



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamos Energetika Tanszék
Villamos művek és Környezet Csoport

Kisfeszültségű hálózaton fellépő PLC rendszerekre gyakorolt zavarok vizsgálata

TDK dolgozat

Készítette: Király Tamás, BSc
Konzulens: dr. Varjú György professor emeritus

2011. november

Tartalom

1	Bevezetés	3
2	A PLC technológia.....	4
2.1	A technológia története	4
2.2	A PLC jelene, felhasználási lehetőségek.....	4
3	Elektromágneses kompatibilitás	6
3.1	EMC története.....	6
3.2	Definíció	7
3.3	Modell	8
3.3.1	Zavarforrás	8
3.3.2	Csatolási út.....	9
3.3.3	Zavarvevő	10
3.4	Zavarok.....	11
3.4.1	Zavarkibocsájtás	11
3.4.2	Zavartűrés	13
3.5	Néhány vezetékparaméter.....	14
4	Zaj.....	18
4.1	Folytonos zaj	18
4.2	Impulzusszerű zaj	19
4.3	Keskenysávú zaj.....	20
4.4	PLC-re ható zaj modellezése	21
4.4.1	Matematikai modellezés.....	22
5	Mérések	24
5.1	Kiinduló mérés	24
5.2	Saját mérések.....	26
5.2.1	Terhelésfüggő zaj	28
5.2.2	Rövid idő alatt zajváltozás.....	30
5.2.3	Közvilágítási hálózat zajvizsgálata	35

5.2.4	Összefoglalás	40
6	Függelék	41
6.1	Saját mérés / 1	41
6.2	Saját mérés / 2	44
7	Irodalomjegyzék	60

1 Bevezetés

Az embernek mindig is szüksége volt könnyen hozzáférhető, olcsón előállítható energiára. A technikai fejlődés során ez sokféle formát öltött. A XIX. század végén eljött a villamosítás kora és rájöttek, hogy az energia ilyen formáját egyszerűen el lehet juttatni a fogyasztókhoz egy réz (vagy alumínium) vezeték segítségével.

A XXI. században azonban új szükségletek merültek fel, melyek között az információáramlás és az információra való igény is szerepelt. Ezt már csak jóval bonyolultabb technológiával lehetett megvalósítani, amely az internet formájában testesült meg. [1] Az igényt, hogy mindenkihez el kell juttatni az internetet, már nem volt olyan egyszerű teljesíteni, és épp ezért sokféle megoldás született a problémára. Az egyik ilyen a PLC (Power Line Communication), amelynek az az alapötlete, hogy a meglévő infrastruktúrát használjuk. Előnye, hogy ezzel nem kell nagy költséget felemészítő hálózatot kiépíteni, de ez egyben a hátránya is, hiszen a hálózatot készen kapjuk, és nem lehetünk hatással rá, nekünk kell alkalmazkodni hozzá.

2 A PLC technológia

2.1 A technológia története

A villamoshálózatokon történő adattovábbítás már több mint egy évszázados múltra tekint vissza. 1897-ben szabadalmaztattak egy készüléket, amely az elektromos feszültség mérése szolgált és a mért adatokat a villamoshálózaton keresztül továbbította (Routin-Brown). Az 1920-as években pedig már vivőfrekvenciás átvitelt (CTS) is alkalmaztak erőművek és elosztóállomások között, mivel akkoriban a telefonvonalas lefedettség még nem volt teljes.

Kezdetben csak hangátvitelre használták a vivőfrekvenciás átvitelt, majd később már vezérlési utasítások továbbítására is. A két háború között Németországban már ún. hullámvivős (RCS) rendszereket helyeztek üzembe, többek között Potsdamban, Stuttgartban és Magdeburgban. Ezeket már elsősorban direkt irányítási célokra tervezték. Előnye volt, hogy a kis vivőfrekvencia (<3kHz) miatt a jel kis veszteséggel terjedt, illetve a transzformátorokon is képes volt „áthaladni”. A technológia következő generációjának képviselője az 1984-ben elkészült MELKO rendszer volt, amelyet még napjainkban is használnak például Finnországban [2].

2.2 A PLC jelene, felhasználási lehetőségek

Általánosságban a szélessávú adattovábbításra a lehetőség az 1990-es évek elejétől kezdve nyílt meg. A digitális jelfeldolgozás ekkorra érte el azt a szintet, hogy a PLC által használt modulációkhoz (OFDM, szórt spektrum) szükséges számításokat valós időben tudja elvégezni. Mind a vezetékes, mind a vezeték nélküli szélessávú adattovábbítás fejlődése ekkor indult meg igazán.

Manapság a PLC technológia igen fontos felhasználási területet talált magának. A villamosenergia-rendszer „smartosítása” gőzerővel folyik sok országban, és többek között ebben a folyamatban kap fontos szerepet a PLC. A Smart Grid céljai között szerepel az automatizáltság fokának növelése, például automata - vagy legalábbis távolról vezérelhető - fogyasztásmérőkkel. Minden mérőhöz egy új kommunikációs szál

kiépítése szinte lehetetlen feladat lenne, ezért vetődött fel az ötlet, hogy a kommunikáció a villamos vezetéken folyjon.

A legnagyobb konkurens a technológiának ezen a téren a vezetékek nélküli összeköttetéssel működő technikák (pl.: GPRS).

Másik fontos felhasználási lehetőség, hogy az épületen belüli villamoshálózatot felhasználva egyfajta helyi hálózatot kialakítva az épület minden részébe internetet juttathatunk el.

3 Elektromágneses kompatibilitás

Az elektromágneses környezetvédelem két fő területet foglal magában. Az egyik a biológiai hatásokkal foglalkozik, a másik pedig maga az elektromágneses kompatibilitás. A biológiai hatások terén a kutatási eredmények még nem elég egyértelműek, hogy bizonyítható legyen az elektromágneses sugárzás káros, vagy rákkeltő hatása. A szakirodalomban létezik ezt megerősítő, de cáfoló eredmény is. Mivel nagymértékű a bizonytalanság, ezért az elővigyázatossági elvet alkalmazzák, amely lehetővé teszi, hogy megelőző intézkedéseket léptessenek életbe, mielőtt pontosan átláthatóvá nem válik a kockázat valódisága vagy súlyossága.[6]

3.1 EMC története

Az EMC problémák keletkezése visszanyúlik egészen addig, amikor az emberiség megtanulta, hogyan irányíthatja az elektromosságot. Az első erőművek ki voltak téve a villámcsapás hatásainak, csakúgy, mint az első elektromos készülékek a hálózatban keletkező zavaroknak. Már a telegráf is ki volt téve az áthallásnak, ezért az érzékenyebb technológiák megjelenésével, így pl. a telefon feltalálásakor a zajnyomás egy új fontossági szintre került. Ekkor már kiterjedt vizsgálatokat végeztek a zajról és annak csatolási mechanizmusáról. Új távlatok nyíltak meg az EMC területén, amikor a XX. század fordulóján Marconi – a Nobel-díjas feltaláló - bemutatta a „vezeték nélküli telegráfot”. A rádió lokális problémából globálisat csinált, mivel már lehetőség volt arra, hogy egymástól kilométerekre lévő rádióadók zavarják egymást. A sűrűn lakott területeken épített rádióállomások néha szándékosan is zavarták egymást, hogy így jussanak üzleti előnyhöz.

Az 1930-as évek elején eljött az idő a szabályozásra. Európában 1933-ban, az Egyesült Államokban egy évvel később létrehozták a szabályozó testületeket. A második világháborúban már szinte fegyverként használták a rádiós zavarást.

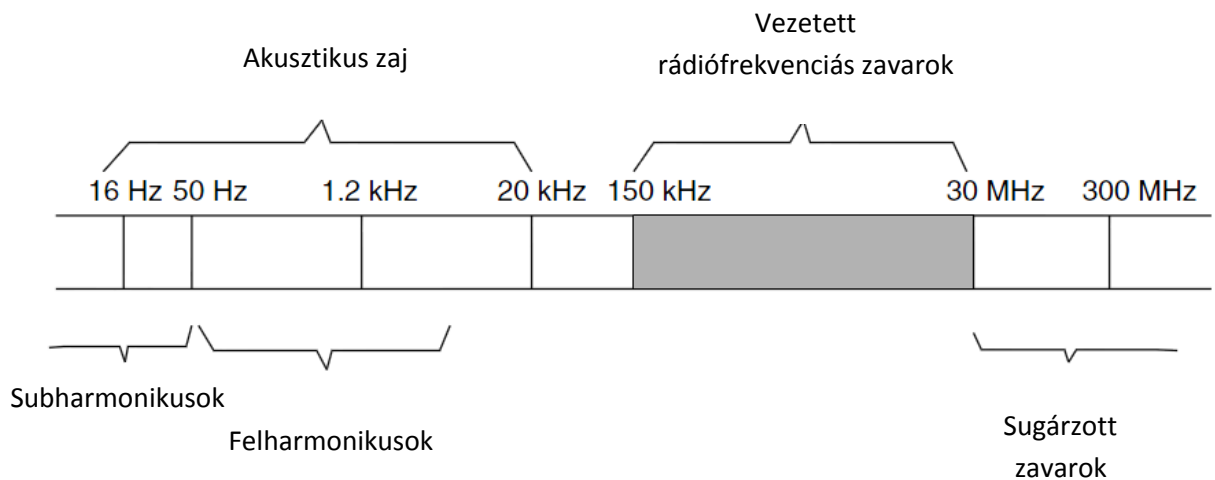
Az 1970-es évekre a technológia eljutott arra a szintre, hogy olcsón és nagy tömegben tudott elektromos és elektronikus berendezéseket gyártani, így az 1980-as években a

kormányok elkezdtek szabályozni a kereskedelmi termékek gyártását EMC szempontok szerint is. [3]

3.2 Definíció

Az EMC mértékadó definícióját az IEC fogalmazta meg, amely a következőképpen hangzik: „Egy adott készüléknek az a képessége, hogy az elektromágneses környezetében megfelelően tud üzemelni anélkül, hogy elviselhetetlen zavarokat okozna más eszközökben.” A definícióból látszik, hogy mind a két irányt figyelembe kell venni, egy eszköz nem zavarhat másokat, de neki is túrni kell más eszközök zavarását.

Először érdemes áttekinteni a frekvenciatartományt, amelyben mozgunk.



1. ábra Zavarok frekvencia szerinti felosztása

Az 1. ábrán a szürkével jelölt frekvenciatartomány fontos a vezetett rádiófrekvenciás zavarok szempontjából. A PLC sáv nagy része ebben a tartományban van. A keskenysávú 2kHz-től 150kHz-ig, a szélessávú pedig 1MHz-től 34MHz-ig.

3.3 Modell

Az EMC probléma megoldása során egy egyszerű modellből (2. ábra) indulunk ki: van egy zavarforrás, amely kibocsájtja a zavarjeleket, van egy zavarvevő, amely összeszedi a zavarjeleket, valamint van a kettő között a csatolási út, amelyen keresztül a zaj az egyikről a másikig eljut.



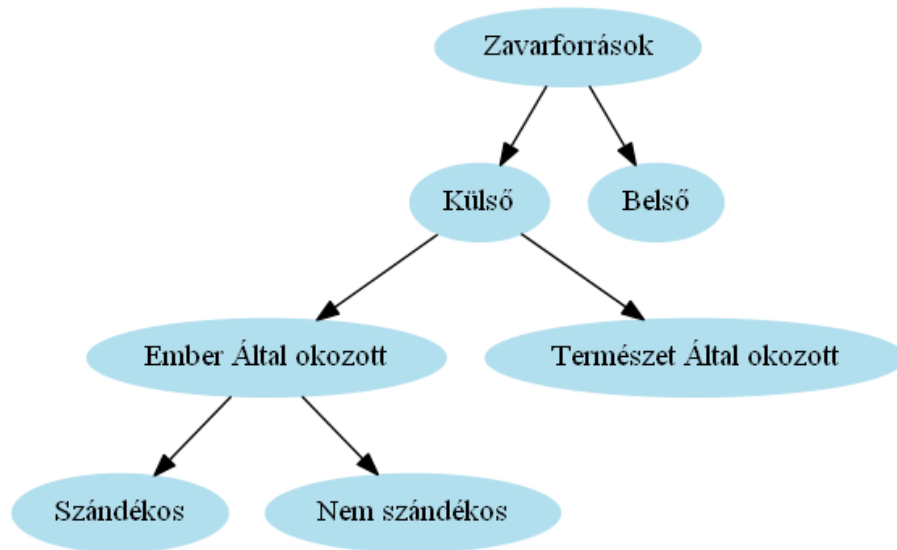
2. ábra EMC modell

3.3.1 Zavarforrás

Először a zavarforrást érdemes megvizsgálni részletesebben (3. ábra). A zavarokat külső és belső forrásokra lehet visszavezetni.

Külső forrásnak számít a természet által okozott villámcsapás, a kozmikus sugárzás, valamint az ember által okozott zavarok is. Az ember által okozott zavarokon belül külön kell figyelembe venni a szándékos (amely lehet például rádiófrekvenciás zavarás) és nem szándékos zavarást. Nem szándékos zajt adnak ki magukból például a fénycsővek, a bennük létrejövő gázkisülés miatt.

Belső források alatt értjük a készülékek áramköri részeit, mert azokban is keletkezik zavar, amely a vezetékezésen továbbterjed más eszközökhöz.

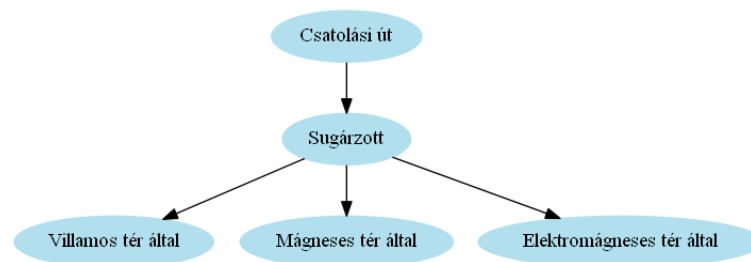


3. ábra Zavarforrások típusai

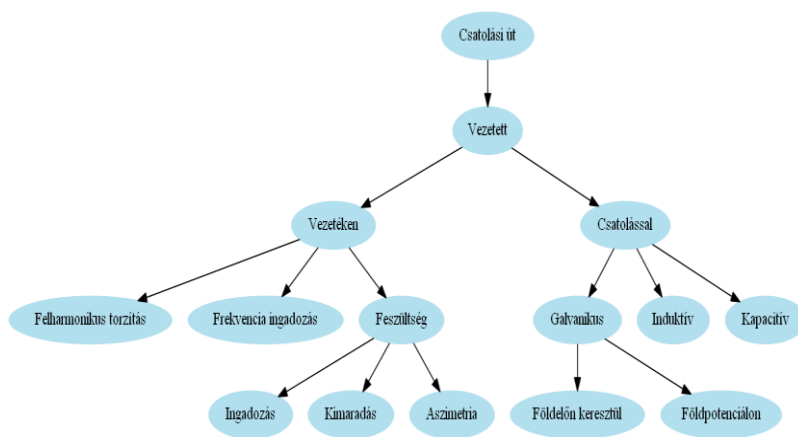
3.3.2 Csatolási út

A modell másik fontos eleme a csatolási út (4. és 5. ábra). A jel sugárzott és vezetett módon terjedhet. A sugárzott jeleket a villamos, a mágneses vagy az elektromágneses tér közvetíti.

PLC szempontból azonban lényegesebbek a vezetett zavarok. A jelek terjedhetnek vezetéken, vagy csatoláson keresztül. A vezetéken vezetett zavarás alatt a hálózati feszültség paramétereinek az ingadozása által létrejövő zavarokat értjük. A csatolás által létrejövő zavarterjedés pedig három módon valósulhat meg: galvanikusan (amikor közvetlen, fémes kapcsolatban áll két áramkör, például földelésen keresztül), kapacitívan (például két egymás mellett futó vezeték között fellépő kapacitáson keresztül zavarják egymást kölcsönösen), és induktívan (amikor egy áramkör által létrehozott mágneses tér beindukál egy másik hálózatrészbe).



4. ábra Sugárzott zavarások



5. ábra Vezetett zavarások

<p style="text-align: center;">Galvanikus</p>	<p style="text-align: center;">Induktív</p>
<p style="text-align: center;">Kapacitív</p>	<p style="text-align: center;">Elektromágneses</p>

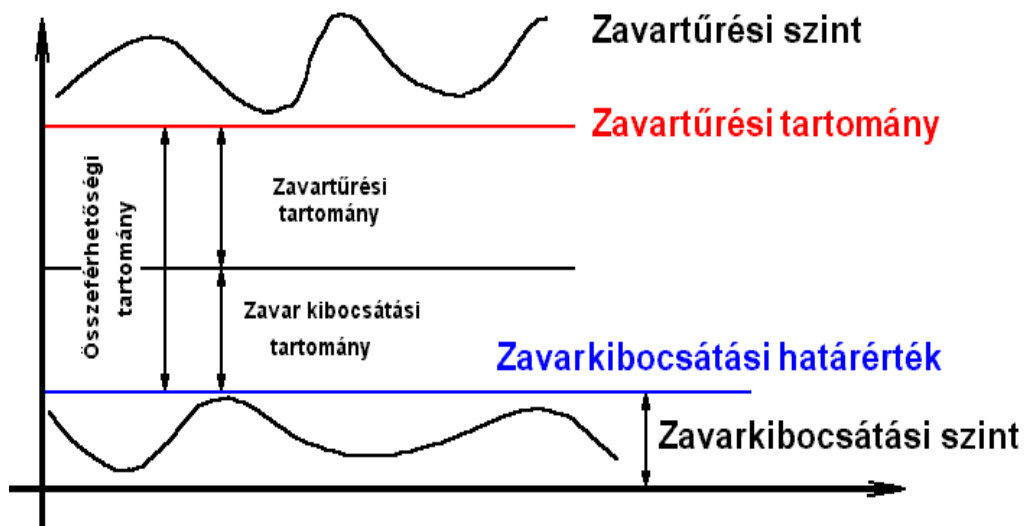
1. táblázat Zavartípusok áramköri modelljei

3.3.3 Zavarvevő

Zavarvevő lehet potenciálisan bármilyen villamos berendezés. Az előbbieken láttuk, hogy ha külső zajtól megfelelően megóvjuk a készüléket, akkor is fogja zajterhelés érni, még hozzá belső forrásból. Fontos, hogy az eszközöket kellően ellenállóra tervezzék és építsék, hogy zajos környezetben is megfelelően tudjanak működni.

3.4 Zavarok

A jelek tárgyalása során még egy fontos szempont a jelszint. Két eszköz közötti viszonyt az ún. összeférhetőségi tartomány segítségével határozhatunk meg. A tartomány alsó határértéke a zavarkibocsátási érték, amely egy adott eszköz maximális zavarkibocsátását fejezi ki. A tartomány felső határa pedig a zavartűrési szint, amely az adott eszköz által elviselt külső zavar szintjét jelenti (6. ábra). Ha ezeket a tartományokat mindkét eszközre felírjuk, akkor összevetés után láthatóvá válik, hogy a két eszköz zavarni fogja-e egymást.



6. ábra Zajsint határok

3.4.1 Zavarkibocsátás

Az egyik fő célja a PLC EMC szabályozásnak, hogy eljárásokat dolgozzanak ki az interferencia nagyságának pontos kiméréséhez. Ennek a legkézenfekvőbb módja a közvetlen térerősség mérés lenne, de ez akadályokba ütközik. A kibocsátott zavarás ugyanis nem csak a PLC eszköz által a hálózatba juttatott teljesítménytől függ, hanem a hálózati paramétereiktől és a külső környezettől is. A probléma könnyebb kezelhetősége

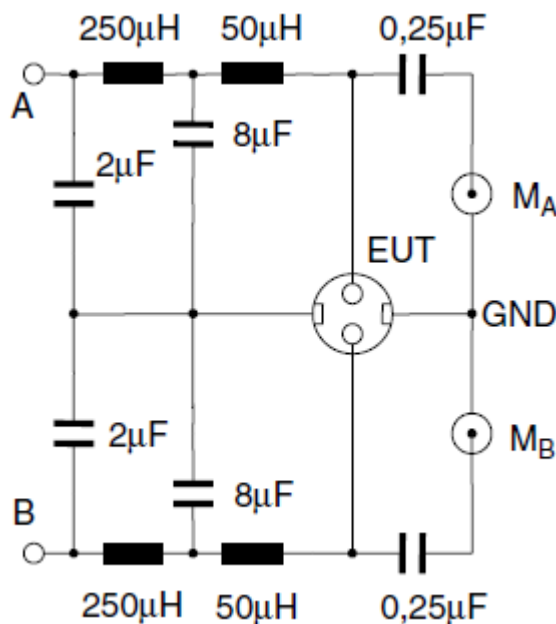
miatt a 3.5 fejezetben definiált csatolási tényezőt szokás használni, azonban több szervezet (CISPR, IEC) más módszert preferál: a vezetett kibocsátásból extrapolálja az interferencia mértékét, mind a vezetett és mind a sugárzott úton terjedő esetében.

➤ sugárzott kibocsátás

Egy elektromos vezeték környezetében a villamos teret különböző típusú antennákkal lehet kimérni. Közvetlen villamos tér mérésre a bikonikus antenna alkalmas. Hátránya, hogy nagyon drága. Léteznek elektromágneses tér mérésére alkalmas antennák, melyek hátránya, hogy az EM térből kell kiszámolni a villamos teret és ehhez szükségesek peremfeltételek.

➤ vezetett kibocsátás

A vezetett kibocsátás mérése egy speciális szűrőáramkörrel lehetséges. A PLC jelnél is a szimmetriára törekszünk. Ennek egyik fő oka, hogy az aszimmetrikus jel sokkal nagyobb sugárzott zavart termel mint a szimmetrikus.



7. ábra Az A és B pont a hálózatra csatlakozik, M_A és M_B a mérőműszerre

3.4.2 Zavartűrés

Létezik néhány elektromágneses jelenség, amely potenciálisan zavarhatja a PLC rendszer működését, ezek közül a legfontosabbak kerülnek most bemutatásra.

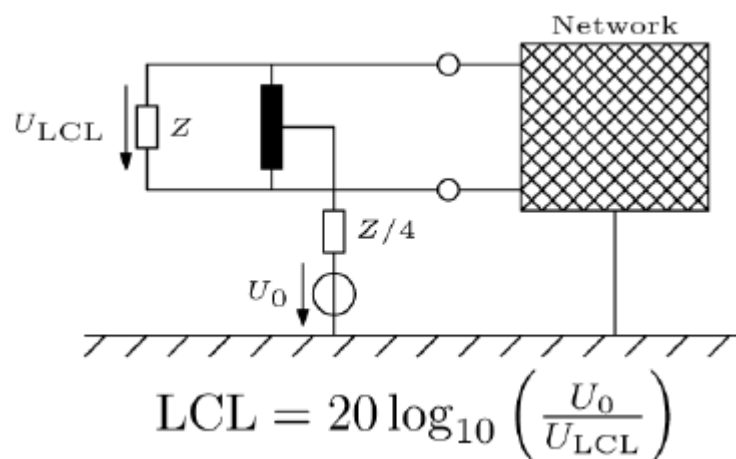
- Elektrosztatikus kisülés: Dörzsölés után egy tárgy akarva vagy akaratlanul is töltéseket halmozhat fel a felszínén. Ezután egy földelt eszközt megérintve a kisülés 1ns alatti felfutási idejű, több amper nagyságú tranziens áramot indít meg, amely megzavarhatja vagy tönkre is teheti a PLC eszközöket.
- Tranziens: Tipikusan kapcsolóberendezések hozzák létre. Kapcsolás közben ív keletkezik, amely akár újra is gyulladhat, ezáltal több kilovoltos nagyságú tranziens feszültséget is létrehozhat.
- Túlfeszültség: A villamoshálózatot gyakran éri villámcsapás. Általában a PLC eszközök kellő távolságban vannak a tipikus villámcsapási pontoktól (nagyfeszültségű szabadvezeték), ezért csak túlfeszültséget érzékelnek a jelenségből. Ez ellen varisztorral vagy egyéb túlfeszültség levezető eszközökkel lehet védekezni. Hátránya, hogy a nagy értékű kapacitások csillapítani fogják a PLC jelet.
- Rádiófrekvenciás elektromágneses terek: A különböző rádióadók által keltett elektromágneses sugárzás közös módusú jelet indukál a villamoshálózatban, de ez a probléma kezelhető. A rádióadások tipikusan keskenysávú jelet bocsátanak ki, ezért a hálózatban megjelenő zaj is keskenysávú. Ezt könnyen ki lehet szűrni, ha a zavarfrekvencia környékén működő vivőfrekvenciákat a zavar fennállásának ideje alatt nem használjuk. Ez az átviteli sebesség csökkenésével jár, de működőképese marad a rendszer. [5]

3.5 Néhány vezetékparaméter

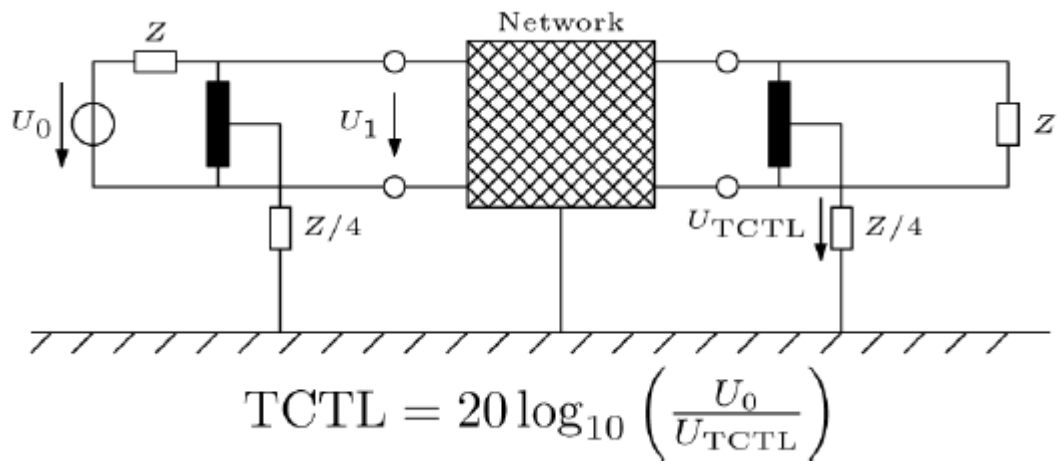
Manapság a tipikus vezetékialakítás a kötegelt, szigetelt kábeles. Több szigetelt vezetőt kötegelnek össze enyhén megcsavarva, hogy a mechanikai hatásoknak jobban ellenálljon. Ha ezen típusú vezetéken két fázis közé csatoljuk be a jelet, akkor szimmetrikus jelterjedést érünk el, az elektromágneses hullám a szigetelőben halad. Ha a jelet asszimmetrikusan, fázis és föld közé csatoljuk be, akkor sokkal jobban számít a vezeték külső környezete, mert az EM hullámok a kábel környezetében haladnak és nem a szigetelésben.

Az EMC viszonyainak feltérképezéséhez szükséges a vezeték szimmetria viszonyainak az ismerete. A telekommunikációban már régóta használt módszerek ebben az esetben is felhasználhatóak. Négy paramétert definiáltak attól függően, hogy közös módusú vagy differenciál módusú jelet injektálnak a hálózatba és, hogy a kimenetet vagy a bemenetet vizsgálják.

LCL esetén szimmetrikus jelet juttatnak a hálózatba és mérik a bemenő feszültséget. Ezzel a mennyiséggel jellemezhető a hálózat aszimmetriája. Ha valamilyen oknál fogva a hálózaton létrejön egy lokális csillapítás és a mérést pont ott végezzük, akkor hibás eredményt kapunk. Az ilyen hibák kiküszöböléséhez szokás használni inkább a *TCTL* paramétert. Ehhez a paraméterhez a hálózat egy másik pontján kell mérni a feszültséget így a lokális hibaforrások hatása csökkenthető.

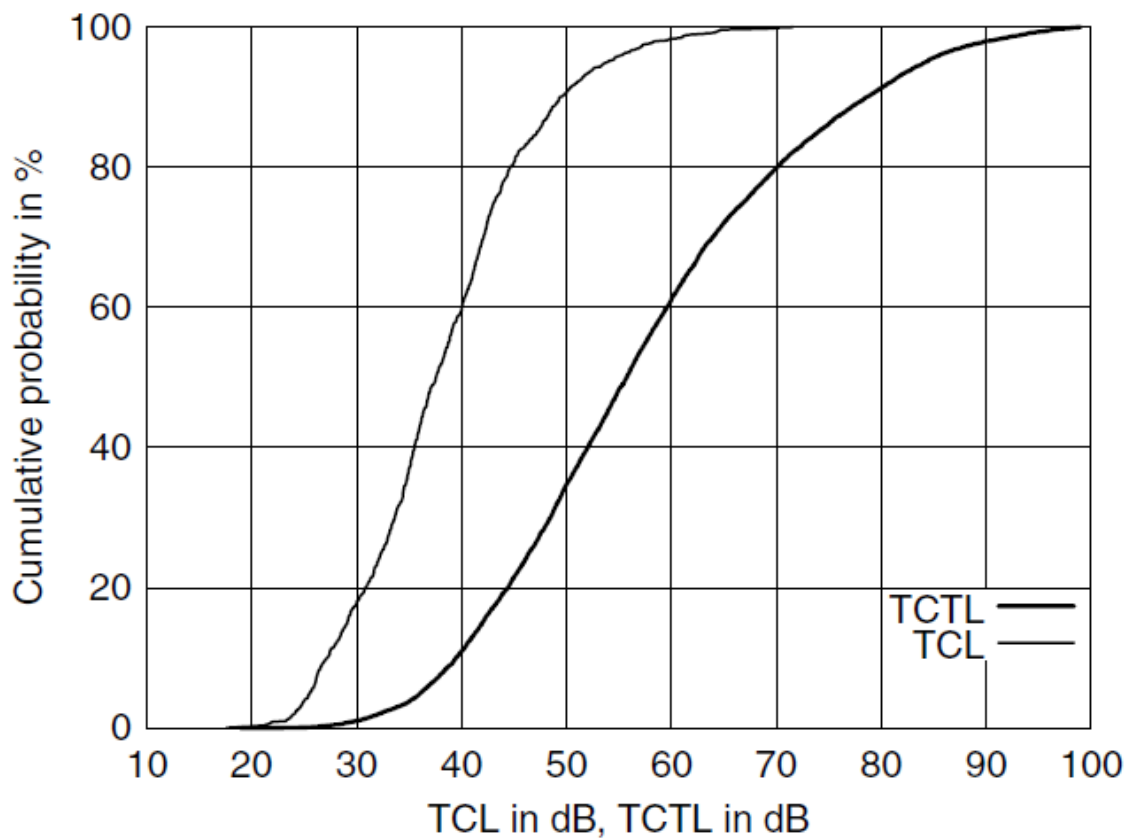


8. ábra LCL definíció áramköri modellje



9. ábra TCTL definíció áramköri modellje

Ezeket a paramétereket számos európai magánépületben megmérték, hogy egy statisztikus képet lehessen kapni a paramétereikről. Az eredményeket a 10. ábra mutatja.



10. ábra TCL és TCTL kumulatív valószínűsége

A vizsgálatok megkönnyítése érdekében szokás bevezetni az ún. csatolási tényezőt is, amely a PLC jel teljesítménye és a jel által létrehozott elektromos mező között teremt kapcsolatot. A szakirodalomban többféle definíció létezik, a PLCforum által elfogadott definíció a következő:

$$k(f) = \frac{E(f)}{\sqrt{P(f)}}$$

Ahol $E(f)$ a létrehozott térerősség $\mu\text{V/m}$ -ben és $P(f)$ az injektált teljesítmény mW -ban. Decibel skálán a képlet még egyszerűbb formát ölt:

$$k_{\text{dB}}(f) = E_{\text{dB}}(f) - P_{\text{dB}}(f)$$

ahol

$$E_{\text{dB}}(f) = 20 \log_{10} \left(\frac{E(f)}{1 \mu\text{V/m}} \right)$$

és

$$P_{\text{dB}}(f) = 10 \log_{10} \left(\frac{P(f)}{1 \text{ mW}} \right) = \text{PSD}_{\text{dB}(\text{mW/Hz})} + 10 \log_{10}(9000)$$

A jelet 9kHz-es sávzélességgel szokás figyelembe venni a PSD pedig a jel sűrűségfüggvénye decibelben.

Mivel a csatolási tényező több tényezőtől függ (vezetékezés, topológia, stb.), ezért a PLCforum sok mérést végzett, hogy kellő számú statisztikai adat állhasson rendelkezésre a további kutatásokhoz. A mérések során kiderült, hogy kevésbé függ a

frekvenciától a k érték. Ez megcáfolta az korábbi méréseket, amelyek pont az ellenkezőjét mutatták.

A mérésekből megbecsülhető, hogy az épületek 80%-nál 10m távolságban a csatolási tényező

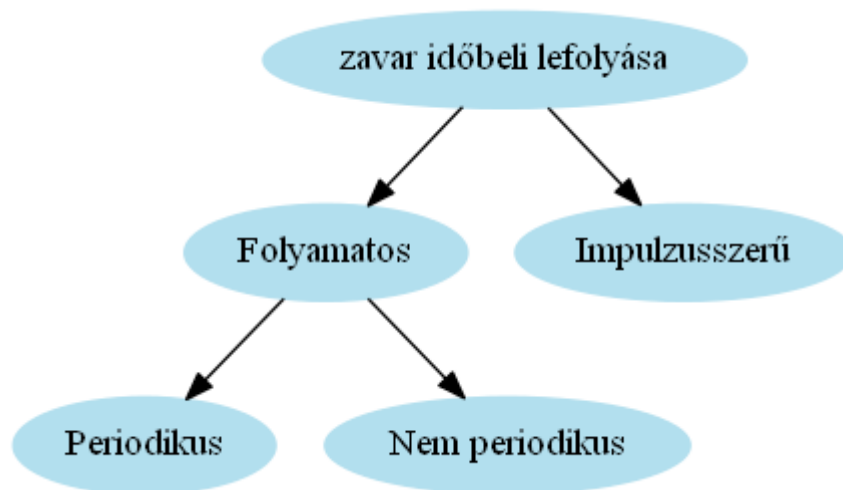
$$k_{\text{dB}} = 50 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}/\text{mW})$$

Ebből kiszámolható egy közelítő becslés a térerősség nagyságára az elektromos vezetéktől mért 10 méteres távolságban, ha feltesszük, hogy a jelszint sűrűségfüggvénye $-45\text{dB}(\text{mW}/\text{Hz})$

$$\begin{aligned} E_{\text{dB}} &= P_{\text{dB}} + k_{\text{dB}} \\ &= -45 \text{ dB}(\text{mW}/\text{Hz}) + 39.54 \text{ dB}(\text{Hz}) + 50 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}/\text{mW}) \\ &\approx 45 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}). \end{aligned}$$

4 Zaj

A zavarforrásból eredő zaj jellege is meghatározó a vizsgálatok során (11. ábra). Alapvetően kétféle jellege lehet a zavarjelnek: időben folyamatos, vagy csak néha megjelenő, impulzusszerű. Az időben folyamatos jelek tovább bonthatók periodikus és aperiodikus jelekre. A felbontásnak a frekvenciatartománybeli vizsgálatoknál van jelentős haszna, mert a különböző jeleknek egész más a frekvenciaspektruma. A nem periodikus jel folytonos spektruma és a periodikus jel vonalas spektruma jól megkülönböztethető egymástól. Az impulzusszerű zavarás kilóg egy kicsit a többi közül, mert időfüggvénnel szokás definiálni.

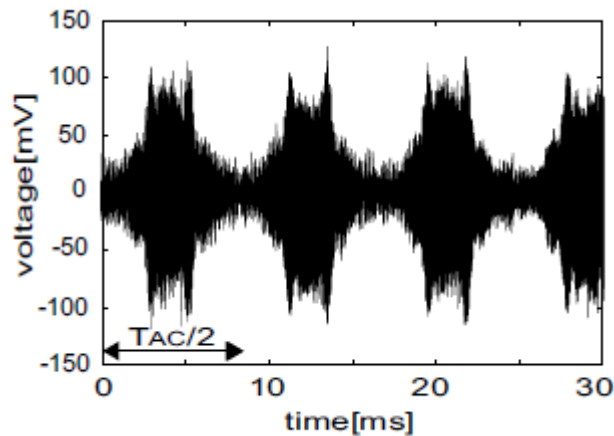


11. ábra Zajok típusai

4.1 Folytonos zaj

Az itt figyelembe vett PLC rendszer kiefeszültségű hálózatra van kapcsolva, ezáltal egy ipari frekvenciájú jel folyamatosan jelen van, és ezt fontos figyelembe venni a zaj milyenségének a vizsgálata során. Fellép egy hosszú lefolyású (az 50 Hz-es feszültség több periódusáig fennálló) időinvariáns folytonos zaj, amelyet háttérzajnak is szoktak nevezni. Ebbe a típusú zajba számít bele a termikus zaj, amelyet tipikusan a hálózatra kapcsolt erősítők bocsátanak ki.

Az időben változó folytonos zaj szinkronban változik az ipari frekvenciájú feszültség abszolútértékével, vagyis a frekvenciája a duplája, 100Hz. Tipikusan a kompakt fénycsövek vagy az egyenirányított, de nem szűrt feszültséggel táplált oszcillátorok számítanak ilyen típusú zajkibocsátónak.



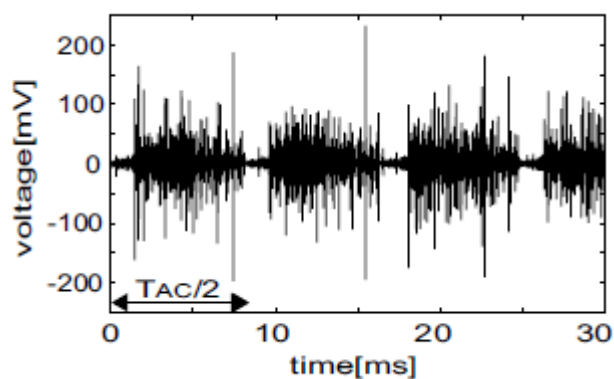
12. ábra Az 50Hz-es frekvenciával szinkronban változó zaj időfüggvénye

4.2 Impulzusszerű zaj

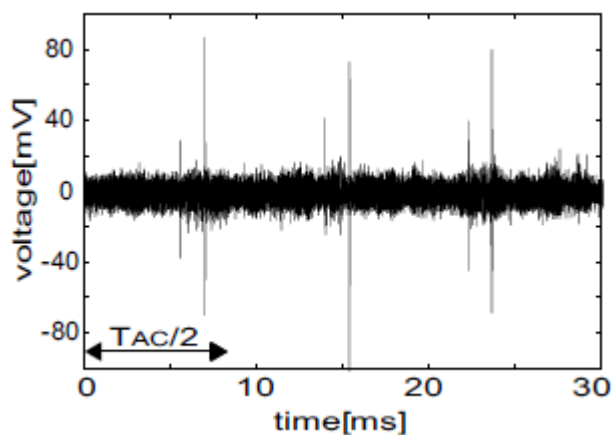
Fő jellemzője az impulzus zajoknak, hogy akár 100-200V közötti amplitúdót is elérhetnek, de csak néhány milli- vagy mikroszekundumig áll fenn a zavar. Három osztályba sorolhatóak az impulzusszerű zajok: az impulzusok lehetnek szinkron állapotban az alappfrekvenciával, lehetnek aszinkronban és bekövetkezhet impulzus tüske teljesen véletlenszerűen is.

A szinkronban lévő tipikus zajforrás a tirisztor alapú fényszabályozás. Mivel a feszültség fázisától függ a kapcsolás, ezért a kapcsolási tranziens impulzusok a feszültséggel szinkronban lépnek fel. Másik jelentős ilyen típusú zajforrás a szénkefés motor. Ebben az esetben is az átkapcsolási tranziens függvénye az alappfeszültségnek és szinkronmozgást mutat azzal.

Az aszinkron impulzus zajok jelentős hányadát a kapcsoló üzemű tápegységek termelik, amelyek manapság nagy népszerűségnek örvendenek a számítógépgyártás területén.



13. ábra Porszívómotor zaj hullámformája

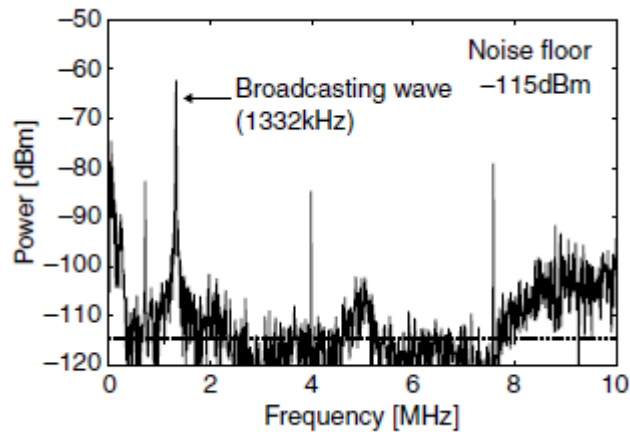


14. ábra CRT TV zaj hullámformája

A teljesen véletlenszerűen bekövetkező zavarás rendszerint a hálózattól független esemény hatására lép fel, például villanykapcsoló átkapcsolásakor, vagy termosztát kapcsolásakor, esetleg megszakító működésekor.

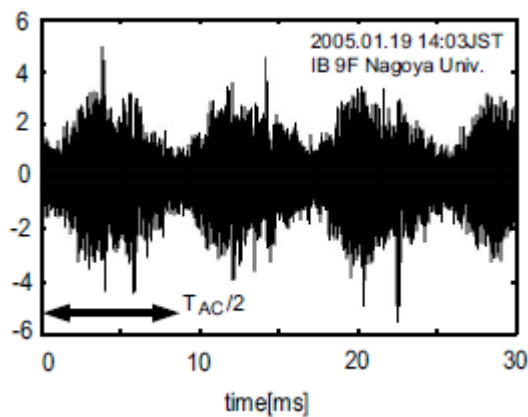
4.3 Keskenysávú zaj

Külön fajtája a zajoknak az úgynevezett keskenysávú zaj, amelyet már nem az időfüggvényével jellemzünk hanem a spektrumával. Ezt a jelenséget tipikusan rádióadók közelsége okozza. Ilyenkor a vivőfrekvencia és környéke túskeként kiemelkedik a zavar spektrumban. Ezért szokták vezeték nélküli interferenciának is nevezni.



15. ábra Épület közelében működő rádióállomás keskenysávú zavarása

Egy valóságos hálózatra rengeteg eszköz van kötve és csak a zajok szuperpozíciója mérhető ki.

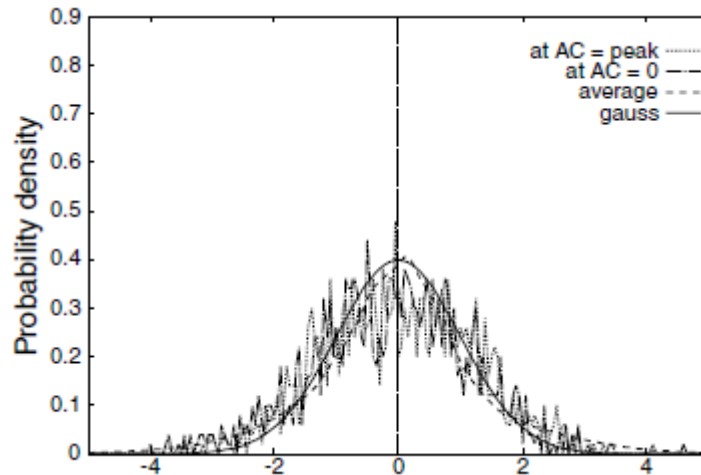


16. ábra Általános zaj hullámforma, több típusú zaj szuperpozíciójából

4.4 PLC-re ható zaj modellezése

A kilohertzes tartományt használó PLC-ről kijelenthető, hogy színes zajjal terhelt, mert a vezetékcsillapítás a frekvencia növekedésével szintén nő. Ezért a zajenergia az alacsonyabb frekvenciákon koncentrálódik. A szélessávban működő eszközök jóval bonyolultabb zajterhelésnek vannak kitéve. Mérések során kiderült, hogy az alsó

régióban fehérzaj, majd az egyre nagyobb frekvenciák felé haladva egyre inkább impulzus zaj jellegűvé válik a zavar.



17. ábra Zajmegjelenési valószínűség a frekvencia [MHz] függvényében

4.4.1 Matematikai modellezés

A zaj az összetettsége miatt nem írható le fehérzajjal, vagy bármilyen más egyszerű zajmodellel, ezért keresni kellett egy jobban illeszkedőt és szükségszerűen bonyolultabbat.

A Middleton féle zajmodell a legelterjedtebb manapság. Három osztályt különböztetnek meg, ezek közül az A osztályú modellt szokás a PLC rendszerekre alkalmazni. A modell valószínűségszámítási alapokon nyugszik, ezért a sűrűségfüggvényével lehet megadni:

$$p(n) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_m^2}} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma_m^2}\right),$$

ahol

$$P_m = \frac{e^{-A} A^m}{m!},$$

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 \frac{m/A + \Gamma}{1 + \Gamma} = \sigma_i^2 \frac{m}{A} + \sigma_g^2,$$

Az i alsóindex az impulzív zajkomponenst, a g a gauss zajkomponenst jelenti. Az A paramétert pedig impulzív indexnek nevezik. Érdekes tulajdonsága, hogy A minél nagyobb, annál jobban megközelíti a gauss görbét a függvény. Érdekesség, hogy lehet erre a sűrűségfüggvényre úgy is tekinteni, hogy végtelen számú, különböző zajteljesítményű (amelyet a szigma reprezentál) gauss görbéket szummáz egy P_m paraméterű Poisson eloszlással.

Emellett más frekvenciatartománybeli modellek is léteznek, de van időtartománybeli megközelítés is, mert az impulzív zajt ennek segítségével lehet jól leírni. Használatos még egy ún. ciklostacionárius zajmodell is, amely szintén valószínűségi alapokon nyugszik és érdekessége, hogy szinuszos változású szórással dolgozik. Ez a technika hivatott szimulálni a hálózaton lévő 50Hz-es feszültséget.

5 Mérések

5.1 Kiinduló mérés

Egy korábbi diplomaterv [2] részeként elvégzett mérést vettem alapul. Ebben a BME V1 épületének a villamoshálózatán mértek PLC jelátviteli sebességet. A következőkben összefoglalom a mérést és annak eredményeit.

A mérés leírása:

A PLC jel betáplálása a V1. 2. emeletén lévő kapcsolószekrénynél történt. A számítógép és az egyik modem a szintén második emeleten lévő Könyvtár teremben volt. A második modem pedig az éppen aktuális mérési pontokon volt elhelyezve. A fixen telepített modem és a számítógép segítségével nyomon lehetett követni a fejegység és a mozgó modem közötti kommunikációt. A választás azért esett a második emeletre, mert így a le- és felszálló irányokban is lehetőség volt mérések elvégzésére.

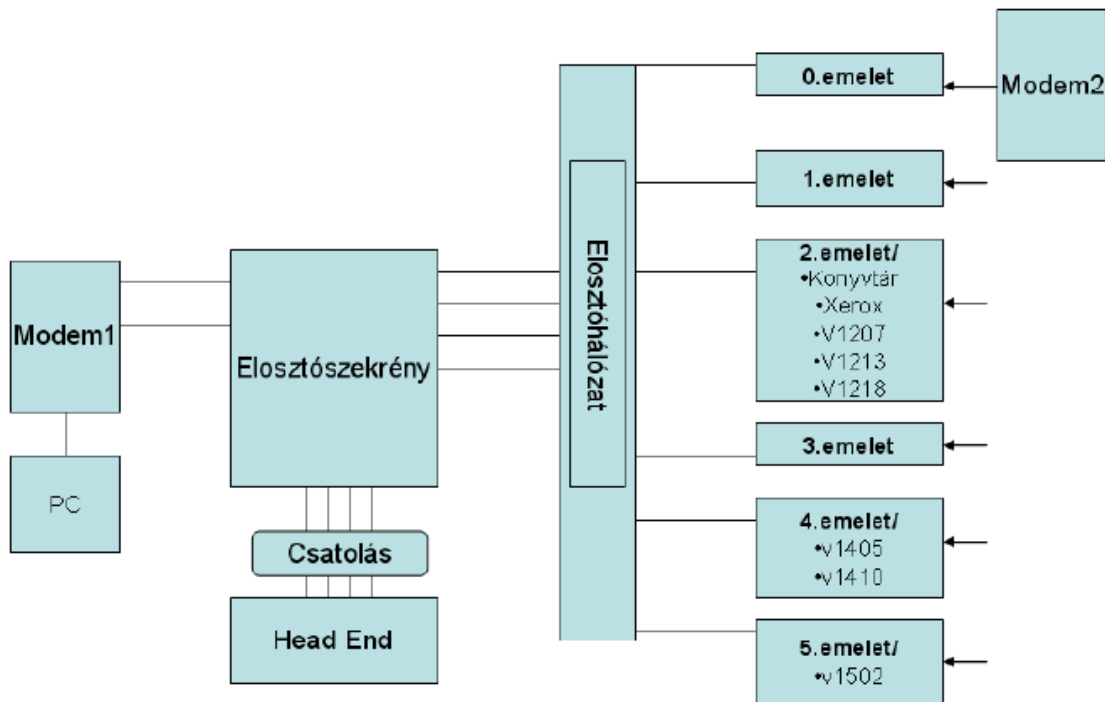
A mérés során különböző becsatolási módok mellett vizsgálták különböző időpontokban az elérhető maximális átviteli sebességet az SnrViewer programmal. A becsatolás közvetlenül a 2. emeleti elosztószekrénynél történt. A megfelelő fázis illetve nulla vezető a biztosítós kapcsolótáblára volt kivezelve krokodilcsipeszek segítségével. A biztosítók utáni pontokon volt csatlakoztatva a fejegység. Induktív csatolásakor a fejegység jelvezetéke lett átvezetve a ferritgyűrűkön, amik közrefogták a fázisvezetőket. Kapacitív csatolásakor pedig a biztosítós kapcsolótábla tette lehetővé hogy közvetlenül a hálózatba kerüljön a jel. Adott becsatolási beállítás esetén a második modem került elhelyezésre a különböző pontokon, és amikor a program észlelte a kapcsolatot, akkor le lehetett olvasni a grafikonokról az adott pontbeli átviteli sebességet, majd továbbhaladni a következő mérési ponthoz. A 18. ábrán a mérés elrendezése látható.

A mérés során, az egyes emeleteken lévő elosztódobozokból is a biztosítós tábla segítségével kiágazások kerültek kialakításra abból a célból, hogy az egyes emeletek közötti közvetlen jelterjedésre is legyen rálátásuk. A biztosítós kapcsolótábla

segítségével lehetett a modemet közvetlenül a hálózatra kapcsolni az elosztódobozoknál.

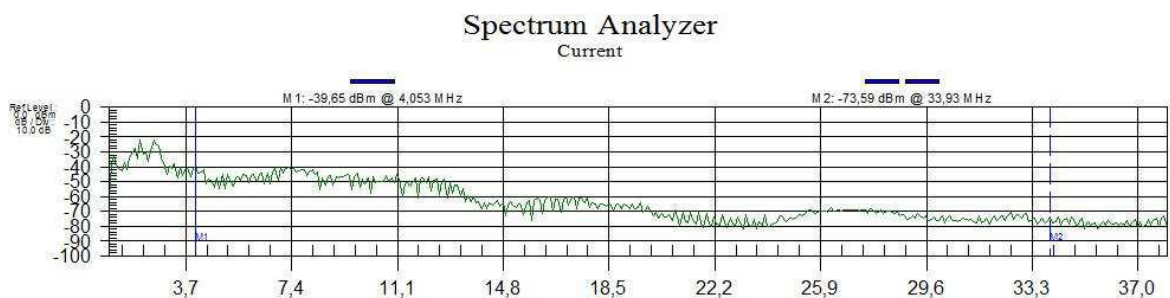
Az első és a harmadik emeleten csak a kapcsolószekrényeknél sikerült megvizsgálni a terjedést. A negyedik emeleti kapcsolószekrényénél történő vizsgálatnak az volt a célja, hogy egyáltalán megjelenik-e a jel ezen az emeleten.

A mérés délelőtti, illetve kora délutáni és esti (19:00 után) időpontokban végezték el.

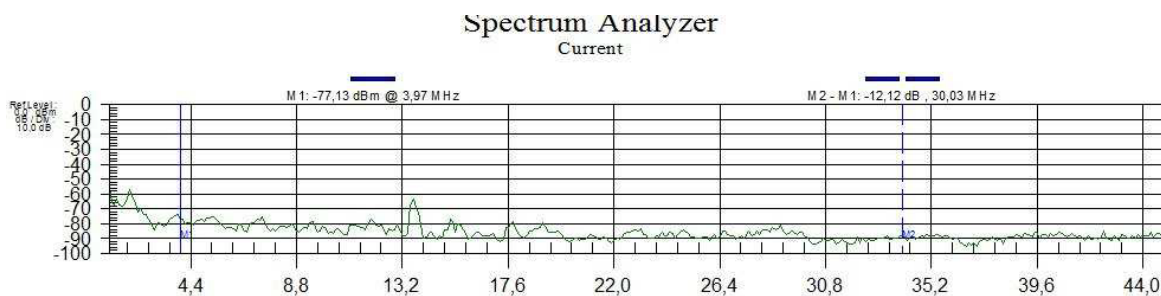


18. ábra Mérési elrendezés

Eredmények:



19. ábra V1 405 teremben mért spektrum délelőtti órákban



20. ábra V1 405 teremben mért spektrum esti órákban

A 19. és 20. ábrákon látható, hogy markáns eltérések mutatkoznak a déli és az esti órákban végzett mérések eredményei között. Ennek a részletesebb vizsgálatára terveztem és kiviteleztem egy saját mérést.

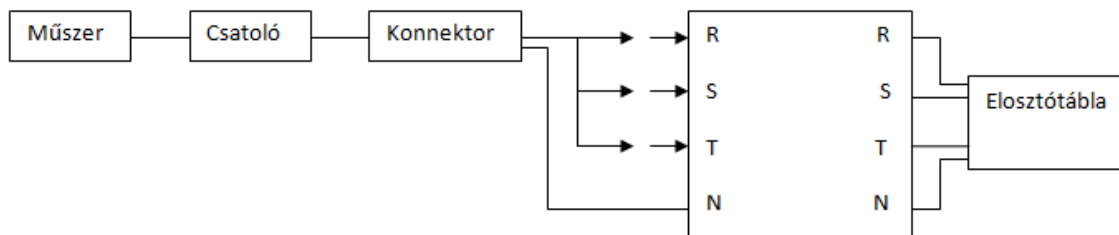
5.2 Saját mérések

A mérésorozat ugyancsak a BME V1 épületének a villamoshálózatán történt. Spektrum analízátorral vizsgáltam a hálózatban jelenlévő zaj alakulását. A V1 épület közös hálózatán van a szomszédos „A” épülettel. A két épületben összesen több száz számítógép működik egyszerre. Az előzetes feltevés szerint a hálózatban fellépő zaj jelentős részét a számítógépek kapcsolóüzemű tápegységei okozzák.

Két időszakban mértem: 11:57 és 12:03 között, amikor feltehetőleg számítógépek jelentős része be van kapcsolva és este fél hat után, amikor már a legtöbb gép nem üzemel. Az elvárás az volt, hogy a zaj mértéke észrevehetően kisebb lesz este a napközben mért értékekhez képest.

Becsatolási pontként a 2. emeleti elosztótáblát használtam, itt hozzá lehetett férni mindhárom fázishoz és azokat külön lehetett vizsgálni.

Mérési összeállítás:



21. ábra A mérés sematikus ábrája

Műszer: Anritsu MS2711D típusú spektrum analizátor

Csatoló: PLT Interface J2330-PLTS - 1-30MHz között kisebb mint 1dB csillapítással

A csatoló 1-30MHz között nagyon kis csillapítással rendelkezik. Ezt az adatot ellenőriztem is. A kisebb, mint 1dB-es csillapítás igaznak bizonyult, a Függelékben erről található néhány ábra.

A konnektor egyik vezetéke banándugóban végződött, amelynek a segítségével lehetett kiválasztani az egyes fázisokat. A háromfázisú panel kapcsolóval és biztosítókkal is el volt látva.

5.2.1 Terhelésfüggő zaj

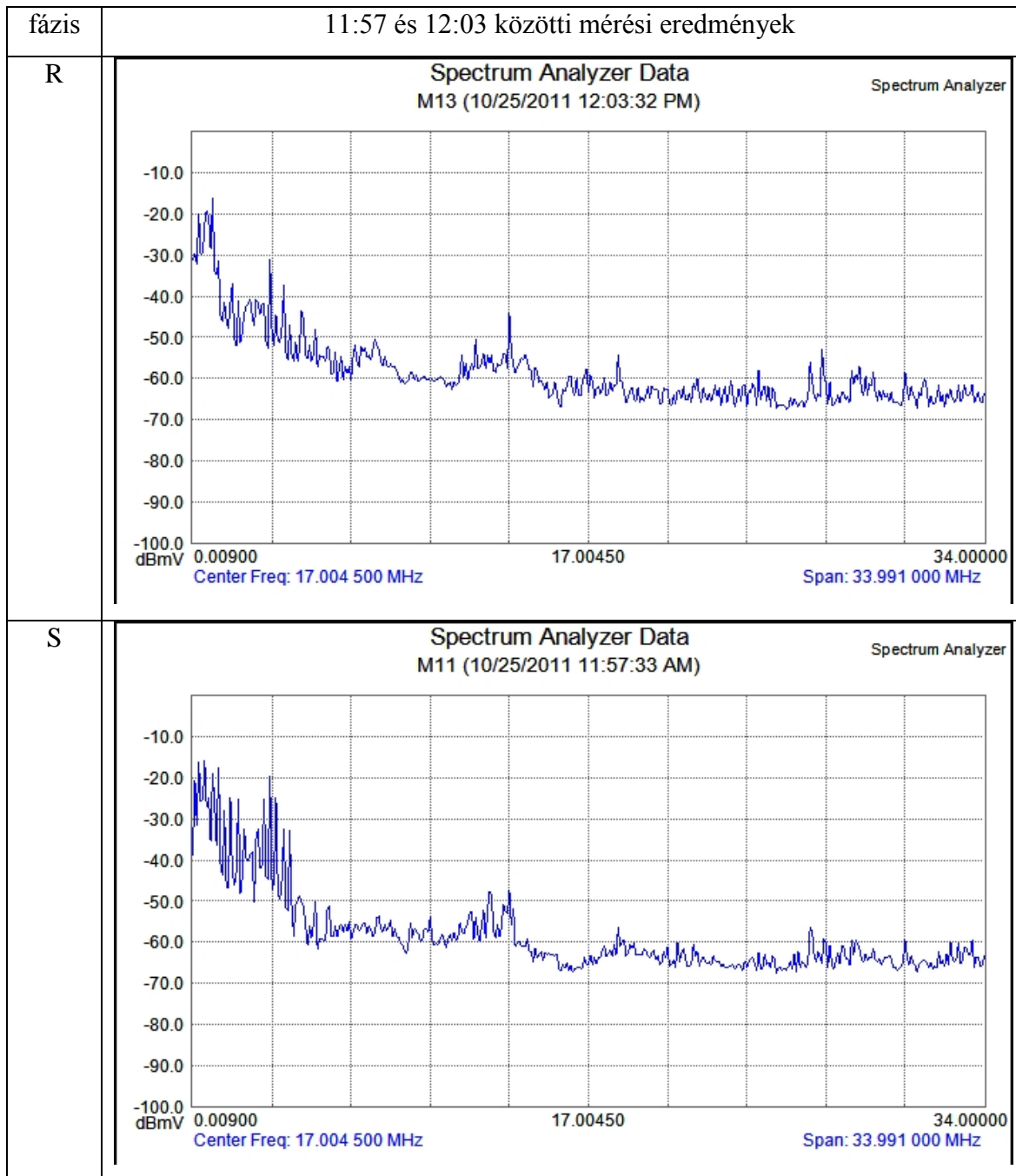
Mérési eredmények:

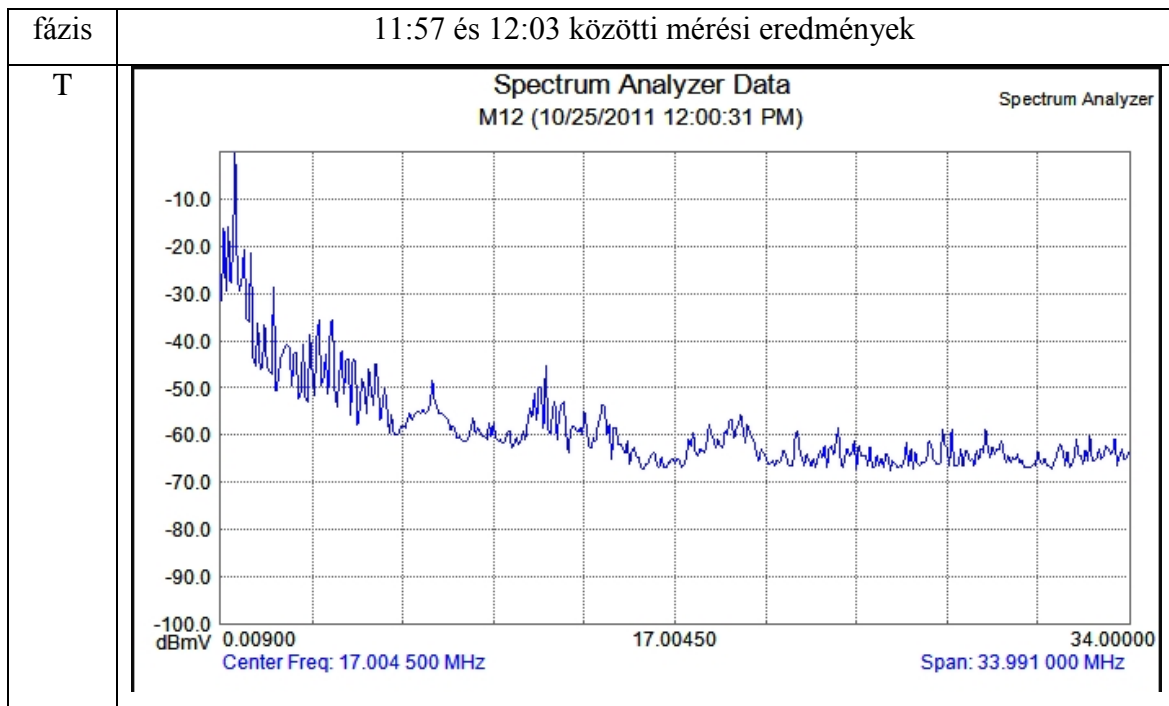
fázis	17:14 és 17:19 közötti mérési eredmények	17:33 és 17:36 közötti mérési eredmények
R		
S		
T		

2. táblázat Zajspektrumok a különböző fázisokban, kis terhelésű időszakban

A 2. táblázatban látható spektrumokból megállapítható, hogy a közel 20 perces különbséggel elvégzett mérések nagyon hasonló eredmény mutatnak. A különböző fázisokban mért zajszintek is erősen hasonlítanak egymásra, ez magyarázható a fázisok kiegyenlítetttségével, azaz hasonló számú fogyasztó (számítógép) van kapcsolva az

egy-egy fázisra és azzal is, hogy a kábelek együtt futnak a kábelcsatornában és egymásra hatnak. A függelékben megtekinthetőek az eredmények nagyobb méretben is.





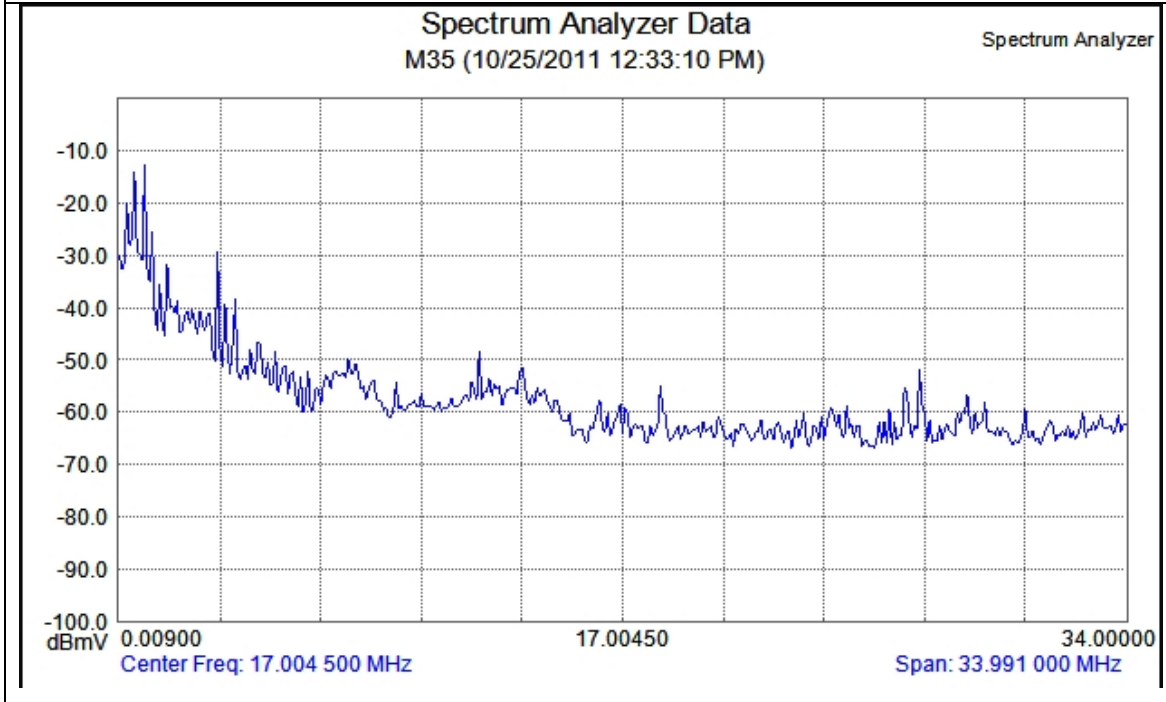
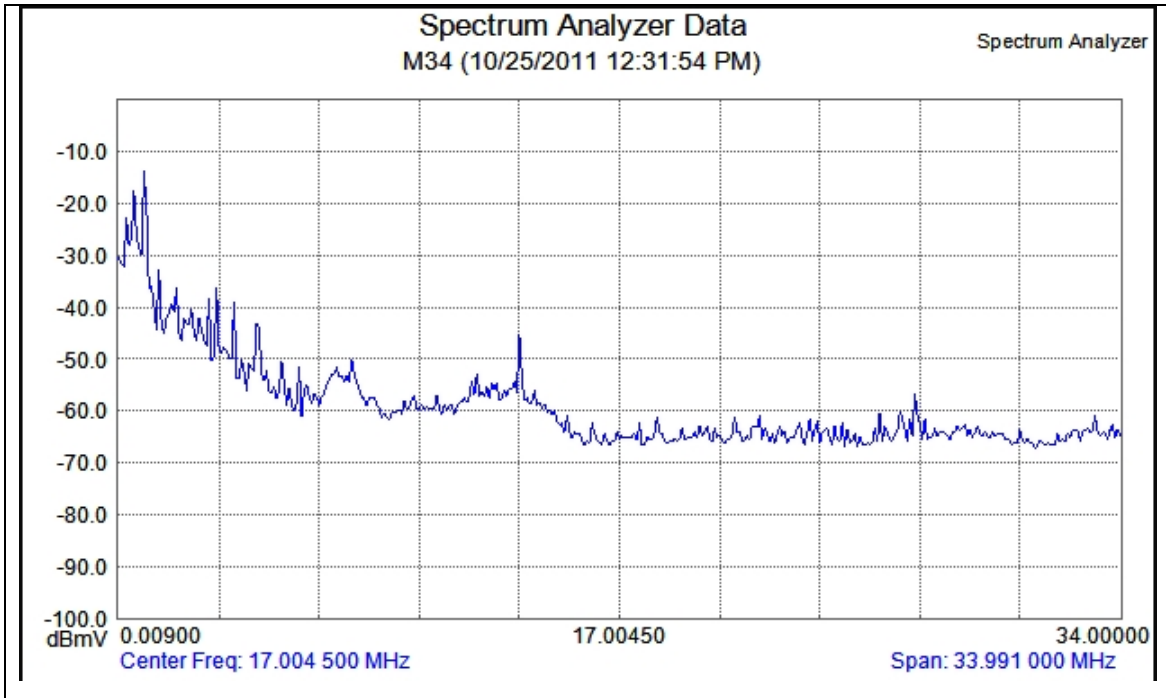
A nagyobb terhelésű időszakban alacsony frekvencián (1 MHz alatt) nagyobb a zajszint, mint az esti időszakban, de nagyobb frekvenciákon már nem vehető észre különbség.

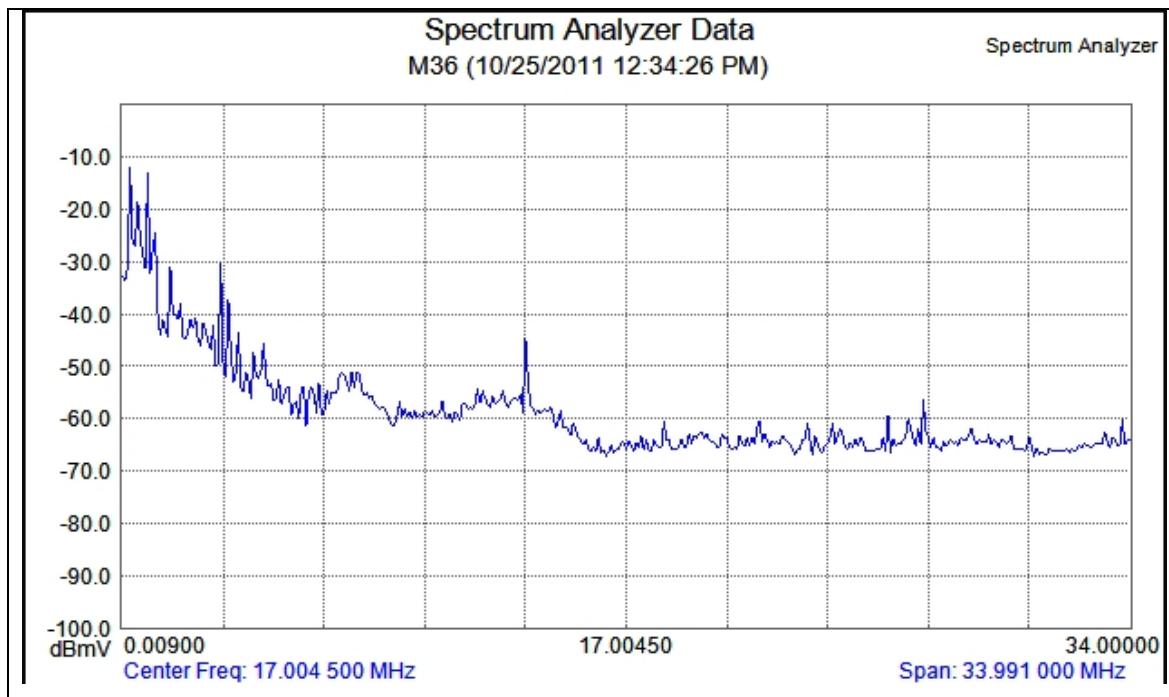
5.2.2 Rövid idő alatt zajváltozás

A kora délutáni időszakban végeztem egy sorozatmérést is, amelynek célja az volt, hogy a rövidebb ideig tartó zavarok fellépését vizsgáljam. A kiterjedt villamoshálózatnak köszönhetően egyszerre sok eszköztől származik zavaró jel. Ha azt feltételezzük, hogy a berendezéseket egymástól viszonylag függetlenül kapcsolják rá a hálózatra, akkor a nagy szám miatt egy lassan változó zajspektrumot kellene kapnunk. A mérés célja ennek megvizsgálása volt. Két mérés között 1-1,5 perc telt el.

A 3x10 méréses sorozat teljes egészében a függelékben található meg, itt csak a jelentősebb változást mutató ábrákat emeltem ki.

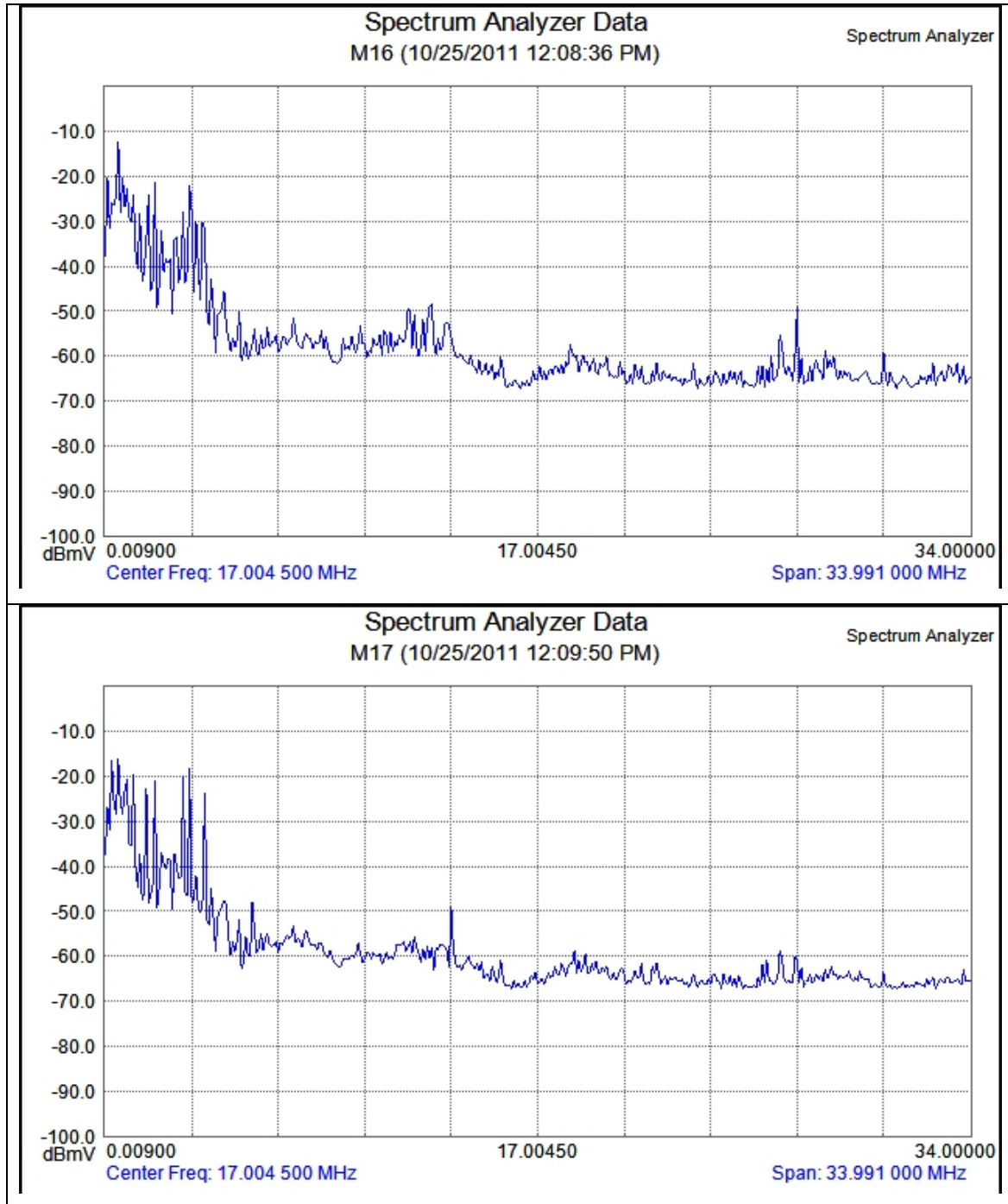
Az R fázisban készített 3 kép a 3. táblázatban egy érdekes jelenséget mutat. Az első és a harmadik kép nagyon hasonló, a középső meg sokkal zajosabb. Ez azt jelenti, hogy egy zavar megjelent a rendszerben, amely szinte az egész vizsgált tartományban megemelte a zajszintet, majd alig pár perc múlva el is tűnt.





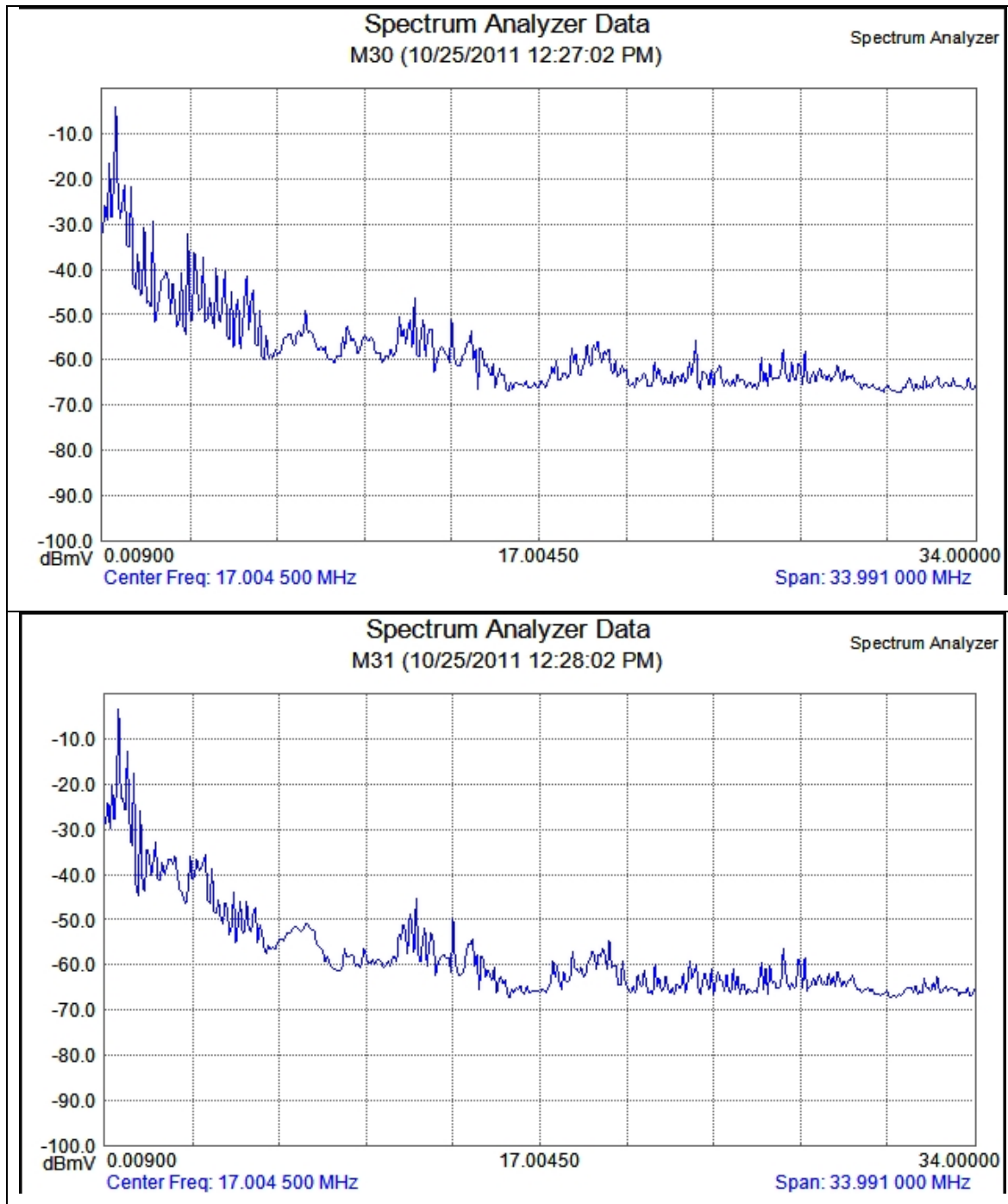
3. táblázat R fázisban 3 pillanatkép a hálózat zajszintjéről

Az S fázist vizsgálva hasonló jelenséget nem találtam, viszont a szint fluktuációja percről percre kimutatható. Két spektrumot emelek ki a 4. táblázatban, amelyeken látszik, hogy egy zajosabb állapotból egy „nyugodtabb” állapotba kerül a hálózat.



4. táblázat S fázisban másfél perces időkülönbséggel mért 2 zaj állapot

A T fázisban egész spektrumra ható változások nem figyelhetőek meg, de figyelemre méltó a méréssorozat végén fellépő zajszint-emelkedés a néhány megahertzes tartományban, amelyet az 5. táblázat tartalmaz.



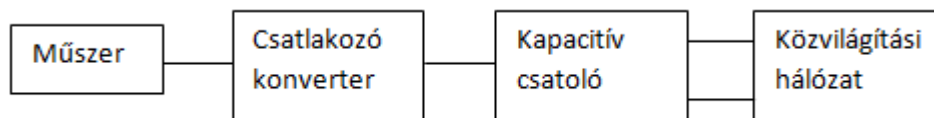
5. táblázat T fázisban mért zajszintek

5.2.3 Közvilágítási hálózat zajvizsgálata

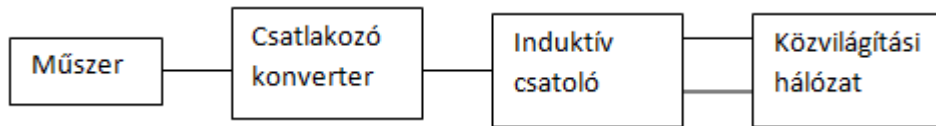


22. ábra Vizsgált hálózatrész sematikus szerkezete

A tesztelésre kiválasztott hálózatrész a 27. ábrán látható. A számok a jelbecsatolási lehetőséggel rendelkező villanyoszlopokat mutatják. A zöld vonal a síktartós, szigeteletlen hálózati részt, a kék pedig a kötegelt, szigetelt hálózati részt jelöli. A síktartós vezetékhez kapacitív, a kötegelt vezetőhöz pedig induktív csatoláson keresztül lehet hozzáférni. A 23. és 24. ábrák a mérési elrendezést mutatják.

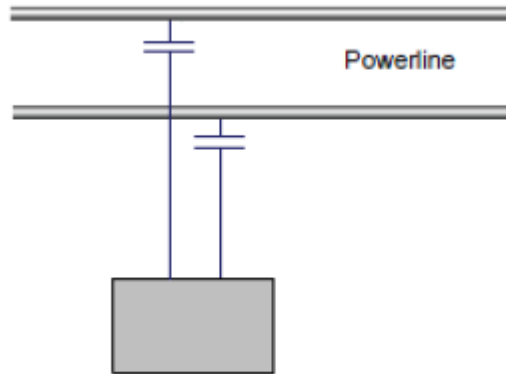


23. ábra Síktartós vezetéken végzett mérés sematikus ábrája

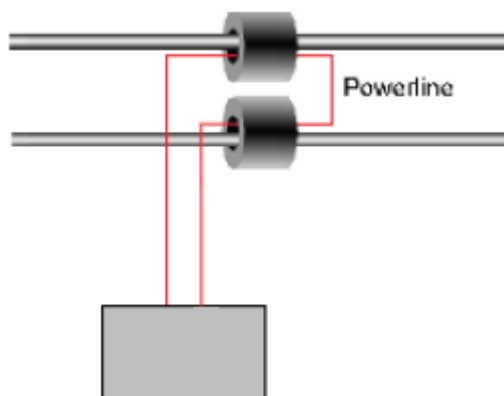


24. ábra Szigetelt, kötegelt vezetéken végzett mérés sematikus ábrája

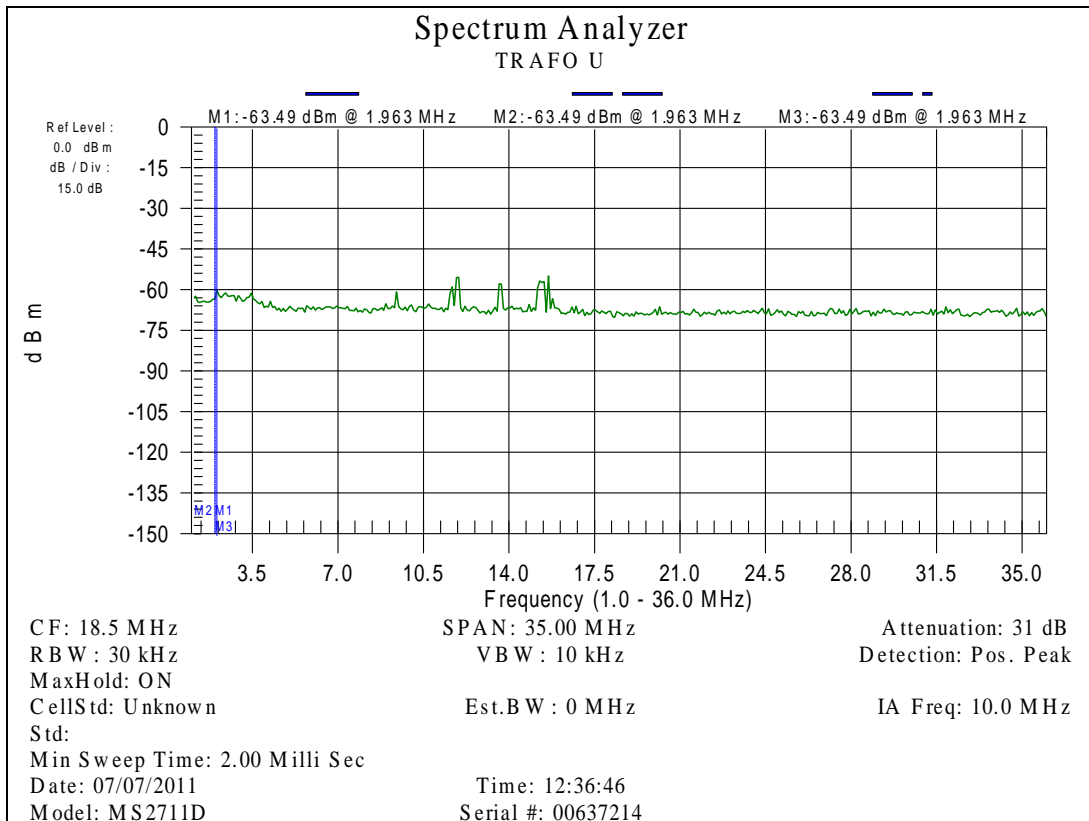
A 25. és 26. ábrák az induktív, illetve kapacitív becsatolást részletezik. A megfelelő paraméterekkel kiválasztott csatolóelemek (kondenzátorok, ferritgyűrűk) kiszűrnek az 50Hz-es 230V-os feszültséget, mert ezek tönkretennék a műszert.



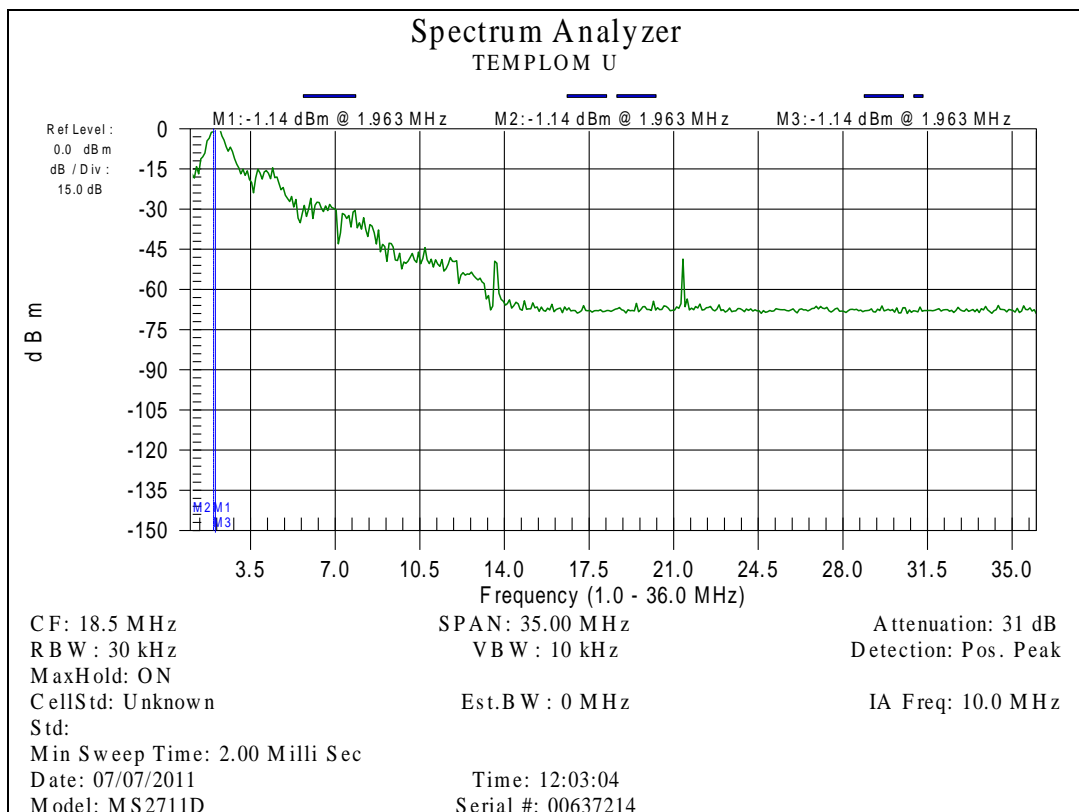
25. ábra Kapacitív típusú egy fázisú jelbecsatolás



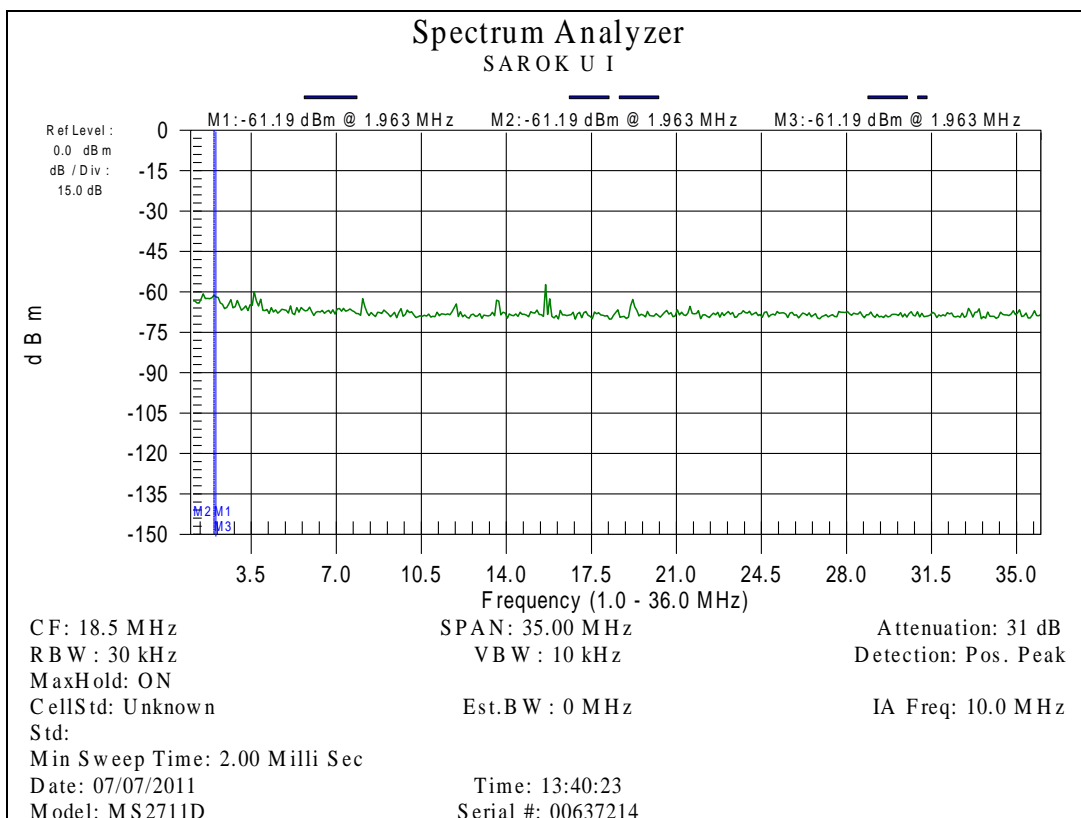
26. ábra Induktív típusú egy fázisú jelbecsatolás



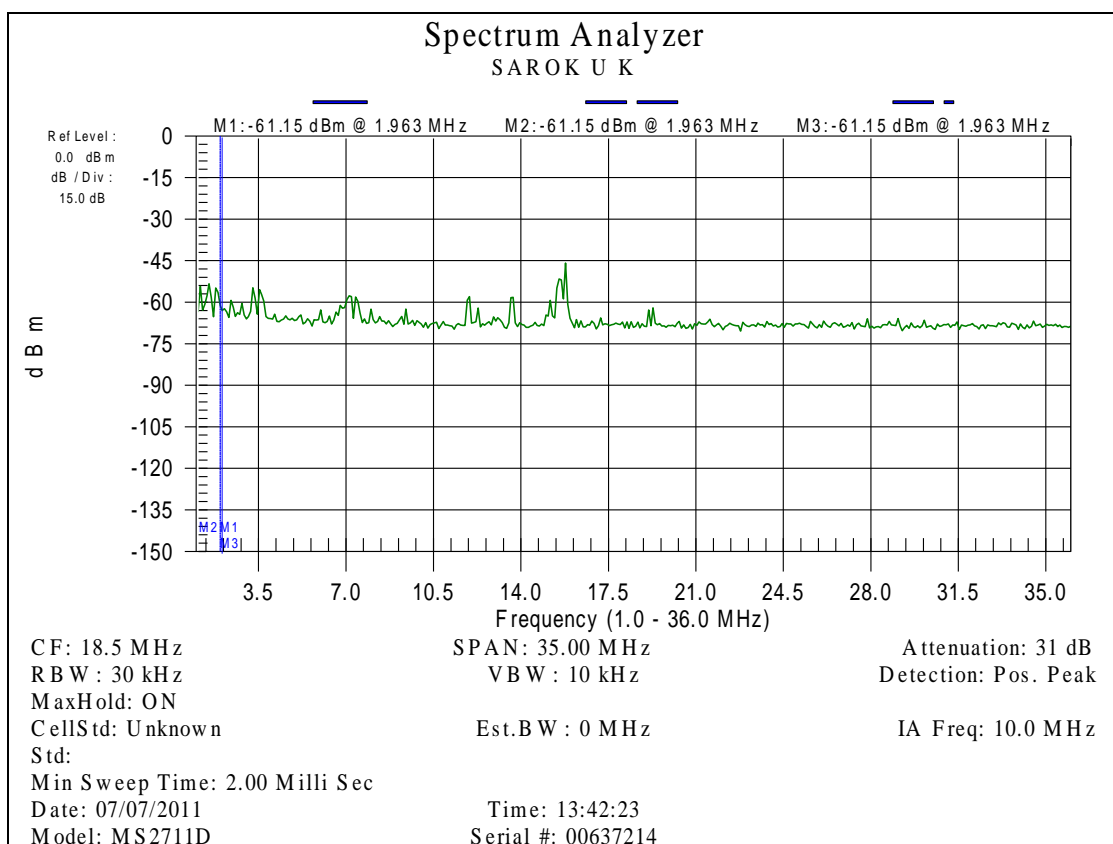
27. ábra Az 1. pontban mért zajspektrum



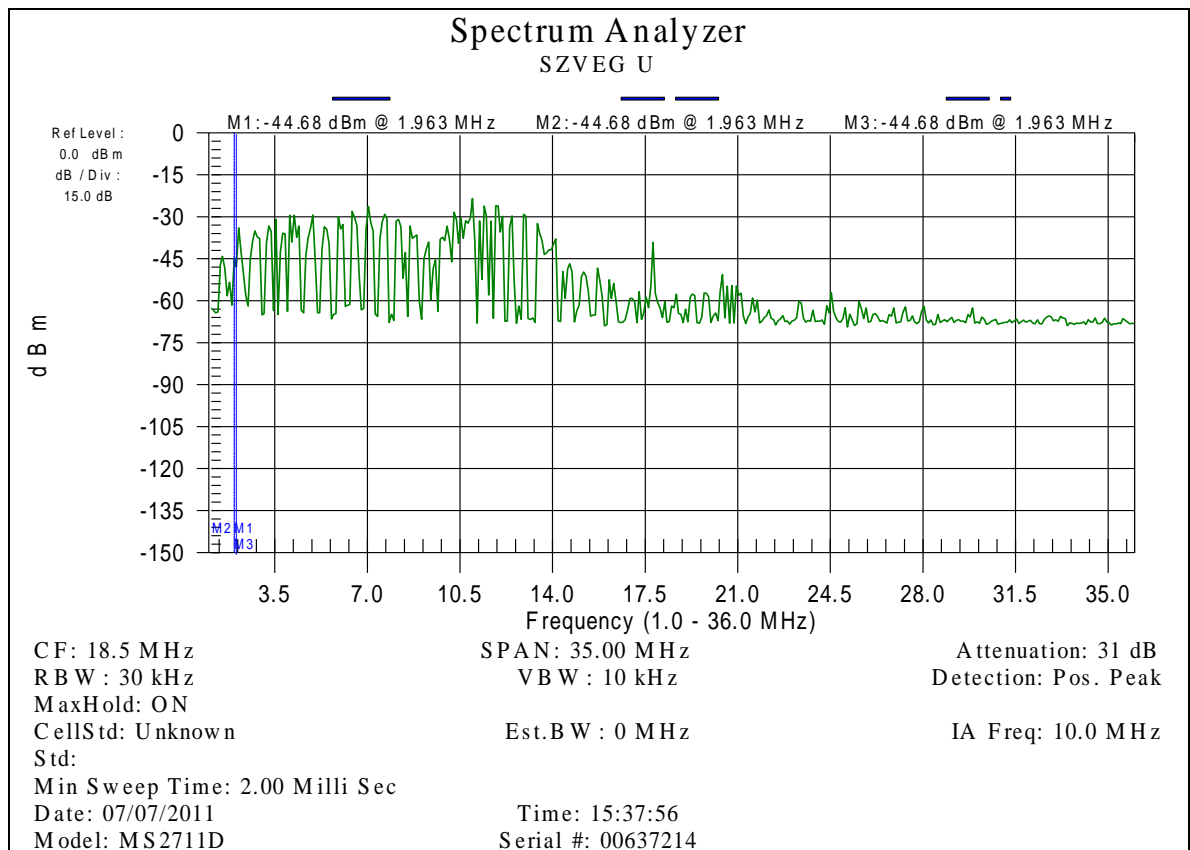
28. ábra A 2. pontban mért zajspektrum



29. ábra A 4. pontban, a kötegelt vezetõn mért zajspektrum



30. ábra A 4. pontban, síktartós vezetékn mért zajspektrum



31. ábra Az 5. pontban mért zajspektrum a 4. pontban rákapcsolva hagyott PLC eszközzel

Sok össze nem egyeztethető mérési eredmény született, mely valószínűleg a nem elegendő számú mérésnek köszönhető.

A 27. ábrán megjelenő szinte fehér zaj a vártnak megfelelő, mert a hálózatra kapcsolt eszközök zavarcsökkentése meg van oldva, így nem juthat ki nagyfrekvenciás zavarjel a hálózatra.

A 2. mérési pont szokatlan eredményt hozott (28. ábra). A tartomány alsó felében $1/f$ jellegű a zaj, majd 14MHz fölött közelít a fehérzajhoz. Ez a zajszint feltehetőleg közvilágítási hálózathoz képest külső forrásból ered.

A 29. és 30. ábrákon látható zaj az elvártnak megfelelő volt, habár a síktartós vezetéken kicsit nagyobb zajszintet mértem, amely feltehetőleg a vezetékgeometriával magyarázható.

A 31. ábra egy „hibás” mérési eredménye. A hálózati zaj helyett a PLC eszköz által használt vivőfrekvenciákat mérte ki a műszer. Ezáltal azonban látható volt, hogy az 1MHz és 34MHz között melyik vivőfrekvenciákat ítélte az eszköz használhatónak.

5.2.4 Összefoglalás

Az első mérés részben megcáfolta az előzetes feltevést, miszerint a kisebb hálózati terhelés kisebb zajjal jár. Az már korábban megállapításra került, hogy terhelés mellett a PLC jelátvitel romlik. Az általam végzett mérések után kijelenthető, hogy ebben nem csak a zaj játszik közre, hanem egyéb tényezők is, például a hálózat impedanciájának a változása is.

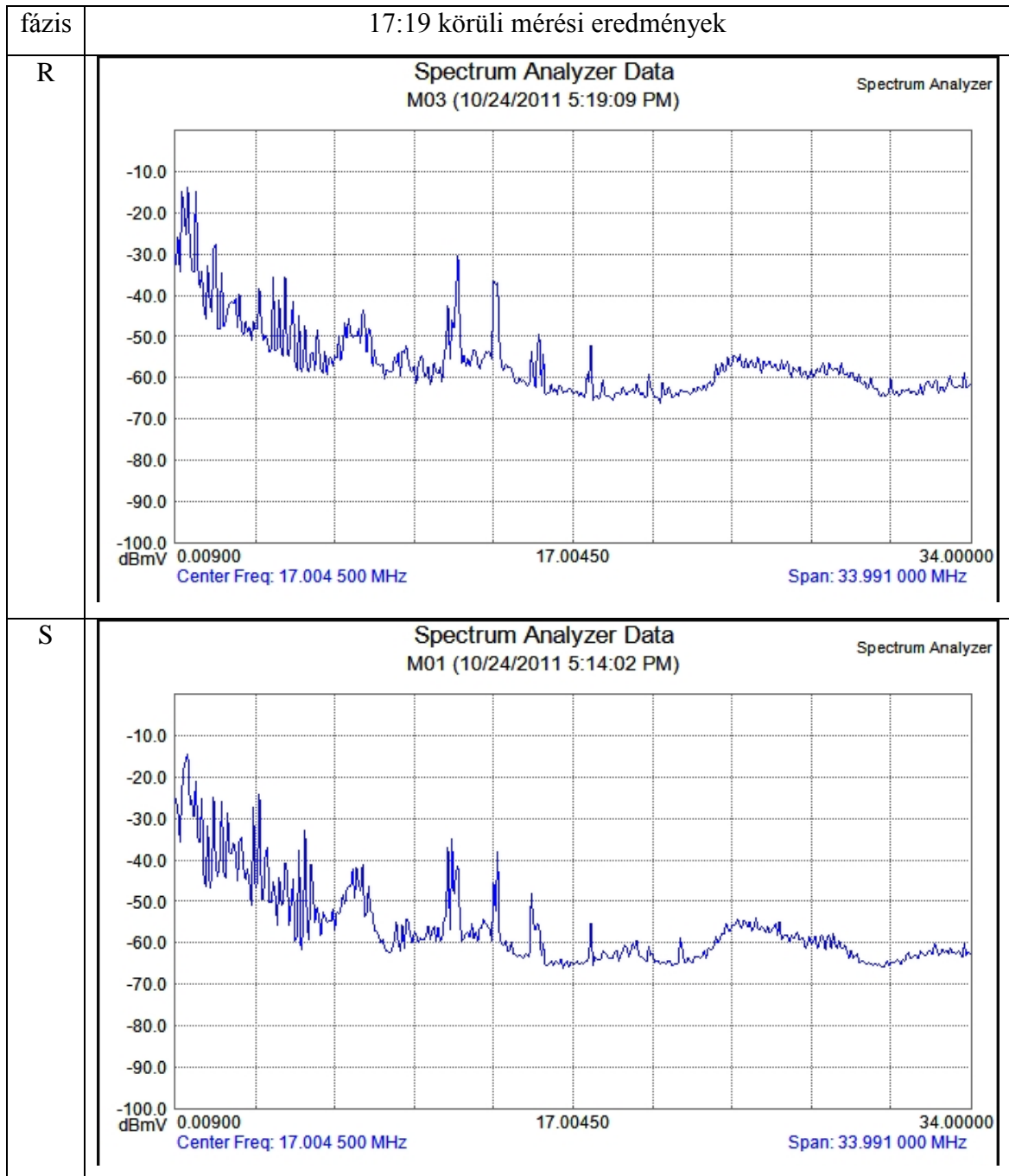
A második mérés során az előzetes elvárásoknak megfelelő adatokat kaptam. Ezekből kiolvasható volt, hogy a hálózati zaj viszonylag gyorsan is képes változni, amelyre nem lehet előre felkészülni.

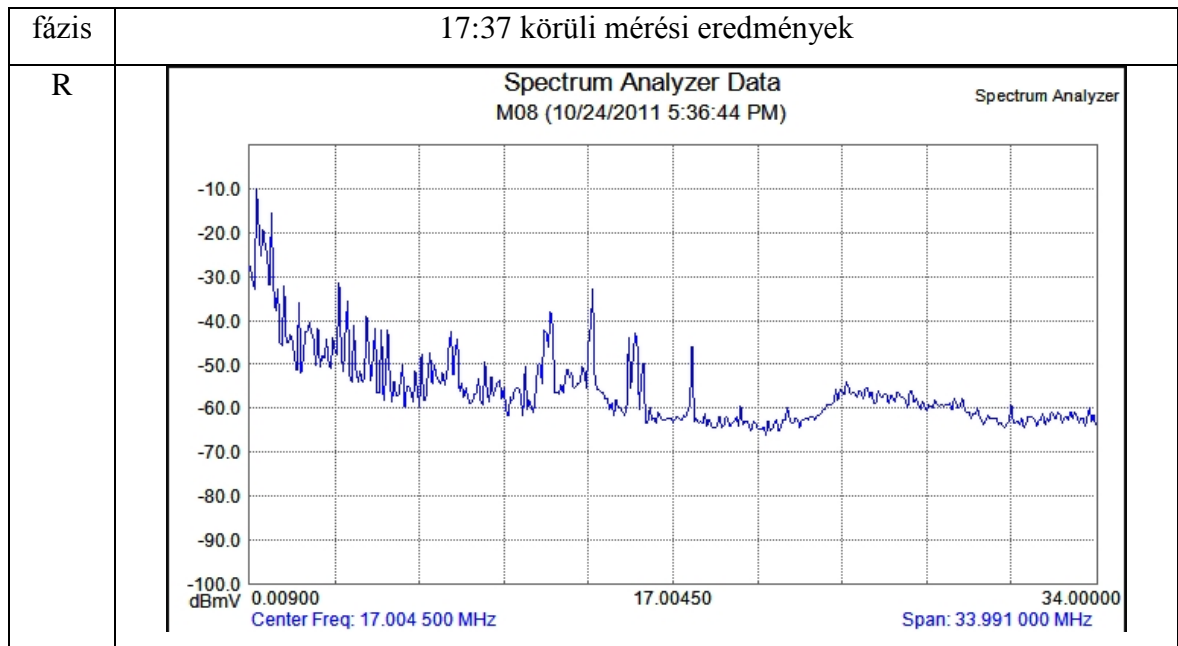
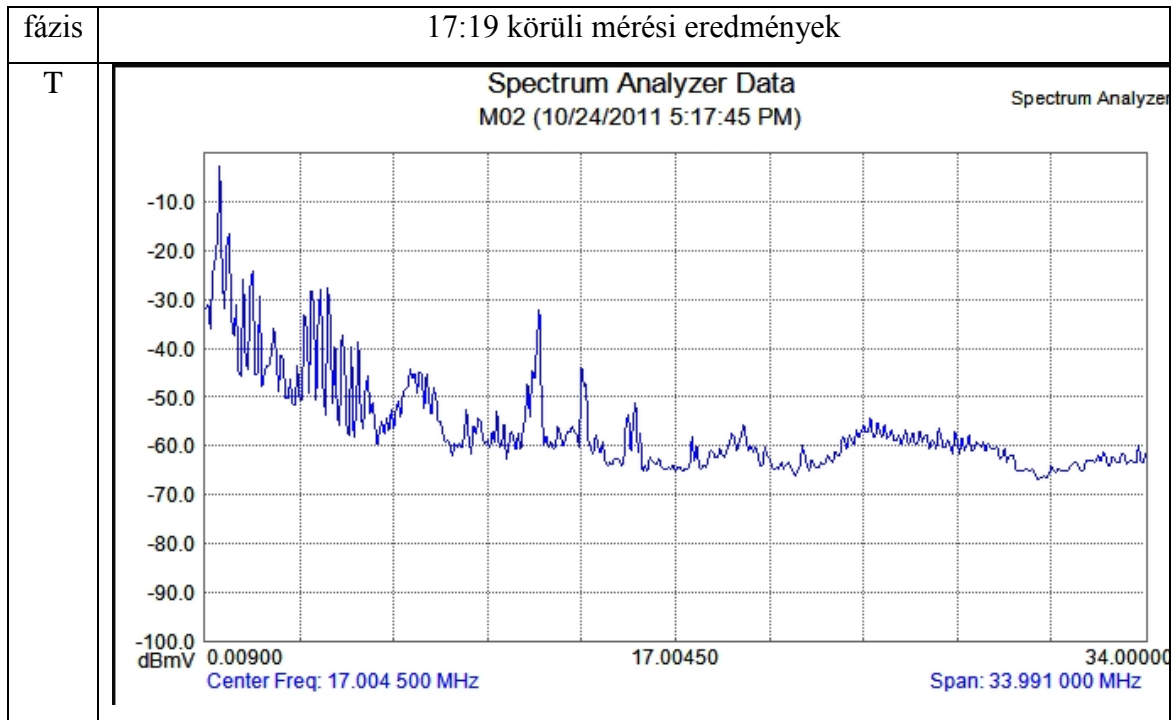
A harmadik mérés során bebizonyosodott, hogy bár a hálózatra kapcsolt eszközök zavarászűrtek, mégis jelentős zaj jelenhet meg a hálózatban. Különböző a szigetelt és a szigeteletlen vezetékeken hasonló zaj lépett fel.

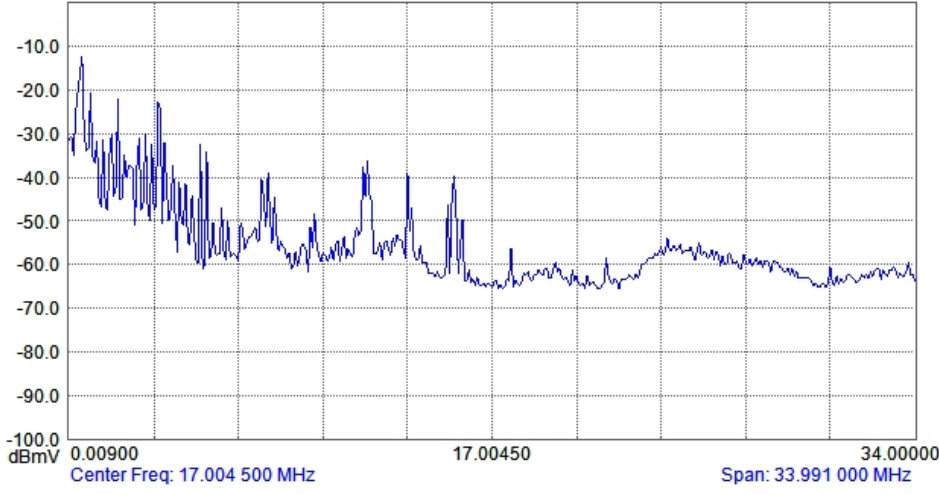
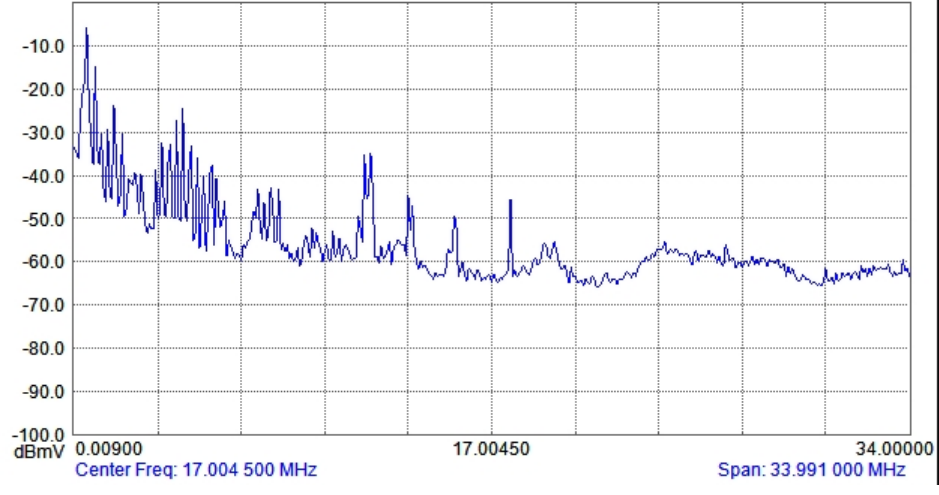
A V1 épületbeli vizsgálatok során, néha jött egy nagy túske, 900kHz környékén, ami kiakasztotta a műszert. Közös tulajdonsága volt az épületen belüli és közvilágítási hálózaton fellépő zajnak: 16MHz környékén kiemelkedés volt. Érdekes lehet ezeken a frekvenciákon megjelenő jeleket tüzetesebben megvizsgálni.

6 Függelék

6.1 Saját mérés / 1

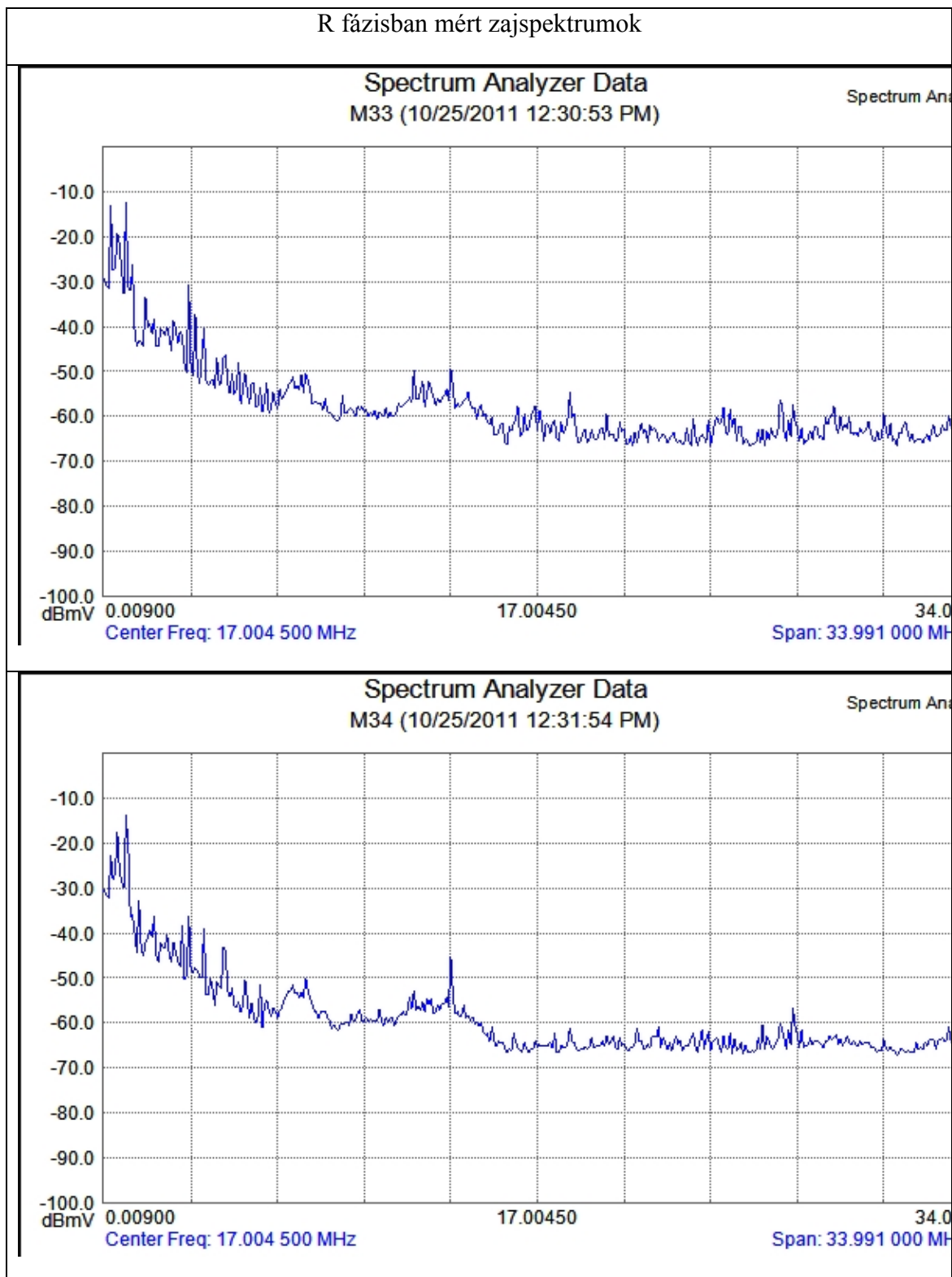




fázis	17:37 körüli mérési eredmények	
S	<p style="text-align: center;">Spectrum Analyzer Data M06 (10/24/2011 5:33:37 PM) Spectrum Analyzer</p>  <p style="text-align: center;">Center Freq: 17.004 500 MHz Span: 33.991 000 MHz</p>	
T	<p style="text-align: center;">Spectrum Analyzer Data M07 (10/24/2011 5:35:12 PM) Spectrum Analyzer</p>  <p style="text-align: center;">Center Freq: 17.004 500 MHz Span: 33.991 000 MHz</p>	

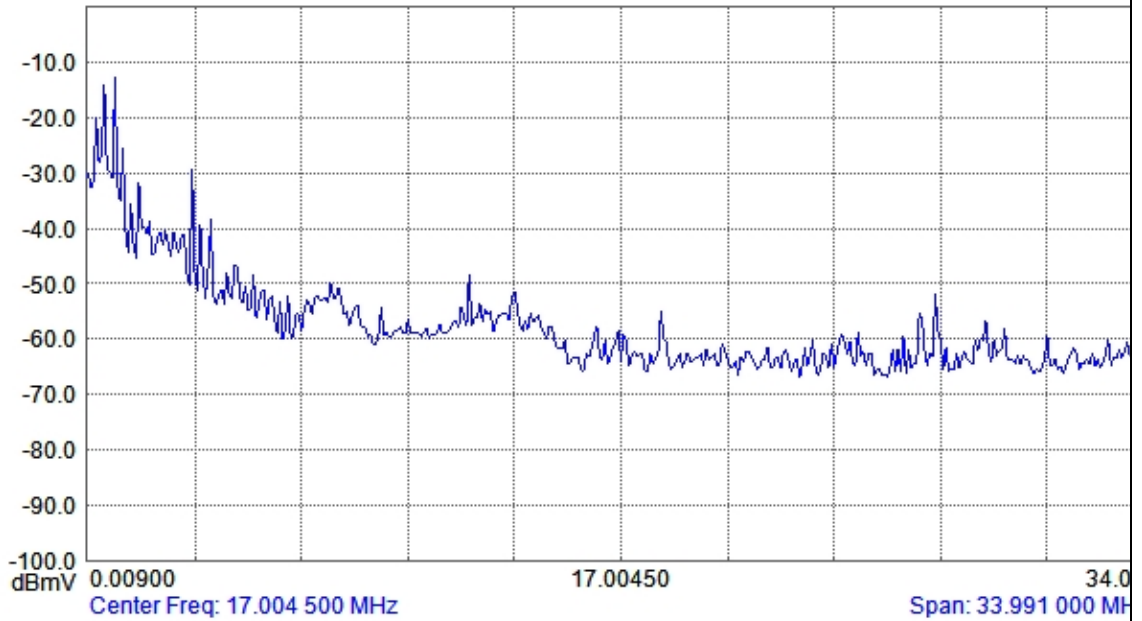
6.2 Saját mérés / 2

R fázisban mért zajspektrumok



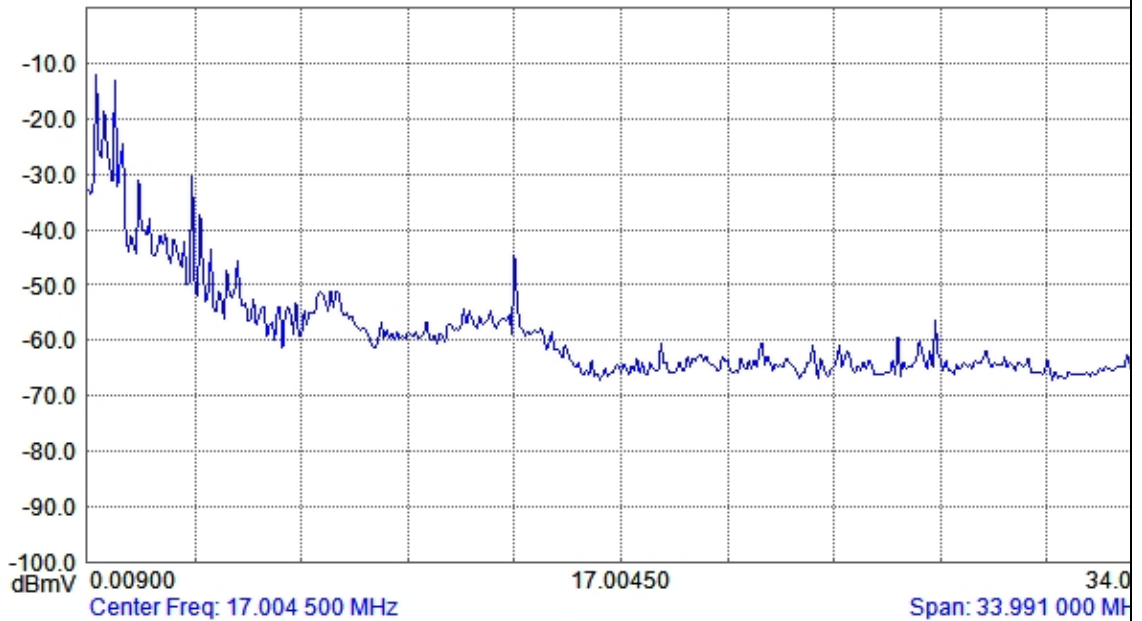
Spectrum Analyzer Data
M35 (10/25/2011 12:33:10 PM)

Spectrum Ana



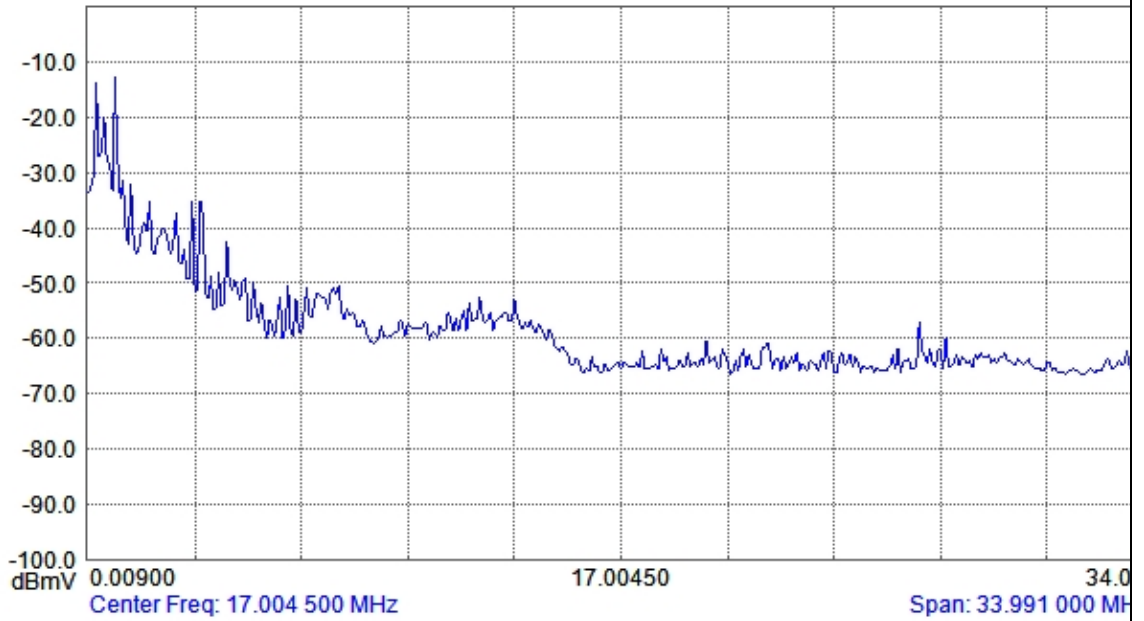
Spectrum Analyzer Data
M36 (10/25/2011 12:34:26 PM)

Spectrum Ana



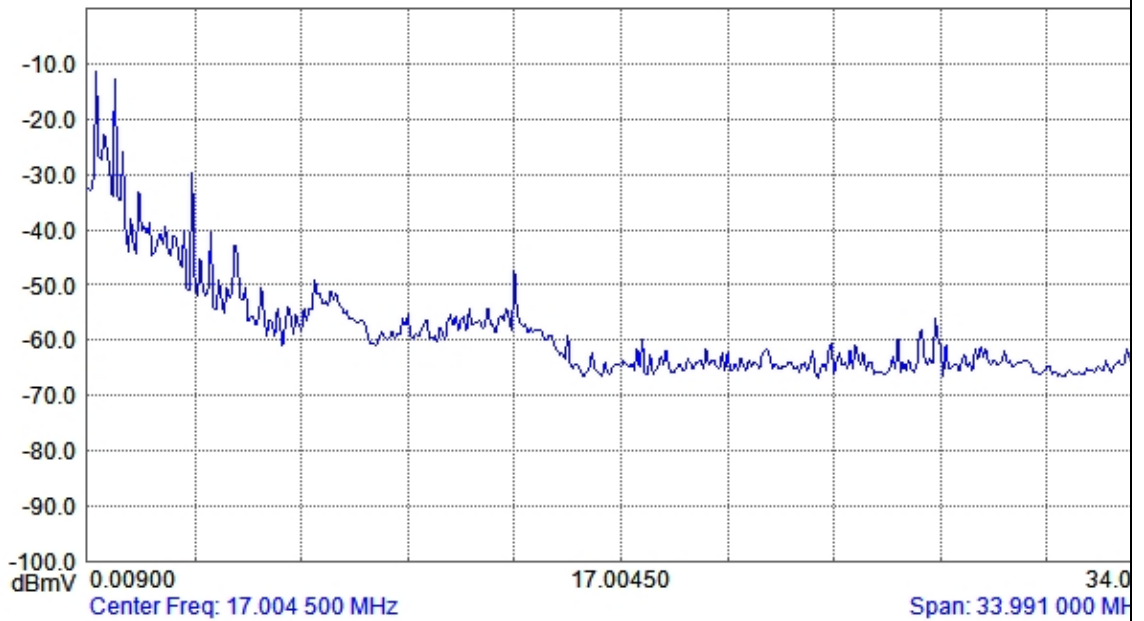
Spectrum Analyzer Data
M37 (10/25/2011 12:36:12 PM)

Spectrum Ana



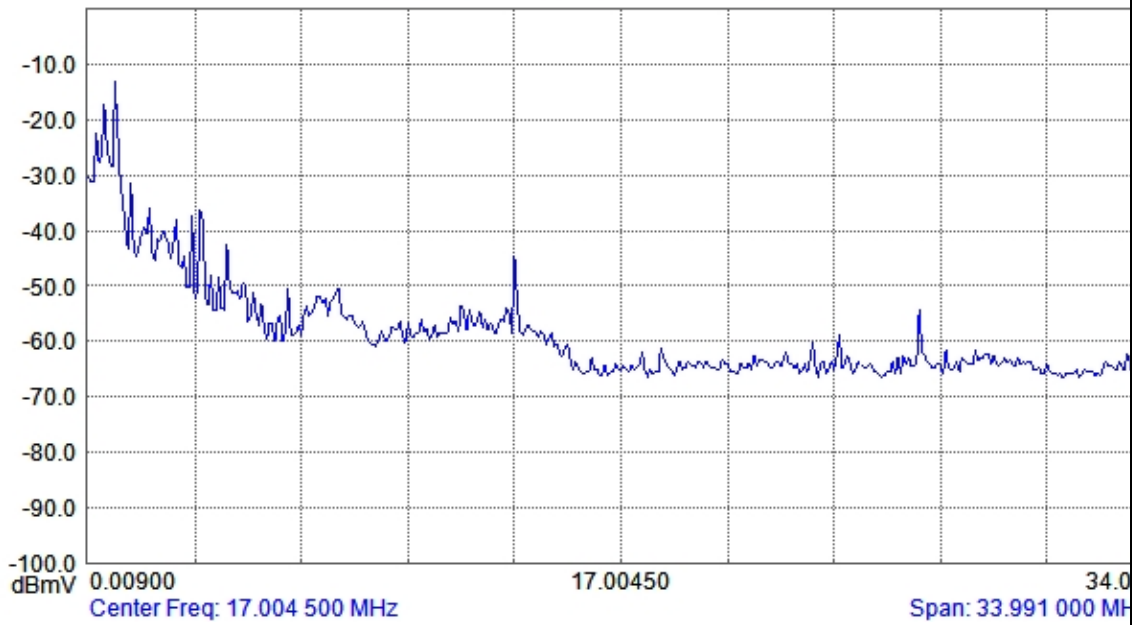
Spectrum Analyzer Data
M38 (10/25/2011 12:38:14 PM)

Spectrum Ana



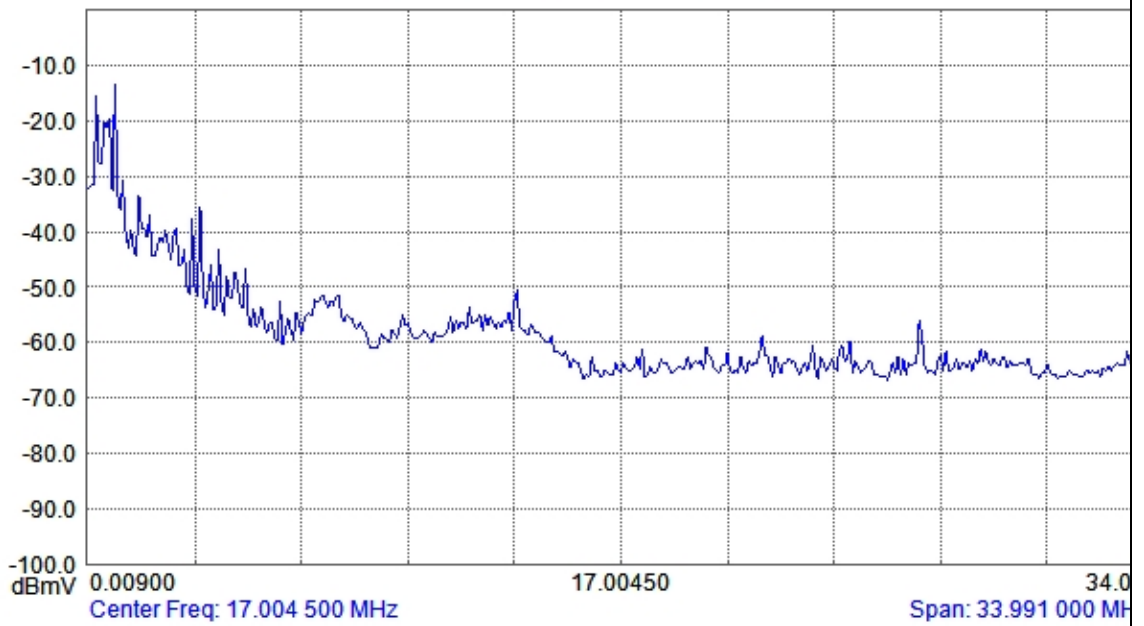
Spectrum Analyzer Data
M39 (10/25/2011 12:39:21 PM)

Spectrum Ana



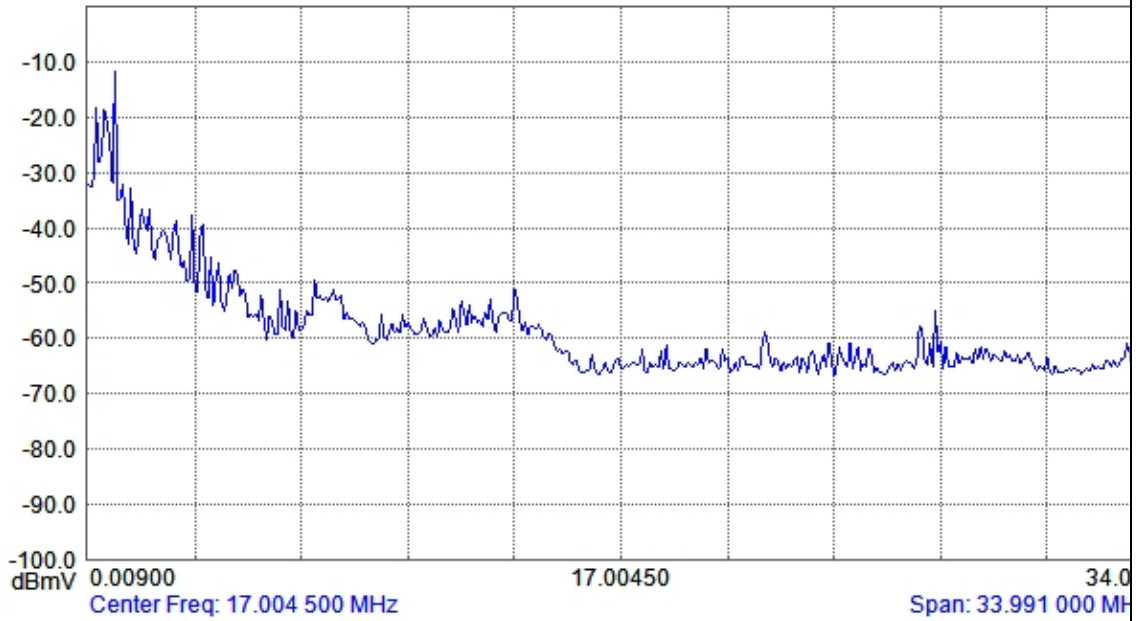
Spectrum Analyzer Data
M40 (10/25/2011 12:40:26 PM)

Spectrum Ana



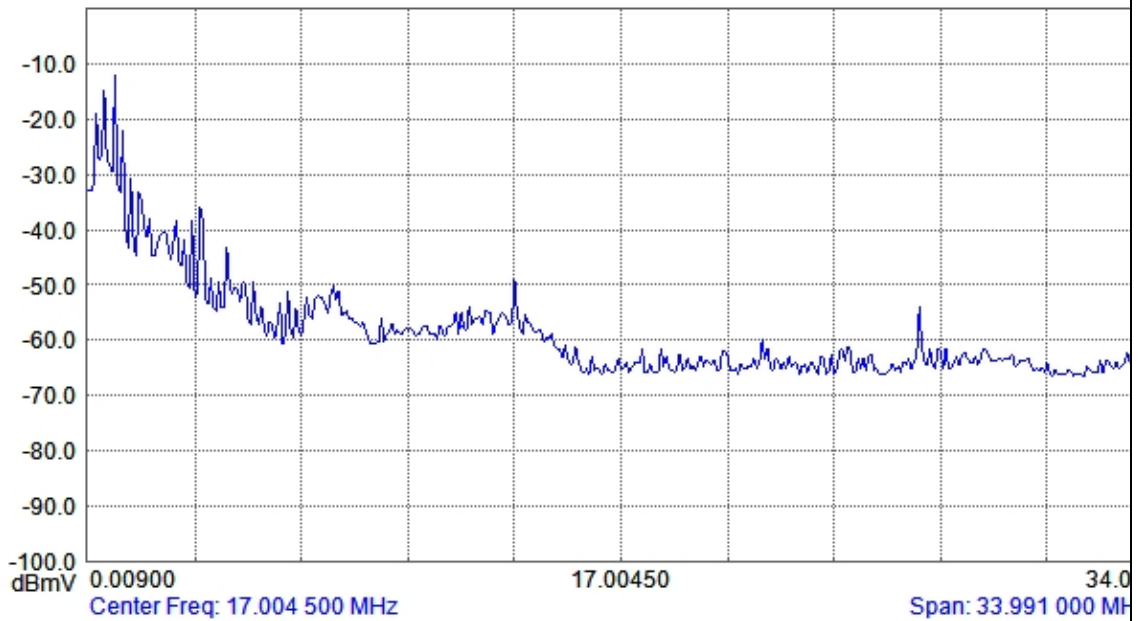
Spectrum Analyzer Data
M41 (10/25/2011 12:41:26 PM)

Spectrum Ana

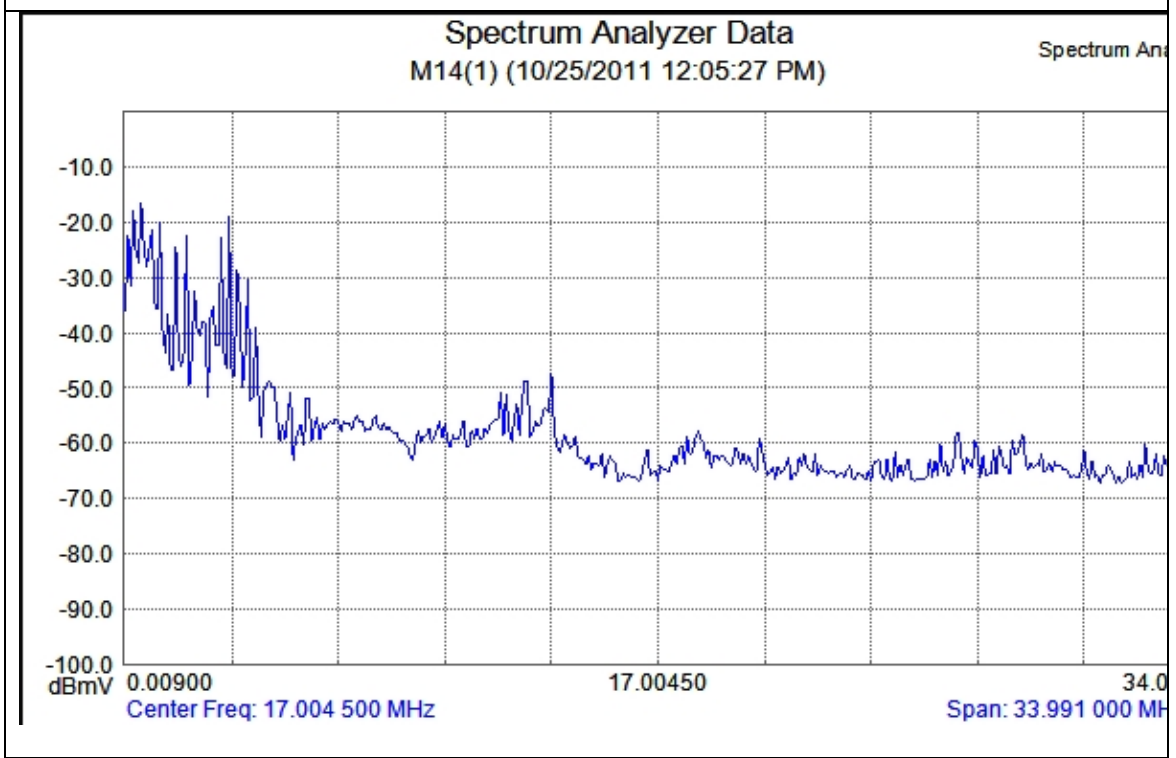
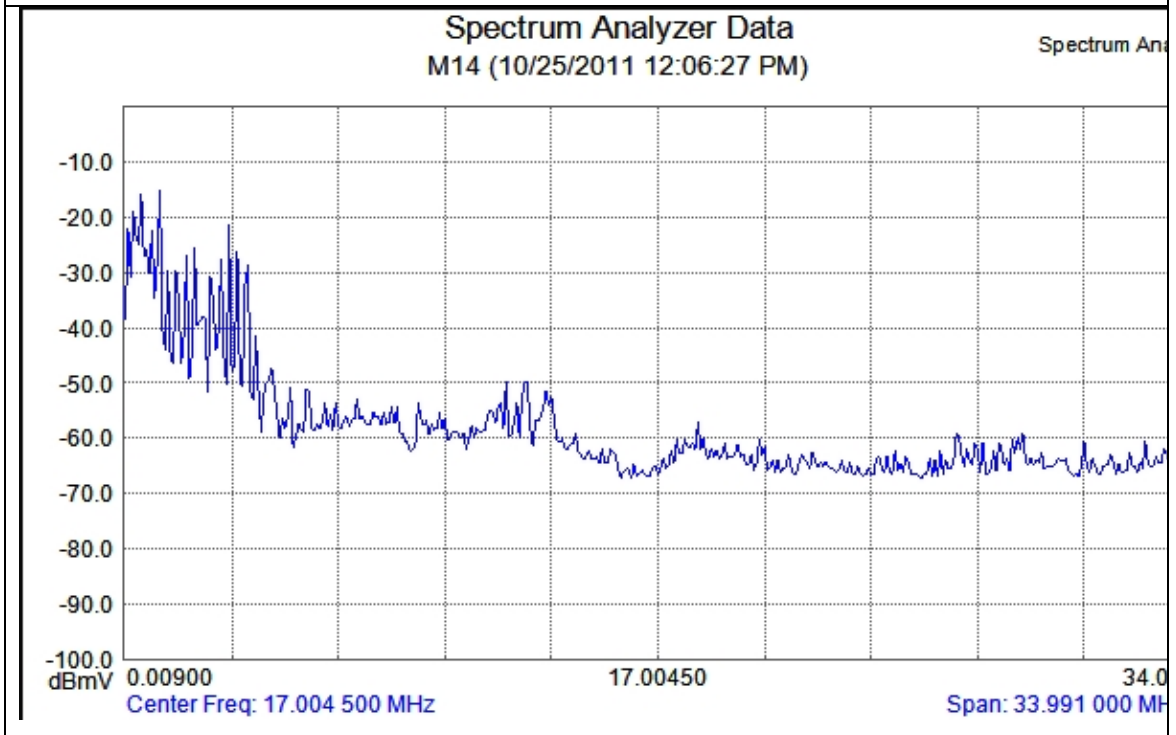


Spectrum Analyzer Data
M42 (10/25/2011 12:42:38 PM)

Spectrum Ana

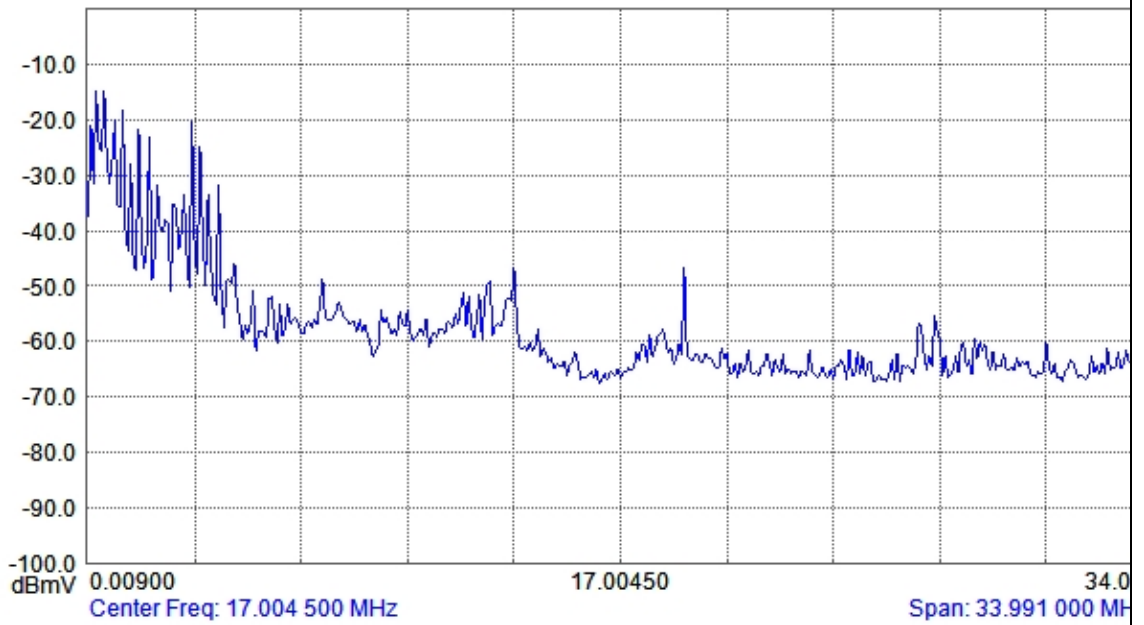


S fázisban mért zajspektrum sorozat



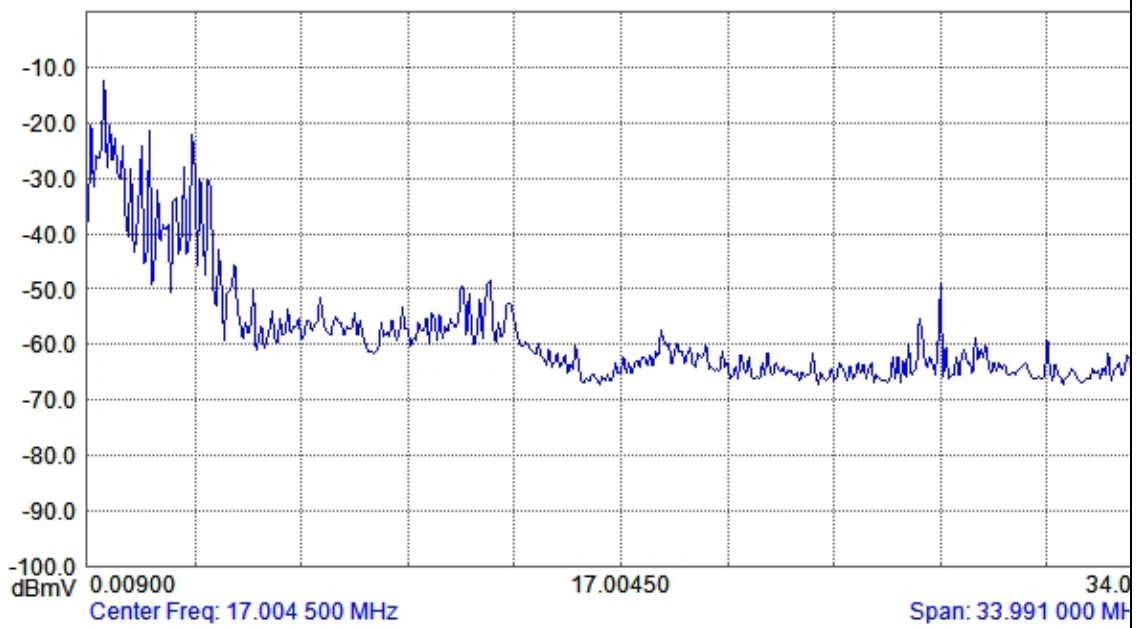
Spectrum Analyzer Data
M15 (10/25/2011 12:07:34 PM)

Spectrum Ana



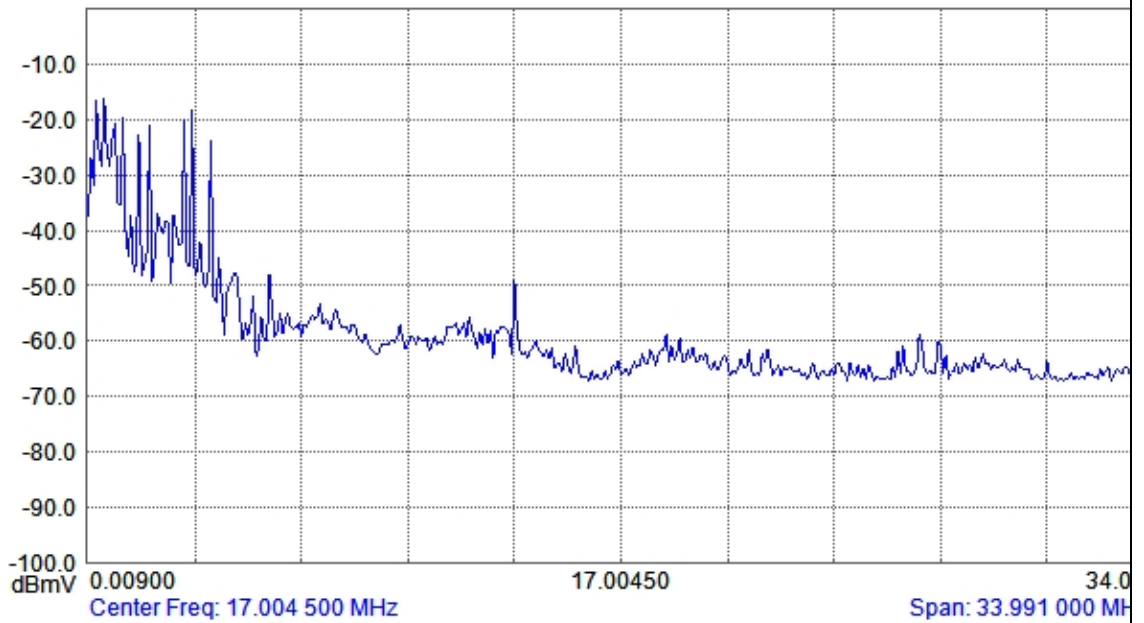
Spectrum Analyzer Data
M16 (10/25/2011 12:08:36 PM)

Spectrum Ana



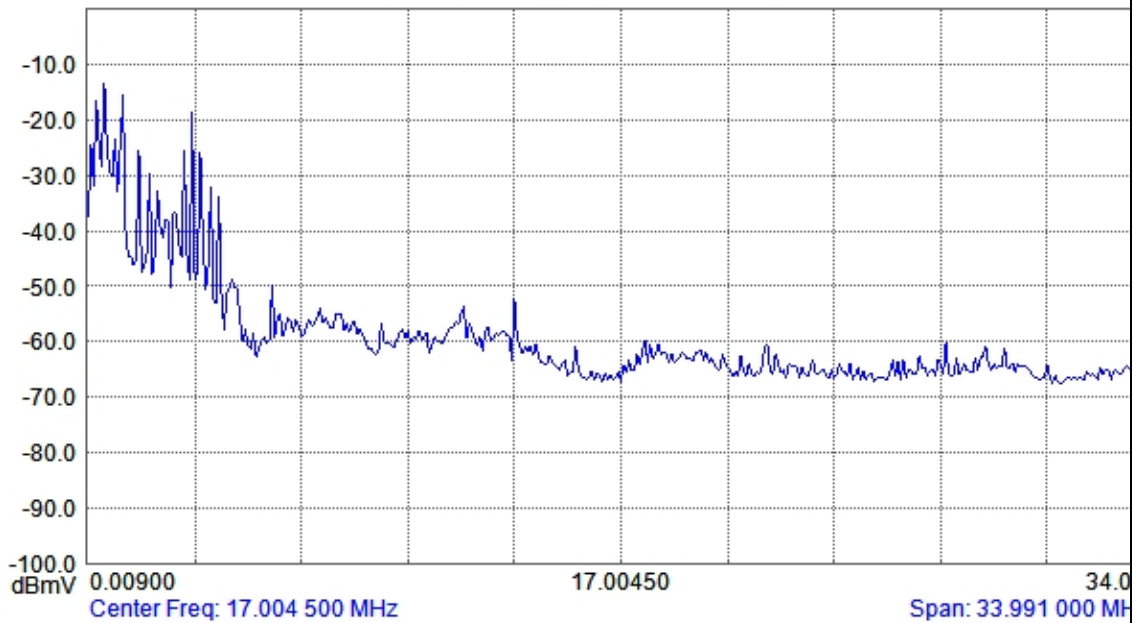
Spectrum Analyzer Data
M17 (10/25/2011 12:09:50 PM)

Spectrum Ana



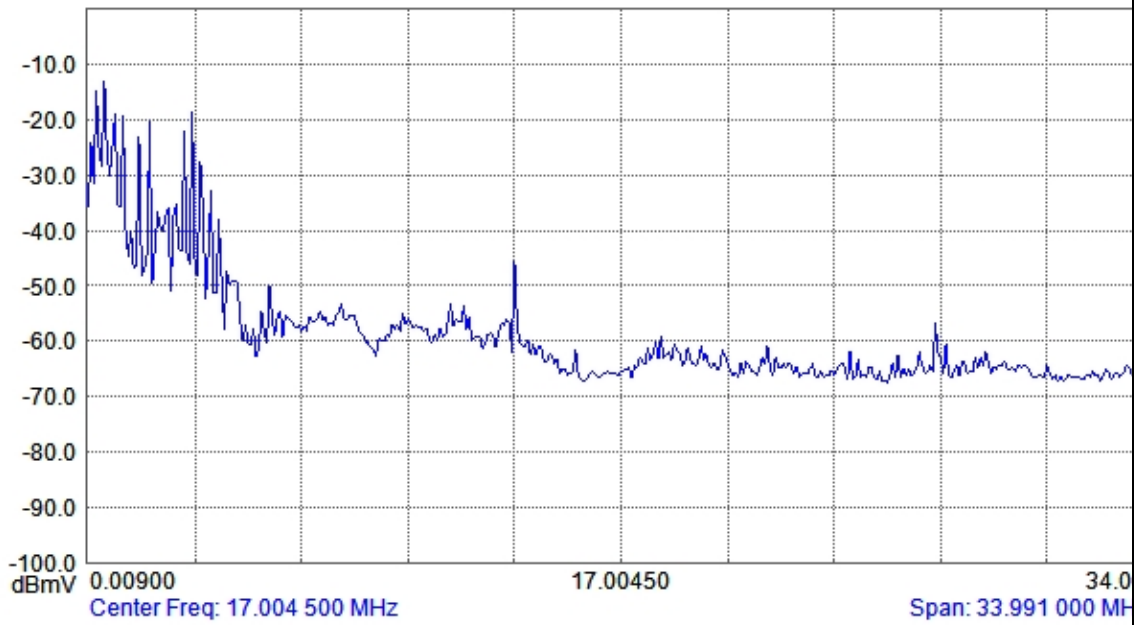
Spectrum Analyzer Data
M18 (10/25/2011 12:10:52 PM)

Spectrum Ana



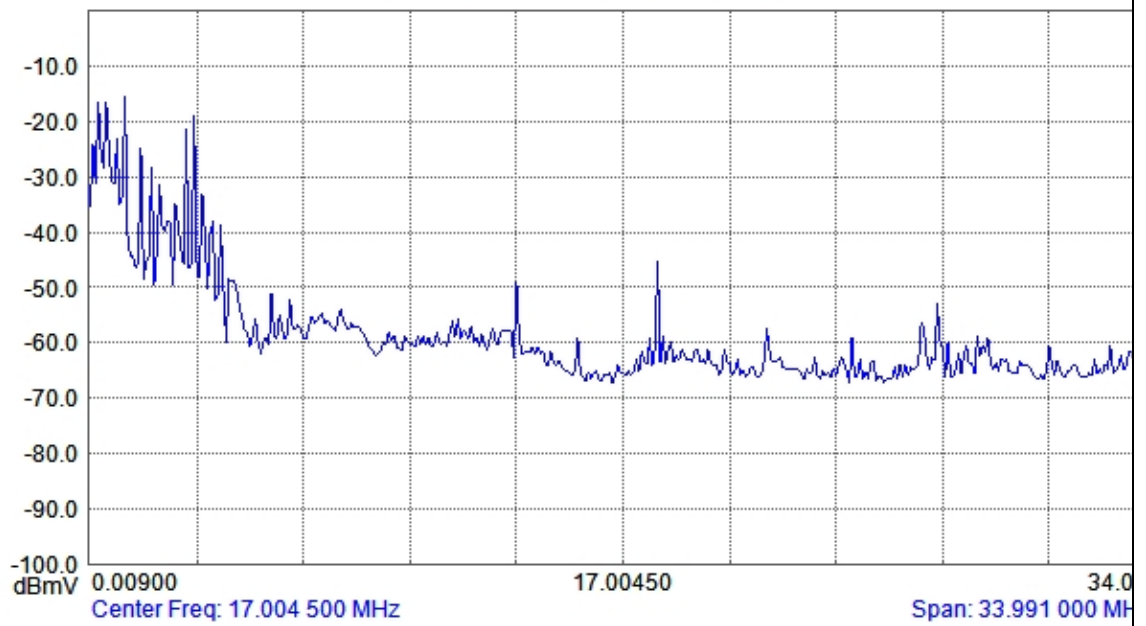
Spectrum Analyzer Data
M19 (10/25/2011 12:12:09 PM)

Spectrum Ana



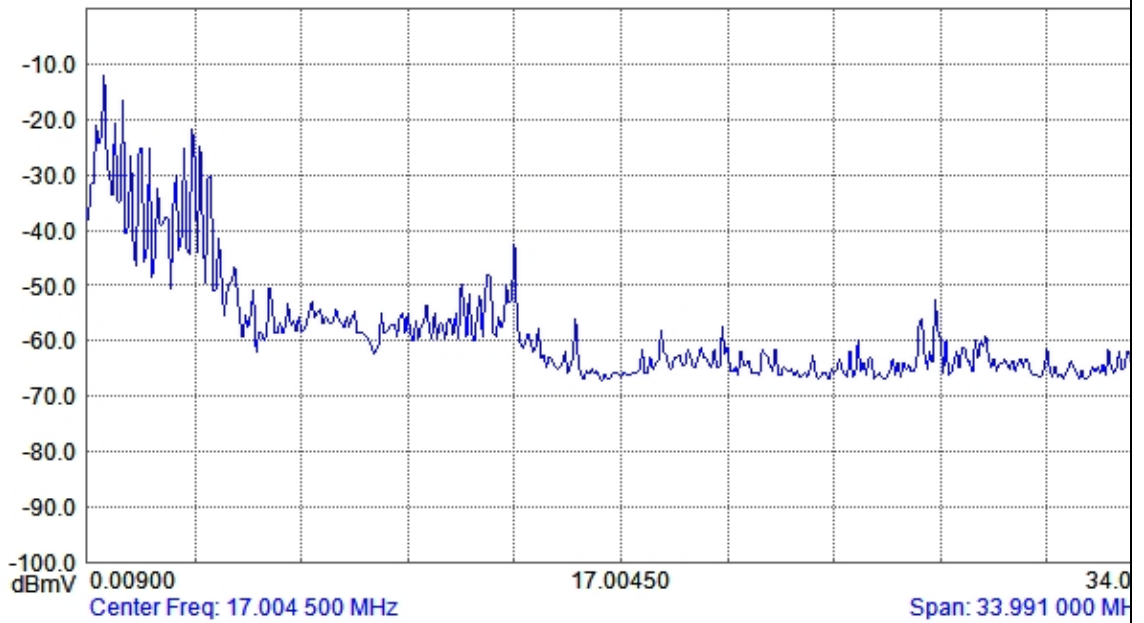
Spectrum Analyzer Data
M20 (10/25/2011 12:13:35 PM)

Spectrum Ana



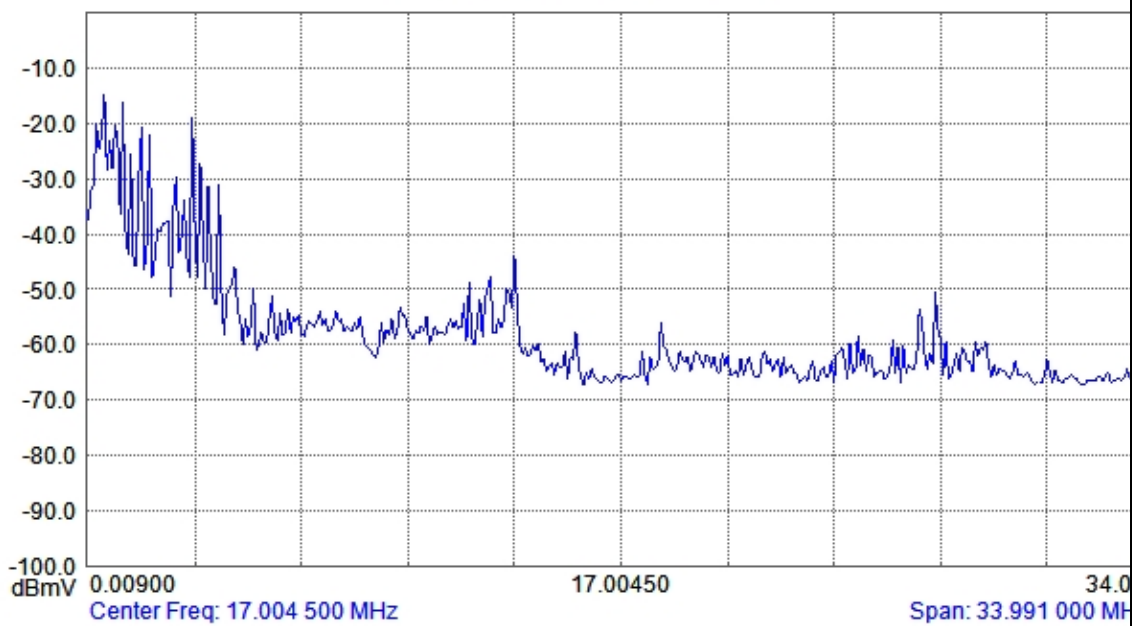
Spectrum Analyzer Data
M21 (10/25/2011 12:14:39 PM)

Spectrum Ana

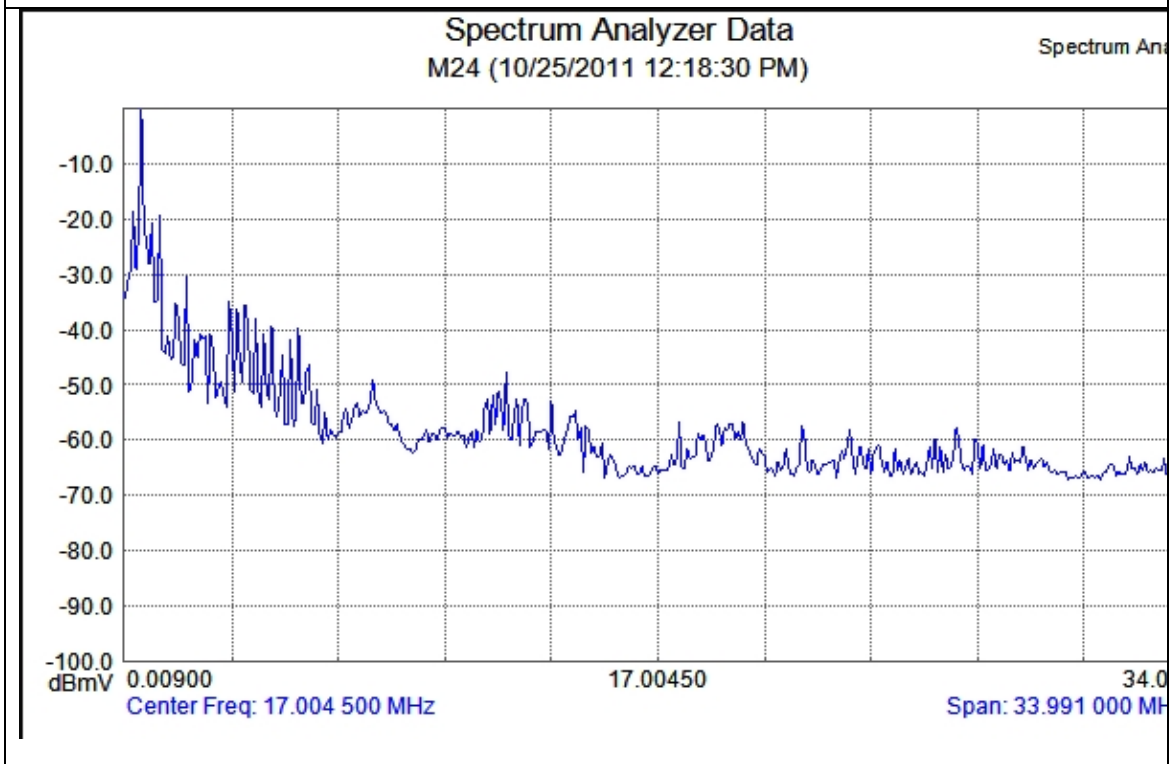
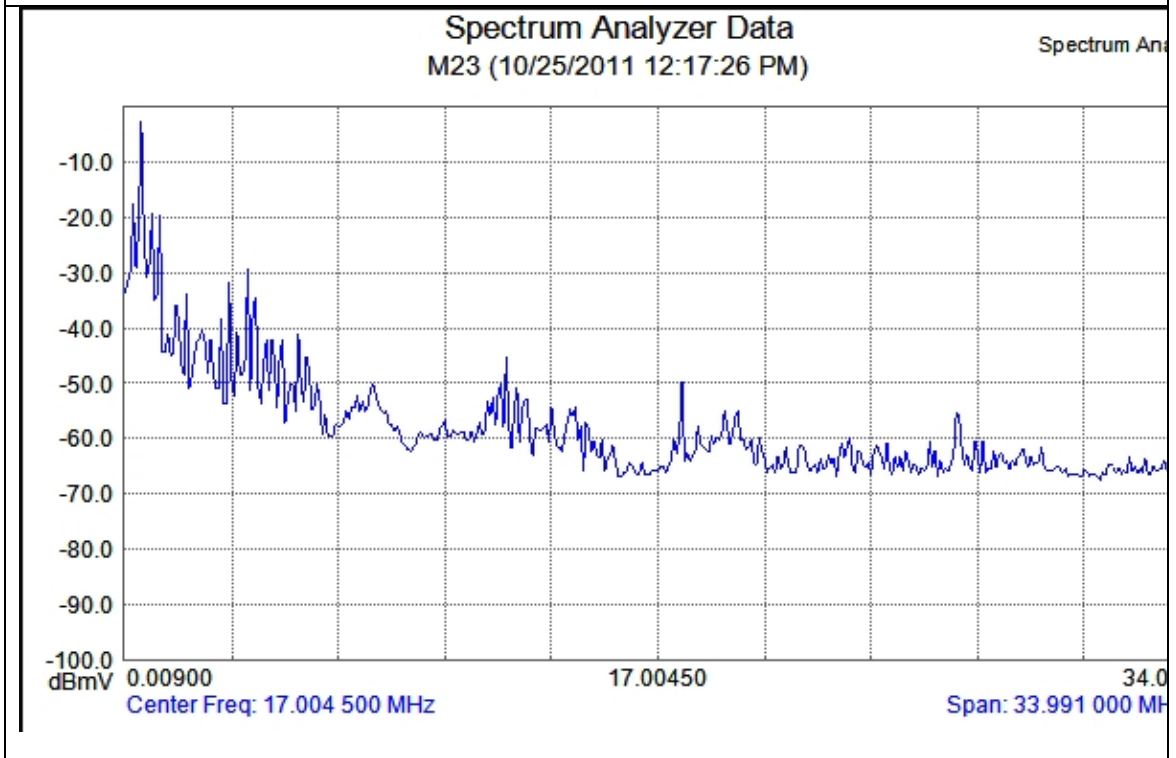


Spectrum Analyzer Data
M22 (10/25/2011 12:16:11 PM)

Spectrum Ana

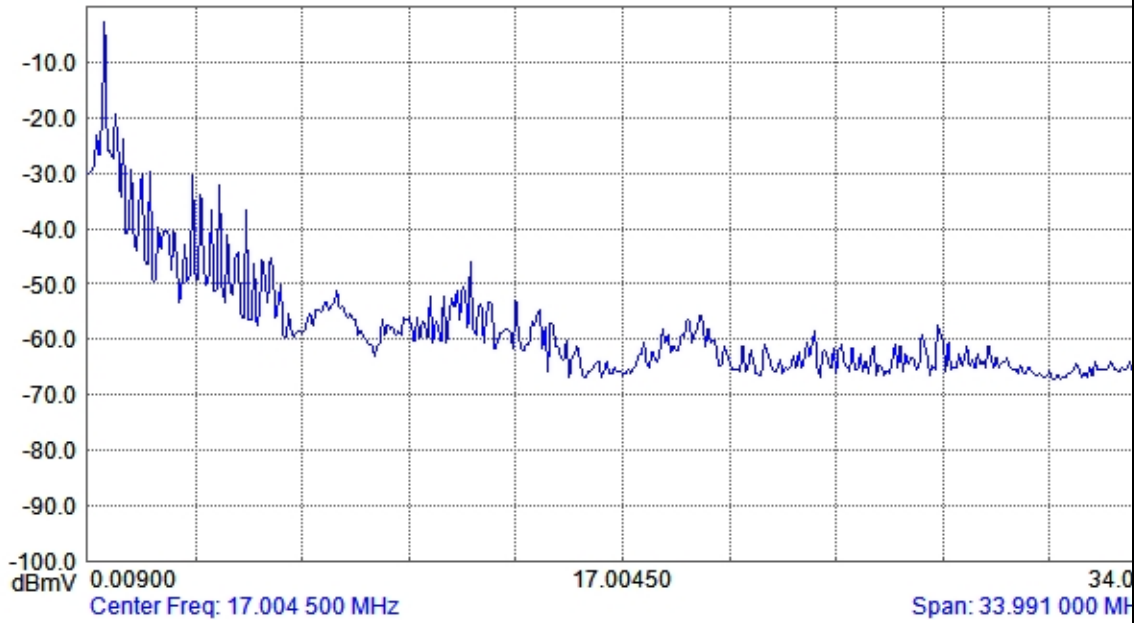


T fázisban mért zajspektrum sorozat



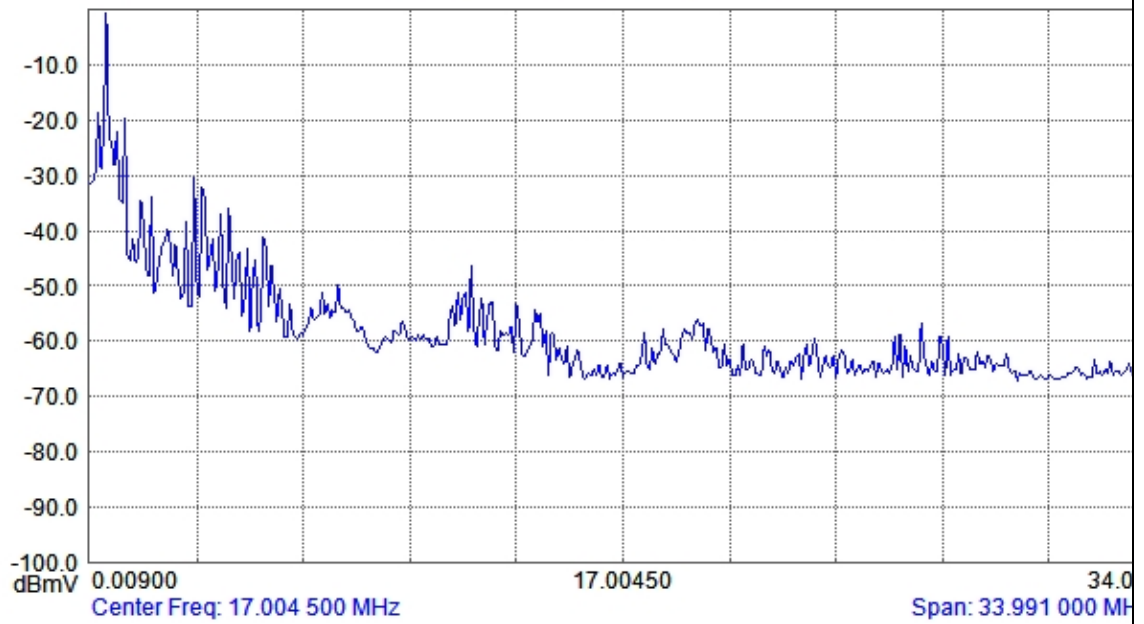
Spectrum Analyzer Data
M25 (10/25/2011 12:20:57 PM)

Spectrum An



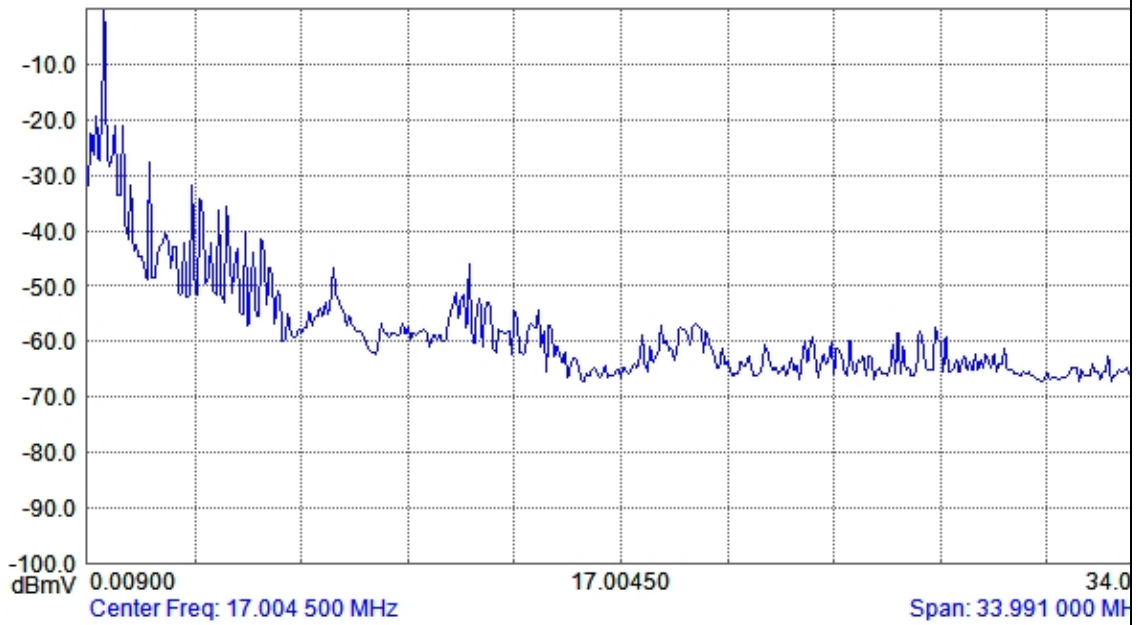
Spectrum Analyzer Data
M26 (10/25/2011 12:22:02 PM)

Spectrum An



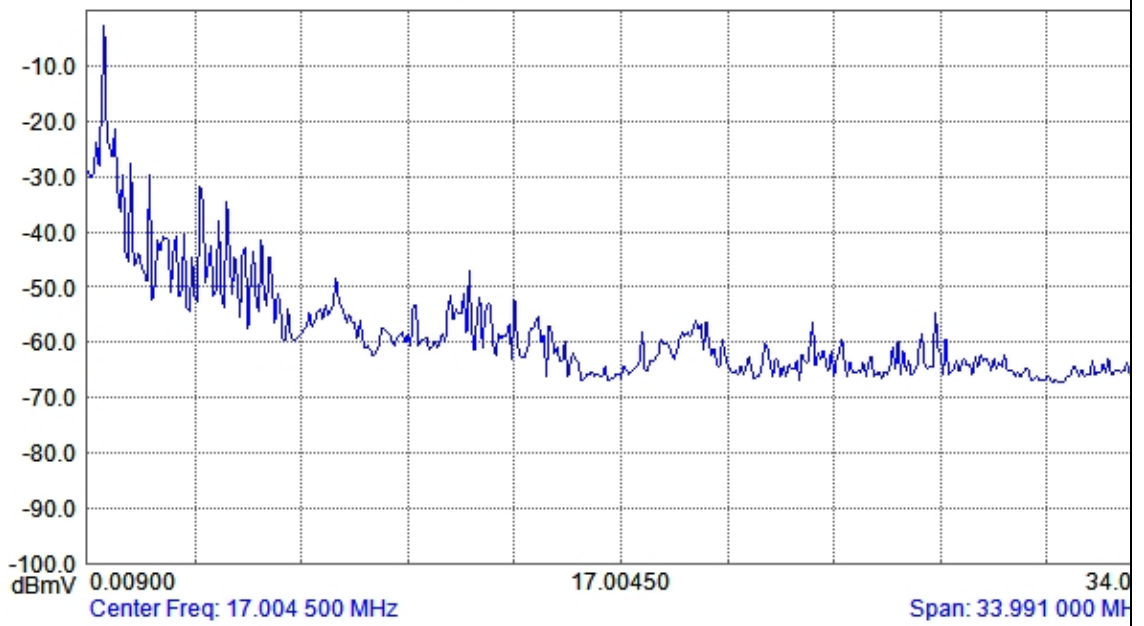
Spectrum Analyzer Data
M27 (10/25/2011 12:23:16 PM)

Spectrum Ana



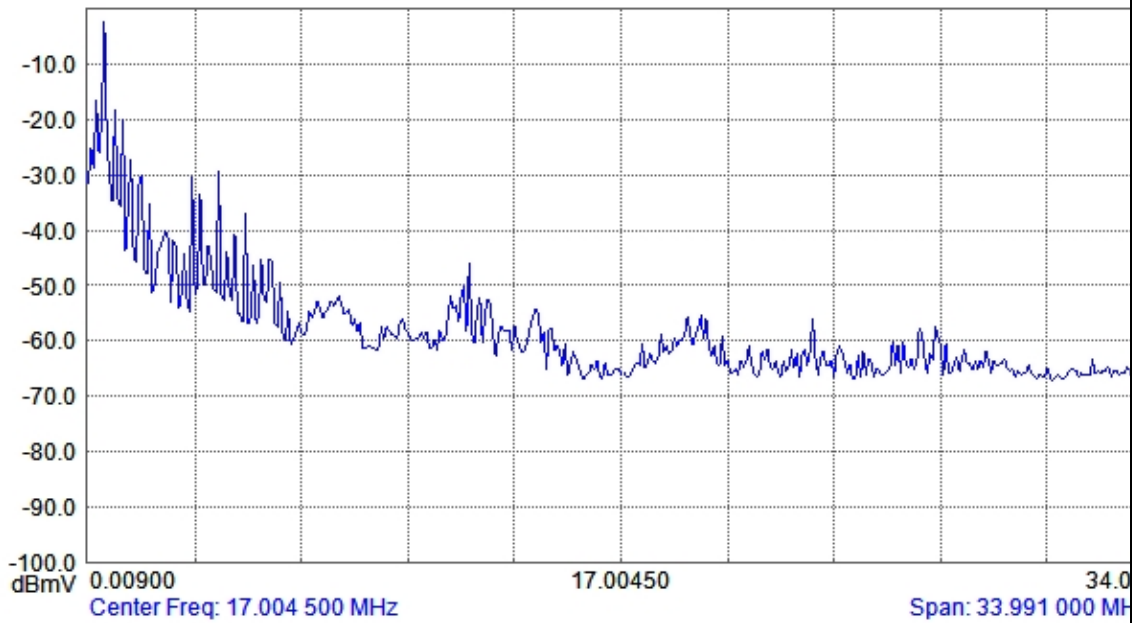
Spectrum Analyzer Data
M28 (10/25/2011 12:24:42 PM)

Spectrum Ana



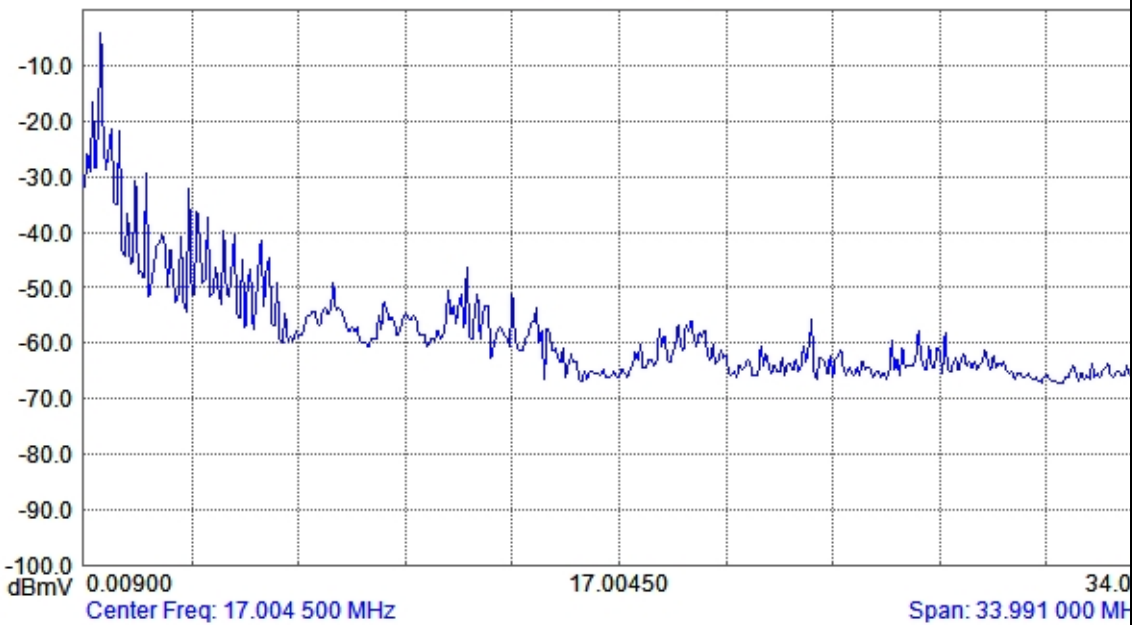
Spectrum Analyzer Data
M29 (10/25/2011 12:25:53 PM)

Spectrum Ana



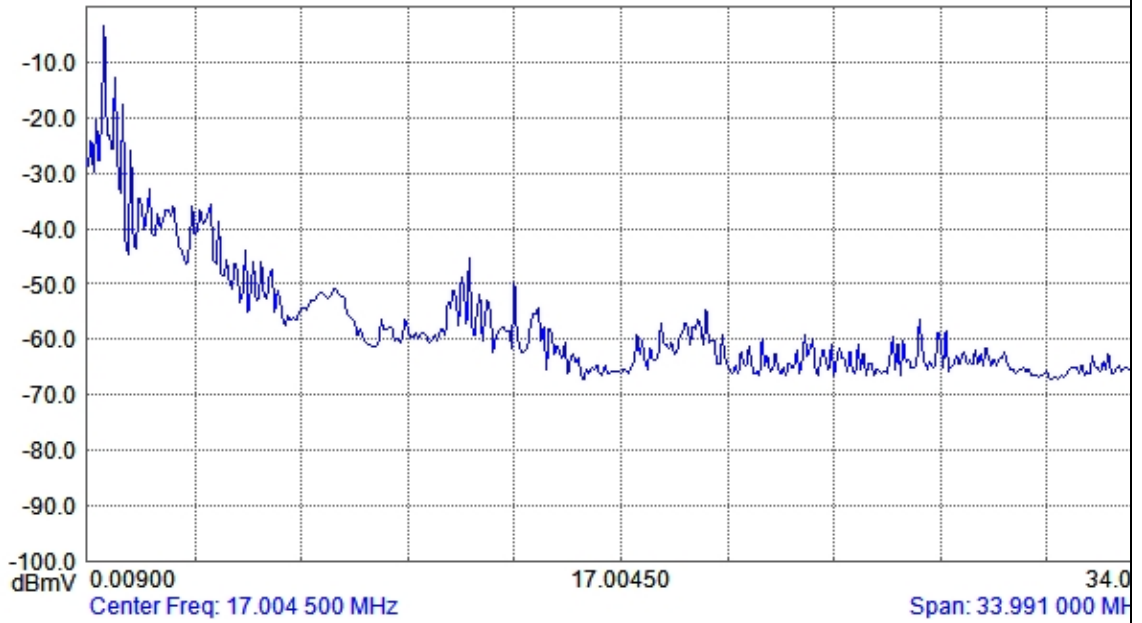
Spectrum Analyzer Data
M30 (10/25/2011 12:27:02 PM)

Spectrum Ana



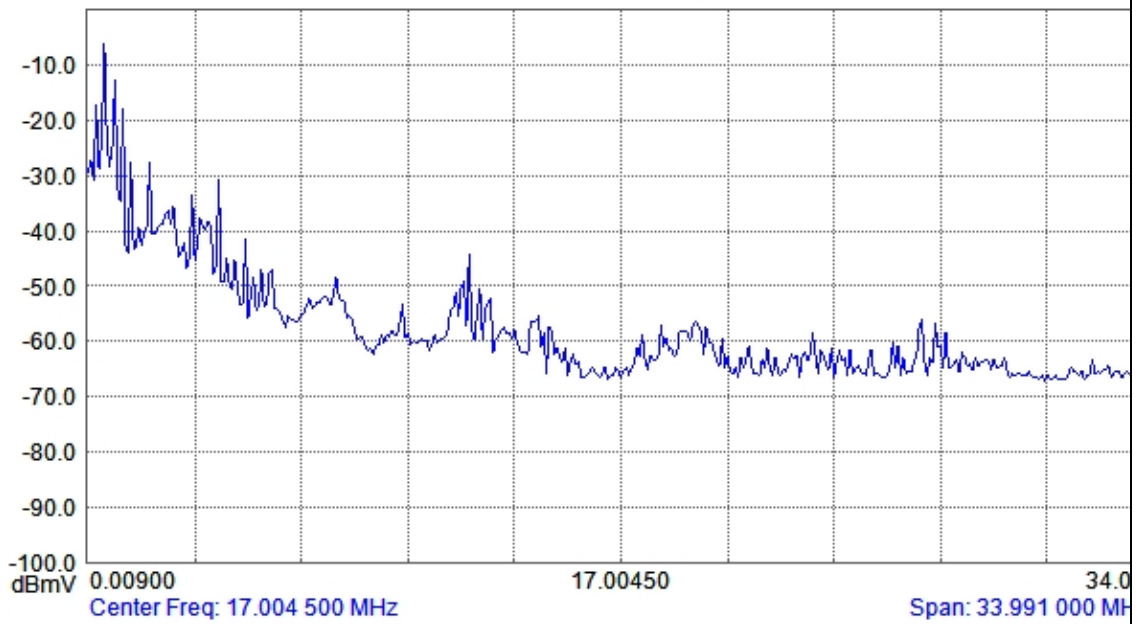
Spectrum Analyzer Data
M31 (10/25/2011 12:28:02 PM)

Spectrum Ana



Spectrum Analyzer Data
M32 (10/25/2011 12:29:03 PM)

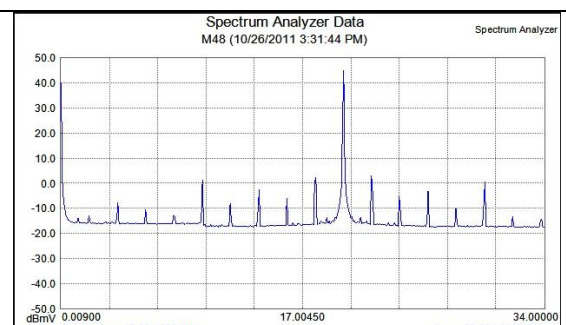
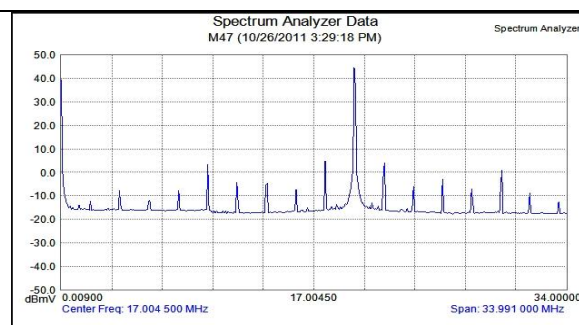
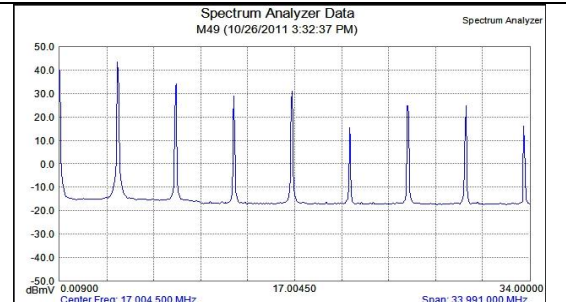
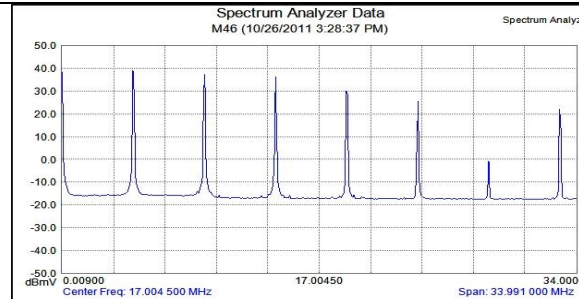
Spectrum Ana



A csatolóelem vizsgálata: igaz, hogy tényleg alig csillapít a BPL (Broadband Power Line) szempontból fontos frekvenciatartományban

Csatolóelem nélkül

Csatolóelemmel



7 Irodalomjegyzék

- [1] Mozsolics Alexandra: Villamos hálózatok jellemzőinek vizsgálata épületen belüli (in-home) PLC alkalmazás szempontjából; Diplomaterv, BME-VIK 2010
- [2] Molnár Péter András: Villamoshálózati távközlés szolgáltatói célú alkalmazásának vizsgálata; Diplomaterv, BME-VIK 2010
- [3] Hubing, T., Orlandi, A.: A Brief History of EMC Education
- [4] Dr. Szedenik Norbert: BME Elektromágneses kompatibilitás című tárgyhoz segédanyag <http://www.vet.bme.hu/okt/val/nt/emc/index.htm>; hozzáférve: 2011.10.05
- [5] Ferreira, H. C., Lampe, L., Newbury, J., Swart, T. G.: Power Line Communications, Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines, John Wiley and Sons, 2010
- [6] Jánossy Gábor: Nem ionizáló sugárzások; Sugárvédelmi Tanfolyam 2005, pdf segédanyag <http://nightowl.sote.hu/sugtanf/>; hozzáférve: 2011.10.19
- [7] Hrasnica, H., Haidine A., Lehnert R.: Powerline communications – Network Design, John Wiley and Sons, Ltd, 2004
- [8] Carcelle, X.: Power Line Communications in Practice, Artech House, 2006
- [9] Held, G.: Understanding Broadband over Power Lines, Auerbach Publications, 2006