ZAMONAVIY TELEKOMMUNIKATSIYA TIZIMLARIDA ANALOG VA RAQAMLI MODULYATSIYA USULLARINING TAHLILI

Tillaboyev Muhiddin Ganijonovich
Farg‘ona davlat texnika universiteti o‘qituvchisi

Xusanov Sarvar
Farg‘ona davlat texnika universiteti o‘quvchisi
Email: xusanovsarvaroffical@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada aloqa tizimlarida axborotni uzoq masofaga ishonchli uzatish uchun qo‘llaniladigan modulyatsiya jarayoni tahlil qilinadi. Modulyatsiya past chastotali xabar signalini yuqori chastotali tashuvchi signalga joylashtirish orqali antennada nurlanish samaradorligini oshiradi, kanal sharoitiga moslashishni ta'minlaydi va spektr resurslaridan foydalanishni tartibga soladi. Tadqiqotda analog modulyatsiyaning asosiy turlari - amplituda modulyatsiyasi (AM), chastota modulyatsiyasi (FM) va faza modulyatsiyasi (PM), shuningdek raqamli modulyatsiyaning keng tarqalgan turlari - amplitudani siljitib kodlash (ASK), chastotani siljitib kodlash (FSK) va fazani siljitib kodlash (PSK) qiyosiy ko‘rib chiqildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, modulyatsiya turini tanlashda kanal shovqini, chastota polosasi kengligi, apparat murakkabligi, energiya samaradorligi va talab qilinadigan ma'lumot uzatish tezligi asosiy omillar hisoblanadi. AM sodda sxemalar uchun qulay, FM va PM shovqinga chidamli, ASK, FSK va PSK esa zamonaviy raqamli aloqa tizimlarida turli vazifalar uchun moslashuvchan yechim beradi.

Kalit so‘zlar: modulyatsiya, demodulyatsiya, tashuvchi signal, spektr, raqamli aloqa.

Kirish

Zamonaviy telekommunikatsiya tizimlarida ovoz, tasvir, raqamli ma'lumot va boshqaruv signallari turli fizik muhitlar orqali uzatiladi. Biroq axborot signali ko‘pincha past chastotali bo‘lgani sababli uni to‘g‘ridan-to‘g‘ri radiokanal yoki uzoq kabel liniyasi orqali samarali uzatish qiyin. Shu muammoni hal qilish uchun modulyatsiya usuli qo‘llaniladi. Modulyatsiya jarayonida xabar signali tashuvchi

signalning amplitudasi, chastotasi yoki fazasini o‘zgartiradi. Tashuvchi signal odatda yuqori chastotali sinusoidal tebranish bo‘lib, u antennadan nurlanish, kanal bo‘ylab tarqalish va qabul qiluvchi qurilma tomonidan ajratib olish uchun qulay shaklga ega.

Tarixiy jihatdan AM radioeshittirishning dastlabki ommaviy usuli bo‘lib, oddiy detektorlar yordamida qabul qilinishi bilan ajralib turgan. Keyinchalik FM shovqinga chidamliligi va ovoz sifatining yuqoriligi sababli keng tarqaldi. PM esa fazaviy boshqaruv orqali yuqori barqarorlikka erishish imkonini berib, raqamli fazaviy modulyatsiyalarning nazariy asosiga aylandi. Raqamli aloqa rivojlanishi bilan ASK, FSK va PSK kabi usullar alohida ahamiyat kasb etdi. Bu usullarda analog xabar emas, balki bitlar ketma-ketligi tashuvchi signal parametrlarining diskret qiymatlari orqali ifodalanadi. Natijada modemlar, RFID tizimlari, sensor tarmoqlari, Wi-Fi, Bluetooth va mobil aloqa standartlarida turli modulyatsiya oilalari qo‘llaniladi.

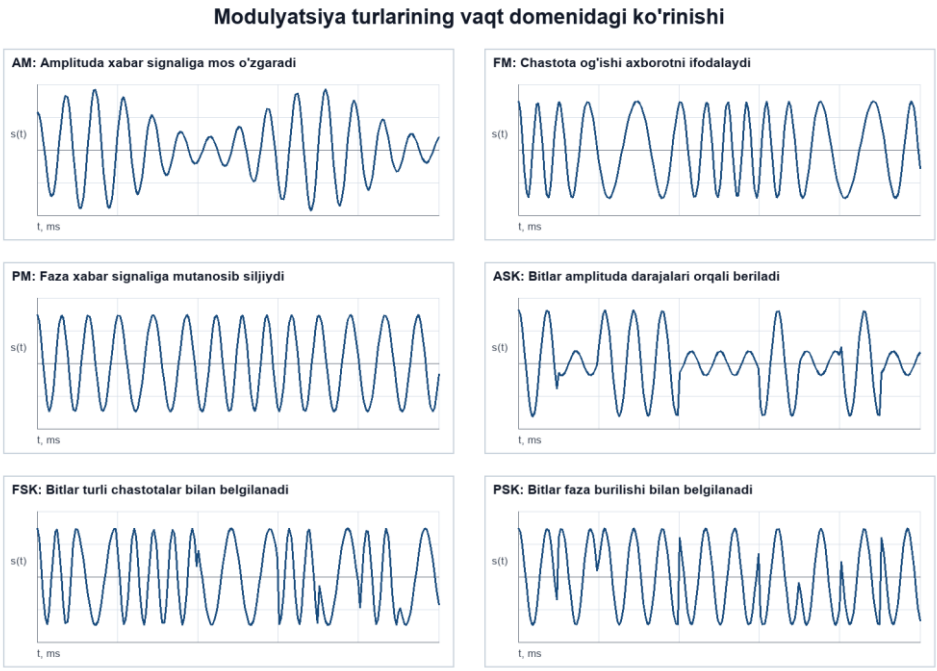
Ushbu maqolaning maqsadi AM, FM, PM, ASK, FSK va PSK usullarining fizik mohiyatini, matematik ifodasini, afzallik va kamchiliklarini hamda amaliy qo‘llanish sohalarini tizimli tahlil qilishdan iborat.

Metodologiya

Tadqiqot qiyosiy tahlil va signal modellashtirish yondashuviga asoslandi. Har bir modulyatsiya turi bir xil mezonlar: o‘zgartiriladigan tashuvchi parametri, shovqinga chidamlilik, spektr samaradorligi, sxema murakkabligi va amaliy qo‘llanish sohasi bo‘yicha baholandi.

Spektral Tahlil Metodikasi

Modulyatsiya jarayonini ko‘rgazmali tushuntirish uchun sinusoidal tashuvchi signal va oddiy xabar signali asosida vaqt domenidagi modellar tuzildi. Analog modulyatsiyada xabar signali uzluksiz funksiya sifatida, raqamli modulyatsiyada esa bitlar ketma-ketligi diskret qiymatlar sifatida olindi. Sinusoidal tashuvchi umumiy holda $s(t)=A\cdot\cos(2\pi fct+\varphi)$ ko‘rinishida ifodalanadi. AM da A amplituda, FM da fc chastota, PM da esa φ faza xabar signaliga mos ravishda o‘zgaradi. ASK, FSK va PSK usullarida esa ushbu parametrlar bitlarning 0 yoki 1 qiymatlariga mos diskret holatlarga o‘tkaziladi.



1-rasm. AM, FM, PM, ASK, FSK va PSK signallarining vaqt domenidagi taqqosiy ko‘rinishi

(MATLAB tahlili asosida)

MATLAB kodi quyida keltirilgan bo‘lib, u analog va raqamli modulyatsiya signallarini modellashtirish hamda ularni grafik ko‘rinishda solishtirish uchun ishlatiladi:

```
%% MODULYATSIYA TURLARI - SIGNAL MODELLASHTIRISH
clear; clc; close all;
fs = 5000; t = 0:1/fs:0.04; fc = 350; fm = 45;
m = sin(2*pi*fm*t); c = cos(2*pi*fc*t);
%% ANALOG MODULYATSIYA
sAM = (1 + 0.65*m).*c;
sFM = cos(2*pi*fc*t + 4*sin(2*pi*fm*t));
sPM = cos(2*pi*fc*t + 1.4*m);
%% RAQAMLI MODULYATSIYA
bits = [1 0 1 1 0 0 1 0 1 0];
Rb = 250; spb = fs/Rb; b = repelem(bits, spb);
td = (0:length(b)-1)/fs;
sASK = (0.25 + 0.85*b).*cos(2*pi*fc*td);
sFSK = cos(2*pi*((b==1)*520 + (b==0)*260).*td);
sPSK = cos(2*pi*fc*td + (b==0)*pi);
%% GRAFIK
nom = {'AM','FM','PM','ASK','FSK','PSK'};
sig = {sAM,sFM,sPM,sASK,sFSK,sPSK};
for k=1:6
   subplot(3,2,k); plot(sig{k}); grid on; title(nom{k}); end
```

Amplituda Modulyatsiyasi (AM)

Amplituda modulyatsiyasida tashuvchi signal amplitudasi xabar signalining qiymatiga mos ravishda o‘zgaradi, chastota va faza esa deyarli o‘zgarmas qoladi. AM signalining sodda matematik ifodasi $sAM(t)=Ac[1+ka\cdot m(t)]\cos(2\pi fct)$ ko‘rinishida yoziladi. AM ning asosiy afzalligi - modulyator va demodulyator sxemasining soddaligi. Oddiy diodli detektor yordamida AM signalidan xabarni ajratib olish mumkin. Shu sababli AM uzoq vaqt radioeshittirish va ayrim aviatsion aloqa tizimlarida qo‘llanilgan. AM ning muhim kamchiligi amplituda shovqinlariga sezgirlikdir. Atmosfera shovqini, elektr qurilmalar hosil qiladigan impulslar va kanalning so‘nishi amplitudani buzadi, bu esa qabul qilingan xabar sifatini pasaytiradi.

Bundan tashqari, AM signalida tashuvchi komponent katta energiya sarflaydi, lekin bevosita axborot tashimaydi.

Chastota Modulyatsiyasi (FM)

FM usulida tashuvchi signalning chastotasi xabar signaliga mos ravishda o‘zgaradi. Signal amplitudasi doimiy saqlangani sababli amplituda shovqinlarini cheklagichlar yordamida kamaytirish mumkin. FM signal odatda $sFM(t)=Ac\cos[2\pi fct+kf\int m(t)dt]$ ko‘rinishida ifodalanadi. FM radioeshittirishda yuqori ovoz sifati va shovqinga chidamlilik beradi. Mobil radioaloqa, telemetriya va professional aloqa tizimlarida FM ning keng qo‘llanishi ham aynan uning kanal shovqinlariga nisbatan barqarorligi bilan izohlanadi. FM ning kamchiligi shundaki, u AM ga nisbatan kengroq chastota polosasi talab qiladi. Modulyatsiya indeksi katta bo‘lsa, yon polosalarning soni ham ortadi.]

Shuning uchun FM tizimlarini loyihalashda Carson qoidasi orqali zarur kanal kengligi baholanadi.

Faza Modulyatsiyasi (PM)

PM usulida tashuvchi signal fazasi xabar signaliga mutanosib ravishda o‘zgaradi. Matematik ko‘rinishd $sPM(t)=Ac\cos[2\pi fct+kp\cdot m(t)]$ shaklida yoziladi. Bu yerda kp faza sezgirligini bildiradi. PM chastota modulyatsiyasiga yaqin, chunki fazaning vaqt bo‘yicha hosilasi oniy chastotani belgilaydi. Shu sababli FM va PM ko‘pincha burchak modulyatsiyasi oilasiga birlashtiriladi. PM ayniqsa sinxronizatsiya

va faza barqarorligi muhim bo‘lgan tizimlarda foydali. PM ning amaliy ahamiyati raqamli fazaviy modulyatsiyalar uchun asos bo‘lishidadir. PSK, QPSK va QAM kabi texnologiyalarda faza holatlari bitlar yoki bit guruhlarini ifodalaydi. Bu esa cheklangan spektrda ko‘proq axborot uzatish imkonini beradi.

Amplitudani Siljitib Kodlash (ASK)

ASK raqamli modulyatsiyada bitlar tashuvchi amplitudasining diskret darajalari bilan ifodalanadi. Eng sodda ko‘rinishda 1 biti tashuvchining mavjudligi, 0 biti esa tashuvchining yo‘qligi bilan belgilanadi. Bu usul OOK (On-Off Keying) deb ham ataladi. ASK ning afzalligi apparat jihatdan juda sodda bo‘lishidir. Optik aloqa, infraqizil uzatish, RFID va past murakkablikdagi sensor qurilmalarida ASK yoki unga yaqin usullar uchraydi. Kamchiligi shundaki, ASK amplituda so‘nishi va impuls shovqinlariga juda sezgir. Kanalda amplituda barqaror bo‘lmasa, qabul qiluvchi 0 va 1 darajalarini xato ajratishi mumkin. Shu sababli yuqori ishonchlilik talab etilgan radioaloqa tizimlarida ASK odatda kuchli kodlash va nazorat mexanizmlari bilan qo‘llanadi.

Chastotani Siljitib Kodlash (FSK)

FSK usulida bitlar turli chastotalar orqali ifodalanadi. Masalan, 0 biti f0 chastota, 1 biti f1 chastota bilan uzatiladi. Amplituda deyarli o‘zgarmagani sababli FSK ASK ga nisbatan shovqinga chidamliroq hisoblanadi. FSK modemlar, telemetriya, radiopager tizimlari, ayrim IoT qurilmalari va past tezlikli ishonchli aloqa kanallarida keng qo‘llanadi. Uning demodulyatsiyasi chastota diskriminatori yoki korrelyatsion qabul qilgich yordamida bajarilishi mumkin. FSK ning asosiy cheklovi spektr samaradorligining PSK ga nisbatan pastroq bo‘lishidir, chunki turli bitlar uchun alohida chastota holatlari ajratiladi. Shunga qaramay, oddiyligi va ishonchliligi uni ko‘plab amaliy tizimlar uchun qulay qiladi.

Fazani Siljitib Kodlash (PSK)

PSK usulida bitlar tashuvchi signal fazasining diskret holatlari bilan ifodalanadi. Eng sodda BPSK variantida 0 va 1 bitlari 180 daraja faza farqi orqali uzatiladi. QPSK da esa to‘rtta faza holati ishlatiladi va har bir symbol ikki bit axborot tashiydi. PSK ning asosiy afzalligi spektr samaradorligining yuqoriligi va shovqinga nisbatan yaxshi

chidamliligidir. Shu sababli PSK oilasi sun'iy yo‘ldosh aloqa tizimlari, Wi-Fi, LTE, 5G va boshqa raqamli radioaloqa standartlarida muhim o‘rin tutadi. PSK qabul qilgichida tashuvchi fazasini aniq tiklash talab qilinadi. Fazaviy sinxronlashdagi xatolik bit xatolik ehtimolini oshiradi. Shuning uchun amaliy tizimlarda fazani tiklash konturlari, pilot signallar va xatoni tuzatish kodlari qo‘llanadi.

Muhokama

Tahlil natijalariga ko‘ra, analog va raqamli modulyatsiya turlari bir-birini inkor etmaydi, balki turli aloqa vazifalarida bir-birini to‘ldiradi. AM soddaligi bilan, FM sifat va shovqinga chidamliligi bilan, PM esa fazaviy boshqaruv imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Raqamli modulyatsiyada ASK eng sodda, ammo shovqinga sezgir usul hisoblanadi. FSK chastota barqarorligi orqali ishonchlilikni oshiradi, lekin ko‘proq spektr talab qilishi mumkin. PSK esa yuqori spektr samaradorligi va kengaytirish imkoniyatlari sababli zamonaviy yuqori tezlikli aloqa tizimlarida asosiy o‘ringa ega.

Aloqa tizimini loyihalashda modulyatsiya turini tanlash faqat nazariy afzalliklarga emas, balki real kanal xususiyatlariga ham bog‘liq. Masalan, amplituda so‘nishi kuchli bo‘lgan kanalda ASK noqulay bo‘lishi mumkin, tor chastota resursida esa spektrdan samarali foydalanuvchi PSK yoki uning ko‘p holatli turlari maqsadga muvofiq bo‘ladi. Zamonaviy tizimlarda moslashuvchan modulyatsiya keng qo‘llanmoqda. Bunda kanal sifati yaxshi bo‘lsa, yuqori tezlikli va spektr samarali modulyatsiya tanlanadi; kanal yomonlashganda esa ishonchlilikni oshirish uchun soddaroq va xatoga chidamli usulga o‘tiladi. Bu yondashuv LTE, 5G, Wi-Fi va sun'iy yo‘ldosh aloqa tizimlarida muhim ahamiyatga ega.

Xulosa

Ushbu maqolada modulyatsiyaning AM, FM, PM, ASK, FSK va PSK turlari texnik va amaliy nuqtai nazardan ko‘rib chiqildi. Modulyatsiya aloqa tizimlarida axborotni tashuvchi signalga joylashtirish, kanalga moslashtirish va spektr resurslaridan oqilona foydalanishning asosiy mexanizmi ekanligi ko‘rsatildi. AM oddiyligi bilan tarixiy va amaliy ahamiyatga ega bo‘lsa-da, amplituda shovqinlariga sezgir. FM kengroq polosa talab qilsa ham, yuqori sifat va shovqinga chidamlilik beradi.

PM fazaviy boshqaruv imkoniyatlari orqali raqamli fazaviy modulyatsiyalarga poydevor yaratadi. ASK, FSK va PSK raqamli axborotni tashuvchi signal parametrlarining diskret holatlari orqali uzatadi. ASK past murakkablikdagi tizimlar uchun, FSK ishonchli past tezlikli kanallar uchun, PSK esa spektr samaradorligi yuqori bo‘lgan zamonaviy aloqa tizimlari uchun muhim yechim hisoblanadi. Kelajakdagi aloqa texnologiyalarida modulyatsiya usullari sun'iy intellekt asosidagi kanal baholash, adaptiv kodlash va ko‘p antennali tizimlar bilan yanada chuqur integratsiyalashadi. Shu sababli modulyatsiya turlarini puxta tushunish telekommunikatsiya va radioelektronika sohasidagi mutaxassislar uchun zarur nazariy va amaliy bilim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Olimov O. O., Saparbayev R. K. Network traffic queue analysis //Educational Research in Universal Sciences. – 2024. – T. 3. – №. 2. – p. 311-318.

2. N.Y. Ye, R.K. Saparbaev, I.I Omonov . A brief review of machine learning algorithms O‘zbekistonda Fanlararo Innovatsiyalar va Ilmiy Tadqiqotlar Jurnali, 2 (15) (2023), pp. 411-417.

3. Saparbaev Rakhmon, Analog to digital conversion process by matlab simulink // Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg‘ona filiali “Al-Farg‘oniy avlodlari” elektron ilmiy jurnali ISSN 2181-4252 Tom: 1 | Son: 4 | 2023-yil.

4. Umarovich, I. U., Mukhammadyunusovich, K. M., Rustambekovich, D. L., & O‘G‘Li, N. R. M. (2020). Methods of reducing the probability of signal loss on optical fiber communication lines. Наука, техника и образование, (6 (70)), 27-31.

5. Salimjon, O., Juraev, N., & Khalilov, M. (2019). Creation of photodetectors based on film heterostructure p–membranous CdTe–ZnSe C deep impurity levels. Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering, 1(3), 6.

6. Azamat o‘g‘li, K. J., & Xalilov, M. M. (2026). IoT protokollari va tarmoqlari iot qurilmalarining aloqa protokollari va tarmoq texnologiyalari. Zamonaviy taraqqiyot va fan: 21-asr yondashuvlari, 5(1), 392-398.

7. Makhmudov, I. A., & Isroiljonova, G. S. (2021). The package multiservice services in NGN. Academic research in educational sciences, 2(6), 989-994.

8. Juraev, N., & Toshpulatov, S. (2025). Design of an optical–digital system for noninvasive detection of myeloblasts. Collection of scientific papers «SCIENTIA», (October 17, 2025; London, England, UK), 264-271.

9. Onarqulov, K., Maxmudova, A., Toshpulatova, F., & Toshpulatov, S. (2025). Noinvaziv usulda mieloblast hujayralarni diagnostika qilish uchun optik raqamli tizim ishlab chiqish. Engineering problems and innovations, 3(3), 6-11.

10. Onarkulov, K., Juraev, N., Toshpulatova, F., & Toshpulatov, S. Analysis OF the Diagnostic Effectiveness OF Infrared Spectroscopy AND Traditional Laboratory Methods in Early Diagnosis. Grail of Science, (57), 806-812.

11. АХМЕДОВ, Х., & ДАЛИБЕКОВ, Л. (2026). Актуальные вопросы общества, науки и образования. Москва, 2, 10-12.

12. АХМЕДОВ, Х., & ДАЛИБЕКОВ, Л. (2026). Наука сегодня: актуальные вопросы теории и практики. Москва, 2, 8-10.

13. Rustambekovich, D. L. (2025). Raqamli tasvirlarni qayta ishlashda shovqinni kamaytirish usullar. Tadqiqotlar, 76(4), 347-352.

14. Далибеков, Л. (1839). Исследование аномальных фото напряжений как индикаторов сетевых проблем. In Conference on Digital Innovation:" Modern Problems and Solutions". извлечено от https://fer-teach. uz/index. php/codimpas/arti cl e/vi ew.

15. Ergasheva, M. (2026, March). Ma’lumotlarni integratsiyalash algoritmlari asosida konveyer tizimlarida materialni boshqarishni kontaktsiz intellektual olchashni ta’minlash. In International Online Multidisciplinary Conference (pp. 62-64).

16. Ergasheva, M., & Ismoilov, X. (2026, March). Pochta aloqasi xizmat sifatini avtomatlashtirish tizimini shakllantirish. In International Online Multidisciplinary Conference (pp. 32-34).

17. Ergasheva, M. E. (2022). Innovatsion ta’lim texnologiyalari asosida bo‘lajak o‘qituvchilarni ma’naviy axloqiy sifatlarini rivojlantirish. Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies (CARJIS), (Special Issue 1), 120-124.

18. Madaminov, M. R. (2023). Classification and operating modes of backup energy supply sources of mobile networks. Best Journal of Innovation in Science, Research and Development, 2(12), 32-38.

19. Madaminov, M. R. (2023). Experimental study of operating modes of an uninterruptible power supply source using a wind generator as the primary source. International Journal of Advance Scientific Research, 3(10), 125-131.

20. Madaminov, M. R., & Yuldashev, X. T. (2022). Inverter modeling in improving the energy efficiency of a mobile uninterrupted supply source. International Journal of Advance Scientific Research, 2(11), 77-82.

21. Хосилов, Д. Д., Мадаминов, М. Р., & Йулдашев, Х. Т. (2021). Исследование вольт–амперная характеристика в системе полупроводник–газоразрядный промежуток. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 1(10), 625-634.

22. Muxammadyunusovich, X. M. (2025). Software-defined networking (sdn) va uning kommutatsiya-marshrutizatsiyadagi o‘rni. Ustozlar uchun, 85(4), 128-137.

23. Mahammadjonov, H., Najmiddinov, M., & Xalilov, M. (2026). Axborot va kodlash nazariyasining zamonaviy aloqa tizimlaridagi ahamiyati. Research and Implementation, 4(4/2), 154–156. извлечено от https://rai-journal.uz/index.php/rai/article/view/2935.

24. Xalilov, M., & Raxmatxonov, B. (2026). IPTV va OTT platformalarida media kontentni yetkazib berishda kechikishlarni (latency) kamaytirish usullari. Research and Implementation, 4(4/2), 97–99. извлечено от https://rai-journal.uz/index.php/rai/article/view/2919.