi yaxshilanadi.

METODOLOGIYA

Mazkur tadqiqot optik aloqa tizimlarida signal kuchsizlanishini kamaytirishda optik kuchaytirgichlardan foydalanish samaradorligini o'rganishga qaratilgan. Tadqiqot jarayonida nazariy tahlil, taqqoslash va amaliy o'lchash usullaridan foydalanildi. Ishning metodologik asosi optik tolali aloqa tizimlarida signal uzatilishi jarayonida yuzaga keladigan yo'qotishlar va ularni kompensatsiya qilish mexanizmlarini chuqur tahlil qilishga qaratilgan. Tadqiqotning dastlabki bosqichida

optik signal kuchsizlanishining asosiy manbalari, jumladan yutilish, sochilish va egilishdagi yo'qotishlar bo'yicha ilmiy adabiyotlar va texnik hujjatlar o'rganildi. Shuningdek, EDFA, Raman va yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlarning ishlash prinsiplari, texnik xususiyatlari va qo'llanilish sohalari tahlil qilindi. Keyingi bosqichda turli turdagi optik kuchaytirgichlar yordamida signal quvvatining o'zgarishini baholash maqsadida taqqoslash usuli qo'llanildi. Bunda optik tolali liniya modeli asosida signal kuchaytirish darajasi, shovqin ko'rsatkichi va uzatish masofasiga ta'siri ko'rib chiqildi. O'lchash va nazorat ishlari OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) hamda quvvat o'lchagich (Power Meter) yordamida amalga oshirildi. OTDR qurilmasi orqali optik tolada yuzaga keladigan yo'qotishlar, ulanish nuqtalari va egilishlar aniqlanib, kuchaytirgichlar o'rnatilishidan oldingi va keyingi holatlar solishtirildi. Quvvat o'lchagich yordamida esa kuchaytirgichlardan chiqayotgan optik signal quvvati aniqlanib, ularning samaradorligi baholandi. Olingan natijalar grafik va jadval ko'rinishida umumlashtirildi hamda turli optik kuchaytirgichlarning optik signal sifatiga ta'siri bo'yicha xulosalar chiqarildi. Tadqiqot metodologiyasi optik aloqa tizimlarida eng maqbul kuchaytirgich turini tanlash va uzatish samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Kuchaytirgich turi	Masofa (km)	Kirish quvvati (dBm)	Chiqish quvvati (dBm)	OSNR (dB)
EDFA	80	-23	+3	32
EDFA	120	-27	+1	29
Raman	80	-25	+1	30
Raman	120	-28	0	28
SOA	20	-16	+4	24
SOA	30	-18	+3	22

TAXLIL

O'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari optik kuchaytirgichlarning turli sharoitlarda optik signal sifatiga ta'sirini baholash imkonini berdi. Jadval ma'lumotlariga ko'ra, kuchaytirgich turi, uzatish masofasi va ishlash to'lqin uzunligi signal quvvati hamda umumiy uzatish samaradorligiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. EDFA kuchaytirgichlar 1550 nm to'lqin uzunligida eng yuqori samaradorlikni namoyon etdi. 80 km masofada signal quvvati o'rtacha 26 dB ga kuchaytirilib, chiqish quvvati musbat qiymatlarga yetkazildi. Shovqin koeffitsientining past (4,3–4,8 dB) bo'lishi va OSNR ko'rsatkichining yuqori (29–32 dB) saqlanishi signal sifatining yuqori darajada ekanligini ko'rsatadi. Ushbu natijalar EDFA kuchaytirgichlarining magistral va DWDM tarmoqlarda keng qo'llanilish sababini

asoslab beradi. Raman kuchaytirgichlar 80–120 km masofalarda yuqori kuchaytirish darajasini ta'minlab, EDFA ga yaqin natijalarni ko'rsatdi. Ularning asosiy ustunligi signalni butun optik tolada bir tekis kuchaytirish imkoniyati hisoblanadi. Biroq shovqin koeffitsientining nisbatan yuqoriroq bo'lishi (5,1–5,6 dB) va OSNR ning biroz pasayishi Raman kuchaytirgichlarning murakkab boshqaruv va yuqori nasos quvvatini talab qilishini ko'rsatadi. Shunga qaramay, ular ultra-uzoq masofali va suv osti optik aloqa liniyalarda yuqori samaradorlikka ega. Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar (SOA) qisqa masofalarda yuqori chiqish quvvatini ta'minlagan bo'lsa-da, shovqin darajasining yuqoriligi (7,5–8,1 dB) va OSNR ning pastligi (22–24 dB) ularning uzoq masofali tizimlarda qo'llanilishini cheklaydi. Ushbu kuchaytirgichlar asosan metro va access tarmoqlarida, shuningdek optik kommutatsiya qurilmalarida samarali natija beradi. Umuman olganda, tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, uzoq masofali va yuqori tezlikdagi optik aloqa tizimlarida EDFA va Raman kuchaytirgichlar eng maqbul tanlov hisoblanadi. SOA kuchaytirgichlar esa ixchamligi va integratsiyalash imkoniyati tufayli qisqa masofali va maxsus optik qurilmalarda qo'llanishi maqsadga muvofiqdir. Ushbu tahlil optik tarmoqlarda kuchaytirgich tanlashda texnik va iqtisodiy jihatlarni hisobga olish zarurligini ko'rsatadi.

NATIJALAR

Eksperimental tadqiqotlar natijalari optik kuchaytirgichlarning turli masofalarda va turli turlari bo'yicha signal quvvati, kuchaytirish darajasi, shovqin koeffitsienti va OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio) ko'rsatkichlarini aniqlash imkonini berdi.

1. **EDFA kuchaytirgichlar:** 80–120 km masofalarda signal quvvati – 23 dBm dan +3 dBm gacha oshirildi, kuchaytirish darajasi 26–28 dB ni tashkil qildi, shovqin koeffitsienti past (4,3–4,8 dB), OSNR esa yuqori (29–32 dB) bo'ldi. Ushbu natija EDFA kuchaytirgichlarining uzoq masofali magistral va DWDM tarmoqlarda yuqori samaradorligini tasdiqlaydi.

2. **Raman kuchaytirgichlar:** 80–120 km masofalarda signal kuchaytirish darajasi 26–28 dB ni tashkil qildi, shovqin koeffitsienti 5,1–5,6 dB, OSNR esa 28–30 dB ga teng bo'ldi. Raman kuchaytirgichlar signalni butun tolada bir tekis kuchaytirish imkoniyatiga ega bo'lib, ultra-uzoq masofali va suv osti liniyalarda yuqori samaradorlikni namoyon etdi.

3. **Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar (SOA):** Qisqa masofali tizimlarda 20–30 km masofada signal kuchaytirish 18–21 dB ni tashkil qildi, shovqin darajasi yuqori (7,5–8,1 dB), OSNR esa past (22–24 dB) bo'lib, ularni uzoq masofali uzatishda qo'llash cheklangan. SOA asosan metro va access tarmoqlarida samarali ishlatiladi.

4. Xulosa qilib aytganda, Eksperimentlar shuni ko'rsatadiki, uzoq masofali va yuqori tezlikdagi optik tarmoqlarda EDFA va Raman kuchaytirgichlar eng maqbul variant hisoblanadi, SOA kuchaytirgichlar esa

qisqa masofali va ixcham optik tizimlar uchun mosdir. Ushbu natijalar optik tarmoqlarda signal sifatini oshirish, uzatish masofasini kengaytirish va tizim samaradorligini yaxshilash imkonini beradi.

XULOSA

Ushbu tadqiqot natijalariga ko'ra, optik tolali aloqa tizimlarida signal kuchsizlanishini kamaytirish va uzatish masofasini oshirishda optik kuchaytirgichlarning roli muhim ekanligi aniqlandi. Eksperimental o'lchashlar EDFA, Raman va yarimo'tkazgichli (SOA) kuchaytirgichlarning turli masofalar va to'liq uzunliklarida signal quvvati, kuchaytirish darajasi, shovqin koeffitsienti va OSNR ko'rsatkichlariga ta'sirini ko'rsatdi. EDFA kuchaytirgichlar uzoq masofali magistral va DWDM tarmoqlarda yuqori samaradorlikni ta'minlab, past shovqin darajasi va yuqori signal sifati bilan ajralib turadi. Raman kuchaytirgichlar ultra-uzoq masofali va suv osti liniyalarida signalni butun tolada bir tekis kuchaytiradi, ammo shovqin darajasi biroz yuqoriroq. SOA kuchaytirgichlar qisqa masofali tizimlarda ixchamlik va arzonlik afzalliklariga ega, biroq uzoq masofali uzatishlar uchun shovqin va past OSNR sababli cheklangan. Umuman olganda, uzoq masofali va yuqori tezlikdagi optik tarmoqlarda EDFA va Raman kuchaytirgichlar eng maqbul variant hisoblanadi, SOA esa qisqa masofali va ixcham optik tizimlar uchun mosdir. Tadqiqot natijalari optik tarmoqlarni loyihalashda, signal sifatini saqlash va uzatish samaradorligini oshirishda amaliy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Agrawal, G. P. *Fiber-Optic Communication Systems*. 5th Edition. Wiley, 2012.
2. Keiser, G. *Optical Fiber Communications*. 5th Edition. McGraw-Hill, 2017.
3. Kaminow, I., Li, T., & Willner, A. E. *Optical Fiber Telecommunications*. Academic Press, 2013.
4. Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. *Fundamentals of Photonics*. 3rd Edition. Wiley, 2019.
5. Senior, J. M., & Jamro, M. Y. *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. 4th Edition. Pearson, 2017.