

EMC és rádiófrekvenciás kutatási, fejlesztési és oktatási tevékenység a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosság Tanszékén

Nagy Lajos*, Kovács György**, Szűcs László***, Rieger István***

*tanszékvezető, BME Szélessávú Hírközlés és Villamosság Tanszék
Budapest, Egry József u. 18, (e-mail: nagy@mht.bme.hu)

**egyetemi hallgató, Bosch gyakornok

*** BME Szélessávú Hírközlés és Villamosság Tanszék
Budapest, Egry József u. 18,

Összefoglaló: Az előadás összefoglalja a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosság Tanszékén (HVT) folyó EMC és rádiófrekvenciás kutatási, fejlesztési és oktatási tevékenységet, mely a Robert Bosch Hungary és a tanszék kooperációjában valósul meg. A fő cél az együttműködés kiemelt területeinek bemutatása két kutatási példán keresztül: egy nagyáramú és nagyfrekvenciás mérések támogatására kialakított előfeszítő áramkör és egy rádiófrekvenciás adatgyűjtő rendszer hatékonyságát növelő antenna és előerősítő áramkör. A tanszék kutatási területeinek eredményeit az oktatásban is bevezetjük és a Robert Bosch Hungary kooperációjában a mikrohullámú technika és radarok területén speciális kurzus előkészítése folyik a vállalat mérnökeinek szakmai továbbképzésére, melynek további eredménye lehet a rendszeresre tervezett konzultációkon felmerülő szakmai kérdések közösen kidolgozott megoldása.

1. BEVEZETÉS

Az elektromos berendezések összeférhetlensége az elektronika kezdeti fejlődési szakaszától jelentős problémakört képviselt. A rádiós interferencia problémák megoldására alakult meg 1934-ben a CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), mely napjainkban is az irányadó szabványok és rendelkezések kidolgozója az elektromágneses zavarkibocsátásra témakörében. Az elektronikai fejlődéssel a frekvencia-spektrum kihasználtsága nőtt, a spektrum egyes részei telítődtek. 1979-ben az FCC (Federal Communications Commission) a CISPR irányelveit figyelembe véve adta ki a digitális rendszerek zavarkibocsátására, azaz emissziójára vonatkozó korlátozását. Napjaink rohamos fejlődésével az eszközök elektromágneses kompatibilitása meghatározó tényezővé vált, így a gyártóknak már a tervezés korai szakaszában szükséges ezek figyelembe vétele.

Az elektronikai alkatrészek tulajdonságai az üzemi működés alatt megváltozhatnak, ennek tipikus példája egy mágneses anyag telítése, ekkor hirtelen lecsökken az induktivitása, vagy egy nagykapacitású kerámiakondenzátor kapacitáscsökkenése a hosszú DC terhelés alatt. Teljesítményelektronikai áramkörökben, ahol nagy áramok is folyhatnak, különösen fontos, hogy ismerjük az alkatrészek, mint szűrők tulajdonságait. Néhány MHz-ig és 50 Amperig már rendelkezésre állnak mérési elrendezések, az előlotti EMC-releváns frekvenciatartományban, ill. nagyobb áramterhelhetőségre azonban nincsenek elterjedt megoldások.

A tanszéki egyik fejlesztés célja egy olyan mérési elrendezés felépítése, mely tartalmaz egy, az adott szűrőelem (méréndő,

minta, DUT, tesztelt eszköz) üzemszerű működését modellező nagyáramú utat és a nagy frekvenciás mérőutat. A cikkben ezen előfeszítő áramkör felépítését és főbb jellemzőit mutatjuk be.

Napjainkra a vezetékes adattovábbítás, adatgyűjtés mellett egyre szélesebb körben alkalmazzák a vezeték nélküli, rádiófrekvenciás adattovábbítást rövid szakaszok esetén is, különösen pont-többpont felépítésű hálózatok esetén. A tanszék másik bemutatott területe a rádiófrekvenciás adatgyűjtő rendszer hatékonyságát növelő antenna és előerősítő áramkör bemutatása.

A tanszéki hardver tevékenységet színvonalát jelentősen emeli a közelmúltban felépített antenna és EMC mérőszoba, mely a tanszék rádiófrekvenciás fejlesztési és kutatási tevékenységét támogatja. A cikkben a mérőszoba főbb paramétereit ismertetjük.

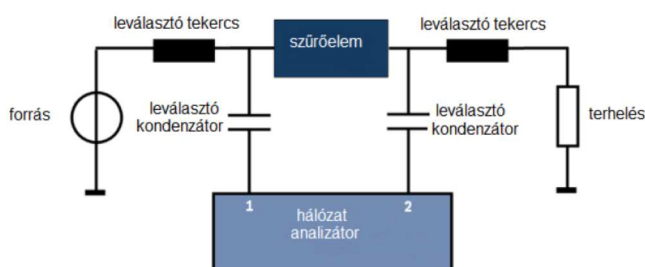
A tanszék kutatási területeinek eredményeit az oktatásban is bevezetjük és a Robert Bosch Hungary kooperációjában a mikrohullámú technika és radarok területén speciális kurzus előkészítése folyik a vállalat mérnökeinek szakmai továbbképzésére. A kurzus elindításával bizakodunk, hogy a tanszék és a Robert Bosch Hungary szakmai kapcsolata tovább erősíthető.

2. ELŐFESZÍTŐ ÁRAMKÖR NAGYÁRAMÚ ÉS NAGYFREKVENCIÁS MÉRÉSEK TÁMOGATÁSÁRA

Az elektronikai alkatrészek tulajdonságai az üzemi működés alatt megváltozhatnak (DC előfeszítés alatt), melyre tipikus példa, amikor egy mágneses anyag telítésbe kerül, hirtelen lecsökken az induktivitása, vagy egy nagykapacitású kerámiakondenzátor kapacitáscsökkenése a hosszú DC

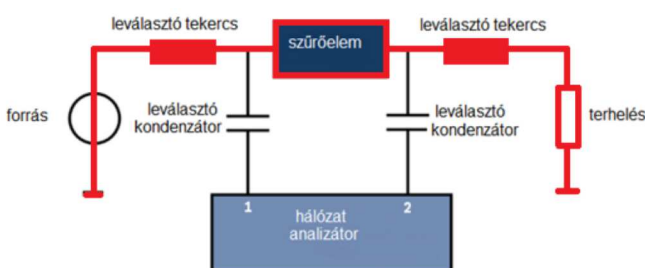
terhelés alatt. Teljesítményelektronikai áramkörökben, ahol nagy áramok is folyhatnak, különösen fontos, hogy ismerjük az alkatrészek, mint szűrők tulajdonságait. Néhány MHz-ig és 50 Amperig már rendelkezésre állnak mérési elrendezések, az előtíti EMC-releváns frekvenciatartományban, ill. nagyobb áramterhelhetőségre azonban nincsenek elterjedt megoldások.

A kutatás célja egy olyan mérési elrendezés felépítése, mely tartalmaz egy, az adott szűrőelem (méréndő, minta, DUT, testelt eszköz) üzemszerű működését modellező nagyáramú utat és a nagy frekvenciás mérőutat.

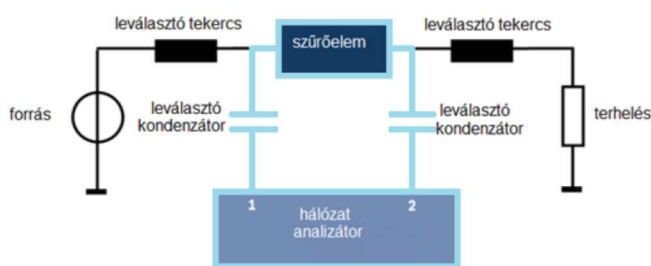


1. ábra Mérési elrendezés a táplálással, terheléssel és a vizsgált eszközzel (DUT, szűrőelem)

A nagyáramú út tartalmazza a forrást, a leválasztó tekercsokat, a méréndő szűrőelemet és a lezárást. (2 és 3 ábra)

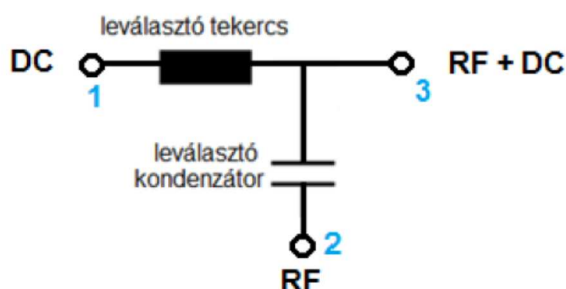


2. ábra Nagyáramú mérőút



3. ábra Nagyfrekvenciás mérőút

A leválasztó tekercs és a leválasztó kondenzátor ily módon egy speciális tápláló áramkört (Bias-T) valósít meg (4 ábra). A Bias-T egy háromportos eszköz, egyik portja DC, másik RF, harmadik RF + DC.



4. ábra A Bias-T áramkör

A Bias-T feladata kettős. A leválasztó kondenzátornak széles frekvenciatartományban jól kell leválasztania az egyenfeszültséget, mert a nagyfrekvenciás műszer bemenete érzékeny, ezért nem megfelelő leválasztás esetén tönkremehet. Másrészt nem szeretnénk, ha a nagyfrekvenciás mérőútból jel szivárogná a nagyáramú útba, ezzel megzavarva a forrást vagy a terhelést, ill. lerontva saját mérésünk hitelességét, ezért a tekercsnek megfelelően kell szűrnie a nagyfrekvenciás komponenseket.

A Bias-T áramkör leválasztó tekercsének elkészítése a legkritikusabb a működés szempontjából, mivel széles frekvenciasávban kell jelentős impedanciát mutatnia. A frekvenciatartomány kiterjesztésére kúpos kivitelű tekercset fejlesztettünk. (5 és 6 ábra)



5. ábra Kúpos kivitelű kísérleti tekercsek



6. ábra Kúpos kivitelű kísérleti tekercsek a frekvenciatartomány kiterjesztésére

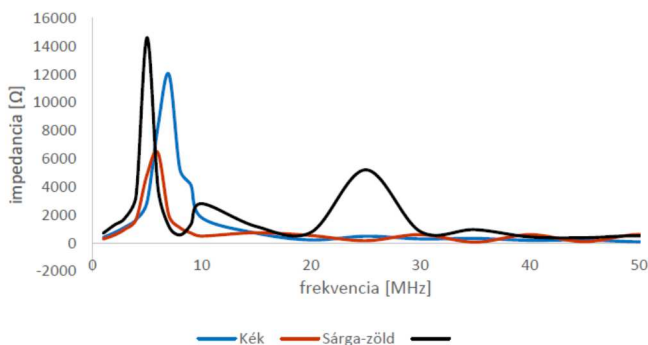
A tekercsokat a tesztelés során részletesen megvizsgáltuk a működési frekvenciatartományra, rövid- és hosszúidejű áramterhelési képességre. A 7. ábrán az impedancia mérését

látjuk egyenáramú gerjesztés mellett. (HP impedancia mérő és tápegység)



7. ábra A Bias-T tekercsének mérése

A mérési sorozat eredményei közül a 8. ábrán az 5. ábrán látható tekercsek impedancia mérésének eredményeit mutatjuk be.



8. ábra Tekercsek impedanciája

A kutatás eredményeként 100MHz frekvenciáig hatékony előfeszítő áramkört valósítottunk meg, mely 100-200A rövid idejű egyenáramú táplálásra képes.

3. VEZETÉK NÉLKÜLI ADATGYŰJTŐ RENDSZER RÁDIÓS ELEMEI

Napjainkra a vezetékes adattovábbítás, adatgyűjtés mellett egyre szélesebb körben alkalmazzák a vezeték nélküli, rádiófrekvenciás adattovábbítást rövid szakaszok esetén is, különösen pont-többpont felépítésű hálózatok esetén. A tanszék ezen bemutatott területe a rádiófrekvenciás adatgyűjtő rendszer hatékonyságát növelő antenna és előerősítő áramkör bemutatása. Ezeket a rádiós adatgyűjtő rendszereket széleskörűen alkalmazzák az egyszerű gépjárművek egyszerű szenzoros adatainak továbbításától (nyomásadatok, hőmérsékletadatok gyűjtése) a vezérlési, szabályozási beavatkozók irányába.

Ipari folyamatirányítási vagy lakossági felhasználás lehet ipari folyamatok szenzor adatainak gyűjtése, vagy közműhálózati

adatok (víz, gáz fogyasztásmérők) gyűjtése mobil rádiós adatgyűjtő eszközök alkalmazásával. Ekkor a vezeték nélküli rendszerek előnyei : a hálózat kiépítési költségeinek csökkentése, az operatív költségek csökkenése és a leolvasó személyzet hatékonyabb foglalkoztatása, könnyebb hozzáférhetőség a leolvasott információkhoz, a kézi leolvasás hibáinak kiküszöbölése, a meglévő IT- infrastruktúrába való könnyű integrálhatósága.

A vezeték nélküli adatátviteli rendszereket leggyakrabban ISM sávú frekvencián üzemeltetik (ISM-sávok (Industrial, Scientific, Medical) az ipari, tudományos és orvosi célokra engedélyezett frekvenciasávok, melyek frekvenciaengedély nélkül használhatók az előírt paraméterek: effektív kisugárzott adóteljesítmény, kitöltési tényező, sávzélesség betartásával. Európában pl. a 433 és 869 MHz frekvenciasáv.), ahol azonban a szabad felhasználás következtében bizonyos területeken jelentős interferenciát kell a rádiós rendszereknek tolerálniuk.

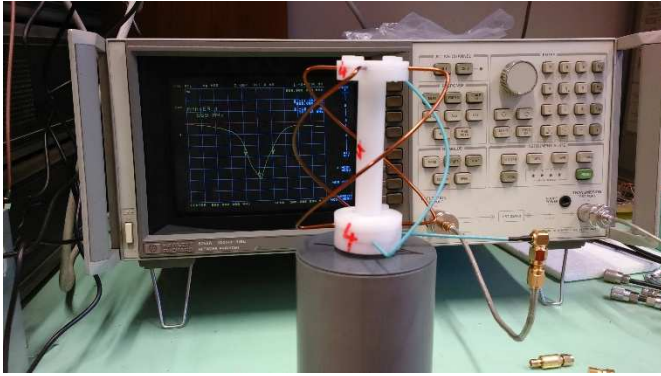
A tanszéken ISM sávú rádiós adatgyűjtő rendszerekhez fejlesztettünk – egyirányú rádiós kapcsolatú rendszerhez a vételi oldalra – antennát és kis zajú előerősítőt (LNA).

Az előzetes mérések és elektromágneses vizsgálatok során igazoltuk, hogy a rádiós adatgyűjtés adatátviteli sebességét két tényező korlátozza elsősorban. Ezek egyrészt az összetett rádiós terjedési környezetben bekövetkező polarizáció változás, másrészt az ipari rádiós modul korlátozott érzékenysége. A polarizációs probléma megoldására a vételi oldalon körös polarizációjú quadrafilar (QFA) vevőantennát alkalmaztunk, a rádiós modul érzékenységét pedig LNA alkalmazásával egészítettük ki, ezzel jelentős jel/zaj viszony növekedést elérve.

A quadrafilar antennát a hélix antennák családjába sorolhatjuk, bár alapvető eltérés a megszokott 8-10 menetes megvalósítástól, hogy nem a haladó hullámok elvén működik. A quadrafilar 1/4; 1/2; 3/4 vagy 1 menetű négybekezdésű, 1/4; 1/2; 3/4 vagy 1 hullámhossz lineáris méretű vezetőkől álló antenna.

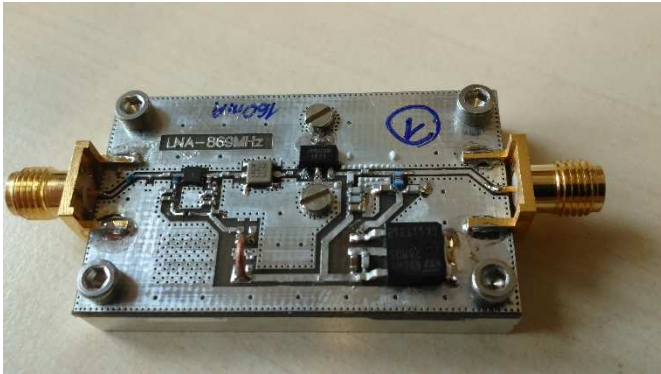
A két szemben elhelyezkedő vezető egy-egy bifiláris hurkot alkot, melynek teljes kerülete legyen hullámhossz lineáris méretű. Ezen hurkok körösen polarizált elektromágneses tulajdonságúak, toroid alakú iránykarakterisztikával. Az ortogonális hurkokat 90 fokos fázistolással táplálva az antenna sugárzási tere ugyancsak körös polarizációjú, az iránykarakterisztika pedig forgáskardoid alakú. Az antenna részletes analízise és az iránykarakterisztika vizsgálata (Kapor, 1982) cikkében található.

A 9. ábrán a megvalósított antennát láthatjuk a tápláló koaxiális vonallal és a bemeneti impedancia méréséhez alkalmazott vector hálózatanalizátorral. A 9. ábrán a műszer a bemeneti reflexiót ábrázolja a vizsgálati frekvencia függvényében és az antenna rezonáns jellege jól látható.



9. ábra QFA antenna és mérése

A kis zajú előerősítőt két oldalas nyomtatott áramköri lemezen valósítottuk meg. A 10. ábrán érdemes kiemelni az összefüggő földfelületeket, a be- és kimeneti illesztett tápvonalszakaszokat és az átföldeléseket (via).



10. ábra LNA áramkör



12. ábra QFA antennák és LNA áramkörök

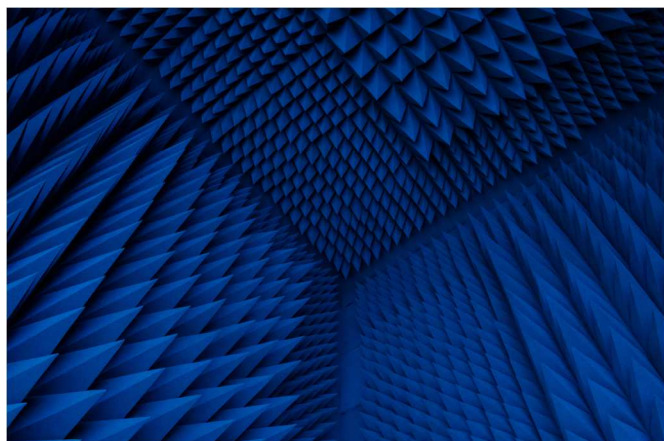
A 12. ábrán látható QFA antennák és LNA áramkörök a tesztek alapján az adatgyűjtési idő jelentős csökkentését (3 órától 1-2 percre) teszik lehetővé a jel/zaj viszony növelésével.



11. ábra LNA áramkör erősítése

4. EMC ÉS ANTENNA MÉRŐSZOBA

Tanszékünkön a 2014-re készült el jelentős BME Kari támogatással egy árnyékolt, reflexiómentesített mérőszoba (13. ábra). Az elmúlt évtizedekben is már széles körben végzett antennás, hullámterjedési és EMC méréseket itt a korábbiaknál jelentősen jobb műszaki feltételek között tudjuk folytatni. A mérőhelyen tartott antennás és EMC-s hallgatói laboratóriumi mérések mellett jelentős hányadot képviselnek a kutatási, kutatás-fejlesztési és egyéb (részben „külsős”) feladatok.



13. ábra. A reflexiómentesített és árnyékolt mérőszoba burkolata



14. ábra. Az árnyékolt mérőszoba burkolata

4.1 A mérőszoba jellemzői

A mérőszoba főbb geometriai és elektromos jellemzőjét az 1. Táblázatban mutatjuk be.

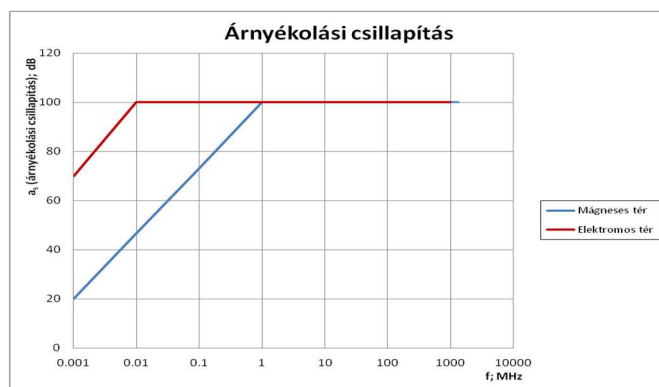
1. Táblázat A mérőszoba paraméterei

A szoba bruttó mérete (árnyékolás), Sz x H x M:	5.4 x 7.1 x 5.58 m ³
Hely a reflexiómentesítő burkolaton belül:	4.15 x 5.52 x 3.95 m ³
Ajtó mérete	Sz x M: 1 x 2.1 m ²
Energiaellátás:	230 V/50 Hz, 3 x 32 A
Hálózati zavarcsökkentő csillapítása 14 kHz és 10 GHz között	>100 dB
Árnyékolási csillapítás:	15. ábra szerint
Reflexiómentesítő burkolat reflexiótényezője:	16. ábra, 2. táblázat szerint
Reflexiómentesítő burkolat névleges táblamérete	500 x 500 mm ²
Burkolat RF teljesítménytűrése:	minimum 500 W/m ²
Burkolat tűzállósága:	NRL 8093 – 1, 2, 3 riport (1977) szerint

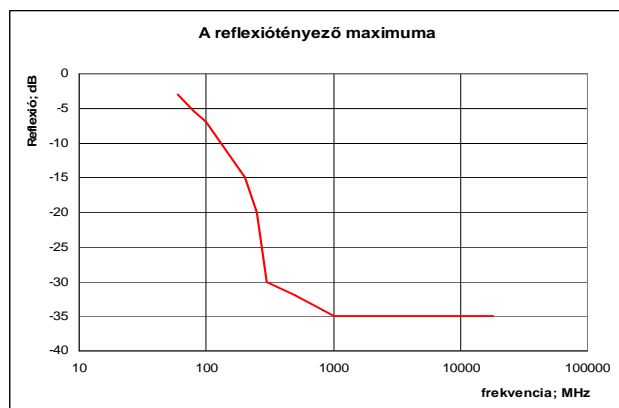
A mérőhely árnyékolása – amint a 14. ábrán látható - horganyzott vaslemezből, bádogos technikával, korcolással és folytonos forrasztással készült, Ezen belül épült egy önhordó tartószerkezet, ennek borítására kerültek a reflexiómentesítő táblák.

Az árnyékolás folytonosságát biztosítandó egy speciális, kettős kése érintkezős ajtó került beépítésre. A gyári specifikációja illeszkedik a burkolat többi részének árnyékolási csillapításához

A reflexiómentesítést gúlas abszorberek biztosítják. A fal, padló és mennyezet felületének nagyobbik részét 500 mm vastag anyag borítja (ennek reflexióját mutatja a 16. ábra), a kevésbé kritikus felszíneken 300 mm-es anyagot helyeztünk el. Az abszorberek nem ragasztással, hanem egy sínes rendszer révén levehető módon, át konfigurálhatóan kerültek elhelyezésre.



15. ábra A mérőszoba árnyékolási csillapítása



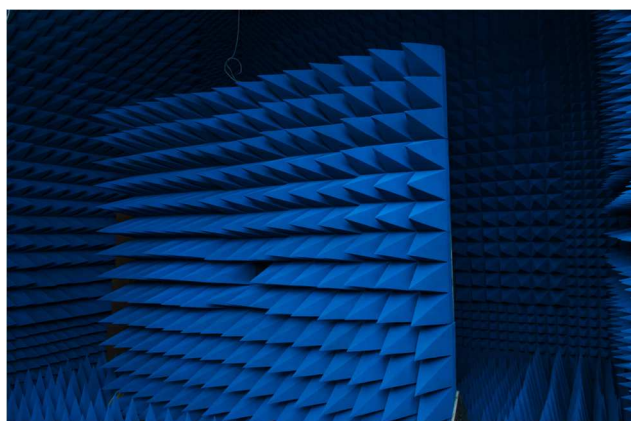
16. ábra A reflexiómentesítés reflexiótényezője

2. Táblázat A reflexiótényező maximális romlása a merőlegeshez képest mért beesési szög függvényében

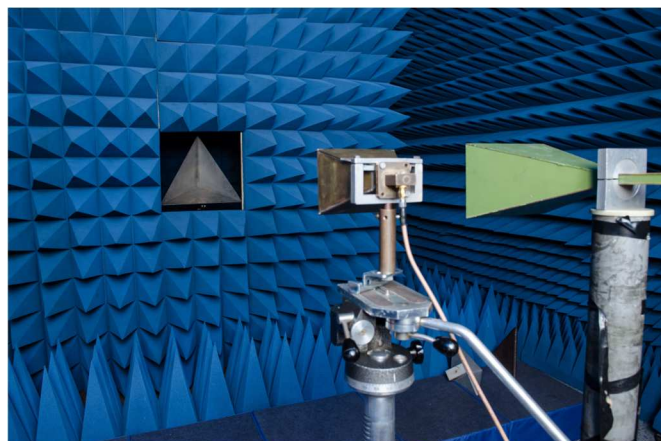
Beesési szög; °	30	50	60	70
First	0.6	1.2	2	4

A szobában csendes zóna mérés még nem történt, de szerepel a közeli jövő tervei között.

Nemrég építettünk egy elbontható paravánt a mérőszoba hossz tengelyének felénél – reflexiómentesítő anyaggal burkolva, közepén egy változtatható méretű nyílással. Ez véges felületű anyagminták rádióhullámokkal szemben mutatott átviteli csillapításának mérésekor megakadályozza, hogy a minta szélein ébredő diffrakciók, a mintát megkerülő rádióhullámok meghamisítsák a csillapításmérés eredményét. Álcázóanyagok, abszorber minták, vagy pl. metaanyagok vizsgálatakor növelhető így jelentősen a mérési pontosság. Ugyancsak jó szolgálatot tesz, ha céltárgyak (pl. sarokreflektor) reflexióis tulajdonságainak mérése során a mintát tartó állvány reflexióit szándékozunk kiküszöbölni. (17-18 ábra)



17. ábra Paraván reflexió mérések elvégzésére



18. ábra Trihedrális sarokreflektor tesztje

5. ÖSSZEFOGLALÓ

A cikkben bemutatott két kutatás-fejlesztési terület ízelítőt ad és röviden összefoglalja az elmúlt időszakban a Robert Bosch Hungary kooperációban folytatott tanszéki tevékenység egy részét. A tanszék kutatási területeinek eredményeit az oktatásban is bevezetjük, a Robert Bosch Hungary kooperációban mikrohullámú technika és radarok területén speciális kurzus keretein belül. Ennek folytatásaként a rendszeres tervezett konzultációkon kívánunk a felmerülő szakmai kérdésekre közösen kidolgozott megoldásokat adni.

IRODALOMJEGYZÉK

- Balanis, Constantine A. (2012). Advanced Engineering Electromagnetics, Wiley, ISBN: 978-0-470-58948-9,
Bosch Automotive Handbook, Bentley Publishers, 7th edition, 2007
Nagy, Lajos (2008). Material Parameter Measurements for Microwave Antireflection Coating Development, ACTIVE AND PASSIVE ELECTRONIC COMPONENTS (ISSN: 0882-7516) 2008: pp. 1-6.
Kapor, József (1982). Rezonáns quadrafilar antenna, Híradástechnika, XXXIII. Évfolyam, 2. szám
Saunders, Simon; Aragón-Zavala, Alejandro (2007). Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Wiley, ISBN: 9780470848791
Valcarce, Alvaro; De La Roche, Guillaume; Nagy, Lajos, Wagen, J-F; Gorce, Jean-Marie (2011). A new trend in propagation prediction, Vehicular Technology Magazine, IEEE, 2011, pp. 73-81
Williams, Tim (2007). EMC for product designers, Fourth Edition, Newnes, ISBN: 9780080469546