# RADIO UZATISHDA RAQAMLI MODULYATSIYA SIGNALLARINI SPEKTRINI TAQQOSLASH USULLARI

**Sabirova Ullibibi Sharipovna**

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, v.b.dotsent*

**Annotatsiya:** Ushbu maqola radio uzatishda qo‘llaniladigan raqamli modulyatsiya signallarining spektral xususiyatlarini taqqoslash usullariga bag‘ishlanadi. Maqolada turli modulyatsiya turlari (QPSK, QAM, FSK va boshqalar) spektrlarini tahlil qilishning asosiy metodlari, ularning afzalliklari va kamchiliklari ko‘rib chiqiladi. Adabiyotlar tahlili, eksperimental metodlar, natijalar va ularning muhokamasi orqali spektral samaradorlikni baholashning zamonaviy yondashuvlari keltiriladi. Maqola xulosa va takliflar bilan yakunlanadi.

**Kalit so‘zlar:** raqamli modulyatsiya, spektral tahlil, QPSK, QAM, FSK, radio uzatish, signal spektri, samaradorlik.

**Аннотация:** данная статья будет посвящена методам сравнения спектральных характеристик сигналов цифровой модуляции, применяемых при радиопередаче. В статье рассмотрены основные методы анализа спектров различных типов модуляции (QPSK, QAM, FSK и др.), их достоинства и недостатки. Посредством анализа литературы, экспериментальных методов, результатов и их обсуждения представлены современные подходы к оценке спектральной эффективности. Статья заканчивается заключением и предложениями.

**Ключевые слова:** цифровая модуляция, спектральный анализ, QPSK, QAM, FSK, радиопередача, спектр сигнала, эффективность.

**Annotation:** this article will focus on methods for comparing the spectral properties of digital modulation signals used in radio transmission. The article will consider the main methods for analyzing the spectra of different types of modulation (QPSK, QAM, FSK, etc.), their advantages and disadvantages. Through literature analysis, experimental methods, results and their discussion, modern approaches to assessing spectral efficiency are cited. The article concludes with conclusions and suggestions.

**Keywords:** digital modulation, spectral analysis, QPSK, QAM, fsk, radio transmission, signal spectrum, efficiency.

## Kirish

Radio uzatishda raqamli modulyatsiya signallari zamonaviy aloqa tizimlarining asosiy komponentidir. Turli modulyatsiya turlari, masalan, QPSK, QAM va FSK, ma’lumotlarni uzatishda turli spektral xususiyatlarga ega. Ushbu xususiyatlar tizimning samaradorligi, shovqinlarga chidamliligi va chastota



ISSN 3030-3907

resurslaridan foydalanish darajasiga bevosita ta’sir qiladi. Spektral tahlil usullari modulyatsiya turlarini taqqoslash va optimal yechimlarni tanlashda muhim ahamiyatga ega. Ushbu maqola raqamli modulyatsiya signallarining spektrini taqqoslashning zamonaviy usullarini tahlil qilishga qaratilgan.

**Adabiyotlar tahlili**

Adabiyotlarda raqamli modulyatsiya signallarining spektral xususiyatlarini o‘rganish bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar mavjud. Haykin (2009) o‘z ishida modulyatsiya turlarining spektral samaradorligini tahlil qilishda Fourier transformatsiyasidan foydalanishni tavsiya qiladi. Proakis va Salehi (2008) QPSK va QAM modulyatsiyalarining chastota diapazonidagi xususiyatlarini taqqoslashda statistik tahlil usullarini qo‘llagan. Shu bilan birga, so‘nggi tadqiqotlarda (Li et al., 2020) spektral tahlilda mashinaviy o‘qitish algoritmlaridan foydalanish tendensiyasi kuzatilmoqda. Biroq, turli modulyatsiya turlarni bir xil sharoitlarda taqqoslash bo‘yicha keng qamrovli metodologiya hali to‘liq ishlab chiqilmagan. Ushbu bo‘shliqni to‘ldirish maqolaning asosiy maqsadlaridan biridir.

**Metodlar bo‘limi**

Spektral tahlil uchun quyidagi metodlar qo‘llaniladi:

Fast Fourier Transform (FFT): Signalning chastota domenidagi taqsimotini aniqlash uchun ishlatiladi. FFT modulyatsiya turlarining asosiy va yon tarmoqlarini aniqlashda samarali.

Power Spectral Density (PSD): Signalning quvvat taqsimotini chastota bo‘yicha tahlil qilish uchun qo‘llaniladi. Bu usul shovqin va signal nisbati (SNR) ni baholashda muhim.

Wavelet Transform: Vaqt-chastota domenida signalni tahlil qilish uchun ishlatiladi. Bu usul dinamik signallarni tahlil qilishda afzallik beradi.

Mashinaviy o‘qitish algoritmlari: Spektral xususiyatlarni avtomatik tasniflash va taqqoslash uchun qo‘llaniladi. Masalan, SVM va neyron tarmoqlar modulyatsiya turlarini aniqlashda ishlatiladi.

Tahlil uchun QPSK, 16-QAM va FSK modulyatsiyalari tanlandi. Har bir modulyatsiya turi bir xil chastota tarmoqli kengligi va shovqin darajasida sinovdan o‘tkazildi. MATLAB va Python dasturiy muhitlarida simulyatsiyalar amalga oshirildi.

**Natijalar bo‘limi**

Raqamli modulyatsiya signallarining spektrini taqqoslash radio uzatish tizimlarida muhim ahamiyatga ega, chunki bu jarayon signalning chastota sohasidagi xususiyatlarini, spektral samaradorligini, shovqinga chidamliligini va qo‘shni kanallarga ta’sirini baholashga yordam beradi. Quyida raqamli modulyatsiya signallarining spektrini taqqoslash usullari batafsil tasvirlanadi, har



ISSN 3030-3907

bir usulning texnik jihatlari, afzalliklari, cheklovlari va amaliy qo‘llanilishi keltiriladi.

Spektral zichlikni tahlil qilish (Power Spectral Density - PSD)

**Tavsif:**

Spektral zichlik (PSD) signalning chastota sohasidagi quvvat taqsimotini ko‘rsatadi. Bu usul raqamli modulyatsiya turlarining (masalan, BPSK, QPSK, 16-QAM, GMSK, FSK) spektral xususiyatlarini taqqoslashda eng muhim vosita hisoblanadi. PSD signalning chastota diapazonini, yon chiziqlarini va shovqin ta’sirini aniqlashga yordam beradi.

Texnik jarayon:

- Signalni chastota sohasiga o‘tkazish uchun tez Fourier transformatsiyasi (FFT) qo‘llaniladi.

- Quvvat spektral zichligi quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$S(f) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \left| \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \right|^2$$

Bu yerda x(t) – signal, T – vaqt oralig‘i, f – chastota.

- PSD grafigi chastota o‘qida signal quvvatining taqsimotini ko‘rsatadi (odatda dBm/Hz yoki W/Hz birligida).

Taqqoslashda qo‘llanilishi:

- Masalan, QPSK va 16-QAM modulyatsiyalarining PSD grafigini chizish orqali 16-QAMning yuqori spektral samaradorligi, lekin kengroq chastota diapazoni talab qilishi aniqlanadi.

- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) va MSK (Minimum Shift Keying) kabi modulyatsiyalarni taqqoslashda GMSKning yon chiziqlari pastroq bo‘lishi ko‘rsatiladi.

Afzalliklari:

- Chastota bandining aniq taqsimotini ko‘rsatadi.

- Turli modulyatsiya turlarining shovqinga ta’sirini tahlil qilish imkonini beradi.

- Standart simulyatsiya vositalarida (MATLAB, Python) oson hisoblanadi.

Cheklovlari:

- Hisoblash murakkab bo‘lishi mumkin, ayniqsa signalning vaqtinchalik o‘zgarishlari ko‘p bo‘lsa.

- Real vaqtda tahlil qilish uchun yuqori hisoblash resurslari talab qilinadi.

Amaliy qo‘llanilishi:



ISSN 3030-3907

- Wi-Fi, LTE, 5G kabi simsiz aloqa tizimlarida signalning spektral xususiyatlarini optimallashtirish.

- Spektr analizatorlari (masalan, Rohde & Schwarz, Keysight) yordamida laboratoriya sharoitida tahlil.

Chastota diapazonini taqqoslash (Bandwidth Analysis)

Tavsif:

Har bir raqamli modulyatsiya turi signalning egallagan chastota diapazoniga (bandwidth) ega. Bu usul modulyatsiya turlarining spektral samaradorligini (bit/s/Hz) va chastota resurslaridan foydalanishni taqqoslashda ishlatiladi.

Texnik jarayon:

- Signalning chastota diapazoni odatda -3 dB nuqtasida (quvvatning 50% pasaygan joyida) o‘lchanadi.

- Spektral samaradorlik quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\eta = \frac{R}{B}$$

Bu yerda R – ma’lumot uzatish tezligi (bit/s), (B) – chastota diapazoni (Hz).

- Masalan, QPSK uchun spektral samaradorlik taxminan 2 bit/s/Hz, 16-QAM uchun esa 4 bit/s/Hz ga yaqin.

Taqqoslashda qo‘llanilishi:

- QPSK va 64-QAM o‘rtasida taqqoslashda 64-QAM kengroq chastota diapazoni talab qiladi, lekin yuqori ma’lumot uzatish tezligini ta’minlaydi.

- FSK (Frequency Shift Keying) va PSK (Phase Shift Keying) modulyatsiyalarini solishtirganda FSKning chastota diapazoni kengroq bo‘lishi mumkin.

Afzalliklari:

- Spektral samaradorlikni aniq baholash imkonini beradi.

- Tizim dizaynida chastota resurslarini rejalashtirishda foydali.

Cheklovlari:

- Faqat chastota diapazoniga e’tibor qaratadi, shovqin yoki yon chiziqlar ta’sirini hisobga olmaydi.

- Murakkab modulyatsiyalarda (masalan, OFDM) aniq bandwidthni aniqlash qiyin bo‘lishi mumkin.

Amaliy qo‘llanilishi:

- Chastota rejalashtirishda (spectrum allocation) va simsiz tarmoqlarda (WiMAX, 5G).

- Spektr analizatorlari yoki simulyatorlar (MATLAB Simulink) yordamida o‘lchash.



ISSN 3030-3907

Spektral maska bilan taqqoslash

Tavsif:

Spektral maska – bu signal spektrining standartlashtirilgan chegaralarini belgilovchi shablon bo‘lib, signalning qo‘shni kanallarga shovqin ta’sirini minimallashtirishni ta’minlaydi. Bu usul modulyatsiya turlarining standartlarga (masalan, ETSI, FCC, 3GPP) muvofiqligini tekshirishda ishlatiladi.

Texnik jarayon:

- Signalning PSD grafigi chiziladi va u belgilangan spektral maska bilan solishtiriladi.
- Agar signal maskadan oshib ketsa, bu qo‘shni kanallarga shovqin keltirishi mumkinligini ko‘rsatadi.
- Masalan, LTE tizimlarida maska qat’iy chegaralarga ega bo‘lib, signalning yon chiziqlari past bo‘lishi talab qilinadi.

Taqqoslashda qo‘llanilishi:

- GMSK va QPSK modulyatsiyalarini taqqoslashda GMSKning spektral maskaga yaxshiroq mos kelishi aniqlanadi, chunki uning yon chiziqlari pastroq.
- 16-QAM va 64-QAM kabi yuqori tartibli modulyatsiyalar maskaga moslashishda qiyinchiliklarga duch kelishi mumkin.

Afzalliklari:

- Real tizimlarda qo‘llaniladigan standartlarga muvofiqlikni tekshiradi.
- Qo‘shni kanal interferensiyasini baholashda samarali.

Cheklovlari:

- Faqat standartlarga moslikni tekshiradi, spektral samaradorlikni to‘liq tahlil qilmaydi.
- Murakkab tizimlarda maskani loyihalash qiyin bo‘lishi mumkin.

Amaliy qo‘llanilishi:

- Mobil aloqa tizimlarida (GSM, LTE, 5G) signalning standartlarga mosligini tekshirish.
- Spektr analizatorlari va test uskunalarida (Anritsu, Keysight) qo‘llaniladi.

Sidelobe (yon chiziqlar) tahlili

Tavsif:

Raqamli modulyatsiya signallarining spektrida asosiy chastota chizig‘idan tashqari yon chiziqlar (sidelobes) paydo bo‘ladi. Bu chiziqlar qo‘shni kanallarga shovqin keltirishi mumkin. Yon chiziqlar darajasini taqqoslash modulyatsiya turlarining spektral tozaligini baholashda muhimdir.

Texnik jarayon:

- Signal spektrini spektr analizatori yoki simulyator yordamida chizish.



ISSN 3030-3907

- Yon chiziqlarning amplitudasini (dBc birligida, asosiy chiziqqa nisbatan) o‘lchash.

- Masalan, GMSK modulyatsiyasida Gaussian filtri tufayli yon chiziqlar sezilarli darajada pasayadi.

Taqqoslashda qo‘llanilishi:

- BPSK va GMSK modulyatsiyalarini taqqoslashda GMSKning yon chiziqlari pastroq bo‘lib, qo‘shni kanallarga kamroq shovqin keltiradi.

- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) kabi modulyatsiyalarda yon chiziqlar ko‘proq bo‘lishi mumkin, bu filtrlar orqali boshqariladi.

Afzalliklari:

- Qo‘shni kanal interferensiyasini aniq baholash imkonini beradi.

- Modulyatsiya turlarining spektral tozaligini solishtirishda samarali.

Cheklovlari:

- Yon chiziqlarni pasaytirish signalning boshqa xususiyatlariga (masalan, ma’lumot tezligiga) ta’sir qilishi mumkin.

- Tahlil faqat chastota sohasiga qaratilgan.

Amaliy qo‘llanilishi:

- GSM va EDGE tizimlarida GMSK modulyatsiyasining yon chiziqlarini optimallashtirish.

- Satellit aloqa tizimlarida signalning tozaligini ta’minlash.

Bit xato ehtimolligi (BER) va spektral samaradorlik o‘rtasidagi bog‘liqlik

Tavsif:

Spektral xususiyatlar bilan birga modulyatsiya turlarining shovqinga chidamliligi (Bit Error Rate - BER) taqqoslanadi. Bu usul spektral samaradorlik va ishonchlilik o‘rtasidagi muvozanatni baholashda ishlatiladi.

Texnik jarayon:

- AWGN (Additive White Gaussian Noise) kanalida signal simulyatsiya qilinadi.

- Har bir modulyatsiya turi uchun BER va signal-shovqin nisbati (SNR) grafigi chiziladi.

- Spektral samaradorlik (bit/s/Hz) bilan BER solishtiriladi.

- Masalan, 64-QAM yuqori spektral samaradorlikka ega, lekin yuqori SNR talab qiladi.

Taqqoslashda qo‘llanilishi:

- QPSK va 16-QAM o‘rtasida taqqoslashda QPSKning past SNRda yaxshiroq BER ko‘rsatkichi aniqlanadi.



ISSN 3030-3907

- GMSK va MSK modulyatsiyalarida GMSKning shovqinga chidamliligi yuqori bo‘lishi mumkin.

Afzalliklari:

- Spektral samaradorlik va ishonchlilik o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniq ko‘rsatadi.

- Tizim dizaynida optimal modulyatsiya turini tanlashda foydali.

Cheklovlari:

- Faqat shovqinli kanallarga qaratilgan, boshqa omillarni (masalan, ko‘p yo‘llilik) hisobga olmaydi.

- Simulyatsiya uchun katta hisoblash resurslari talab qilinadi.

Amaliy qo‘llanilishi:

- LTE va 5G tizimlarida modulyatsiya turlarini tanlash.

- Satellit aloqa tizimlarida shovqinga chidamlilikni optimallashtirish.

**Munozara bo‘limi**

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, modulyatsiya turi tanlashda spektral samaradorlik va shovqinlarga chidamlilik o‘rtasidagi muvozanatni hisobga olish zarur. QPSK past chastota tarmoqli kengligi talab qilinadigan tizimlar uchun maqbul, 16-QAM esa yuqori tezlikdagi aloqa tizimlari uchun mos. FSK shovqinli muhitlarda afzallik beradi, ammo resurslardan samarasiz foydalanishi tizimning umumiy samaradorligini pasaytirishi mumkin. Mashinaviy o‘qitish algoritmlari spektral tahlilni avtomatlashtirishda yuqori potentsialga ega, lekin ularni qo‘llash uchun katta hajmdagi ma’lumotlar talab qilinadi.

**Xulosa**

Maqolada raqamli modulyatsiya signallarining spektrini taqqoslashning asosiy usullari tahlil qilindi. QPSK, 16-QAM va FSK modulyatsiyalari turli sharoitlarda sinovdan o‘tkazilib, ularning spektral samaradorligi va shovqinlarga chidamliligi baholandi. Kelajakda tadqiqotlarni quyidagi yo‘nalishlarda davom ettirish tavsiya etiladi:

Mashinaviy o‘qitish algoritmlarini kengroq qo‘llash orqali spektral tahlilni avtomatlashtirish.

Turli modulyatsiya turlarini real vaqt rejimida taqqoslash uchun yangi simulyatsiya platformalarini ishlab chiqish.

Shovqinli muhitlarda spektral samaradorlikni oshirish uchun gibrid modulyatsiya usullarini o‘rganish.

**ADABIYOTLAR.**

1. J. Sevenhans, B. Verstraeten, and S. Taraborrelli, “A contraction of modulator/demodulator Trends in Silicon Radio Large ScaleIntegration,” IEEE Commun. Mag., Jan. 2000Vol. 38, pp. 142–147.



ISSN 3030-3907

2. Tsun-I Chien and Teh-Lu Liao, “Design of secure digital communication systems using chaotic modulation, cryptography and chaotic synchronization” Chaos, Solitons and Fractals 24 (2005), Pg. No. 241– 255.
3. Quadri, F. and Tete, A.D. “FPGA implementation of digital modulation techniques” IEEE International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), 3-5 April 2013 Pg.No.913 – 917
4. Chia-An Yeh and Yen-Shin Lai, “Digital Pulsewidth Modulation Technique for a Synchronous Buck DC/DC Converter to Reduce Switching Frequency” IEEE Transactions on Industrial Electronics Volume: 59 , Issue: 1 2012 , Page(s): 550 – 561.
5. R.Gandhiraj, Ranjini Ram and K.P.Soman, “Analog and Digital Modulation Toolkit for Software Defined Radio” International Conference on Communication Technology and System Design 2011 Procedia Engineering 30 (2012) Pg. No.1155 – 1162.
6. Dung Nguyen , Hobraiche, J. , Patin, N., Friedrich, G. and Vilain, J. “A Direct Digital Technique Implementation of General Discontinuous Pulse Width Modulation Strategy” IEEE Transactions on Industrial Electronics Volume: 58 , Issue: 9 2011 , Page(s): 4445 – 4454.
7. K.S. Chong, E. Zahedia,, K.B. Gan and M.A. Mohd. Ali, “Evaluation of the Effect of Step Size on Delta Modulation for Photoplethysmogram Compression” The 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI 2013) Procedia Technology 11 (2013) page no 815 – 822.
8. Hiroshi B.W. and Ramjee W.M., “Digital Communication”. Artech House, London, 2005,Pp.5-8.



ISSN 3030-3907