

FOURIER TRANSFORMATSIYASI VA RAQAMLI SIGNALNI QAYTA ISHLASHNING ZAMONAVIY MODELLASHTIRISH USULLARI: MATLAB ASOSIDA AMALIY TAHLIL

Dalibekov Lochinbek Rustambekovich

Farg'ona davlat texnika universiteti

"Telekommunikatsiya muhandisligi" kafedrası katta o'qituvchisi

Obidjonov Jaloliddin Rahimjon o'g'li

Farg'ona davlat texnika universiteti

Yoqubjonov Sardorbek Ulug'bek o'g'li

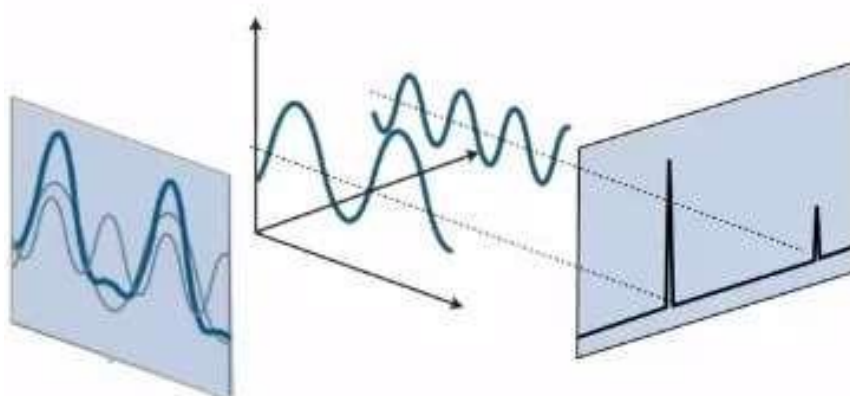
Farg'ona davlat texnika universiteti

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17667409>

Annotatsiya. Ushbu maqolada raqamli signalni qayta ishlash jarayonida Fourier transformatsiyasining nazariy asoslari va amaliy qo'llanilishi tahlil qilinadi. Signalning chastota sohasidagi tavsiflarini aniqlash, shovqinlarni filtratsiya qilish, spektral tahlil hamda tizimlarning dinamik xususiyatlarini baholash uchun Fourier transformatsiyasi keng qo'llaniladi. Tadqiqotda MATLAB muhitida tajribaviy modellashtirish amalga oshirilib, vaqt sohasidagi signallarni chastota sohasiga o'tkazish, diskret Fourier transformatsiyasining ishlash prinsipi va uning amaliy natijalari ko'rsatib beriladi. Olingan natijalar Fourier tahlilining zamonaviy axborot texnologiyalaridagi muhim rolini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: Fourier transformatsiyasi, Diskret Fourier transformatsiyasi (DFT), Tezkor Fourier transformatsiyasi (FFT), Spektral tahlil, Raqamli signalni qayta ishlash (DSP), Chastota sohasi, Vaqt sohasi, MATLAB modellashtirish

KIRISH: Raqamli signalni qayta ishlash (DSP) so'nggi yillarda telekommunikatsiya, audio-video, biotibbiy o'lchovlar, sun'iy intellekt va IoT tizimlarida asosiy texnologiyalardan biriga aylandi. DSP jarayonida signalning spektral xususiyatlarini aniqlash eng muhim vazifalardan biri bo'lib, ushbu jarayonni amalga oshirishda Fourier transformatsiyasi asosiy matematik vosita hisoblanadi. Signalning vaqt sohasidagi ifodasi ko'pincha uning real fizik ko'rinishi bo'lsa, chastota sohasidagi ifoda signal tarkibidagi sinusoidal komponentlar haqidagi batafsil ma'lumotni beradi.





Fourier transformatsiyasi yordamida murakkab signallarni tahlil qilish, filtrlar dizayn qilish, kommunikatsiya tizimlarida modulyatsiya jarayonlarini o'rganish, shuningdek, tasvirlarni qayta ishlash kabi ko'plab amaliy muammolar samarali hal etiladi.

Asosiy qismi: signalni qayta ishlash muammosi uchun biz Furiye almashtirishini signalni amplituda chastotalarga ajratish usuli sifatida ishlatamiz, ya'ni uni vaqt diapazonidan chastota diapazoniga aylantirish uchun. Agar signal davriy bo'lmasa, u holda Furiye qatoriga yoyish moslashtiriladi.

Vaqt maydoni **Furiye almashtirish** Chastota maydoni

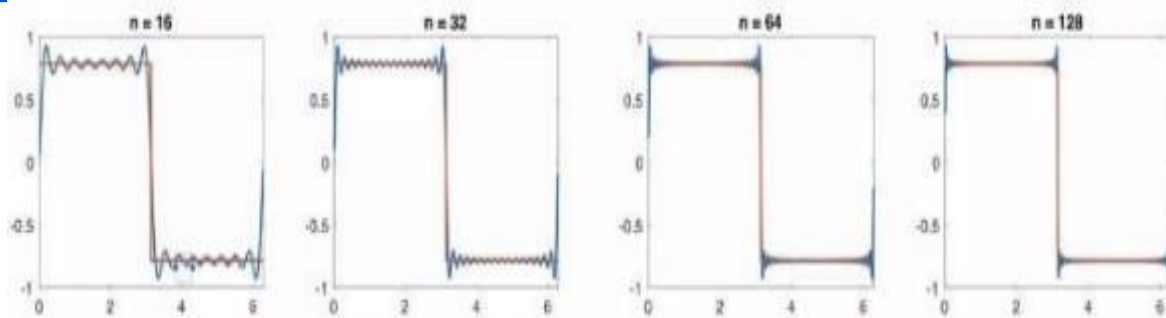
$x(t)$ $x(f)$



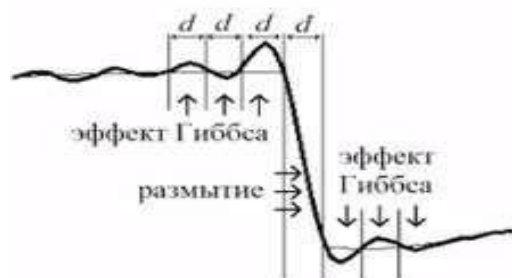
Uzluksiz signallar uchun biz integral shaklni qo'llashimiz mumkin, ammo raqamlar ketma-ketligi yoki diskret signallar haqida gap ketganda, biz diskret Furiye almashtirish (konvertatsiyasi)ni qo'llaymiz.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot [\cos(2\pi kn/N) - i \cdot \sin(2\pi kn/N)], \quad (k = 0, \dots, N - 1).$$

Darhaqiqat, Furiye diskret almashtirishning natijalari kompleks spektr namunalari to'plami bo'ladi, ammo har bir bunday namunani hisoblash uchun biz vaqt diapazonidagi signal qiymatlarining butun to'plamini mos keladigan chastotaning kompleks amplitudasi qiymatlari bilan ko'paytirishimiz va yig'ishimiz kerak. Tanlangan chastota tarmog'idagi spektrlar soni Furiye qatorining elementlariga to'g'ri keladi, unda kirish ketma-ketligi parchalangan yoki buzilgan bo'ladi. Shuningdek, teskari Furiye almashtirish ham mavjud, u signalni chastota diapazonidan vaqt diapazoniga o'tkazadi va shunga o'xshash tarzda biz chastotalar diapazonidan signalni aniqligini yo'qotmasdan orqaga o'tkazishimiz mumkin, qachonki Furiye qatoridagi elementlarning soni cheksiz bo'lsa. Tushunganingizdek, haqiqiy hisoblashlarda bunday parchalanish mumkin emas, shuning uchun biz har doim Furiye qatorining elementlari sonini cheklaymiz. Bu almashtirishda xatolarga olib keladi va keling, ular qanday namoyon bo'lishi mumkinligini ko'rib chiqamiz.



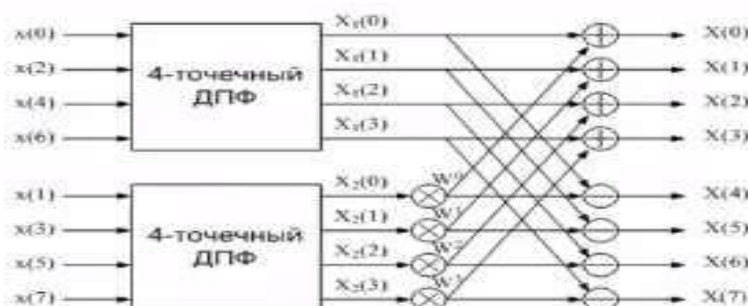
Sinusoidlar yig'indisidan to'rtburchakli signal hosil qilishda bizga allaqachon tanish bo'lgan misolni keltiramiz. Keling, rasmni o'ngdan chapga qarab ko'rib chiqaylik. Garmonik miqdori kamayganligi sababli signal shakli to'rtburchaklar shaklidan uzoqlashadi. Biz Furiye qatorining elementlarini qancha kam qo'llasak, signalning bir zumda ijobiy qiymatdan salbiy tomonga o'tishini tasavvur qilish shunchalik qiyin bo'ladi. Bunday sakrashni faqat cheksiz yuqori chastotali sinusoid tasvirlashi mumkin. Va bizning tavsifimizda biz tanlangan chekli Furiye qatorining eng yuqori chastotasi bilan cheklanganmiz.



Furiye seriyasining chegaralanishi bilan bog'liq signalning siljishiga Gibbs effekti deyiladi. Ushbu effekt yuzaga kelganda, biz keskin pasayishlarni xiralashishini va ushbu pasayishlar maydonidagi istalmagan emissiyalar va tebranishlarni kuzatamiz.

Gibbs effektini kundalik hayotda, masalan, raqamli tasvirlarda ko'rgansiz. JPEG siqishni algoritmi Furiye almashtirishga asoslangan va piksel yorqinligi farqlari chegaralarida xira, yuqori va amplituda tebranishlarni kuzatishimiz mumkin. Gibbs effektini nafaqat ko'rish, balki eshitish ham mumkin edi. Musiqiy fayllarni siqish paytida keskin pasayishdan oldin sodir bo'lgan tebranishlarni aks sado deb hisoblash mumkin. Masalan, keskin kirish so'zi yoki laganni tushirib yuborish.

Endi tez Furiye almashtirish haqida to'xtalamiz. Tez Furiye almashtirish diskret Furiye almashtirishni hisoblash uchun samarali algoritm hisoblanadi. TFA uchun optimal vaqt ketma-ketligi uzunligi ikkilik darajaga teng. Algoritmning bir nechta variantlari mavjud, ammo biz algoritmining eng keng tarqalgan Cooley-Tukey versiyasi bilan tanishamiz.



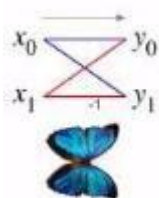
U diskret Furye almashtirishni hisoblash, masalan, sakkizta nuqtadan kirish signalining juft va toq qiymatlarini tanlash va ikkita to'rtta DFAni bajarish, so'ngra o'z vaqtida kesish deb ataladigan operatsiya bilan amalga oshirilishi mumkin. Algoritm formulasini chiqarish Internetda mavjud, shuning uchun ular bilan mustaqil tanishib chiqishingizni maslahat beraman



$$w_N = e^{-j\frac{2\pi k}{N}}$$

Biz faqat asosiy fikrlarni bayon qilamiz. O'z vaqtida kesish jarayoni DFA chiqishlarini aylanish omillari bilan ko'paytirishni talab qiladi. Bu asosan murakkab ko'rsatkichning qiymatlari bo'lib, DFA-da biz birlashtirmoqchi bo'lgan shuncha nuqta aylana bo'yicha olinadi. Agar biz DFAni ikki nuqtada ko'rib chiqsak, u holda aylanuvchi koeffitsientlar, ya'ni kompleks ko'rsatkichlar doirasiga ham ikkita nuqta kerak bo'ladi. Va ularning qiymatlari qat'iy Va ularning qiymatlari qat'iy +1 va -1 bo'ladi.

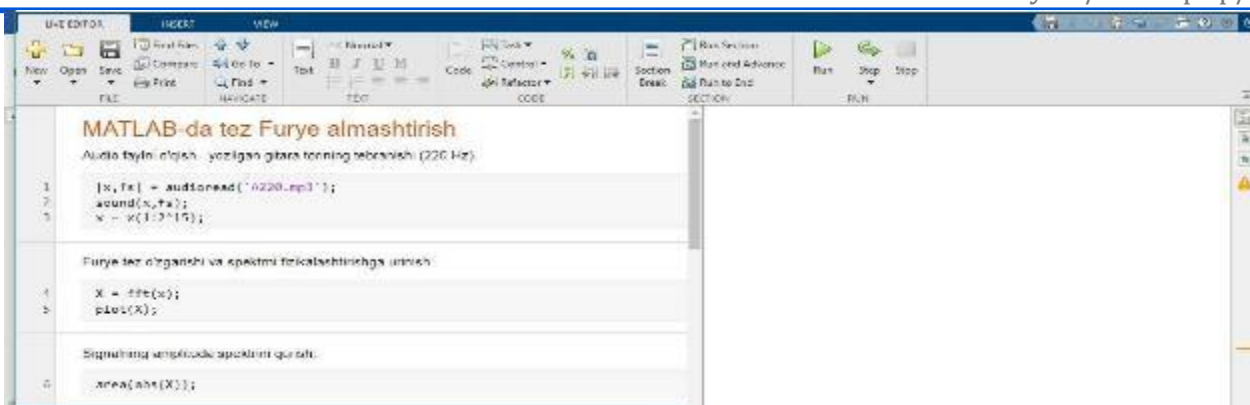
$$\begin{aligned} y_0 &= x_0 + x_1 \cdot w_1 & y_0 &= x_0 + x_1 \\ y_1 &= x_0 + x_1 \cdot w_2 & y_1 &= x_0 - x_1 \end{aligned}$$



FTA ning asosiy operatsiyasi - "Kapalak"

Ammo eng oddiy ikki nuqtali variant bizga namunalarini qo'shish va olib tashlash operatsiyalarini oddiygina bajarishga imkon beradi. Ushbu operatsiyani uchadigan hasharotlarni tashqi ko'rinishiga o'xshashligi sabab kapalak deb atashadi va vaqtni kesishda DFA-ni bunday kapalaklar yordamida misolning sakkiz nuqtali DFA-ni ikkita to'rtlik yoki to'rtta ikkilik nuqtadan hisoblashga imkon beradi. Ikkilik daraja va DFA-ning davomiyligini xuddi shu tarzda farqlash mumkin.

Tezkor Furye almashtirish algoritmini MATLAB dasturida qo'llashni ko'rib chiqamiz. O'rnatilgan **FFT** funksiyasidan foydalangan holda audio fayl spektrini olishga harakat qilamiz. Biz ishlatadigan ovoqli fayl - bu yozib olingan 220 gertsli gitara torining tebranishini.



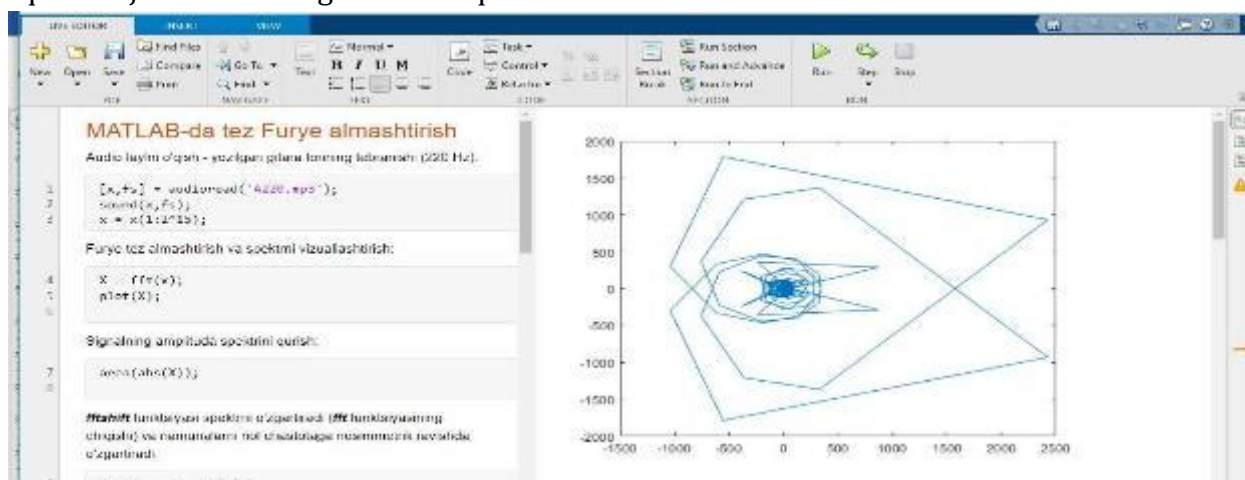
```

MATLAB-da tez Furje almashtirish
Audio bayni o'qish - yozilgan gitaraning tebralanishi (220 Hz)
1 [x, fs] = audioread('4220.mp3');
2 sound(x, fs);
3 x = x(1:2^15);

Furje tez o'lganishi va spektrni vizualishtirish:
4 X = fft(x);
5 plot(X);

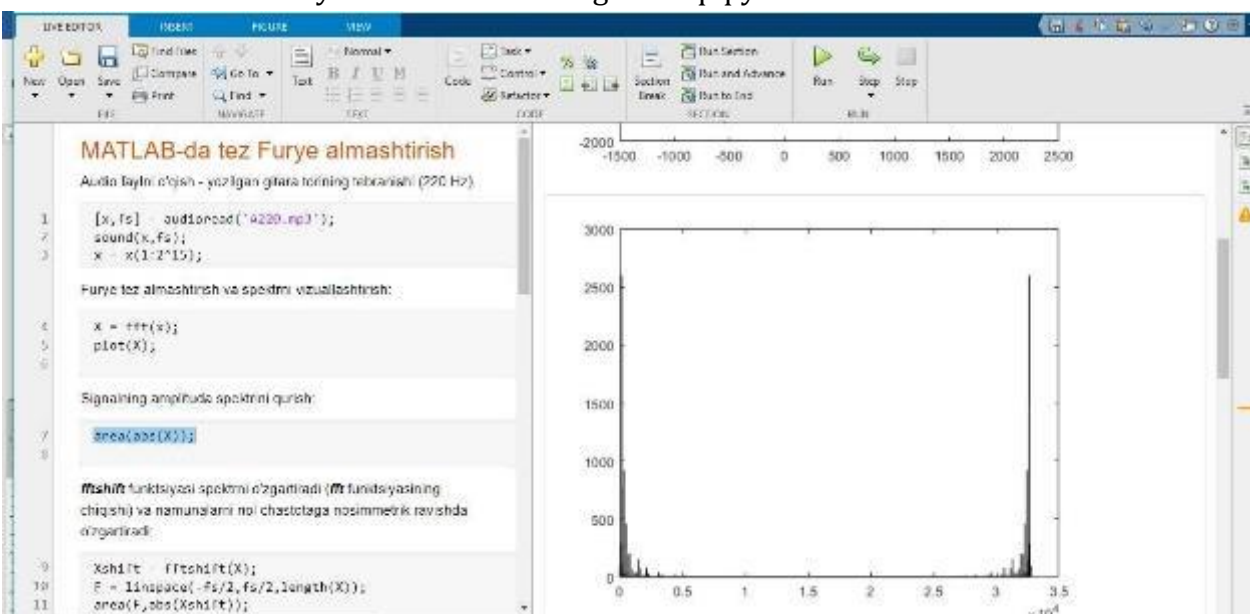
Signalning amplituda spektrini qurish:
6 area(abs(X));
    
```

FFT funksiyasi yordamida Furje almashtirishni amalga oshiramiz va PLOT buyrug'i orqali natijasi ko'rsatishga harakat qilamiz.

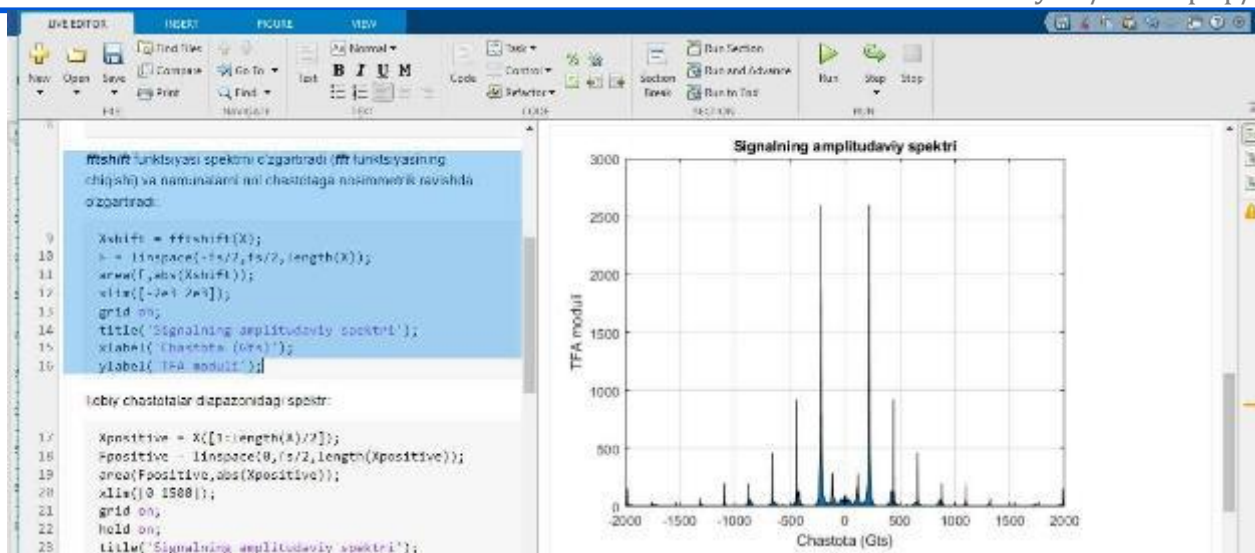


Biz mana bunday tasvirni ko'ramiz. Buning sababi shundaki, PLOT funksiyasi kompleks kattalikning qiymatini murakkab tekislikda belgilaydi.

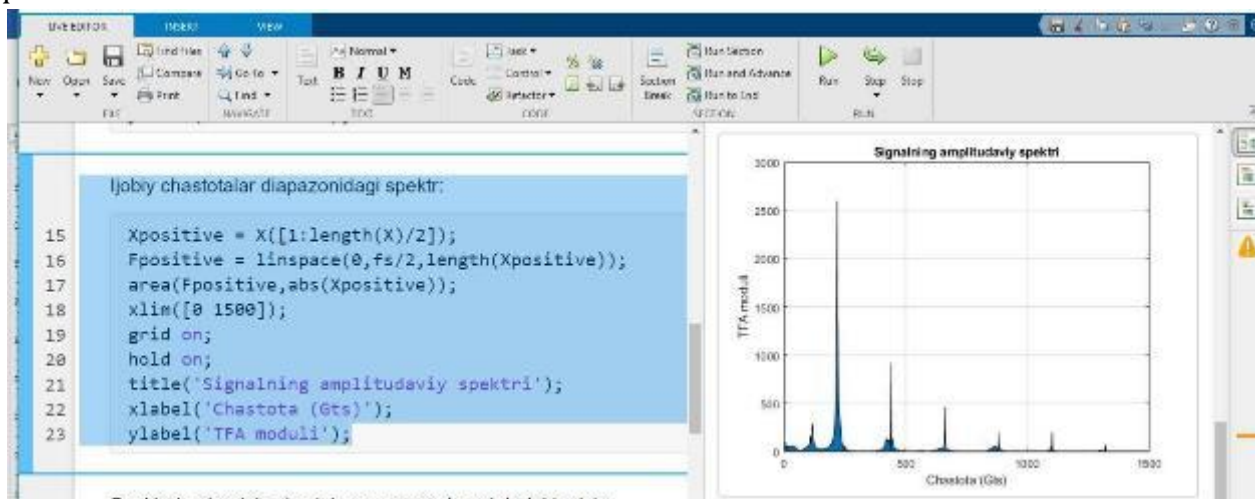
Biz signalning amplituda spektrini quramiz. ABS funksiyasidan murakkab vektor modulini hisoblashda foydalanamiz. Bizda signal xaqiqiy.



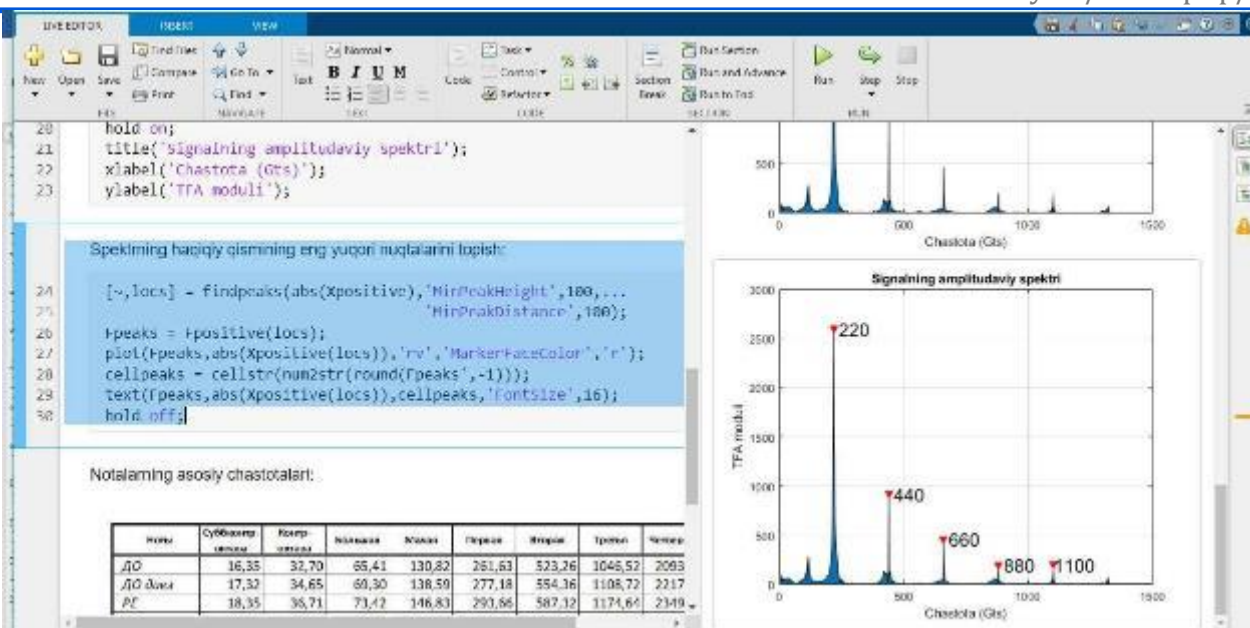
FFT funksiyasining natijasi ijobiy chastota diapazonini ham, salbiy chastota diapazonini ham hisobga oladi. Spektrni odatdagi shaklda nol chastotaga nisbatan oynali tasvir sifatida ko'rsatishimiz uchun biz **FFTSHIFT** funksiyasidan foydalanishimiz mumkin.



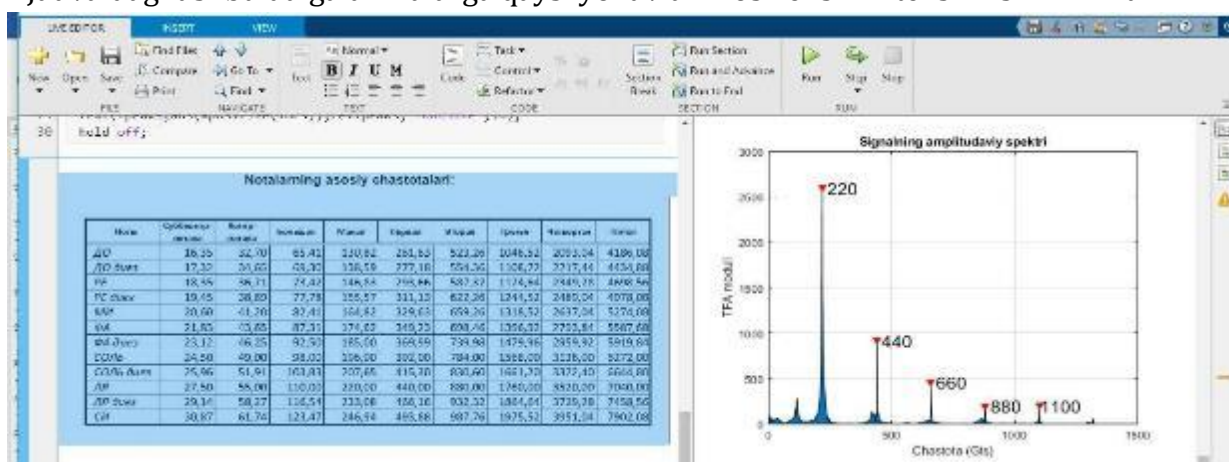
Shuningdek, biz minus 2000 dan plus 2000 kilogertz oralig'ini chegaralaymiz. Spektr nosimmetrikdir, shuning uchun biz uni faqat ijobiy chastotalar diapazonida tahlil qilishimiz kerak. Biz signal spektrining garmonik tuzilishini kuzatamiz, ya'ni asosiy garmonikka qo'shimcha ravishda biz tonlarni ham ko'ramiz.



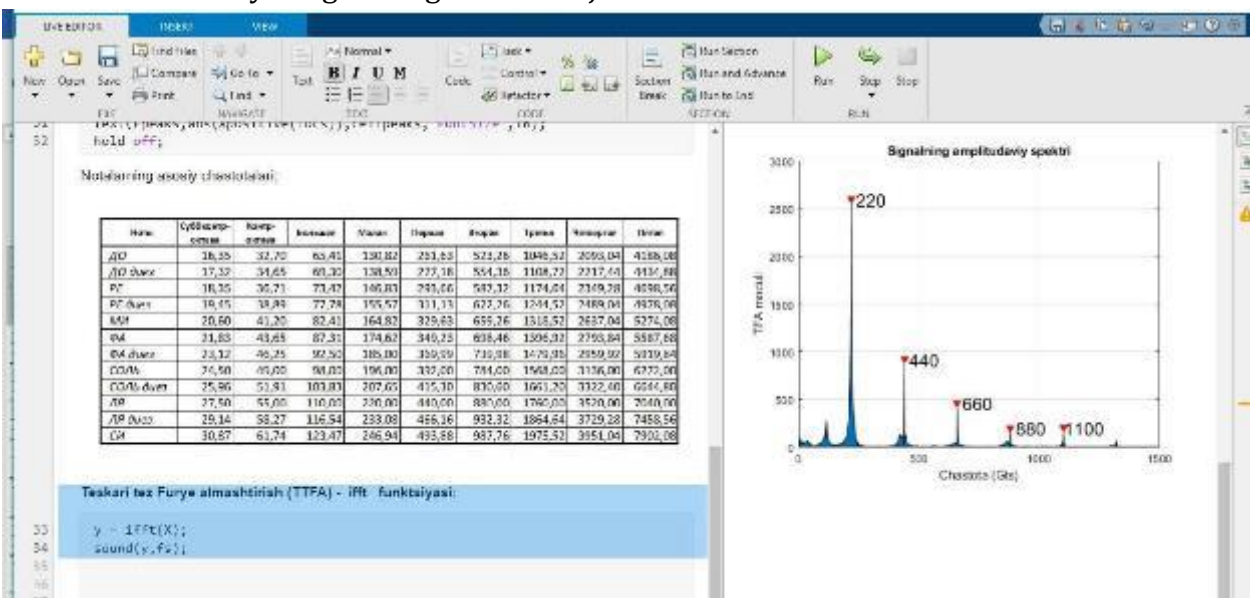
Lokal spektr maksimumining holatini aniqlash uchun FINDPEAKS funksiyasidan foydalanamiz. Biz chastota qiymatini biroz yumaloqladik, endi garmonikalar aniq ko'rinib turibdi, ya'ni 200 Gts chastotadagi asosiy chastotaning hosilasi.



Jadvaldagi ushbu dalgalanmalarga qaysi yozuvlar mos kelishini tekshirishimiz mumkin.



IFFT funktsiyasi teskari Furiye almashtirishni amalga oshiradi. Biz spektr yozuvining qiymatini vaqt diapazoniga tarjima qilishimiz va signalni tinglashimiz mumkin. Signalni chastota diapazonida aks ettirish uchun biz ko'p sonli nuqtalarni olganimiz sababli, almashtirishdan keyin signalning maxsus siljishlarini eshitmadik.



Tez Furye almashtirish va teskari tez Furye almashtirish chastota diapazonida filtrlash, siqish, tez diskret almashtirishni bajarish, shuningdek, spektral tahlil uchun ko'plab raqamli signallarni qayta ishlash vazifalarida qo'llaniladi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. To'xtasinov J., Raxmatov A. *Raqamli signalni qayta ishlash asoslari*. – Toshkent: TDYU nashriyoti, 2020.
2. Yo'ldoshev F., Ismoilov S. *Telekommunikatsiya tizimlarida signallarni qayta ishlash*. – Toshkent: "Innovatsiya" nashriyoti, 2021.
3. Оппенгейм, А., Шафер, Р. *Цифровая обработка сигналов*. – Москва: Техносфера, 2017.
4. Проаков, Дж. *Основы цифровой обработки сигналов*. – Москва: Мир, 2016.
5. Bracewell, R. *The Fourier Transform and Its Applications*. – McGraw-Hill, 2000.
6. Lyons, R. *Understanding Digital Signal Processing*. – Prentice Hall, 2011.
7. Smith, Steven W. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. – California Technical Publishing, 2003.
8. Proakis, J., Manolakis, D. *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*. – Pearson, 2013.