

# Szakdolgozatok, diplomatervek összefoglalói

## 2023/2024 tanév, őszi félév

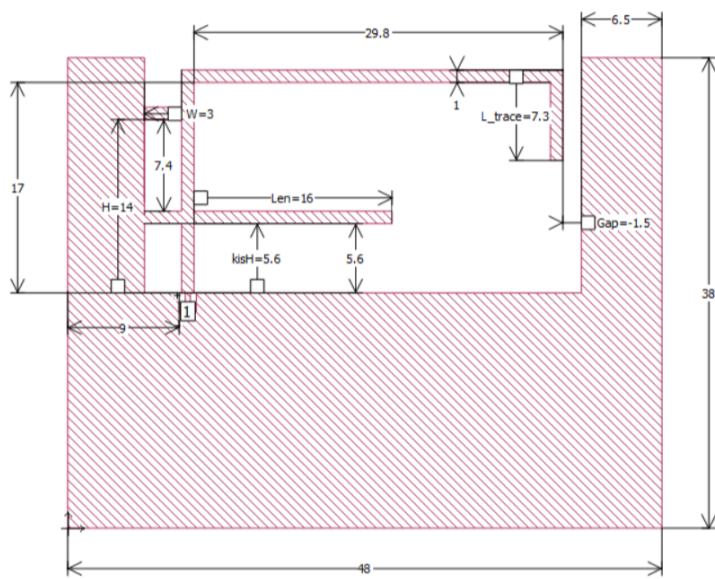
# Kisméretű, többsávú planár antennák tervezése UHF és 2.4GHz-es sávokra

BALÁZS LÁSZLÓ

Villamosmérnök BSc, Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások ágazat  
2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Zólomy Attila, címzetes egyetemi docens

## 1. Bevezetés

A planár antenna egy síkban elhelyezkedő antennát jelent, igen gyakran egy nyomtatott huzalozású lemez felszínén. Planár antenna sokféle lehet, léteznek például patch antennák, illetve különböző kivitelű huzalantennák. Egy IFA antenna lényegében nem más, mint egy meghajlított monopól antenna, kiegészítve egy hangoló hurokkal a föld felé. Az én feladatomban egy kétsávú IFA méretezése volt, 915MHz, illetve 2.45GHz sávokra. Ezt lényegében úgy kell elképzelni, mint két darab egysávú IFA egymásra téve, összefésülve.



1. ábra. Egy kétsávú IFA, Sonnet térszámító szoftverben

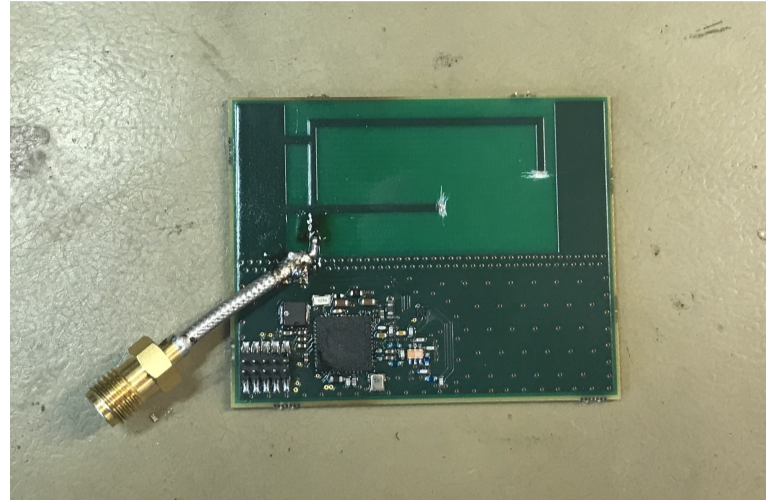
## 2. Alkalmazott módszerek

Az antenna tervezéséhez Sonnet EM-térszámító szoftvert alkalmaztam. A szimulációk során olyan antennát kellett terveznem, ami  $50\Omega$ -ra méretezett. Az antennaágak hosszai felelősek elsősorban a rezonanciafrekvenciáért, míg a hurok mérete az impedancia nagyságát befolyásolja dominánsan.

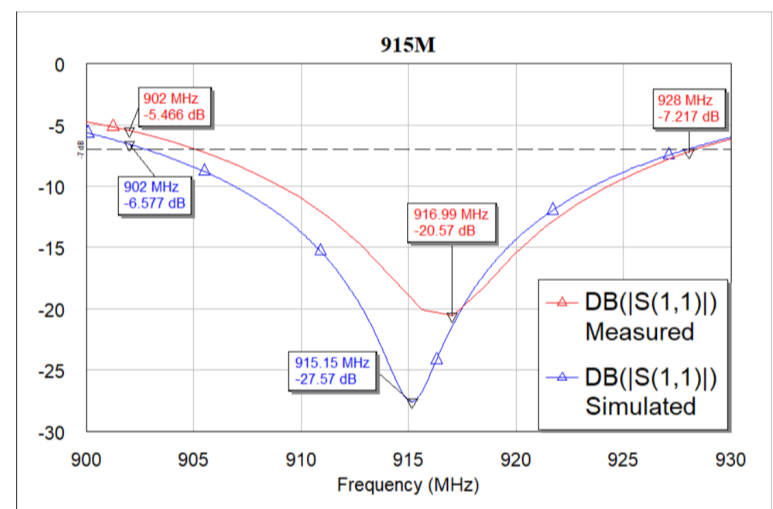
Konzulensem felvetette az ötletet, hogy ne csak maga az antenna kerüljön legyártásra, hanem egy komplett rádiómodul is helyet kapjon a Nyomtatott huzalozású lemezen. A kapcsolási rajz alapján a nyákterv Altium Designer szoftverben készült.

Végül a legyártott antennán, különféle méréseket végeztem. A reflexiótényező mérése VNA-val (Vector Network Analyzer)-rel történt. A sugárzott mérésekre és az iránykarakterisztika felvételre kétféle módszert is alkalmaztam. Először egy RFXpert közeltéri eszközzel, mely az antenna közelterét méri és az alapján számítja ki a távoldéri iránykarakterisztikát. Ezt követően pedig, az antennaszobás mérések következtek, ahol 3 merőleges síkmetszetben kerültek felvételre az iránykarakterisztikák.

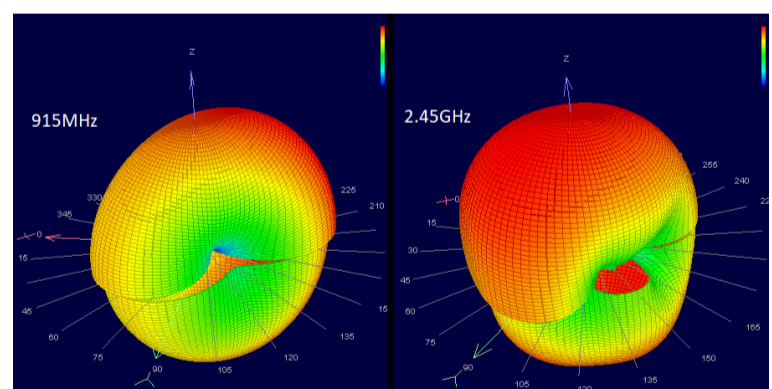
## 3. Eredmények



2. ábra. Az elkészült antenna, a rajta levő rádiómodullal



3. ábra. A mért és szimulált S11 paraméterek: UHF sáv



4. ábra. RFXpert eszközzel mért iránykarakterisztikák

## 4. Összefoglalás

Szakdolgozat munkám során megismerkedhettem az Invertált F antennák méretezésének szempontjaival, a Sonnet térszámító szoftver használatával, illetve még az RF PCB-tervezésébe is bepillantást nyerhettem. Továbbá az elkészült antennán valódi műszerekkel végezhettem méréseket.

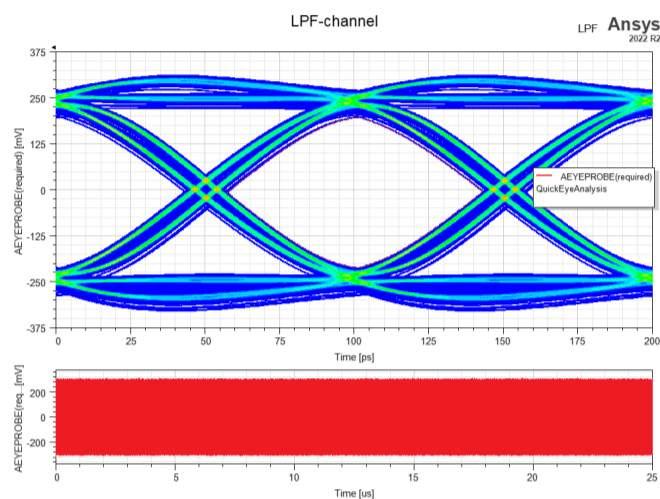
# Jelintegritás vizsgálat nagysebességű, digitális összeköttetésben

BARÁTH LÁSZLÓ

Villamosmérnök BSc, Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások ágazat  
2023/2024/I. félév Témavezető: Reichardt András, mesteroktató

## 1. Bevezetés

A nagysebességű digitális áramkörök új kihívásokat hoznak a nyomtatott huzalozású lemezek layout tervezésébe. A huzalozás kialakítása során fokozott figyelmet kell fordítani a nagysebességű vonalakra, a megfelelő layout kulcsfontosságú az átvitt jel és adat integritásának megőrzéséhez.

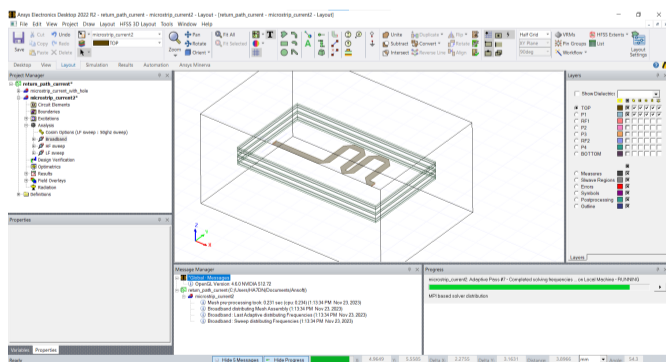


1. ábra. Aluláteresztő csatorna hatása szemábrán szemléltetve

Bár az átvitt információ digitális, az átvitel analóg módon történik, és nem hagyható figyelmen kívül az átviteli csatorna sem.

## 2. NYHL szimuláció

A frekvencia növelésével a huzalozás koncentrált paraméterű modellje már nem használható, szükségessé válik az egyes huzalozási elemek, majd az egész panel szimulációja térszámító programokkal. Munkámban egyszerű elrendezések vizsgálatára az Ansys Electronics Desktop programot használtam. (2. ábra)

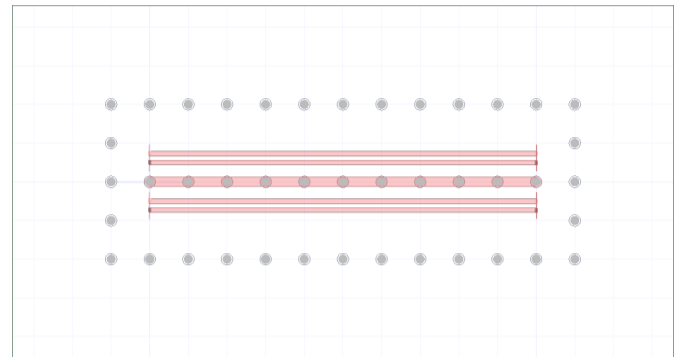


2. ábra. Az Ansys Electronics Desktop szimulációs program

## 3. Áthallások vizsgálata

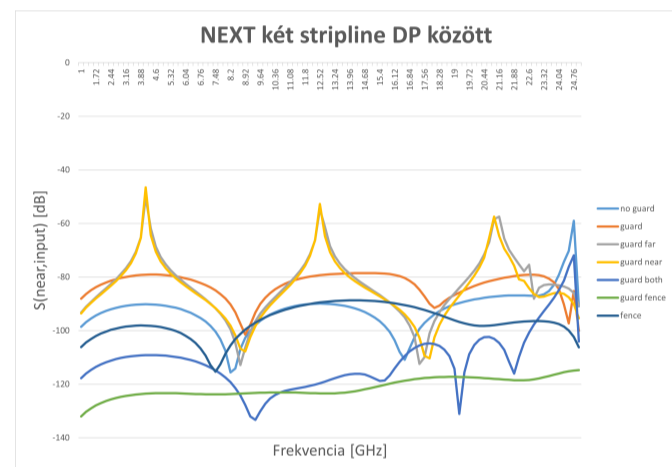
Szaktervezésemben körüljártam a fontosabb jelintegritási kérdéseket, de legalaposabban az áthallások viselkedését és

megelőzését vizsgáltam.



3. ábra. Szimulációs elrendezés áthallások vizsgálatára

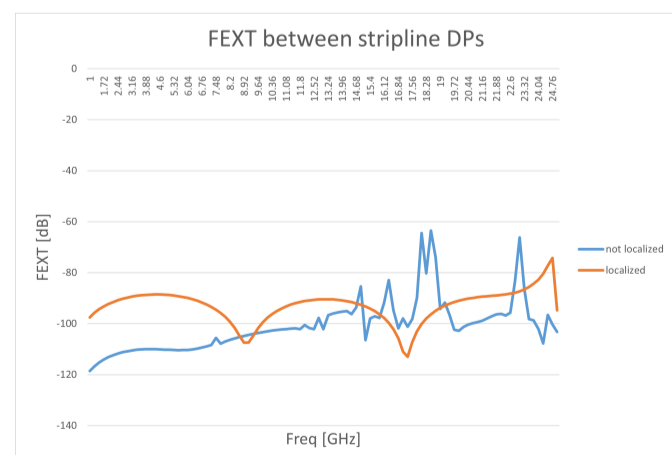
Több különböző layout, stackup és geometria mellett szimuláltam a jelvezetők közötti áthallást, megvizsgálva a csökkentés lehetséges módszereit.



4. ábra. Near-end crosstalk szimulációs eredményei különféle elrendezések esetén

## 4. Szimulációs kérdések

A szimulációk készítése során tapasztaltam, hogy azok viselkedése nagyban függ az EM tér lokalizáltságától - a szórt terek minimalizálása nem csak javítja a csatorna paramétereit, de a szimuláció pontosságát is növeli, gyorsabb konvergenciát és rövidebb futásidőket eredményez.



5. ábra. Ugyanazon geometria szimulációs eredményei lokalizált illetve szóródó terek esetében

# X-sávú teljesítményerősítő rendszer tervezése fáziskiegyenlítő szabályozással

BAZSÓ MÁRTON BOLDIZSÁR

Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspezializáció

2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Lénárt Ferenc, Baranyai Nándor

## 1. Bevezetés

Diplomamunkám tárgya egy X-sávban (8 és 12 GHz között) működő radar adóegységének tervezése. A radar hatótávolságát egyéb tényezők mellett a kibocsátott teljesítmény is befolyásolja, így ennek növelése fontos szempont lehet.

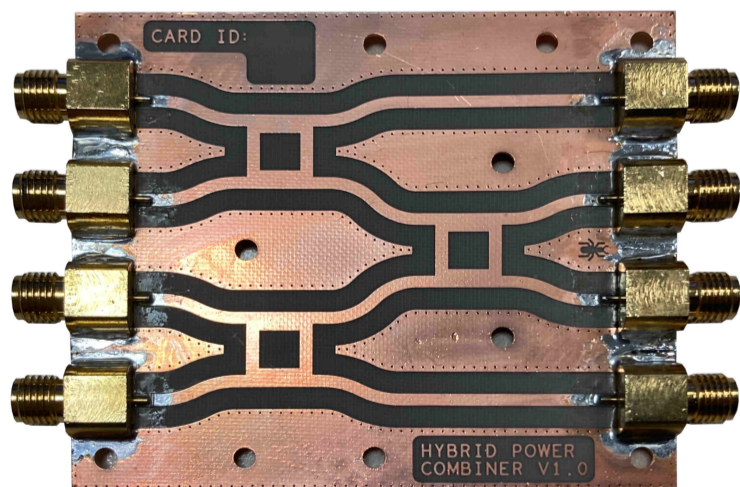
Nagyobb teljesítmény elérése érdekében négy darab, egyenként 4 W-os erősítő modul kimenete kerül összegzésre, így összesen 16 W-os teljesítményt elérve. Az összegzés feltétele, hogy az egyes erősítőkről érkező jelek azonos fázisban érkezzenek az összegzőhálózat csomópontjaiba, különben egymással destruktív interferenciát képeznek, mely a radar szempontjából veszteségnek számít.

A jelek összegzésére 90°-os hibridekből 4 bemenetű összegző hálózatot készítettem. Ennek előnye, hogy a hibridek ilyen elrendezésben egy összeg és egy különbség kimenettel is rendelkeznek, így a bemenetre adott jelek közötti eltérés hatása visszamérhető.

Az erősítőkre érkező jelek fázisának beállítására, ezzel a kimenőteljesítmény maximalizálására egy szabályzó hálózat készült, amely a négy erősítő modult külön-külön, egymáshoz képest optimális fázisban eltolt jellel látja el.

## 2. Hibrid összegző hálózat

Az összegző hálózat három darab 90°-os, vagy más néven kvadratúra hibridet tartalmaz. Teljesítményosztóként ennek jellegzetessége, hogy az egyik kapujára adott jel a két kimenetére fele-fele teljesítménnyel jut, de ezen kimenetek között 90°-os fázistolás figyelhető meg. Negyedik kapuja ekkor izolált, azaz ide nem jut teljesítmény.

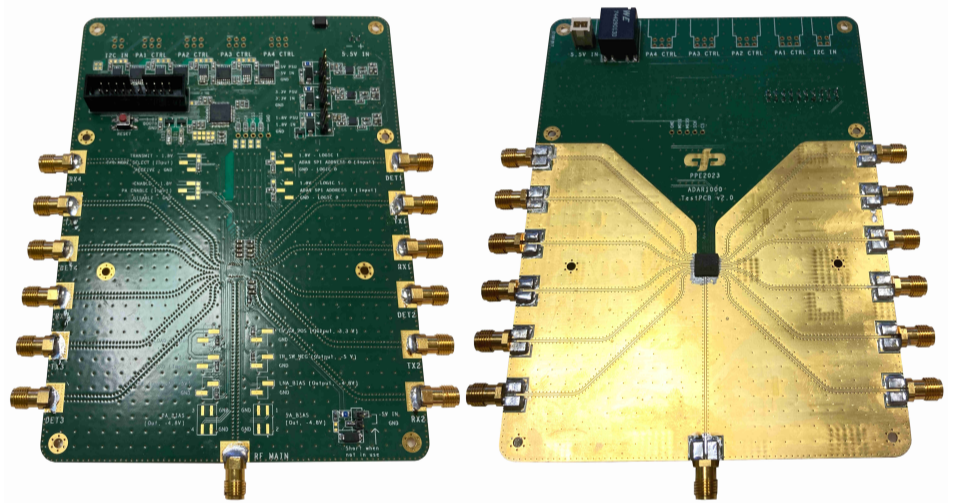


1. ábra. Az elkészült összegző hálózat

Egyszerűen készíthető összegző hálózat a hibrid segítségével. Ennek feltétele, hogy az egyik bemenetre a beadott jel 90°-os fázistolással érkezzen. Ennek a kiegészítő fázistolásnak a hatására a maradék két kapu egyikén az összeg, míg a másikon a különbségi jel áll elő. Ezek közül az összeg kimenetet használom fel a hibridek esetében a nagy teljesítményű jel előállítására, míg a különbségi kimenet arra alkalmas, hogy a bemenő jelek eltérését vizsgálja és optimalizálja a rendszer.

## 3. Vezérlő és fázistoló hálózat

A vezérlő és fázistoló hálózat fő alkatrészei: egy ADAR1000 analóg nyalábformáló IC és egy STM32 mikrokontroller. Az ADAR a bemenő X-sávú jelet négy különböző csatornára osztja szét, melyeken egyenként be tudja állítani az amplitúdót és a fázistolást. Ezek a jelek jutnak egy-egy erősítő modulra. Az IC emellett rendelkezik detektor bemenetekkel, melyekkel visszamérhető a hibridek különbségi kimenetéről érkező jelek.



2. ábra. Az elkészült fázistoló és vezérlő hálózat

A mikrokontrollerre írt szoftver feladata a nyalábformáló IC regisztereinek írása és olvasása, valamint kommunikáció a radar többi egységével és az erősítő modulokkal. Az elkészült kód képes vezérelni a nyalábformálót, illetve visszaolvasni a detektorok értékeit. A szabályzó egy végtelen ciklusban fut, melyben egyenként visszaméri a detektorokon mért jeleket és ez alapján minimumkereséssel beállítja az egyes csatornák fázistolását.

## 4. Összefoglalás

Az összegző hálózat szimulációval kapott és mért szórési paraméterei nagy hasonlóságot mutatnak. A vezérlő áramkör tápegységei és digitális részei megfelelően működnek. A beültetés során megsérült a nyalábformáló IC, melyet logisztikai és pénzügyi okokból a diplomamunka leadásáig nem tudtam cserélni, így a teljes rendszer működését egyben nem tudtam vizsgálni. Egy különálló áramkörön található ADAR1000 vezérlését ugyanakkor megfelelően végezte a mikrovezérlő, így egy új IC beültetése esetén a teljes rendszer működőképessége vizsgálható.

# Kapcsolóüzemű tápegység vezérlőkör fejlesztése

BÉKÉSI ÁBEL

Villamosmérnök BSc, Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások

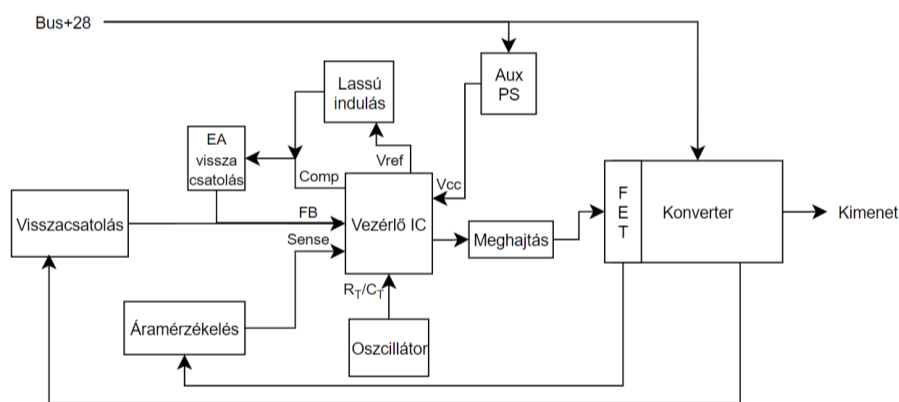
2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Szabó József, tudományos munkatárs

## 1. Bevezetés

Szaktervezésemben egy műholdfedélzeti kísérlet tápegység vezérlőkörének a fejlesztésével és optimalizálásával foglalkoztam. A vezérlőkör egy több kimenetű, Flyback topológiájú konvertert hajt meg, amely jó hatásfokkal és megfelelő stabilitással képes a kísérlet számára szükséges feszültségeket előállítani 25 V-os buszfeszültségről.

A félév első felében feltérképeztem az ESA által támogatott, árammódusú vezérlést megvalósító tápegységvezérlő integrált áramköröket. Ezután összehasonlítottam a támogatott listában felsorolt típusok paramétereit, illetve más, szintén az űrparban vagy autóiparban alkalmazott IC-eket is tanulmányoztam. Az ismertetett típusok közül az egyik kommersz verziójával felépítettem egy vezérlőkört, majd minősítő méréseket végeztem egy, a laborban rendelkezésre álló konverter végfokkal. A cél a konverter hatásfokának vizsgálata, a vezérlőkör fogyasztásának mérése a kimeneti terhelés függvényében, továbbá tranziens jelenségek vizsgálata.

A méréseket elvégeztem egy korábbi diszkrét vezérlőkörrel megvalósított tápegységgel is, megteremtve annak lehetőségét, hogy a két különböző módon megvalósított vezérlőkört a fenti szempontok figyelembevételével összehasonlítsuk, és javaslatokat tegyünk a továbbfejlesztési lehetőségekre.



1. ábra. Az IC-vel megvalósított fix frekvenciás vezérlőkör blokkvázlata

## 2. Statikus mérések

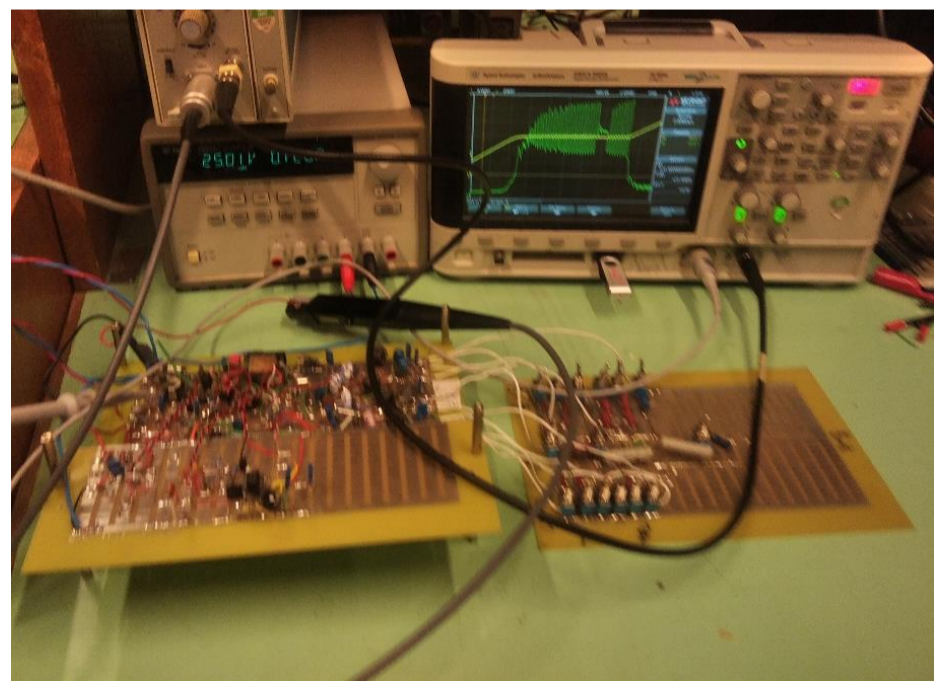
Statikus mérések során a tápegység kimeneti feszültség szintjeinek stabilitását vizsgáltuk különböző terhelések esetén, illetve a terhelés változásának függvényében megmértük a tápegység konverziós hatásfokát is. A mérés során a labortápegységen 25V-ot állítottunk be és mértük a főágban folyó áramerősséget egy sorosan bekötött multiméterrel. A szekunder oldalon mértük a kimeneti feszültség szinteket, illetve a kimeneti áramerősségeket is a terhelésekkel sorba kötött söntellenállásokon eső feszültségek mérésével. Az áramerősséget 4 és fél, a feszültségeket 6 és fél digitális multiméterek használatával mértük.

Vezérlőkör	Terhelés	I <sub>be</sub> [mA]	V <sub>be</sub> [V]	P <sub>be</sub> [mW]	P <sub>ki</sub> [mW]	Hatásfok [%]
CS3843-as IC-vel	Minden max.	183,43	25,01	4587,58	2735,28	59,62
	Minden nom.	120,63	25,01	3016,96	1551,47	51,42
	Minden min.	51,37	25,01	1284,76	251,48	19,57
Diszkrét alkatrészekből	Minden max.	139	25,01	3476,39	2521,37	72,53
	Minden nom.	87	25,01	2175,87	1453,12	66,78
	Minden min.	30	25,01	750,3	239,19	31,88

1. táblázat: A két vezérlőkör bemeneti és kimeneti teljesítményei, hatásfokai

## 3. Dinamikus mérések

A dinamikus mérések során részben az áramkör feléléését vizsgáltuk, a bemenet, a kimenetek, illetve a vezérlőkör egyes jeleinek bekapcsolási tranzienseinek mérésével. Valamint a dinamikus terheléssel végzett mérések során arra voltunk kíváncsiak, hogy a legnagyobb áramerősséggel rendelkező kimenetet a nominális és a maximális terhelés között kapcsolgatva milyen lesz az egyes kimenetek feszültségeinek hullámossága.



2. ábra. Bekapcsolási tranziens mérési elrendezése

## 4. Összefoglalás

Mérések kiértékelése alapján beláttam, hogy a fix frekvenciás CS3843-as vezérlőkör saját fogyasztása magasabb a diszkrét társánál, ezáltal a hatásfokok is rosszabbak, cserébe a helykihasználása az új vezérlőkörnek jobb volt.

# Mikrohullámú PLL -alapú jelforrás fejlesztés

BLAZSEK ATTILA

Villamosmérnök BSc, Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások ágazat

2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Seller Rudolf, tanszékvezető-helyettes, adjunktus

## 1. Bevezetés

A szakdolgozatot a BHE Bonn Hungary Electronics Ltd. cégnél végeztem. A feladatom egy 4,27 GHz-es PLL-alapú jelforrás tervezése volt. A szintézer használható a cég különböző frekvencia konvertereiben lokál oszcillátorként, valamint önálló termékként, mely könnyen átalakítható más frekvenciákra.

A feladat során összehasonlítom a kiválasztott PLL IC-ben található frekvencia osztó két működési módját, az Integer-N és a Frakciós-N módokat, a fáziszaj szempontjából. Ehhez a termékből két prototípust készítettem, melyek a 1. ábrán láthatóak.



1. ábra. Az elkészült szintézerek

## 2. Tervezés

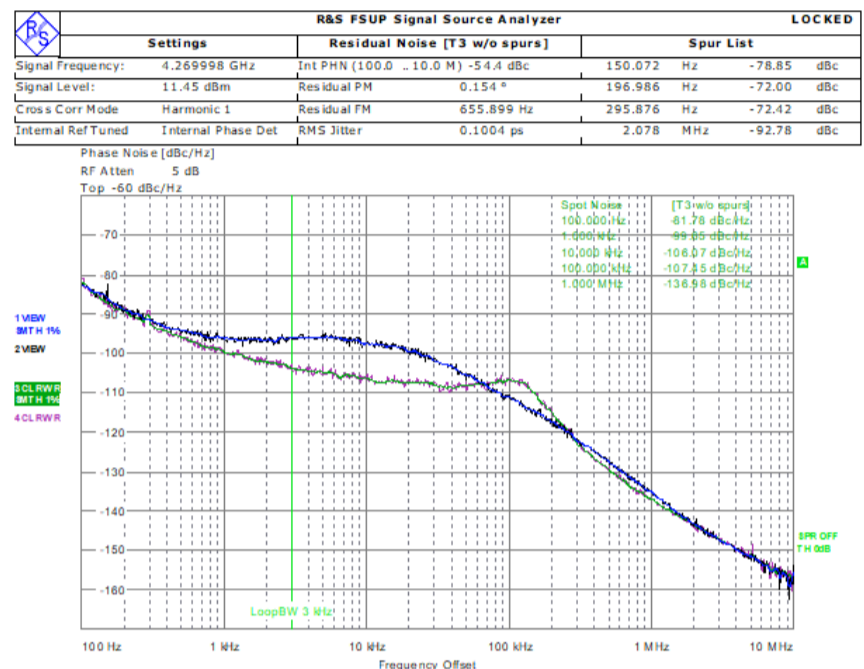
A szintézer megvalósításához két egymást követő fáziszárt hurkot terveztem. A frekvencia stabilitás miatt egy belső 10 MHz-es TCXO ad az első PLL-nek referencia jelet. Az első hurokban 100 MHz-et állítunk elő egy jó fáziszajú VCXO-val a második PLL referenciájához. A második hurokban áll elő a kimeneti 4270 MHz frekvenciájú jel.

A két frekvencia osztási módszer miatt létrejövő fáziszajt szimulátor programban vizsgáltam. A szimulált adatok alapján terveztem meg a gyártáshoz szükséges dokumentumokat amit a cégnél legyártottunk.

## 3. Eredmények

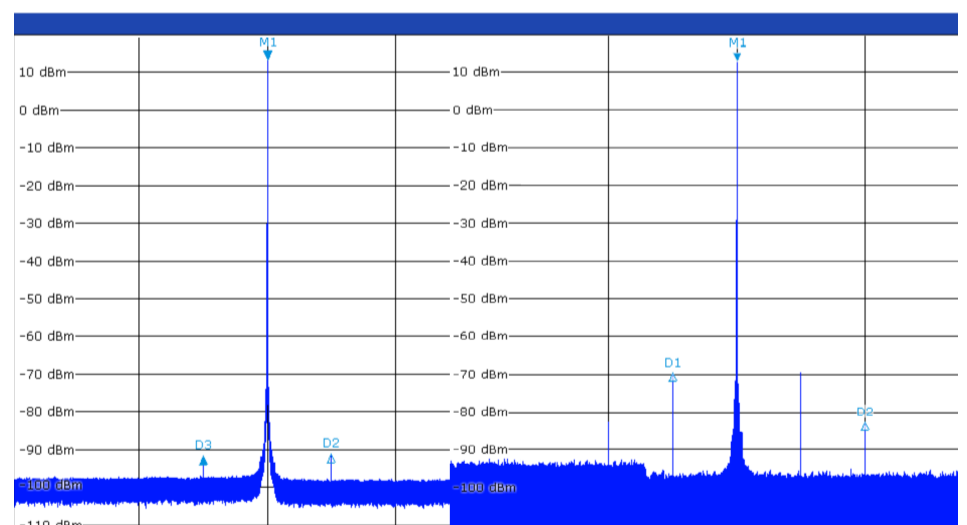
A két prototípusból az egyiket Integer-N osztóval, a másikat Frakciós-N osztóval készítettük. A két módszer a kimeneti jel fáziszajában és a zavarjelekben különbözik. A szimulált értékekhez hasonlóan az Integer-N módszer eredményezi

rosszabb fáziszajt a nagyobb flikerzaj miatt. A Frakciós-N módszerrel nagyobbra nyithatjuk a hurkot ezzel jobb fáziszajt létrehozva.



2. ábra. A két módszer kimeneti fáziszaj görbéinek összehasonlítása. (Kék-Integer, Zöld-Frakciós)

A kimeneti jel spektrumképében a TCXO által generált 10MHz-es zavarjel látható. A Frakciós-N módszer működése miatt további spuriosust hoz létre 5MHz-re a jeltől, amit a szimuláció során észleltünk és a hurokszűrő állításával eltűntünk nyomni.



3. ábra. két módszer kimenet spektrumának összehasonlítása. (Jobb oldal - Integer; Bal oldal - Frakciós)

## 4. Összefoglalás

A mérések alapján a Frakciós-N módú szintézer teljesíti a jelminőségre vonatkozó követelményeket. A keletkező spuriosusok szintjeit könnyen elfogadható szintűre lehetett hozni.

A dolgozat során megismerkedhettem a nagyfrekvenciás áramkörök tervezési módszereivel, és mérésével.

# Mikrohullámú eszközök energiafogyasztásának optimalizálása nagyvállalati környezetben

DELI TAMÁS

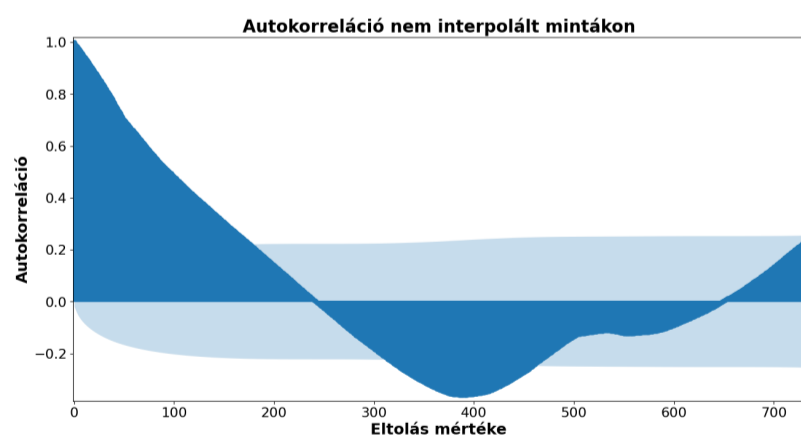
Villamosmérnök BSc, Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások ágazat  
2023/2024/I. félév Témavezető: Makara Árpád László, doktorandusz

## 1. Bevezetés

Az energiahordozók árának emelkedése következtében szükségessé vált a mikrohullámú telekommunikációs eszközök használati költségének minimalizálása a fejlesztési folyamat során. A laboratórium energiafelhasználásának csökkentése érdekében a nem használt eszközöket le kell kapcsolni és a használatba vettek be kell kapcsolni, azonban ez manuálisan időigényes és körülményes, ezért nem valósul meg. Az energetikai optimalizációhoz egy segédeszközre van szükség mely az utóbbi műveleteket automatikusan elvégzi. Ezen felül a lehetőséget kihasználva, a fejlesztők munkáját is érdemes segíteni a mikrohullámú termékek elérésében és monitorozásában. A problémára elsőnek a már létező céges fejlesztési segédeszközökből próbáltam kiindulni, majd saját megoldással álltam elő, mely egy elosztott hálózati alkalmazás Python nyelven.

## 2. Alkalmazott módszerek

A fejlesztett segédeszköz, az eddigi megoldás és az alaphelyzet mellett felvett energia mennyiséget mérni kell és ehhez egy mérési elvet kell kidolgozni. A céges laboratóriumban lévő mikrohullámú termékek távolról irányítható energiaellátásának elemzését SNMP lekérésekkel kezdtem meg, majd a lekérési időt és a méréstechnikai pontosságot vizsgáltam. A mintavételezési idővel kapcsolatban autokorrelációs vizsgálatot végeztem, melynek az eredménye a 1. ábrán látható.



1. ábra. Autokorrelációs függvény egy változó teljesítmény intervallumra

Az ábra azt állítja, hogy csökkenthető a mintavételi idő, azonban mivel a mérés során nem volt szűk keresztmetszet, ezért a legjobb felbontású mintavételi idővel vettem mintákat és ezen eredményt a későbbi adatbázisba való mentésnél használtam fel. A teljesítmény adatpontokat numerikusan integráltam ki Riemann alsó és felső becsléssel.

## 3. Eredmények

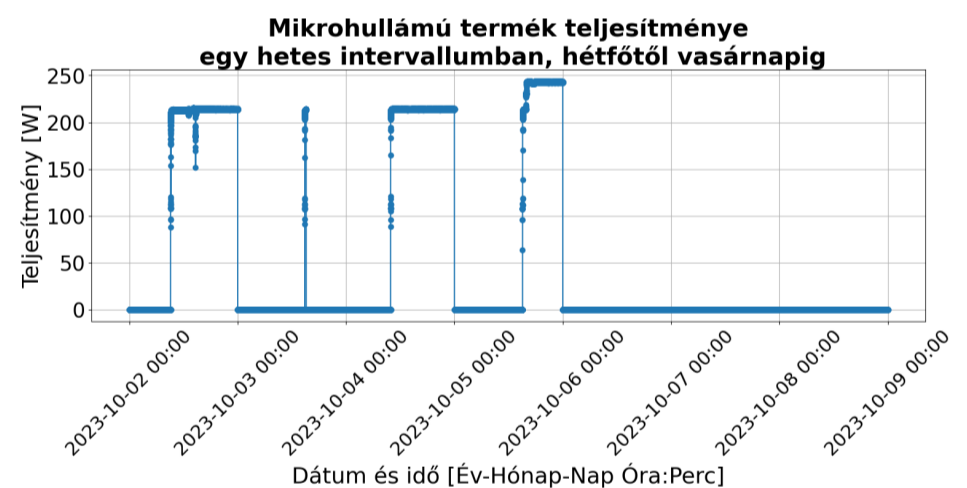
A három esetben mért eredményeket a 1. táblázat tartalmazza.

A mért energiafelhasználás			
	Alaphelyzet	Eddigi megoldás	Fejlesztett eszköz
<b>Felső becslés [kWh]</b>	490,93	447,69	290,39
<b>Alsó becslés [kWh]</b>	489,11	445,77	287,81

1. táblázat. Mérési eredmények

A mérés konklúziója, hogy az eddigi megoldás esetén 8,81-8,86%-os energiacsökkenés keletkezett, mely nem szignifikáns. A fejlesztett eszköz 40,85-41,16%-os energiacsökkenést keltett az egy hetes intervallum alatt, mely jó eredménynek tekinthető és beváltotta a várakozásokat.

A fejlesztett eszköz mellett felvett teljesítmény görbét a 2. ábra mutatja.



2. ábra. Egy mikrohullámú termék által felvett teljesítmény görbe egy hetes intervallumban

Megfigyelhető, hogy az idő szignifikáns részében 0 W teljesítményt vesz fel a termék az automatikus kapcsolás miatt, szemben az alaphelyzetben mért folyamatos teljesítmény felvétellel.

## 4. Összefoglalás

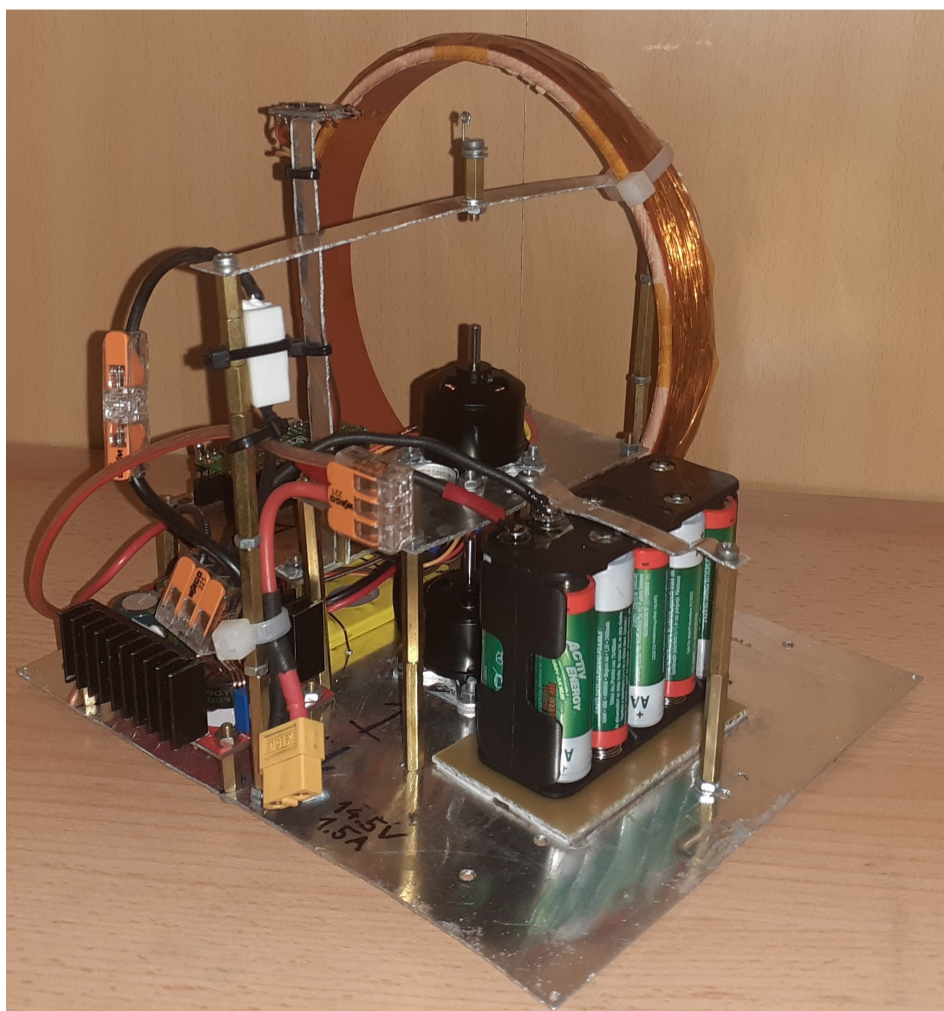
A mérés alátámasztja az elvárásokat és azt mutatja, hogy érdemesebb a termékek eseményvezérelt be- és kikapcsolásával élni, mint időzített használni. Az eredmények pozitívan hatottak a webes továbbfejlesztési lehetőség megvalósulására, mely még folyamatban van.

## 1. Bevezetés

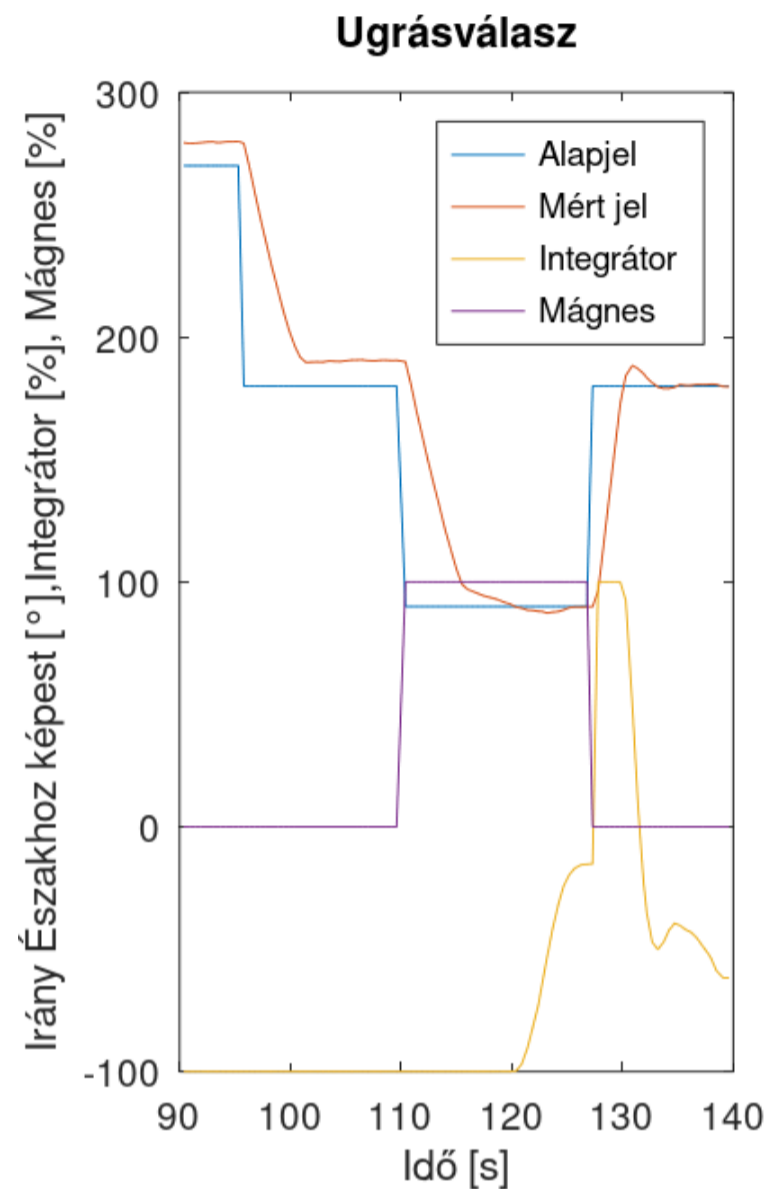
A feladatom egy olyan eszköz tervezése és építése volt, ami az Űrmérnök MSC képzés Űrtechnológia Laboratórium tárgyának keretein belül hallgatói demonstrációs eszközként tud üzemelni. A giroszkóp a perdületmegmaradás törvénye miatt fordulatszámának változtatásával befolyásolni tudja a műhold orientációját, így autonóm módon lehet pozíciót változtatni. A giroszkópos stabilizáló rendszer akkor működik a legjobban, ha mellette van egy mágneses stabilizáló rendszer is.

## 2. Eredmények

Sikeresen megépítettem a hallgatói demonstrációs eszközt, ami az 1 képen látszik, a félév során több hallgatói laboratóriumi mérésen bizonyította működőképességét. A giroszkópos és mágneses stabilizáló rendszer együttes működését is vizsgáltam, az eredmény a 2 ábrán látható: Ha a perdületmegmaradás nem teljesült, mert az eszközt külső erőhatás érte, akkor a giroszkópos rendszer nem tudja tökéletesen követni az alapjelet, de a mágneses stabilizáló rendszer helyreállítja ezt az állapotot és utána már tökéletesen követi az alapjelet a mért jel.

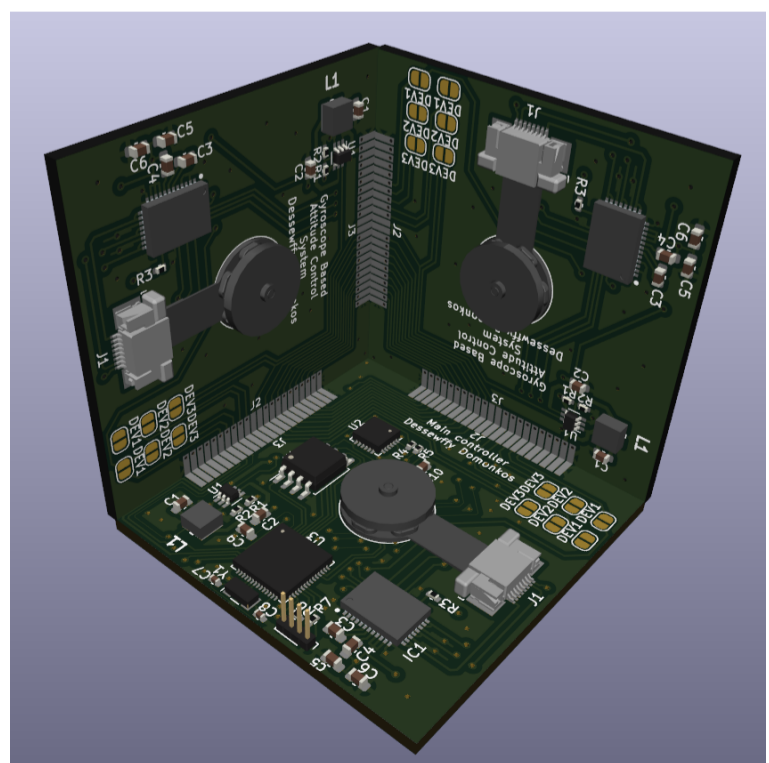


1. ábra. Az elkészült demonstrációs eszköz



2. ábra. Stabilizáló rendszer érési eredmény

A szakdolgozatom második felében megterveztem egy 50x50x50 mm befoglaló méretű műholdfedélzeti 3 tengelyes stabilizáló rendszer áramköri tervét és 3D modelljét, utóbbi a 3 ábrán látható.



3. ábra. Műholdfedélzeti stabilizáló rendszer



# Térfogati fejtekercs tervezése preklinikai MRI-hez

HAJAS MÁRK

Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspecializáció

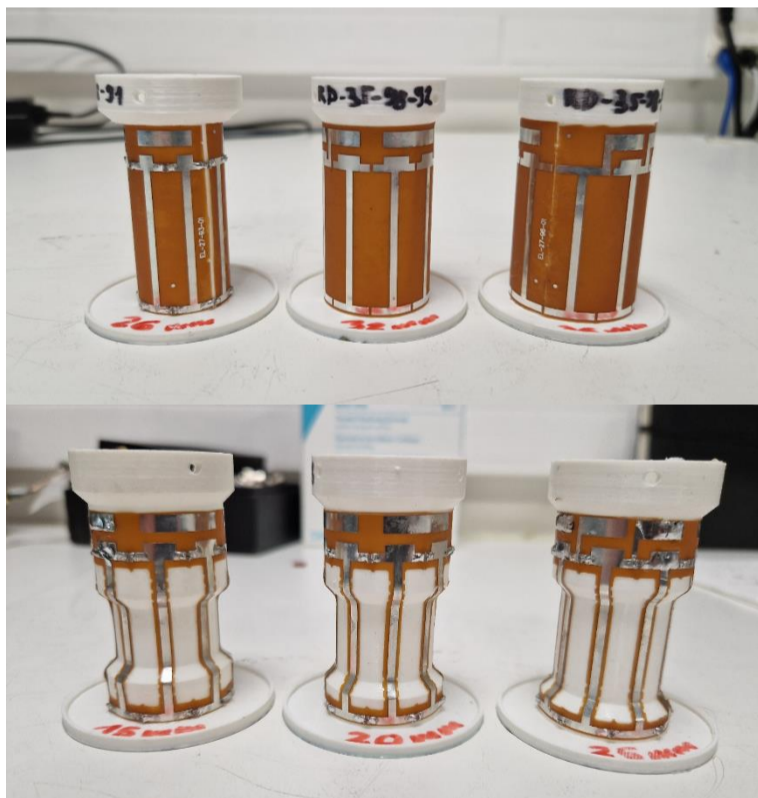
2023/2024/I. félév

Témavezető: Szalay Zoltán Attila, tanársegéd

## 1. Bevezetés

Az MRI berendezések napjaink egyik legmodernebb képalkotó berendezései, ami a mintában jelen lévő MR aktív atommagok (pl.:  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , ...stb.) mágneszettségén alapul. MRI berendezések egyik kulcs komponense a rádiófrekvenciás térfogati tekercsek, amik a minta mágneses gerjesztésére, valamint az ennek hatására kialakult válaszjel vételére szolgálnak. Preklinikai (azaz kisállat) MRI alkalmazásokban széleskörűen elterjedt az úgynevezett birdcage topológiájú térfogati tekercs, aminek nagy előnye, hogy könnyedén lehet vele nagy homogenitású, transzverzális mágneses teret létrehozni.

Dolgozatomban az MRI fizika alapjaival, birdcage tekercsek elméleti tanulmányozásával és végül több különböző geometriájú, kisállat MRI-hez használható prototípus agyvizsgáló térfogati tekercsek tervezéseivel, építéseivel és méréseivel foglalkozom. Munkám célja, hogy különböző geometriai kialakításokkal maximalizálni tudjam a tekercs érzékenységét a vizsgálandó minta körül.



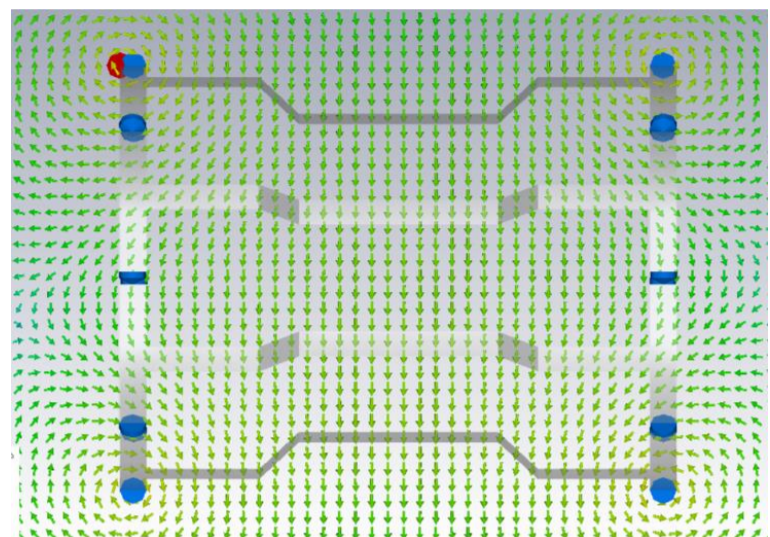
1. ábra. Az elkészült térfogati birdcage tekercsek

## 2. Alkalmazott módszerek

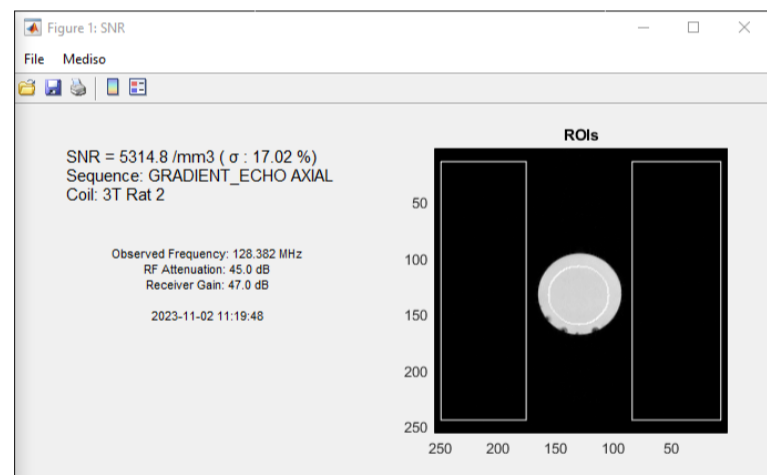
Tervezés során 3D térszimulációs szoftver segítségével vizsgáltam a különböző tekercsek mágneses terének homogenitását, ezzel együtt a látóterüket, illetve becsültem az érzékenységüket. Ezeken felül vizsgáltam, hogy a különböző geometria elrendezések, milyen kompromisszumot vonnak magukkal a tekercsek felhasználhatósága szempontjából.

## 3. Eredmények

Munkám végeredménye 6 db képalkotásra alkalmas birdcage tekercs, aminek mérési eredményei (SNR, látótér) jól korrelálnak a szimulációs eredményekkel. Mérések során sikerült kellő részletességgel körbejárni a tekercsek képességeit (mind elérhető SNR és látótér szempontjából) különböző MRI szekvenciák és terhelések alkalmazásával és sikerült egy optimális agyvizsgáló tekercs kialakítást meghatározni.



2. ábra: Tekercs mágneses tere



3. ábra. Tekercssel készített kép jel-zaj viszonya

## 4. Összefoglalás

Munkám során jobban el tudtam mélyülni az MRI képalkotás fizikájában, működésében és különböző folyamataiban. Tervezés során jobban megismerkedtem a térszimulációs szoftver különböző funkcióival és praktikáival, aminek eredménye, hogy egy rendkívül pontos modellt tudtam megalkotni a tekercsek jellemzőinek a vizsgálatára. Mérések során megismerkedtem az MRI berendezések különböző szekvenciáinak működésével és azoknak hatásmechanizmusukkal és a tekercsek teljesítményeire gyakorolt hatásával.

# Vezeték nélküli eszközök numerikus modelljének bemeneti impedancia alapú validációja

HORVÁTH PÉTER

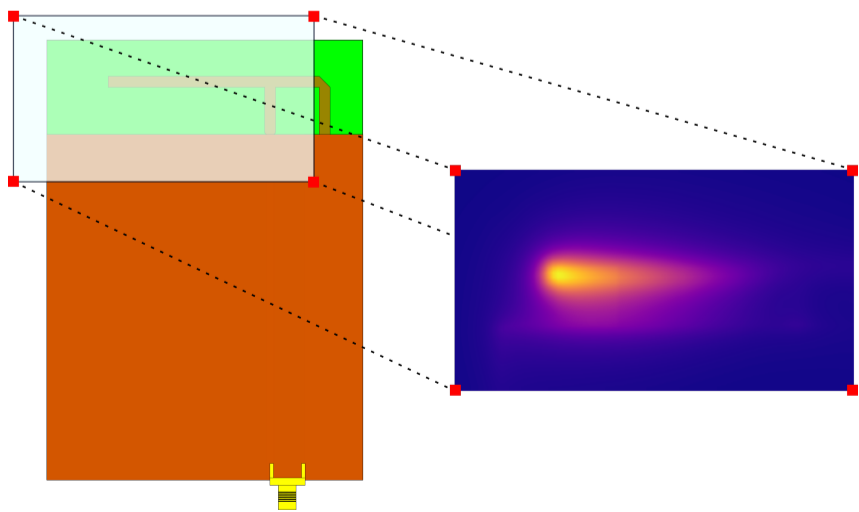
Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspezializáció  
2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Horváth Bálint, egyetemi adjunktus

## 1. Bevezetés

A vezeték nélküli hordozható eszközök piacra kerüléséhez elengedhetetlen a rádiófrekvenciás dozimetriai előírások betartása. A szabványosító szervezetek ezen előírásoknak történő megfelelést a fajlagos elnyelési tényezővel (SAR) jellemzik, amely származtatható az elektromos teljesítménysűrűségből. A korlátozások betartásának ellenőrzéséhez végzett mérések időigényesek és költségesek. Ennek következtében egyre nagyobb a törekvés, hogy ezen mérések egy részét szoftveres szimulációval, numerikus térszámítással váltsák ki. A szimulációk alkalmazásának egyik előnye, hogy közel térben is képesek eredménnyel szolgálni, amely komoly jelentőséggel bír, hiszen – gondoljunk csak bele – telefonálás-kor is a fejünkhöz tartjuk mobiltelefonunkat. A közeltéri szimulációk esetében azonban szükséges az eszköz numerikus modelljének validációja egyszerűsített mérések által, amire vonatkozó irányelveket az IEC/IEEE 62704 szabvány fogalmaz meg. A jelenleg javasolt eljárás mérőszondák általi közvetlen térerősség mérésen alapul. A frekvencia növelésével a mérőfejek nagysága kezd a vizsgált frekvenciához tartozó hullámhossz nagyságával összemérhető lenni, ami komplexitásnövekedést okoz. Továbbá az antenna közeltérben pl.  $\lambda/20$  sugarú környezetében ezen szondák is jelentősen befolyásolják a mérési eredményeket.

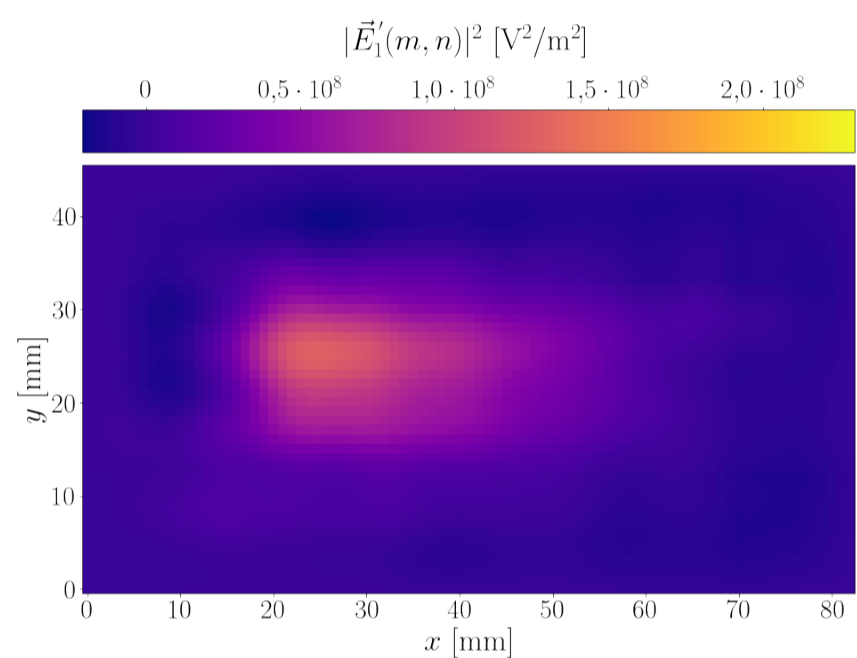
## 2. Eredmények

Dolgozatomban korábbi munkák alapján kidolgoztam egy alternatív validálási eljárást, amely egykapu-karakterisztika mérésén keresztül közvetetten méri meg a teljesítménysűrűséget. A vezeték nélküli eszközt az egyszerűség kedvéért csak egy antenna reprezentálja. Felállítottam egy modellt, amelynek alapja az antenna közeltérben elhelyezett dielektromos kontroll objektum. A modellben levezettem az antennán létrejövő kontroll objektum okozta bemeneti reaktanciaváltozás és a teljesítménysűrűség közötti összefüggést.



1. ábra. Az antenna és a szimulált teljesítménysűrűség

A levezetett formula diszkretizálás után konvolúcióra vezet. A vizsgálathoz szimuláltam egy valós planáris invertált-F antennát, aminek közelterében 1 mm-re az antennától kiszámítottam numerikusan a teljesítménysűrűséget, amit referenciának tekintek. Ezt szemlélteti az 1. ábra. Összeállítottam egy mérési elrendezést, amellyel kb. 2400 kontroll objektum pozícióra megmértem a reaktanciaváltozást. A mért reaktanciaváltozásból dekonvolúcióval rekonstruáltam a teljesítménysűrűséget. A "naiv" dekonvolúció nem vezetett eredményre, így regularizációt alkalmaztam. A kettő vizsgált regularizációs eljárás a Truncated SVD (T-SVD) és a Tyihonov-féle. A T-SVD-vel visszaállított teljesítménysűrűséget a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. A reaktanciamérésekből rekonstruált teljesítménysűrűség

## 3. Összefoglalás

A dolgozatomban egy alternatív megoldást vizsgáltam meg egy antenna numerikus modelljének validálására, ahol a validálásban összehasonlítható mennyiséget közvetett úton határoztam meg. Az eljárás közelítésen alapult, azonban a rekonstruált teljesítménysűrűségek jellegre jó egyezést mutattak a referenciához képest. A mérőszondák közeltéri alkalmazásakor megjelenő nehézségek az általam javasolt eljárásban nem jelentkeznek. A dolgozat elkészítése során szükség volt elméleti levezetésekre, numerikus modellezésre térszimulátorban, automatizált impedanciamérésre, precíziós 2D-s mozgásra és utófeldolgozásra.

# Kisméretű antennák tulajdonságainak javítása metaanyagok segítségével

IVÁNYI LÁSZLÓ MÁTÉ

Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspezializáció

2023/2024/I. félév Témavezetők: Dr. Berceli Tibor, Dr. Zólomy Attila, Süle Ádám

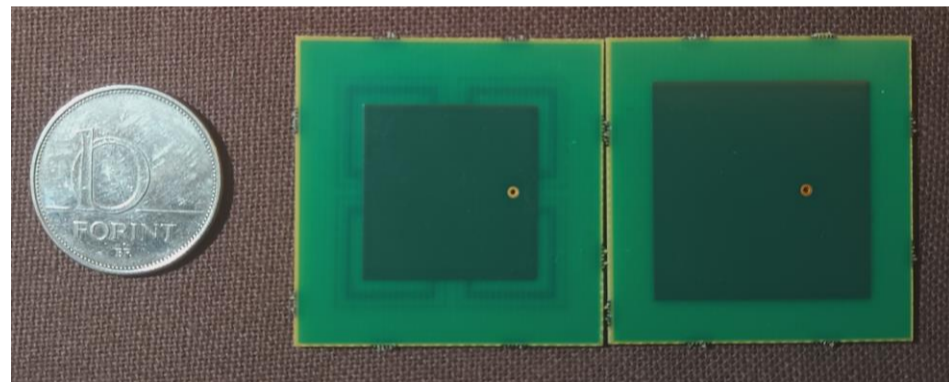
## 1. Motiváció és célkitűzés

Napjaink mobil kommunikációs hálózatai (5 G, 6 G) és a mesterséges intelligencia rohamos fejlődésével elengedhetetlen a kis méretű, nyomtatott antennák (pl. patch (folt) antenna, invertált-F antenna (IFA)) alkalmazása ezekben a rendszerekben. Az ilyen antennák egyik felhasználási területe az antennarácsokban való alkalmazásuk, amelyek többek között iránymérési feladatokat látnak el. Iránymérésre számos területen van szükség, mint például a radar rendszerekben, mobil hálózatokban, beltéri helymeghatározásban vagy navigációban. Az ilyen alkalmazásokban fontos követelmény a kis méret elérése. Munkám során különböző metaanyagokat és azok alkalmazhatóságát vizsgáltam meg az antennák környezetében a méretcsökkentés érdekében. Dolgozatomban kétféle, a 2,4 GHz-es frekvenciasávon működő kisméretű planáris antenna (patch és IFA) tervezését mutatom be. A megtervezett antennák felhasználása sokrétű (pl. Wifi, Zigbee, Bluetooth). Egy speciális alkalmazási területük a Bluetooth-os helymeghatározó rendszer. Ebben az iránymérést a térben elhelyezett 4 db, patch antennákból alkotott antennarács végzi, míg a távolságmérés IFA antennákkal történik. Céлом az volt, hogy olcsó és kisméretű antennákat tervezek, melyek ezekben a rendszerekben jól alkalmazhatók. További cél volt, hogy a patch antenna méretét csökkentsem metaanyagok segítségével, minimális nyereség csökkenés mellett. A tervezések során a Silicon Laboratories Hungary Kft. előírásait kellett követnem, miszerint az olcsó megvalósíthatóság érdekében FR-4-es hordozóval dolgozhattam, valamint nem használhattam zsák-viákat. A tervezések és szimulációs vizsgálatok után legyártattam és bemértem egy patch antennát, egy metaanyaggal méretcsökkentett patch antennát és egy IFA antennát. A méretcsökkentésben elért eredményeimet összehasonlítottam a szakirodalomban található eredményekkel.

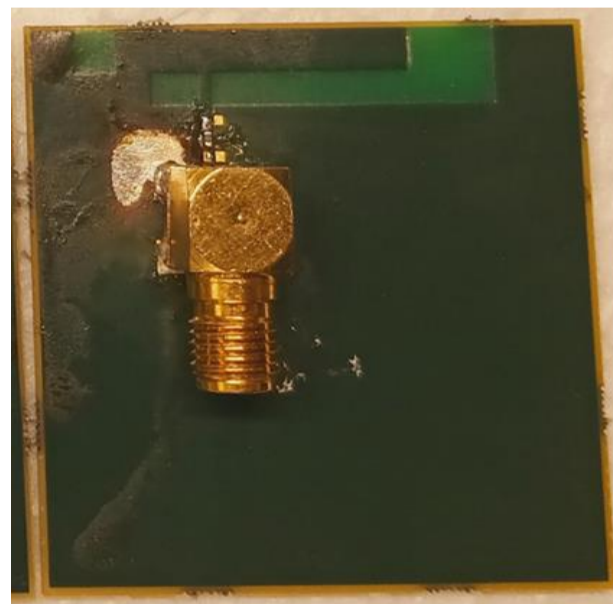
## 2. Eredmények és kitekintés

Munkám során kisméretű antennákat vizsgáltam, terveztem meg és mértem be. A mérési eredmények összhangban voltak a szimulációs eredményekkel. A metaanyagot nem tartalmazó patch és IFA antennákkal elért mérési eredményekkel teljesítettem a feladatkiírást, amin felül kétféle megoldást adtam patch antennák méretének csökkentésére metaanyagok felhasználásával. Az első módszerben egy gomba alakú rácsot helyeztem el a patch alá, amellyel az eredeti patch területének 32,2 %-ára csökkentettem a patch méretét. A második esetben egy költséghatékony megoldást adtam, amely során a patch alá egy SRR (Split-Ring Resonator) rácsot helyeztem el. Ekkor a patch az eredeti területének 63,6 %-ára csökkent le. Az eredeti patch és az SRR-es patch esetében az antennaszobában a sávközépen mért főirányú

nyereség értékek rendre 3,21 dB, illetve -1,46 dB voltak. A közeltéri műszerrel mért nyereség értékek az eredeti és a méretcsökkentett antennákra nézve rendre 2,74 dB, illetve -3,3 dB, míg a közeltéri műszerrel mért hatásfok értékek 46,45%, illetve 15,35 % voltak. Az eredeti és a méretcsökkentett patch antennák -10 dB-es impedancia sávszélességei rendre 62,6 MHz és 66,1 MHz voltak. Az IFA antennaszobában mért főirányú nyeresége a sávközépen -0,09 dB volt, a közeltéri műszerrel mért nyereség és hatásfok értékei pedig 1,64 dB és 90,57 % voltak. A behangolt IFA -10 dB-es impedancia sávszélessége 374 MHz volt. A dolgozat végén található táblázat a szakirodalomban leírt eredményekkel hasonlítja össze az általam bemutatott két megoldás eredményeit. A téma egyik továbbfejlesztési iránya, a méretcsökkentett antenna szimulációs vizsgálata egy, a csatolásokat is figyelembe vevő antennarácsban. Egy másik továbbfejlesztési lehetőség, hogy a méretcsökkentés mellett megvizsgálom többsávos antennák tervezését is metaanyagok felhasználásával.



1. ábra. Eredeti patch antenna (jobb) és méretcsökkentett patch antenna (bal).



2. ábra. A behangolt IFA felülnézeti képe.

# Side-channel based code reverse engineering of a microcontroller

JÁNOS KEPICS

Electrical Engineering MSc, Multimedia systems and service

2022/2023/II. Supervisors: dr. Bálint Péter Horváth, dr. Ákos Csilling

## 1 Introduction

This thesis provides an extensive introduction to side-channel analysis (SCA) on microcontrollers and embedded devices by exploring the theoretical foundations of side-channel analysis from different point of views.

Several tests were run to reverse engineer the source code of the tested embedded devices on different levels of information (from assembly instruction to execution code path).

## 2 Methodology

I developed two test targets: one on an Arduino Uno for a simple target and one on a Raspberry Pi for a more complex target. I observed the response packets and the current consumption of the target and extracted source code relevant information from the observations with different methods. Firstly to retrieve the assembly instruction and then the code execution path.

## 3 Results

Figure 1 shows that I was able to make a linear correlation between the register address executed by an ADD instruction and the current consumption on an Arduino Uno.

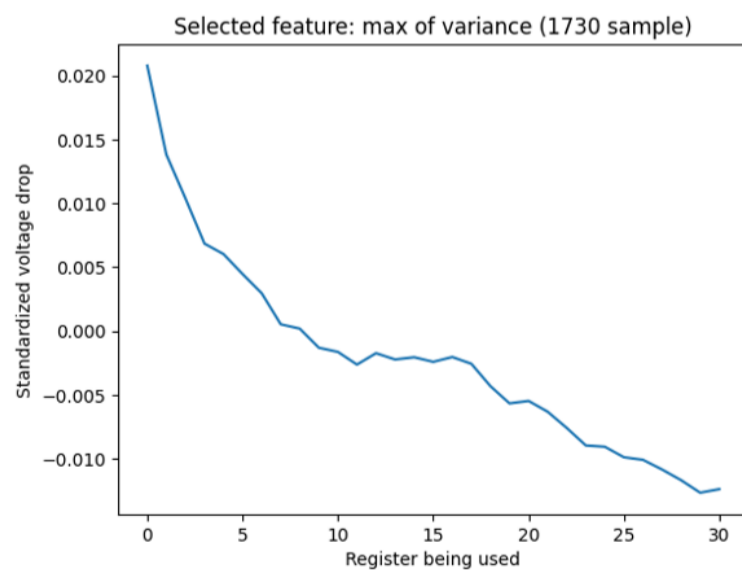


Figure 1: The selected feature point across the registers

I run fuzzing (random input generation) on this device for a source code which had three unique code branches with each having 1% likelihood to be reached in a random scenario and a default branch. In Figure 2. the code coverage is shown for a random fuzzer and in Figure 3. for my SCA feedback driven fuzzer which has a significantly better performance.

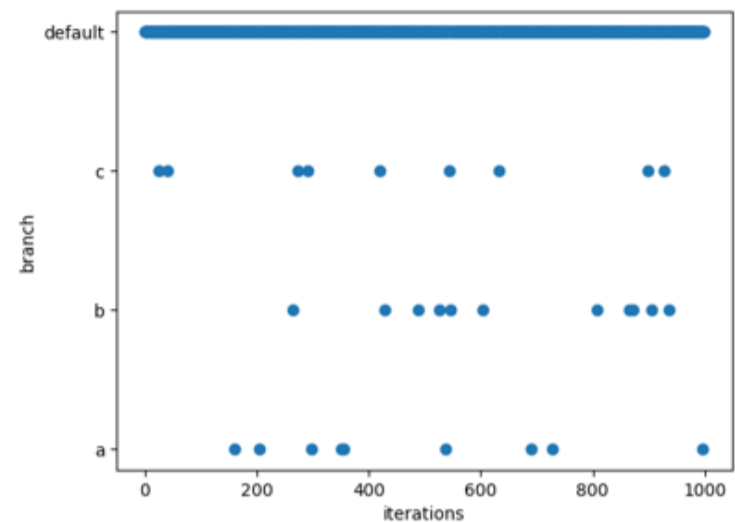


Figure 2: Branch coverage of the random fuzzer

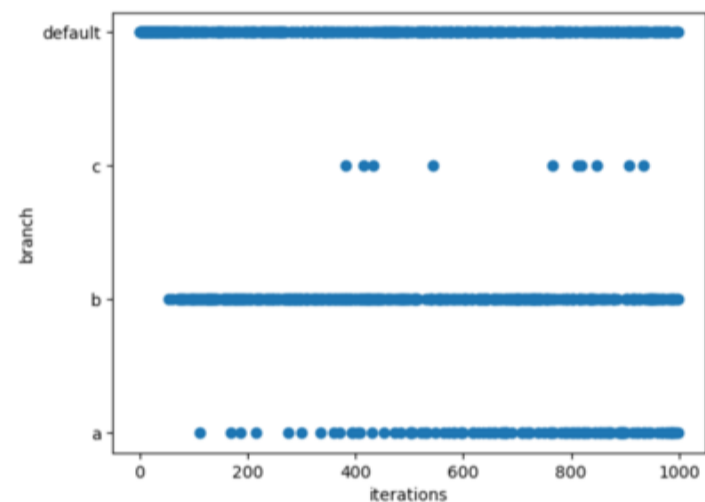


Figure 3: Branch coverage of the SCA feedback driven fuzzer

I integrated SCA feedback to an industry used fuzzing tool and performed UDP protocol fuzzing on a Raspberry Pi 4B with the same concept of source code as Arduino Uno had but with ten unique branches.

	Attempts	Unique attempts	%
ref	1982	50	2.52
isoforest	1758	73	4.15
kmeans	2208	77	3.48
lof	2011	65	3.23
arima	1411	59	4.18
std_dev	2299	65	2.82
eth	1798	54	3
udp	1668	79	4.73

Table 1: Attempts and unique attempts with percentage

The Table 1. shows the results of a ten minute fuzzing test which shows that every type of anomaly detection method performed better then the random fuzzer which was set as reference.

# MIKRO-DOPPLER FOLYAMATOK MÉRÉSE ÉS ANALÍZISE

KUPFER VIKTÓRIA

Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspecializáció

2023/2024/I. félév

Témavezető: Dr. Sella Rudolf, tanszékvezető-helyettes, adjunktus

## 1. Bevezetés

Korunk sokoldalú eszközei a drónok, amit számos területen használnak egyre gyakrabban. A hobbi és esztétikai céloktól, a mezőgazdaságig, katonai felhasználásokig, a csomagszállításig egyre inkább terjed az alkalmazása.

A légteret mindig is figyelemmel kísérte az ember, tanulmányozta a madarakat, példájukra megépítette a repülőgépet. Onnantól óriási fejlődésnek indult a repülés tudománya, főleg a háborús években. Ekkor különösen fontossá vált a repülő tárgyak követése. Száz éve, a radar feltalálása óta, már nem lehet akadály a sötétség vagy a felhőzet, hogy az égen észleljünk valamit. A légtér szabályozása fontos, közérdekű feladat, így a drónok engedélyezése, szabályozása és észlelése aktuális probléma. Az észlelésen túl dolgozatomban megkísérlek több tulajdonságot is megbecsülni a drónokról a mikro-Doppler jelenség tanulmányozásával. Ezen adatok alapján klasszifikációs eljárásokat kutatok, hogy olyan paraméterek becsülhetők legyenek, mint a propellerek fordulatszáma és azok miből készültek.



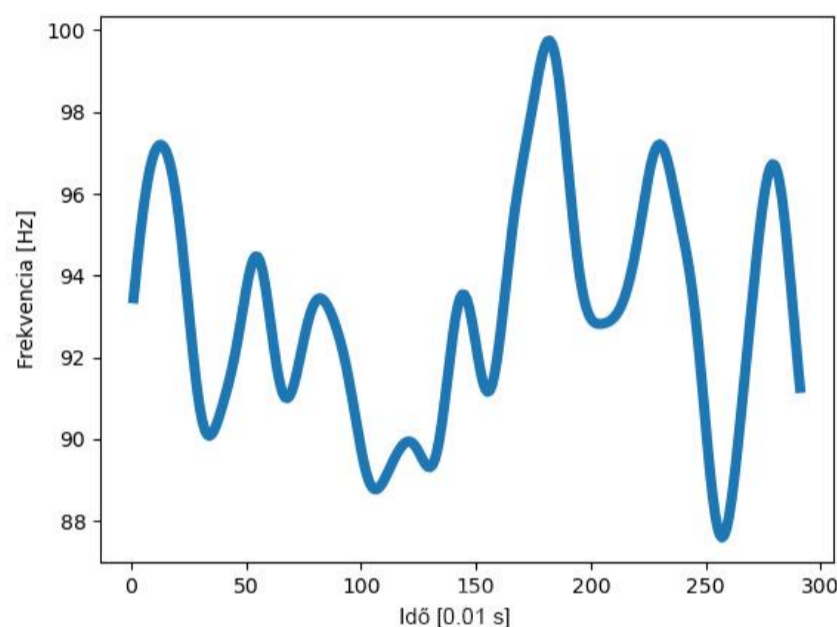
1. ábra. Drón

## 2. Alkalmazott módszerek

Vizsgálataimhoz kihasználom a drónok mikro-Doppler jelenségét, amire egy speciálisan a HVT tanszék által mikro-Doppler folyamatok mérésére kifejlesztett radar adja a lehetőséget, amelynek fejlesztésében magam is részt vettem. Ezen radar a céltárgy mozgó alkatrészeiről képes adatokat szolgáltatni, jelen esetben propellerekről, azok fordulatszámaról, jellegzetes anyagra és formára jellemző spektrumáról. Kutatásomhoz segítségül hívom a mesterséges intelligenciát, a gépi tanulási algoritmusokat, hogy mintázatokat keressek az adatokban.

## 3. Eredmények

A mikro-Doppler spektrum alapján jó bizonyossággal meg tudtam mondani akár determinisztikus módon, akár mesterséges intelligencia segítségével a propellerek fordulatszámát. Repülő drón esetén időben folytonosan nyomon tudtam követni a drón rotorjainak átlagos forgási sebességét fejlesztett algoritmusaim segítségével.



2. ábra. Repülő drón rotorjának forgási sebessége az időben folytonosan ábrázolva

## 4. Összefoglalás

A kutatásom során arra jutottam, hogy a mikro-Doppler spektrum alapján megbízhatóan meghatározható egy propeller fordulatszáma. A determinisztikus módszerrel végzett becslés általában teljes bizonyossággal elvégezhető. Az adatok megfelelő formázása és regresszióval való kezelése után mesterséges intelligencia alkalmazásával olyan függvény illeszthető az adatokra, mely közelítőleg képes a frekvencia megbecslésére. Még egy egyszerű lineáris regressziós modell is hatékony lehet ezen a területen.

Lehetséges két propeller fordulatszámának determinisztikus módon történő becslése is, de ennek vannak korlátai.

Valós drón fordulatszámát nagyobb intervallumon folytonosan, kis időablakonként kiértékelve érdemes vizsgálni. Jellemzésére az átlagfordulatszámot és a szórást javaslom.

A propellerek alakja erőteljesen befolyásolja a harmonikusok közötti arányt, sokkal inkább, mint az anyagminőség. Emellett a mérési elrendezés is jelentős mértékben formálja a spektrum jellegét. Ezeknek a tényezőknek az összevetése csupán egy komplex, sokparaméteres adathalmazon keresztül lehetséges. Ennek feldolgozásához összetettebb mesterséges intelligencia és mélytanulás alkalmazása szükséges.

# Klasszifikátor fejlesztése drón iránymérőhöz

MOLNÁR DÁVID GERGELY

Villamosmérnök BSc, Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások ágazat

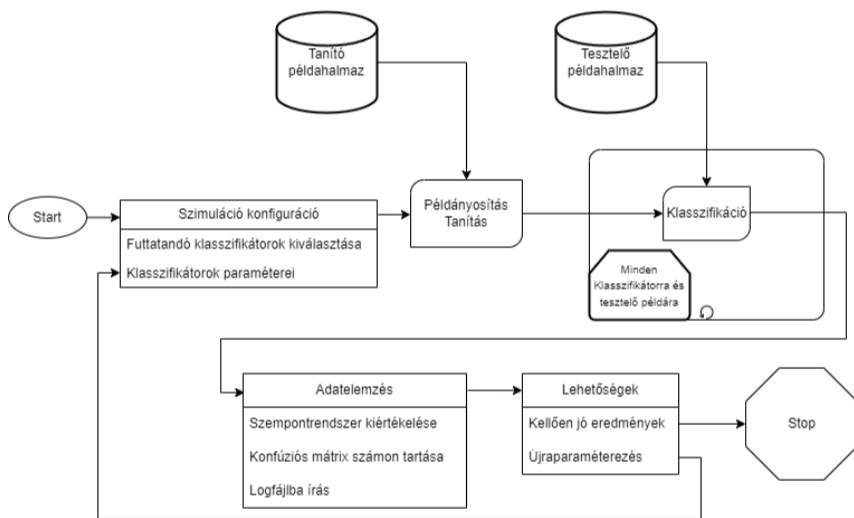
2023/2024/I. félév

Témavezető: Dr. Seller Rudolf, tanszékvezető-helyettes, adjunktus

Külső konzulens: Borkó Máté, villamosmérnök, M.Sc.

## 1. Bevezetés

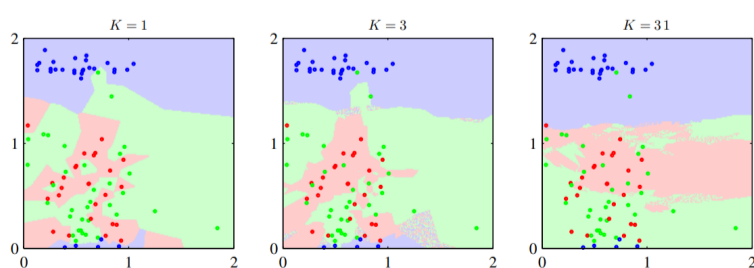
A mára már közforgalomban is megjelenő drónok népszerűségüket széleskörű felhasználásuknak köszönhetik. Az újonnan már adott jogszabályi környezet megköveteli drón észlelés és elhárítás megoldások kifejlesztését és telepítését kijelölt intézmények számára. Szakdolgozatomban egy ilyen drón észlelő eszköz klasszifikátor moduljának továbbfejlesztését tárgyaltam. A klasszifikáció alapja, hogy a drón-kontroller kommunikációnak jellemzően típusonként különböző jellegzetességei vannak, ezeket a jellegzetességeket *feature*nek nevezik. Minden klasszifikátornak azt a funkciót kell ellátnia hogy egy mérési eredményről eldönti, hogy milyen mérés kategóriához tartozik. Erre értelem szerűen több lehetőség van, így szimulációim során több feature alapú klasszifikációs algoritmust teszteltem, többek között a Naiv Bayes, KNN és az SVM eljárásokat is.



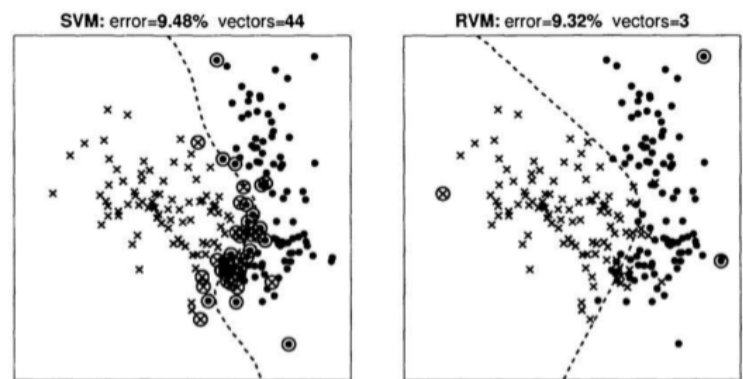
1. ábra. Az implementált szimulációs keretrendszer

## 2. Alkalmazott módszerek

A Bayesi eljárások a tanító példahalmazból felépít feature-eloszlásokat, majd a bejövő feature-vektorra egy bayesi döntés alapján a legvalószínűbb kategóriára klasszifikál. A KNN feature-térbeli távolságok alapján klasszifikál, míg az SVM és az RVM elválasztó hipersíkokat illeszt a kategóriaponthalmazok közé.



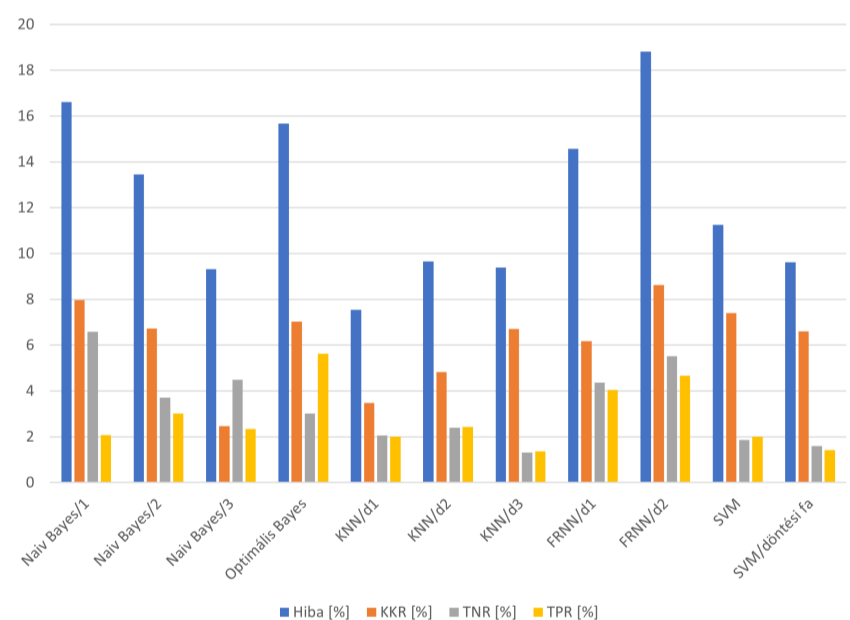
2. ábra. KNN klasszifikáció függése a K paramétertől [1]



3. ábra. SVM és RVM összehasonlítás [2]

## 3. Eredmények

A felépített értékelési szempontrendszer egy része volt a klasszifikációs hibaráta, és annak felbontása kereszt-klasszifikációs (KKR) téves negatív (TNR) és téves pozitív (TPR) hibaráttákra.



4. ábra. Klasszifikátor hibarátták azonos bemenetre

## 4. Összefoglalás

Drón klasszifikációs célra a KNN eljárás dolgozatomban tárgyalt *d1* variánsát találtam legalkalmasabbnak. Fontos azonban, hogy az alkalmasság nem merül ki a kisebb hibaráttában, hanem implementálhatósággal és bővíthetőséggel kapcsolatos szempontok szerint is kedvező volt KNN-t választani. Összességében viszont sikerült igazolni [3] fő állítását, miszerint diszkriminatív klaszterezőknek kisebb aszimptotikus hibájuk van mint a generatív modelleknek.

[1] C.M.Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning

[2] M.E.Tipping: The Relevance Vector Machine

[3] A.Y.Ng: On Discriminative vs. Generative classifiers

# Electromagnetic modeling of eddy-current non-destructive testing of carbon fiber reinforced plastic materials

BÁLINT PINTÉR

Electrical Engineering MSc, Wireless systems and applications main specialization  
2023/2024/I. Supervisor: Arnold Bingler, Assistant Lecturer

## 1 Introduction

The aim of this work is to give a simple electromagnetic model of a carbon fiber reinforced plastic (CFRP) plate and the coils for an eddy current testing (ECT) measurement setup and to design an optimal ECT probe. The ECT is a non-destructive testing method that can be used to explore fiber-related errors. It is important to be able to simulate the testing process, while taking the anisotropic and inhomogeneous conductivity of the CFRP lamina into account. A new approach to modeling the latter is to consider the inhomogeneity as a sinusoidal function. Besides the modeling, examining the effect of changing the geometrical parameters is also an aspect. During this, the purpose was to find the optimal  $\lambda/D$  ratio (where  $\lambda$  is the spatial wavelength of the sinusoidal inhomogeneity,  $D$  is the coil diameter), with which an ECT probe with a maximal dynamic range can be designed. This way, the scanning becomes more precise, and the probe becomes more sensitive to detect irregularities in the fiber distribution, such as fiber misorientation or fiber breaks. The simulations were performed in COMSOL Multiphysics.

## 2 Methodology

To simulate the ECT measurement, a 3D model was built, on which a scanning, i.e., a sequence of simulation was performed. The model of the CFRP plate incorporates the anisotropic (diagonal  $\underline{\underline{\sigma}}$  tensor, instead of a scalar value) and the inhomogeneous conductivity (each matrix element is modified with a cosine function).

$$\underline{\underline{\sigma}} = \begin{bmatrix} \sigma_L & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_T & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{cp} \end{bmatrix}, \quad \sigma'_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{2} (1 + \cos(k r(x, y)))$$

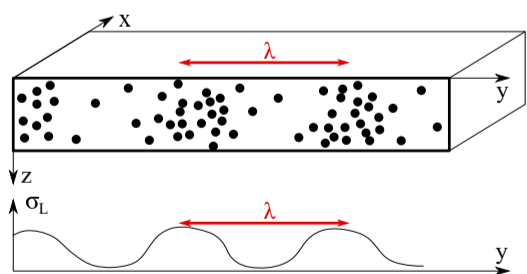


Figure 1: The explanation of the inhomogeneous  $\underline{\underline{\sigma}}$  is the presence of fiber-rich and fiber-rare regions.

The two examined ECT probes are modeled using the built-in multiturn coil models of COMSOL. With them, a virtual scanning was performed, which means that in each step, the  $\underline{\underline{\sigma}}$  tensor was translated instead of the coils, and the induced voltage was recorded.

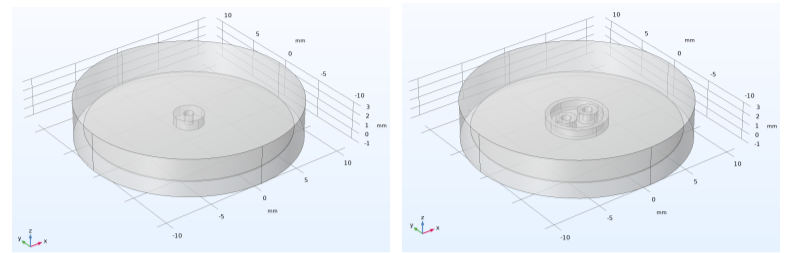


Figure 2: The examined probe types: single and differential

## 3 Results

The dynamic range was obtained from the scanning results for different values of  $\lambda$  and  $D$ . It turned out that an optimal  $\lambda/D$  ratio exists; it is

$$\frac{\lambda}{D} \approx 0.45.$$

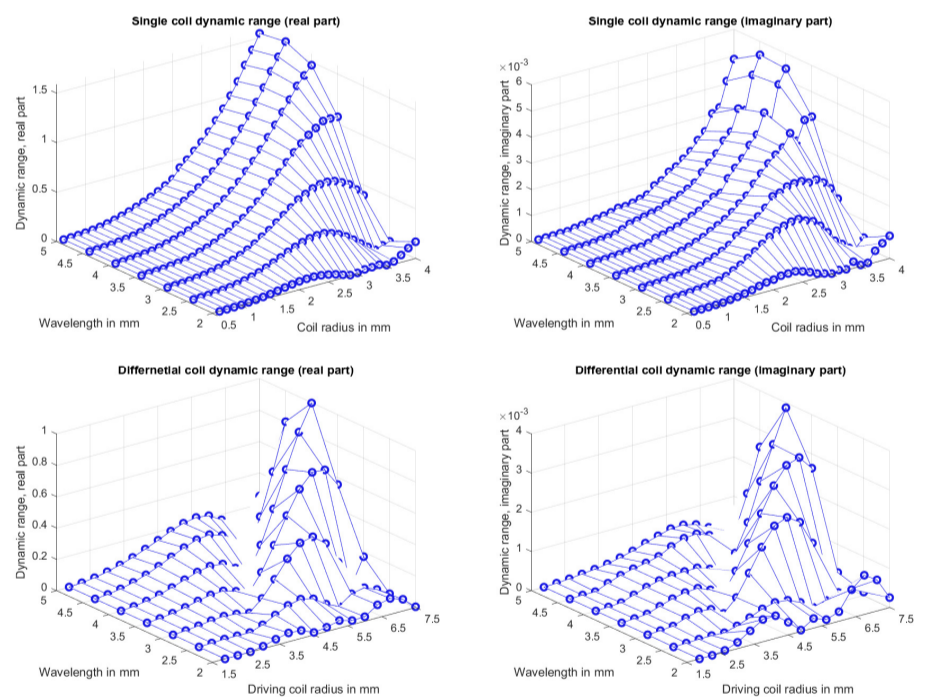


Figure 3: Single (top) and differential (bottom) probe results. A second peak appears at the differential coil (with a  $\lambda/D = 0.25$  ratio).

## 4 Discussion

The main result of this work is the established optimal coil size for both probe types, which turned out to be a linear function of the periodicity of the spatial inhomogeneity. Using a coil with the proposed  $\lambda/D$  ratio, errors related to the fiber orientation can be extracted from the ECT signal with the broadest dynamic range.

# Elektromágneses expozíciós rendszer antennájának tervezése

SZABÓ ZSOLT

Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspezializáció

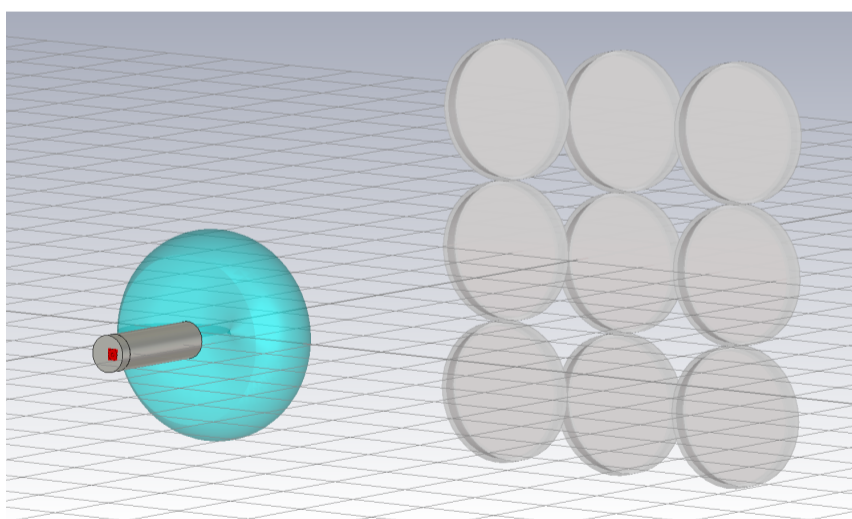
2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Nagy Lajos, egyetemi docens

## 1. Bevezetés

Az 5G egyre nagyobb elterjedése miatt, a lakosságban felmerült a technológia esetleges veszélye az emberi szervezetre. A feladat egy olyan kísérlet végrehajtása, amely megvizsgálja az 5G-s vezeték nélküli kommunikáció során kisugárzott rádiófrekvenciás sugárzás hatását az emberi szervezetre. Ebben az én feladatomban a sugárzó antenna megtervezése.

## 2. Kísérlet

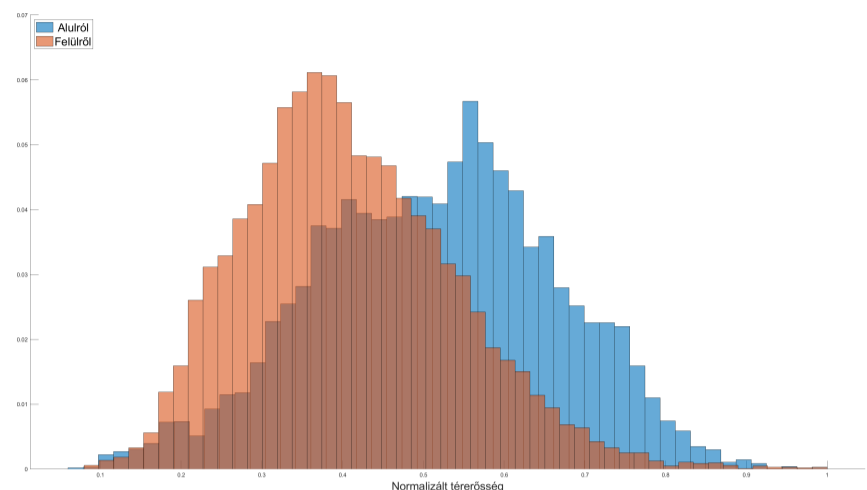
A kísérlet során egy antenna segítségével sugárzunk bőrszövetet, ami Petri-csészékben helyezkedik el. Az antennának olyan sugárzási mintájúnak kell lennie, hogy a bőrszövetben a teljesítményt minél homogénebben oszlassa el. A homogenitás azért fontos, mert azt akarjuk biztosítani, hogy egységnyi területre a teljesítmény mindenhol ugyanakkora legyen, elkerülve a forró pontokat. Az antennától 150 mm-re van a 9 db kör alakú Petri-csésze, az 1. ábrán látható 3x3-as elrendezésben, úgy, hogy a csészék falai érintkeznek. A Petri-csészék sugara 17,5 mm. A külső elektromágneses sugárzás kizárása végett árnyékolt dobozban kell végezni a kísérletet. Szükséges még egy másik tartó a kontroll Petri-csészéknek, amiket nem sugárzunk, így a kísérlet végeztével össze lehet hasonlítani, mi változott a sejtekben.



1. ábra. Mérési elrendezés

## 3. Petri-csészék megvilágítása

A Petri-csészékben a bőr tulajdonságú anyag nem tölti ki a tartó egész térfogatát, így különbség lesz a térorosság eloszlásban abban az esetben ha a Petri-csészéket alulról vagy felülről sugározzuk.



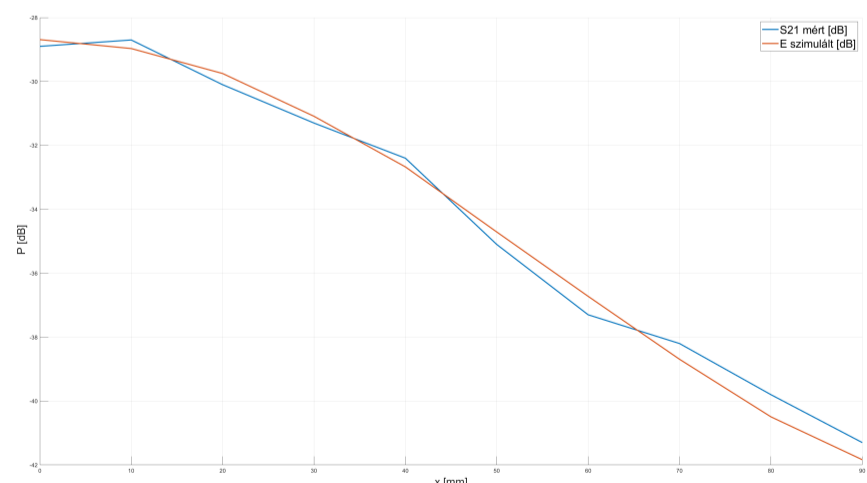
2. ábra. Alulról és felülről sugárzott Petri-csészék térorosság sűrűségfüggvényei

Az ábrán (2) piros színnel a felülről, kékkel az alulról sugárzás eredménye látható. Felülről sugárzásnál a térorosság szórása 4,8451, alulról való sugárzás esetén pedig 6,3762. A kísérleti elrendezést úgy érdemes beállítani, hogy az antenna felülről sugározza a Petri-csészéket.

## 4. Mérési eljárás tervezése

Szükséges az elkészült antennánál is megbizonyosodni, hogy az általa előállított tér a kívánt távolságban megfelelően egyenletes-e. Mérést kell végeznünk ennek megvizsgálására. Mivel azonban méréssel nem tudunk egyszerűen térorosságot mérni, ezért az ötlet az, hogy egy szonda segítségével mérjük a tér pontjaiban az S21 paramétert és ebből visszszámoljuk a térorosságot.

A 3. ábrán látható a mérés során megmért S21 paraméter és a szimuláció során kiszámolt E térorosság egy adott vonalon. A térorosság át lett számolva decibelbe és egy korrekciós tényező ki lett vonva belőle. A grafikon alapján elmondható, hogy jó becslést kaptunk a térorosságra.



3. ábra. A próba mérés során mért S21 paraméter és a szimuláció során kapott térorosság decibelben



# Radarkeresztmetszet számítása fizikai optikai módszerrel

SZARKA MÓRIC ZOLTÁN

Villamosmérnök BSc, Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások ágazat  
2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Bilicz Sándor, egyetemi docens

## 1. Bevezetés

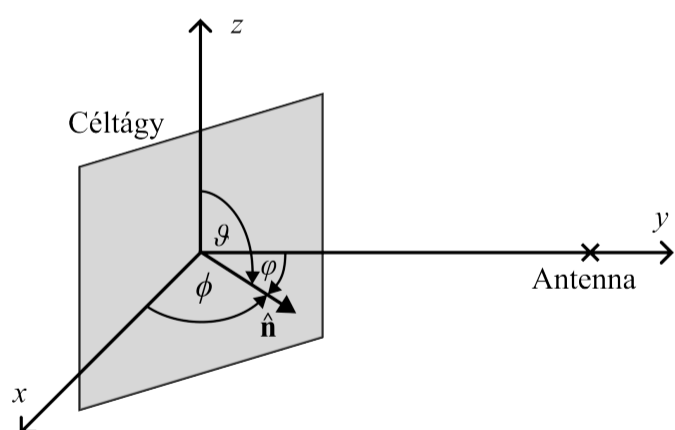
A milliméteres hullámhossztartományban működő radarokat egyre elterjedtebben alkalmaznak. Az ilyen hullámhosszon észlelni kívánt céltárgyak gyakran beleesnek a közel-térbe, ahol a radarkeresztmetszet klasszikus számítása nem érvényes. Jelen szakdolgozat a fizikai optikai módszerrel próbál választ adni a köztéri radarkeresztmetszet viselkedésére egyszerű fém céltárgyak esetén.

## 2. Alkalmazott módszerek

A fizika optikai közelítés feltétele, hogy hullámhossz jelentősen kisebb legyen, mint a céltárgy mérete. Ezáltal a fém céltárgyon az elektromágneses tér által indukált felületi áram egy egyszerűsített alakban kiszámolható a beeső mágneses télerősségből ( $\mathbf{H}_0^i$ ). A felületi áramból pedig ki lehet számolni a szórt télerősséget ( $\mathbf{H}^s$ ). A radarkeresztmetszet közel-térben távolság ( $R$ ) függő lesz:

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{|\mathbf{H}^s|^2}{|\mathbf{H}_0^i|^2}. \quad (1)$$

## 3. Eredmények

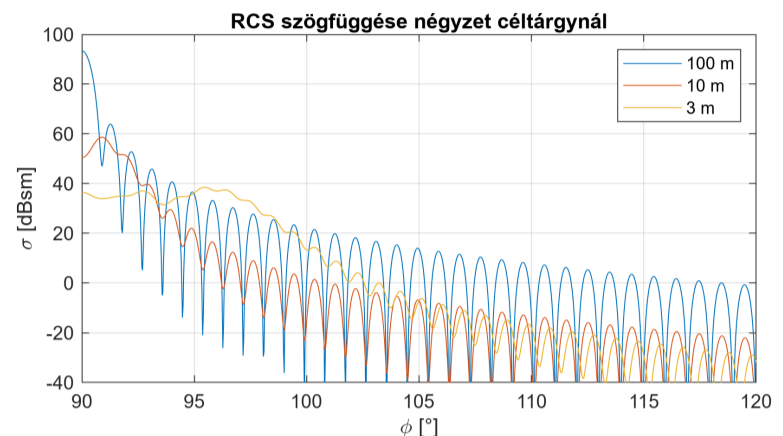


1. ábra. A céltárgy orientációja

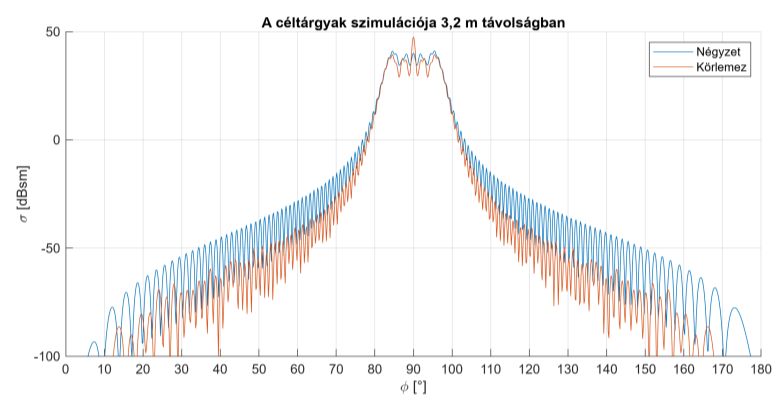
A szimulációt a MATLAB program segítségével végeztem el. A szimuláció során a céltárgyak távolság- és orientációfüggését vizsgáltam. Az elrendezés a 1. ábrán látható, ahol a  $\phi$  a változó, és a  $\vartheta$  pedig állandó  $90^\circ$ . Az antenna frekvenciája 10 GHz. Négyféle céltárgyat vizsgáltam meg: négyzet, körlemez, henger és gömb.

A 2. ábrán látható a négyzet orientációfüggése két közel-téri és egy távotéri távolságban.

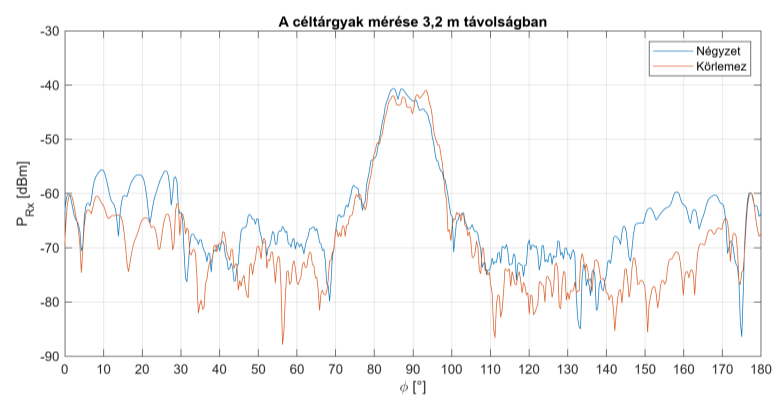
A mérés során vett teljesítményt mértünk, amely arányos az RCS-sel. Ezért úgy ábrázolom, hogy a szimuláció és a mérés külön ábrán egymás mellett szerepeljenek. A 3. ábrán a szimuláció, a 4. ábrán a mérési eredmény látható.



2. ábra. A négyzet RCS értéke a közel- és távotérben



3. ábra. A szimuláció 3,2 m távolságban



4. ábra. A mérés 3,2 m távolságban

Bár számos jellegzetesség egyezik, látványos a különbség, mivel a szimuláció nem vett figyelembe néhány fizikai tényezőt. Például az adóantenna nem egyenletesen sugárzott a céltárgyra, a céltárgyaknak nem voltak tökéletes sík felületük, illetve a diffrakciót nem vettem számításba.

## 4. Összefoglalás

Megterveztem egy szimulációt, ami egyszerű alakú fém céltárgyak radarkeresztmetszetét számolja fizikai optikai módszerrel. Bemutattam, hogyan lehet egy egyszerű esetben figyelembe venni a többszörös reflexiót. Ellenőriztem analitikus módszerrel a céltárgyak radarkeresztmetszetét távotérben. Ezután megvizsgáltam a céltárgyakat közel-térben is, és összehasonlítottam mérési eredményekkel.

# Autóipari DC-DC konverterek bemeneti EMC szűrő tervezése

TAKÁCS PÉTER

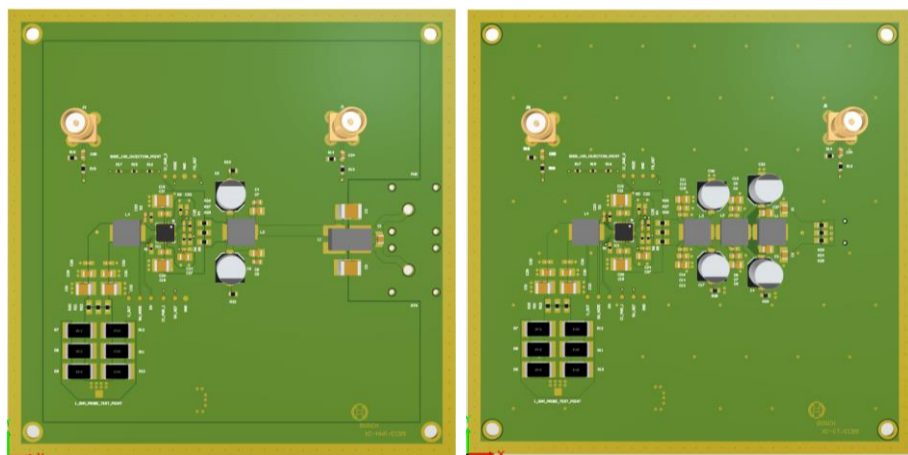
Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspecializáció

2023/2024/I. félév

Témavezető: Szűcs László, tudományos segédmunkatárs

## 1. Bevezetés

Az autóipar fejlődésével együtt jár a vezérlő és vezetéktámogató rendszerek járművön belüli számának növekedése. Ez a tendencia új kihívások elé állítja az elektromágneses kompatibilitást (EMC), mivel egyre több rendszernek kell kis térfogaton együttműködni anélkül, hogy megzavarnák egymás működését. A cél alacsony emissziójú és magas immunitású eszközök tervezése, így biztosítható az autóipari EMC szabványoknak való megfelelés. Az járművek vezérlő és kommunikációs részegységei általában több feszültségszintről (5V, 3.3V, 1.8V) dolgoznak, amelyeket legtöbb esetben kapcsolóüzemű tápegységekkel állítunk elő. Előnyös tulajdonságai mellett, mint a magas hatékonyság, egyik legnagyobb hátránya a nagy zavaremisszió. DC-DC konverterek alkalmazása esetén esszenciális feladat a megfelelő bemeneti zavarcsökkentés. Diplomamunkámban az autóipari DC-DC konverterek bemeneti EMC szűrőjének tervezési lépéseit, ökölszabályait mutatom be. Majd gyakorlatban méreteztem bemeneti szűrőt a kész tápegységekhez (differenciális módusú (DM) és közös módusú (CM) szűrőhálózat teszteléséhez).



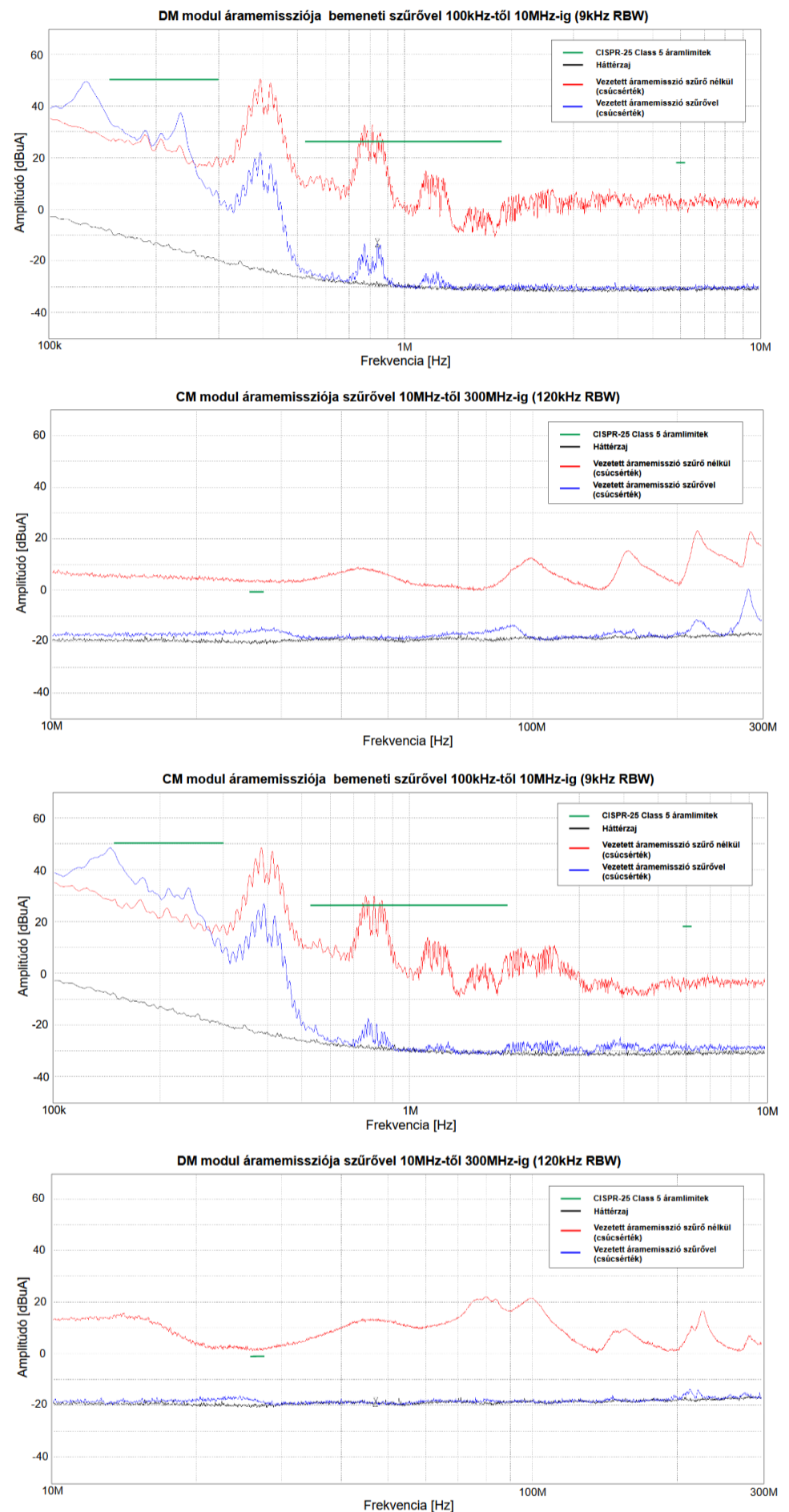
1. ábra: CM és DM modul nyomtatott áramköri tervei

## 2. Alkalmazott módszerek

A szűrő nélküli tápegységek bemeneti vezetett áramzavarait árnyékolt mérőkamrában mértem meg árammonitor és spektrumanalizátor segítségével, majd a kapcsolófrekvenciás (400kHz) zajkomponens első felharmonikusára illesztettem a bemeneti szűrőket, mind DM, mind CM modul esetén. A tervezés során több tápegység stabilitási kritériumot figyelembe kellett venni (Middlebrook, Bode), ugyanis megsértésük esetén a tápegységekben jelentős működésbeli romlást idézhetünk elő (instabilitás, oszcilláció). A tápstabilitást Bode 100 vektor hálózatanalizátor segítségével végeztem el, amire a vágási frekvencia és a fázistartalék alapján következtettem.

## 3. Eredmények

A szűrők méretezése és az alkatrészek kiválasztása után elvégeztem a szűrőhálózat hatásosságát és a megfelelő illesztését igazoló stabilitás, illetve bemeneti vezetett zavarmérését.



2. ábra: DM és CM modulok vezetett áramzavara szűrő nélkül és szűrővel 100kHz-től 300MHz-ig

## 4. Összefoglalás

Az elméletben leírt tervezési szabályok alkalmazásával sikerült jelentős csillapítású differenciális és közös módusú szűrőhálózatokat illeszteni a tápegységek bemenetére, amelyek a modulok stabilitását és így működését nem befolyásolta.

# Adaptív passzív radar jelfeldolgozási algoritmusok optimalizálása

TOMKA BENEDEK DONÁT

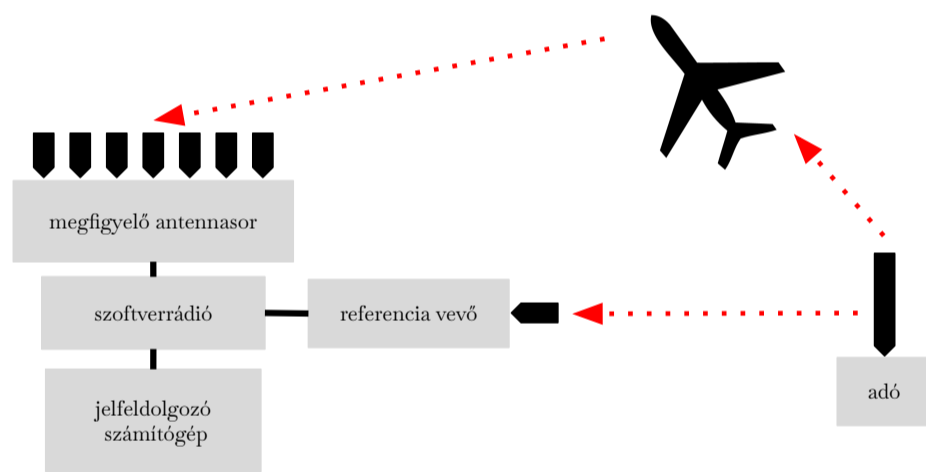
Villamosmérnök MSc, Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspezializáció

2023/2024/I. félév Témavezető: Dr. Dudás Levente, adjunktus

## 1. Bevezetés

A passzív radarrendszer a céltárgyakat külső EM (elektromágneses) hullámok reflexiójának elemzésével érzékeli, saját kisugárzott mérőjelek nélkül; ezáltal megvalósítását jelentős katonai érdeklődés övezi. A Mikrohullámú Távérzékelés laborban készített jelenleg is elérhető passzív radar rendszerek DVB-T adók és FM rádiók sugárzott jeleit használják fel jelen kialakításában mérésre, elvi szinten lehetőség van egyéb sávokra adaptált megoldások készítésére is. [1]

Diplomatervem röviden bemutatja a passzív radarozás alapelveit, a grafikus kártyára megírt jelfeldolgozási láncot. Áttekintem a főbb konfigurációs paramétereket és önadaptáló algoritmusokat, valamint kitekintést tesztek a megvalósult antennarendszer problémáira és egy megoldási javaslatra. Továbbá bemutatom új megközelítést alkalmazó szimulációs keretrendszeremet, mellyel interaktív és automatizált módon tesztelhető a bemutatott jelfeldolgozási lánc.

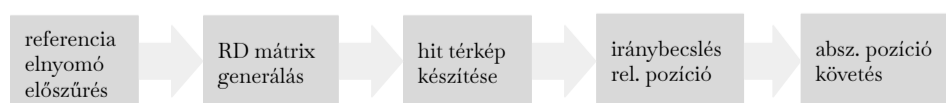


1. ábra. A passzív radar blokkvázlata, céltárggyal

## 2. Alkalmazott módszerek

A labor előző passzív radar feldolgozó megoldása BASH szkriptek, python és C programok laza egymás után pipeolt kollekciójaként működött. Valósídejű performancája hagy kívánnivalót maga után.

Ezzel szemben én egy GPU-n adatfeldolgozó monolitikus alkalmazás elkészítését tűztem ki célul, mely egyetlen futtatható állományból áll, és további kiegészítő munkaállományokból (OpenCL kernelek, konfigurációs fájl, logfájlok). Az így megvalósított keretrendszer biztosítja az átláthatóságot és az egyszerű mozgathatóságot.



2. ábra. A passzív radar blokkvázlata, céltárggyal

Tesztek bizonyítják, hogy a lineáris antennasoron sikeresen tesztelt programok nem képesek céltárgy lokalizációra az új antennarendszer fizikai korlátai és megvalósítási sajátosságai miatt. Átfogó irodalomkutatás alapján ajánlok egy módszert numerikus kompenzációs módszerre, illetve Python nyelven implementálom ezt az algoritmust.

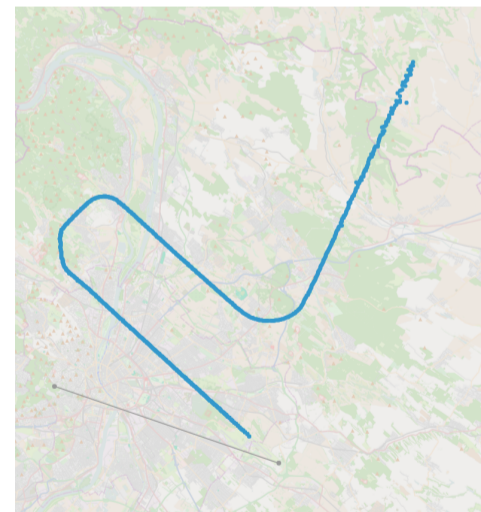
A bemutatott elvi jelfeldolgozási séma egymás mögé láncolt [3], egyenként is összetett blokkokból áll. Ennek megfelelően a hibalehetőség is láncolt karakterisztika szerint nő, illetve nehezen elkülöníthető a pontos forrás. A szoftver helyességének bizonyítására terepi tesztek valós mintáinak kiértékelése elvetendő. Programozott jelszimulációra felhasználói igény alakult.

## 3. Eredmények

A GPU alapú radar DSP és megjelenítő lánc sikeresen elkészült, és működése szimulált adatokon megfelelően verifikálásra került. Az elért feldolgozási sebesség a probléma szempontjából kielégítő és jól skálázható.

Az antennarendszer problémáinak megoldása további fizikai kísérletezést is igényel, de a teszteljárás és támogató algoritmusok elkészültek.

A szimulációs keretrendszert a fejlesztése során feltárt és megoldott jelfeldolgozási hibák okán eredményesnek minősíthetem. Egy könnyen kezelhető rendszer készült, mely a várakozások szerint hibamentesíti a DSP projekteket.



3. ábra. Szimuláció kiemelkedő radarkeresztmetszeten

## 4. Összefoglalás

Az általam implementált gyors jelfeldolgozás az antennarendszer hibáinak kiküszöbölése után képessé teszi a kialakított passzív radarokat operatív feladatok végrehajtására. A készített nyitott szimulációs keretrendszer lehetővé teszi a dinamikus további programbővítéseket regresszió nélkül.

# Eigenmode propagation through unordered media by beamforming

DÁNIEL VARGA

Electrical Engineering MSc, Wireless systems and applications

2023/2024/I. Supervisor: Olivér Csernyava, MSc

## 1 Introduction

The study of electromagnetic wave propagation through unordered media with a random scattering structure is of interest in several fields including telecommunication and remote sensing. Methods to overcome its intricacies already exist today in both fields, but there is also a promising method to create a special wave set (eigenmode) that passes the random structure with minimum scattering.

This seems achievable in the microwave range using antenna arrays, for which my task is to propose and design an arrangement and a processing technique.

## 2 Plane Wave Decomposition

To do this, I look into this method in the first part of the thesis, starting with the theoretical basics of Plane Wave Decomposition (PWD). The derivation of the PWD is determined according to lecture notes, by defining the spatial Fourier transform and solving the 2D wave equation with it. In the notes, it is derived from the solution of a 3D problem, but in our case, a 2D problem is aimed.

Then the implementation of the PWD in Python is presented using the Fast Fourier Transform algorithm and other features of the NumPy package. I am also making the correct correspondence to understand the output of it and to construct the array of plane wave components.

This is followed by the description of a validation process, which is used to verify the implementation by reconstructing a simulated E-field's spatial distribution [Fig. 1]. In this simulation, a simple structure is excited with a plane wave so the total E-field can be sampled that is formed by the scattered waves from a PEC cylinder interfering with the approaching plane wave. Through the reconstruction, the limitations of the PWD and the impact of the sampling parameters can both be observed.

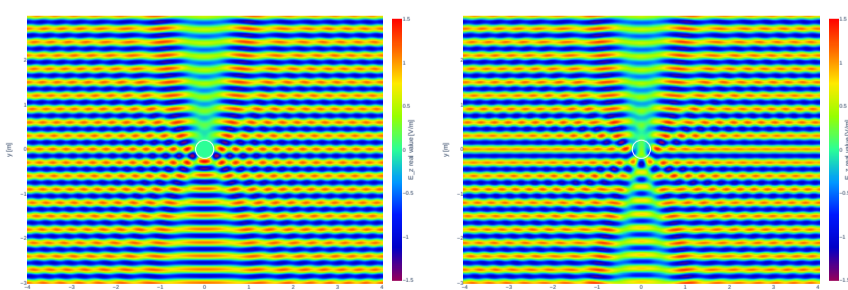


Figure 1: Reconstructed and simulated  $\text{Re}\{E_z(x, y)\}$  field

## 3 Eigenmodes

Then the method of finding eigenmodes [Fig. 2] is explained based on the literature and how each step in Python is implemented and validated. MATLAB is also used to perform the simulations with the help of an analytic Mie scatter solver. The resulting eigenmodes are evaluated in detail and the method of their sorting and selecting is demonstrated. At the end of the chapter, the simplification possibilities of the eigenmode's excitation are presented while it preserves the scattering invariance as much as possible and the method of how that quality can be measured.

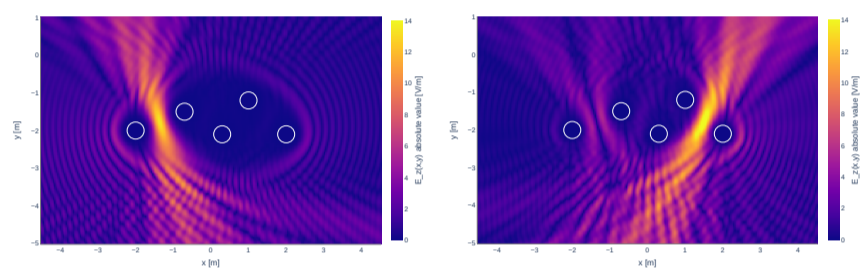


Figure 2:  $|E_z(x, y)|$  field of some satisfactory eigenmodes

## 4 Antenna arrangements

The implementation of a few different physical models is demonstrated, used to imitate the plane wave illumination with point sources [Fig. 3], which ultimately can be associated with an antenna arrangement. Then the three models are presented which I came up with to approximate the plane waves more feasibly. The attempt to create eigenmodes with each model is discussed and evaluated by the same quality measurement that is used in the previous chapter.

Finally a brief discussion about the implementation proposals for the models in the previous chapter.

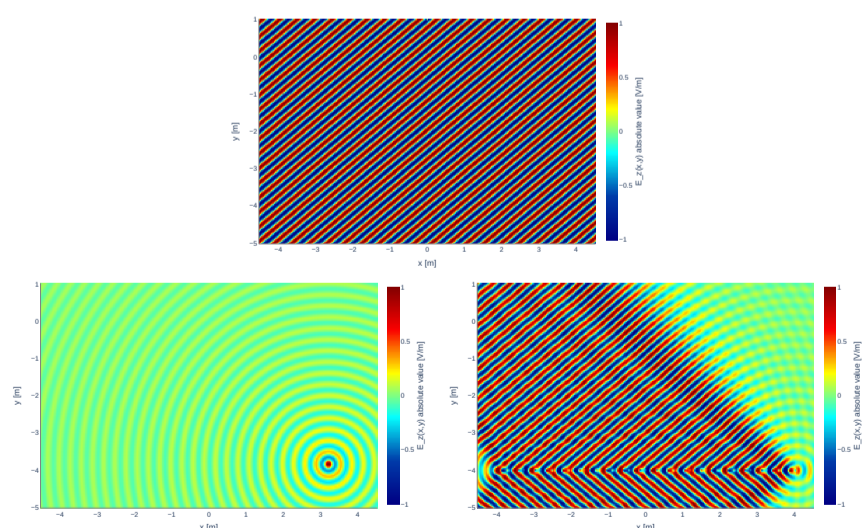


Figure 3:  $\text{Re}\{E_z(x, y)\}$  field of a  $130^\circ$  incident plane wave and two approximations of it made by point sources