

Szoftverrádió a gyakorlatban



Motiváció

- Mi az SDR?
- Mire lehet használni?



A szoftverrádió olyan hardver, ami rádiófrekvenciás jel és bitfolyam közti átalakításra használható (lehet adó vagy vevő).

Szóval hardver, de akkor miért szoftverrádió? Vevő oldalon a bitfolyam (IQ minták folyama), amit a jelből készít olyan, hogy azt bármilyen modulált jel demodulálására használhatni lehessen; adó oldalon pedig tetszőleges modulációra van olyan bitfolyam, amit ha a bemenetére küldünk, akkor épp ez a moduláció valósul meg. A mintákat pedig számítógépen, szoftverből - innen a név - dolgozzuk fel, vagy állítjuk elő.

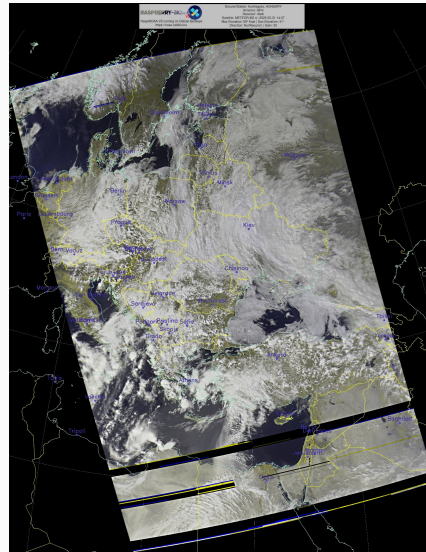
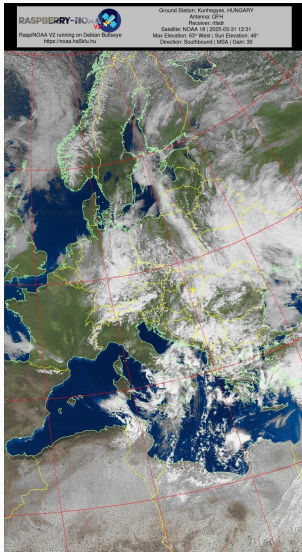
Ebből adódóan ez a rádiók svájci bicskája, nagyon széles körben felhasználhatók, nálunk főleg műholdvédelmi láncokba kerültek beépítésre, de tervben van pl. radarozás (nem csak kommunikációban jönnek kapóra az IQ minták, ilyen alkalmazási területeken is előnyös).

RTL-SDR nagyon olcsó, tizenpárezer forintba kerül, venni lehet vele. Legolcsóbb adni is képes SDR a HackRF One, 100k+, a komolyabb szoftverrádiókéért pedig már borsosan fizetni kell.

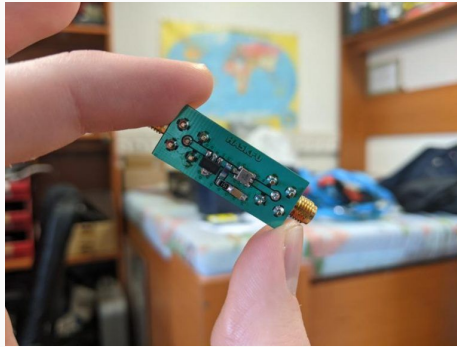
NOAA vétel



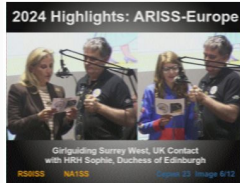
NOAA vétel



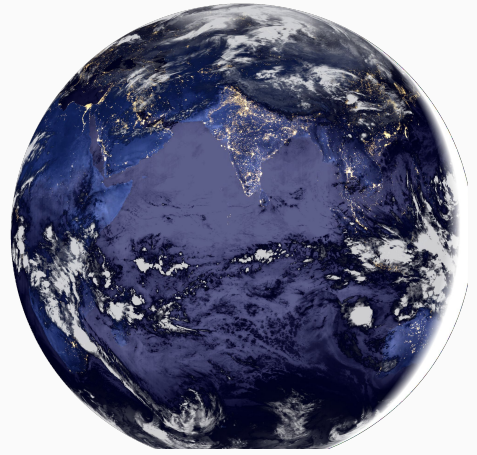
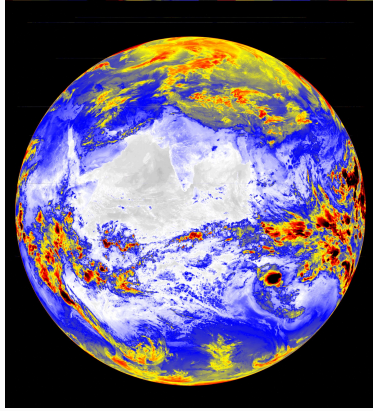
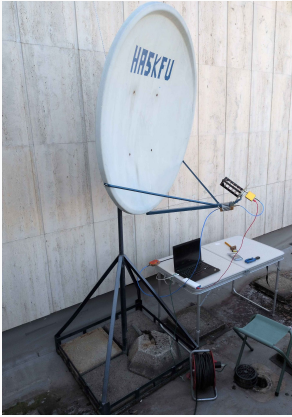
70cm LEO vétel



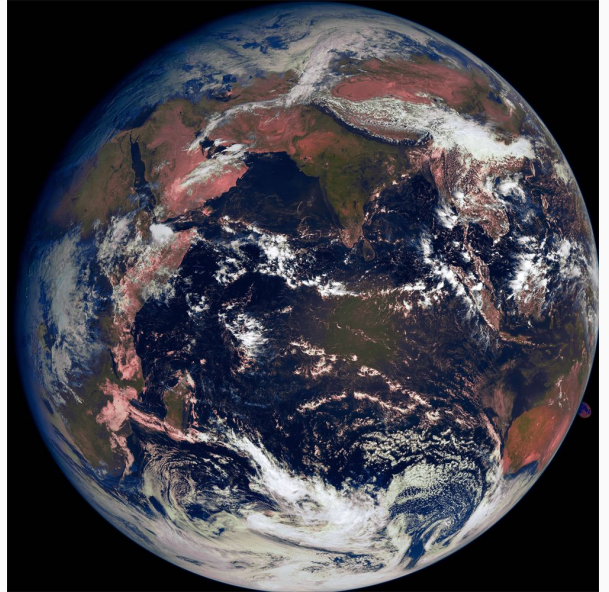
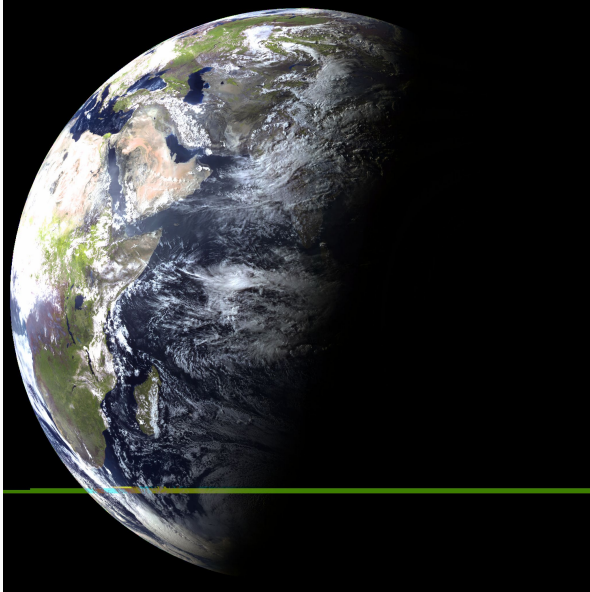
ISS SSTV képek vétele



L sávú meteorológiai műholdak



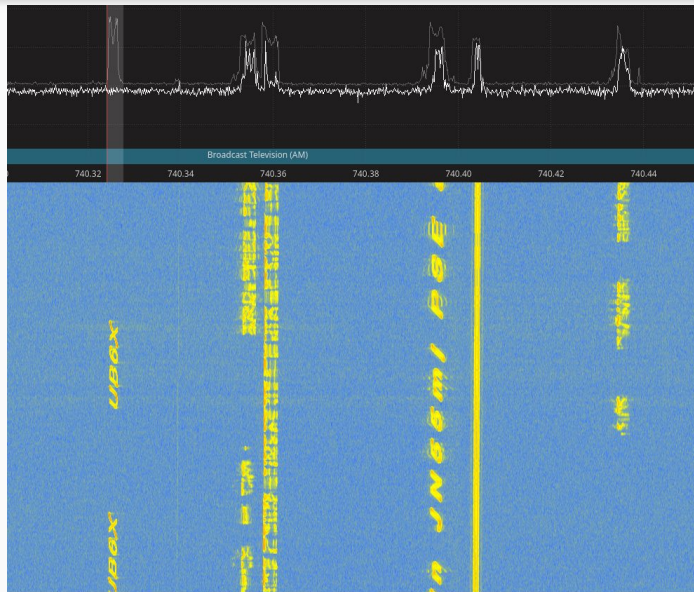
L sávú meteorológiai műholdak



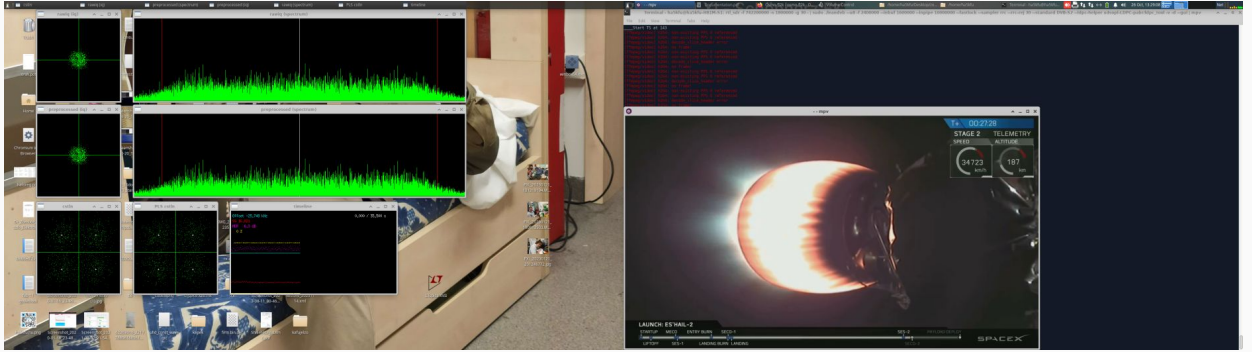
QO-100 vétel

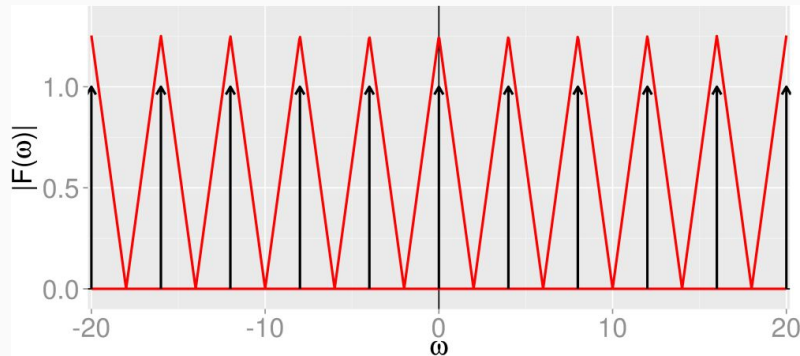


QO-100 vétel



QO-100 vétél





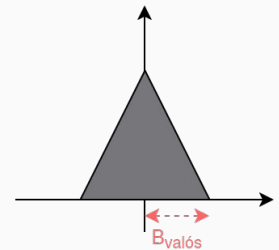
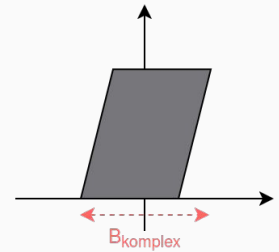
Shannon-Nyquist:

$$f_s > 2 * f_{\max}$$

=>

$$f_s > 2 * B_{\text{valós}}$$

$$f_s > B_{\text{komplex}}$$

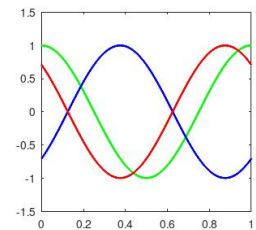
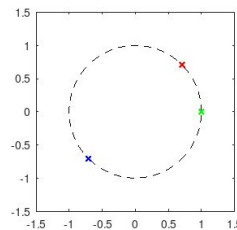
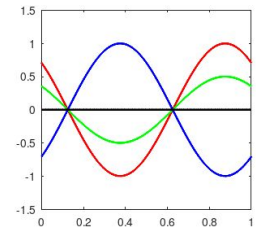
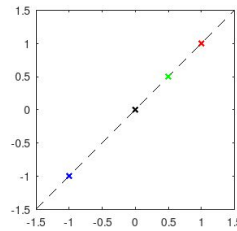
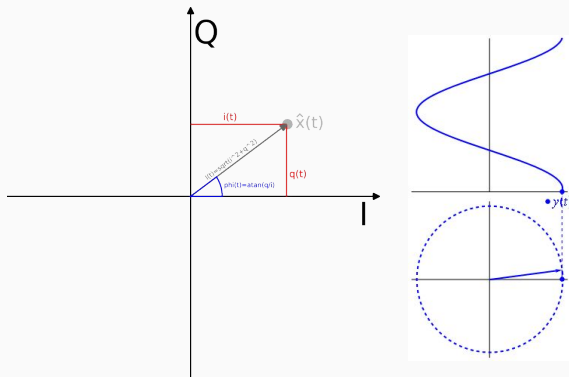


A digitális jelfeldolgozás egy alaptétele a Shannon-Nyquist mintavételi tétel, miszerint egy folytonos idejű jel mintavételezése során akkor rekonstruálható a jel a mintáiból, ha teljesül hogy a mintavételezési frekvencia minimum kétszerese a jelben előforduló legnagyobb frekvenciájának. Ez alapsávi (azaz 0 vivőfrekvenciájú) jelnél a sávzélesség kétszerese (komplex esetben egyszerese). A mintavételezés egyben kever is (alulmintavételezés).

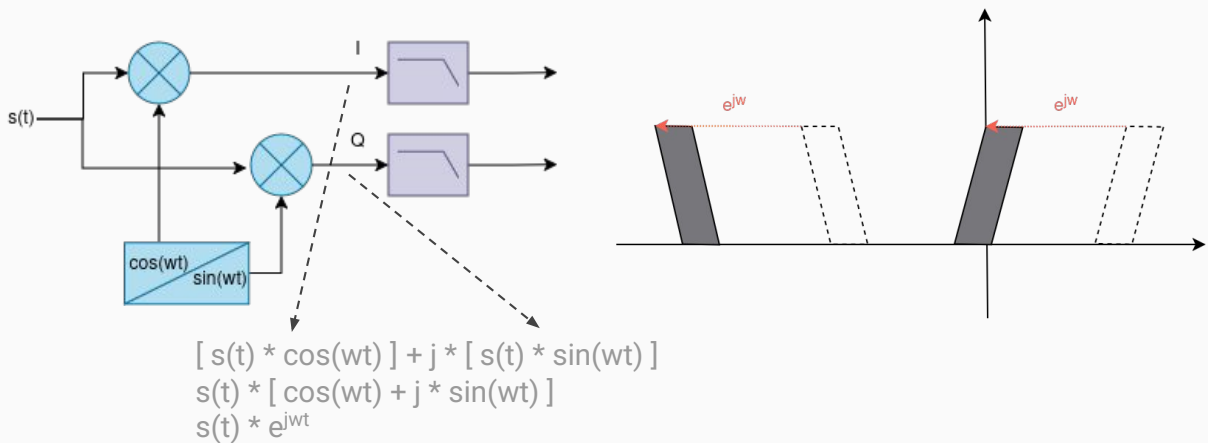
Érdeklődők itt olvashatnak többet mintavételezésről:

<https://ha5kfu.hu/wp-content/uploads/2026/03/mintevetel.pdf>

$$e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$$



Gyors emlékeztető fazorokról és komplex forgóvektorokról, Rádiók I-ben volt róla szó, az ott említettek jegyzetben nem részletezem. Lényegében egy jel fázisának és amplitúdójának ábrázolása komplex számként. Itt azért lesz fontos számunkra, mert az alapsávi jelünk komplex lesz, a szoftverrádióból érkező (vagy adóban arra küldött) minták $\text{Re}+j\text{Im}$ alakúak.



Komplex keverő egy komplex forgóvektorral szorozza meg a bemeneti jelet. Ez spektrumban egy eltolással egyenlő. Ha a bemeneti jel valós, a spektrum szimmetrikus, eltolás után marad egy magas frekvenciás kép, ezért jellemzően egy aluláteresztő szűrő követi a keverőt, hogy ettől megszabaduljunk. Fontos megjegyezni, hogy az alapsávra tolt jel nem (feltétlenül) szimmetrikus a 0 frekvenciára, komplex keverővel alapsávra hozott jel ugyanis komplex. Ez a komplex alapsávi jel alapvetően $I+j*Q$ formájú, de az előző dián lévő képlettel $R*e^{j*Phi}$ alakra hozható, az (R, Phi) kettes pedig két kulcsfontosságú paraméterről hordoz magában információt: az amplitúdóról és a fázisról. Ahogy azt Rádiók I-ben tárgyaltuk, mindenféle modulációban vagy az amplitúdó, vagy a fázis, vagy a kettő egyszerre hordoz magában információt. Azért fogunk tudni bármilyen modulációt vagy demodulációt megvalósítani, mivel pontosan ezekről kapunk információt IQ-ban.

Desmos demó

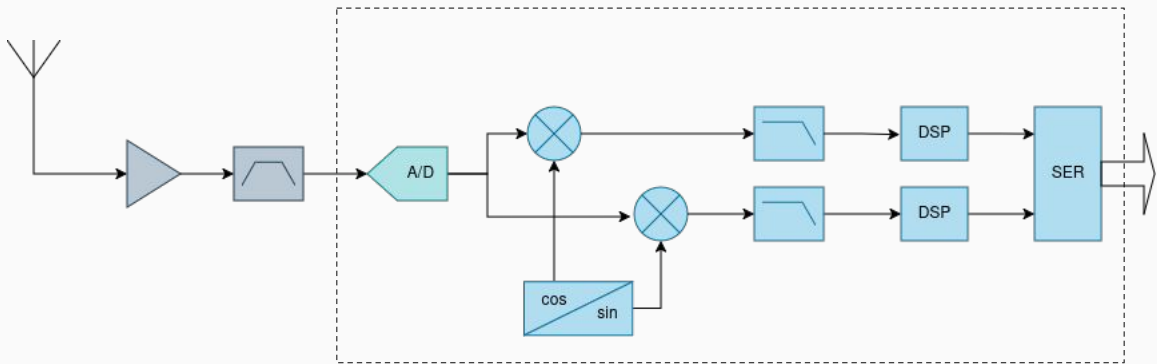
bemelegítés:

<https://www.desmos.com/calculator/v0afayqzhx>

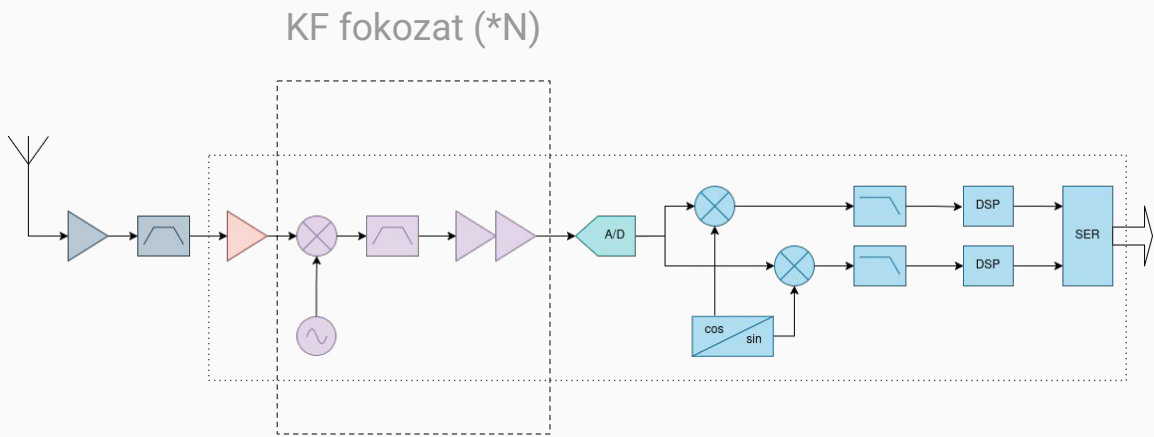
IQ keverés és demoduláció:

<https://www.desmos.com/calculator/cqe6eupt0b>

SDR

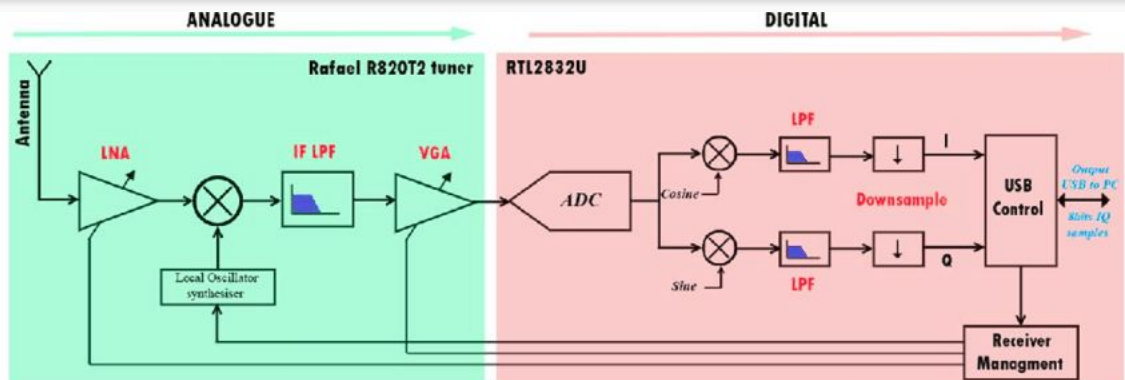


Direkt RF architektúrájú vevő felépítése. Maga a SDR jellemzően a bekeretezett doboz (+ lehet erősítés az ADC előtt). Ami fontos, hogy a SDR-k általában minél szélesebb sávban szeretnének működni, szűrőt jellemzően már a felhasználó fog elé rakni, az adott alkalmazáshoz méretezve. A DSP legalább valamilyen decimálást foglal magába, a SDR-n belül több minta szokott keletkezni, mint amennyit utána sorosan számítógépre küldenénk. Az IQ mintákat, ezután legalább egymás után kell fogni (+ lehet még keret protokolltól függően).



Egy gyengéje a direkt RF architektúrának, hogy az ADC csak bizonyos frekvenciáig fog működni. Bár magát a mintavételezést figyelembe véve csak a sávszélesség lenne kötött adott A/D-re (mert amúgy lehetne még alulmintavételezni), gyakorlatban még ha alulmintavételezni is akarunk, akkor is van határa, mert mint minden fizikai léttel rendelkező dolog, az A/D is szűrőként viselkedik. Ezt megoldja, hogy ha van egy (vagy több) keverő az ADC előtt, ami a jelet az ADC működési tartományába hozza le frekiben (vagy pontosabban innen nem az ADC dolga, hogy abban a tartományban működjön, hanem a KF (közép/köztes frekvenciás) fokozaté, ami egy egyszerűbb feladat). Ezen túl még két nagy előnye van a szuperheterodin felépítésnek. Az egyik, hogy jobb szelektivitást lehet elérni, a másik pedig hogy többet lehet erősíteni. Ha van pl. egy 60 dB-s erősítőnk, akkor elég, ha a kimenet milliomoda visszazivárog a bemenetre, és gerjed. Viszont ha más frekvenciatartományokban működnek az erősítő fokozataink, és ezeket a fokozatokat szűrők választják el, akkor ökölszabály szerint KF-enként 40 dB-t erősíthetünk.

RTL-SDR

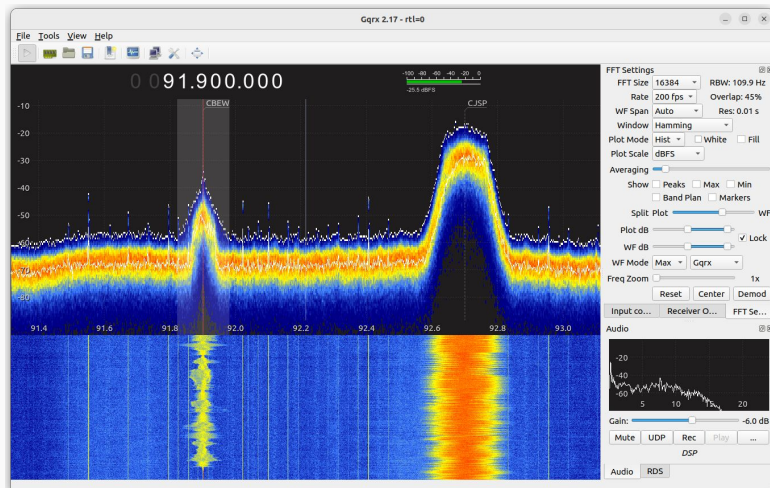


Mint látható, az RTL-SDR egy superheterodin architektúrájú szoftverrádió. Az első erősítője LNA, azaz Low Noise Amplifier (ez tipikus, mert a vételi lánc elején gyenge a jel, és nem akarjuk rontani a jel-zaj viszonyt az erősítő zajával).

Demó: GQRX

Hasonló programok:

- SDR#
- SDR++
- Satdump
- stb.



Itt a demó helye, megmutatni a 2 vevőt, és kitérni rá (kinda ez lesz mindvégig)

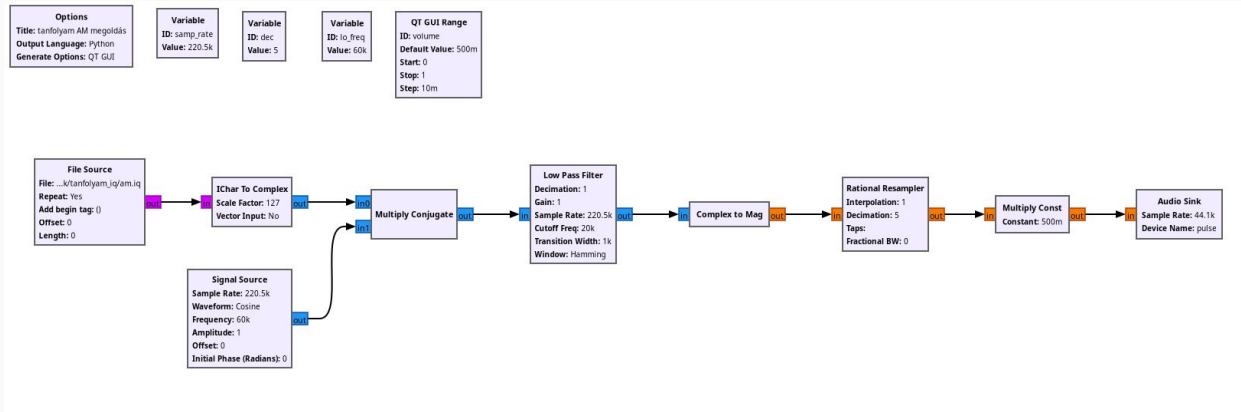
- FFT & Waterfall
- Hangolás
- Modulációk amiket tud
- Egyéb feature említeni: távvezérlés, UDP streamelés, káfabot DC-n
- Amúgy modoljuk aktívan

GNU Radio

IQ fájl

https://drive.google.com/drive/folders/1_KZ0cr-l51sfaJjNaGJu0wngSXBblWjr?usp=sharing

GNURadio: AM vevő



Protipp: Az audio sinkben be kell állítani, hogy blokkoló legyen; különben annyi processzoridőt használ, amennyit kap, ennek különféle hatásai lehetnek.

GNURadio: FM vevő

Options
Title: tanfolyam_fm_megoldás
Output Language: Python
Generate Options: QT GUI

Variable
ID: samp_rate
Value: 220.5k

Variable
ID: dec
Value: 5

Variable
ID: lo_freq
Value: 50k

QT GUI Range
ID: volume
Default Value: 500m
Start: 0
Stop: 1
Step: 10m

