
Digitális modulációk vizsgálata Agilent műszerállománnyal

Mérés sorszáma:	
Mérést végezte:	
Neptun kód:	
Mérés helye:	
Kurzus kód:	
Mérés ideje:	
Mérésvezető:	
Kiértékelés dátuma:	



OE-KVK
2015.

*A mérést és a Wave PRO szoftvert fejlesztette:
Makai Marcell*

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
1. RÖVID ELMÉLETI ISMERTETŐ.....	6
1.1. I/Q moduláció használata információ közvetítésére	7
1.2. Szűrési lehetőségek	8
1.2.1. Az emelt koszinuszos szűrő	9
1.2.2. A lekerekítési tényező („roll-off factor”) és annak hatása	10
1.2.3. A Gauss szűrő.....	11
2. MÉRÉSI FELADATOK.....	12
2.1. Wave PRO szoftver használata szimulációs üzemmódban.....	12
2.1.1. Szűrő tesztelése	12
2.1.2. Zajos csatorna tesztelése	13
2.2. Wave PRO szoftver használata Agilent 33522A üzemmódban.....	15
2.2.1. Az oszcilloszkóp és a függvénygenerátor beállítása	15
2.2.2. IQ alapsávi jelek előállítása.....	18
2.2.3. Modulált RF jel spektrumának megjelenítése	20
2.3. Maximális kimeneti teljesítmény mérése.....	24
2.3.1. Erősítő beiktatása előtt	24
2.3.2. Erősítő beiktatása után	27
2.4. Elfoglalt sáv szélesség mérése	29
2.4.1. Erősítő beiktatása előtt	29
2.4.2. Erősítő beiktatása után	32
2.5. IQ jel modulálása és demodulálása Keysight RF szignálgenerátorral	34

BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb az igény a nagysebességű átvitelre és az ezeket kiszolgáló berendezések, eljárások iránt. Ezen igény kielégítésére a hagyományos, analóg AM és FM modulációk nem elegendőek, ami viszont új módszerek kifejlesztését irányozta elő. A digitális modulációkkal hatékonyabb frekvencia kihasználás, jobb jelminőség, nagyobb átviteli kapacitás és nagyobb adatbiztonság érhető el. Mindemellett a digitális adatokat jóval könnyebb kezelni ezekkel az eljárásokkal. A hírközlési szolgáltatások (mobiltelefon előfizetés, mobilinternet) növekedésével egyre nő a rádiófrekvenciás spektrum iránti igény is, így az olyan modulációs eljárások, amelyek hatékonyan képesek az információ átvitelére, nélkülözhetetlenek. Éppen ezért a kommunikációs rendszerek tervezésénél nagy figyelmet kell fordítani a rendelkezésre álló sáv szélességre, a megengedhető maximális teljesítmény szintre, valamint a jelenlévő zajokra és azok hatására.

A mérési sorozat és az azokhoz felhasznált Wave PRO szoftver készítése egy szakdolgozat¹ részét képezték, amely a 2015-ös év tavaszi szemeszterében Makai Marcell készített.

¹ A szoftver és a szakdolgozat megtekinthető: <http://1drv.ms/1J7c3RS>

Minden jog fenntartva. A dokumentum egészének vagy bármely részének elektronikus, vagy mechanikus másolása, sokszorosítása, valamint információ szolgáltató rendszerben való tárolása és továbbítása a szerző előzetes engedélyéhez kötött (elérhetőség: makai.marcell@outlook.hu).

1. RÖVID ELMÉLETI ISMERTETŐ

Az átviteltechnikában folyamatos kompromisszumokat kell kötni, hogy a kívánt jelet milyen módon (analóg vagy digitális) és milyen közegben (érpáron vagy levegőben) vigyük-e át. Az elmúlt néhány évben jelentős átmenet történt az egyszerű analóg modulációkról az egyre újabb és újabb digitális modulációk irányába.

A fejlesztési irány az egyre komplexebbé váló digitális modulációk felé mutat, melyek közé tartozik például a különböző QPSK (kvadratúra fázisbilleentyűzés) és QAM (kvadratúra amplitúdó moduláció) modulációs technikák. Ezen modulációs technikák határfokát multiplexálással tovább lehet fokozni. A multiplexálás fő típusai a TDMA (időosztásos) és a CDMA (kódosztásos) eljárás. A leggyakrabban használt modulációs technikákat és azok felhasználási módját foglalja össze az 1.1. táblázat.

Modulációs eljárás	Felhasználás
CAP	HDSL, ADSL modemek
DMT	ADSL modemek
DSSS	WLAN IEEE 802.11b
OFDM	WLAN IEEE 802.11a,g, LTE
MSK, GMSK	GSM, CDPD
BPSK	mélyűri telemek, kábelmodem
QPSK, DQPSK	műholdas kommunikáció, CDMA, NADC, TETRA, PHS, LMDS, DVB-S, kábelmodem, TSTS
OQPSK	CDMA, műholdas kommunikáció
FSK, GFSK	DECT, AMPS, CT2, ERMES, közbiztonság
8-16 VBS	Észak Amerikai digitális TV adás (ATV), műsorszórás
8 PSK	műholdas kommunikáció, repülőgép kommunikáció
16 QAM	mikrohullámú digitális távközlés, DVB-C, DVB-T
32 QAM	földfelszíni mikrohullámú távközlés, DVB-T
64 QAM	DVB-C, modemek, MMDS
256 QAM	modemek, DVB-C (Európai), digitális videózás (USA)

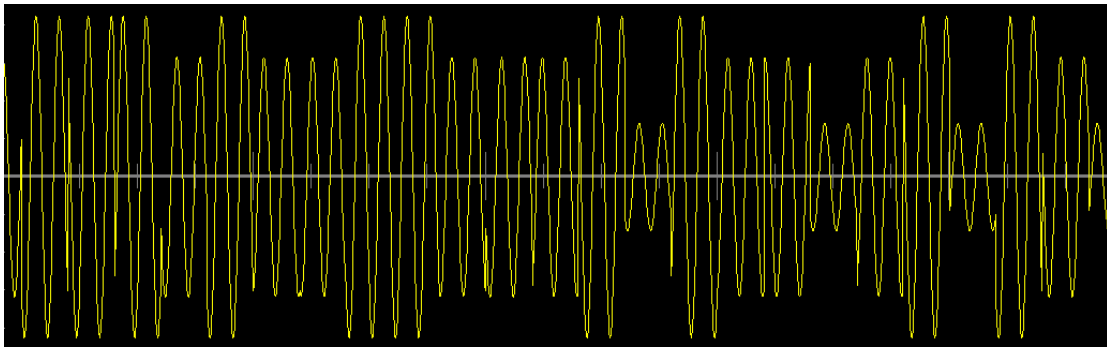
1.1. táblázat – Különböző modulációs technikák felhasználási területe

1.1. I/Q moduláció használata információ közvetítésére

Három fő lépés szükséges ahhoz, hogy a levegőn keresztül továbbítsunk egy jelet:

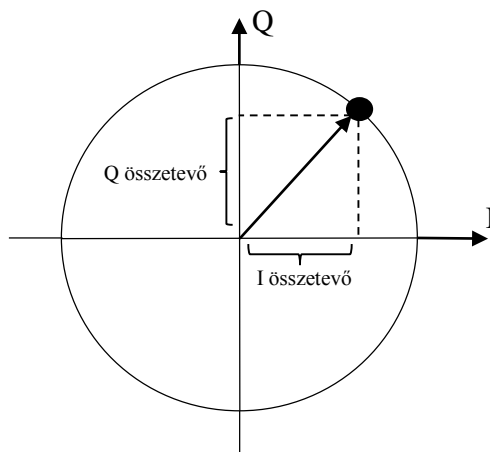
1. Egy tiszta vivő előállítása az adóban.
2. A vivő modulálása az átvenni kívánt jellel.
3. A vevőben vett jel esetleges változásainak érzékelése és demodulálása.

A jelnek három jellemzője változtatható: az amplitúdója, a fázisa, és a frekvenciája. Az AM modulációnál a nagyfrekvenciás vivő jel pillanatnyi amplitúdója változik a modulációs üzenet amplitúdójának aránya szerint. A frekvencia moduláció (FM) a legnépszerűbb analóg modulációs technika, ezen esetben az amplitúdó állandó értékű, így a jel frekvenciája változik az átvenni kívánt üzenet arányában. Az amplitúdó és fázis moduláció megvalósítható egyszerre is (1.1. ábra), de ezt nehéz kivitelezni és különösen nehéz felismerni.



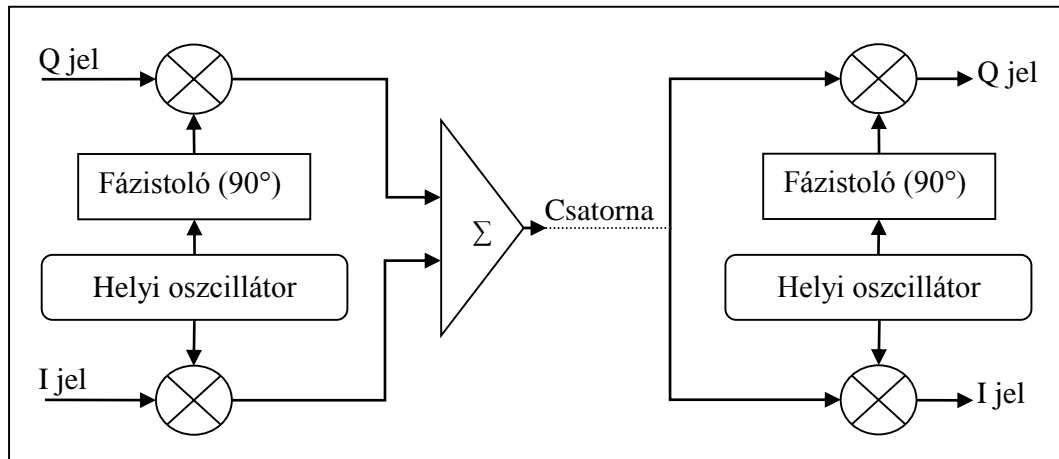
1.1. ábra - Amplitúdó és fázis moduláció együttes alkalmazása (QAM)

Ehelyett a gyakorlatban a jel I (azonos fázisú) és Q (kvadratura) összetevőkre van felbontva. Ábrázolása egy négyszögletes polárdiagram (1.2. ábra) ahol az I tengely a nulla fázis a Q pedig az ehhez képesti 90°-os elforgatás megfelelője. A polárdiagramon megjelenő diszkrét pontok hordozzák az átvenni kívánt adatot, amelyeket konstellációs pontoknak is nevezünk.



1.2. ábra – I/Q jelek felbontása (polárdiagram)

A digitális kommunikációban használt jelalakokat az I/Q modulátor (1.3. ábra) állítja elő, ennek módját jól tükrözik az I/Q diagramok. Az I és Q jeleket egy helyi oszcillátor jelére keverik olyan módon, hogy a helyi oszcillátor egyik ágába egy 90° -os fázistolót iktatnak be. Ennek köszönhetően a jelek ortogonálisak (merőlegesek) lesznek egymásra, és nem interferálnak egymással. Egy összegző áramkörben egyesítve a két jelet egy kompozit kimeneti jelet kapunk.



1.3. ábra – I/Q modulátor és demolátor

Az adó és vevő áramkörök tervezését nagyban leegyszerűsíti, hogy ez a kimeneti kompozit jel adása és vétele egyszerű áramkörökkel megvalósítható. Az I/Q modulációk fő jellemzője, hogy a két független jelet könnyen és szimmetrikus módon kombinálhatjuk egy kompozit jellé, majd a vevőben újra szétbonthatjuk az összetevőire. A digitális modulációk megvalósítása ilyen módon leegyszerűsödik.

1.2. Szűrési lehetőségek

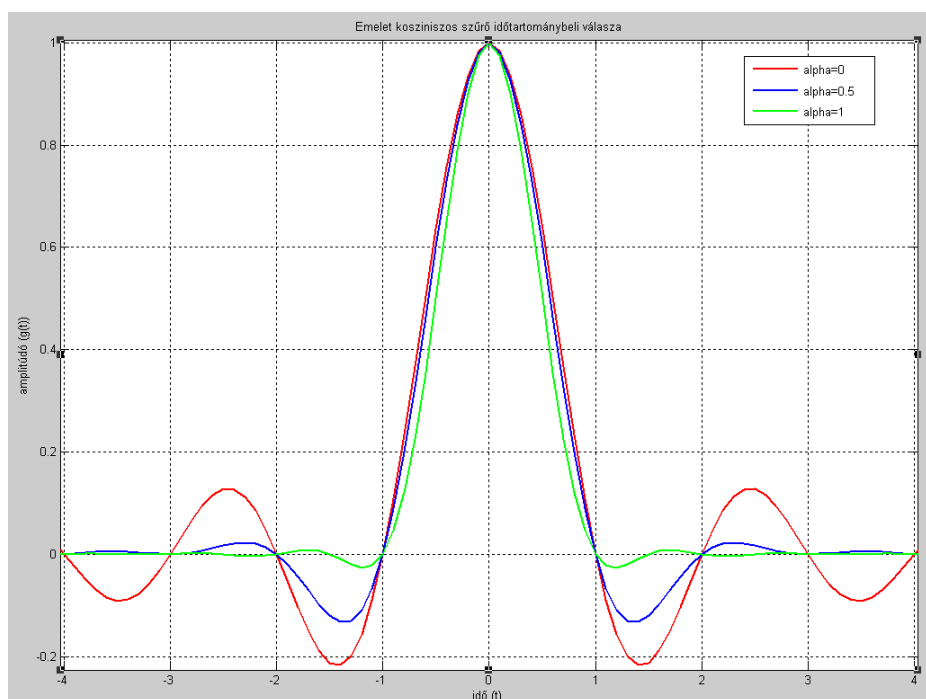
Az átviteltechnika szempontjából legfontosabb paraméter az átvinni kívánt jel sávszélesség igénye. A jelben végbemenő amplitúdó, frekvencia vagy fázis gyors változása jelentősen növeli ezt. Azok az eljárások, amelyek csökkentik a jelben végbemenő gyors változásokat, csökkentik a sávszélesség igényt, és ha mindezt a digitális adatok vesztese nélkül hozzák létre, akkor az növeli a jel spektrális hatékonyságát is. Az egyik ilyen módszer az átvinni kívánt jel szűrése, melynek leggyakoribb típusai:

- emelt koszinuszos szűrő
- négyzetgyökös emelt koszinuszos szűrő
- Gauss szűrők

1.2.1. Az emelt koszinuszos szűrő

Az emelt koszinuszos szűrő a Nyquist szűrők egyik osztálya. Egyik legfontosabb tulajdonságuk, hogy erős szűrést végeznek, ráadásul csökkentik a szimbólumközi áthallást (ISI)², így elősegítik a hibamentes átvitelt. Mindezt úgy érik el, hogy a szűrő időtartománybeli válasza olyan periódussal halad át a nullán, hogy az pontosan megfeleljen a szimbólumközi távolságnak. Ennek köszönhetően az interferencia a szomszédos szimbólumok között nem jön létre.

A szűrők a valóságban legtöbbször olyan módon kerülnek kialakításra, hogy az adóban és a vevőben is egy négyzetgyökös emelet koszinuszos szűrő kap helyet, amelyet együtt alkalmazva egy emelt koszinuszos szűrőt (Nyquist szűrőt) kapunk. Az 1.4. ábra egy emelt koszinuszos szűrő időtartománybeli válaszát mutatja, különböző szűrőparaméter értékek (roll-off) mellett.



1.4. ábra - Emelt koszinuszos szűrő időtartománybeli válasza

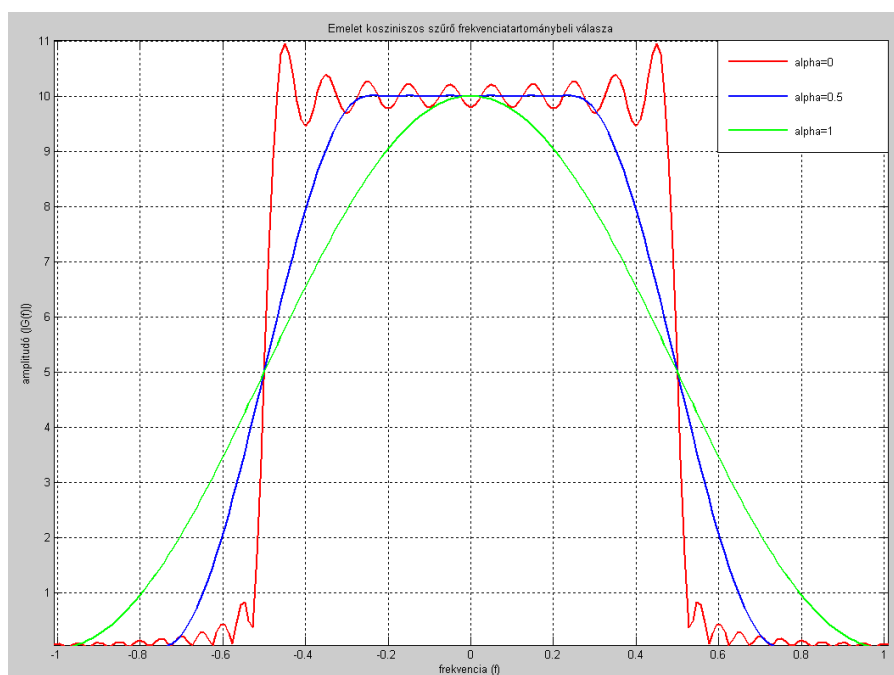
² A távközlésben a szimbólumközi interferencia (ISI – Inter-Symbol Interference) a jel torzulásának egyik formája, amelyben az egyik szimbólum zavarja későbbi szimbólumokat. Ez egy nem kívánt jelenség melynek hatása a zajhoz hasonló, így a kommunikáció kevésbé megbízható. Oka általában a többutas terjedés.

1.2.2. A lekerekítési tényező („roll-off factor”) és annak hatása

A szűrő élességét a lekerekítési tényező határozza meg, melyet α -val jelölünk és értéke 0-tól 1-ig terjedhet. **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** A lekerekítési tényező és az elfoglalt sávzélesség között a következő egyszerű összefüggés fedezhető fel:

$$\text{Elfoglalt sávzélesség} = \text{Szimbólumsebesség} * (1 + \alpha)$$

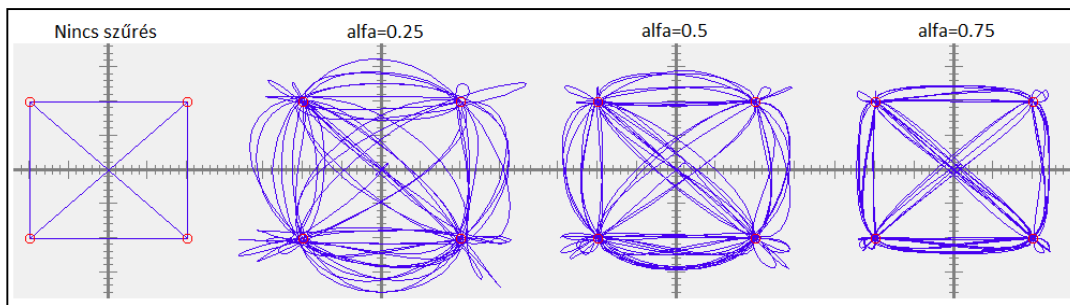
Ideális esetben ($\alpha=0$) a szimbólumsebesség egyenlő az elfoglalt sávzélességgel, azonban ez a valóságban nem kivitelezhető. Ha $\alpha=1$, akkor a szimbólumsebesség kétszerese egyenlő az elfoglalt sávzélességgel, ami jóval több, mint szükséges. A valóságban jellemző α érték a 0.35 – 0.5 között helyezkedik el, 0.2-es lekerekítési tényező mellett már jó minőségű rendszerek hozhatók létre. A 1.5. ábra az emelt koszinuszos szűrő frekvenciatartománybeli válaszát mutatja.



1.5. ábra - Emelt koszinuszos szűrő frekvenciatartománybeli válasza

A különböző lekerekítési tényező értékek különböző sávzélességi igényeket produkálnak és befolyásolják az átvitt teljesítményt is. A következő ábrán (1.6. ábra) látható QAM moduláció vektordiagramján a különböző α érték hatását nézhetjük meg.

Ha nincs szűrés, akkor az átmenetek azonnaliak, a jel átviteléhez végtelen sávzélességre lenne szüksége. A többi esetben a szűrés hatására az átmenetek kisimulnak így lecsökken a sávzélesség igény azonban ebben az esetben nagyobb teljesítmény szükséges, mint amennyi csak a szimbólumok átviteléhez kellene.



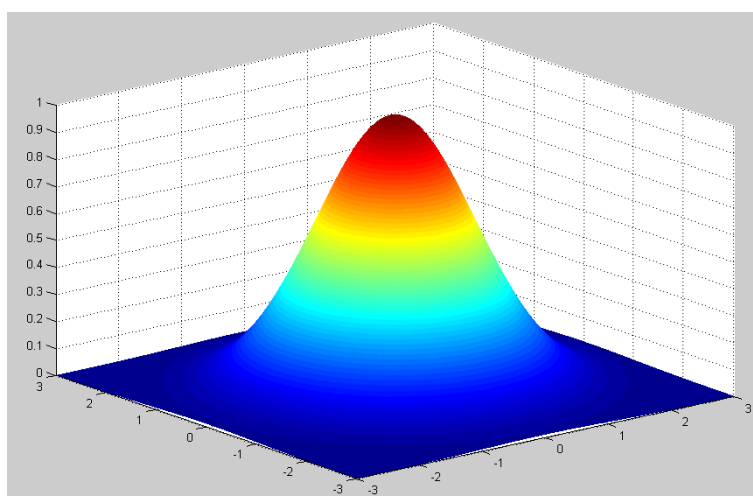
1.6. ábra - A roll-off factor hatása

Akárcsak a természeti erőforrásokat, a rádiófrekvenciás spektrumot sem érdemes pazarolni: a nagy csatornasávok nagy sávszélességet igényelnek, ezért szűkebb szűrőket használnak, hogy csökkentsék a sávszélesség igényt. Azonban a keskenyebb szűrőt kellő pontossággal nehezebb kivitelezni, ugyanis a kisebb α érték növeli az ISI-t. Ugyanazon teljesítmény átviteléhez nagyobb erősítés szükséges ráadásul torzítás nélkül. A nagyobb erősítő több hőt ad le és növeli az elektromos interferenciát is. A megoldást az állandó burkológörbéjű moduláció jelentheti, amit a GMSK³ moduláció használ.

1.2.3. A Gauss szűrő

Az emelt koszinuszos szűrővel ellentétben ennek a típusú szűrőnek rosszabb a szimbólumok közötti áthallás csillapítása. Előszeretettel használják a GSM rendszerekben (MSK moduláció) mert előnye a vivő teljesítményben, az elfoglalt sávszélességben és szimbólum időzítés visszanyerésében rejlik.

A Gauss szűrő nem rezeg be sem az idő, sem a frekvencia tartományban (1.7. ábra) úgy, mint az emelt koszinuszos szűrő. Hatása az időtartományban viszonylag rövid és minden egyes szimbólum csak a mellette lévővel lép kölcsönhatásba.



1.7. ábra - A Gauss görbe

³ Gaussian Minimum Shift Keying

2. MÉRÉSI FELADATOK

A mérési feladatok célja, hogy az egyetemi hallgatók megismerkedjenek a digitális modulációkkal és az azok nyújtotta lehetőségekkel, a lehető legmélyebben.

Első lépésben megismerkedünk a modulációknál alkalmazott szűrési és zaj hozzáadási módszerekkel a Wave PRO szoftverben, és azok működését egy rövid méréssel értelmezzük. Ezután beállítjuk a hullámformák letöltéséhez szükséges műszereket és szoftvereket. Majd a már valóságban is létező modulált jelünkön végzünk, csatornateljesítmény, elfoglalt sáv szélesség és demodulációs méréseket.

A mérési sorozatok kialakításához felhasználásra került az ME1100 Digitális RF Kommunikációs mérés I. című mérési útmutató, mely a 2013-14-es tanév 2. félévében készült az Önálló labor projekt 3.1 című tárgy keretein belül.

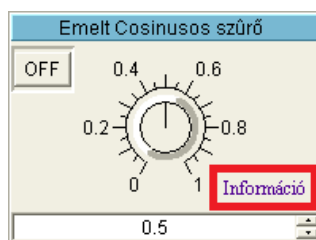
2.1. Wave PRO szoftver használata szimulációs üzemmódban

Szimulációs üzemmódban a Wave PRO szoftver segítséget nyújt a különböző modulációs eljárások, szűrési lehetőségek és zajok hozzáadásának megértésében. Ebben a módban a szoftver nem használ fel külső függvénygenerátort az előállított jelalakok megjelenítéséhez, hanem azokat a közvetlenül a PC-n jeleníti meg és a szoftver jobb oldalán elhelyezkedő diagramok segítségével értékelhető ki a mérés.

2.1.1. Szűrő tesztelése

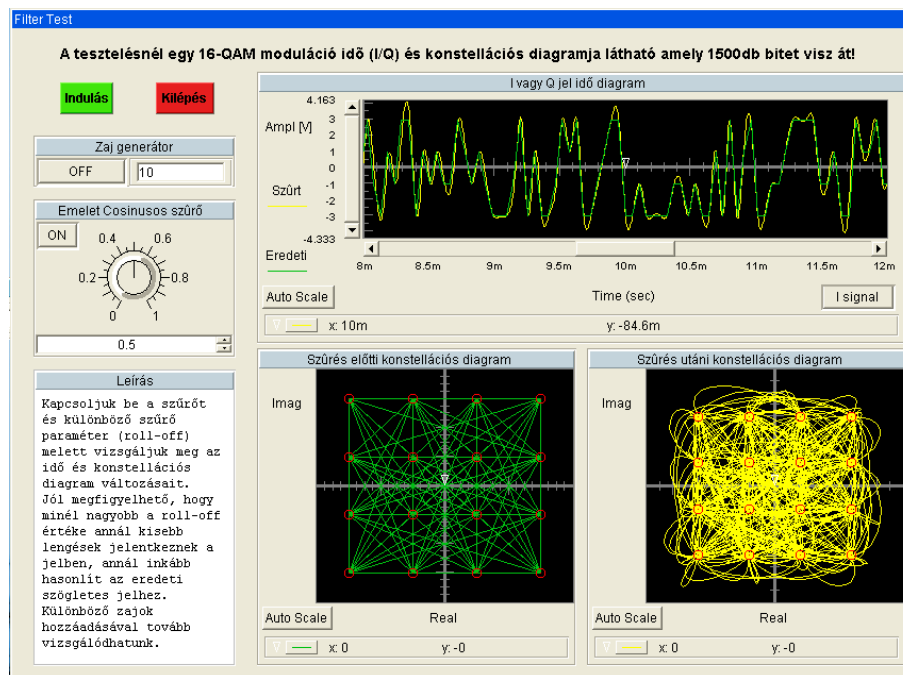
Ebben a mérésben megismerkedünk az emelt koszinuszos szűrő működésével egy rövid mérési sorozat segítségével.

- A) Indítsuk el a Wave PRO szoftvert!
- B) Kattintsunk az emelt koszinuszos szűrő információs gombjára (2.1. ábra) és figyelmesen olvassuk el a szűrő működésének leírását! Majd kattintsunk a „Szűrő tesztelése” lehetőségre.



2.1. ábra – Emelt koszinuszos szűrő információinak elérhetősége

- C) Ekkor megnyílik a teszteléshez szükséges ablak, és az „Indulás” gombra kattintva kezdetjük is a mérést (2.2. ábra).



2.2. ábra- Szűrő tesztelése

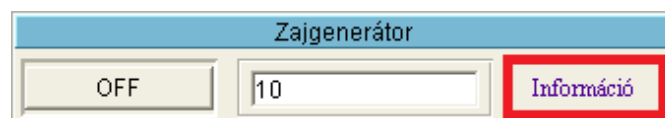
1.feladat: Változtassa a szűrőparaméter értékét 0-tól 0.2-es lépésekben, és figyelje meg az idő és konstellációs diagram változásait! Írja le, mit tapasztal!

Tapasztalat:

2.1.2. Zajos csatorna tesztelése

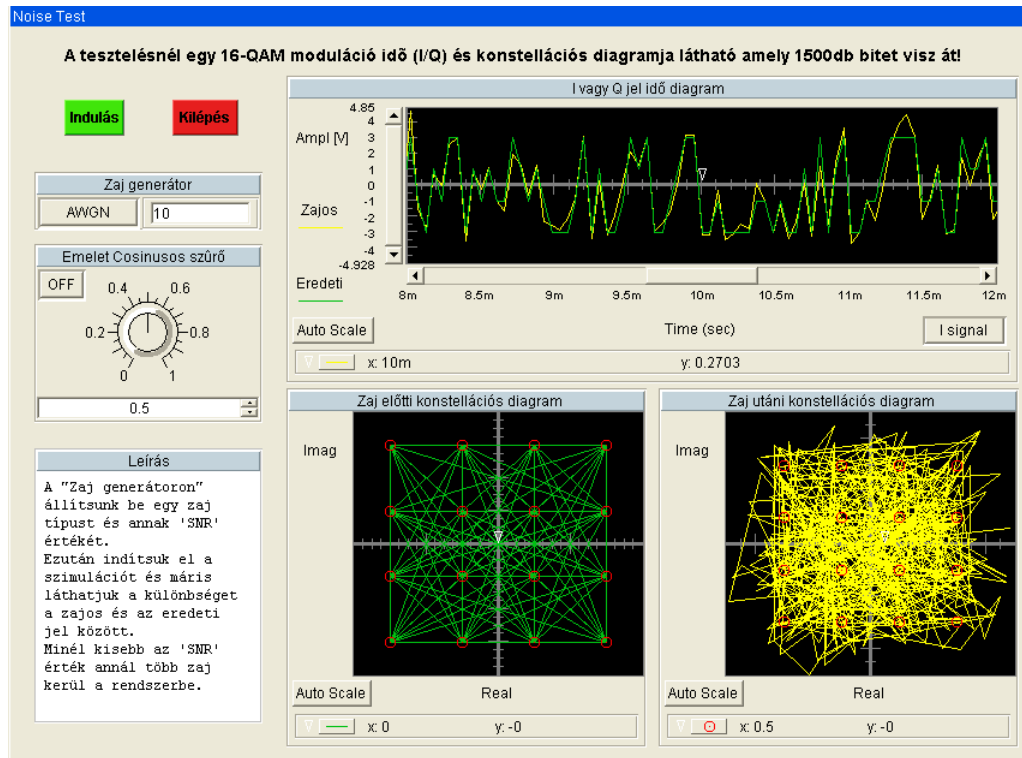
Ebben a mérésben megismerkedünk az additív fehér Gauss zaj modulált jelre és a konstellációs diagramra gyakorolt hatásával.

- A) Kattintsunk a zajgenerátor információs gombjára (2.3. ábra) és olvassuk el az elméleti információkat! Ezek után kattintsunk a „Zajos csatorna tesztelése” lehetőségre!



2.3. ábra- Zajgenerátor információinak elérhetősége

- B) Ekkor megnyílik a teszteléshez szükséges ablak, és az „Indulás” gombra kattintva kezdetük el a mérést (2.4. ábra).



2.4. ábra - Zaj hozzáadás a vizsgált jelhez

1. feladat: Kapcsolja be a szűrőt 0.5-ös szűrőparaméter mellett. Változtassa meg az SNR értékét 0-tól 50-ig, 5-ös lépésekben. Figyelje meg az idő és konstellációs diagram változásait! Hogyan hat az SNR értékének változtatása a jelünkre? Mekkora SNR értéknél mondható a jelünk viszonylag zajmentesnek?

Megfigyelés és SNR érték:

2.2. Wave PRO szoftver használata Agilent 33522A üzemmódban

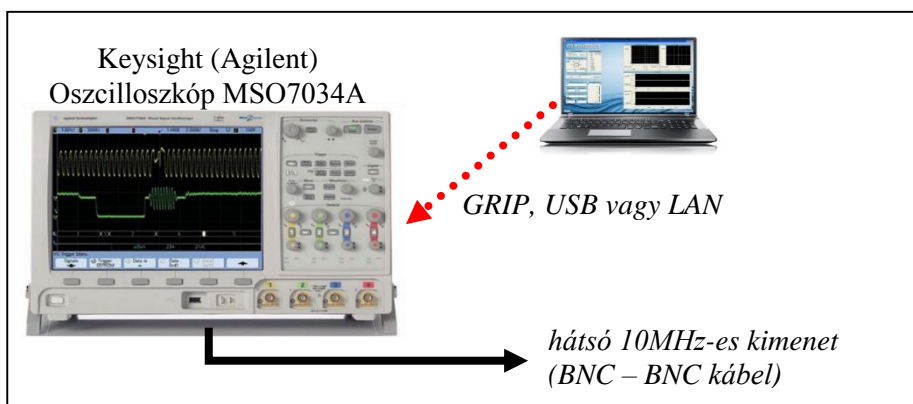
Ebben az üzemmódban a Wave PRO szoftver előállítja a kiválasztott modulációs eljárás IQ jelalakját a beállított paraméterekkel, majd átalakítja azt az Agilent 33522A függvénygenerátor számára értelmezhető adatokra és ráküldi a generátorra. A most már valóságban is létező jelalakokat a VSA (Vector Signal Analyzer) programban, oszcilloszkópon, és Agilent N9320B spektrumanalizátor felhasználásával tudjuk értelmezni, különböző mérési feladatokon keresztül.

2.2.1. Az oszcilloszkóp és a függvénygenerátor beállítása

Keysight (Agilent) MSO7034A oszcilloszkóp beállítása:

A) Alakítsuk ki az 2.5. ábraán látható összeköttetést a következő módon:

- Az oszcilloszkóp hátulján lévő 10MHz-es referencia kimenetre csatlakoztassunk egy BNC-BNC kábelt. A későbbi méréseink során ezt a referencia jelet fogjuk vivőfrekvenciaként használni.
- Az ábrán pontozott vonallal jelzett kommunikációs összeköttetést már korábban létrehoztuk, azzal most nem kell foglalkoznunk.



2.5. ábra - Oszcilloszkóp 10MHz-es kimenetének bekötése

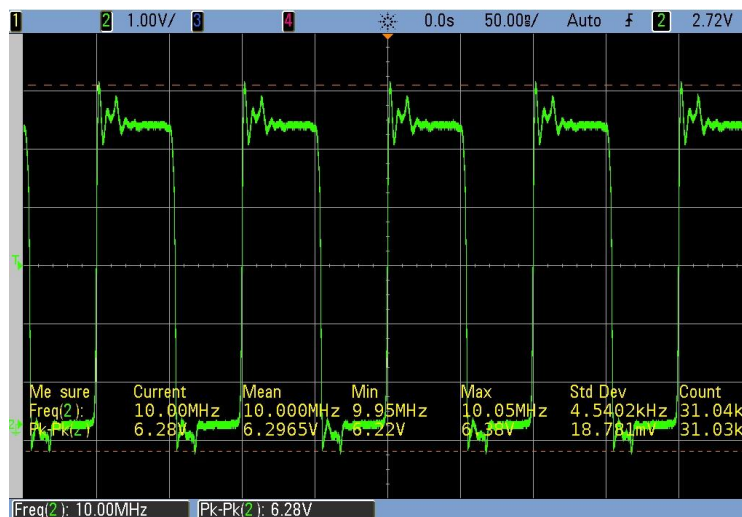
B) Az oszcilloszkóp kezelőfelülete segítségével állítsuk be a következőket: (2.1. táblázat)

Műszer/főgomb	Képernyő gomb	Hatás
[Save/Recall]	(Default Setup)	A műszerbe a gyári beállítások töltődnek be.
[Auto-Scale]		A műszer automatán beállítja a jel megfelelő megjelenítéséhez szükséges paramétereket.
[Utility]	(Options) (Rear Panel) (Ref Signal) → 10MHz output	10MHz-es referencia kimenet engedélyezésre került.

2.1. táblázat – Az oszcilloszkóp beállítása

C) 10MHz-es referencia jel ellenőrzése:

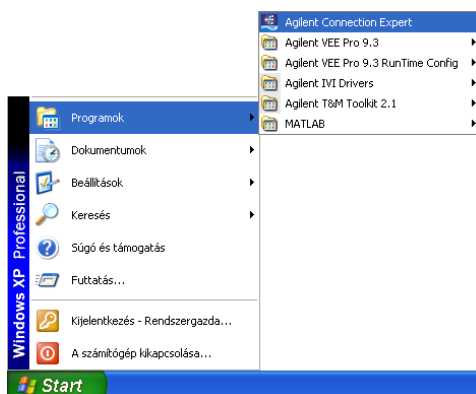
- Csatlakoztassuk az oszcilloszkóp hátsó 10MHz-es referencia jelét az oszcilloszkóp 1-es csatornájára egy BNC – BNC kábel segítségével.
- Nyomjuk meg az [Auto-Scale] és a [Quick Meas] gombokat.
- Ha mindent jól csináltunk, akkor a 2.6. ábra fogad minket.



2.6. ábra - 10MHz-es referencia jel

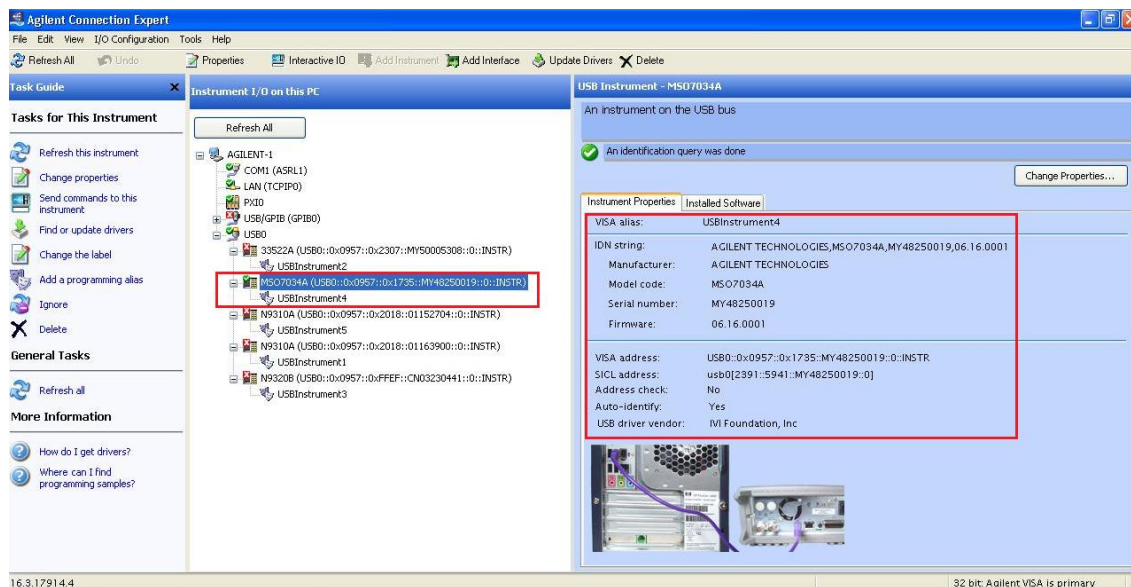
D) A PC és az oszcilloszkóp kapcsolatának ellenőrzése:

- Ahhoz, hogy az általunk előállított és az oszcilloszkópon megjelenített jelet később a VSA szoftverben képesek legyünk elemezni, az oszcilloszkópnak csatlakoztatva kell lennie a PC-hez. A kapcsolat kialakítása itt USB porton keresztül lehetséges. Ezt az összekötést már korábban elvégeztük, de a kapcsolat létrejöttének ellenőrzése elengedhetetlen. A kapcsolat létrejötte után a műszer egy meghatározott címen lesz elérhető, ezt a címet VISA címnek nevezzük.
- Kapcsoljuk be az oszcilloszkópot, majd nyissuk meg a következő programot a PC-n (2.7. ábra): [Start Menü] → [Programok] → „Agilent Connection Expert”



2.7. ábra - Agilent Connection Expert elérési útja

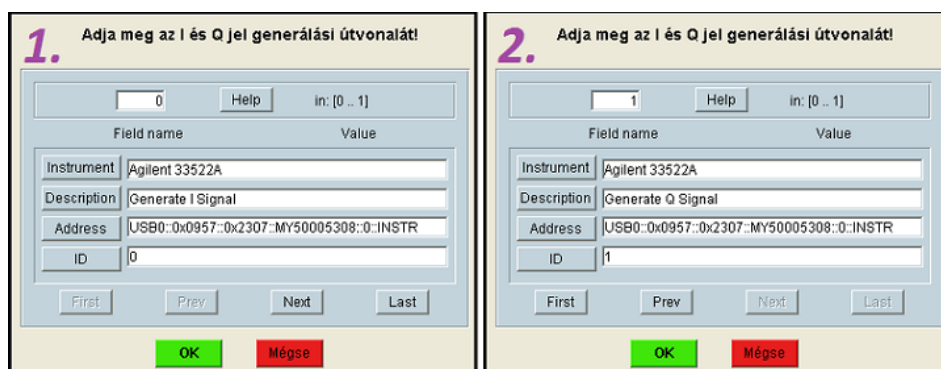
A megnyitás után válasszuk ki az „MSO7034A” nevű műszert (2.8. ábra)! Az ablak jobb oldalán megjelennek az oszcilloszkópra és a gyártóra jellemző paraméterek, köztük a VISA cím is. Ha a műszer csatlakoztatva van és a kapcsolat él, akkor egy zöld pipa jelzi a csatlakozást, ha nem akkor egy piros x jelenik meg. Utóbbi esetben vagy nincs bekapcsolva az oszcilloszkóp, vagy nem megfelelő az USB-s csatlakozás. Ha ilyen észlel, forduljon segítségért a mérésvezetőjéhez!



2.8. ábra - MSO7034A adatai az Agilent Connection Expert programban

Keysight (Agilent) 33522A függvénygenerátor beállítása:

- Az Agilent Connection Expert programban válasszuk ki a 33522A nevű műszert és másoljuk ki a VISA címét!
- Nyissuk meg a Wave PRO szoftvert és azon belül válasszuk ki a „Konfigurálás” menüpontot!
- Illesszük be a kimásolt VISA címet a 2.9. ábra alapján!
- További segítséget kaphatunk a Wave PRO szoftveren belül a Konfigurálás majd a Help menüpont alatt.

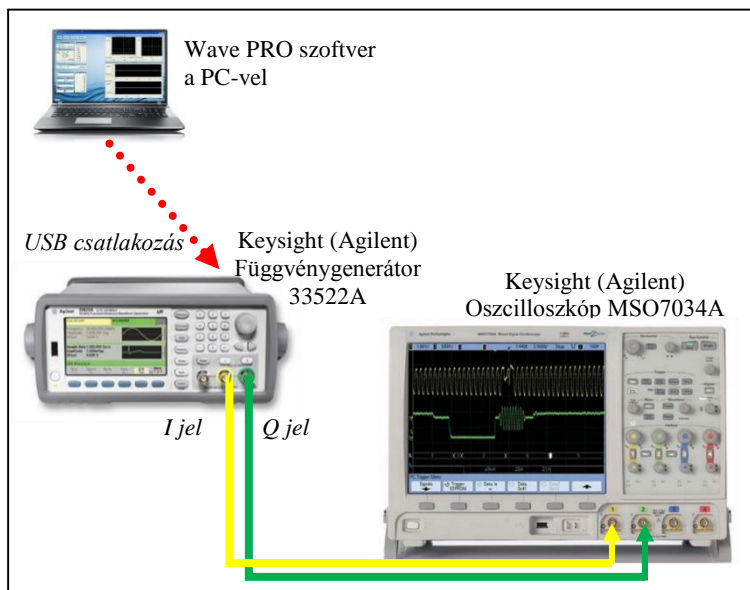


2.9. ábra - VISA cím beállítása a Wave PRO programban

2.2.2. IQ alapsávi jelek előállítása

A 2.10. ábra segítségével állítsuk össze az alapsávi jelek vizsgálatához szükséges mérési összeállítást a következő módon:

- A Keysight 33522A függvénygenerátor 1-es és 2-es csatornáit kössük össze két darab 50 Ω -os BNC-BNC kábel segítségével az oszcilloszkóp 1-es illetve 2-es csatornájával!
- Az 1-es csatorna reprezentálja az I jelet a 2-es csatorna a Q jelet.
- Az ábrán pontozott vonallal jelzett kommunikációs összeköttetést már korábban létrehoztuk azzal most nem kell foglalkoznunk.



2.10. ábra - Mérési összeállítás IQ alapsávi jelek előállítására

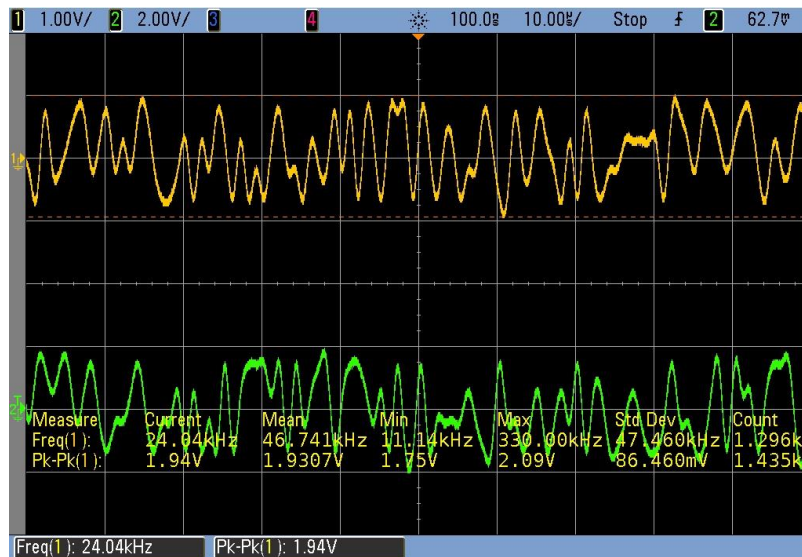
A) A Wave PRO programban állítsuk be a következő paramétereket (2.2. táblázat):

Megnevezés	Érték
Függvénygenerátor	Agilent 33522A
Modulációs eljárás	16 QAM
Szűrő [roll-off]	ON: 0.5
Zaj generátor [SNR]	OFF: 10
Szimbólumsebesség	1M
Bitek száma [db]	2000
Time span [sec]	auto
Mintavételezési sebesség	10M
DC eltérés [V]	0
Fázis eltérés [°]	0
Kimeneti feszültség [V _{pp}]	2

2.2. táblázat - 16QAM moduláció paraméterei

Az „Indulás” gombra kattintva a szoftver megkezdi a beállított hullámforma letöltését a függvénygenerátorba. Ha elkészült a letöltés, akkor azt a szoftver jelzi számunkra illetve az oszcilloszkópon is megjelenik az I/Q jelalakunk.

Ha mindent jól csináltunk, akkor egy hasonló kép (2.11. ábra) fogad minket az oszcilloszkópon.



2.11. ábra - 16QAM moduláció IQ idő diagramja

Az oszcilloszkópon, a jelünk valós időben fut, így azt a [Run/Stop] kezelógommbal állíthatjuk meg, a könnyebb vizsgáldás érdekében.

1. feladat: Vizsgáljuk meg és hasonlítsuk össze az oszcilloszkópon megjelenő és a Wave PRO szoftverben szimulált hullámformát! Mérje meg és foglalja táblázatba (2.3. táblázat) a letöltött 16QAM alapsávi I/Q hullámforma frekvenciáját felhasználva az oszcilloszkópot!

Hullámforma	Current [kHz]	Mean [kHz]	Minimum [kHz]	Maximum [kHz]
<i>I jel</i>				
<i>Q jel</i>				

2.3. táblázat - 16QAM moduláció IQ hullámformájának frekvenciája

2. feladat: Mennyi a jel sávszélessége ezekkel e beállításokkal?

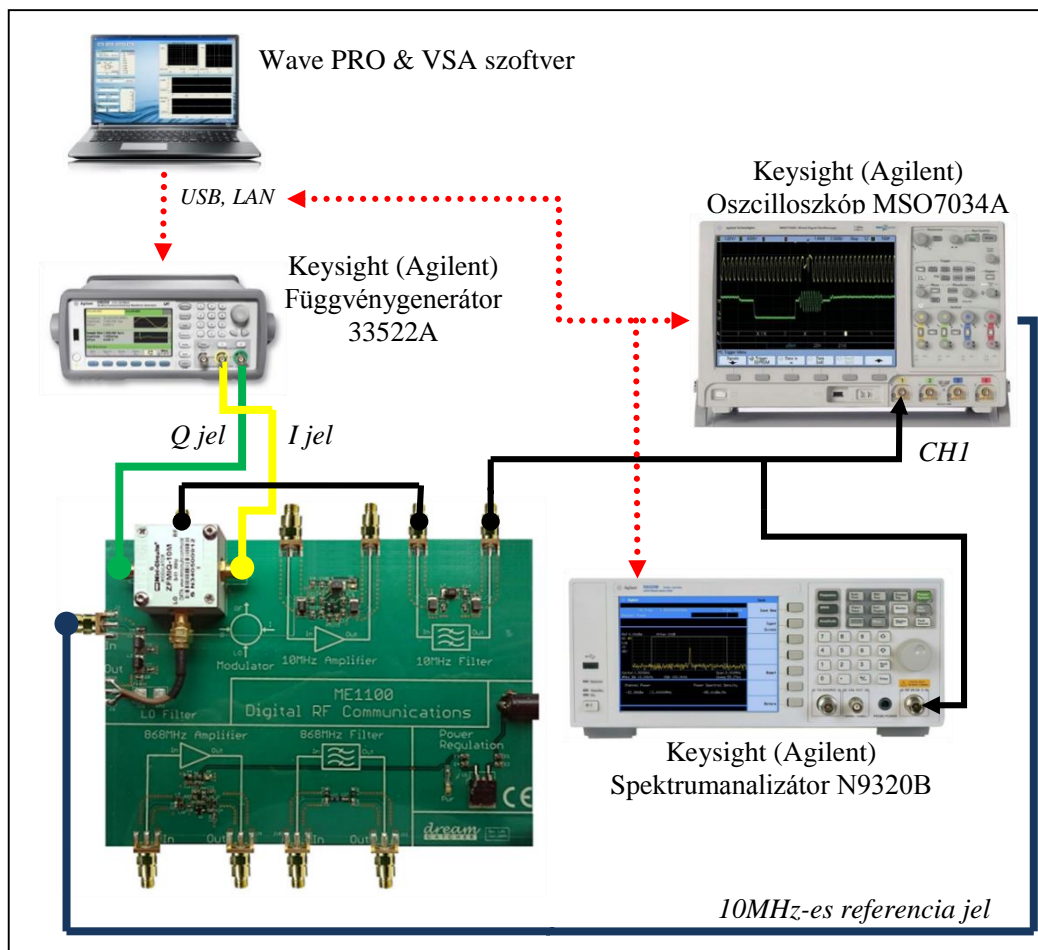
$$\text{Elfoglalt sávszélesség} = \text{Szimbólumsebesség} * (1 + \text{Szűrőparaméter})$$

Elfoglalt sávszélesség	
------------------------	--

2.2.3. Modulált RF jel spektrumának megjelenítése

Állítsuk össze a 2.12. ábraán látható mérési összeállítást a következő képen:

- A Keysight 33522A függvénygenerátor 1-es csatornáját csatlakoztassuk az ME1100-as panel I bemenetére, a 2-es csatornát pedig a Q bemenetére két darab BNC – SMA kábel segítségével.
- A Keysight MSO7034A oszcilloszkóp hátsó 10MHz-es referencia jelét csatlakoztassuk egy BNC – SMA kábellel az ME1100-as panel LO bemenetére.
- Az ME1100-as panel RF kimenetét kössük össze a 10MHz-es szűrő bemenetével egy SMA – SMA kábellel!
- A 10MHz-es szűrő kimenetét csatlakoztassuk BNC – SMA kábel segítségével az oszcilloszkóp egyik csatornájára!



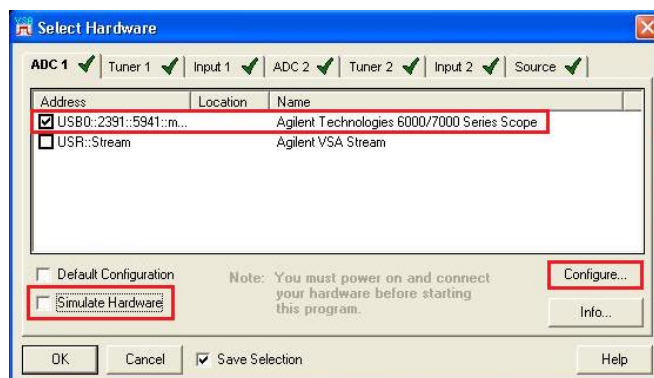
2.12. ábra - Mérési összeállítás RF jel spektrumának megjelenítésére

89601B VSA szoftver beállítása:

- A) Indítsuk el a 89601 VSA (Vector Signal Analyzer) programot a következő helyről: [Start Menü] → [Programok] → „VSA”.

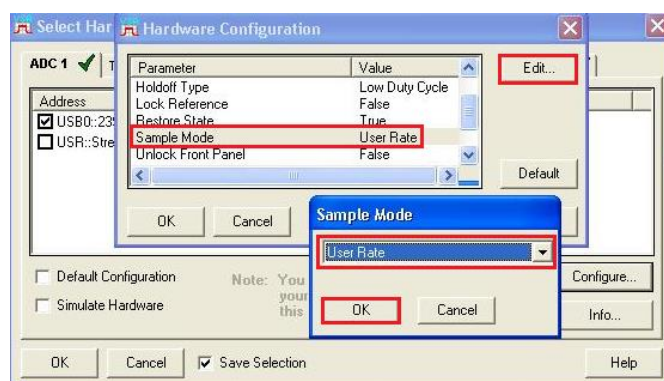
Első megnyitáskor a program ellenőrzi a PC-hez csatlakoztatott műszereket, azok VISA címének segítségével, és átveszi felettük az irányítást. A műszerek feletti irányítást a műszeren lévő **[Local]** gomb megnyomásával lehet visszavenni, ha ez szükséges.

- B) Nyissuk meg az [Utilites] majd a [Hardware] menüpontot, vegyük ki a pipát a „Simulate Hardware” gombról, jelöljük ki az „USB1::...” opciót és kattintsunk a „Configure” lehetőségre (2.13. ábra).



2.13. ábra - Oszilloszkóp konfigurálása a VSA szoftverben

- C) Itt válasszuk ki a „Sample Mode”-ot, kattintsunk az „Edit” gombra és állítsuk át erre: „User Rate” (2.14. ábra).



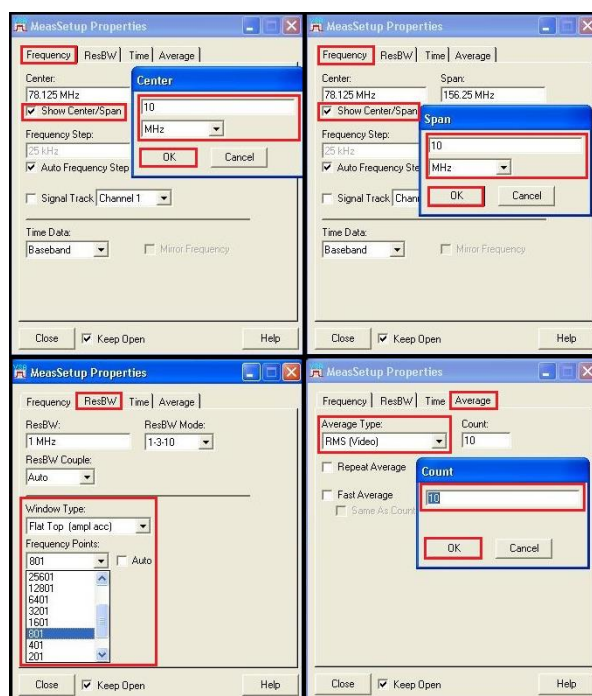
2.14. ábra - User Rate aktiválása

- D) Állítsuk be a következő paramétereket a Wave PRO szoftverben és küldjük ki a függvénygenerátorra egy BPSK moduláció vizsgálatához!

Megnevezés	Érték
Függvénygenerátor	Agilent 33522A
Modulációs eljárás	BPSK
Szűrő [roll-off]	ON: 0.5
Zaj generátor [SNR]	OFF: 10
Szimbólumsebesség	1M
Bitek száma [db]	2000
Time span [sec]	auto
Mintavételezési sebesség	10M
DC eltérés [V]	0
Fázis eltérés [°]	0
Kimeneti feszültség [Vpp]	2

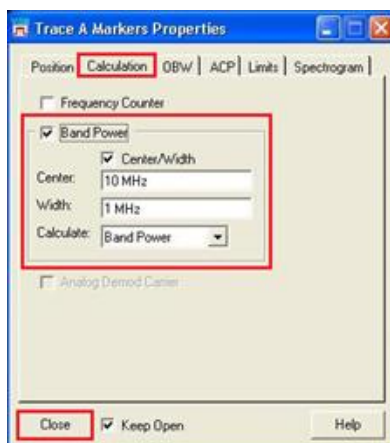
2.4. táblázat - BPSK moduláció paraméterei

- E) A VSA szoftverben állítsuk be a középfrekvenciát és a frekvenciaátfogást 10MHz-re a következő menüpontban: [MeasSetup] → [Frequency] (2.15. ábra).
- F) A ResBW fülön állítsuk át a frekvencia pontok számát 801-re (2.15. ábra)!
- G) Az átlagolás fülön (Average) állítsuk az „RMS (Video)” lehetőséget 10-re (2.15. ábra)!



2.15. ábra - MeasSetup beállítása

- H) Állítsuk be a csatornateljesítmény számolást 10MHz-es középfrekvencián és 1MHz-es sávszélességgel, a [Markers] és azon belül [Calculation] menüpont alatt (2.16. ábra).



2.16. ábra - Csatornateljesítmény kalkuláció beállítása

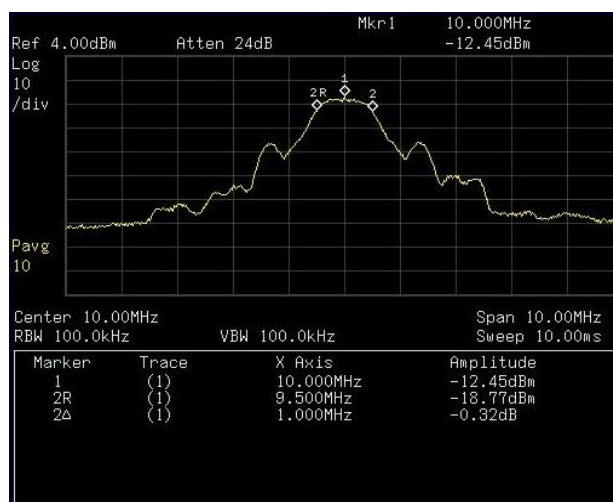
Keysight (Agilent) N9320B spektrumanalizátor beállítása:

A) Kapcsoljuk be a spektrumanalizátort és állítsuk be a következő paramétereket (2.5. táblázat)!

Főgomb	Képernyő gomb		Érték
[Local]			
[Auto Tune]			
[Frequency]	(Center Freq)		10MHz
[SPAN]	(Span)		10MHz
[BW/Avg]	(Res.BW)		100kHz, auto
	(Avarage)		ON
	(Avarage Type)		Power
[Marker]	(Select Marker: Marker 1) (Normal)		10MHz
	(Select Marker: Marker 2) (Delta) (Delta Pair)	(Ref)	9.5MHz
		(Delta)	10.5MHz
	(More) (Delta) (Marker Table)		ON

2.5. táblázat - Spektrumanalizátor beállítása

B) Ha minden t jól csináltunk, akkor a következőt (2.17. ábra) kapjuk.



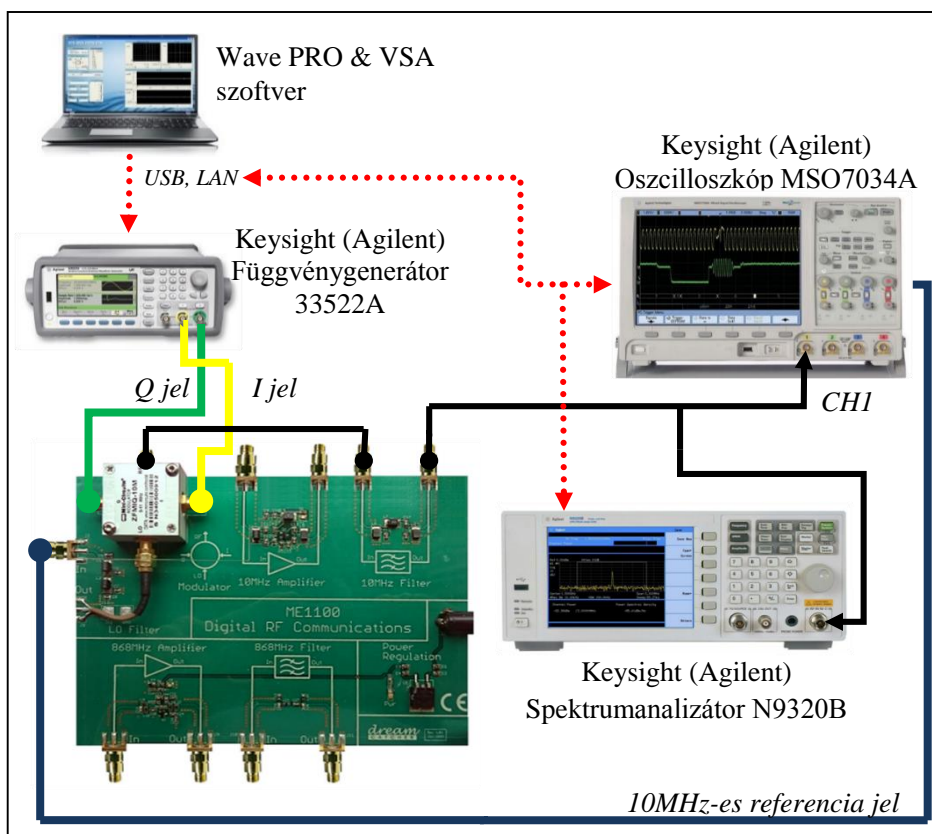
2.17. ábra - Spektrumkép markerekkel

2.3. Maximális kimeneti teljesítmény mérése

2.3.1. Erősítő beiktatása előtt

Állítsuk össze a 2.18. ábraán látható mérési összeállítást a következőképpen:

- A Keysight 33522A függvénygenerátor 1-es csatornáját csatlakoztassuk az ME1100-as panel I bemenetére, a 2-es csatornát pedig a Q bemenetére két darab BNC – SMA kábel segítségével!
- A Keysight MSO7034A oszcilloszkóp hátsó 10MHz-es referencia jelét csatlakoztassuk egy BNC – SMA kábellel az ME1100-as panel LO bemenetére!
- Az ME1100-as panel RF kimenetét kössük össze a 10MHz-es szűrő bemenetével egy SMA – SMA kábellel!
- A 10MHz-es szűrő kimenetét csatlakoztassuk BNC – SMA kábel segítségével az oszcilloszkóp egyik csatornájára.



2.18. ábra - Mérési összeállítás maximális kimeneti teljesítmény mérésére, erősítő nélkül

A) A Wave PRO szoftverben állítsuk be és küldjük ki a generátorra a 2.6. táblázat értékeit:

Megnevezés	Érték
Függvénygenerátor	Agilent 33522A
Modulációs eljárás	QPSK
Szűrő [roll-off]	ON: 0.5
Zaj generátor [SNR]	OFF: 10
Szimbólumsebesség	1M
Bitek száma [db]	2000
Time span [sec]	auto
Mintavételezési sebesség	10M
DC eltérés [V]	0
Fázis eltérés [°]	0
Kimeneti feszültség [Vpp]	2

2.6. táblázat - QPSK moduláció paraméterei

B) Állítsuk be a VSA szoftverben a következő paramétereket (2.7. táblázat):

Menü gomb	Almenü	Érték
[Display]	(Active Trace)	Active A
[MeasSetup]	(Frequency)	Center: 10MHz
		Span: 10MHz
	(ResBW)	Frequency Points: 801
	(Avarage)	RMS (Video): 10
[Markers]	(Calculation)	Band Power, Center/Width
		Center: 10MHz
		Width: 1MHz
		Calculate: Band Power

2.7. táblázat - VSA szoftver beállítása csatornateljesítmény mérésére

C) Állítsuk be a spektrumanalizátoron a következőket (2.8. táblázat):

Főgomb	Képernyő gomb		Érték
[Auto Tune]			
[Frequency]	(Center Freq)		10MHz
[SPAN]	(Span)		10MHz
[Meas]	(Channel Power)	(Avg Number)	ON: 10
		(Integ BW)	1MHz
		(Chan Pwr Span)	10MHz
		(Center Freq)	10MHz

2.8. táblázat - Spektrumanalizátor beállítása csatornateljesítmény mérésére

1. feladat: Mérje meg a csatornateljesítményt a VSA szoftverben és a spektrumanalizátoron (2.9. táblázat)!

	Csatorna teljesítmény [dBm]
VSA	
Keysight (Agilent) N9320B	

2.9. táblázat - Csatornateljesítmény adatok

2. feladat: A VSA szoftverben változtassa meg az átlagolás paramétereit!

[MeasSetup] (ResBW) → Frequency Points: 6401

[MeasSetup] (Average) → RMS (Video): 50

Miért biztosítanak nagyobb mérési pontosságot ezek a beállítások? Mekkora az így mérhető csatornateljesítmény (2.10. táblázat)?

	Csatorna teljesítmény [dBm]
VSA	
Azért biztosítanak jobb mérési pontosságot, mert:	

2.10. táblázat - Mért értékek

3. feladat: Kösse ki a 10MHz-es szűrőt az ME1100-as panelen, és mérje meg így a csatorna teljesítményt. Írja le miért szükséges a 10MHz-es szűrő az RF modulátor után (2.11. táblázat).

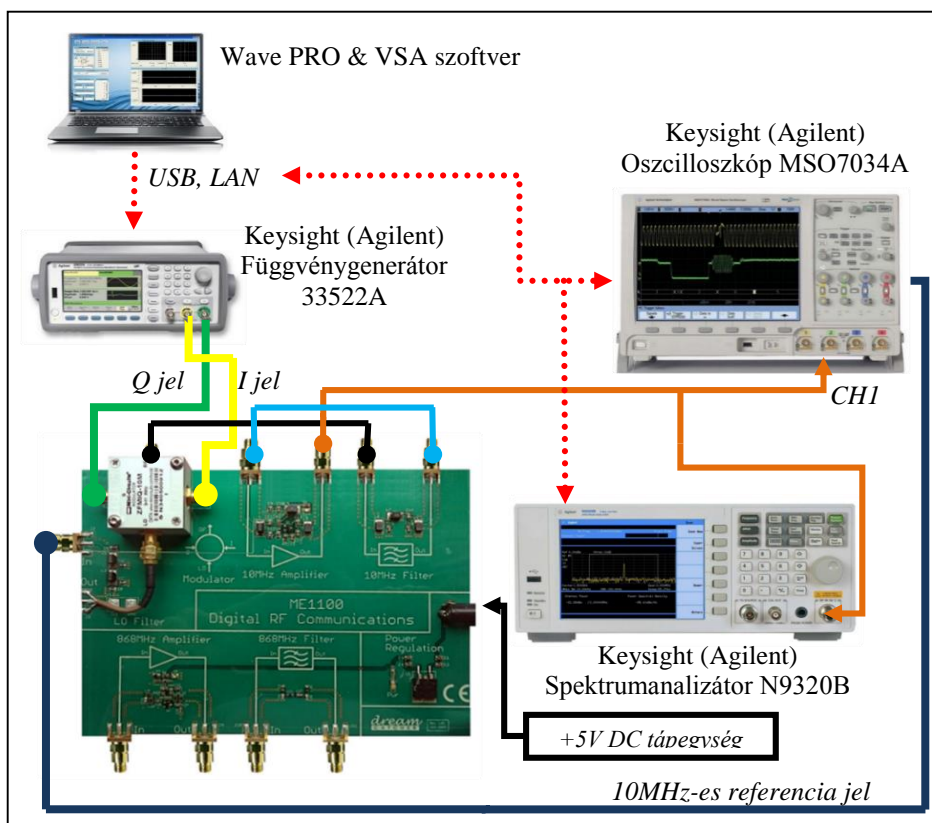
	Csatorna teljesítmény [dBm]
VSA	
Keysight (Agilent) N9320B	
Azért szükséges, mert:	

2.11. táblázat - Mért adatok

2.3.2. Erősítő beiktatása után

Állítsuk össze a 2.19. ábraán látható mérési összeállítást a következőképpen:

- Csatlakoztassuk a +5V-os DC tápegységet az ME1100-as panelhez!
- A Keysight 33522A függvénygenerátor 1-es csatornáját csatlakoztassuk az ME1100-as panel I bemenetére, a 2-es csatornát pedig a Q bemenetére két darab BNC – SMA kábel segítségével.
- A Keysight MSO7034A oszcilloszkóp hátsó 10MHz-es referencia jelét csatlakoztassuk egy BNC – SMA kábellel az ME1100-as panel LO bemenetére!
- Az ME1100-as panel RF kimenetét kössük össze a 10MHz-es szűrő bemenetével egy SMA – SMA kábellel!
- A 10MHz-es szűrő kimenetét csatlakoztassuk SMA – SMA kábel segítségével a 10MHz-es erősítő bemenetére!
- Az oszcilloszkóp egyik csatornáját kössük össze a 10MHz-es erősítő kimenetével, egy BNC – SMA kábellel!



2.19. ábra - Mérési összeállítás maximális kimeneti teljesítmény mérésére erősítővel

1. feladat: Mérje meg így a csatornateljesítményt a VSA szoftverben és a spektrumanalizátoron is (2.12. táblázat)!

	Csatorna teljesítmény [dBm]
VSA	
Keysight (Agilent) N9320B	

2.12. táblázat - Csatornateljesítmény adatok

2. feladat: Számolja ki mekkora az erősítő nélkül és erősítővel mért értékek alapján, az 10MHz-es RF erősítő erősítése (2.13. táblázat)!

	Erősítés
VSA	
Keysight (Agilent) N9320B	

2.13. táblázat - 10MHz-es RF erősítő erősítése

3. feladat: Most olyan módon kösse össze a kapcsolást, hogy az RF kimenet után először a 10MHz-es erősítő és utána a 10MHz-es szűrő legyen bekötve. Ismételje meg így a csatornateljesítmény mérést és értelmezze a kapott adatokat (2.14. táblázat)!

	Csatorna teljesítmény [dBm]
VSA	
Keysight (Agilent) N9320B	
Változott:	

2.14. táblázat - Mért adatok

4. feladat: Miért és melyik csatlakozási lehetőség biztosít jobb értékeket: szűrő-erősítő vagy erősítő-szűrő?

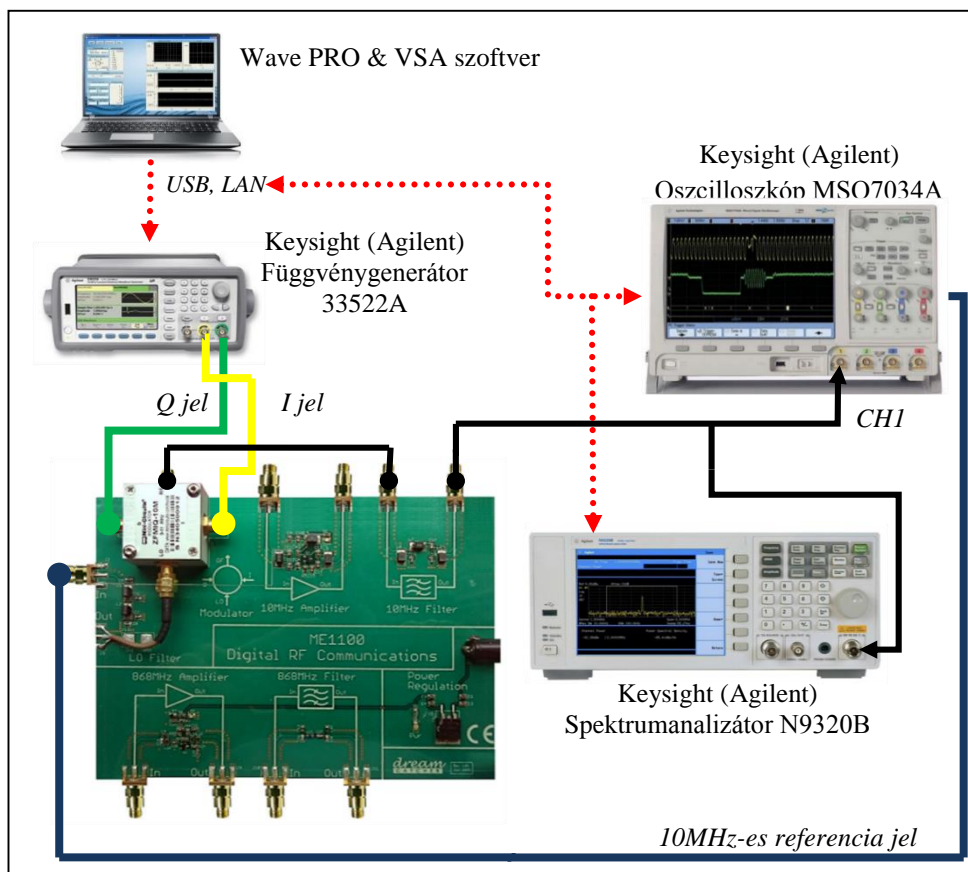
Csatlakozási mód:

2.4. Elfoglalt sávszélesség mérése

2.4.1. Erősítő beiktatása előtt

Állítsuk össze a 2.20. ábraán látható mérési összeállítást a következőképpen:

- A Keysight 33522A függvénygenerátor 1-es csatornáját csatlakoztassuk az ME1100-as panel I bemenetére, a 2-es csatornát pedig a Q bemenetére két darab BNC – SMA kábel segítségével!
- A Keysight MSO7034A oszcilloszkóp hátsó 10MHz-es referencia jelét csatlakoztassuk egy BNC – SMA kábellel az ME1100-as panel LO bemenetére.
- Az ME1100-as panel RF kimenetét kössük össze a 10MHz-es szűrő bemenetével egy SMA – SMA kábellel!
- A 10MHz-es szűrő kimenetét csatlakoztassuk BNC – SMA kábel segítségével az oszcilloszkóp egyik csatornájára!



2.20. ábra - Mérési összeállítás elfoglalt sávszélesség mérésére erősítő nélkül

- A) A Wave PRO szoftverben állítsuk be és küldjük ki a generátorra az alábbi értékeket egy 4-QAM moduláció vizsgálatához (2.15. táblázat):

Megnevezés	Érték
Függvénygenerátor	Agilent 33522A
Modulációs eljárás	4 QAM
Szűrő [roll-off]	ON: 0.5
Zaj generátor [SNR]	OFF: 10
Szimbólumsebesség	1M
Bitek száma [db]	2000
Time span [sec]	auto
Mintavételezési sebesség	10M
DC eltérés [V]	0
Fázis eltérés [°]	0
Kimeneti feszültség [Vpp]	2

2.15. táblázat - 4QAM moduláció paraméterei

- B) Állítsuk be a VSA szoftverben a következő paramétereket (2.16. táblázat):

Menü gomb	Almenü	Érték
[Display]	(Active Trace)	Active A
[MeasSetup]	(Frequency)	Center: 10MHz
		Span: 5MHz
	(ResBW)	Frequency Points: 3201
	(Avarage)	RMS (Video): 20
[Markers]	(Calculation)	Band Power, Center/Width
		Center: 10MHz
		Width: 1MHz
		Calculate: Band Power
	(OBW)	99%
[Display]	(Active Trace)	Active B
[Trace]	(Data) (Marker)	OBW Summary TrcA

2.16. táblázat - VSA szoftver beállítása elfoglalt sáv szélesség mérésére

- C) Állítsuk be a spektrumanalizátoron a következőket (2.17. táblázat):

Főgomb	Képernyő gomb		Érték
[Auto Tune]			
[Frequency]	(Center Freq)		10MHz
[SPAN]	(Span)		5MHz
[Meas]	(Occupied BW)	(Avg Number)	ON: 10
		(Occ BW % Pwr)	99%
		(OBW Span)	5MHz

2.17. táblázat - Spektrumanalizátor beállítása elfoglalt sáv szélesség mérésére

1. feladat: Mérje meg és foglalja táblázatba (2.18. táblázat) a csatornateljesítményt és az elfoglalt sávszélességet (OBW) a VSA szoftver és a spektrumanalizátor segítségével, 10MHz-es szűrővel és nélküle.

		10MHz-es szűrővel	10MHz-es szűrő nélkül
OBW [MHz]	VSA		
	Keysight N9320B		
Csatornateljesítmény [dBm]	VSA		
	Keysight N9320B		

2.18. táblázat - Mért csatornateljesítmény és sávszélesség adatok

2. feladat: Változtassa meg az emelt koszinuszos szűrő értékét a Wave PRO szoftverben, mérje meg a különböző értékekhez tartozó csatornateljesítményt és az elfoglalt sávszélességet (2.19. táblázat)!

VSA szoftver				
Szűrő paraméter	10MHz-es szűrővel		10MHz-es szűrő nélkül	
	OBW [MHz]	Csatornateljesítmény [dBm]	OBW [MHz]	Csatornateljesítmény [dBm]
0				
0.2				
0.4				
0.6				
0.8				
1				

Keysight (Agilent) N9320B				
Szűrő paraméter	10MHz-es szűrővel		10MHz-es szűrő nélkül	
	OBW [MHz]	Csatornateljesítmény [dBm]	OBW [MHz]	Csatornateljesítmény [dBm]
0				
0.2				
0.4				
0.6				
0.8				
1				

2.19. táblázat - Szűrő paraméter hatása a csatornateljesítményre és a sávszélességre

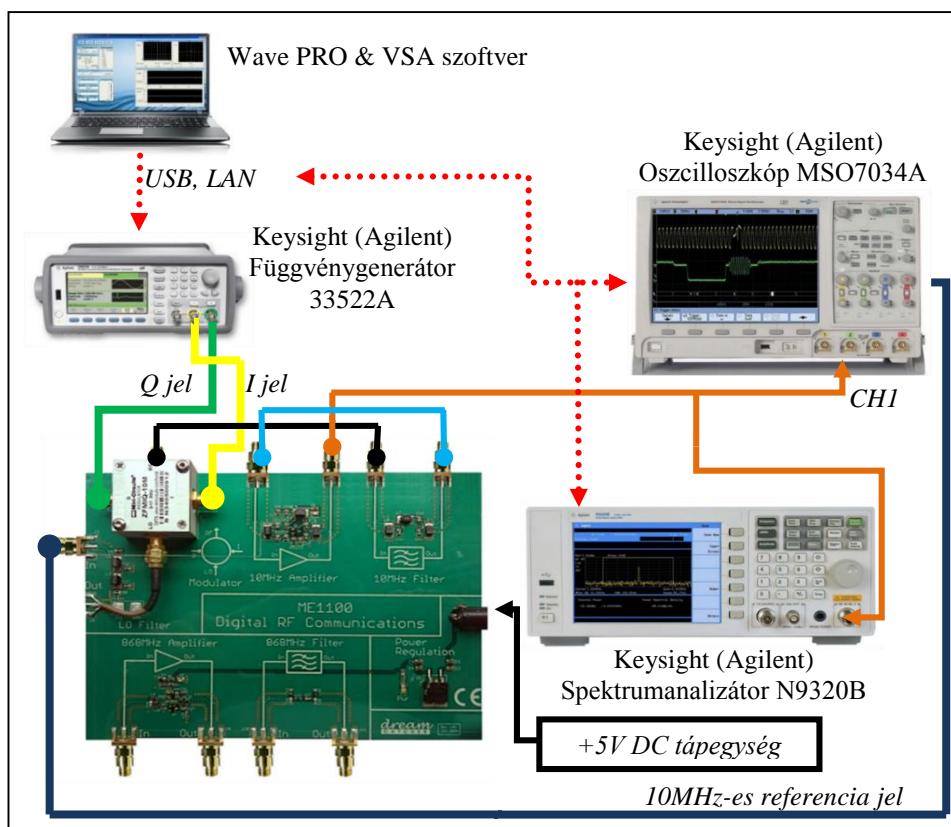
3. feladat: Mi a hatása az emelt koszinuszos szűrő paraméterének a sávszélességre és a csatornateljesítményre?

Változott:

2.4.2. Erősítő beiktatása után

Állítsuk össze a 2.21. ábraán látható mérési összeállítást a következőképpen:

- Csatlakoztassuk a +5V-os DC tápegységet az ME1100-as panelhoz!
- A Keysight 33522A függvénygenerátor 1-es csatornáját csatlakoztassuk az ME1100-as panel I bemenetére, a 2-es csatornát pedig a Q bemenetére két darab BNC – SMA kábel segítségével!
- A Keysight MSO7034A oszcilloszkóp hátsó 10MHz-es referencia jelét csatlakoztassuk egy BNC – SMA kábellel az ME1100-as panel LO bemenetére.
- Az ME1100-as panel RF kimenetét kössük össze a 10MHz-es szűrő bemenetével egy SMA – SMA kábellel!
- A 10MHz-es szűrő kimenetét csatlakoztassuk SMA – SMA kábel segítségével a 10MHz-es erősítő bemenetére!
- Az oszcilloszkóp egyik csatornáját kössük össze a 10MHz-es erősítő kimenetével, egy BNC – SMA kábellel!



2.21. ábra - Mérési összeállítás elfoglalt sávszélesség mérésére erősítővel

1. feladat: Próbálja ki több kimeneti feszültség értéket a Wave PRO szoftverben 0.5-ös szűrő paraméter mellett. Mérje meg és foglalja táblázatba (2.20. táblázat) a sávszélesség igényt és a csatornateljesítményt!

Kimeneti feszültség [Vpp]	VSA		Keysight (Agilent) N9320B	
	OBW [MHz]	Csatornateljesítmény [dBm]	OBW [MHz]	Csatornateljesítmény [dBm]
1				
2				
3				
4				
5				

2.20. táblázat - Kimeneti feszültség hatása a csatornateljesítményre és a sávszélességre

2. feladat: Hogyan változott meg a sávszélesség igény az erősítő beiktatása után, az erősítő nélküli állapothoz képest?

Változott:

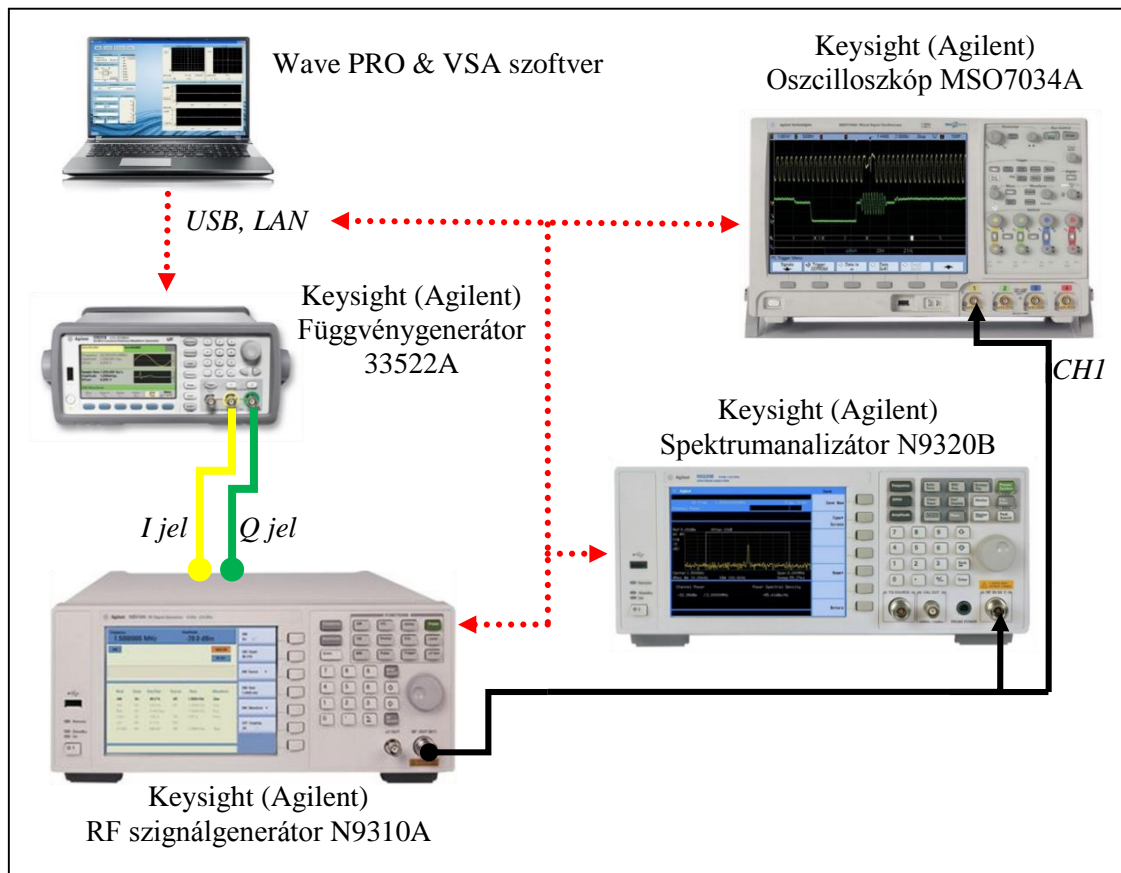
3. feladat: Milyen hatással van a kimeneti feszültség a csatornateljesítményre és a sávszélességre?

Hatás:

2.5. IQ jel modulálása és demodulálása Keysight RF szignálgenerátorral

Állítsuk össze a 2.22. ábraán látható mérési összeállítást a következő módon:

- A Keysight 33522A függvénygenerátor 1-es csatornáját csatlakoztassuk a Keysight N9310A RF szignálgenerátor hátulján lévő I-in bemenetre, a 2-es csatornát pedig Q-in bemenetre, két darab BNC – BNC kábelt felhasználva.
- Keysight N9310A RF szignálgenerátor RF-out kimenetét kössük össze a spektrumanalizátor és az oszcilloszkóp bemenetével felhasználva, egy BNC T-tagot és két BNC – BNC kábelt.



2.22. ábra - Mérési összeállítás demoduláció vizsgálatához

A) A Wave PRO szoftverben állítsuk be és küldjük ki a generátorra a következőket (2.21. táblázat):

Megnevezés	Érték
Függvénygenerátor	Agilent 33522A
Modulációs eljárás	16 QAM
Szűrő [roll-off]	ON: 0.5
Zaj generátor [SNR]	OFF: 10
Szimbólumsebesség	1M
Bitek száma [db]	3000
Time span [sec]	auto
Mintavételezési sebesség	10M
DC eltérés [V]	0
Fázis eltérés [°]	0
Kimeneti feszültség [Vpp]	1

2.21. táblázat - 16QAM moduláció paraméterei

B) Állítsuk be az RF szignálgenerátoron a következőket (2.22. táblázat):

Főgomb	Érték
[Local]	
[Frequency]	10MHz
[Amplitude]	20dBm
[I/Q]	ON
[MOD ON/OFF]	ON
[RF ON/OFF]	ON

2.22. táblázat - RF szignálgenerátor beállítása

C) Állítsuk be a spektrumanalizátoron a következőket (2.23. táblázat):

Főgomb	Képernyő gomb	Érték
[Auto Tune]		
[Frequency]	(Center Freq)	10MHz
[SPAN]	(Span)	5MHz
[Meas]	(Channel Power)	(Avg Number)
		ON: 10
		(Integ BW)
		1MHz
		(Chan Pwr Span)
		10MHz
		(Center Freq)
		10MHz

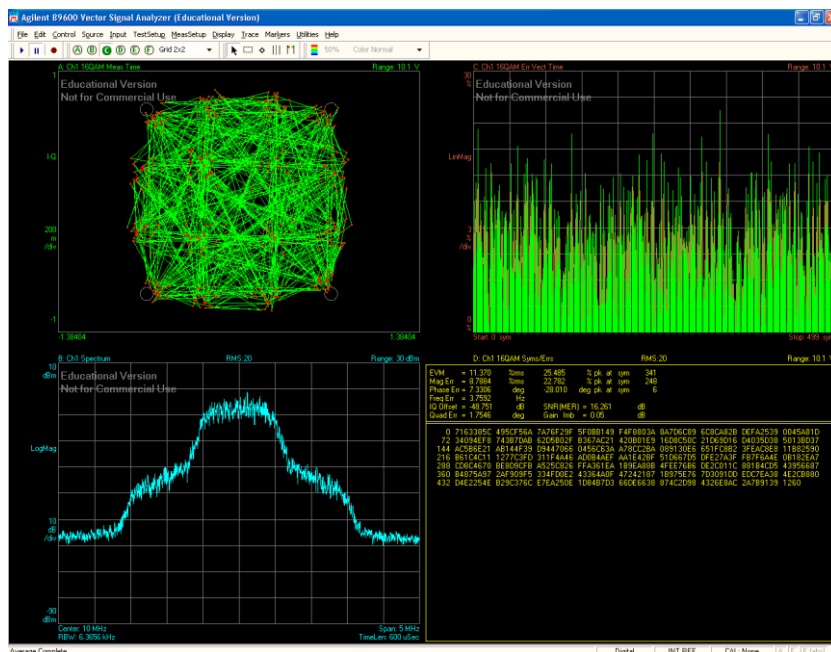
2.23. táblázat - Spektrumanalizátor beállítása

D) Állítsuk be a VSA szoftverben a következő paramétereket (2.24. táblázat):

Menü gomb	Almenü		Érték
[File]	(Preset)		Preset All
[MeasSetup]	(Frequency)		Center: 10MHz
	(ResBW)		Frequency Points: 3201
	(Avarage)		RMS (Video): 20
	(Demodulator)		Digital Demod
	(Demod Properties)	(Format)	Format: QAM 16
			Symbol Rate: 1M
			Points/Symbol: 1
			Result Length: 500
		(Filter)	Measurement Filter: Root RC
			Reference Filter: Raised C
			Alpha/BT: 0.5
		(Search)	Pulse Search: OFF
			Sync Search: OFF
(Compensate)	Rotation: 0 deg		
(Frequency)		Span: 5MHz	
[Display]	(Layout)		Grid 2x2
	(Active Trace)		Active B
[Markers]	(Calculation)	Band Power, Center/Width	
		Center:10MHz	
		Width:1MHz	
		Calculate: Band Power	
	(OBW)	99%	

2.24. táblázat - VSA szoftver beállítása demoduláció méréséhez

Ha mindent jól állítottunk be a VSA szoftverben a következő (2.23. ábra) demodulációs ábrát kell kapnunk: az első kép a demodulált jel konstellációs ábrája a második, a modulált jel spektrum képe, a harmadik pedig a hibavektorok időbeni változását mutatja. Az utolsó képen láthatjuk a különböző hibaparaméterek aktuális értékét.



2.23. ábra - Demoduláció vizsgálata a VSA szoftverben

1. feladat: Változtassa meg a Wave PRO szoftverben a szűrő paraméter értékét. Mérje meg és foglalja táblázatba (2.25. táblázat) a hibavektort (EVM), a magnitúdó hibát, a fázishibát, és a csatornateljesítményt!

Szűrő paraméter	VSA				Keysight N9320B
	Hibavektor [%rms]	Magnitúdó hiba [%rms]	Fázishiba [deg]	Csatornateljesítmény [dBm]	
0					
0.2					
0.4					
0.6					
0.8					
1					

2.25. táblázat - Szűrő paraméter hatása

2. feladat: Próbáljon ki több amplitúdó értéket a szignálgenerátoron, 0.5-ös szűrő paraméter mellett. Mérje meg a következő értékeket! (2.26. táblázat)

Amplitúdó [dBm]	VSA				Keysight N9320B
	Hibavektor [%rms]	Magnitúdó hiba [%rms]	Fázishiba [deg]	Csatornateljesítmény [dBm]	
20					
15					
10					
5					
0					
-5					
-10					
-15					
-20					

2.26. táblázat - Amplitúdó változás hatása

3. feladat: Melyik amplitúdó értéknél a legkisebb a hibavektor és hasonlít legjobban a konstellációs diagram a Wave PRO-ban szimulálthoz?

Amplitúdó érték:

4. feladat: Milyen hatással van a szűrő paraméter a mért demodulációs tulajdonságokra?

Hatás:

5. feladat: Állítsuk be a következő értékeket (2.27. táblázat) a Wave PRO szoftverben! A szignálgenerátor amplitúdója 10dBm legyen. Mérjük meg így a csatornateljesítményt és a hiba értékeket (2.28. táblázat)! Mit tapasztal? Készítsen képet a kapott ábráról!

Megnevezés	Érték
Függvénygenerátor	Agilent 33522A
Modulációs eljárás	16 QAM
Szűrő [roll-off]	ON: 0.5
Zaj generátor [SNR]	AWGN: 20
Szimbólumsebesség	1M
Bitek száma [db]	3000
Time span [sec]	auto
Mintavételezési sebesség	10M
DC eltérés [V]	0
Fázis eltérés [°]	0
Kimeneti feszültség [Vpp]	1

2.27. táblázat - 16QAM modulációs paraméterek zaj hozzáadásával

VSA				Keysight N9320B
Hibavektor [%rms]	Magnitúdó hiba [%rms]	Fázishiba [deg]	Csatornateljesítmény [dBm]	
Változás:				

2.28. táblázat - Mért értékek zajos csatorna esetében