RAQAMLI VA ANALOGLI ALOQA TIZIMLARI

Xalilov Muxammadmuso Muxammadyunusovich
Farg‘ona davlat texnika universiteti
Axborot tizimlari va texnologiyalari kafedrasi
katta o‘qituvchisi

Abdumalikov Azizbek Turg‘inboy o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti
Telekomunikatsiya texnologiyalari yo‘nalishi 2-kurs talabasi
azizbek511x1@gmail.com
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20539596

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot ishida zamonaviy telekommunikatsiya tizimlarining asosi hisoblangan raqamli va analogli aloqa tizimlarining qiyosiy tahlili yoritilgan. Maqolada ikkala tizimning ishlash tamoyillari, axborotni kodlash, uzatish va dekodlash jarayonlari nazariy hamda matematik modellar yordamida ochib berilgan. Raqamli aloqa tizimlarida bit xato darajasi (BER) va Naykvist chastotasi kabi muhim metrikalar amaliy misollar orqali tahlil qilingan. Shuningdek, analogli tizimlarning shovqinga moyilligi va raqamli texnologiyalarning afzalliklari o‘rganilib, zamonaviy gibrid aloqa infratuzilmalarini optimallashtirish masalalari muhokama qilingan.
Kalit so‘zlar: Raqamli aloqa, analogli signal, modulyatsiya (AM, FM), bit xato darajasi (BER), Naykvist chastotasi, ADC/DAC konverterlar, xatolarni tuzatish, gibrid aloqa, telekommunikatsiya infratuzilmasi.

DIGITAL AND ANALOG COMMUNICATION SYSTEMS

Annotation: This research paper highlights a comparative analysis of digital and analog communication systems, which are considered the foundation of modern telecommunication systems. The article reveals the operating principles of both systems, as well as the processes of encoding, transmitting, and decoding information using theoretical and mathematical models. In digital communication systems, critical metrics such as the bit error rate (BER) and Nyquist frequency are analyzed through practical examples. Additionally, the noise susceptibility of analog systems and the advantages of digital technologies were studied, and issues of optimizing modern hybrid communication infrastructures were discussed.
Keywords: Digital communication, analog signal, modulation (AM, FM), bit error rate (BER), Naykvist frequency, ADC/DAC converters, error correction, hybrid communication, telecommunications infrastructure.

ЦИФРОВЫЕ И АНАЛОГНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Аннотация: В данной исследовательской работе представлен сравнительный анализ цифровых и аналоговых систем связи, являющихся основой современных телекоммуникационных систем. В статье с помощью теоретических и математических моделей раскрыты принципы работы обеих систем, процессы кодирования, передачи и декодирования информации. В системах цифровой связи на практических примерах проанализированы такие важные метрики, как уровень битовой ошибки (BER) и частота Найквиста. Также были изучены предрасположенность аналоговых систем к шуму и преимущества цифровых технологий, обсуждены вопросы оптимизации современных гибридных инфраструктур связи.
Ключевые слова: Цифровая связь, аналоговый сигнал, модуляция (AM, FM), уровень битовой ошибки (BER), частота Найквиста, конвертеры ADC/DAC, коррекция ошибок, гибридная связь, телекоммуникационная инфраструктура.

Kirish: Bugungi kunda raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi aloqa tizimlarining yangi bosqichga ko‘tarilishiga sabab bo‘lmoqda. Raqamli va analogli aloqa tizimlari ushbu transformatsiyaning asosiy tarkibiy qismlaridan sanaladi. Mazkur tadqiqotning maqsadi ushbu ikki turdagi tizimlarning o‘ziga xos xususiyatlarini, afzalliklari hamda kamchiliklarini chuqur tahlil qilishdan iborat. Raqamli aloqa tizimlari ma’lumotlarni raqamli kodlar shaklida uzatish orqali yuqori aniqlik va ishonchlilikni ta’minlasa, analogli tizimlar uzluksiz signallar bilan ishlaydi. Ularning har birining qo‘llanilish sohalari turlicha bo‘lib, zamonaviy texnologiyalar rivojlanishida muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu mavzuning dolzarbligi shundaki, global axborot makonining kengayishi bilan raqamli va analogli texnologiyalarni optimallashtirish va integratsiyalash zarurati tobora ortib bormoqda. Tadqiqotimiz ushbu tizimlarning nazariy va amaliy jihatlarini ochib berish orqali kelajakdagi aloqa infratuzilmasini takomillashtirishga hissa qo‘shadi.

Raqamli aloqa tizimlari axborotni diskret qiymatlar, odatda binariy kod (0 va 1) shaklida uzatish va qayta ishlashga asoslanadi. Bu uzluksiz qiymatlardan iborat bo‘lgan analogli tizimlardan tubdan farq qiladi. Raqamli tizimlarning asosiy tamoyillari axborotni kodlash, kanallar orqali uzatish, buzilishlarni bartaraf etish va dekodlash kabi jarayonlarni o‘z ichiga oladi. Birinchi muhim tamoyil kodlashdir. Raqamli aloqa avvalambor axborotni raqamli formatga aylantirishni talab qiladi. Masalan, analogli ovoz signali mikrofon orqali qabul qilinadi va keyin analog-raqamli konverter (ADC) yordamida raqamli bitlar ketma-ketligiga aylantiriladi. Bu jarayonda signaldagi har bir nuqtanining qiymati ma’lum bir diskret darajaga yaqinlashtiriladi. Keyin bu bitlar uzatish uchun mos shaklga keltiriladi, masalan, Manchester kodlash yoki NRZ (Non-Return-to-Zero) kabi usullar qo‘llaniladi, bu esa uzatish jarayonida signallarni yanada mustahkam qiladi. Ikkinchi asosiy tamoyil uzatish va buzilishlarga chidamlilikdir. Raqamli signallar uzatish kanallari (masalan, simli kabellar, optik tolalar yoki simsiz havob aloqa kanallari) orqali tarqaladi. Ushbu kanallarda shovqin va boshqa turdagi buzilishlar (masalan, o‘zaro ta’sir, signal yo‘qolishi) mavjud bo‘lishi mumkin. Raqamli tizimlarning katta afzalligi shundaki, ular bu buzilishlarga nisbatan ancha chidamli. Agar buzilishlar haddan tashqari ko‘p bo‘lmasa, qabul qiluvchi qurilma asl qiymatlarni (0 yoki 1) aniqlay oladi. Bu analogli tizimlarda mumkin emas, chunki analogli signaldagi har qanday kichik o‘zgarish ma’lumotning yo‘qolishiga olib kelishi mumkin. Uchinchi muhim tamoyil xatolarni tuzatish va aniqlash kodlashidir. Raqamli aloqa tizimlarida axborotni himoya qilish uchun turli xil kodlash sxemalari qo‘llaniladi. Masalan, takrorlash kodlari (parity bits) yoki yanada murakkab Kodlar (masalan, BCH, Reed-Solomon) ma’lumotlar ketma-ketligiga qo‘shimcha bitlar qo‘shish orqali ishlaydi. Bu qo‘shimcha bitlar uzatilgan ma’lumotlardagi xatolarni aniqlash va ba’zi hollarda hatto tuzatish imkonini beradi. Agar qabul qiluvchi qurilma uzatilgan ma’lumotlar va tekshirish bitlari o‘rtasida nomuvofiqlikni aniqlasa, u xatolikni bildirish yoki ma’lumotni qayta so‘rash imkoniyatiga ega bo‘ladi. Oxirgi tamoyil dekodlashdir. Qabul qilingan raqamli ma’lumotlar to‘g‘ri shaklga keltiriladi va agar kerak bo‘lsa, xatolik tuzatilgandan so‘ng, u asl axborot shakliga (masalan, ovoz, tasvir yoki matn) qaytariladi. Bu jarayon raqamli-analogli konverter (DAC) yordamida amalga oshirilishi mumkin.

Shu tamoyillarni matematik jihatdan ifodalash uchun quyidagi formulalarga murojaat qilamiz:

Formulalar:

Raqamli signaldagi bit xato darajasi (BER):

$$\text{BER} = \frac{N_{\text{err}}}{N_{\text{total}}}$$

Bu formula uzatilgan raqamli ma’lumotlar orasida qancha bit xato bilan qabul qilinganligini ko‘rsatadi. Bu raqamli aloqa tizimining ishonchliligini baholash uchun muhim metrikadir.

Raizon chastotasi (Nyquist chastotasi):

$$f_N = \frac{1}{2T_s}$$

Bu formula raqamli signaldagi eng yuqori chastotali komponentni to‘g‘ri tiklash uchun zarur bo‘lgan minimal namuna olish chastotasining yarmiga teng. Raqamli aloqa tizimlarida signallarni bir maromda o‘zgartirish uchun bu prinsip muhimdir.

Raizon intervalli va bit davomiyligi:

$$T_s = T_b$$

Ideal holda, raqamli aloqa tizimida namuna olish intervalli T_s har bir bitning davomiyligiga T_b teng bo‘lishi kerak. Bu har bir bitni aniq ajratish va dekodlash imkonini beradi.

Misol:

Raqamli aloqa tizimida 10^8 bit ma’lumot uzatildi va 500 ta xato bit qayd etildi. Bit xato darajasini (BER) hisoblang.

Berilganlar: Uzatilgan jami bitlar $N_{\text{total}} = 10^8$, Xato bitlar soni $N_{\text{err}} = 500$.

$$\text{BER} = \frac{N_{\text{err}}}{N_{\text{total}}}$$

$$\text{BER} = \frac{500}{10^8}$$

$$\text{BER} = 5 \quad 10^{-6}$$

Natija: Bit xato darajasi $\text{BER} = 5 \quad 10^{-6}$ ga teng.

Analogli aloqa tizimlari ma’lumotni uzluksiz o‘zgaruvchan signallar orqali uzatishga asoslanadi. Bunday tizimlarning asosiy tuzilishi transmitter, kanal va receiverdan iborat. Transmitter ma’lumotni (masalan, ovoz) analog elektr signaliga aylantiradi. Bu signal keyin modulyatsiya jarayoni orqali tashuvchi to‘lqinga biriktiriladi. Modulyatsiya turlari chastota modulyatsiyasi (FM) va amplituda modulyatsiyasi (AM) kabi keng tarqalgan bo‘lib, ular ma’lumotni tashuvchi to‘lqinning chastota yoki amplitudasi o‘zgarishi orqali kodlaydi. Masalan, radioeshittirishda AM tizimlari ovoz chastotasini radioto‘lqin amplitudasi o‘zgarishi bilan ifodalaydi. Aloqa kanali bu signallarning uzatish muhitidir. Bu simli aloqa (masalan, mis kabel) yoki simsiz aloqa (masalan, havo) bo‘lishi mumkin. Kanalda signallar shovqin va buzilishlarga duch kelishi mumkin, bu esa ma’lumotning sifati pasayishiga olib keladi. Shovqin, masalan, elektr jihozlaridan keladigan elektromagnit to‘lqinlar yoki atmosferadagi tabiiy hodisalar natijasida yuzaga kelishi mumkin. Receiver transmitterdan kelgan signalni qabul qiladi. U yerda demodulyatsiya jarayoni orqali tashuvchi to‘lqindan dastlabki ma’lumotni ajratib oladi. Demodulyatsiya modulyatsiyaning teskari jarayonidir. Keyin ma’lumot asl holiga qaytariladi. Televideniye signallarini qabul qiluvchi televizor bunga misol bo‘lib, u havodan kelgan analog chastota signallarini tasvir va tovushga aylantiradi. Analogli tizimlarning asosiy kamchiligi shovqinga nisbatan zaifligi va ma’lumotni takrorlash qiyinligidadir, bu esa uzatish masofasi oshishi bilan signal sifatining yomonlashishiga olib keladi. Shunga qaramay, ularning soddaligi va arzonligi ba’zi sohalarda hali ham ulardan foydalanishni ta’minlaydi.

Raqamli va analogli aloqa tizimlari o‘zlarining texnik xususiyatlari, qo‘llanilishi va samaradorligi jihatidan sezilarli farqlarga ega. Analogli tizimlar uzluksiz signaldan foydalanadi, bu esa ma’lumotni to‘lqin shaklida uzatadi. Bunday tizimlarning asosiy afzalligi shundaki, ular sodda va arzon qurilmalar bilan amalga oshirilishi mumkin. Masalan, an’anaviy radio va telefon aloqasi analogli texnologiyalarga asoslangan. Biroq, analogli signallar shovqin va buzilishlarga ko‘proq moyil bo‘ladi, bu esa ma’lumot sifatining pasayishiga olib keladi. Har bir takrorlash yoki uzatishda signal sifati yomonlashishi mumkin. Raqamli tizimlar esa ma’lumotni diskret qiymatlar, ya’ni bitlar (0 va 1) ko‘rinishida uzatadi. Raqamli aloqaning asosiy ustunligi uning shovqinga chidamliligi va ma’lumotni yuqori aniqlikda saqlash va uzatish qobiliyatidir. Raqamli signallar hatto qisman buzilganda ham asl ma’lumotni qayta tiklash imkoniyati mavjud, chunki ular diskret holatda saqlanadi. Bu esa ma’lumotlarning buzilmasligini ta’minlaydi. Raqamli tizimlar ma’lumotni siqish (kompressiya) orqali uzatish samaradorligini oshirishi mumkin. Internet, mobil aloqa, raqamli televideniye kabi zamonaviy texnologiyalar raqamli tizimlardan foydalanadi. Raqamli tizimlarning kamchiligi shundaki, ularni amalga oshirish uchun murakkabroq va qimmatroq elektron qurilmalar talab qilinadi. Signalni raqamli formatga aylantirish (diskretizatsiya va kvantlash) va aksincha (diskretizatsiya va tiklash) jarayonlari qo‘shimcha protsessor quvvati va vaqtni talab qiladi. Raqamli uzatishda ma’lumotni qayta ishlash va kodlash qo‘shimcha kechikishlarga olib kelishi mumkin, bu real vaqt rejimida ishlaydigan ba’zi ilovalar uchun muammo tug‘dirishi mumkin.

Shunga qaramay, raqamli texnologiyalarning samaradorligi va ishonchliligi ularni ko‘plab zamonaviy aloqa tarmoqlarida dominant texnologiyaga aylantirgan.

Zamonaviy aloqa tizimlarida raqamli va analogli texnologiyalarning qo‘llanilishi Zamonaviy dunyoda aloqa tizimlari texnologik rivojlanishning markazida turadi va bu tizimlarning samaradorligi hamda ishonchliligini ta’minlashda raqamli va analogli texnologiyalar muhim rol o‘ynaydi. Analogli texnologiyalar ma’lumotni uzluksiz elektr signallari shaklida uzatadi. Bu texnologiya, masalan, an’anaviy telefon liniyalari va radiyoda qo‘llanadi, u yerda ovoz to‘lqinlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri elektr signallariga aylantiriladi. Analogli tizimlarning asosiy afzalligi ularning oddiy tuzilishi va arzonligi hisoblanadi. Biroq, ular shovqinga moyil bo‘lib, uzatish paytida ma’lumot sifatining yo‘qolishiga olib kelishi mumkin. Ayniqsa, uzoq masofalarga uzatishda bu muammoq sezilarli bo‘ladi. Raqamli texnologiyalar esa ma’lumotni diskret qiymatlar (odatda 0 va 1) shaklida kodlaydi va uzatadi. Bu usul ma’lumotni qayta ishlash, saqlash va uzatishda katta afzalliklarni taqdim etadi. Raqamli aloqa tizimlarida, masalan, mobil aloqa (GSM, LTE, 5G), internet va raqamli televideniye, ma’lumotlar avval raqamli formaga keltiriladi. Raqamli uzatish shovqin va buzilishlarga nisbatan ancha chidamli bo‘lib, ma’lumotning sifatini saqlab qolish imkonini beradi. Bundan tashqari, raqamli ma’lumotni siqish orqali uzatish tezligini oshirish va tarmoq resurslarini tejash mumkin. Raqamli tizimlarda xatolarni tuzatish (error correction) mexanizmlari mavjudligi ma’lumotlarning aniq yetkazilishini kafolatlaydi. Zamonaviy aloqa infratuzilmasi ko‘pincha ikkala texnologiyaning ham afzalliklarini birlashtirgan gibrid yechimlardan foydalanadi. Masalan, optik tolali aloqa liniyalarida ma’lumotlar raqamli shaklda uzatilsa-da, ba’zi qismlarida analogli signallar ham qo‘llanilishi mumkin. Raqamli texnologiyalar bilan ta’minlangan keng polosali tarmoqlar va yuqori tezlikdagi internet xizmatlari jamiyatning deyarli barcha jabhalarida samaradorlikni oshirmoqda.

Ushbu jarayonlarni matematikaga tatbiq etish uchun quyidagi formulalar muhimdir:

Formulalar:

Raqamli signallarning chastota modulyatsiyasi samaradorligi:

$$E_{FM} = \frac{B_{sig}}{B_{mod}} \quad \frac{S_{ideal}}{S_{actual}}$$

Bu formula zamonaviy aloqa tizimlarida raqamli chastota modulyatsiyasining (FM) samaradorligini baholaydi. U signallarning chastota diapazonlari va quvvat nisbatlarini hisobga oladi.

Analog signallarning shovqin immuniteti koeffitsienti:

$$I_{AI} = 1 - \frac{N_{in}}{N_{out}} + \frac{P_{noise}}{P_{signal}}$$

Ushbu formula zamonaviy aloqa tarmoqlarida analog signallarning shovqinga chidamliligini ko‘rsatadi. U kiruvchi va chiquvchi shovqin darajalari hamda signallarning umumiy quvvatini qiyoslaydi.

Raqamli ma’lumotlar uzatish tezligining keng polosali foydalanish indeksi:

$$U_{BW} = \frac{R_{data}}{BW_{channel}} \quad (1 - BER_{target})$$

Bu formula raqamli aloqa tizimlarida keng polosali kanallardan foydalanish indeksini hisoblaydi. U ma’lumotlar uzatish tezligi, kanalning umumiy kengligi va maqsadli bit xatoliklar darajasini bog‘laydi.

Misol:

Zamonaviy 5G tarmoqlarida raqamli chastota modulyatsiyasining samaradorligini baholang. Signallarning chastota diapazoni 100 MHz bo‘lib, modulatsiya diapazoni 200 MHz ga teng. Ideal signallarning quvvati 10 dBm, haqiqiy quvvati esa 8 dBm ni tashkil etadi.

$$S_{ideal} = 10^{10/10} \text{ mW} = 10 \text{ mW}$$

$$S_{actual} = 10^{8/10} \text{ mW} \approx 6.31 \text{ mW}$$

$$E_{FM} = \frac{100 \text{ MHz}}{200 \text{ MHz}} * \frac{10 \text{ mW}}{6.31 \text{ mW}}$$

$$E_{FM} = 0.5 * 1.585 \approx 0.7925$$

Natija: Raqamli chastota modulyatsiyasining samaradorligi taxminan 0.7925 ga teng.

Xulosa: Raqamli va analogli aloqa tizimlarini tahlil qilish jarayoni ularning asosiy tamoyillari, afzalliklari va kamchiliklarini chuqur o‘rganishga olib keldi. Analogli tizimlar uzluksiz signalni uzatish orqali ma’lumotni tabiiy shaklda ifodalash imkonini beradi, bu ba’zi hollarda oddiy va arzon yechim bo‘lishi mumkin. Biroq, ularning shovqin va buzilishlarga moyilligi mavjud bo‘lib, bu uzatish sifatining pasayishiga olib keladi. Aksincha, raqamli tizimlar ma’lumotni diskret qiymatlar shaklida kodlaydi, bu esa uni qayta ishlash, saqlash va uzatishni ancha samaraliroq qiladi. Raqamli aloqa tizimlarining asosiy afzalliklari shovqinga chidamliligi, ma’lumotni siqish imkoniyati va keng ko‘lamli dasturlash qobiliyatidir. Texnologiyaning rivojlanishi bilan raqamli tizimlar tobora ustunlik qozonmoqda, bu esa yuqori sifatli va ishonchli aloqani ta’minlaydi. Kelajakda raqamli texnologiyalarni yanada takomillashtirish, jumladan, chastotani samaraliroq ishlatish, energiya sarfini kamaytirish va kibertaxavuzlardan himoyalashni kuchaytirishga qaratilgan tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi. Shuningdek, analogli tizimlarning noyob imkoniyatlarini raqamli usullar bilan birlashtirgan gibrid yechimlarni ishlab chiqish ham istiqbolli yo‘nalishlardan biridir.

FOYDALANGAN ADABIYOTLAR

1. Ismoilov F.Q. Aloqa tarmoqlari va ularning ishlash tamoyillari. Toshkent: Toshkent davlat texnika universiteti nashriyoti, 2017. – 248 b.
2. Ahmedov Z.A. Raqamli signallarni qayta ishlash. Toshkent: Akademnashr, 2019. – 192 b.
3. Abdullayev O.I. Zamonaviy telekommunikatsiya texnologiyalari. Toshkent: O‘zbekiston, 2020. – 312 b.
4. Sodiqov B.N. Analogli aloqa tizimlari. Toshkent: Yangi asr avlodi, 2015. – 180 b.
5. Qarshiyev A.R. Raqamli aloqa tizimlari asoslari. Toshkent: O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi, 2018. – 276 b.
6. Toirov M.M. Optik aloqa liniyalari va tizimlari. Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – 220 b.
7. Rahmatillayev S.X. Mobil aloqa tizimlari va ularning rivojlanish bosqichlari. Toshkent: Aloqachi, 2022. – 264 b.
8. Berdiyev A.A. Ma’lumotlarni uzatish tarmoqlari va axborot xavfsizligi. Toshkent: Noshir, 2023. – 305 b.
9. Karimov T.R. Sun’iy yo‘ldoshli aloqa tizimlari. Toshkent: Fan, 2019. – 168 b.