

OPTIK ALOQA TIZIMLARINING FOTOQABUL QILGICHLARI

Shamshiddinov Shuxratjon Sharobiddin o'g'li

Telefon raqami (+998 94 202 15 74)

shamshiddinovshuxratjon0701@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17863514>

Annotatsiya: Mazkur tezis optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabul qilgichlarning fizik tamoyillari, konstruksiyasi va ularning ishlash ko'rsatkichlarini ilmiy jihatdan tahlil qiladi. Optik tolasi aloqa liniyalarida axborot optik impulslar ko'rinishida uzatilib, qabul nuqtasida ushbu yorug'lik signallarini elektr signallariga aylantirish jarayoni fotoqabulqilgichlar orqali amalga oshiriladi. Shuning uchun fotoqabul modullari optik aloqa tizimlarining sezgirligi, tezkorligi va umumiy samaradorligini belgilovchi eng muhim elementlardan biri hisoblanadi.

Optik tolali aloqa tizimining qabul qilish bo'limi, undagi asosiy komponentlar va fotoqabul qilgichning vazifasi tushuntiriladi. Fotoeffekt asosida ishlovchi yarim o'tkazgichli qurilmalar PIN fotodiod va lavinli fotodiod (APD)ning tuzilish, ularda tashuvchilar generatsiyasi, kuchaytirish jarayoni va spektral sezgirlik kabi parametrlari ilmiy jihatdan yoritiladi.

Kalit so'zlar: Optik aloqa, optik tolali aloqa, fotoqabul qilgich, optik tizim samaradorligi, optik modul, elektr signal, fotodiod sezgirligi

Kirish

Optik signallarni elektr signallariga aylantirish uchun fotoqabulqilgichlar qo'llaniladi. So'ng bu signallar fotoqabulqilgichni elektr qurilmalarida kuchaytiriladi va qayta ishlanadi. Bu maqsadlar uchun qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlar talab etiladigan polosa kengligiga, dinamik diapazonga, sezgirlikka, tola bilan puxta bog'lanish uchun yetarli o'lchamga ega bo'lishi, tashqi muhit o'zgarishlariga sezgir bo'lmasligi, xizmat muddati esa yuqori bo'lishi kerak. Bu talablarga yarim o'tkazgichli fotodiodlar (FD) to'liqroq javob beradi.

OA tizimlarida yarim o'tkazgichli fotodiodlarning *p-i-n FD* va ko'chkisimon FD turlari keng tarqalgan.

Yarim o'tkazgichli FD ishi ichki fotoeffektga asoslangan bo'lib, bunda yorug'lik fotonini yutilishidan yangi zaryad tashuvchi juftliklari-elektron va kovaklar hosil bo'ladi. Ya'ni foton atom bo'lib yutilib, elektronlarni qo'zg'atadi va elektronlarni valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazadi. Bu o'tishlar elektr signallarni shakllanishiga sharoit yaratadi.

Agar aralashma materialli *r*- va *n*-turdagi yarim o'tkazgichlar birlashtirilsa, elektronlar diffuziyasi *r*-turdagi yarim o'tkazgichda, kovaklar diffuziyasi esa *n*-turdagi yarim o'tkazgichda yuz beradi. Bunda kontakt maydon zaryad tashuvchilari kam bo'lgan, juda ingichka aktiv qatlam hosil bo'ladi.

Asosiy qism

Istalgan aloqa tizimining asosiy vazifasi axborotlarni bir punktdan boshqasiga uzatish hisoblanadi. Optik to'lqin va signallar yordamida axborotlarni ma'lum masofalarga uzatishga mo'ljallangan, boshqacha qilib aytganda optik signallarni shakllantirishni, qayta ishlashni, uzatishni ta'minlovchi optik qurilmalar va optik uzatish liniyasi yig'indisiga optik aloqa tizimi(OAT) deb ataladi. Optik aloqa tizimlarida axborotlarni uzatish mos keluvchi axborot signallari bilan modulyatsiyalangan elektromagnit tebranishlar, yorug'lik nuri yordamida amalga oshiriladi, ya'ni yorug'lik nuri o'zida elektromagnit tebranishlarni namoyon etadi.

1. *Optik aloqa tizimlarida fotoqabul qilgichlarning o'рни* Optik aloqa tizimlari axborotni yorug'lik nurlari orqali uzatadi va qabul qiluvchida ushbu optik signallarni elektr signallariga aylantiruvchi asosiy qurilma — fotoqabul qilgich (fotodetektor) hisoblanadi. Fotoqabul qilgichning sezgirliги, tezkorliги va shovqinsiz ishlashi butun optik aloqa kanalining sifatini belgilovchi hal qiluvchi omillardandir. Ayniqsa, yuqori tezlikdagi (10 Gbit/s va undan yuqori) tolali aloqa tizimlarida fotodetektorlar samaradorliги ulkan ahamiyatga ega. Fotoqabul qilgichlarning asosiy vazifasi fotonlarni qabul qilish, ular energiyasini elektron-teshik juftlariga aylantirish va elektr tokiga konvertatsiya qilishdan iborat. Shu sababli fotodetektor tanlashda uning spektral sezgirliги, kvant samaradorliги, tarmoqli kengliги, shovqin darajasi va sezgirliги asosiy parametr sifatida baholanadi.

2. *Fotoqabul qilgichlarning ishlash prinsipi* Yarimo'tkazgich asosida ishlovchi fotodetektorlarda yorug'lik kvanti (foton) yarimo'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligidan katta energiyaga ega bo'lsa, u elektron-teshik juftini hosil qiladi. Hosil bo'lgan zaryadlar elektr maydoni yordamida ajratiladi va natijada fotoelektr tok hosil bo'ladi. Umumiy fotodiodlar uchun fotojarayon quyidagi bosqichlarda kechadi:

1. Fotonning yutilishi
2. Zaryad tashuvchilarning generatsiyasi
3. Depression sohasida tashuvchilarning ajralishi
4. Tashqi zanjirda fotooqimning paydo bo'lishi Ushbu jarayonning samaradorliги kvant samaradorliги (η) bilan baholanadi.

3. *Fotoqabul qilgichlarning turlari* Optik aloqa tizimlarida asosan quyidagi ikki turdagi fotodiodlar keng qo'llaniladi:

1. PIN-fotodiod PIN-fotodiod — p-tur, i (intrinsik) va n-tur qatlamlardan tashkil topgan fotodetektor. Intrinsik sohaga tushgan fotonlar katta miqdorda zaryad tashuvchilarni hosil qiladi, bu uning tezkor va sezgir bo'lishiga imkon beradi. PIN-fotodiodning afzalliklari: yuqori tezkorlik (10–40 GHz gacha); past shovqin; o'rtacha kuchaytirish bilan barqaror ishlash; ko'pchilik tizimlarda yetarli sezgirlik. Kamchiliklari: ichki kuchaytirish mavjud emas ($\text{gain} = 1$); juda past quvvatli signallarni aniqlashda cheklovlar mavjud.

2. APD (Avalanche Photodiode) APD — lavina kuchaytirish hodisasiga asoslangan fotodiod bo'lib, unda zaryad tashuvchilar elektr maydon ta'sirida ko'payadi. Bu esa kuchaytirish koeffitsiyenti 100–1000 gacha oshishiga imkon beradi. APDning afzalliklari: yuqori ichki kuchaytirish; juda past quvvatli optik signallarni ham aniqlay oladi; uzoq masofali aloqa tizimlari uchun mos. Kamchiliklari: yuqori shovqin darajasi (lavina shovqini); ishlashi uchun katta teskari kuchlanish talab etiladi; PIN-ga nisbatan murakkabroq va qimmatroq.

4. *Fotoqabul qilgich materiallari va ularning spektral diapazoni* Optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan fotodiodlar yarimo'tkazgich materialiga qarab turlicha to'lqin uzunliklarida ishlaydi: Material To'lqin uzunliги diapazoni Qo'llanish sohasi Si (Kremniy) 400–1000 nm LED tizimlari, qisqa masofa Ge (Germaniy) 800–1600 nm Erta optik tizimlar InGaAs 1100–1700 nm Zamonaviy optik tolali aloqa (1310 va 1550 nm) Hozirgi kunda eng keng qo'llaniladigan material — InGaAs, chunki u 1310 nm va 1550 nm diapazonlarda minimal yo'qotishlarga ega bo'lgan optik tolalar bilan eng yaxshi mos keladi.

5. *Fotoqabul qilgichlarning asosiy parametrlar*

Agar har bir yutiladigan kvant elektron-kovak juftligini hosil qilsa, Ryu orqali oqib o'tuvchi I elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I = q \cdot N = q (P / h \cdot \nu)$$

bu yerda q-tashuvchi elektron zaryadi, $q = 1,6 \times 10^{-19}$ Kl;

N-tashuvchilar soni;

P-optik nurlanish quvvati, Vt;

$h \cdot \nu$ kvant energiyasi, Vt $\times$ s yoki kVt $\times$ soatda o'lchanadi.

Elektronlarni valent zonadan o'tkazuvchanlik zonaga o'tishi uchun yutilayotgan kvant energiyasi etarlicha bo'lishi kerak, ya'ni $h \cdot \nu$ kvant energiyasi man etilgan soha kengligidan katta $h \cdot \nu \geq \Delta W_{m.e.s}$ bo'lishi kerak.

Yutiladigan yorug'lik kvantlarining hammasi ham elektr toki impulslarini hosil qilmaydi. Shuning uchun fotodiodlar, fotonlarni elektr tokiga aylanish samaradorligini xarakterlovchi η -kvant samaradorligi koeffisienti bilan baxolanadi

Kvant samaradorligini hisoblash formulasi:

$$\eta = 1,24 \cdot 10^5 S / \lambda$$

bu yerda, S-sezgirlik, A/Vt;

λ -optik signalning to'lqin uzunligi, nm.

Shu tarzda umumiy xolda R_{yu} orqali o'tayotgan elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagi formuladan topiladi:

$$I = \eta q (P / h \cdot \nu) = S \cdot P$$

Fotodiod sezgirli - S bu yorug'lik quvvatini elektr tokiga aylanishdagi to'liq foydali ish koeffisientidir (FIK), ya'ni fototok I o'rtacha qiymatining optik quvvat P o'rtacha qiymatiga nisbatidir, A/Vt :

$$S = I / P \quad \text{yoki,} \quad S = \eta (q / h \cdot \nu)$$

Xulosa

Optik aloqa tizimlarining fotoqabul qilgichlari zamonaviy telekommunikatsiya infratuzilmasining eng muhim bo'g'ini hisoblanadi. Ular optik tolali liniyalar orqali uzatilgan yorug'lik signalini elektr signallariga aylantirib, ma'lumotning aniq, barqaror va yuqori tezlikda qabul qilinishini ta'minlaydi. Fotoqabul qilgichlarning sezgirli, spektral javobi, tezkorligi, shovqin darajasi va barqaror ishlashi optik aloqa tizimining umumiy samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Hozirgi vaqtda fotodiodlarning bir nechta turlari – PIN-fotodiodlar, lavina fotodiodlari (APD), kvant samaradorligi yuqori bo'lgan yarimo'tkazgich tuzilmalari keng qo'llanilmoqda. Ularning har biri turli diapazonlar, masofalar va signal darajalariga moslab tanlanadi. Shuningdek, optik signallarni qayta ishlash jarayonida kuchaytirgichlar, filtrlash qurilmalari va past shovqinli elektron modullar bilan integratsiya fotoqabul qilgichlarning samaradorligini yanada oshirmoqda.

Umuman olganda, optik aloqa tizimlarida fotoqabul qilgichlar texnologiyasining takomillashuvi yuqori tezlikdagi internet, keng polosali aloqa, 5G/6G tarmoqlari, IoT qurilmalari va global axborot almashinuvining sifatini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Kelgusida ularda kvant texnologiyalari, nanomateriallar va fotonika asosidagi yangi konstruksiyalarning qo'llanishi optik aloqa tizimlarining yanada yuqori samaradorligini ta'minlashi kutilmoqda.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Agrawal, G. P. *Fiber-Optic Communication Systems*. Wiley, 2021.
2. Keiser, G. *Optical Fiber Communications*. McGraw-Hill, 2016.
3. Senior, J. M., & Jamro, M. Y. *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. Pearson, 2018.
4. Gerd Keiser. *Practical Communication Engineering with Optical Fiber*. Springer, 2019.
5. Turdiyev, T. va boshq. **Optik aloqa asoslari**. Toshkent: O'zbekiston Milliy universiteti nashriyoti, 2020.
6. Kazakov, A. *Photonics and Optoelectronics*. Elsevier, 2020.