

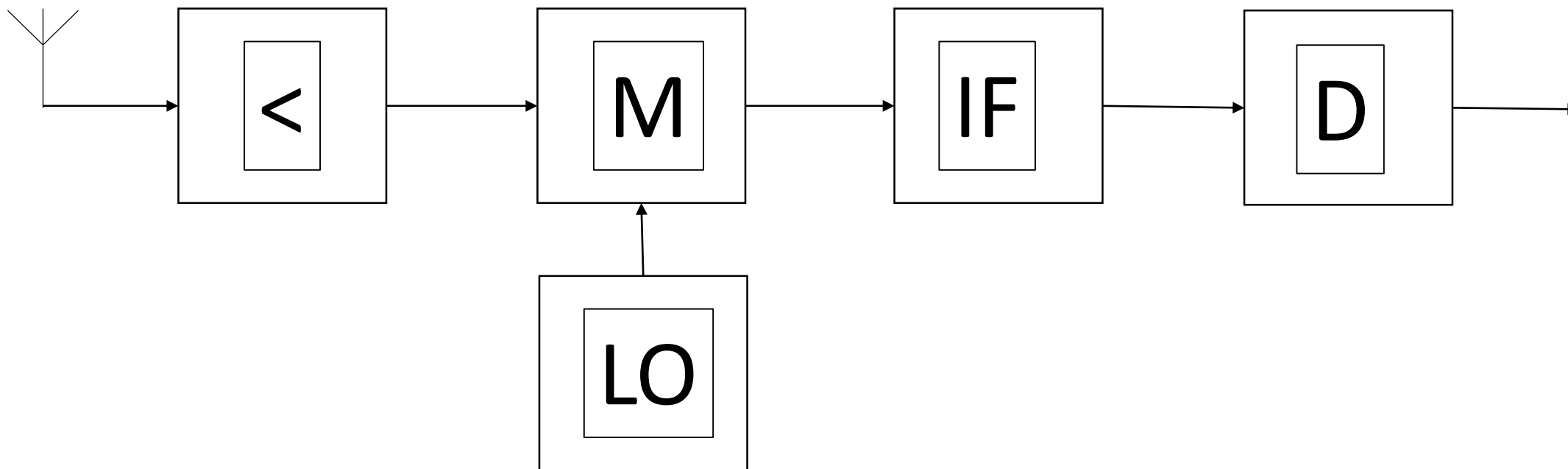
A szuperheterodin elv továbbfejlesztése

Ladvánszky János

HTE előadás, 2021.09.08.

A szuperheterodin elv 100 éves:

Armstrong 1921-es szabadalma



Minden rádió, TV és mobiltelefon működése ezen alapul

A szuperheterodin elv előnyei és hátrányai

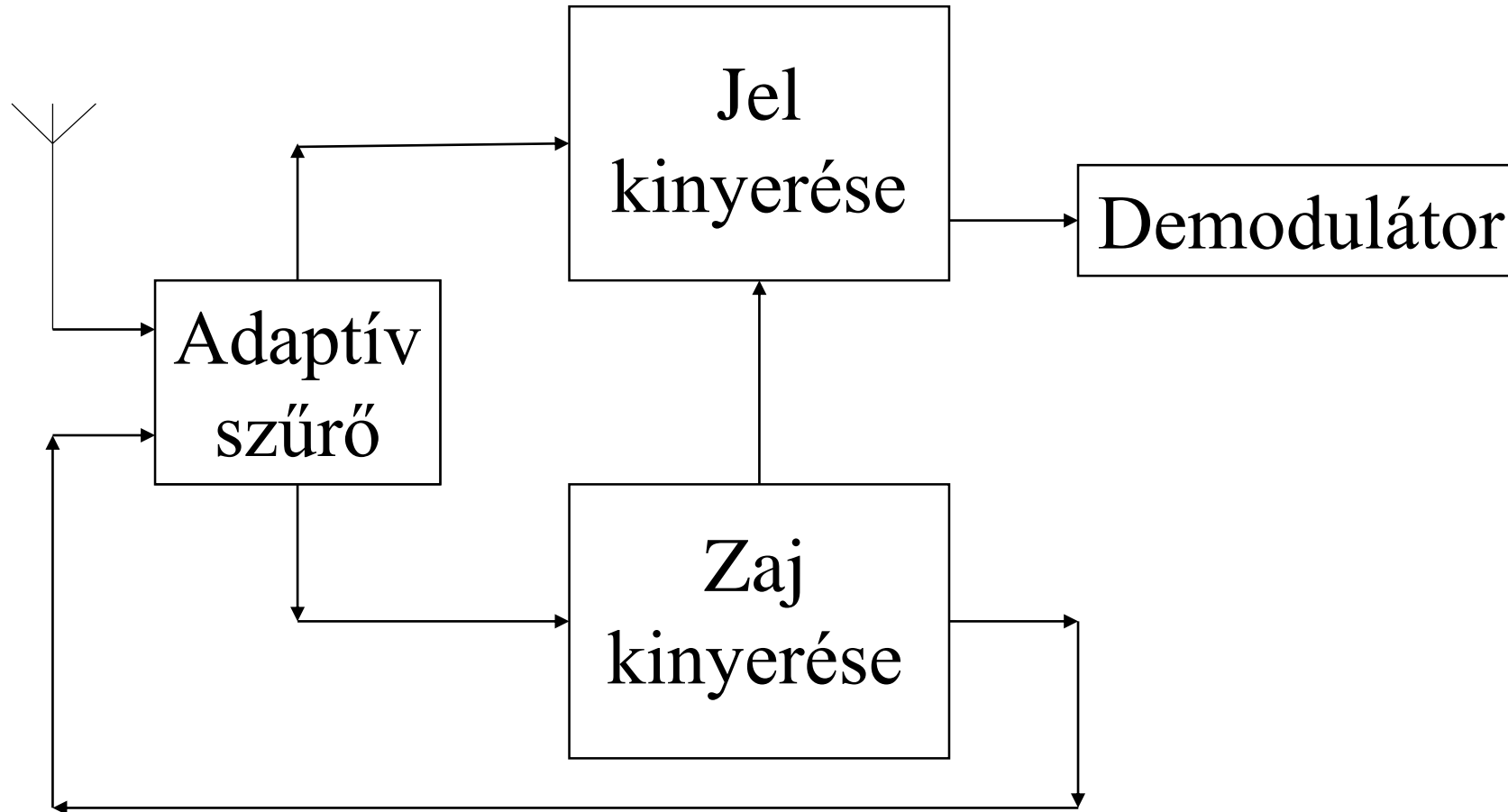
Előnyök

- IF-en nagyobb erősítést lehet elérni, mint RF-en
- Megnövelt szelektivitás
- Hangolhatóság

Hátrányok

- Stabil oszcillátor szükséges
- Meredek IF szűrő
- Zaj
- Interferencia

A hátrányok kiküszöbölése



Az új rendszer részletezése

1. Zajcsökkentés szinuszos jelek esetén
2. Morse jelek
3. 4QAM jel

A zajos jel matematikai modellje

$$y(t) = x(t)(1 + \xi)e^{j\varphi}$$

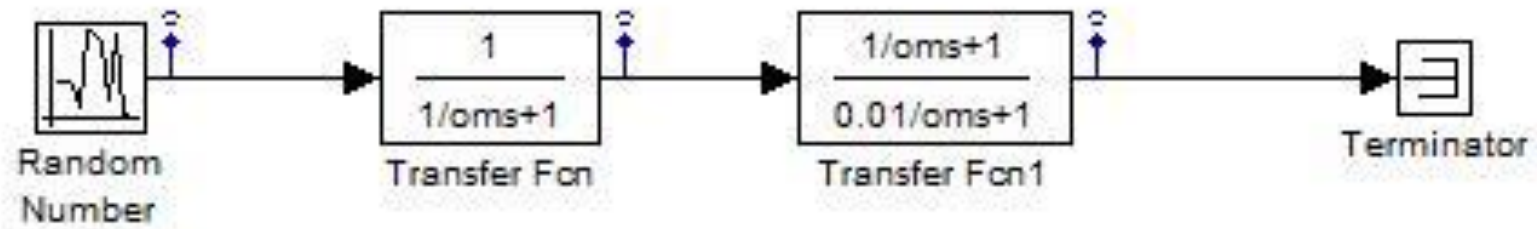
$x(t)$: zajmentes jel

ξ : amplitúdózaj

φ : fáziszaj

A zaj korrelációjának oka, és megszüntetése 1

Simulink modell:

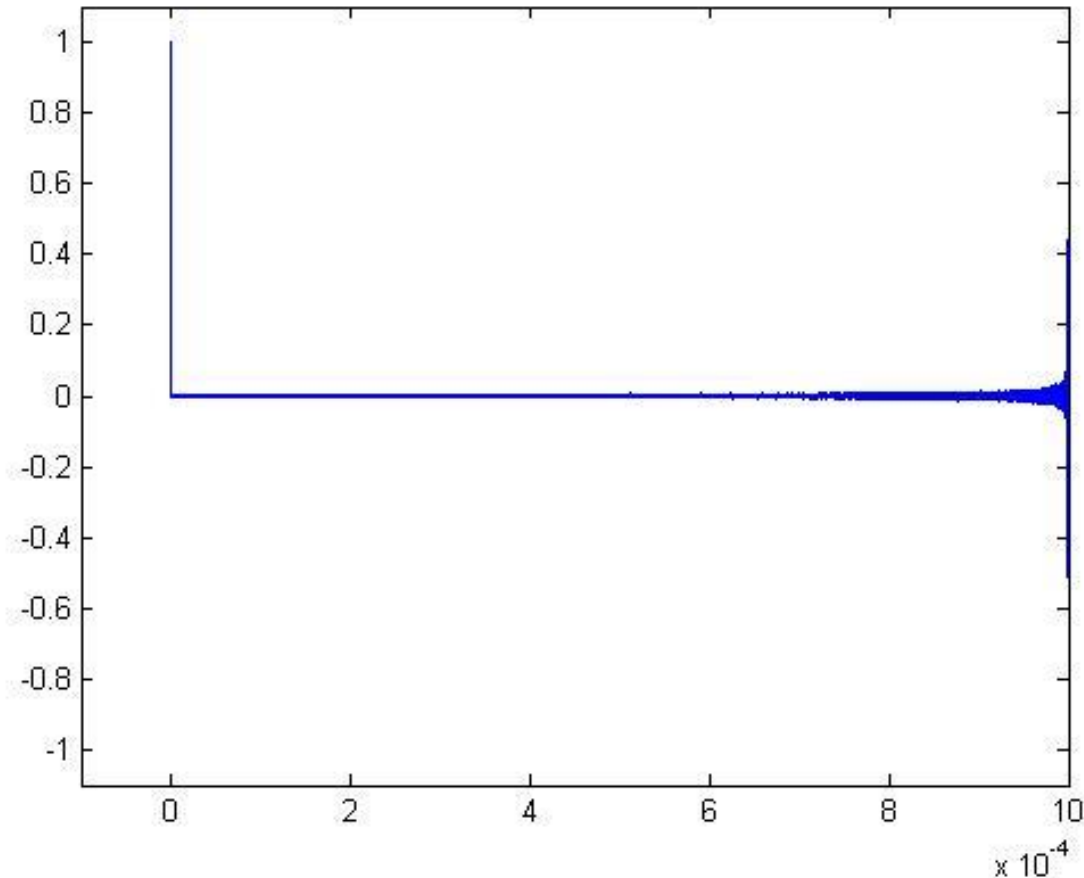


$$H_1(s) = \frac{1}{s/\omega_1 + 1}$$

$$H_2(s) = \frac{s/\omega_1 + 1}{s/\omega_2 + 1}$$

A zaj korrelációjának oka, és megszüntetése 2

A zaj autokorrelációja az első szűrő előtt:



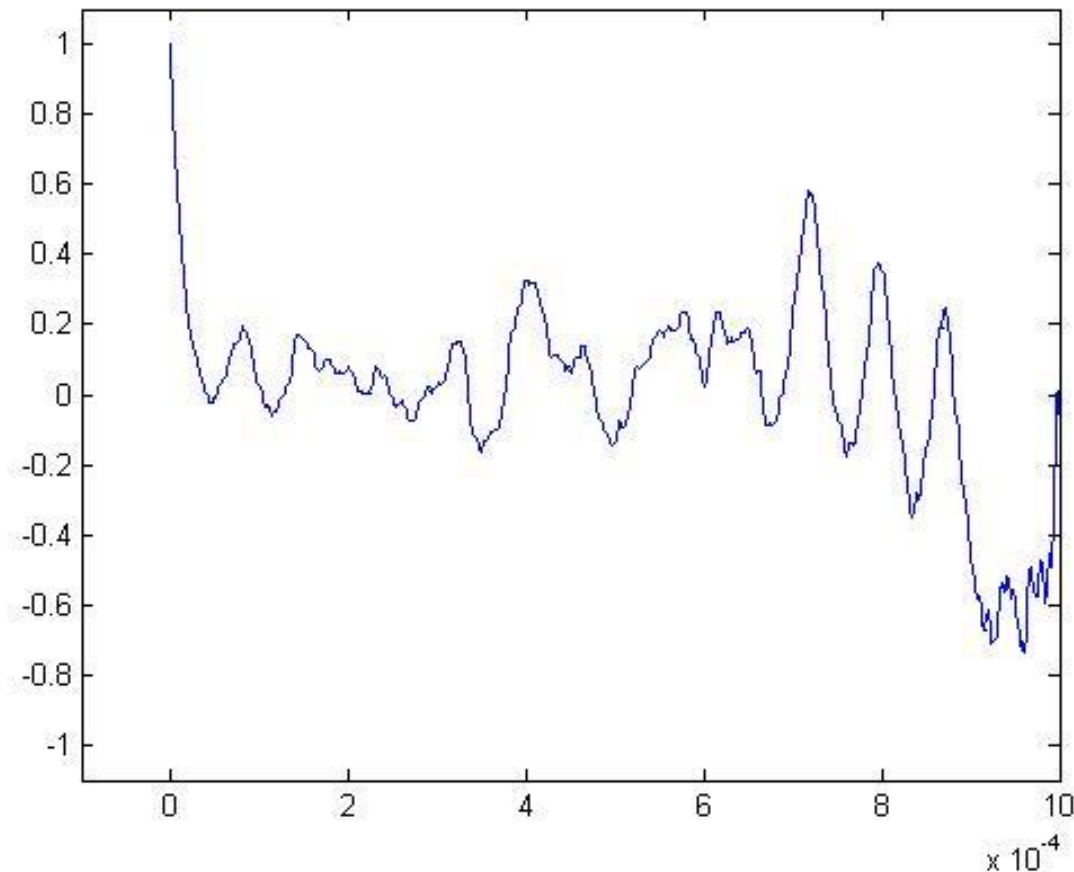
Vízszintes: időeltolás (sec)

Függőleges: autokorreláció

$$R_{yy}(m) = \sum_{k=N+1}^{N+K} y_k^* y_{k+m} \quad m = 0, 1 \dots K - 1$$

A zaj korrelációjának oka, és megszüntetése 3

A zaj autokorrelációja az első szűrő után:

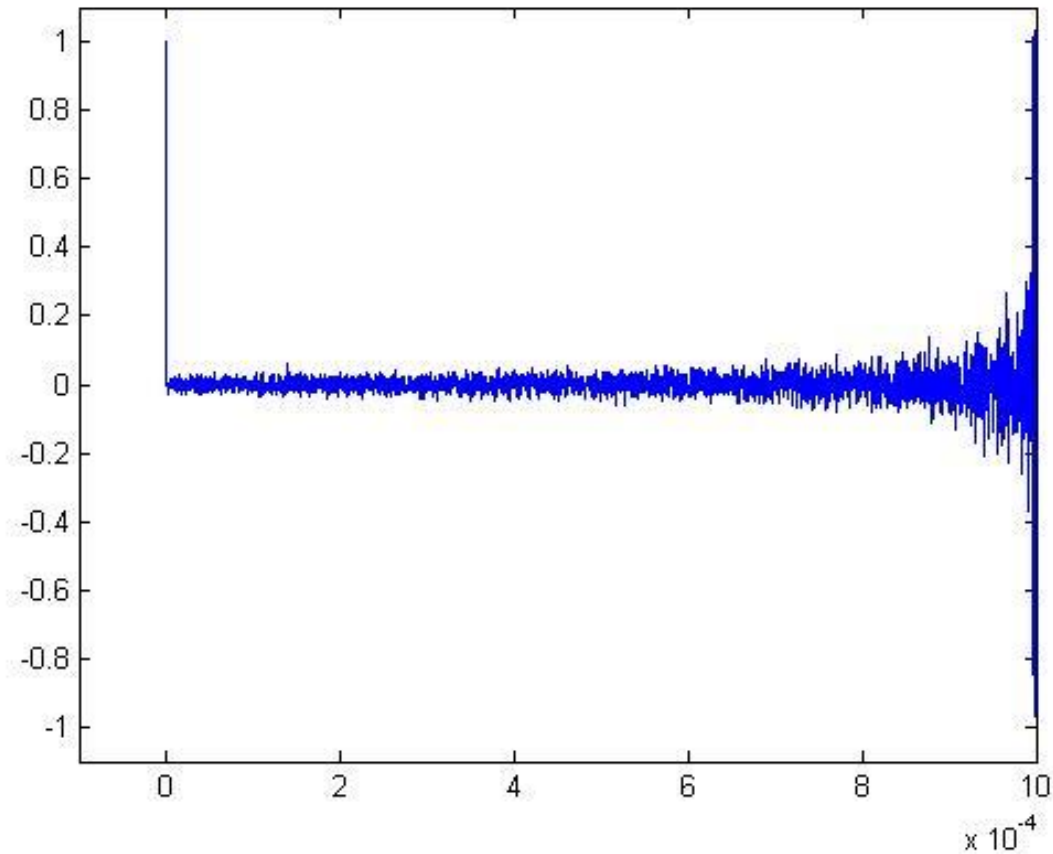


Vízszintes: időeltolás (sec)

Függőleges: autokorreláció

A zaj korrelációjának oka, és megszüntetése 4

A zaj autokorrelációja a második szűrő után:



Vízszintes: időeltolás (sec)

Függőleges: autokorreláció

Megszűnt a korreláció!

A zaj korrelációjának oka, és megszüntetése 5

Feltételezés: A zaj a keletkezési helyén korrelálatlan

Ehhez a helyhez nem férünk hozzá

A zaj keletkezési helye és a mérőeszköz közti szakaszt szűrő modellezi

Ennek a szűrőnek a reciprokát kell előállítani

A korrelálatlan zaj sokkal hatékonyabban távolítható el, mint a korrelált

Megoldás: Adaptív szűrő

$$y_{N+1} = \sum_{i=1}^N w_i x_i$$

ahol $x(i)$ a bemeneti jel értéke az i -edik időpillanatban

$w(i)$ ennek súlyozó tényezője


$y(N+1)$ a kimeneti jel az $N+1$ -edik időpillanatban

A súlyozó tényezőket úgy kell kiszámítani, hogy ha $x(i)$ helyére a zajt kapcsoljuk, akkor az autokorreláció Dirac delta alakú legyen

A súlyozó tényezők kiszámítása

$$y_{N+1} = \sum_{i=1}^N w_i x_i$$

$$R_{yy}(m) = \sum_{k=N+1}^{N+K} y_k^* y_{k+m} \quad m = 0, 1 \dots K-1$$

$$\varepsilon = \sum_{m=1}^{K-1} R_{yy}^*(m) R_{yy}(m)$$


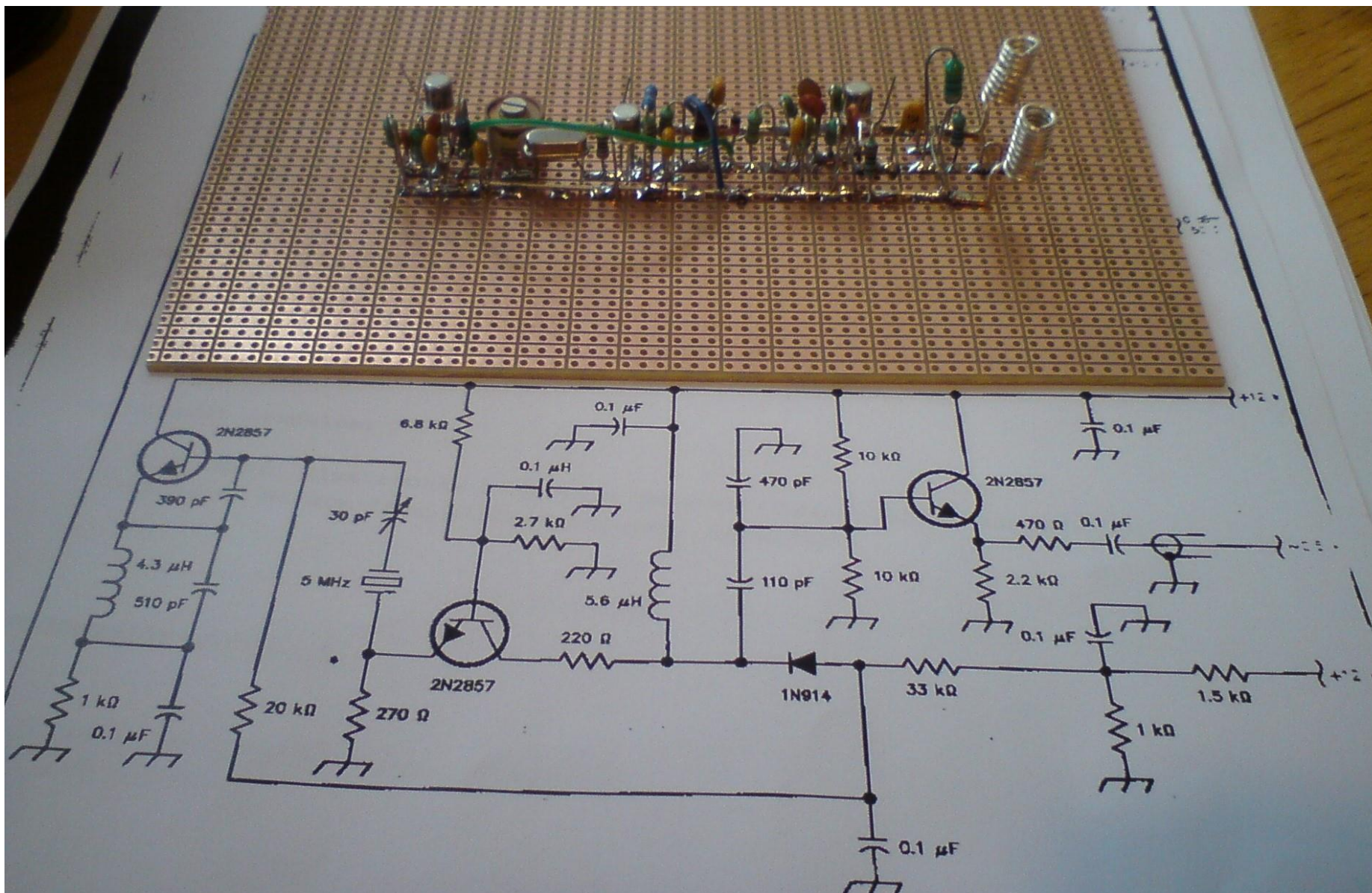
$$\underline{w}_{next} = \underline{w} - \mu_1 \text{grad}_{\text{Re } \underline{w}} \varepsilon - \mu_2 \text{grad}_{\text{Im } \underline{w}} \varepsilon$$

Két kísérleti igazolás

Oszcillátor zajának offline csökkentése

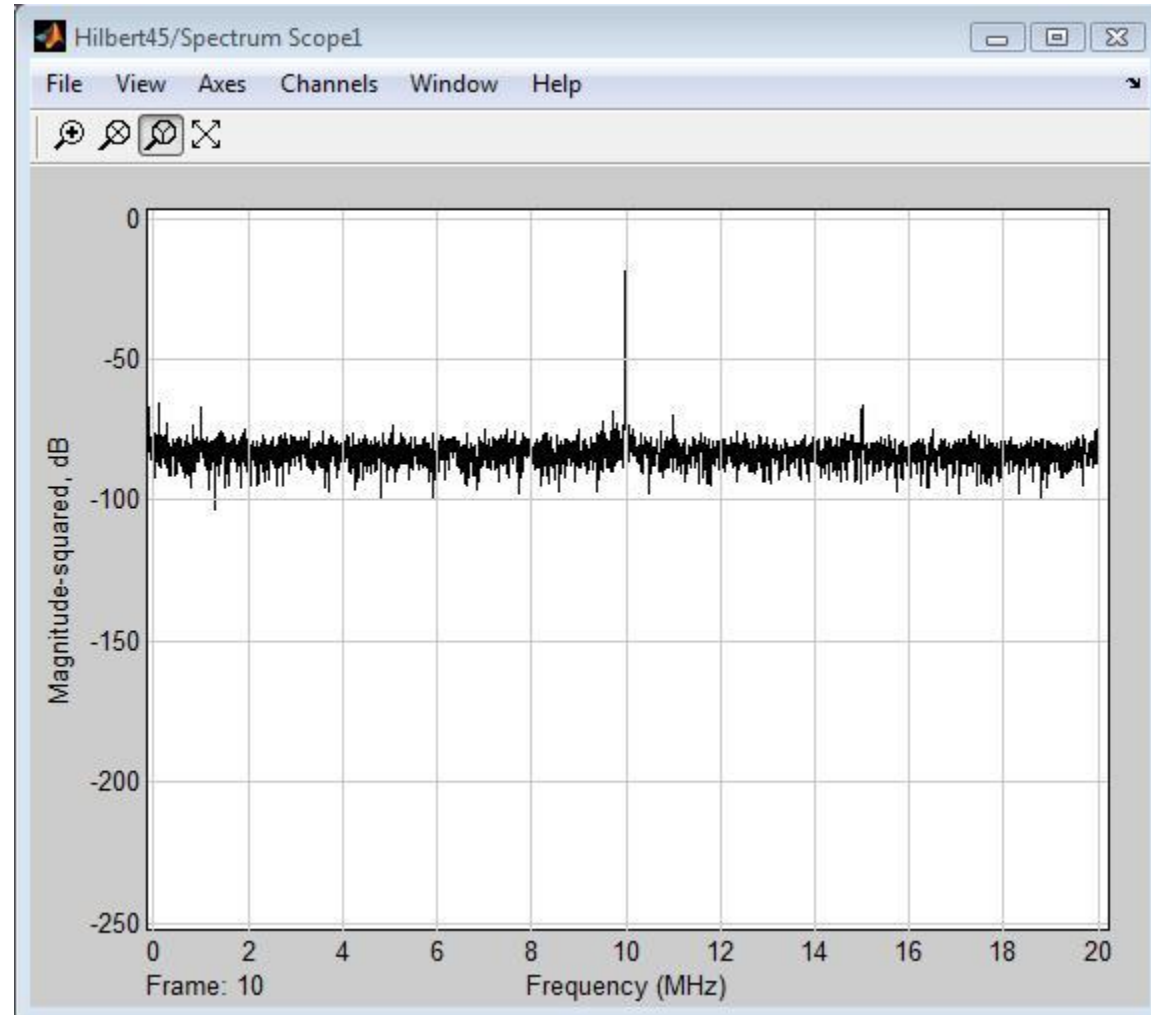
1. A MHz tartományban
2. A GHz tartományban

10 MHz-es kvarcoszcillátor 1



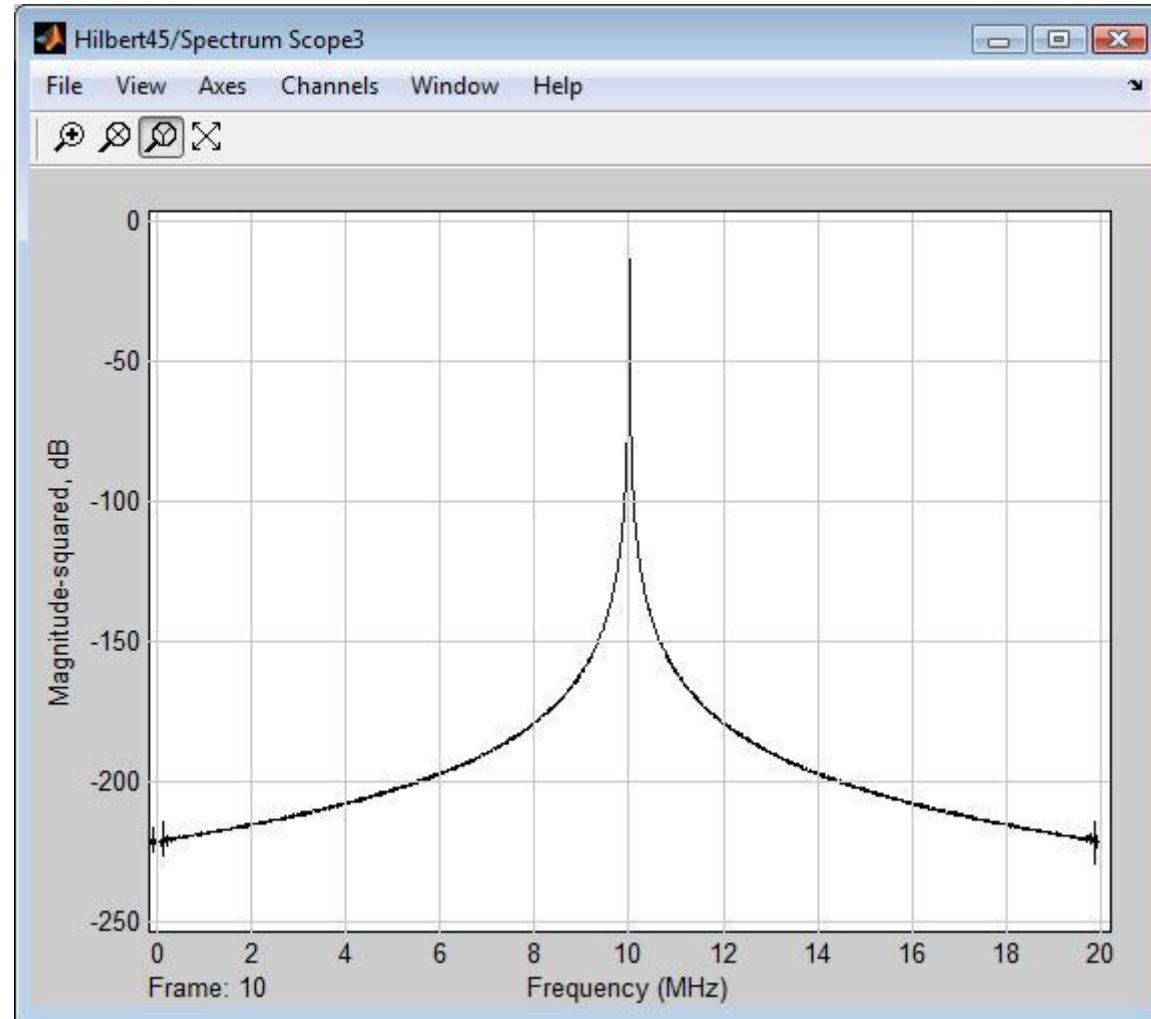
10 MHz-es kvarcoszcillátor 2

Az oszcillátor kimeneti spektruma:



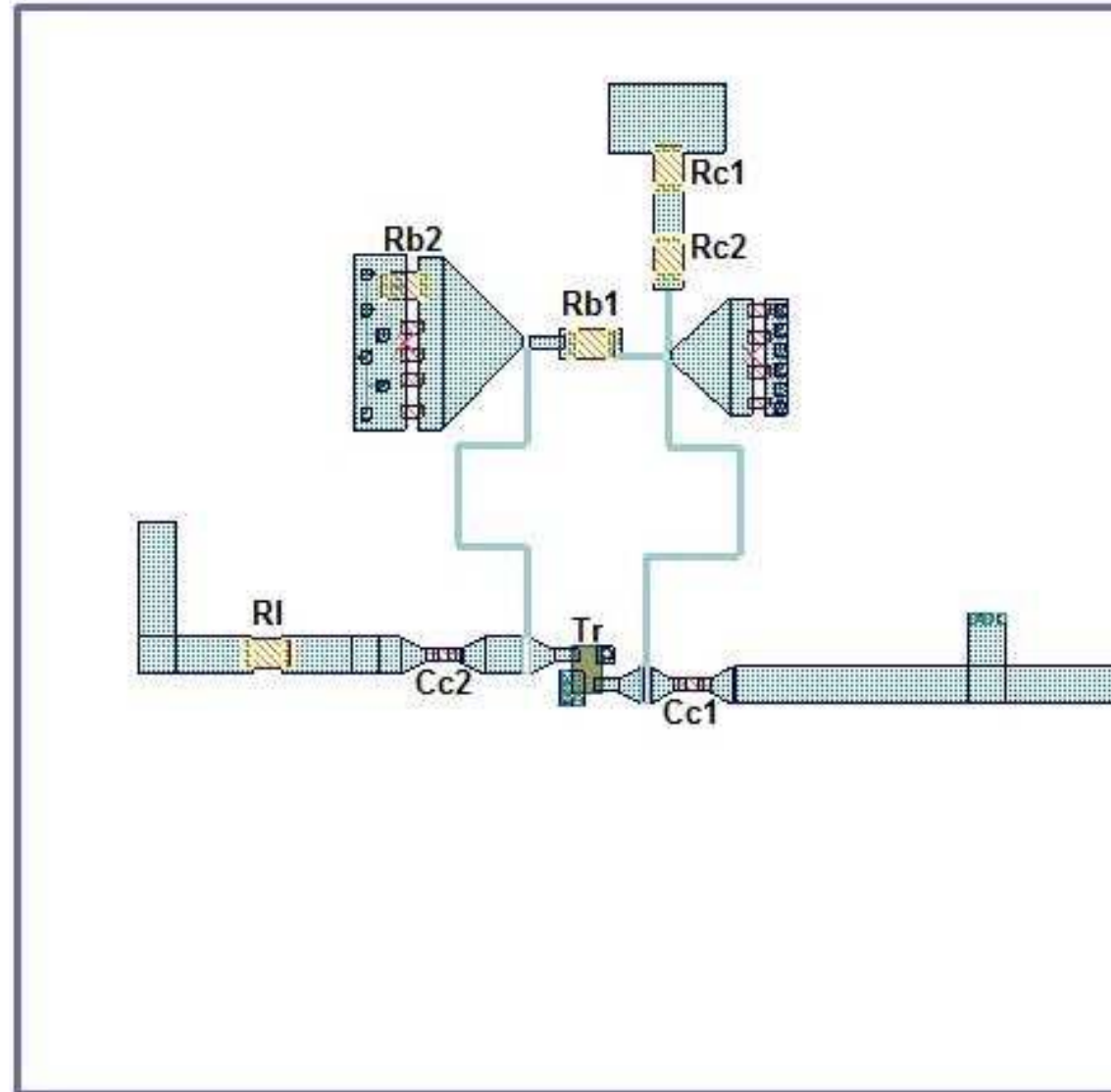
10 MHz-es kvarcoszcillátor 3

Spektrum a zaj eltávolítása után:



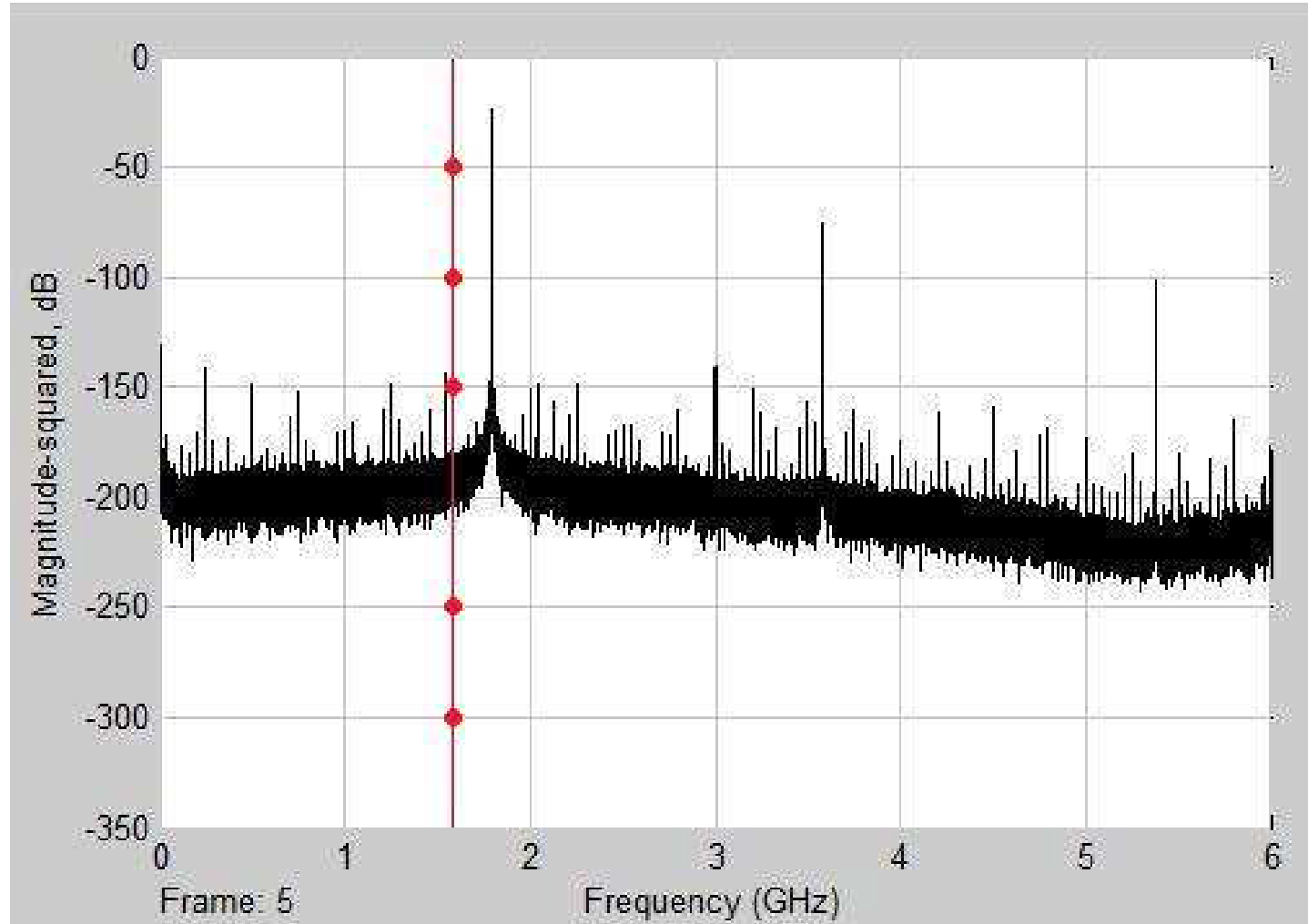
1.8 GHz-es oszcillátor 1

Layout:



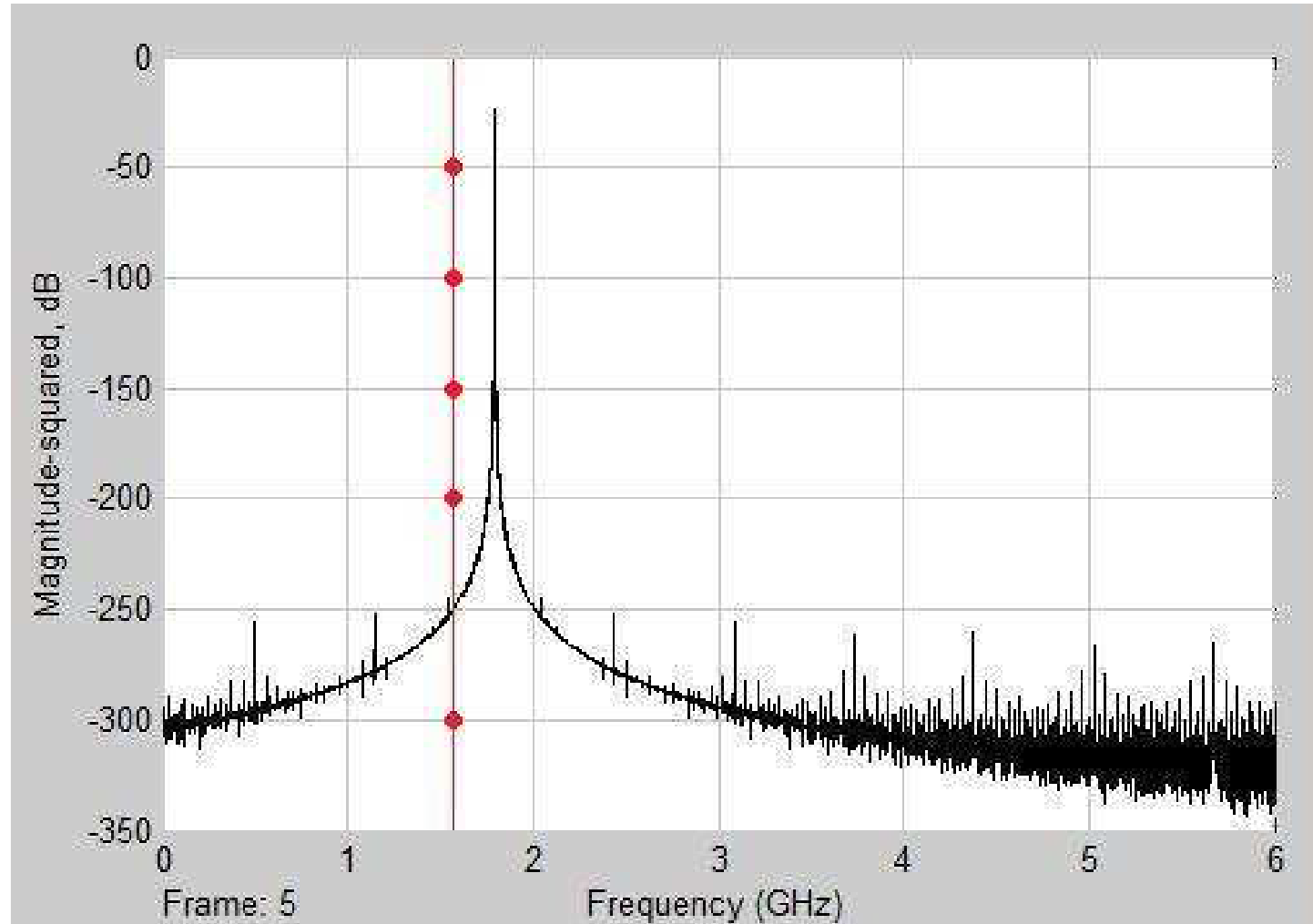
1.8 GHz-es oszcillátor 2

Az oszcillátor kimeneti spektruma:



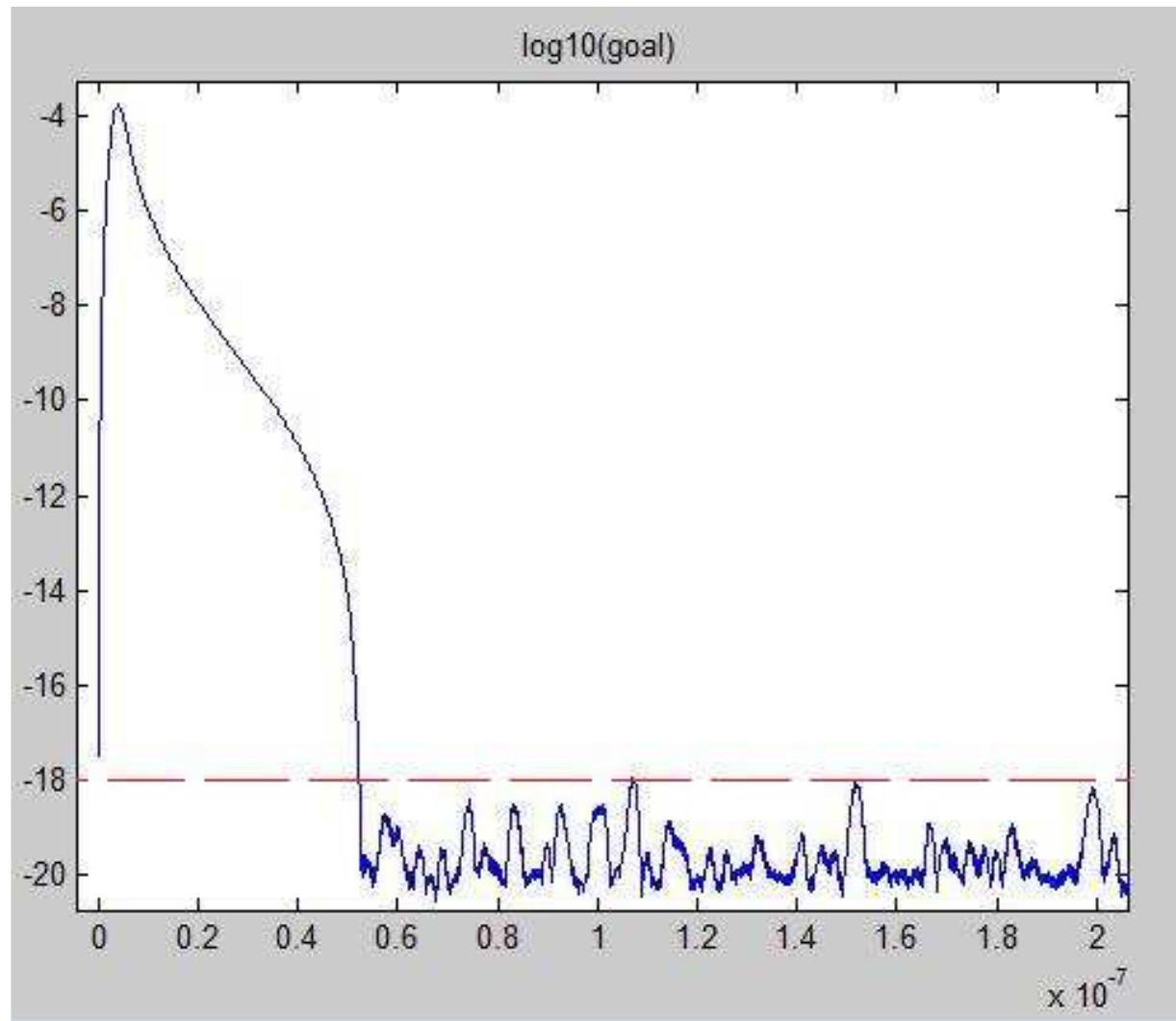
1.8 GHz-es oszcillátor 3

Spektrum a zaj eltávolítása után:



1.8 GHz-es oszcillátor 4

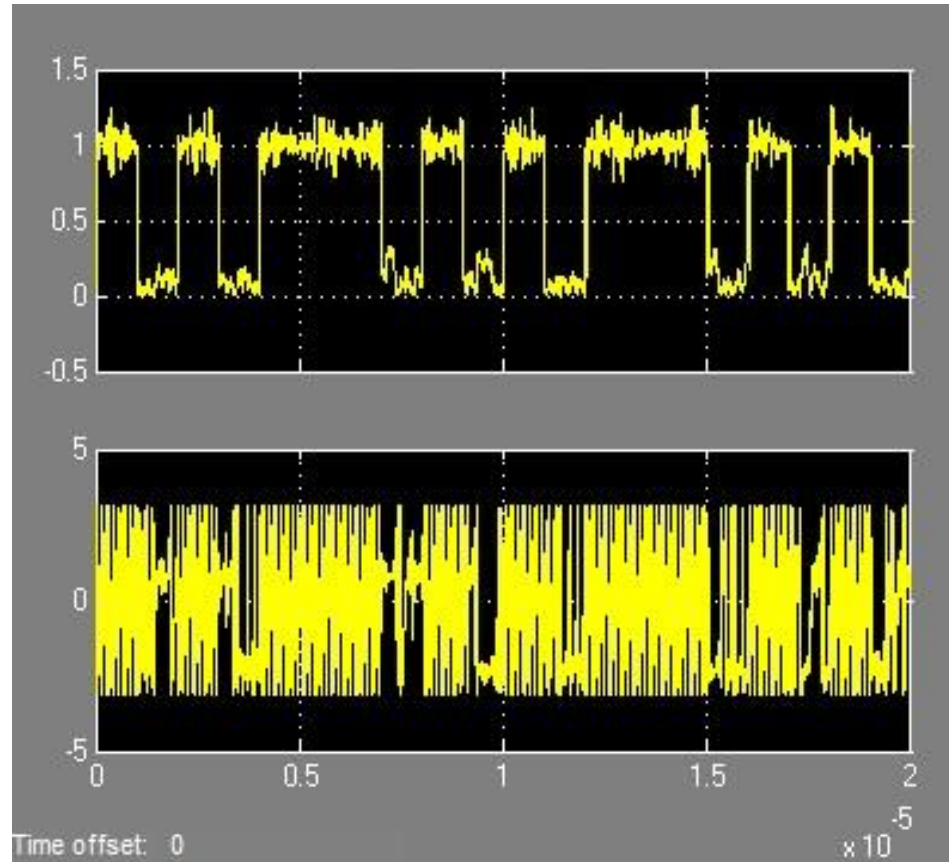
A célfüggvény időbeli lefolyása:



Keskeny sávú moduláció 1

Analóg moduláció: Morse jel vétele

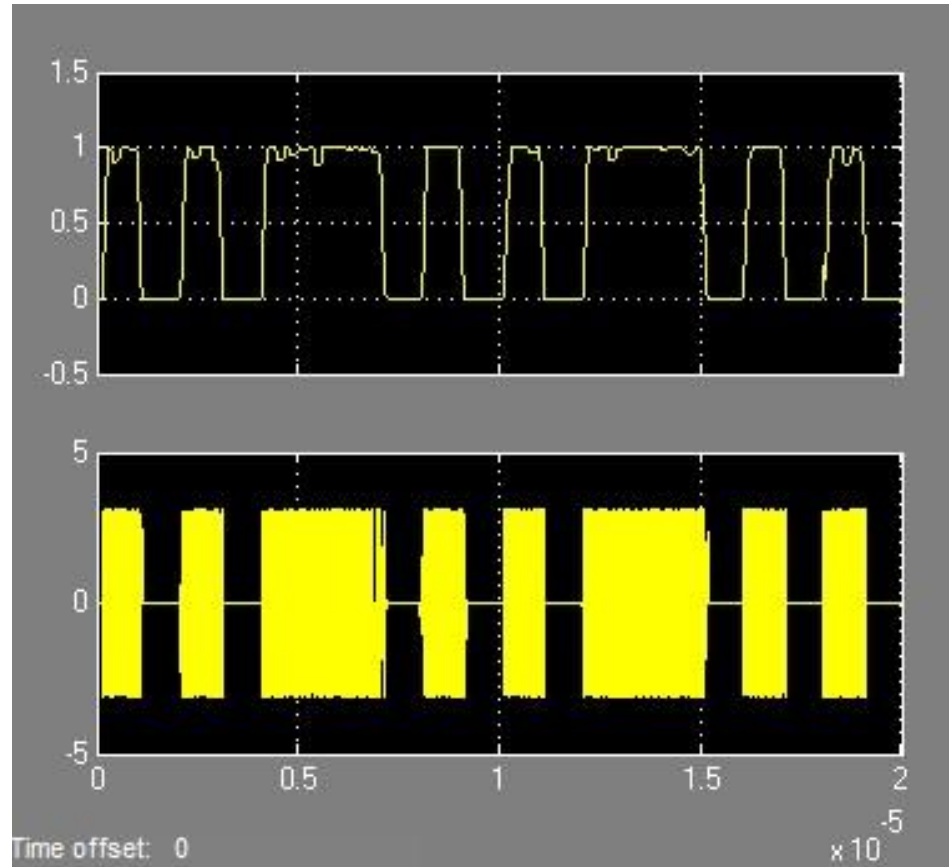
A jel időfüggvénye a zajcsökkentés előtt:



Keskeny sávú moduláció 2

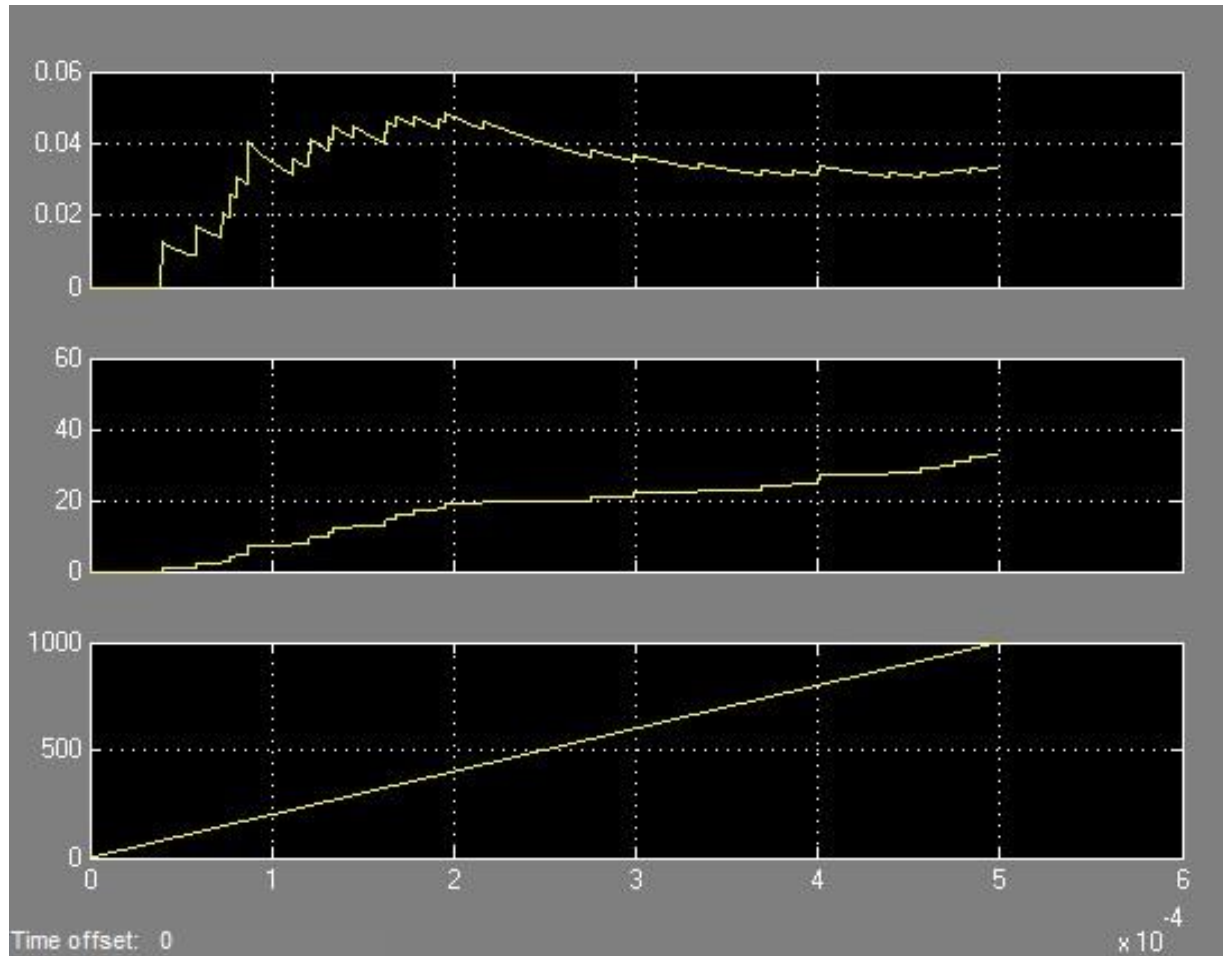
Analóg moduláció: Morse jel vétele

A jel időfüggvénye a zajcsökkentés után:



Keskeny sávú moduláció 3

Digitális moduláció: 4QAM, **csatorna SNR=-19 dB**

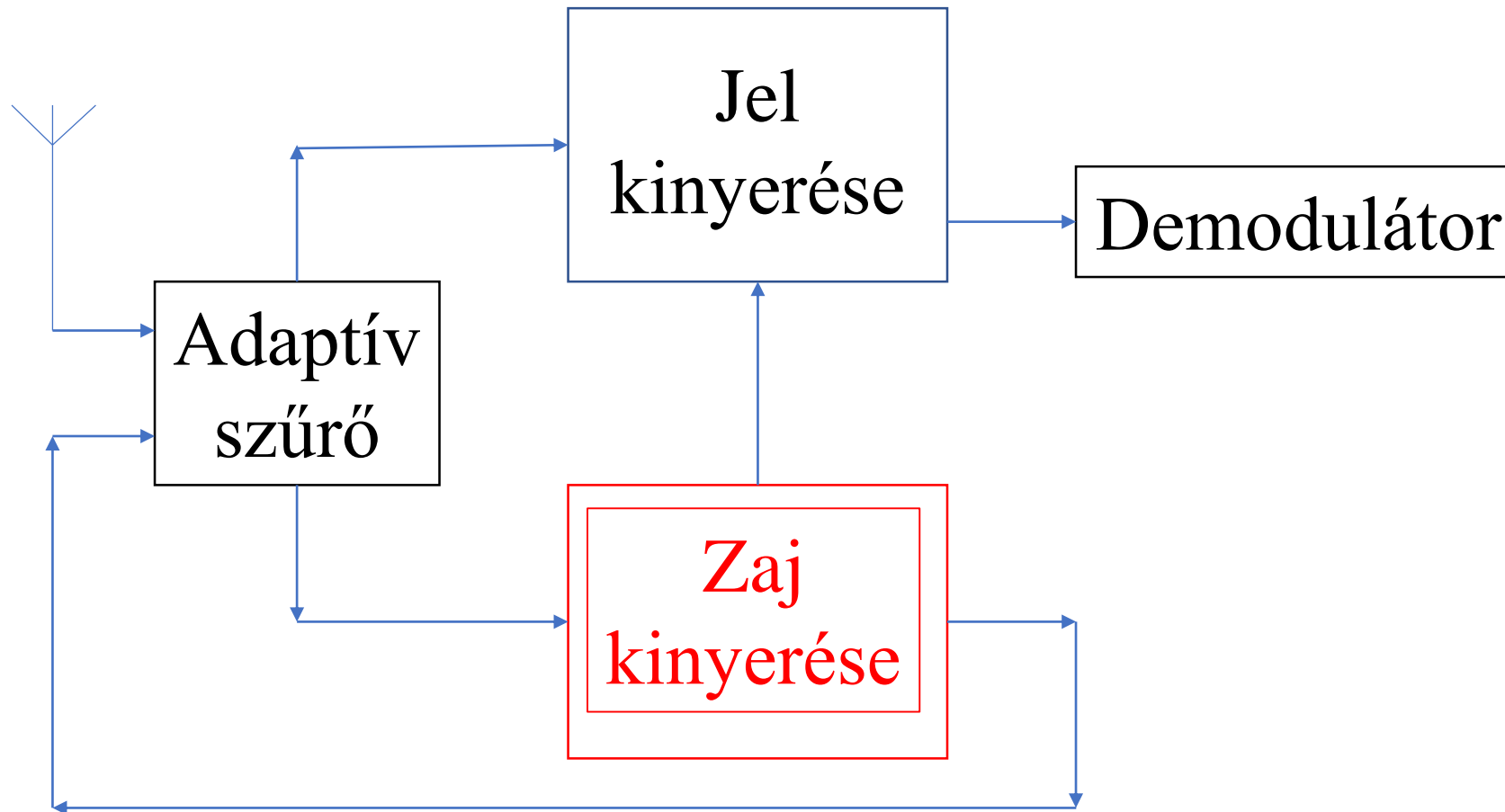


Szimbólum-hibaarány

A hibák száma

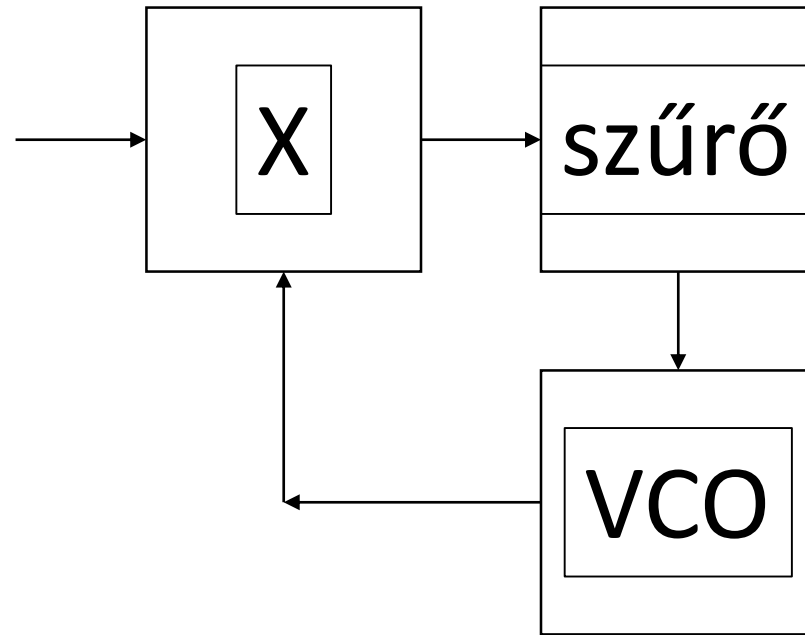
Az összes szimbólum

A megoldás (ism.)



Zaj kinyerése PLL-lel és Costas hurokkal

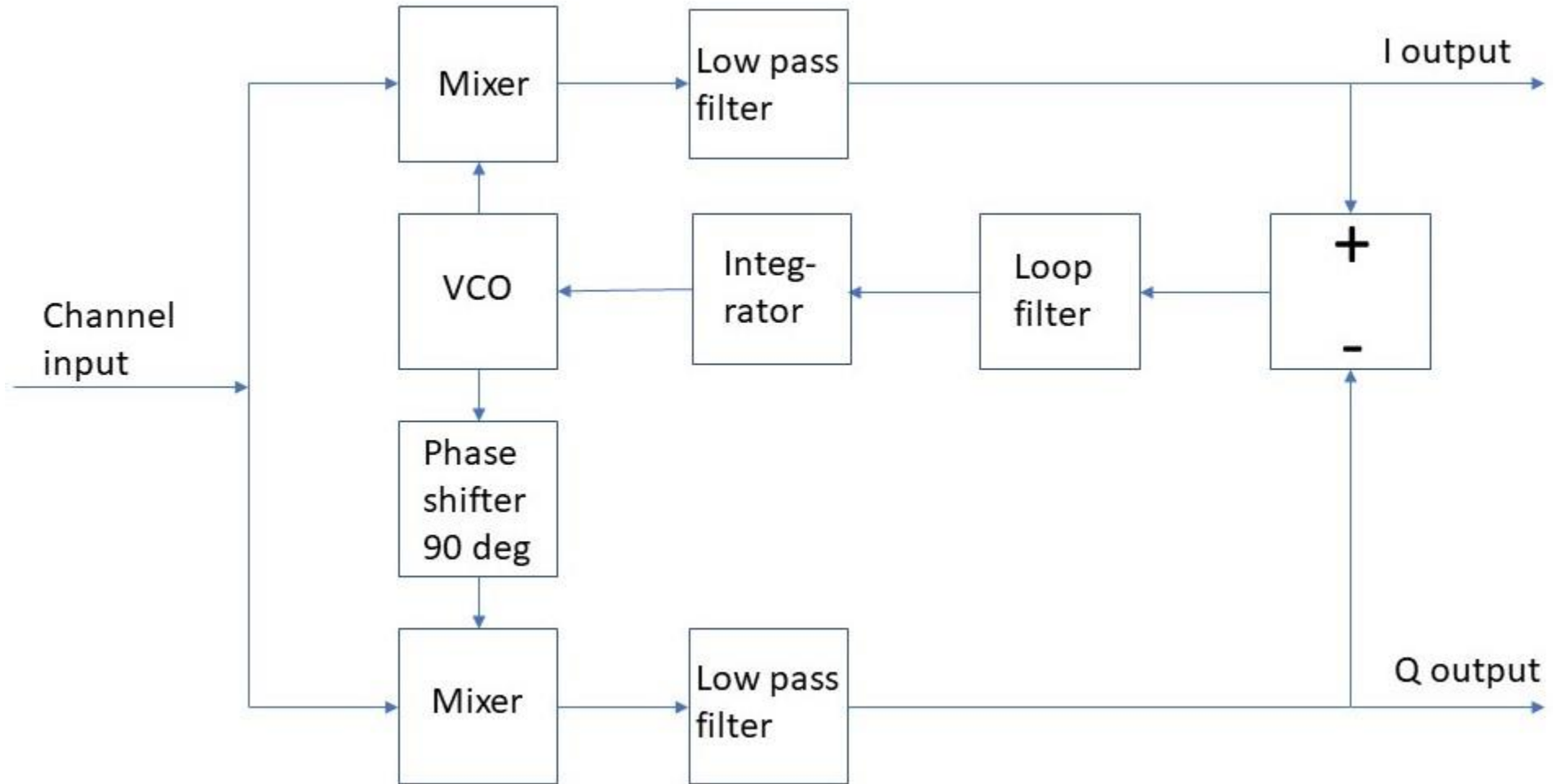
PLL:



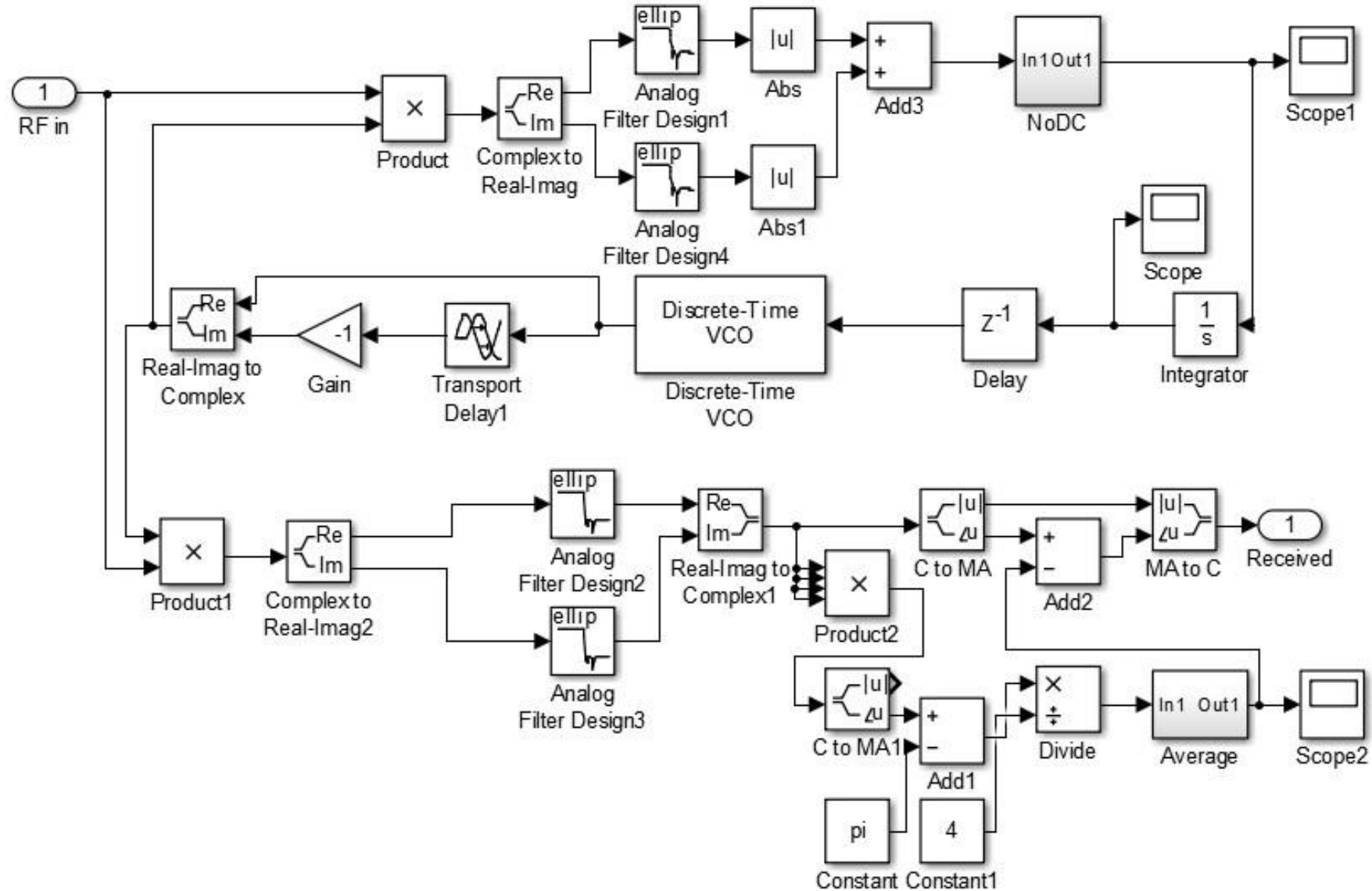
Costas hurok:

A szorzó és a VCO komplex

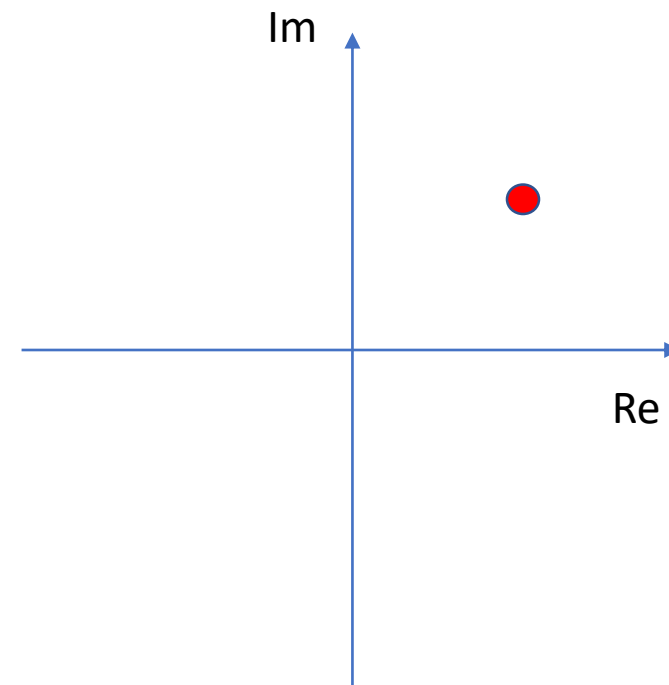
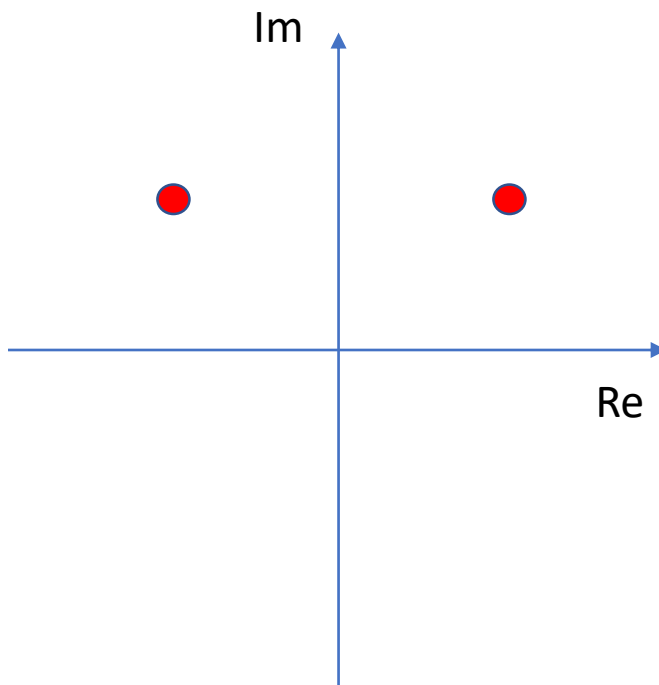
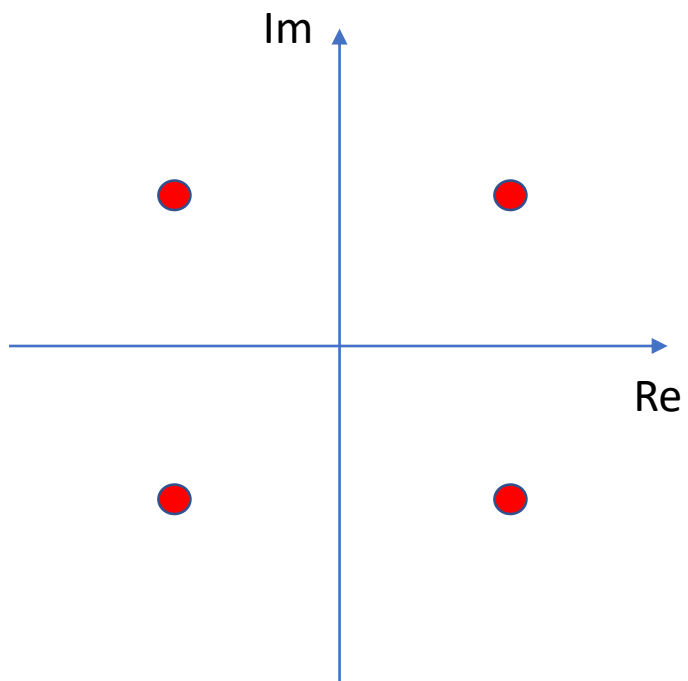
Costas hurok, alap változat



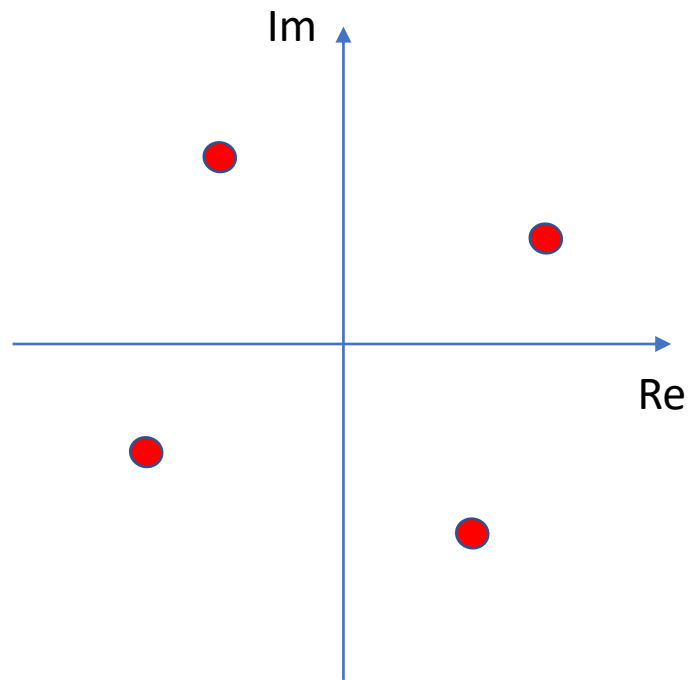
Módosított Costas hurok hajtogató módszerrel



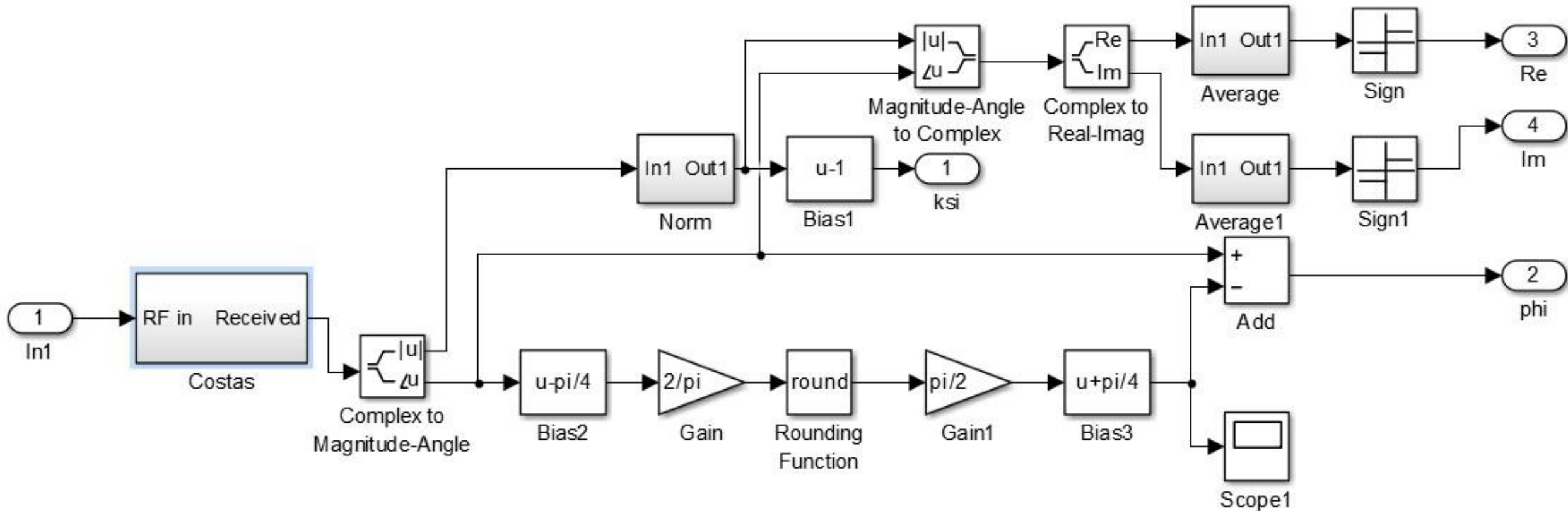
Hajtogató módszer



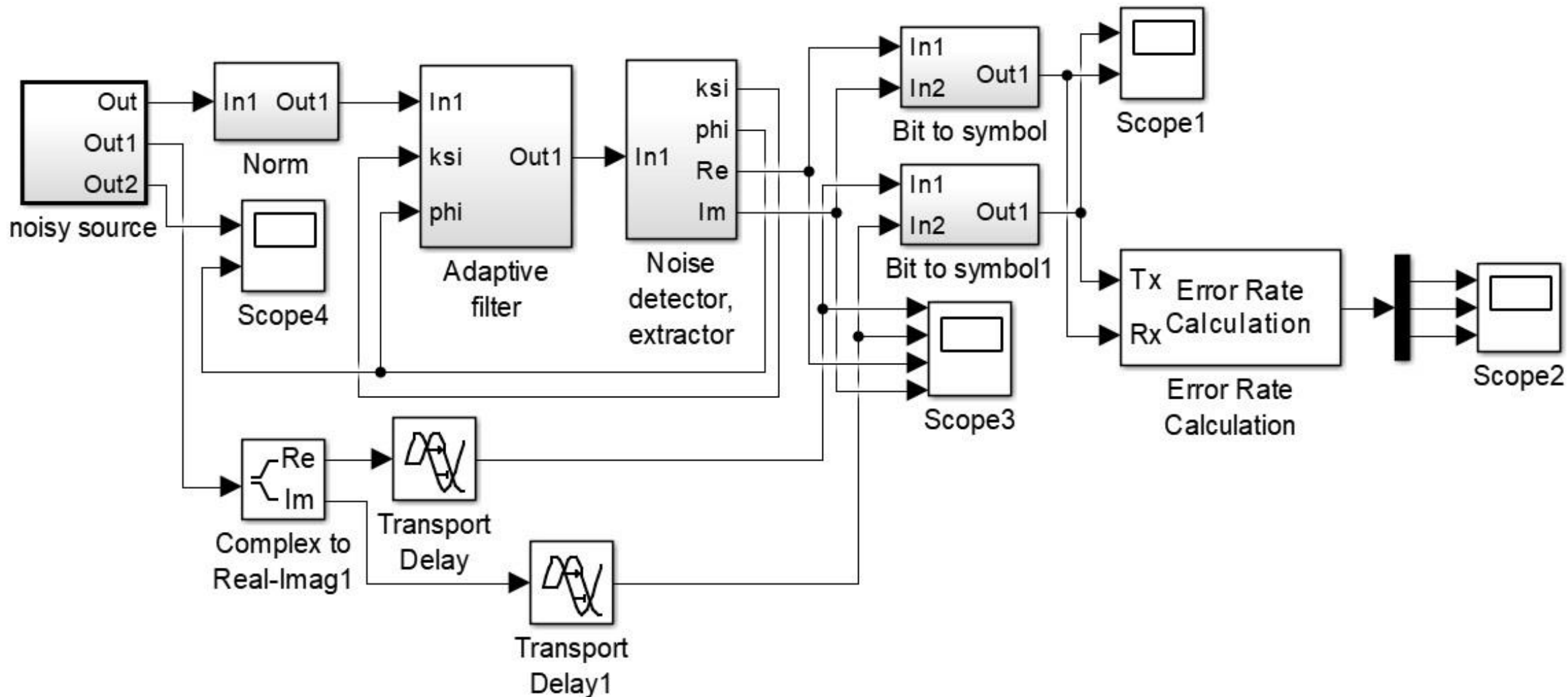
A szűrők és késleltetések hatása



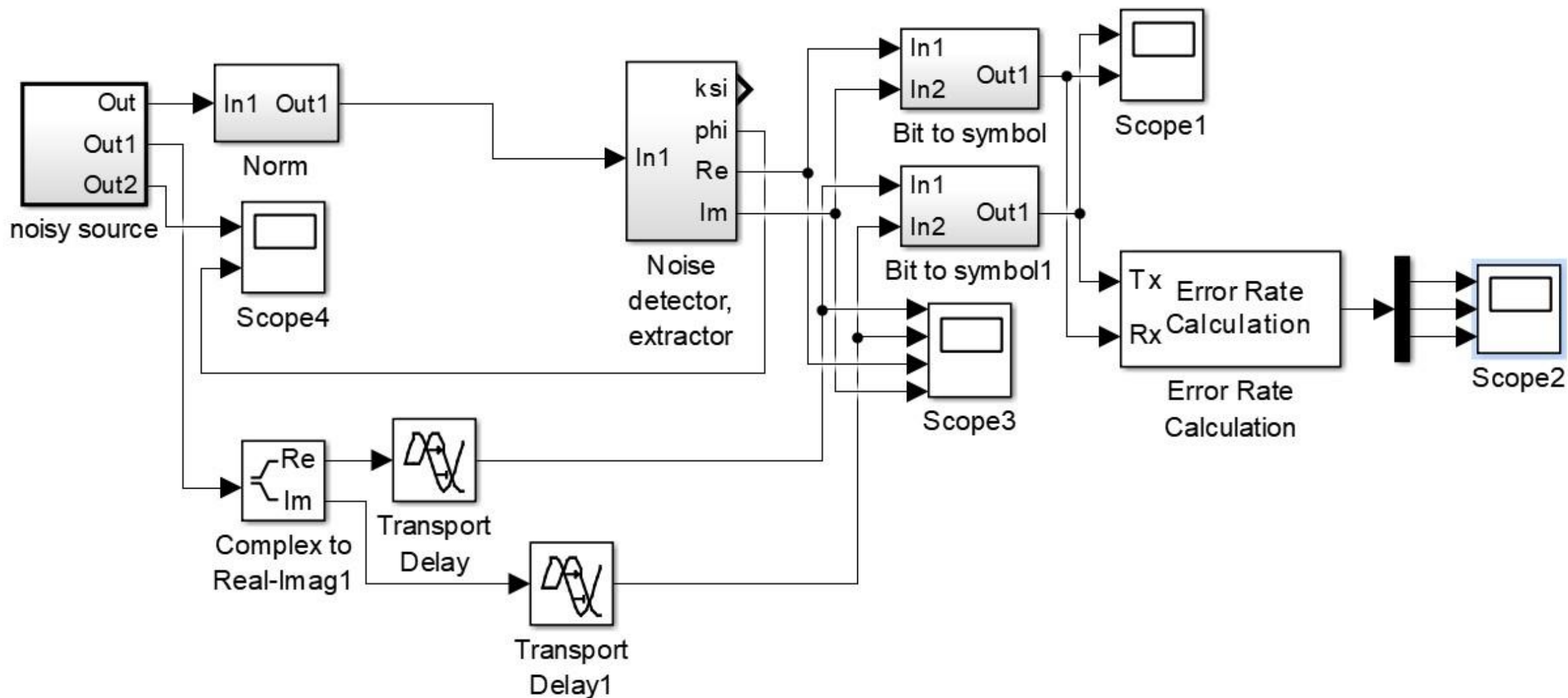
A zaj kinyerése 4QAM moduláció esetén



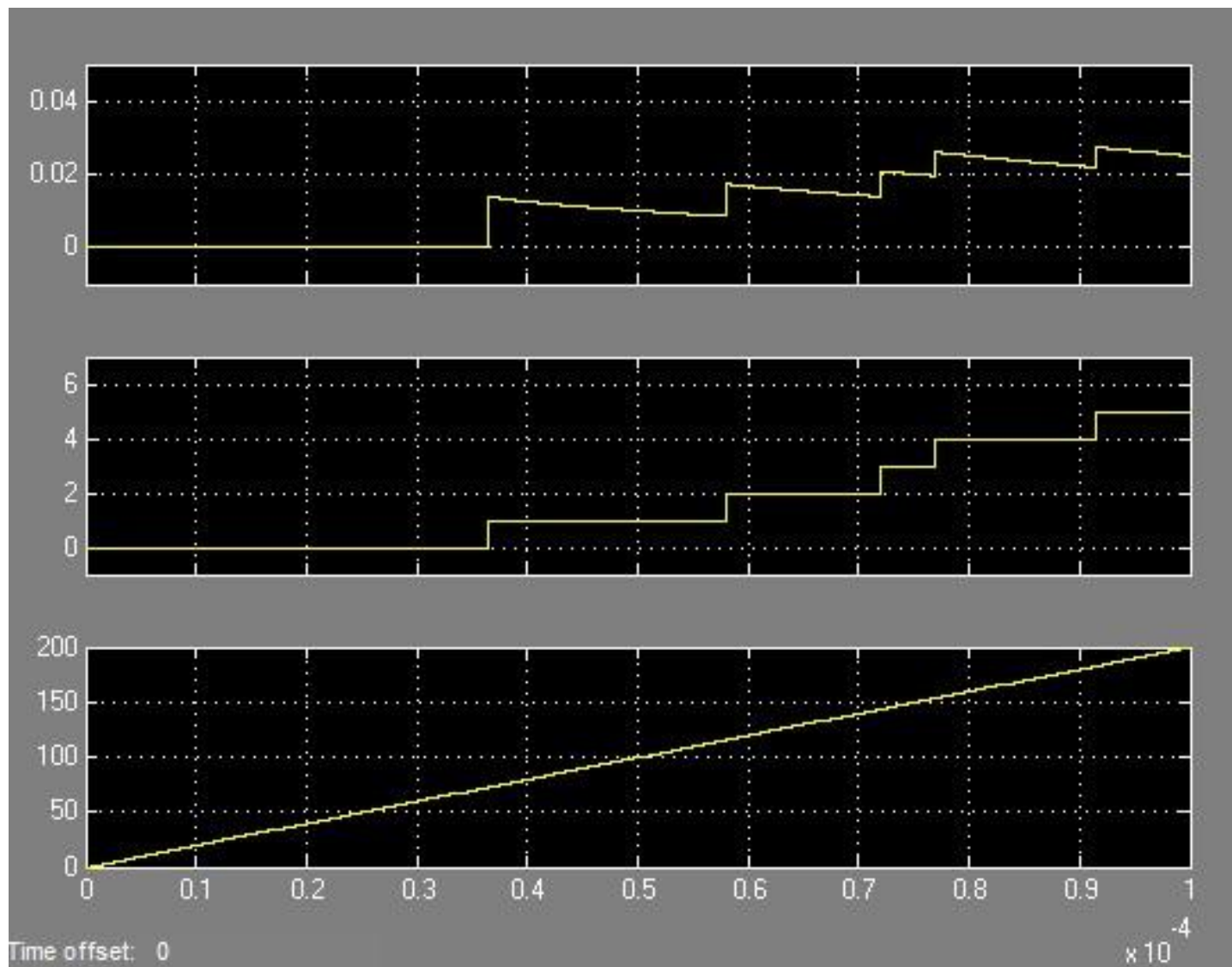
A korrelálatlan és a korrelált eset összehasonlítása 1



A korrelálatlan és a **korrelált** eset összehasonlítása 2



A korrelálatlan és a korrelált eset összehasonlítása 3

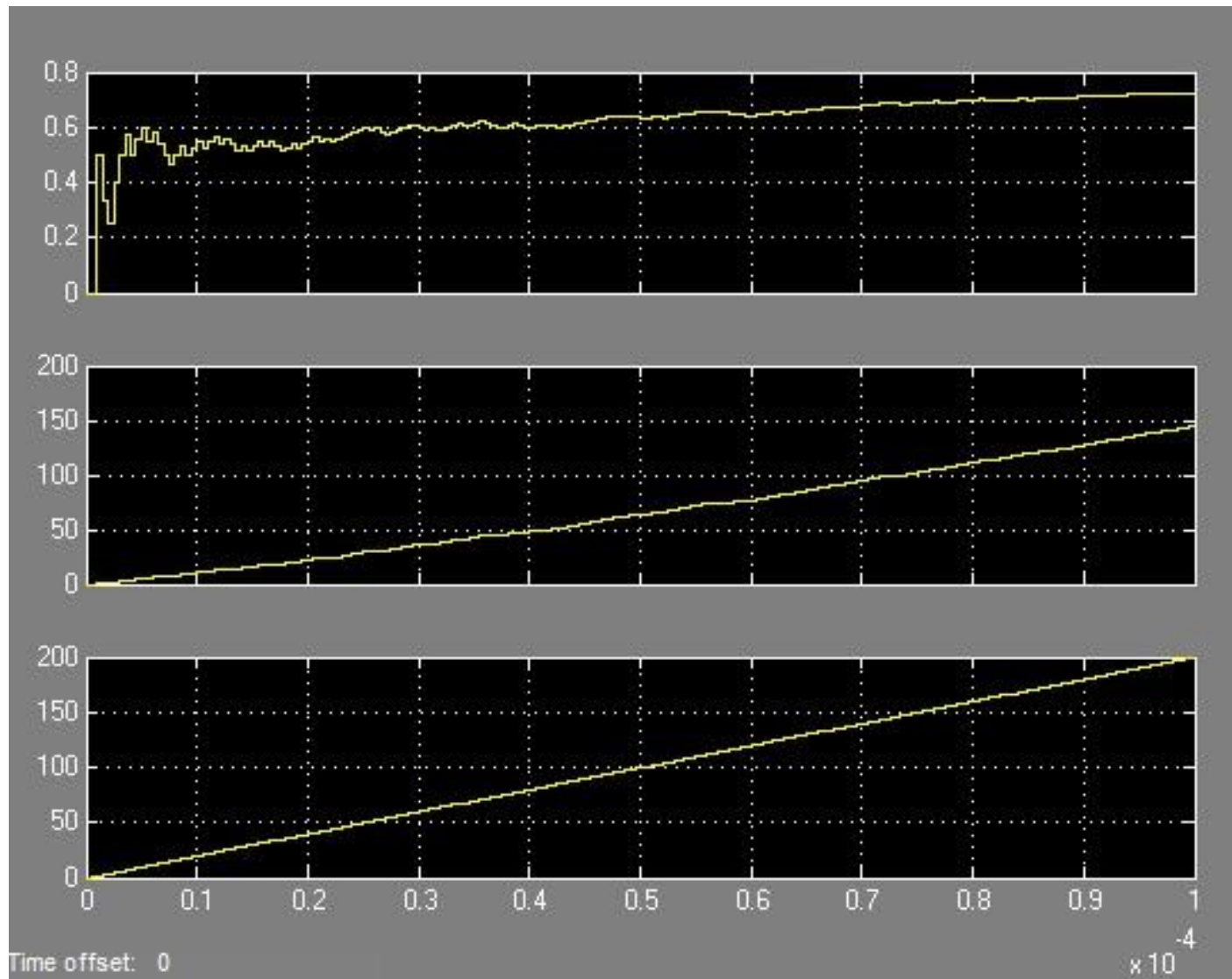


Szimbólum-hibaarány

A hibák száma

Az összes szimbólum

A korrelálatlan és a **korrelált** eset összehasonlítása 4



Szimbólum-hibaarány

A hibák száma

Az összes szimbólum

Összefoglaló áttekintés

A szuperheterodin elv továbbfejlesztése:

- A zaj korrelációjának hatása
- Zaj eltávolítása adaptív szűrővel és Costas hurokkal
- Kísérletek: 10 MHz-es kvarcoszcillátor, 1.8 GHz-es oszc.
- Példák: Morse jel, 4QAM

Jól működő Matlab/Simulink modellek

Realizáció FPGA segítségével

Köszönöm a figyelmet.