

Előerősítő 70 cm-es sávra

https://github.com/simonyisk/70cm_preamp

HA5KFU projekt

Kiss Ádám (HA8KDA), Bazsó Márton (HA7BM),
Keresztes Botond, Agócs Dániel, Pápay Levente (HA3PL)

Tartalomjegyzék

1. Célkitűzés	3
2. Kapcsolás	3
3. NYÁK	4
4. Mérés 1	4
4.1. #1-es áramkör	5
4.2. #2-es áramkör	5
4.3. #3-as áramkör	6
5. Mérés 2	7
5.1. Árnyékolás	10
5.2. Nem párhuzamos diódapár	10
6. Függelék	12
6.1. Mérési eredmények grafikusán	13

Ábrák jegyzéke

1. Az előerősítő kapcsolása	3
2. NYÁK terv a KiCAD 3D nézetében	4
3. #1-es erősítő átvitele	5
4. #2.5-ös erősítő átvitele	6
5. #3-as erősítő átvitele	7
6. Egy beforrasztott áramkör	8
7. Mérési elrendezés	8
8. Kompenzálás hatásának vizsgálata	9

9.	Az árnyékolt erősítő	10
10.	Nem párhuzamos diódapár	11
11.	#1-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő KI	13
12.	#1-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő KI	13
13.	#1-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	14
14.	#1-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	14
15.	#2-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő KI	15
16.	#2-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő KI	15
17.	#2-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	16
18.	#2-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	16
19.	#2.5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	17
20.	#3-as erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő KI	17
21.	#3-as erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő KI	18
22.	#3-as erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	18
23.	#3-as erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	19
24.	#0-ás erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	19
25.	#0-ás erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	20
26.	#2.5-ös erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	20
27.	#2.5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	21
28.	#3.5-ös erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	21
29.	#3.5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	22
30.	#4-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	22
31.	#4-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	23
32.	#5-ös erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	23
33.	#5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	24
34.	#6-os erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	24
35.	#6-os erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	25
36.	#7-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	25
37.	#7-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	26
38.	#8-as erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE	26
39.	#8-as erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE	27

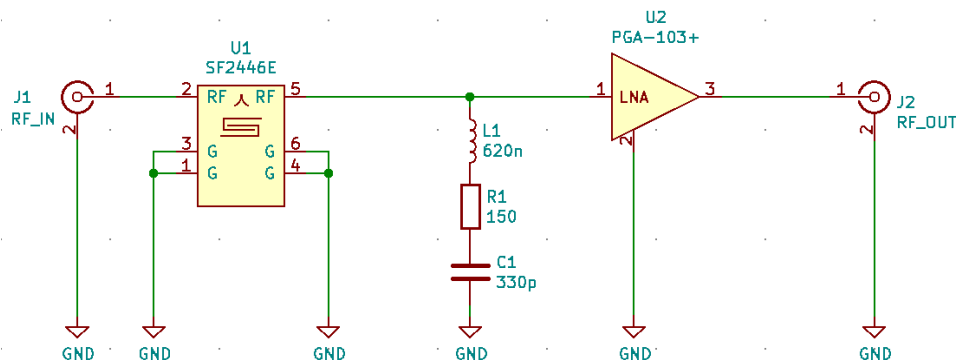
1. Célkitűzés

Az erősítő hivatása, hogy a Schönherz kollégium tetejére telepített 70 cm-es sávra készült antenna által fogott jeleket erősítse, közülük is elsősorban a SMOG-1 műholdét 437,345 MHz-en.

2. Kapcsolás

Mivel az erősítő egy rádiófrekvencián elég „szennyezett” környékre kerül felszerelésre, így fontos egy jó szűrő alkalmazása ebben a fokozatban. Az akusztikus felületi hullámszűrők kitűnőek ilyen feladatokra, ugyanis nagyon meredek levágást biztosítanak a sávszéleken. Egy ilyen alkatrészt fellelni sem volt egyszerű, de beszerezni még bonyolultabbnak bizonyult, de végül a mouseren keresztül valahogyan sikerült. A választás az SF2446E[1] néven futó áramkörre esett, melynek a minimum beszerzési mennyisége 10 db volt.

Mint a legtöbb vételi berendezésben, itt is egy alacsony zajú előerősítő kerül a vételi lánc elejére. Előzőekben már épült egy hasonló kapcsolás egy ADL5523[2]-as IC felhasználásával, de amikor kiderült, hogy az akusztikus szűrőből minimum 10-et kell rendelnünk, felmerült az ötlet, hogy gyártunk le 10 db áramkört, és a maradékra majd valahonnan kerítünk vevőt – végül nem kellett sokat keresni, a nagy részük elkelt a klubon belül. Erősítőnek végül a Mini-Circuits PGA-103+[3] terméke került kiválasztásra – szintén a mouseről – ugyanis kellően alacsony a zajtényezője, valamint 22 dB erősítést ígér 400 MHz-en, és végül, de nem utolsó sorban olcsóbb, mint egy ADL5523[2]-as.



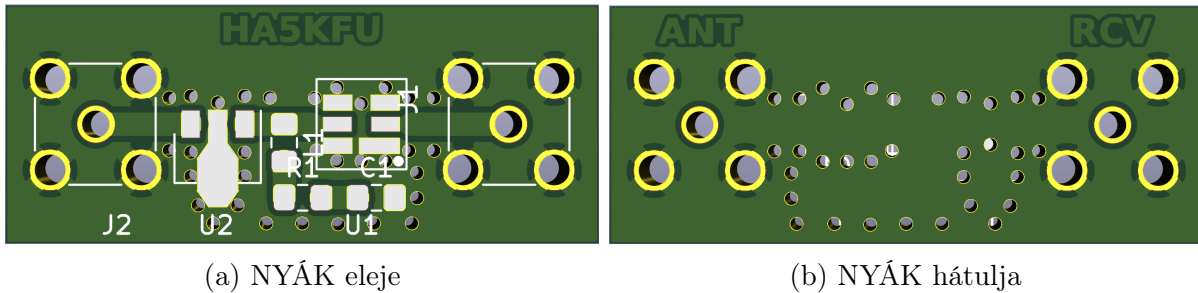
1. ábra. Az előerősítő kapcsolása

Alapesetben az erősítő a szűrő elé kerülne, ugyanis az eredő rendszernek így kedvezőbb lesz a jel-zaj viszonya. Viszont mint említésre került, a telepítési hely RF szempontból elég „szennyezett”, így féltő, hogy a nagy sávszélességű erősítőt könnyen túlvezérlik a számunkra érdektelen jelek. Ebből a megfontolásból a szűrőt az erősítő elé helyeztük, hogy csökkentsük a bele jutó összteljesítményt.

Amikor a NYÁK már majdnem gyártásba lett adva, Levente felhívta a figyelmünket egy kiegészítő dokumentumra[4], mely az erősítőhöz megad egy kompenzáló hálózatot, ugyanis nélküle az áramkör 100 MHz alatt nem lenne stabil. Így ez a 3 passzív alkatrészből álló kiegészítés az utolsó pillanatban még a tervre került. A végleges kapcsolás az 1-es ábrán látható.

3. NYÁK

A hordozót elég kis méretűre meg lehetett csinálni, ugyanis mindösszesen 7 alkatrészt tartalmaz. A jelet vivő tápvonal úgy lett kialakítva, hogy a hullámimpedanciája $50\ \Omega$ -os legyen, ez főként azért lett ilyenre megcsinálva, hogy Marci gyakorolja CST-s szimulációs képességeit. Az elkészült rajzolat a 2-es ábrán látható, mely egy kétrétegű, 1 mm vastag hordozóra lett elkészítve.



2. ábra. NYÁK terv a KiCAD 3D nézetében

Némi megfontolást igényelt, hogy az áramkörünk hordozóját az Elektronikai Technológia Tanszéken, vagy egy keleti üzemben gyártassuk le. A döntő szempont végül a sebesség volt, ugyanis a SMOG-1 indítása rohamosan közeledett, és szerettünk volna elkészülni vele, így az ETT-re esett a választás, ugyanis a keletről történő postázás időtartama viszonylag hosszú és olykor kiszámíthatatlan.

4. Mérés 1

Miután elkészült néhány példány az áramkörből, ezek bemérésre kerültek a BME V1 épületében található Rohde & Schwarz laboratóriumban. A méréshez használt eszközök egy R&S ZVRE vektor hálózat analízátor, illetve egy R&S ESCS30 típusú jelanalizátor, mellyel gerjedést mértünk a 100 kHz - 1 GHz tartományon – utóbbi mérési eredmények külön nem kerültek elmentésre. Az áramkörök táplálásához Yume tápfeladóját, egy LM7805-öst, és egy R&S NGMO2-es típusú labortápot használtunk, melynek kimenetét 8 V-ra állítottuk.

A bemért áramkörök:

- #1: Szűrő + erősítő + kompenzáló hálózat
- #2: Szűrő + erősítő + kompenzáló hálózat
- #2.5: #2-es áramkör javítás után (erősítő nem megfelelő forrasztása)
- #3: Szűrő + erősítő

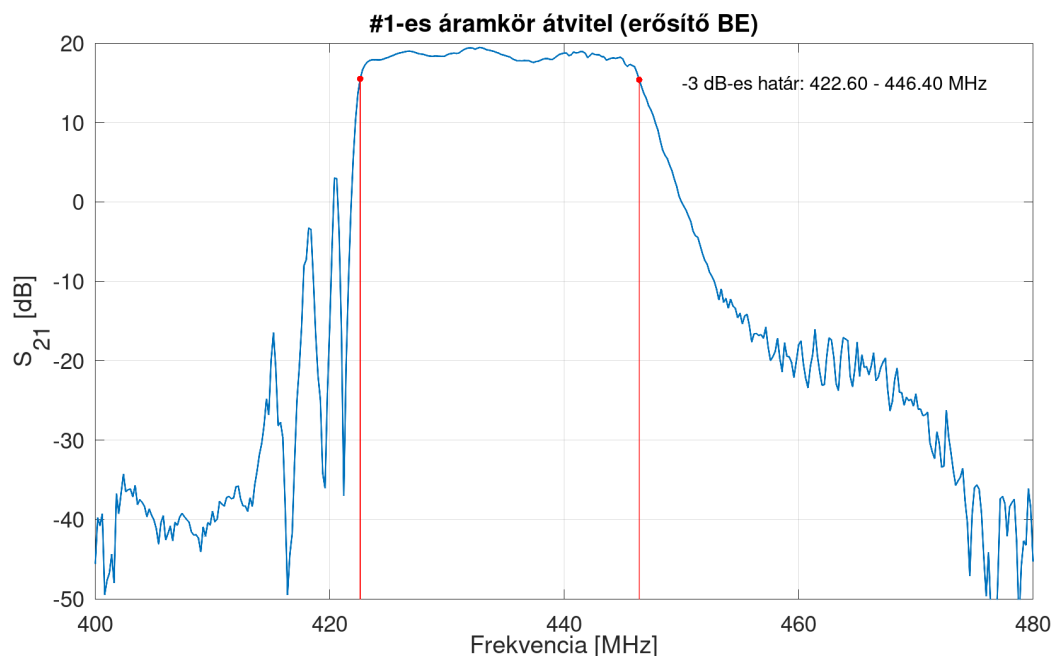
Mivel a klubban nem voltak fellelhetőek a kompenzáló hálózathoz szükséges pontos értékek, így az a következő értékekkel lett megvalósítva:

- L1 220 nH
- R1 150 Ω
- C1 330 pF

Az áramkörökről összesen 14 mérés készült (ebből 13-at el is mentettünk, az utolsót elfelejtettük). A következőkben a legfontosabbak kerülnek ismertetésre, a többit pedig a Függelék (6) tartalmazza.

4.1. #1-es áramkör

A 3-as ábrán az áramkör átvitele (S_{21} paraméter) látható.



3. ábra. #1-es erősítő átvitele

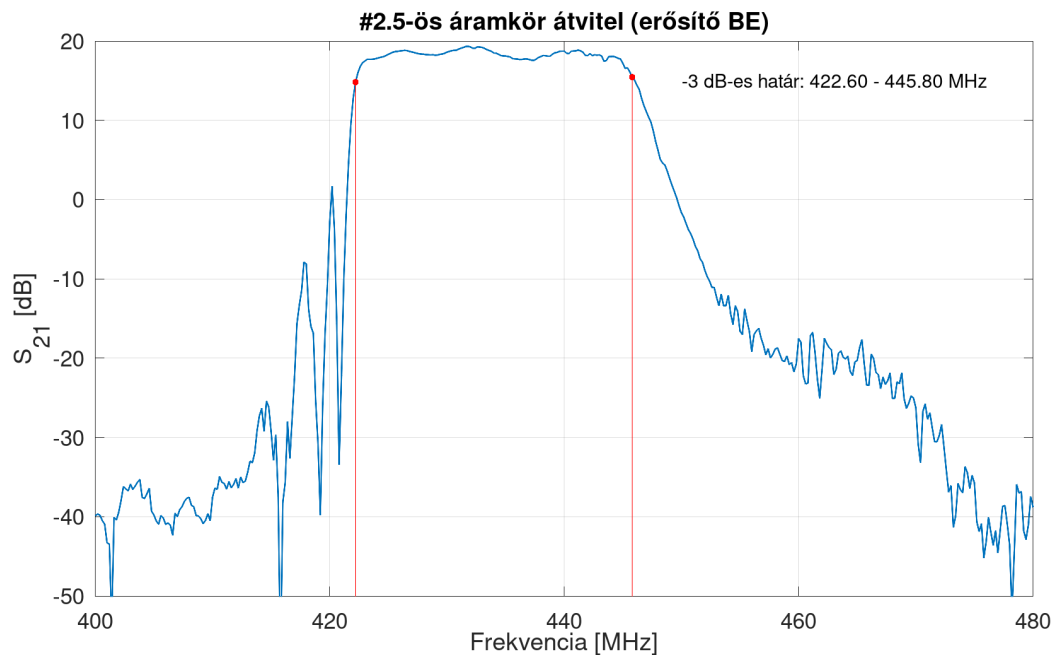
A mérés nagyságrendileg megegyezik az elvárásokkal. Az erősítőtől ebben a tartományban 22 dB erősítést várunk, míg a szűrő nagyjából 2 dB-t csillapít, avagy közel a várt eredményt kaptuk. A sávszélesség is jól egyezik a szűrő adatlapjában[1] megadott 23 MHz-el. Az erősítő áramfelvétele is (95 mA) közel van az adatlapi[3] értékhez, így összességében kijelenthető, hogy az áramkör az elvártnak megfelelően működik.

A vizsgálatok során nem találtunk gerjedésre utaló jeleket, így kijelenthető az is, hogy az alternatív értékekből összerakott kompenzáló hálózat is megfelelően ellátja feladatát.

4.2. #2-es áramkör

Ez az áramkör először nem működött rendeltetésszerűen, ugyanis az erősítése gyanúsán alacsony volt. Egy gyors mikroszkóp alatti szemrevételezés után kiderült, hogy ennek oka,

a nem megfelelően beforrasztott erősítő volt. A hiba javítása után a 4-es ábrán látható átvitelt kaptuk.



4. ábra. #2.5-ös erősítő átvitele

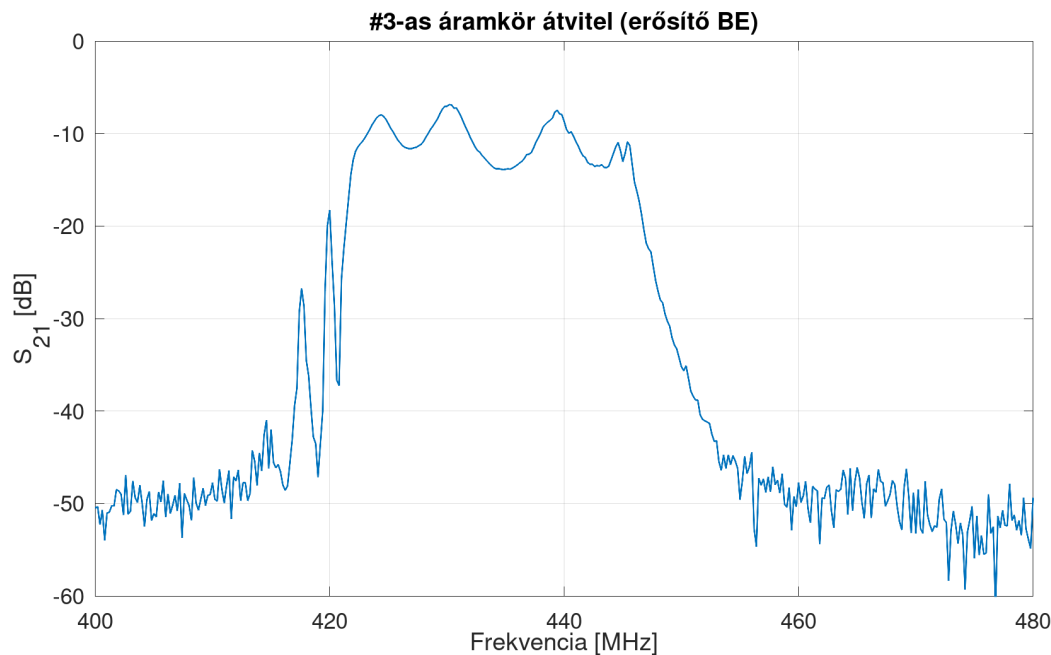
Látható, hogy az átvitel jellege megegyezik az #1-es áramkörnél mérttel, így erről is elmondható, hogy megfelelően működik. Ez a kapcsolat eleinte mutatott gerjedés gyanús jeleket, melyeket a későbbiek során nem sikerült reprodukálnunk. Feltételezhetően a spektrumbeli kitüremkedések egy tranziensjelenség miatt következtek be. A további mérések során az áramkör stabilnak bizonyult.

4.3. #3-as áramkör

Miután megtaláltuk a kiegészítőt az adatlaphoz[4], kíváncsiak voltunk, hogy vajon hogyan viselkedne az áramkör, ha nem építjük bele az ajánlott kompenzáló hálózatot. Ezért a harmadik áramkör csak a szűrőt és az erősítőt tartalmazta. A mérés eredménye a 5-ös ábrán látható.

Megfigyelhető, hogy a szűrő amplitúdómenete az áteresztő sávban jóval hullámosabb az adatlapban [1] és az előző mérésekben látottnál. Ez a szűrő illesztetlenségére utalhat, ami azért különös, mert elméletileg minden eszközünk ki- és bemeneti impedanciája is $50\ \Omega$ -os. Látható az is, hogy az erősítő bekapcsolásakor is csak -10 dB az átvitel, ami nem éppen nevezhető erősítőnek. Ezt a kapcsolást is megvizsgáltuk gerjedés szempontjából, de itt sem tapasztaltunk semmi ráutaló jelet.

1-2 nappal a mérések után felmerült bennem, hogy lehet, ennél a kapcsolásnál is volt nem megfelelő forrasztás, ugyanis szerintem a kompenzáló hálózat hiányának nem szabadna ekkora csillapítást okoznia (30 dB-lel voltunk az elvárt szint alatt). A szűrőnek a megváltozott amplitúdómenetéből valószínűsíthető, hogy összességében a kompenzáló hálózat hiánya befolyással van az áramkör viselkedésére, viszont nem zárható ki, hogy volt egyéb tényező – a kiegészítő hálózaton kívül – ami befolyásolta az eredményt. Ezért



5. ábra. #3-as erősítő átvitele

nem jelenthető ki egyértelműen, hogy ez a mérés a kompenzáló hálózat átvitelre gyakorolt hatását szemlélteti.

5. Mérés 2

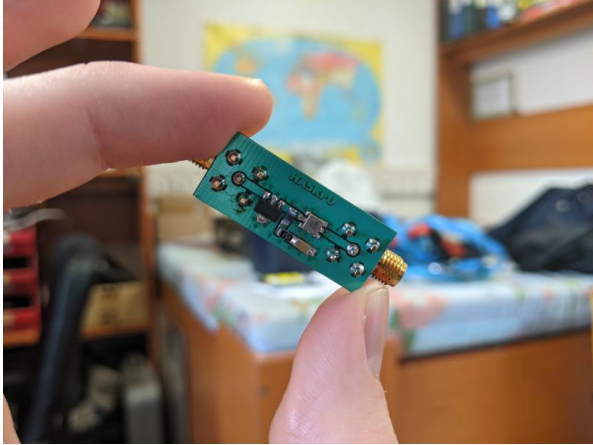
Miután az első mérésekkel igazoltuk, hogy az alapkoncepció működőképes, megrendeltük a szükséges passzív alkatrészeket és csatlakozókat[5], majd ismét beköltöztünk egy délután erejéig a BME V1 épületében található Rohde & Schwarz laboratóriumba, hogy beferrasszuk az áramköröket, és méréssel igazoljuk működésüket.

A méréshez használt eszközök egy R&S ZVRE vektor hálózat analízátor, illetve egy R&S ESCS30 típusú jelanalízátor, mellyel gerjedést mértünk a 100 kHz - 1 GHz tartományon – utóbbi mérési eredmények külön nem kerültek elmentésre. Az áramkörök táplálásához Yume tápfeladóját, egy LM7805-öst, és egy R&S NGMO2-es típusú labortápot használtunk, melynek kimenetét 8 V-ra állítottuk. A mérési elrendezés a 7-es ábrán látható – a labortápot leszámítva.

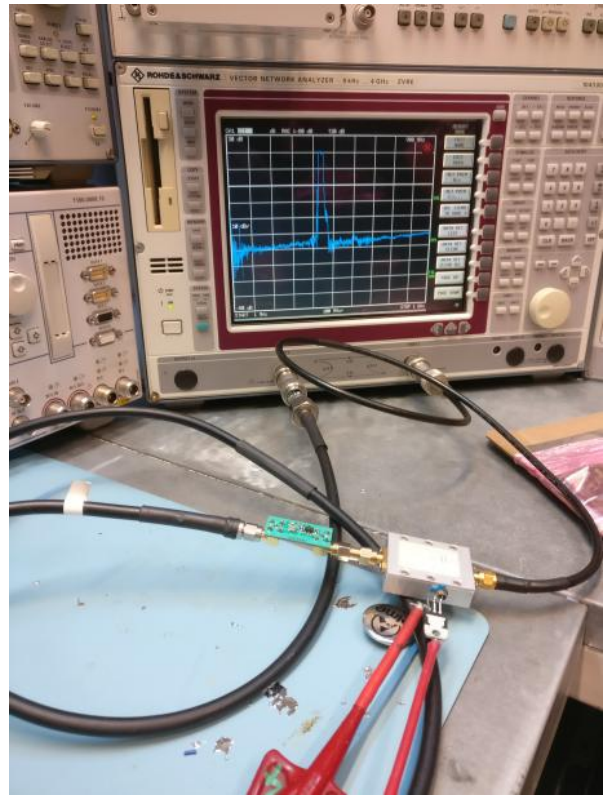
A módszertanon annyit változtattunk az előző alkalomhoz képest, hogy a VNA-t úgy kalibráltuk, hogy a két portját összecsatoltuk, közbeiktatva a tápfeladót, és rákapcsolva a tápegységet. Így – mint látni fogjuk – a várthoz közelebbi eredményeket kaptunk, mint előző alkalommal, amikor csak a mérőkábelek lettek kikompenzálva.

Mivel a Lomex-ben nem voltak kaphatók pont azok az értékek, melyeket az előzőekben kipróbáltunk, így a kompenzáló hálózat értékei a következők lettek:

- L1 330 nH[6]
- R1 150 Ω [7]
- C1 330 pF[8]



6. ábra. Egy beforrasztott áramkör



7. ábra. Mérési elrendezés

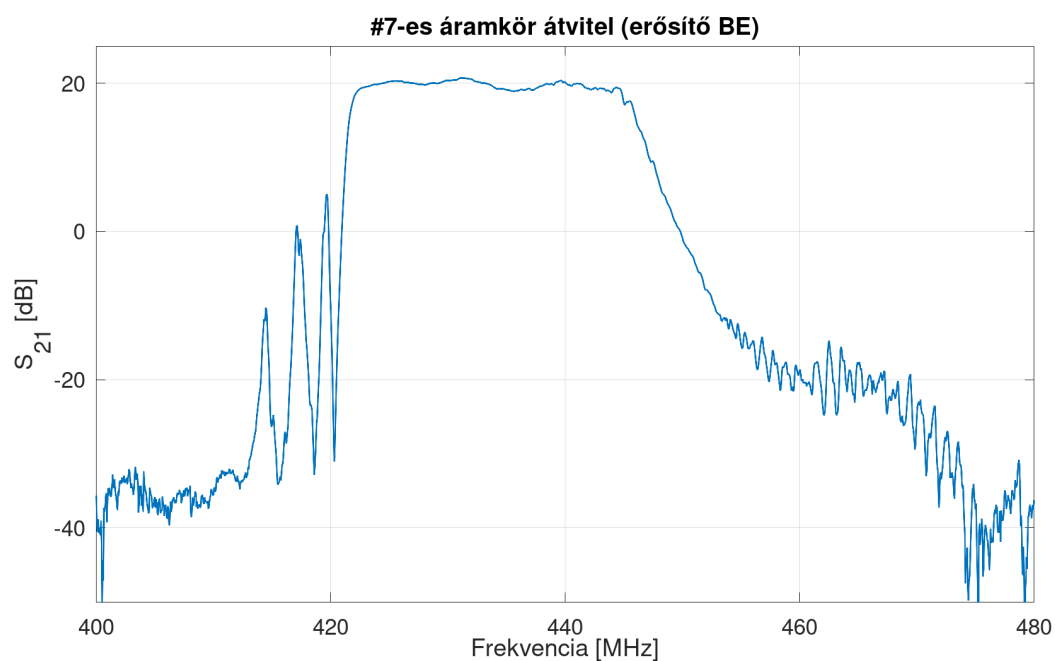
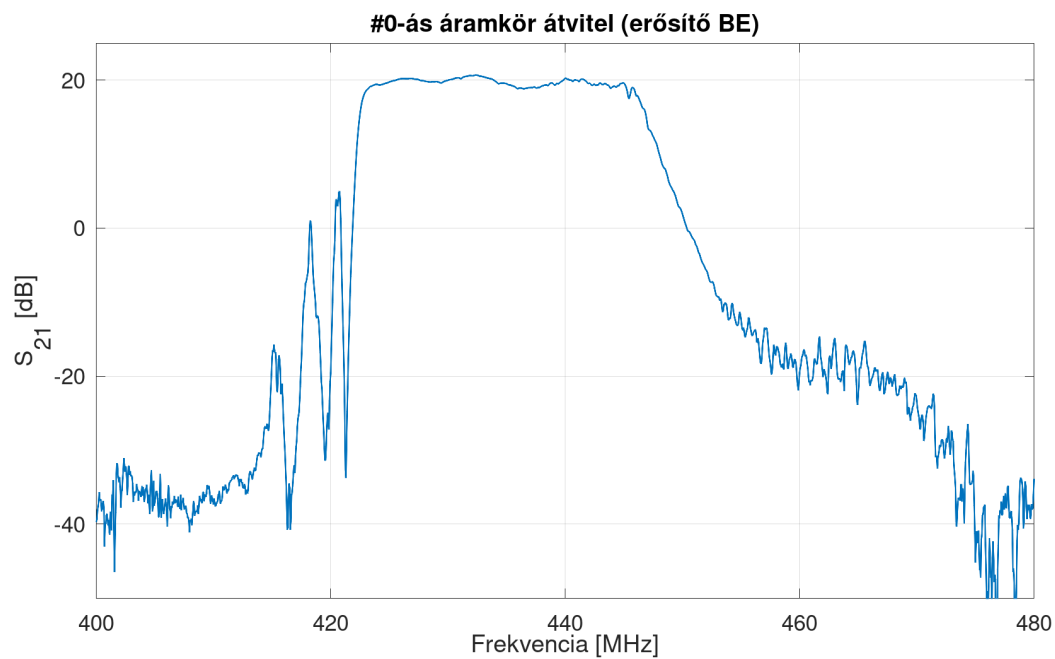
Az alábbi áramkörök kerültek megépítésre és bemérésre (az összes alkatrészt tartalmaz-
zák, kivétel ahol másként van feltüntetve):

- #0: #7-es áramkör kompenzálóhálózat nélkül
- #2.5: lásd: 4 és 4.2 pont
- #3.5: #3-as áramkör javítás után (szűrő nem megfelelő forrasztása)
- #4
- #5
- #6
- #7
- #8

A nap végére az összes beforrasztott áramkör működőképes volt, és az elvártan meg-
felelően üzemelt.

Mivel kiderült, hogy az előző alkalommal valóban egy rosszul beforrasztott áramkö-
rön tanulmányoztuk a kompenzáló hálózat hatását, így megismételtük a mérést, ezúttal
különös tekintettel a forrasztásra. A mérési eredményeket a 8-as ábra veti össze.

Látható, hogy a két áramkör között nincsen jelentős eltérés az átviteli sávban, mind-
össze annyi különbség figyelhető meg, hogy a 8a esetben az áteresztő sáv enyhén felfelé



8. ábra. Kompenzálás hatásának vizsgálata

tolódott el frekvenciatartományban. A jelanalizátoron végzett mérés sem mutatott észlelhető gerjedést a 100 kHz - 1 GHz-es tartományban.

Végeredményben a mi méréseink alapján ezen alkalmazáshoz nem nélkülözhetetlen a kompenzáló hálózat, ennek ellenére az ajánlásnak megfelelően beforrasztottuk őket.

5.1. Árnyékolás

Mivel a HA5KFU-nak gyártott példány egy erősen „RF szennyezett” környezetbe kerül – Schönherz teteje – így úgy döntöttünk, hogy a tetőre kerülő példányt (#3.5-ös áramkör) bedobozoljuk, hogy védjük ezen zavarok ellen. Az árnyékoló dobozba[9] szerelt áramkör a 9-es ábrán látható (az egyes csatlakozók funkcióját természetesen feliratozással jeleztük a szintén az ábrán látható alkoholos filctollal). Az egyszerűbb dobozolás érdekében itt a korábban látott 90°-os SMA csatlakozók helyett egyeneseket használtunk[10].



9. ábra. Az árnyékolt erősítő

A jelanalizátorral végzett mérések a következő eredményt adták:

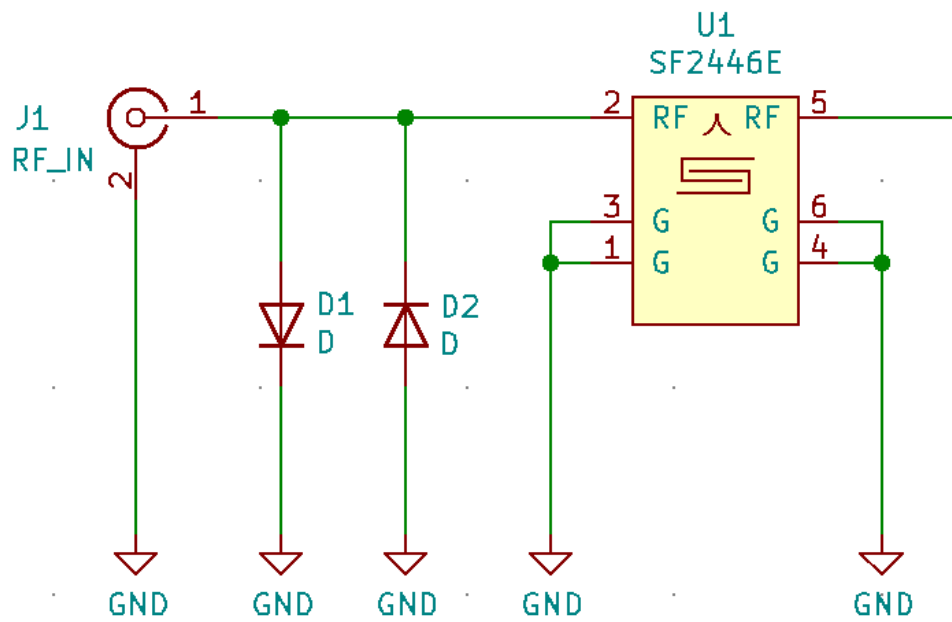
Árnyékolás nélkül a spektrumban kb. -80 dBm szintű csúcsok láthatóak 100 MHz, 800 MHz és 900 MHz környékén, melyek rendre az FM adók, LTE hálózat illetve a GSM hálózat. Az árnyékolt áramkör összeszedett zavarait nem tudtuk kimutatni, ugyanis nem töremkedtek az analízátor -90 dBm-es zajszintje fölé.

A mérés alapján kijelenthető, hogy az árnyékolás kedvező hatással van a zajszintre, az összeszedett zavarok szintjét -90 dBm alá csökkentette (a mérés helyszínén).

5.2. Nem párhuzamos diódapár

Tartunk tőle, hogy a tetőre kihelyezett gamma illesztésű antenna elektrosztatikusan feltöltődik, és egy esetleges kisülés károsítja a felületi szűrőnkét. Ennek orvoslására egy ellentétes polaritással bekötött diódapárt helyeztünk a szűrő elé (a 10-es ábrának megfelelően), hogy az esetlegesen felgyülemmlő töltéseket ki tudja egyenlíteni. A választásnál fontos volt, hogy kis kapacitású diódákat[11] használjunk, mivel ezek esetlegesen elhangolhatnák a szűrőt, és az átviteli sávot.

Mivel ez egy utólagos ötlet volt, így ezen alkatrészeknek nem lett külön hely kialakítva



10. ábra. Nem párhuzamos diódapár

a NYÁK-on, hanem a csatlakozó lábai közé lettek „begányolva”.

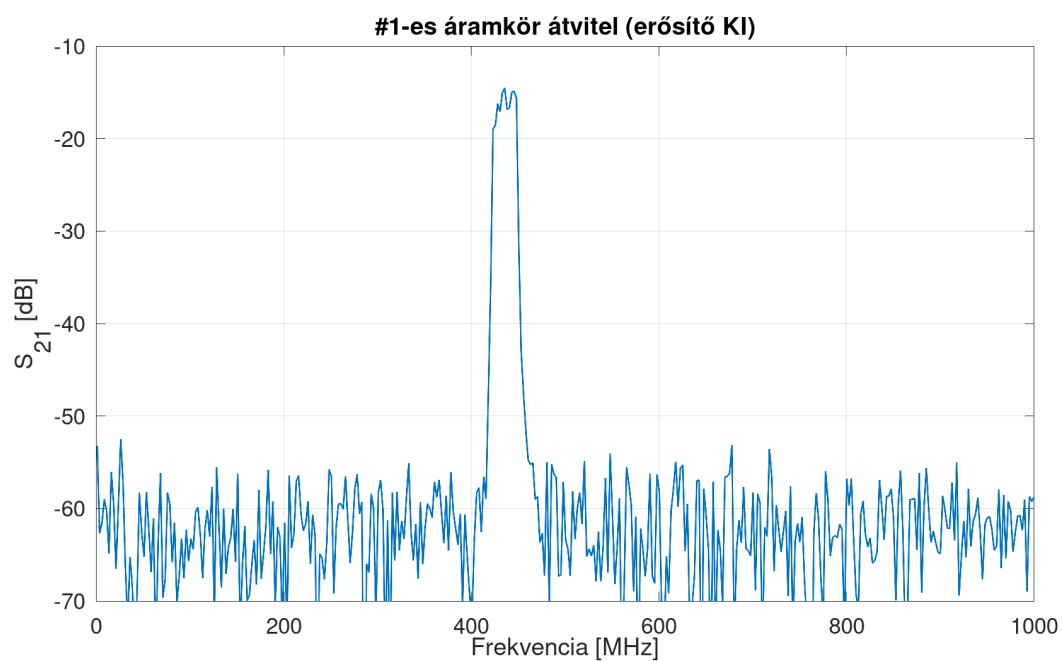
A beépítés utáni mérések azt mutatták, hogy a beiktatott diódák nem befolyásolják kimutatható mértékben az erősítő átvitelét.

6. Függelék

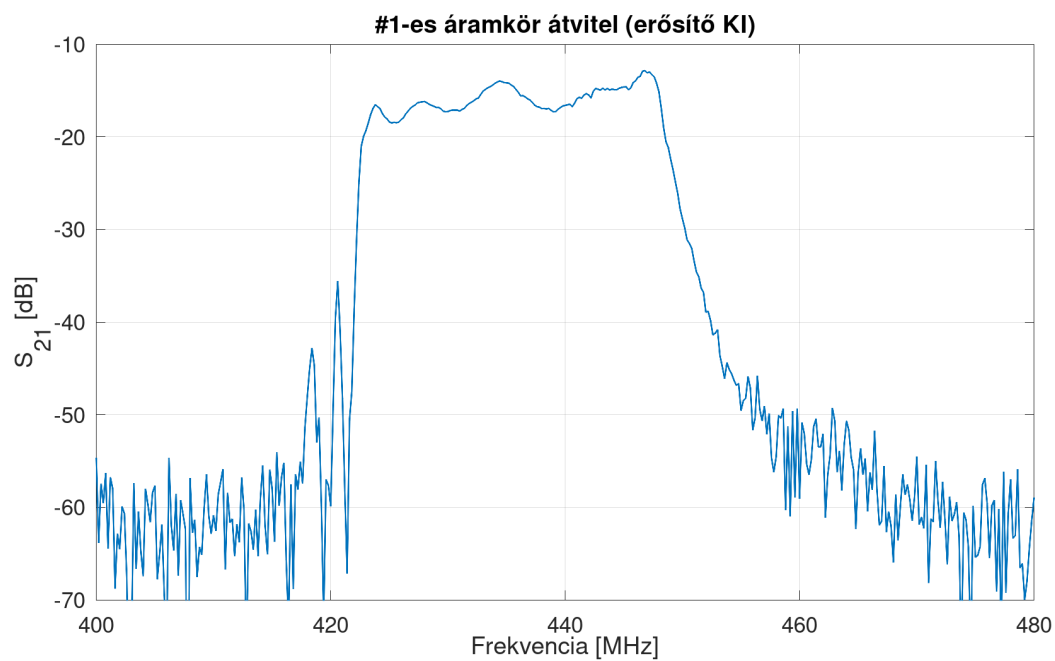
Hivatkozások

- [1] **SF2446E** <https://www.rfmi.co/pdf/Datasheet/sf2446e.pdf>
- [2] **ADL5523** <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADL5523.pdf>
- [3] **PGA-103+** <https://www.minicircuits.com/pdfs/PGA-103+.pdf>
- [4] **PGA-103+** **kompenzáló hálózat** <https://www.minicircuits.com/app/AN60-064.pdf>
- [5] **90°-os SMA csatlakozó** <https://lomex.hu/hu/webshop/#page,0/search,43-28-29/stype,1>
- [6] **330 nH tekercs** <https://lomex.hu/hu/webshop/#page,0/search,93-00-72/stype,1>
- [7] **150 Ω ellenállás** <https://lomex.hu/hu/webshop/#page,0/search,80-10-76/stype,1>
- [8] **330 pF kondenzátor** <https://lomex.hu/hu/webshop/#page,0/search,82-07-43/stype,1>
- [9] **Árnyékolódoboz** <https://hu.mouser.com/ProductDetail/Bud-Industries/CU-5470/?qs=J02F3jFhwzOGRdkfRTc5YA%3D%3D>
- [10] **Egyenes SMA csatlakozó** <https://hu.mouser.com/ProductDetail/Linx-Technologies/CONSMA008-G/?qs=vLWxofP3U2zf85vM2YDg9g%3D%3D>
- [11] **Dióda** <https://lomex.hu/hu/webshop/#page,0/search,83-01-43/stype,1>

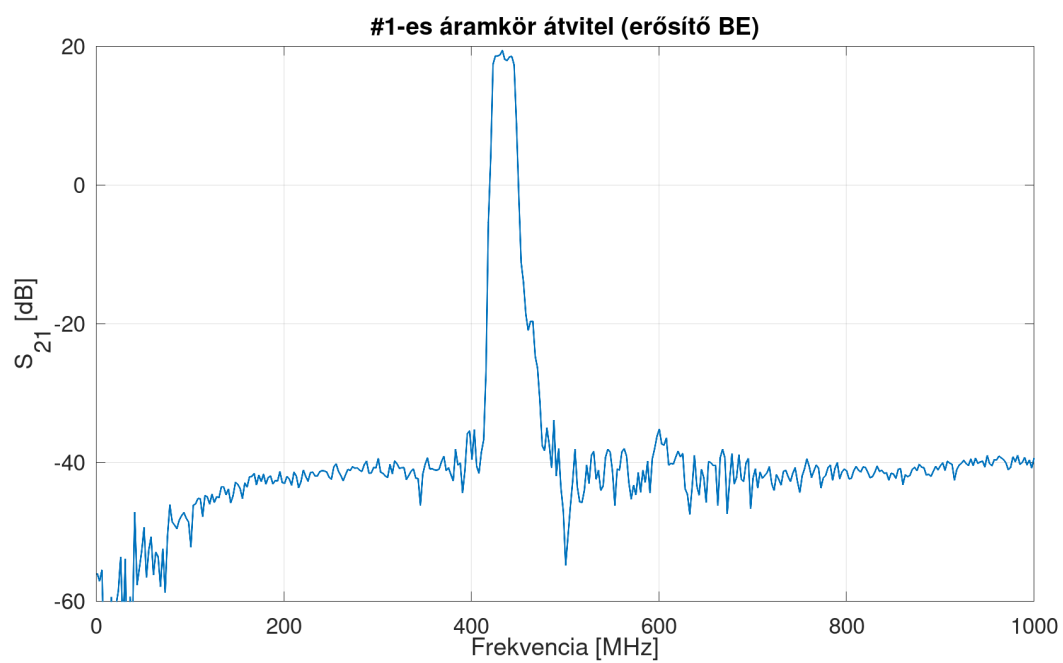
6.1. Mérési eredmények grafikusán



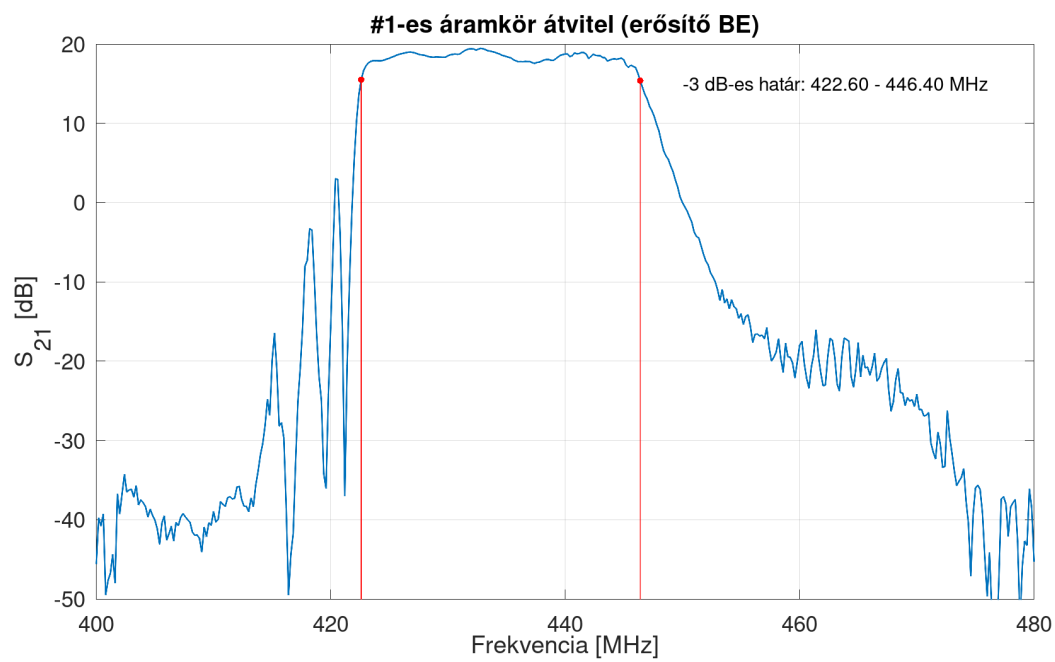
11. ábra. #1-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő KI



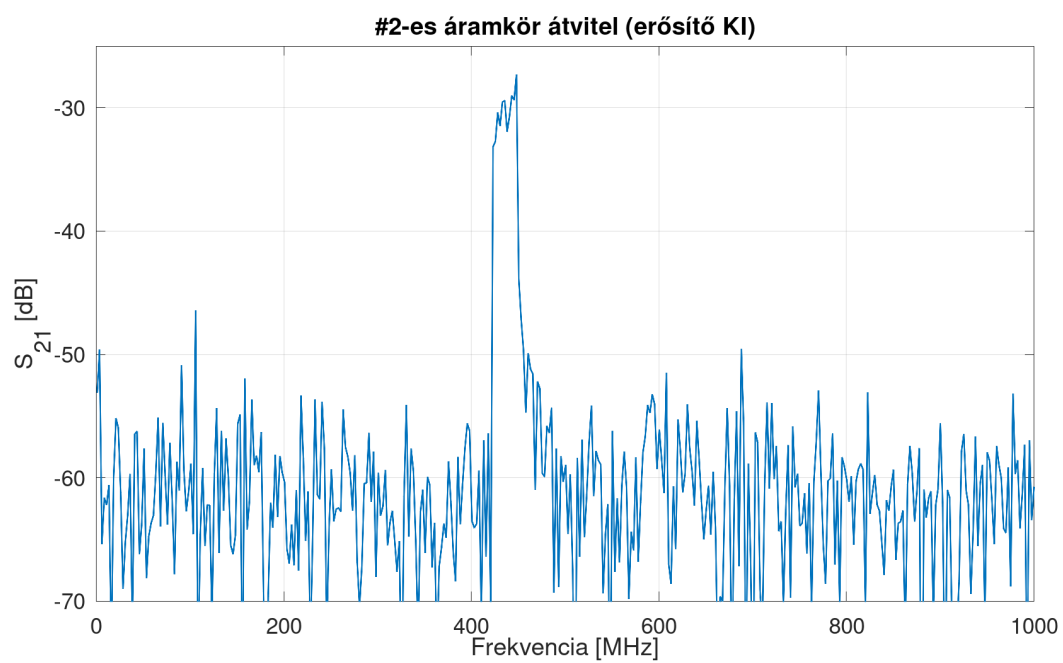
12. ábra. #1-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő KI



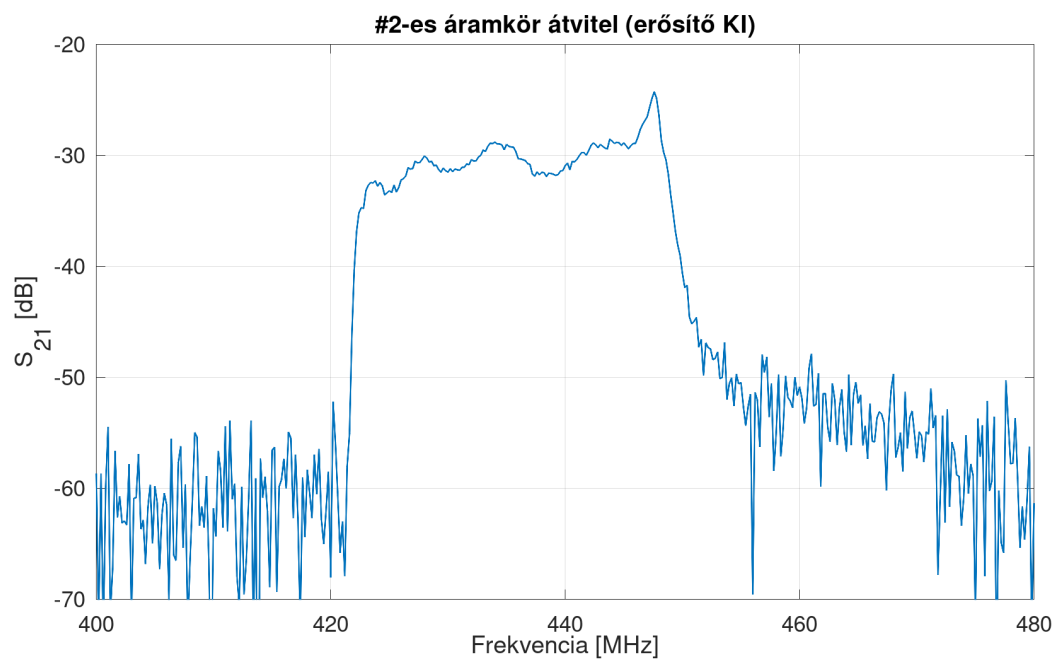
13. ábra. #1-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



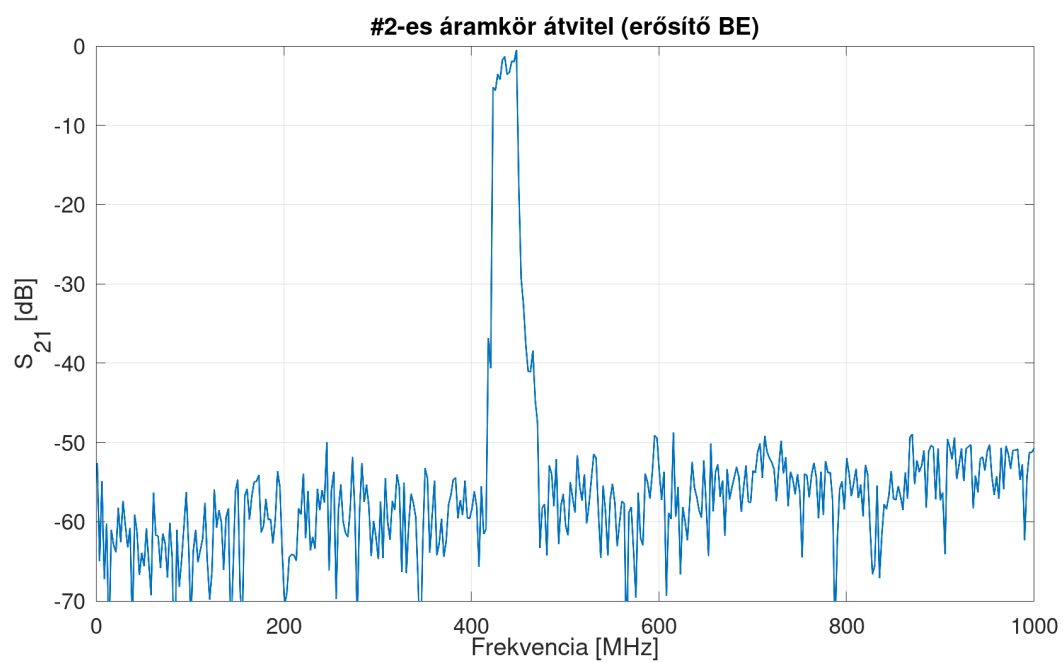
14. ábra. #1-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



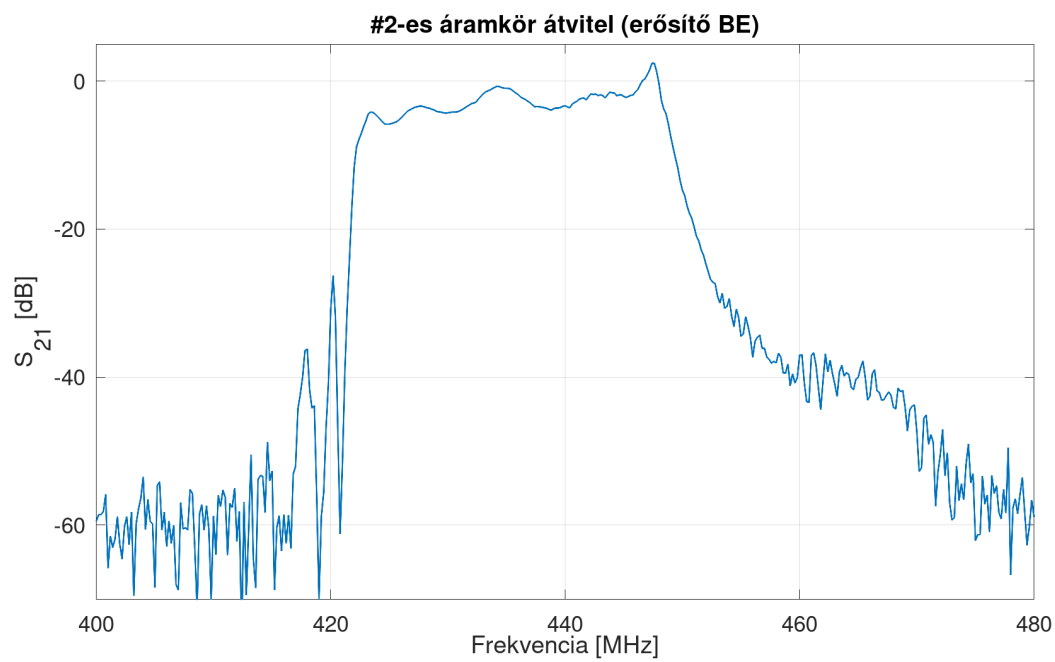
15. ábra. #2-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő KI



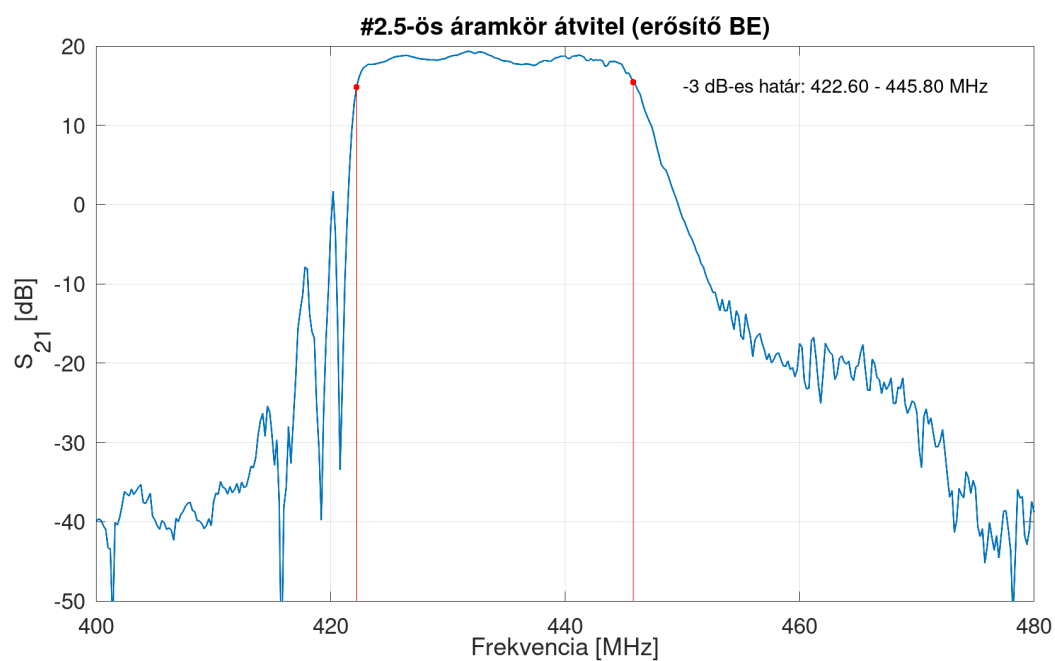
16. ábra. #2-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő KI



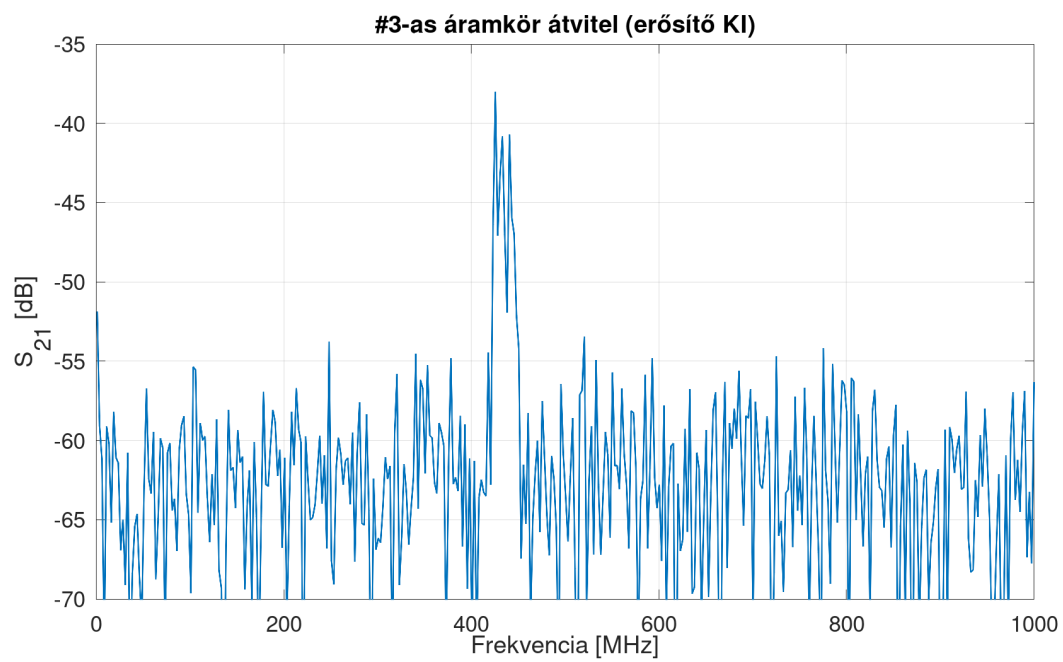
17. ábra. #2-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



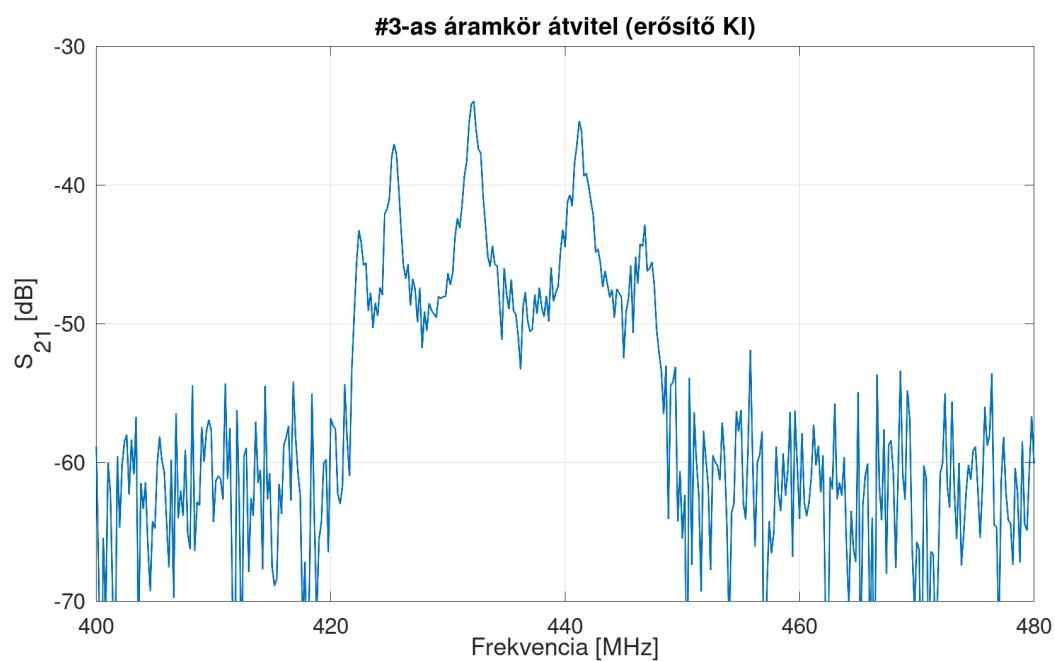
18. ábra. #2-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



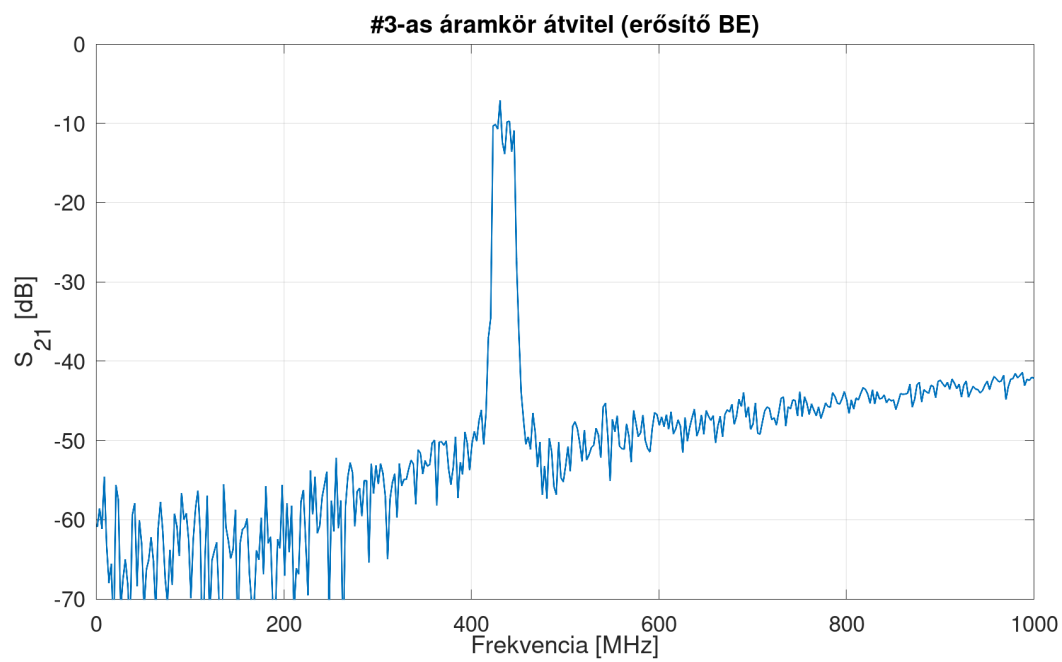
19. ábra. #2.5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



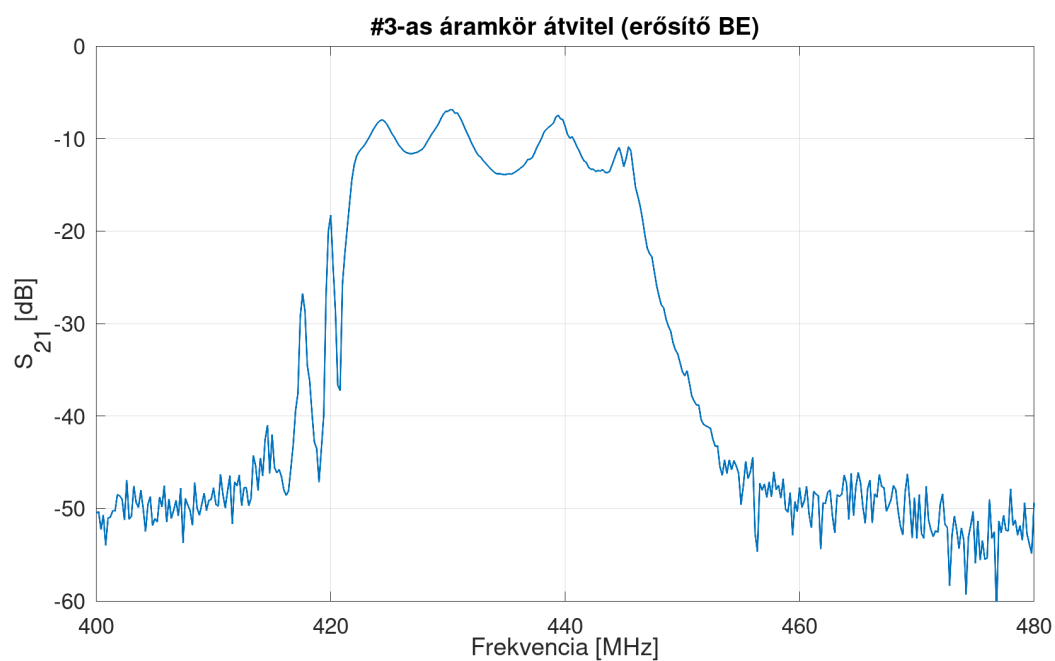
20. ábra. #3-as erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő KI



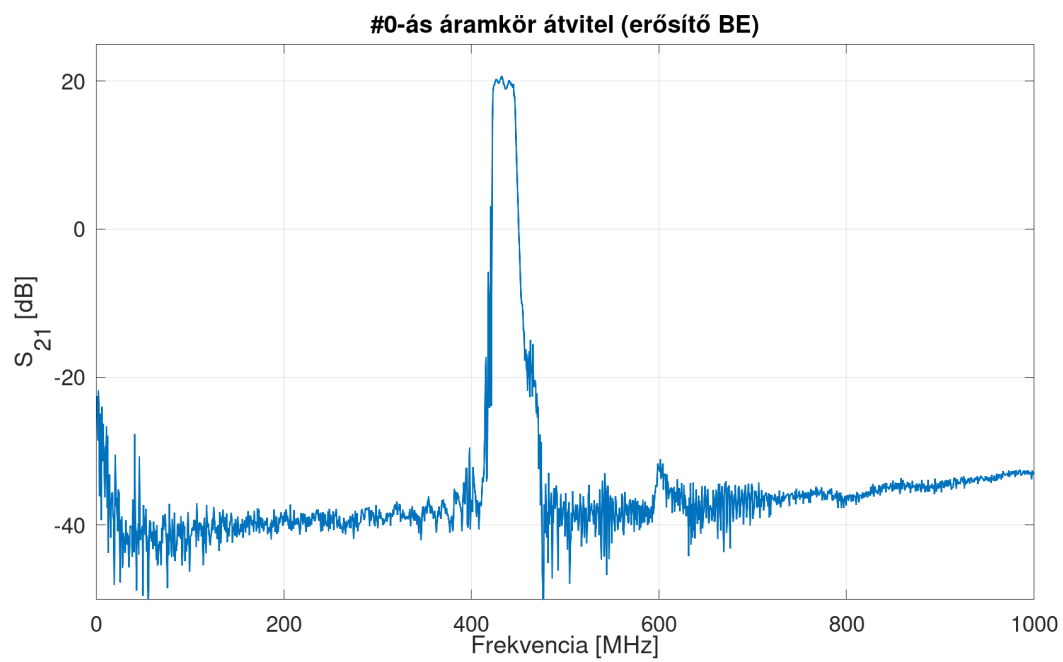
21. ábra. #3-as erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő KI



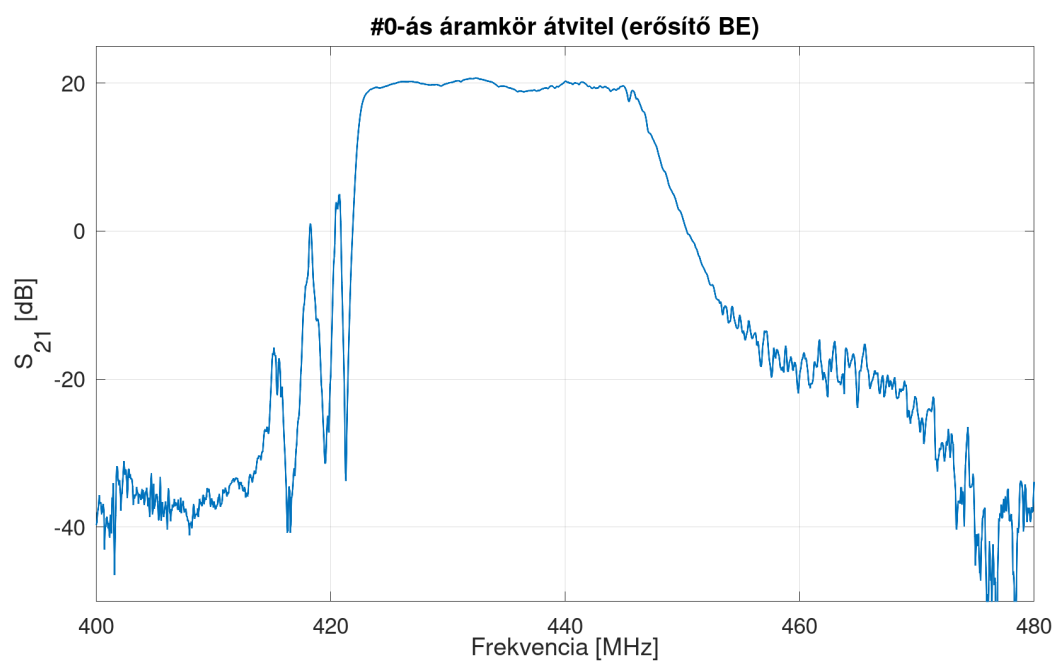
22. ábra. #3-as erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



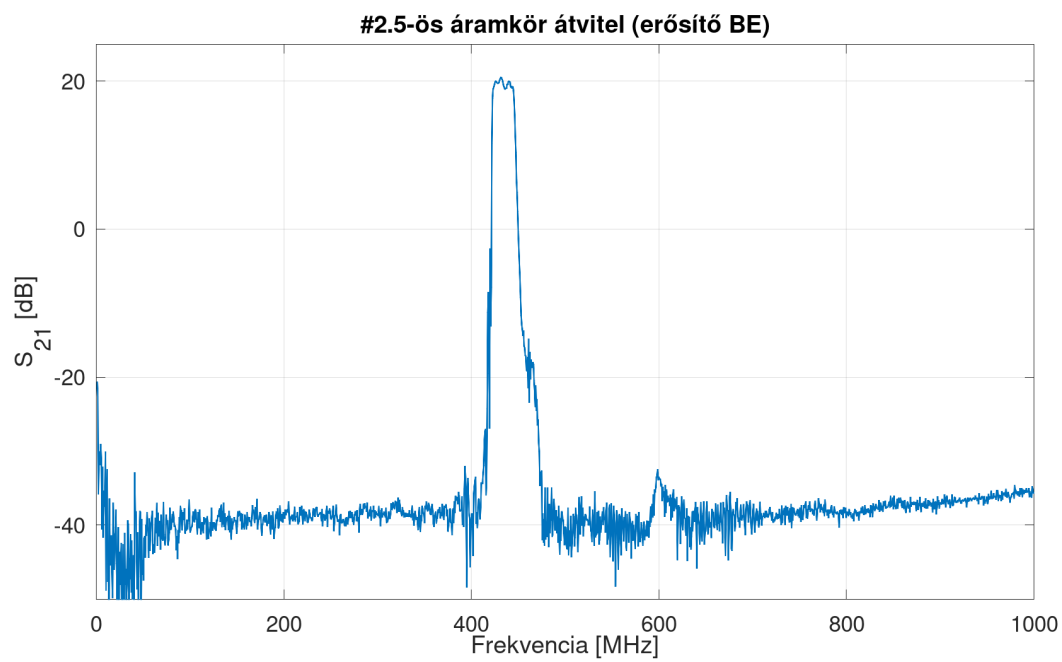
23. ábra. #3-as erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



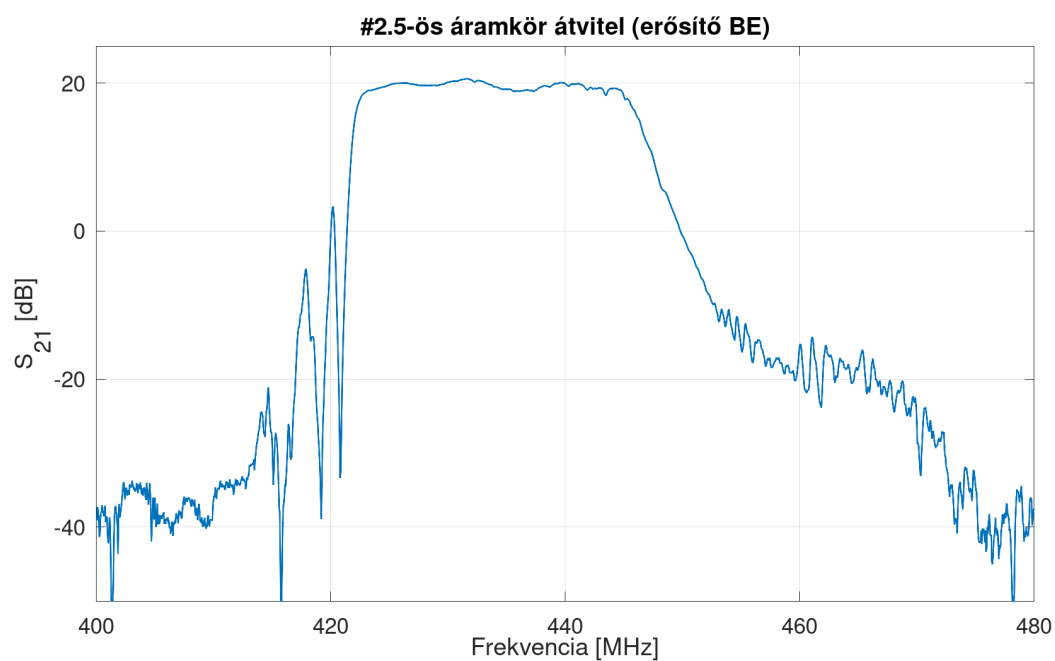
24. ábra. #0-ás erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



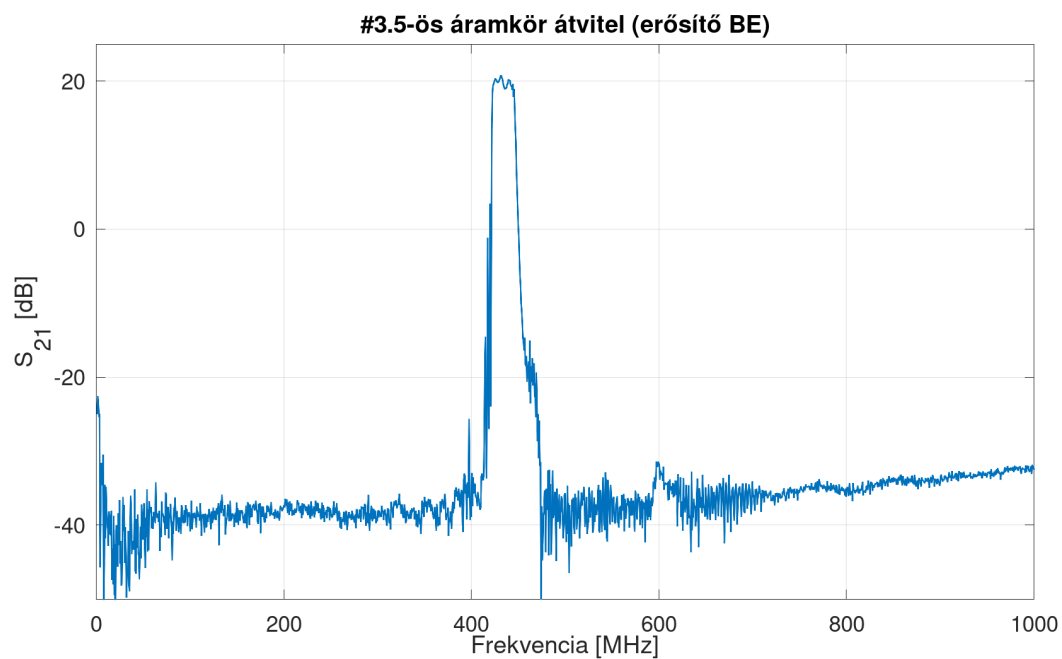
25. ábra. #0-ás erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



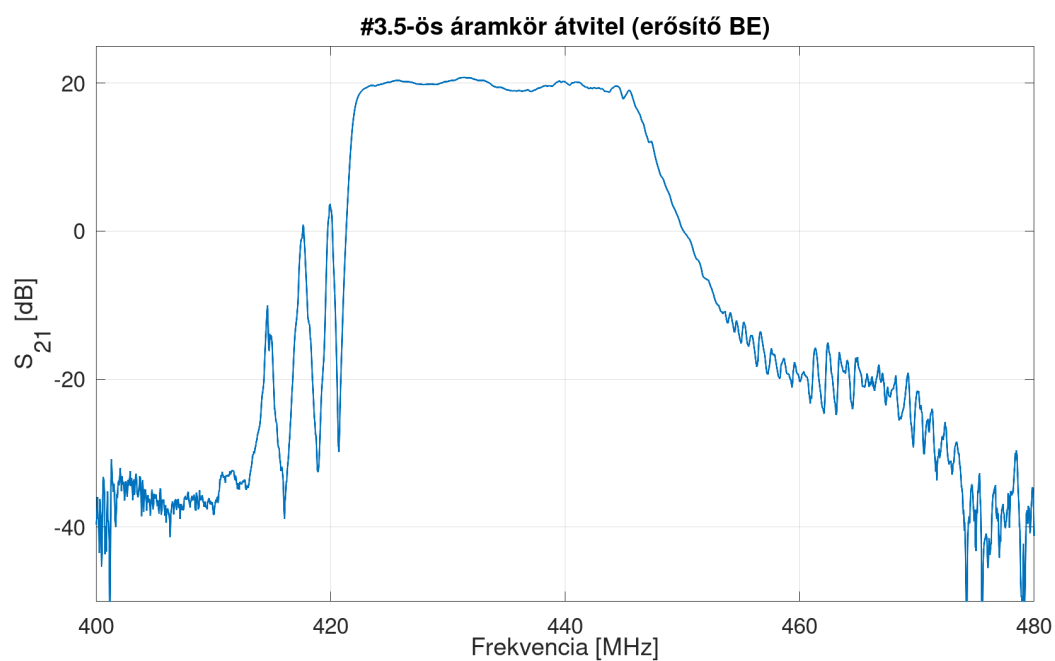
26. ábra. #2.5-ös erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



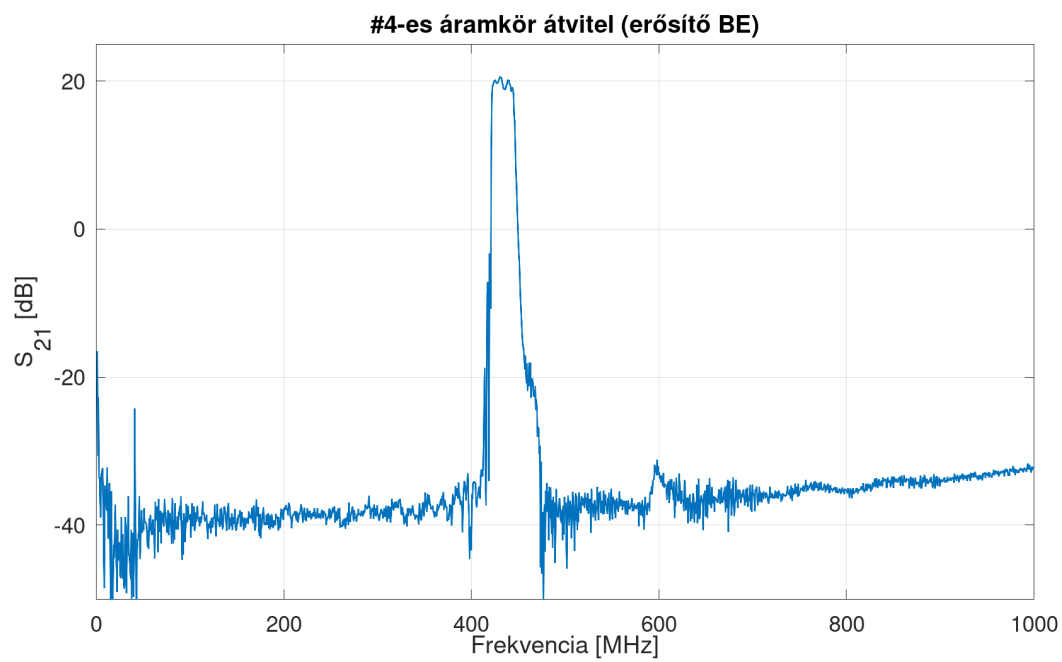
27. ábra. #2.5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



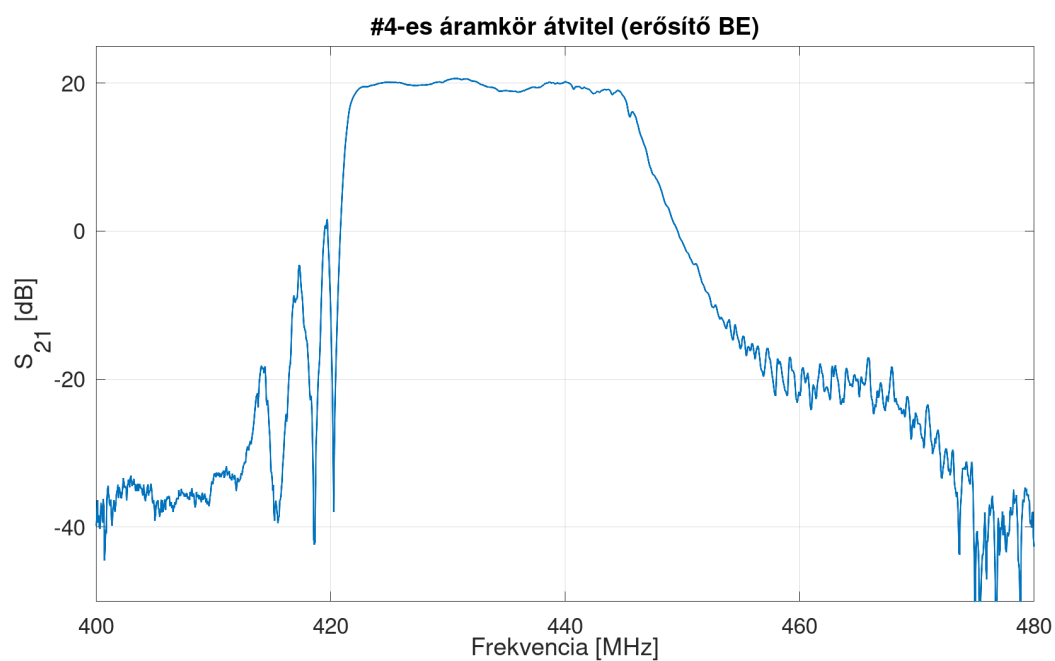
28. ábra. #3.5-ös erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



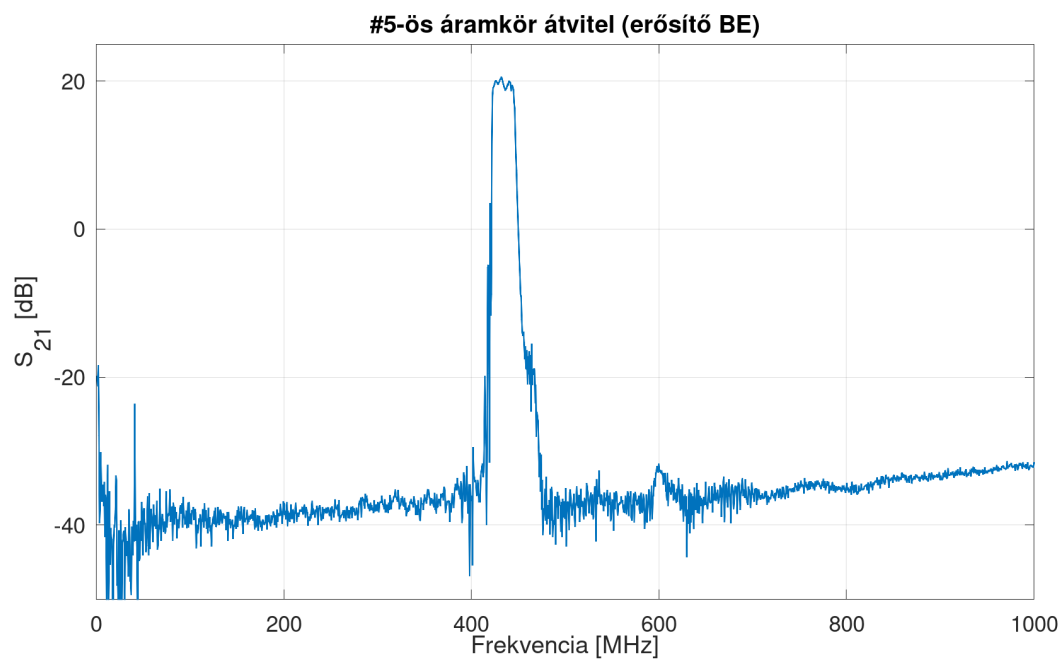
29. ábra. #3.5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



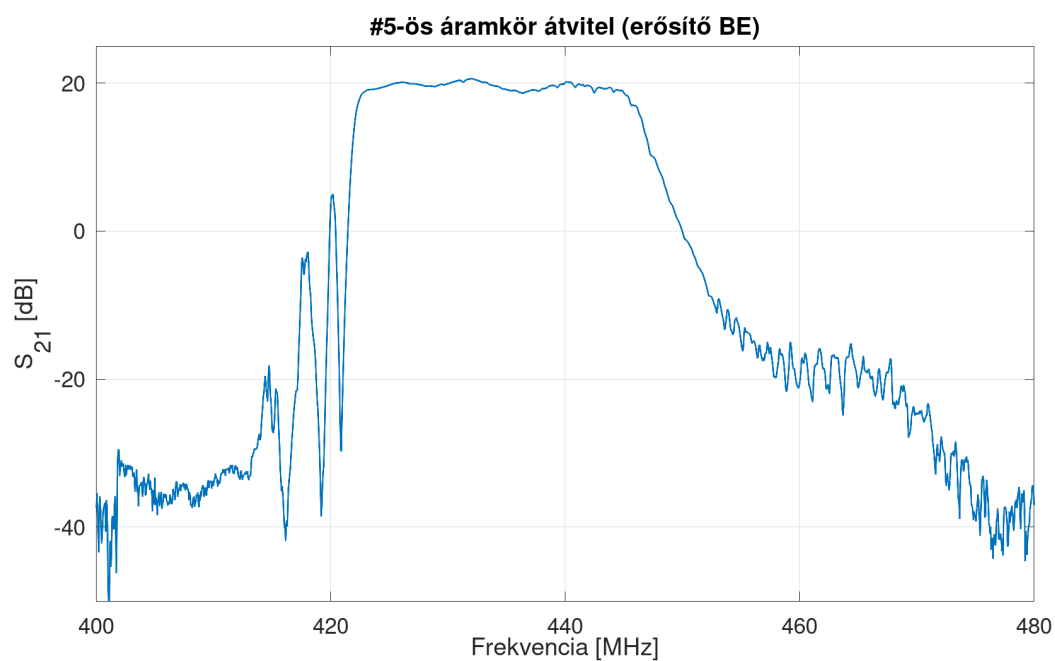
30. ábra. #4-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



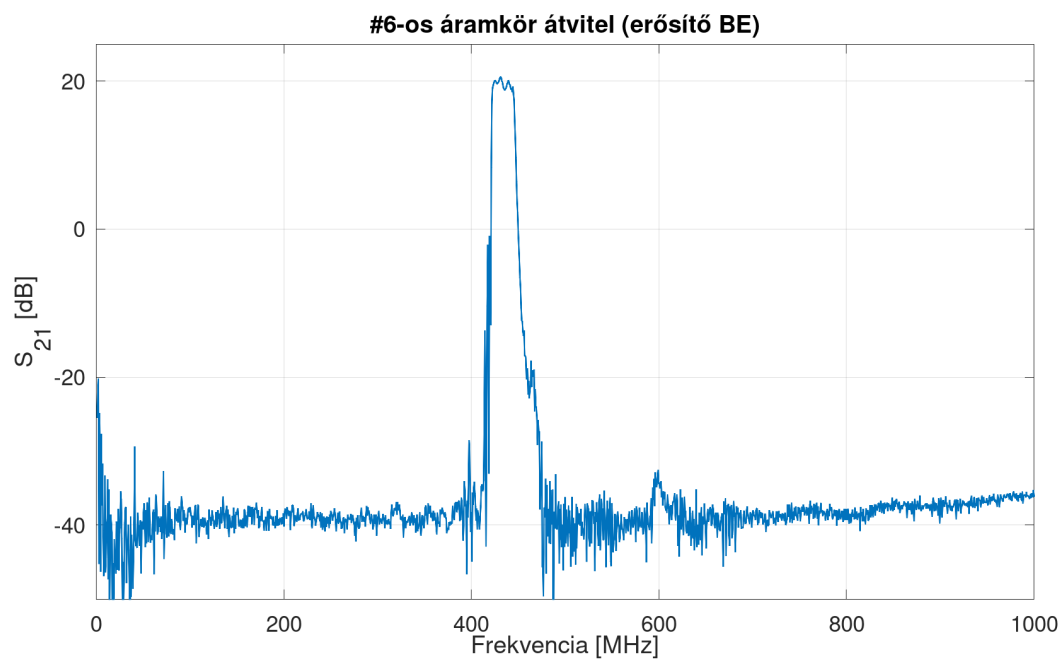
31. ábra. #4-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



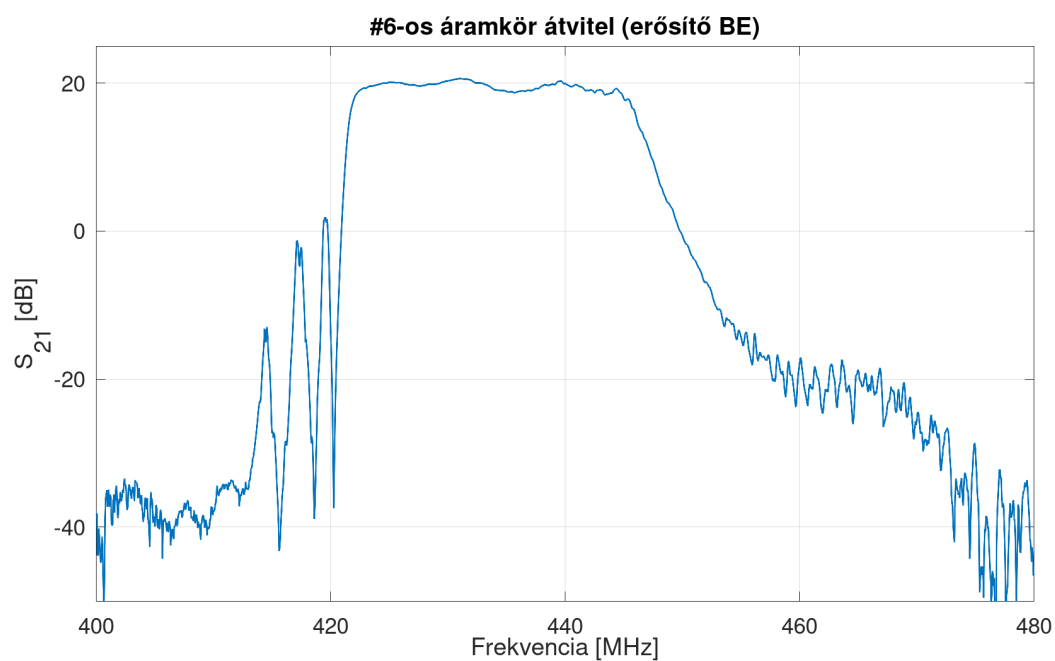
32. ábra. #5-ös erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



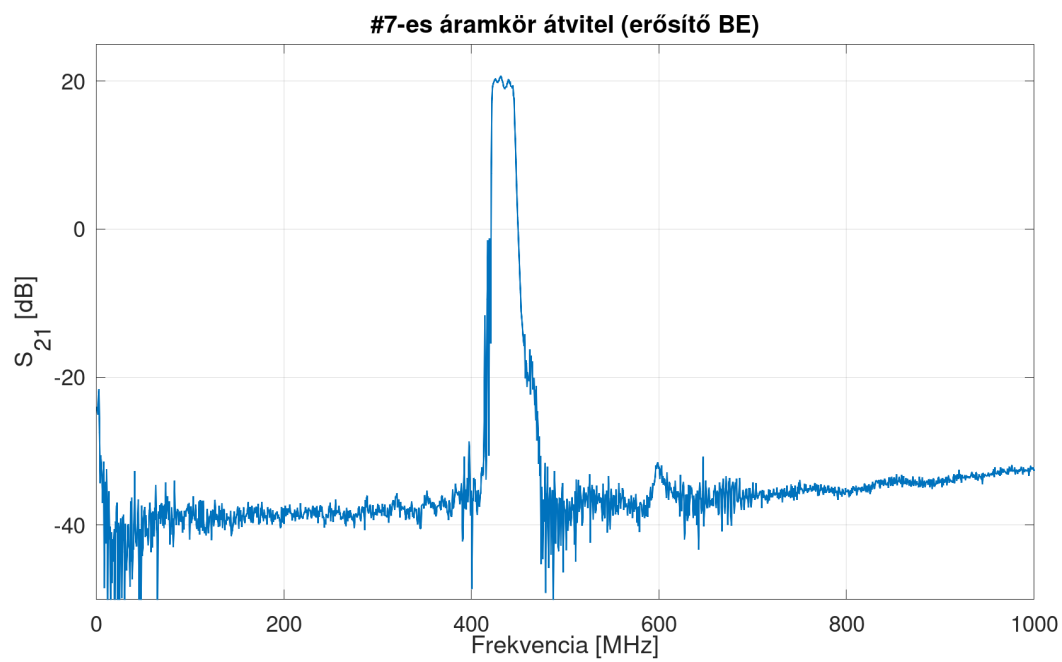
33. ábra. #5-ös erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



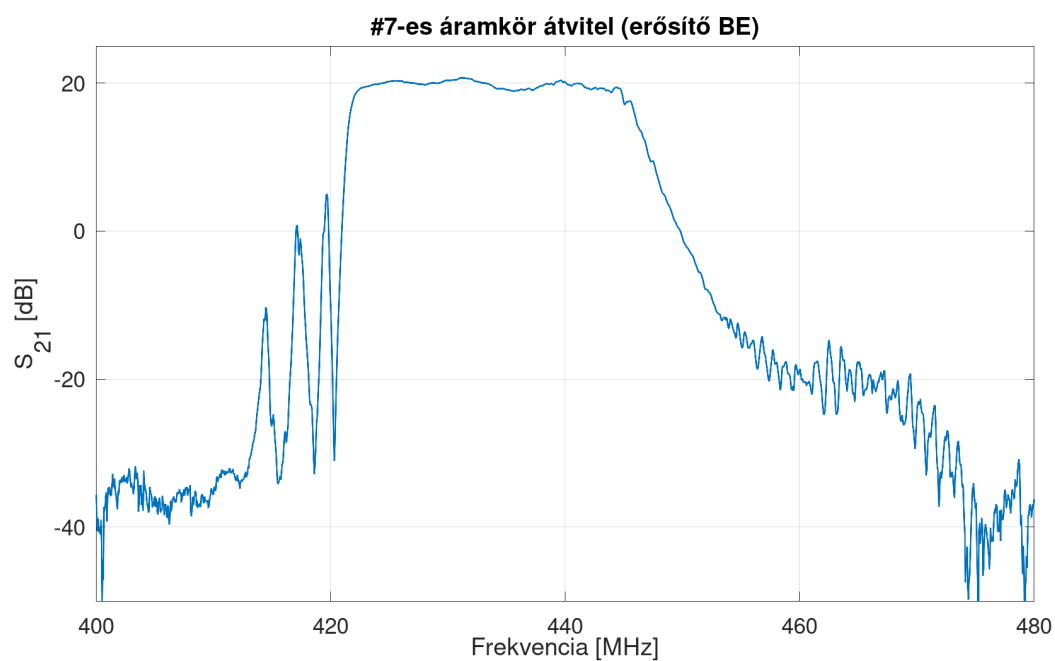
34. ábra. #6-os erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



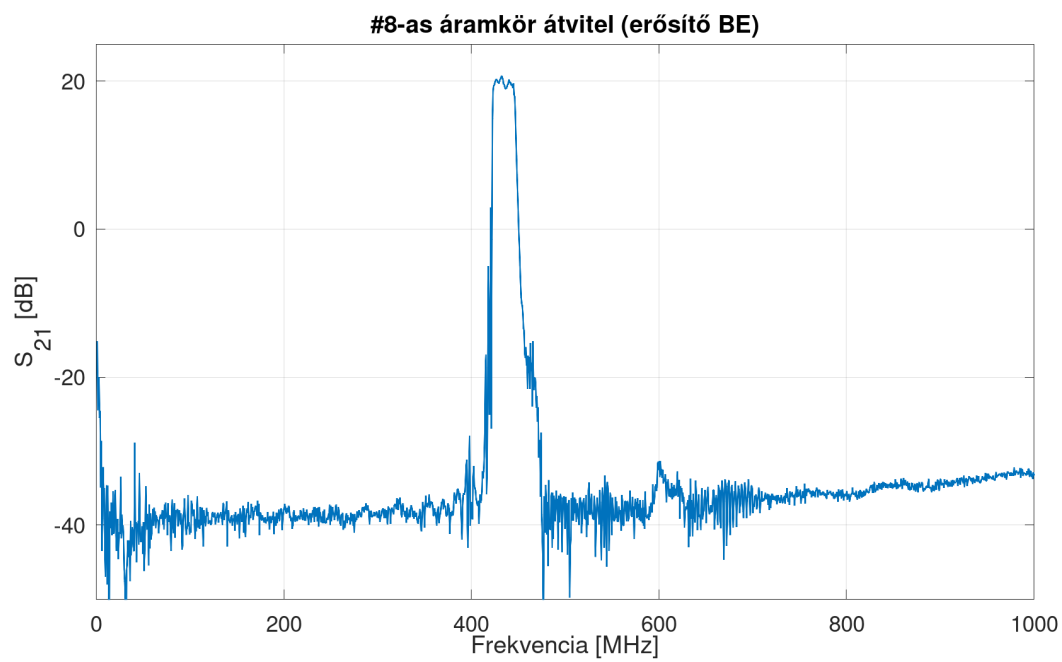
35. ábra. #6-os erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



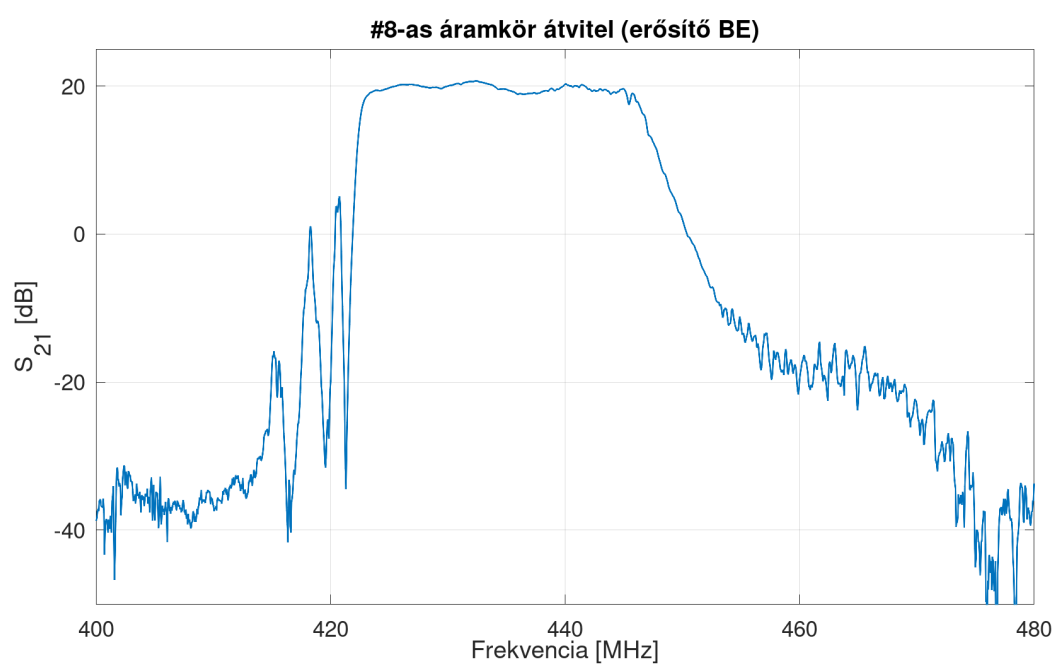
36. ábra. #7-es erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



37. ábra. #7-es erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE



38. ábra. #8-as erősítő 1 MHz - 1 GHz, erősítő BE



39. ábra. #8-as erősítő 400 MHz - 480 MHz, erősítő BE