



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

A BOSCH Body Computerek vizsgálata EMC szkennelvel

DIPLOMATERV

Készítette
Horváth Ákos

Belső konzulens
Orosz György

Külső konzulens
Kerekes Sándor

2012. május 10.

Tartalomjegyzék

Kivonat	4
Abstract	5
Bevezető	6
1. A Bosch és a Body Computerek	8
1.1. Vállalati információk	8
1.2. A Body Computerek általános bemutatása	10
2. Az autóipar és az EMC kapcsolata	14
2.1. EMC alapfogalmak	14
2.2. Az EMC és az autóelektronika kapcsolata	18
2.2.1. Vezetett zavarok a gépjárművekben	19
2.2.2. Sugárzott zavarok az autóiparban	20
2.2.3. Sugárzott zavarokkal szembeni érzékenység	21
2.3. EMC szabványok	22
2.4. EMC szabványok az autóiparban	24
3. Autóipari EMC mérések	26
3.1. Emisszió és immunitás mérése az autóiparban	26
3.2. Vezetett zavar emisszió mérése általában és a Body Computerek esetében	27
3.3. A Surface-scan eljárás	34
4. A mérési összeállítás	36
4.1. A mérés blokkvázlata	36
4.2. Pozicionáló asztal	37
4.3. Elektromos és mágneses szondák	38
4.4. Előerősítő	41
4.5. PC és mérő szoftver	41
5. Body Computer terének mérése	45
5.1. Közeltéri mérések	45
5.2. Közeltér-távoltér transzformáció	47

6. Zavarforrások azonosítása	50
6.1. Az NI LabView rövid bemutatása	50
6.2. Szoftver specifikáció	52
6.2.1. A projekt leírása	52
6.2.2. Használati esetek	52
6.2.3. Algoritmus	52
6.3. Implementáció	55
6.3.1. Szoftverstruktúra	55
6.3.2. Mérési adatok betöltése	56
6.3.3. PCB terv betöltése	59
6.3.4. Zavarforrások azonosítása	63
7. Összefoglalás, továbbfejlesztési lehetőségek	70
Irodalomjegyzék	71
Ábrajegyzék	73
Táblázatjegyzék	75

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Horváth Ákos*, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2012. május 10.

Horváth Ákos
hallgató

Kivonat

Autóipari vezérlők fejlesztése során gyakran merülnek fel elektromágneses kompatibilitási problémák, melyek megoldása a probléma forrásának beazonosításából, áttervezésből és a tesztelés megismétléséből áll. A vezérlő kisugárzott terének meg kell felelnie a vevő specifikációjának és az autóipari általános EMC (Electromagnetic Compatibility) szabványoknak is. Az emittált tér felmérése szabványszerű méréssel időigényes folyamat, amely speciális eszközöket és tudást kíván meg.

A diplomaterv célja a zavarforrások beazonosítására gyors, és megfelelő kiinduló pontot biztosító eljárás kifejlesztése. Ez a vizsgálati mód nem helyettesíti a szabványszerű mérést, de a zavarforrások megtalálását felgyorsíthatja. Bemutatásra kerül egy köztéri mérési összeállítás, amely a sugárzó vezérlő terének letapogatását valósítja meg. Az előálló emissziós kép és a vezérlő standard formátumú layout leírásának segítségével szoftveresen előállítható a sugárzó alkatrészek listája. A diplomaterv bemutat egy konkrét mérési összeállítást és egy LabView-ban megvalósított eljárást, amely képes az EMC szempontból problémás alkatrészek megtalálására.

Abstract

Electromagnetic compatibility problems typically arise during development of automotive electronics. Solution of these kinds of problems consists of three steps: identification of the source, design review, and repetitive test measurements. The emitted field of any electrical control unit has to comply with the customer requirements and the automotive electromagnetic compatibility standards. EMC measurements are time-consuming and require special tools and specific knowledge.

Scope of this thesis is to present a development method which provides an adequate starting-point to find electromagnetic interference sources. The proposed method does not substitute the standard-wise performed measurement, but it can help with finding the emitting sources. A near-field measurement setup is introduced, which can perform electromagnetic emission measurements of electrical devices. Using the recorded emission data and a standardized description of the actual layout, it is possible to determine sources of emission. This document presents a particular measurement setup and a Labview-based application, which is capable of finding problematic parts regarding electromagnetic compatibility.

Bevezető

Az elektronikai iparban lezajlott fejlődés hatására a mai elektronikus eszközeink méretükben alul-, funkcionalitásban illetve komplexitásban jóval felülmúlják elődeiket. Ezen folyamatok hatásai közé tartozik az árcsökkenés és a vezeték nélküli megoldások elterjedése is. Az eszközök megváltozása miatt az elektromos zavarokkal szembeni toleranciájuk is változott. A gyorsabb működési sebességek és a továbbított jelek frekvenciájának növekedése miatt egy ilyen eszköz maga is elektromágneses emisszió forrásává válhat. Ezen szempontok miatt a tervezés során is a változásoknak megfelelő szemlélettel szükséges vizsgálni például egy jelintegritási vagy elektromágneses kompatibilitási problémát.

Az elektronikus eszközök száma az autóiiparban is folyamatosan növekszik, manapság több száz elektromos berendezés található egy átlagos felszereltségű gépjárműben is. Az úgynevezett ECU-k (Electronic Control Unit) az utasok kényelmét és biztonságát szolgálják. Az autóiiparban ezek tipikusan beágyazott rendszerek formájában jelennek meg. Mind funkcionális, mind biztonsági szempontokból elengedhetetlen, hogy ezek a rendszerek egymás- illetve külső egységek zavarása nélkül, továbbá külső hatásokra megfelelő ellenállást tanúsítva működjenek. Ezen képességeket szabványokban rögzített módon és megfelelő eszközök használatával kell ellenőrizni a gyártóknak. Mivel az autóiipari termékeken emberélet is múlhat, ezért szigorú előírások határozzák meg, hogy mikor bocsájtható egy ilyen termék tömeggyártásba. Az autóiipari beágyazott rendszerek komplexitásuk miatt a gyártásba kerülés előtt számtalan teszten esnek át. Egy autóiipari vezérlőnek összeférhetőnek kell lennie a többi autóban található elektromos rendszerrel, ami azt jelenti, hogy bizonyos mértékig ellenállást kell tanúsítania külső elektromágneses zavarok ellen, illetve a saját zavarkibocsájtását is meghatározott limit alatt kell tartani. Ezen képesség felmérésére szolgálnak az EMC tesztek, melyek a szabványok betartásával hosszadalmas és költséges eljárások. A vezérlő kisugárzott terének mérése során azt vizsgálják, hogy a kibocsájtott zaj a spektrum egyes részein megadott határértékeket átlépi vagy nem. Amennyiben probléma lép fel, a következő lépésben az emisszió forrását kell megtalálni. Erre vonatkozólag azonban a szabvány szerinti emisszió mérés nem ad információt.

A zavarforrás lokalizálására egy lehetséges módszer a vezérlő felületén a térerősség értékek letapogatása, és az így nyert színeképből következtetni az emisszió forrására a panelterv alapján. Ez az eljárás gyorsnak mondható, azonban ezzel a módszerrel a vezérlő közelteréről kapunk információt, míg a szabvány szerinti mérés során a vezérlő távolterét vizsgáljuk. Általánosan elmondható a fejlesztés során, hogy egy változást minél előrehaladottabb stádiumban kell alkalmaznunk, annál költségesebb a módosítás. Idő- és költségtakarékossági

szempontokból fontos tehát a zavarforrások mielőbbi beazonosítása. A felületi szkennelés módszerével mindez lehetséges.

A dolgozat egy zavarforrás-azonosító eljárást tárgyal, amely specifikusan egy - a BOSCH által gyártott - fedélzeti vezérlőhöz készült. A teljes eljárás több lépést tartalmaz, melyek EMC specifikus szaktudás nélkül is végrehajthatók, továbbá felgyorsítja a hardverfejlesztés menetét, mivel a zavarforrások megtalálása automatizálttá válik. Adott eszközkészlettel felvett emissziós térképet konvertálás után átadva egy szoftver modulnak, utóbbi elvégzi a beállított limit érték felett sugárzó komponensek beazonosítását egy layout fájl alapján. A szoftver célja tehát a megfelelő formátumú bemenő adatok biztosítását követően egy alkatrész, vagy alkatrész csoport megnevezése, mint EMC zavarforrás, illetve nem célja vezetősávok vizsgálata. Az alkalmazás felületén beállítható egy limit érték, amelyet a felhasználó ad meg. A program ezt követően csak a megadott limit felett sugárzó elemeket keresi ki. Az eredmények szemléltetésére, illetve a könnyebb használhatóság érdekében az alkalmazás a felhasználói felületen különböző elemekkel segíti a megértést. A szoftver implementálása a virtuális műszerezést alkalmazó LabView fejlesztői környezetben történt.

A diplomaterv második, harmadik és negyedik fejezete bemutatja a Body Computereket, az autóipar és az EMC kapcsolatát, valamint részletesen leírja az egyes EMC mérések típusait. Az alkalmazott mérőrendszert az ötödik fejezet írja le, egyenként bemutatva a felhasznált komponenseket. Az ismertetett összeállítással mért eredményeket a hatodik fejezet tárgyalja, végül a hetedik írja le az elkészült szoftvert, bemutatva a fejlesztőkörnyezetet és az implementáció részleteit. A dolgozat célja a témakör általános összefoglalása után bemutatni a megtervezett eljárást, illetve az ennek részeként elkészített szoftver modult.

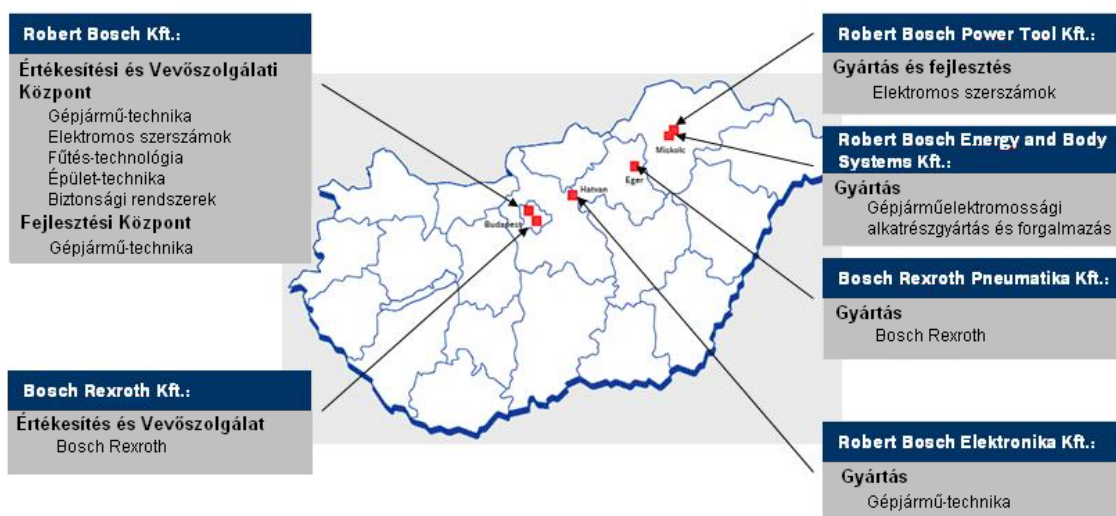
1. fejezet

A Bosch és a Body Computerek

1.1. Vállalati információk

Az diplomatervezés során munkámat a Robert Bosch Kft. budapesti fejlesztő központjában végeztem. Itt többek között az autóiipari üzletág fejlesztési osztálya található, ezen belül a fedélzeti számítógép (Body Computer) fejlesztési osztályon volt lehetőségem dolgozni.

A vállalatot 1886-ban Robert Bosch (1861-1942) "Finommechanikai és Elektrotechnikai Műhelyként" alapította Stuttgartban [4,6]. Néhány évvel később pedig megnyitotta az első értékesítési irodáit Londonban és Párizsban. Mára már a Bosch csoport a Robert Bosch GmbH-t és annak 60 országban közel 350 leány- és regionális vállalatát fogja át. A Bosch csoport a gépjármű- és ipari technológia, fogyasztási cikkek és épület-technológia piacvezető nemzetközi gyártója. Jellemző rá a kutatásfejlesztésre fektetett hangsúly, melyet például az is igazol, hogy a 2010-es év folyamán összesen 3800 új találmányt jegyeztetett be a világ szabadalmi hivatalaiban, és kutatási-fejlesztési célokra összesen 3,8 milliárd Eurót költött. 2011-ben alapításának 125. évfordulóját, valamint az alapító 150. születésnapját ünnepelte a vállalat.



1.1. ábra. A Robert Bosch kft. Magyarországon

A Bosch 1899 óta van jelen Magyarországon. Az 1991-ben újjáalapított regionális ke-

reszkedelmi kft-ből mára jelentős vállalatcsoport fejlődött ki. A Bosch csoporthoz tartozó vállalatok Budapesten több telephelyen, Hatvanban, Miskolcon, Egerben és Szigetszentmiklóson találhatók meg (1.1. ábra). A kereskedelmi üzletágak nemcsak Magyarország, hanem az Adria régió többi országának tevékenységét is koordinálják. 2000-ben jött létre, és azóta dinamikusan fejlődik a Budapesti Fejlesztési Központ, ahol jelenleg több, mint 600 fejlesztőmérnök dolgozik, és amely szoros kapcsolatot ápol a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemmel. A Budapesti Fejlesztési Központ a gépjármű-elektronikai vezérlőrendszerek fejlesztésével foglalkozik, hardver és szoftver vonatkozásban is. Már több éve folyik a tolató- és parkolóradarok fejlesztése, a tevékenységek modern fedélzeti eszközöket és multifunkcionális fedélzeti kijelzőket is érintenek. A Robert Bosch vállalatcsoport a következőkben felsorolt területeken érdekelt világszerte.

Gépjárműtechnika:

- Benzines és dízel rendszerek,
- Alvázrendszerek (fékek, kormányzás),
- Hajtás és karosszéria rendszerek,
- Autómultimédia,
- Autóelektronika,
- Autóipari-alkatrész kereskedelem,
- Kormányrendszerek,
- Bosch Mérnökség GmbH (Fejlesztési szolgáltatás).

Ipari berendezések:

- Automatizálás (Bosch Rexroth Kft) : Elektromos hajtások és vezérlések, hidraulika, lineáris- és szereléstechnika, pneumatika,
- Csomagolóstechnika: Csomagológépek és gyártósorok édesség-, élelmiszer -, és élvezeti cikkek gyártásához és a gyógyszeripar számára.

Fogyasztási cikkek és épületgépészet:

- Elektromos szerszámok: elektromos kézi szerszámok otthoni és ipari felhasználásra, tartozékok, kerti szerszámok,
- Fűtés-technológia: fűtési és melegítő berendezések, szabályozások és vezérlések,
- Háztartási berendezések: főzés, mosogatás, mosás, szárítás, hűtés, fagyasztás, padló ápolás, fogyasztási cikkek,
- Biztonsági rendszerek: tűz- és betörésjelző rendszerek, videós megfigyelő rendszerek, belépés-ellenőrző rendszerek.

A Bosch szervezetén belül 168,571 munkavállalóval az autóipar a legmeghatározóbb üzletág. Különböző autóiipari termékek előállítására 1898 óta zajlik a vállalatnál. A mágneses gyújtóberendezést további gépjárműhöz kötődő termékek követték, melyek folyamatos fejlesztésének eredményeként ma már autóiipari termékek széles skáláját fedik le a Bosch tevékenysége.

A legfontosabb termékek feltalálásuk sorrendjében a következők:

- 1902: Gyújtógyertya,
- 1913: Bosch autóiipari világítástechnika,
- 1932: Autórádió (Blaupunkt),
- 1936: Dízel befecskendező rendszer,
- 1976: Lambda szenzor,
- 1978: ABS (Anti-lock braking system),
- 1979: Elektronikus motorvezérlés,
- 1995: ESP (Electronic stability program),
- 2000: ACC (Adaptive Cruise Control).

1.2. A Body Computerek általános bemutatása

Munkám során egy jelenleg fejlesztés alatt álló body computer modul (BCM) EMC zavarforrásainak lokalizálása volt a cél, illetve ezen keresztül egy általánosított eljárás kifejlesztése hasonló célokra. A fejlesztő központ szervezetében az AE-BE/ENG2 csoport hardverfejlesztői részéhez tartoztam. A rövidítések jelzik az adott munkaterületet, mivel az AE (Automotive Electronics) az autóiipari elektronikára utal, ezen belül a BE (Body Electronics) jelöli az úgynevezett body elektronikai területet.

Mivel az autó mára az egyik legkomplexebb fogyasztási cikké vált, az autóelektronikával szembeni elvárások is megváltoztak a fejlődés során [7].

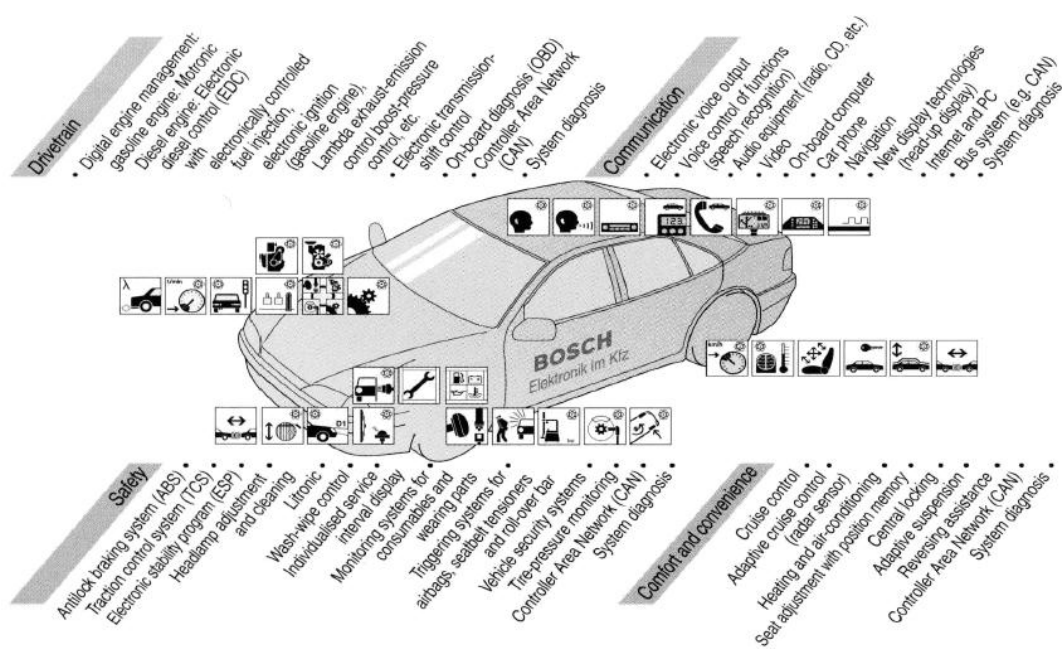
A legfontosabb elvárások:

- A legszélsőségesebb időjárási körülmények közötti megfelelő működés (széles hőmérséklet tartomány, páratartalom, rázkódási viszonyok) és szigorú elektromágneses kompatibilitási követelmények,
- Szigorú megbízhatóság és rendelkezésre állás,
- Szigorú biztonsági előírások teljesítése,
- Hosszú élettartam.

Az autó mechanikai és elektromos rendszereit feloszthatjuk a következők szerint (1.2. ábra):

- Powertrain system (erőátviteli rendszerek),
- Chassis system (futómű),
- Body system - comfort and convenience (fűtés, klíma, központi zár, visszapillantó tükör állítása, fűtése, ülés állítása),
- Body system - passive safety (légszákvezérlés),
- Multimedia (rádió, videó, telefon).

A fedélzeti vezérlők az úgynevezett body system funkciókat kontrollálják, például világítás vagy tisztító eszközök vezérlését.



1.2. ábra. Elektronikai rendszerek az autókban

Egy mai modern autóban akár 40-80 ECU (Electrical Control Unit) is található. Az autóban a BCM általában a motortérben vagy a jobb oldali első ülés lábterének közelében, ritkább esetben a gépjármű hátsó részében kapnak helyet (1.3. ábra).

Fizikai kivitelük viszonylag egységes, tipikus megoldások láthatók az 1.4. ábrán. Külső dobozokon található csatlakozók segítségével a Body Computerek CAN vagy LIN hálózaton kommunikálnak más ECU-kal, vagy szenzorokkal.

A fedélzeti vezérlő fő funkciói:

- Body perifériák működtetése (például első lámpák, törlő motorok),
- A vezető számára fontos szenzorok jeleinek feldolgozása (fékfolyadék, ablaktörlő-folyadék szintjének feldolgozását végző szenzor),
- Más ECU-kal való kommunikáció CAN és LIN vonalakon,
- Kényelmi funkciók vezérlése.

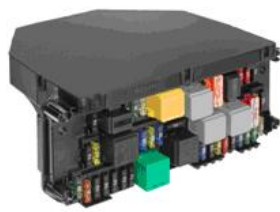


1.3. ábra. Fedélzeti vezérlők tipikus elhelyezése a gépjárműben



1.4. ábra. Különböző BCM konstrukciók

A Body Computerek nem vesznek részt a motor- vagy a váltóvezérlésben (drivetrain), kényelmi és biztonsági funkciókat vezérelnek. Ezek a funkciók tipikusan az úgynevezett bajszkapcsolókon vagy a középső konzolon érhetőek el. A BCM feladata a gépkocsi zárása és nyitása, a fűtés, esetleg ülésfűtés kezelése, valamint a belső világítás vezérlése is. Az egyre jobban elterjedő kulcsnélküli megoldások megjelenésével a fedélzeti vezérlő modul feladatai is bővültek. Az autó kártyával történő nyitáshoz, illetve záráshoz használt antenna megjelenhet az első szélvédő felső-középső részére felgőzölt fémcsikként, vagy a hátsó ablak fűtőszálai közé rejtve, illetve az ECU paneljébe épített PCB antennaként is. Felszereltségtől függően akár lámpatírást is magában foglalhatja a feladatkör. A tipikusan vezérelt funkciókat az 1.5. ábra foglalja össze.



Light	Access/ Terminal	Wiper/ Wash	Heating/ Climate	Others
		■		■
	■	■	■	■
	■	■	■	■

1.5. ábra. Fedélzeti vezérlő moduok által irányított gépjármű funkciók

2. fejezet

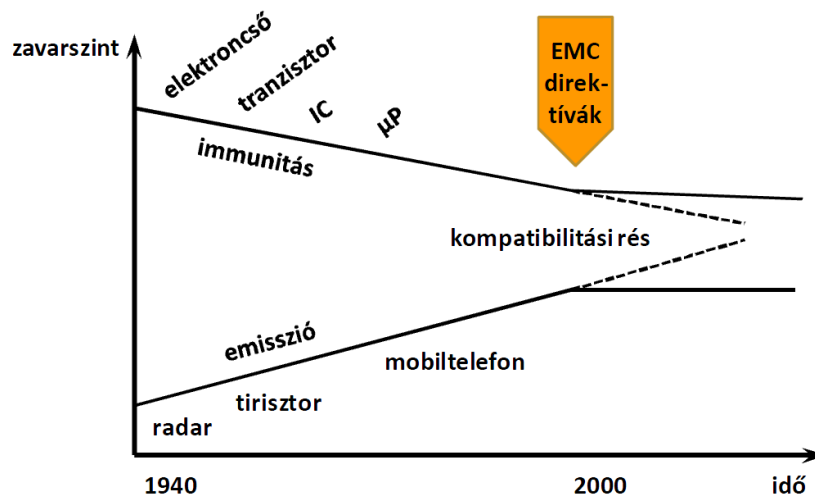
Az autóipar és az EMC kapcsolata

2.1. EMC alapfogalmak

Marconi 1901-ben valósította meg az első Transz-Atlanti rádió összeköttetést, majd az első cikkek a rádió interferenciáról az 1920-as években jelentek meg [2]. Az elektromos berendezések összeférhetlensége az 1930-as években már jelentős problémakört képviselt. 1934-ben alakult meg a CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), a rádiós interferencia problémák megoldására. Az 1950-es években megjelenő tranzisztorok, az 1960-as években megjelenő integrált áramkörök, és az 1970-es években megjelenő mikrokontrollerek újabb interferencia problémákat vetettek fel. A felsorolt események hatásaként a frekvencia-spektrum kihasználtsága nőtt, a spektrum egyes részei telítődtek, megjelent az úgynevezett elektromágneses szmog. 1979-ben az USA-ban székelő 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 különböző gyártóknak szükségük van egy közös nevezőre, olyan szabványokra és direktívákra, amelyekhez igazodhatnak az interferencia probléma megoldása érdekében.

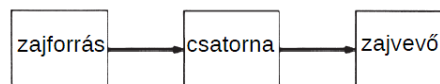
Az elektromágneses kompatibilitás egy elektromos eszköz azon tulajdonsága, hogy más berendezések zavaró hatásaitól függetlenül -bizonyos határokon belül- képes helyesen működni, illetve maga sem befolyásolja más rendszerek működését saját zavarkibocsátása által. A témakörre általában az angol elnevezésből származó EMC rövidítéssel hivatkoznak. Mivel az eszközök egyre kisebbek, ezért egyre közelebb kerülnek egymáshoz, az interferencia ilyen környezetben könnyebben lép fel. Ezen szempontok miatt az eszközöket úgy kell megtervezni, hogy viseljék el az elektromágneses zavarokat, és maguk se váljanak zavarforrássá mind alkatrész, mind modul szinten. Az emisszió és az immunitás oldaláról is meg kell felelnie az előírásoknak, minden elektromos eszköznek bele kell férnie az úgynevezett kompatibilitási résbe, az EMC-gap-be (2.1. ábra) [8,9].

Egy EMC probléma fennállásához szükséges egy zavarjelet kibocsátó forrás, egy zavarjelnyelő, valamint zavarjel terjedési út a forrástól a nyelőig. Probléma megoldás során a 3 elem bármelyikénél beavatkozhatunk. A zavarforrás zavar szintjének csökkentése, a csatolási út



2.1. ábra. Az úgynevezett EMC gap

csillapításának növelése, illetve a zavarvevő zavarjelekkel szembeni tűrőképességének növelése egyaránt a zavarás csökkentését eredményezi.



2.2. ábra. Az elektromágneses csatolás általános modellje

Az elektromos készülékek üzemszerű működés közben elektromágneses hullámokat bocsájtanak ki, amelyek a zavart készülékben feszültséget, áramot indukálhatnak. Zavarkibocsájtás gyakorlatilag bármely eszköznel előfordulhat, de ezek nem feltétlenül zavarják más készülékek működését. Néhány készülék által jellemzően előállított térerősség értéket mutat a 2.1. táblázat.

2.1. táblázat. Különböző zavarforrások térerőssége a távolság függvényében

Zavarforrás	Távolság	Térerősség
Műsorszóró adó	2 km	1 V/m
Mobil telefon, CB	5 m	10 V/m
Kézi rádiótelefon	1 m	0,1 - 1 V/m
Kézi rádiótelefon	0,1 m	1-30 V/m
Radar	1 km	100 V/m

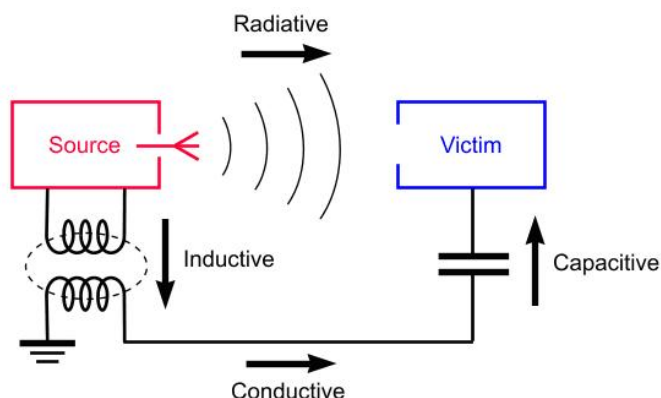
A zavarforrások főbb csoportjai a következők:

- Természetes eredetű zajok: villámcsapás, napszél, kozmikus háttérsugárzás,
- Ember által előállított zajok: elektromágneses elven működő készülékek üzemszerű vagy hibás működése során keletkező és a környezetbe kijutó jelek, például motorok indulása során keletkezett zajok, kapcsolási zajok, elektrosztatikus kisülés vagy ESD (Electrostatic Discharge) jelenségek.

A zavarjel bejuthat a zavart készülékbe a külvilággal kapcsolatot tartó vezetéken keresztül, vagy közvetlenül elektromágneses közel-, illetve távotér formájában. Az első esetben vezetett, a másodikban sugárzott zavarásról beszélünk.

A közvetítő közeg természete szerint a következő csoportokat különböztetjük meg (2.3. ábra):

- Sugárzás: ha a vezetők egymás távolterében helyezkednek el, akkor a csatolást sugárzott elektromágneses hullámok hozzák létre. Ebben a térrészben mind az elektromos, mind a mágneses térerősség a távolság reciprokéval arányosan változik, a zavarforrás és a megzavart berendezés antennarendszerként értendő.
- Vezetés: a hasznos jel és az elektromágneses zavar egy vonalon terjed.
- Galvanikus csatolás: galvanikus csatolás akkor jön létre, ha a jel, illetve a zavaráramok közös impedancián folynak. Ilyen lehet például a közös földvezető nem elhanyagolható impedanciája.
- Kapacitív csatolás: kapacitív csatolás az egymás mellett elhelyezett eszközök, vezeték között alakul ki. Ez a csatolási mód akkor jellemző, ha a csatolásba került berendezések kis áramokkal, de viszonylag nagy feszültségekkel működnek és ekvipotenciális felületnek tekinthetők, vagyis nagyságuk és távolságuk nem nagyobb a zavarjel hullámhosszának tizedénél. Ilyen zavarok léphetnek fel például nagyfeszültségű nagyfrekvenciás berendezések közelében elhelyezkedő vezetékben.
- Induktív csatolás: induktív csatolás az előző geometriai elrendezésben, de a nagy áramok esetén alakul ki. Ekkor az egyik áramkörben folyó áram mágneses tere áramot indukál a másik berendezésben. Ez a csatolási mód gyakran fellép például nagyteljesítményű kapcsolóüzemű tápegységek közelében.

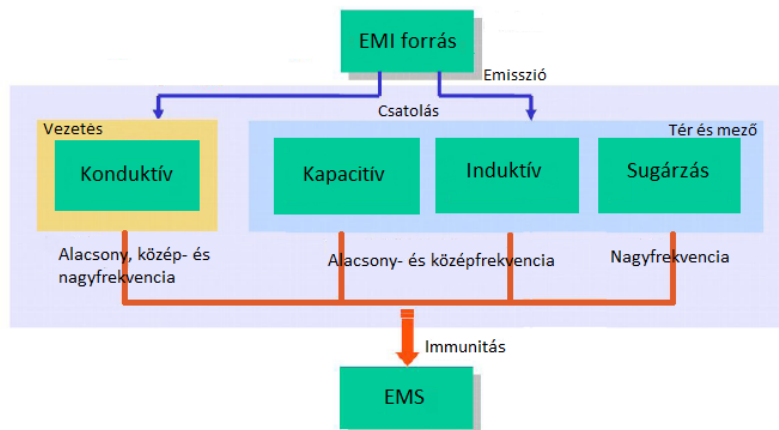


2.3. ábra. Elektromágneses zavarok különböző becsatolási módjai

A zavarvevők legfőbb csoportjai:

- Biológiai vevők (például ember vagy állat),
- Ember által előállított eredetű vevő (például ipari, orvosi vagy kommunikációs vevők).

A 2.4. ábra összefoglalva láthatók az EMC alapjelenségei. Az EMI (Electromagnetic Interference) zavaró elektromágneses energia terjedését jelenti sugárzással, csatolással vagy

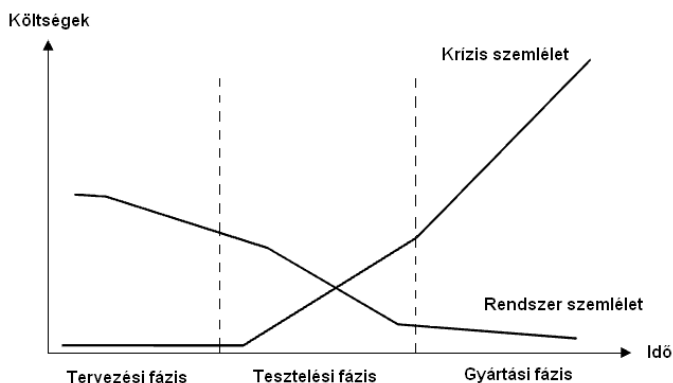


2.4. ábra. EMC alapjelenségek

vezetéssel. Egy rendszer vagy eszköz zavarhatóságát egy relatív értékkel, az immunitás hiányával jellemezzük, ez az EMS (Electromagnetic Susceptibility).

A tervezés szempontjából 2 szemléletet különböztetünk meg az EMC vonatkozásában:

- Krízis szemlélet: tervezés az EMC szempontok figyelembe vétele nélkül, későbbi tesztek során kiegészítés vagy módosítás a kényes helyeken. Ez az eljárás a költségeket jelentősen befolyásolhatja.
- Rendszer szemlélet: már a tervezés során EMC szempontok figyelembe vételével kerül kialakításra a rendszer, a későbbi tesztek során csak ellenőrzés szükséges. Az így tervezett rendszer tervezési költségei magasabbak lesznek ugyan, de a későbbi költségesebb változtatások így elkerülhetők.

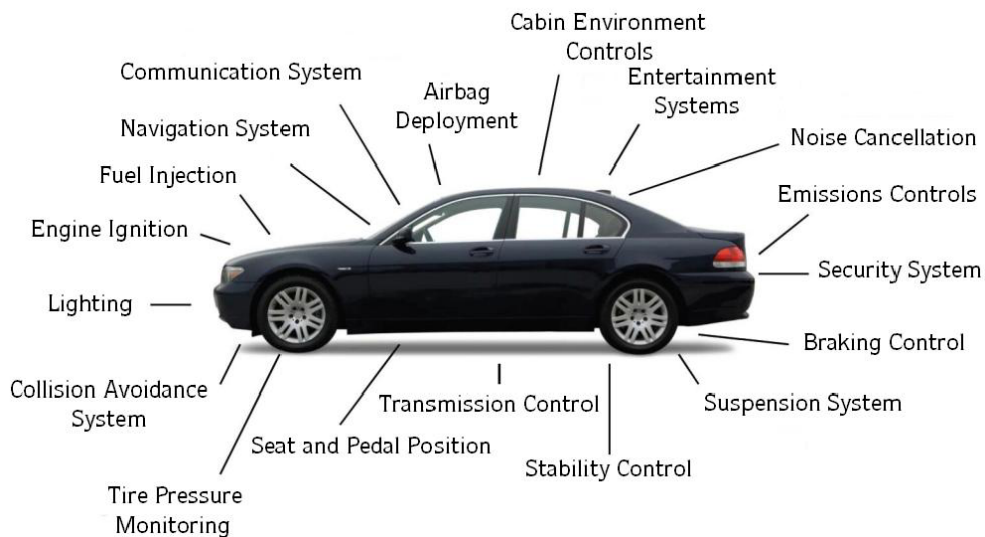


2.5. ábra. Módosítások költségei a tervezés során

Általánosan elmondható, hogy egy EMC probléma megoldására a fejlesztés korai szakaszában több eszköz áll a rendelkezésünkre, illetve kevesebb költséggel jár a módosítás, mint a fejlesztés előrehaladott stádiumában.

2.2. Az EMC és az autóelektronika kapcsolata

A gépjármű volt az első fogyasztói termék, amelyre törvényi szinten elektromágneses kompatibilitási szabályozást vetettek ki [2]. A gyújtáskor keletkező szikra által kibocsátott elektromágneses impulzus elegendőnek bizonyult ahhoz, hogy a háztartások televízió adását megzavarja. 1952-ben a brit parlament törvényben írta elő a megfelelő műszer használatát az interferencia elkerülésére. Bár kezdetekben az autó majdnem kizárólag mechanikai rendszer volt, az elmúlt évtizedek során jelentősen növekedett az elektromos fedélzeti vezérlők száma. A legjobban felszerelt autók teljes költségének körülbelül a 20%-át adta az elektronikai rendszer költséghányada 1994-ben. Egy 2000. évi adat szerint ugyanez az arány már az átlagos családi szedánokra is igaz volt. Az autó napjainkban már egy nagyon komplex elektronikai rendszer is egyben (2.6. ábra).



2.6. ábra. XXI. századi gépjármű elektromos alrendszerei

A gépjárművekben található elektromos rendszerek változatos funkcióik miatt előfordulhat, hogy mikroelektronikai és teljesítményelektronikai egységek találhatók egymás közelében ugyanazon a panelen. Ezek a rendszerek túlnyomórészt az utasok biztonságát szolgálják, ezért kiemelten fontos, hogy EMC szempontból is helyesen legyenek megtervezve. Ennek következményeként jelentek meg a szigorú szabályozások és szabványok, amelyeket a rendszertervezés során figyelembe kell venni.

Az elektromágneses kompatibilitás definíciójából kiindulva az EMC az autóiiparra vonatkozólag azt jelenti, hogy a különböző elektronikus berendezéseknek (gyújtás rendszer, üzemanyag-befecskendező rendszer, ABS, légzsákvezérlés, autótelefon rendszer, navigációs rendszer) egymás fizikai közelségében kell működniük anélkül, hogy egymással az engedélyezett szintet meghaladóan interferálnának [1]. Ez azt is jelenti, hogy a gépjárműnek a változatos felhasználási környezettől függetlenül semlegesnek kell maradnia a megadott határokon belül más gépjárművekkel vagy egyéb zavarforrásokkal szemben. A gépjárműnek mindemellett funkcionálisan kifogástalanul kell működnie minden körülmények között.

Az gépjárművekben a generátor látja el az elektromos egységeket 3 fázisú egyenirányí-

tott árammal [1]. Ezt az akkumulátor simítja, de visszamaradhatnak ugrások az előállított jelfelben. Az ugrások amplitúdója függ az alkalmazott terhelésektől és a vezetékvezéstől. Az oszcillációk jellemzően a kHz-es tartományból kerülnek ki, és az audió rendszerbe direkt módon vagy csatolással juthatnak be. Ezen zavarok a hangszórókban az emberi fül számára érzékelhető akusztikus zavarokká alakulhatnak. Interferencia pulzusok előállhatnak a gépkocsi tápvonalán, amikor egy elektromos egységet be- vagy kikapcsolunk. Ezek terjedhetnek az elektromos alrendszerek között a tápvonalon keresztül direkt csatolással, illetve a zavarjel fizikai közelségében lévő vezető sávokra induktív illetve kapacitív csatolással juthatnak át. Amennyiben a tervezés EMC szempontok figyelembe vétele nélkül történt, akkor ezek a zavarok hibás működést okozhatnak.

Nagy frekvenciás oszcillációk elektromechanikus és elektromos egységekben is előállhatnak, legtöbbször áram vagy feszültség kapcsoláskor. Ezek szintén keresztülvándorolhatnak a gépjármű különböző elektromos egységein, tápvonalán, majd vissza is juthatnak kiindulási helyükre eltérő elnyomási tényezőkkel. A nagyfrekvenciás oszcillációk állandó veszélyt jelentenek a gépjármű kommunikációs rendszerére is. Becsatolódhatnak direkt módon az antennán keresztül, vagy akár vezetékvezésen keresztül is. Megkülönböztetünk szélessávú interferencia forrásokat (elektromos motorok az ablaktörlő rendszerben, a ventilátorvezérlésben, üzemanyagpumpában) és keskenysávú (mikrovezérlőkkel együttműködő egységek) interferencia forrásokat. A szélessávú interferencia források esetében a sugárzott zavar mértékét úgy állapítják meg, hogy egy standardizált környezetben vizsgálják a tápvonalakon megjelenő zavarfeszültségeket. A sugárzott interferencia megengedett értékének meghatározásakor a sugárzó források és az érzékeny vevők között legalább 1 kategóriányi biztonsági rést hagynak.

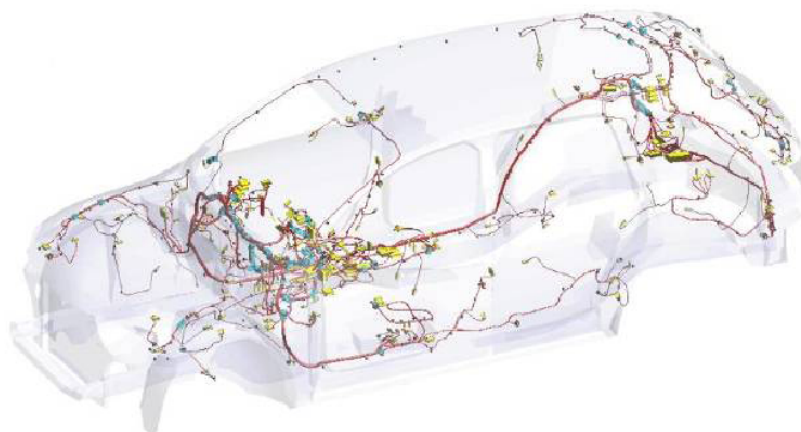
Az autóban a gyújtásrendszer a legjelentősebb interferencia forrás, a zavarokat pedig leggyakrabban szenzorok és ECU-k veszik. A hibás működés határa az a pont, amikor egy vezérlő már nem tud különbséget tenni zavarjel és hasznos jel között.

2.2.1. Vezetett zavarok a gépjárművekben

Külső kapcsolat hiányában a vezetett zavarterjedés csak a gépkocsin belüli rendszereket érinti, illetve kizárólag ezen rendszerekből kerülhet ki a zavar forrása is [2]. Vezetett zavarterjedést okozhat az elektromos motorok kommutációja vagy relék kapcsolása, majd a tranziens jelek végighaladása a gépkocsi akár teljes vezetékhalóján.

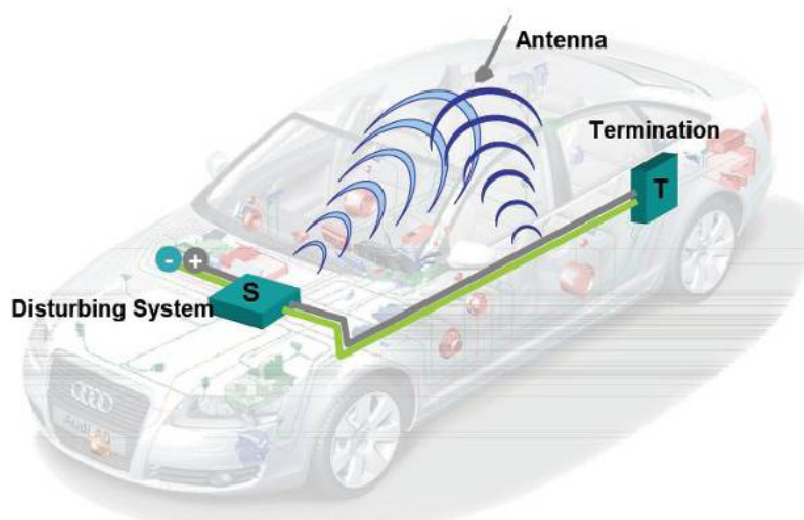
Ritka esetben előállhat az úgynevezett „load dump” jelenség. Ha a töltésben lévő akkumulátor és az egyik terminálja között hirtelen megszakad a kapcsolat (például korrózió vagy hirtelen mechanikai hatás miatt), akkor a feszültségszabályzó átmenetileg elveszítheti befolyását, és a 12 Voltos elektromos rendszerben akár 92 Voltos és 400 ms hosszú tranziens is megjelenhet. Ez a tranziens induktív vagy kapacitív csatolással átjuthat a különböző elektromos rendszerek vezérlő- és jelvonalaira.

Mivel az egyes rendszerek elhelyezése az autók esetében korlátozott, ezért nem ritka, hogy az energia betáplálási pontja és a fogyasztó között hosszú vezetékvonallal találkozhat. Tömeg-, költség-, és méretcsökkentési szempontok miatt ezek a vonalak legtöbbször nem



2.7. ábra. Gépkocsi vezetékezési hálózata

árnyékoltak, hanem a karosszériától térközzel vannak elválasztva. A karosszéria és a vezeték között azonban parazita kapacitás léphet fel, ami a nagyfrekvenciás jelek számára áthidalható. Ez esetben a hosszú árnyékolatlan vezeték antennaként működhet, különösen a magasabb frekvenciatartományban, ahol a vezeték hossza összemérhető a hullámhosszal. Az így létrejövő elektromágneses emisszió az autórádió AM sávjában hallható lehet. A jól felszerelt autókban több mint 1000 vezetékvonallal találkozhatunk, így ezek árnyékolása egyenként nem megoldható. A gépjárműgyártók által választott megoldás egyrészt abból áll, hogy az induktív fogyasztók által generált tranziensek amplitúdóját limitálják, másrészt az egységek immunitását, zavarokkal szembeni ellenálló képességét növelik. A különböző limitek és határértékek nemzetközi szabványokban vannak lefektetve.



2.8. ábra. Vezetett zavarjel kisugárzása és zavarása az antennán keresztül

2.2.2. Sugárzott zavarok az autóiparban

A sugárzott zavarok 3 fő forrásból származhatnak [2]:

- A vezetett zavarból sugárzott zavar válhat, ha a vezetékezés antennaként viselkedik

(2.8. ábra),

- Olyan elektromos rendszerek, melyek nagysebességű digitális logikát, mikrovezérlőket foglalnak magukban,
- Főleg lámpák dimmelésére és motorvezérlésre használt áramszaggató egységek.

Mivel az ilyen természetű terek erőssége a mV/m és a uV/m nagyságrendbe esik, általában csak az autórádióval interferálnak. A valóságban ilyenkor tisztán hallható az interferencia vagy úgynevezett álrádióállomásokat fedezhetünk fel. A gyújtásrendszer által kibocsájtott zavarok lehetnek akkorák, hogy egy közvetlenül szomszédos autó rádiós egységével interferáljon. A fedélzeti rádió érzékenysége és az antenna távolsága az emisszió forrásától fix, ezért az egyetlen mód a rádió interferencia megelőzésére a kisugárzott zavarok korlátozása. Emiatt az elektromos motorok legtöbbször valamilyen elnyomó egység jelenlétét is megkövetelik.

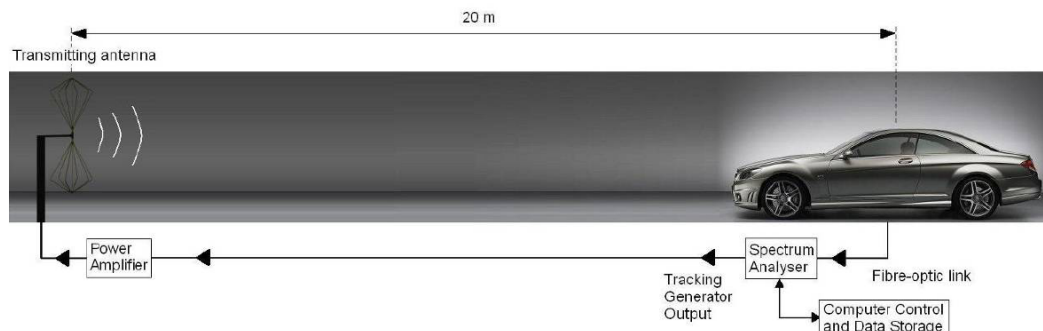
2.2.3. Sugárzott zavarokkal szembeni érzékenység

Az utakon közlekedő járművek jelentős elektromágneses sugárzásnak vannak kitéve, melyet különböző mobil és rögzített adók okoznak [2]. A rögzített helyzetű adók általában több teljesítményt sugároznak (MWatt nagyságrendig), azonban a jármű és az adó közötti távolság általában nagy. A mobil adók esetében kisebb sugárzott teljesítményről van szó, viszont ebben az esetben ez lokalizáltabb formában jelenhet meg, akár még egy szomszédos gépjárműt tekintve is.

Az alapvető esetek összefoglalva a sugárzott térerősségekkel:

- 50 Hz feletti tápvonalak, 10 kV/m
- LW/MW/SW (Long/Medium/Short Wave) rádióadók, 10 V/m
- VHF/UHF (Very/Ultra High Frequency) rádióadók vagy tvadók, 1 V/m
- UHF/SHF (Ultra/Super High Frequency) radarok, 1 kV/m
- Mobil adóállomások: amatőr rádióadók, CB rádiók, mobiltelefonok, taxi és egyéb sürgősségi szolgálathoz tartozó rádiók, $10\text{-}100 \text{ V/m}$

Elektromágneses terek becsatolása egy ECU-ba történhet PCB vezetősáv vagy belső vezetékvonallal történő kapacitív vagy induktív csatolással, illetve direkt csatolással. Utóbbi esetben az elektromágneses térre az adott egység közvetlenül reagál (például mikrofon, kazettalejátszó mágneses feje). Az interferencia frekvenciája lényeges tényező a becsatolás során. 20 MHz alatt sem az autó kábelhálózata, sem az elektromos rendszerek részei nem viselkednek hatékony antennaként, mivel a dimenzióik nem esnek egybe az interferencia hullámhosszával nagyságrendjével. 20 MHz és 200 MHz között azonban a vezetékezési hálózat antennaként viselkedik, és a tér akár 1 mA áramot is gerjeszthet a gépkocsi vezetékhálózatában V/m -enként.



2.9. ábra. Mérési elrendezés csatolási faktor vizsgálatához

200 MHz felett a kábelhálózat elektromos szempontból veszteségessé válik, viszont a PCB panelek dimenziói összemérhetővé válnak az interferencia hullámhosszának negyedével, ezért ez esetben is előfordulhat energiabecsatolás. Azonban a nagyfrekvenciás interferencia -akárcsak a 20 MHz alatti esetben- a gyakorlatban nem okoz problémát. Meg kell említeni azonban, hogy a félvezetők képesek jóval vágási frekvenciájuk feletti magas interferenciát érzékelni, illetve, hogy a processzorok órajel frekvenciájának növekedésével az említett vágási frekvenciák növekednek.

Az interferencia hatása az autók esetében az érintett elektromos rendszer tervezésétől és funkciójától függ. Viszonylag egyszerűbb rendszerek esetében (például haladási irány indikátor) az eredmény legtöbbször a kijelző rendszer vibrálása. A motormenedzsmentben résztvevő egység szuszceptibilitása azonban okozhat üzemzavart is (például a motor túl- vagy alulellátása üzemanyaggal). Az ABS rendszerek interferencia érzékelésekor visszaváltanak manuális vezérlésű üzemmódba.

A megoldás az elektronikus rendszerek EMC tudatos tervezése. Ennek eszközei a különböző szűrési, árnyékolási, PCB-elrendezési (layout), földelési eljárások.

2.3. EMC szabványok

A világ kormányzatai észrevették, hogy további szabályozásokra van szükség annak érdekében, hogy csökkentsék az elektromágneses szennyezést [2]. A gyártóknak is érdekében állt, hogy megbízható termékeket gyárthassanak. Ennek eredményeképpen szabványokat alkotnak, melyek érintik az autóiipar egyes, jól definiált területeit is, így a termékek tesztelését is.

Az EMC szabványok az alábbi főbb kategóriákba sorolhatók [3]:

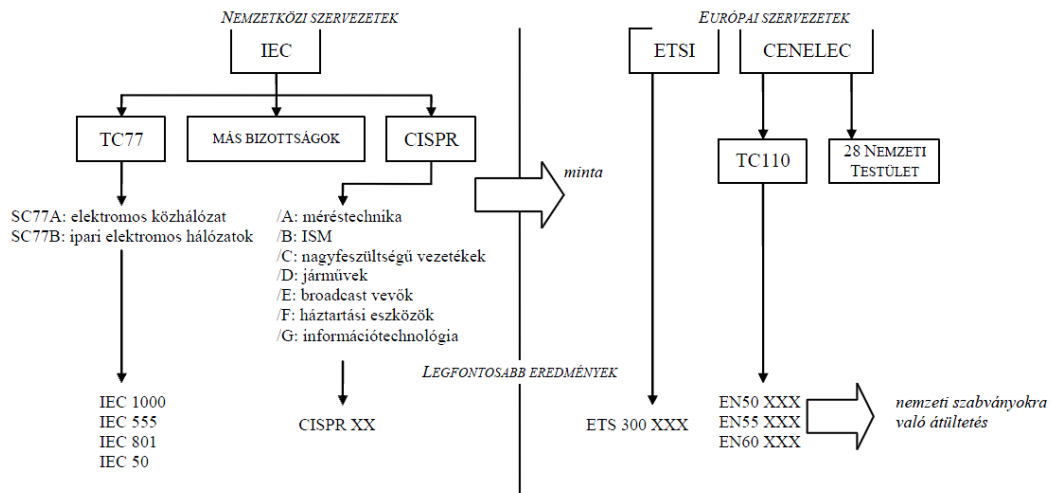
- Rádiófrekvenciás interferencia elleni védekezés: az elektromágneses spektrum rádiófrekvenciás tartományát védő szabványok,
- Elektromos hálózati zavarok elleni védekezés: rövid lefutási idejű tranziensek elkerülését és a felharmonikus tartalom csökkentését megcélzó szabványok,
- Termékspecifikus zavarok kezelése: a különleges körülmények között üzemelő termékek zavarkibocsátásának csökkentése illetve megfelelő szintű immunitásának bizto-

sítását előíró szabványok tartoznak ide, ilyenek például a hadiipari eszközökre vonatkozó előírások.

A 89/336/EEC jelzésű úgynevezett EMC Direktíva volt az EMC szabványosítás egyik alapköve. 1985-ben vezették be az új megközelítés elvét, amelynek lényege, hogy az irányelv az alapvető technikai, biztonsági, egészségvédelmi és egyéb követelményeket írja elő, a részletes követelményeket a harmonizált európai szabványok tartalmazzák, melyek nem kötelezőek. A szabványok alkalmazása önkéntes, de a harmonizált szabványok használata megkönnyíti az irányelvekben szereplő előírások teljesítését. Az új megközelítésű irányelvek hatálya alá tartozó termékeken, vagy azok csomagolásán a követelményeknek való megfelelést a CE jelzés mutatja a hatóságok számára. Az EMC Direktíva is az új megközelítés elvét alkalmazva alapvető EMC követelményeket, és a követelményeknek való megfeleltetés lehetséges módszereit rögzíti. Természetesen más elektronikai területeken is megjelent új típusú rendelkezés. A 95/54/EC jelű úgynevezett Autóipari EMC Direktíva, ami nem csak járművekre, hanem azok elektromos illetve elektronikus alrendszerre (ESA, electronic sub-assemblies), részegységeire vonatkozik beleértve a jármű értékesítését követően beszerelt alkatrészeket is. A Direktívának megfelelő alkatrészeket „e” jelzéssel látják el. Az Autóipari EMC Direktíva hatáskörébe tartozó termékekre nem vonatkozik a 89/336/EEC általános EMC rendelet.

A Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC, International Electrotechnical Commission) a Nemzetközi Szabványügyi Szervezettel (ISO, International Standards Organisation) szorosan együttműködő legismertebb olyan szervezet, amely a nemzetközi szintű, EMC vonatkozású szabványok kibocsátásával foglalkozik. Az IEC részét képezi Magyarország is (Magyar Szabványügyi Testület, MSZT). Az egyes speciális szakterületekhez tartozó feladatokat szakbizottságok és az azok alá rendelt kisebb mérnökszervezetek látják el. Az IEC-nek két olyan szakbizottság képezi részét, amelyik kizárólag EMC kérdésekkel foglalkozik. Ez a két csoport a TC77 jelű bizottság és a Nemzetközi Speciális Rádióinterferencia Testület (CISPR). A TC77 felelős az IEC 1000 jelű, általános, Elektromágneses Kompatibilitás című szabvány fejezeteinek kezeléséért. Ez alapelveket, definíciókat tartalmaz, kompatibilitási osztályokat definiál, emissziós és immunitási szinteket határoz meg, és mérési eljárásokat rögzít. Olyan általános, nem termékspecifikus eszközökre és termékekre vonatkozik, amelyekre a CISPR szabványok hatóköre nem terjed ki. Az IEC-n belül az EMC Tanácsadó Testület (ACIC, Advisory Group on EMC) koordinálja az EMC-vel foglalkozó bizottságok munkáját. Ennek a csoportnak a feladata annak biztosítása, hogy ellentmondó követelményeket rögzítő szabványok ne lássanak napvilágot. Az IEC mellett az Európai Elektrotechnikai Szabványügyi Bizottság (CENELEC, Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) egy másik fontos nemzetközi szintű szervezet. A CENELEC 1973-ban jött létre két cég egyesülésével, és az Európatanács egyik 1985-ös határozatában ruházta a CENELEC-re a jogot, hogy olyan új megközelítésű európai szabványokat hozzon létre, amelyek elősegítik az elektromos, illetve elektronikus termékek egységes piacának fejlődését és bővítését elgördítve az akadályokat a termékek szabad áramlásának útjából, továbbá mérsékelve azokat a költségeket, amelyeket a gyártók és beszállító cégek a termékek régiók közti megfeleltetésére, különféle hitelességi bizonyítványok megszerzésére fordítanak. Te-

lekommunikációs eszközökre vonatkozó Uniós szintű szabványok kibocsátásának feladatát az Európai Telekommunikációs Szabványügyi Hivatal (ETSI, European Telecommunications Standards Institute) látja el. A CENELEC jelenleg 28 Nemzeti Bizottságot számlál, köztük a Magyar Szabványügyi Testületet is. A CENELEC és az ETSI az IEC illetve a CISPR szabványosítás eredményeit használja fel az új direktívák vázlatához. A CENELEC EMC szabványosításért felelős csoportja a TC110. Ez a csoport felel azokért az EMC szabványokért, amelyek neve EN50, EN55 és EN60 jelzéssel kezdődnek.



2.10. ábra. EMC szabványosítás menete

2.4. EMC szabványok az autóiparban

Az autóipari EMC kritériumok és tesztelési módszerek sokat merítettek az általános, harmonizált, nemzetközi EMC szabványokból, mivel azonban az autóipari elektromos rendszereknek eltérő technikai, illetve biztonsági követelményeknek kell megfelelniük, vannak jelentősebb különbségek is [3,5]. A jármű egy komplex eszköz, amelynek saját energiaellátása és saját belső kommunikációs rendszere van. A motor környezetében egymáshoz közel elhelyezett nagy teljesítményű szervorendszerei, különféle intelligens szabályzóelektronikai jellegében más típusú zavarforrásként viselkednek, mint más területek elektronikai eszközei, így más immunitási és emissziós határértékek definíciója szükséges ezen a területen.

Európában az első ilyen irányú publikációra 1972-ben került sor (72/245/EEC). A kiadott szabályzat elsősorban a gyújtási zavarok elnyomására vonatkozott. Ez szolgált alapjául a már említett Autóipari EMC Direktívának (95/54/EC). Ez utóbbi nem tartalmaz ESD-re és vezetett zavarokra vonatkozó rendelkezéseket. A vezetett zavarok megfelelő határértéken tartását és a kapcsolási, illetve egyéb vezetett tranziensekkel szembeni immunitását az alkatrészgyártók felelősségének tulajdonítja, erre vonatkozólag semmilyen határértéket nem állapít meg.

Az Amerikai Szabványügyi Hivatal (ANSI, American National Standards Institute) is kialakított egy külön szervezetet, amelyik ezzel a területtel foglalkozik, ez az Autóipari Mérnökök Szervezete (SAE, Society of Automotive Engineers). A SAE két fő bizottsága az

elektromágneses immunitással és az elektromágneses emisszióval foglalkozik. A SAE-EMR csoport a jármű és járműalkatrészek olyan emissziójával foglalkozik, ami a rádióvevőben interferenciát okozhat. A SAE-EMI bizottság egyúttal a magját alkotja az Egyesült Államok Mérnöki Tanácsadó Testületének (USTAG, U.S. Technical Advisory Group). Az USTAG részét képezi a Nemzetközi Szabványügyi Hivatal (ISO, International Standards Organization) ISO/TC22/SC3/WG3 csoportjának.

A SAE J1113-as jelű szabványa sugárzott és vezetett zavarokra vonatkozó határértékeket és verifikációs eljárásokat definiál többségében immunitás vonatkozásában, de emisszióra vonatkozó részeket is tartalmaz. Az ISO/TC22/SC3/WG3 a legfőbb nemzetközi testület, amelyik az autóiipari EMC immunitás részével foglalkozik. Az emisszió oldalán a legjelentősebb nemzetközi csoport az előző fejezetben említett CISPR. Ennek D jelű albizottsága az 1990-es évektől foglalkozik kifejezetten autóiipari és azzal kapcsolatos termékekkel. Működésének egyik mérföldköve a CISPR-25 szabvány publikálása, ami zömében sugárzási zavarokra és immunitásra vonatkozik. Az ISO egyik alapszabványa a területen az ISO 7637 jelű szabvány (1990). Ez 12 és 24 V-os járműelektronikán belüli tranzienst vezetéről nyilatkozik. A legelterjedtebben használt sugárzott és vezetett zavar emisszió és immunitás mérési eljárások leírását az ISO 11452 szabvány tartalmazza. Az autóiipar egyik legelterjedtebb elektrosztatikai kisülésekre vonatkozó nemzetközi szabványa az ISO 10605-ös. A 2.2. táblázat összefoglalja a legfontosabb autóiipari EMC szabványokat.

2.2. táblázat. *Autóiipari EMC szabványok*

Szabvány	Megjelenés	Alkalmazás	Tesztek
95/54/EC	1995	Európai Unió	sugárzott emisszió és immunitás
CISPR 25	2002	globális	sugárzott emisszió és immunitás
ISO 7637	1990 - 95	globális	tranzienst immunitás
ISO 10605	2001	globális	ESD
ISO 11452	1990 - 95	globális	sugárzott immunitás
SAE J1113	változó	Észak-Amerika	változó

A 2.3., 2.4. táblázatok a szabványokat témájuk szerint csoportosítva mutatja a két nagy régióban külön-külön.

2.3. táblázat. *Európai autóiipari EMC szabványok*

	Vezetett	Sugárzott
Emisszió	CISPR-25	95/54/EC
Immunitás	ISO 7637	95/54/EC
ESD	ISO 10605	

2.4. táblázat. *Észak-Amerikai autóiipari EMC szabványok*

	Vezetett	Sugárzott
Emisszió	SAE J1113-41	95/54/EC
Immunitás	SAE J1113-11 SAE J1113-12	95/54/EC
ESD	SAE J1113-12	

3. fejezet

Autóipari EMC mérések

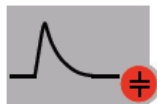
3.1. Emisszió és immunitás mérése az autóiparban

Emisszió és immunitás mérésére teszt metódusok széles skálája áll rendelkezésre [1]. Attól függően, hogy az eljárások milyen módon találják meg az interferencia jelenséget, 2 fő csoportot különböztetünk meg. Az időtartománybeli módszerek alkalmazása során impulzusgenerátort, oszcilloszkópot használunk, míg a frekvenciatartományban használt módszerek szinuszgenerátort, mérővevőt, spektrumanalizátort igényelnek. A mérés technikában az interferáló jeleket legtöbbször decibelben mérjük, ahol a referencia érték 1 μV a feszültségjelek esetében, 1 $\mu\text{V}/\text{m}$ elektromos térerősség esetében. Az autóipari EMC tesztmérések során elektromos rendszereket vizsgálnak laboratóriumban, vagy magában az autóban. Laboratóriumi mérések során standardizált mesterséges hálózatok segítségével vizsgálják a berendezések viselkedését. Pulzusszerű interferencia elleni immunitásvizsgálathoz speciális pulzusgenerátort használnak, amely az ISO 7637, Part 2 szerinti teszt pulzusokat állítja elő (3.1. ábra). Az interferencia becsatolását az ISO 7637, Part 3 szerint kapacitíven csatlakoztatják csipeszekkel reprodukálják. A belső eredetű zavarokat az úgynevezett stripline, TEM (Transverse Electromagnetic Mode) cella, vagy a BCI (Bulk Current Injection) módszer segítségével állítják elő. Az egyenfeszültségű hálózatba a pulzusok bevitelét leggyakrabban áraminjektálással, az úgynevezett áraminjektációs (BCI) módszerrel viszik be. Ennél egy fejet csatlakoztatnak kívülről a vezetékre, és ebbe belepumpálják a megfelelő jelalakhoz tartozó RF energialöketet. Összefoglalva ezeket a méréseket az ISO 11452 egyes részei írják le. A kisugárzott interferenciát szélessávú antennával mérik árnyékolt visszhangmentes szobában a CISPR 25 szabvány szerint.

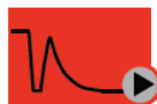
Egyes mérések magában a gépjárműben zajlanak. Ilyen például a gépjármű elektromos alrendszerének speciális visszhangmentes kamrában történő immunitásmérése, mely során nagy energiájú elektromágneses térnek teszik ki az autót. Az elektromos alrendszerek keltette interferenciák hatását az autóantennánál vizsgálják érzékeny vevőberendezésekkel.



1. pulzus: Induktív terhelésektől való tápleválás során létrejött tranzienszt szimulálja. A vizsgált eszköz párhuzamosan van kapcsolva az induktív terheléssel.



2a. pulzus: A vizsgált eszközzel párhuzamosan kapcsolt terhelésben hirtelen történő árammegszakítás során létrejövő tranzienszt szimulálja.



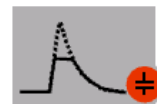
2b. pulzus: A DC motorok felől érkező tranzienszt szimulálja, amely a gyújtás kikapcsolása után állhat elő.



3a/3b. pulzus: Kapcsolási folyamatok tranziens jeleit szimulálja. A jelalak jellemzőit a vezetékvezés szórt kapacitása és induktivitása befolyásolja.



4. pulzus: Az indítómotor okozta feszültségesést szimulálja.



5. pulzus: Az úgynevezett "Load dump" jelenség szimulálására használják, amely töltésben lévő akkumulátor és az egyik terminálja közti kapcsolat hirtelen megszakadása során jön létre.

3.1. ábra. ISO pulzusok

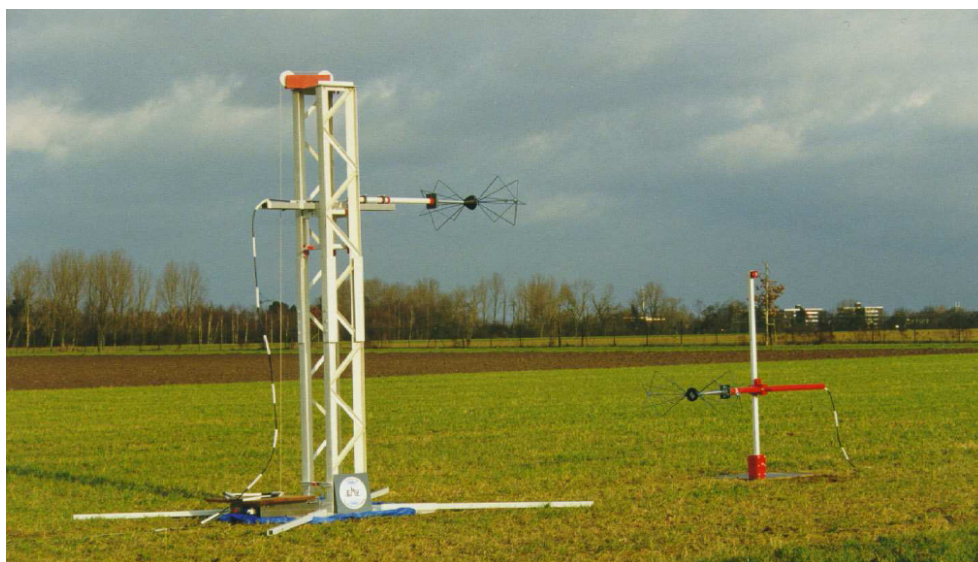
3.2. Vezetett zavar emisszió mérése általában és a Body Computerek esetében

A feladatomban megoldásához szükséges a vezetett és a sugárzott zavar emisszió mérési eljárások ismerete. Egy ilyen mérés során az ECU távolterében elhelyezett vevővel figyelik, hogy a kisugárzott értékek megsértik-e a vonatkozó szabványban előírtakat.

A CISPR-25 autóiipari szabvány az elsődleges vezetett zavarokra vonatkozó dokumentum [3,5]. Tesztelrendezéseket határoz meg, és határértékeket definiál tápvezetékekre és jelvezetékekre egyaránt. A CISPR tesztelések alap apparátusát a CISPR-16 szabvány definiálja, a többi CISPR szabvány erre hivatkozik. A sugárzott zavarok mérésének célja, hogy megbizonyosodjunk, az alrendszerek és maga a teljes jármű nem okoz interferenciát külső eszközökben, és magukban a beszerelt alkatrészekben sem. A vezetett zavarok közvetlenül nem zavarják a külső eszközöket (például mobiltelefon) csak azokat az eszközöket, amelyek elektromos kontaktusban vannak egymással. A vezetett zavar emisszió méréseket 150 kHz-

től 108 MHz-ig végzik rögzített RF sávokban. Ebbe a sávba esnek a hosszúhullámú (150 - 300 kHz), a középhullámú (500 - 1600 kHz), a rövidhullámú, az URH és az FM (6 - 108 MHz) sávok. A sugárzott zavarok esetében ezeken kívül az UHF (Ultra High Frequency) tartományba eső TV IV. (471,25 - 581,25 MHz) és TV V. (615,25 - 853,25 MHz) sávokat is mérik.

A sugárzott zavarok méréséhez több drága berendezés beszerzése szükséges, azt speciális helyszínen kell végezni frekvenciasávonként külön antenna segítségével, külön horizontális, külön vertikális antennapozíció beállításával, miközben a mérendő berendezést térben is úgy helyezzük el, hogy a legnagyobb emisszió irányából mérjünk. A szabadtéri mérés (OATS, Open Area Test Site) ideálisabb környezetet teremt, azonban itt számolni az időjárás viszontagságaival [10]. Idealizált esetben egy végtelen, tökéletesen egyenletes síkon végezzük a mérést, amely felett végtelen szabadtér található, így a reflexiók kizárólag a földsíkról származnak. Körültekintően kell eljárni a mérőberendezések elhelyezésekor, illetve a villamos szempontból megfelelő földfelület kialakításakor.

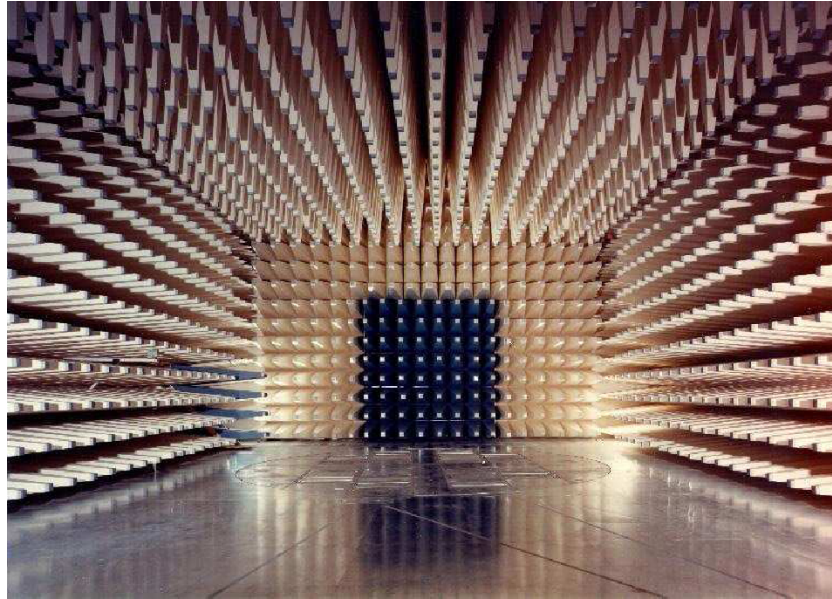


3.2. ábra. Szabadtéri sugárzásmérés

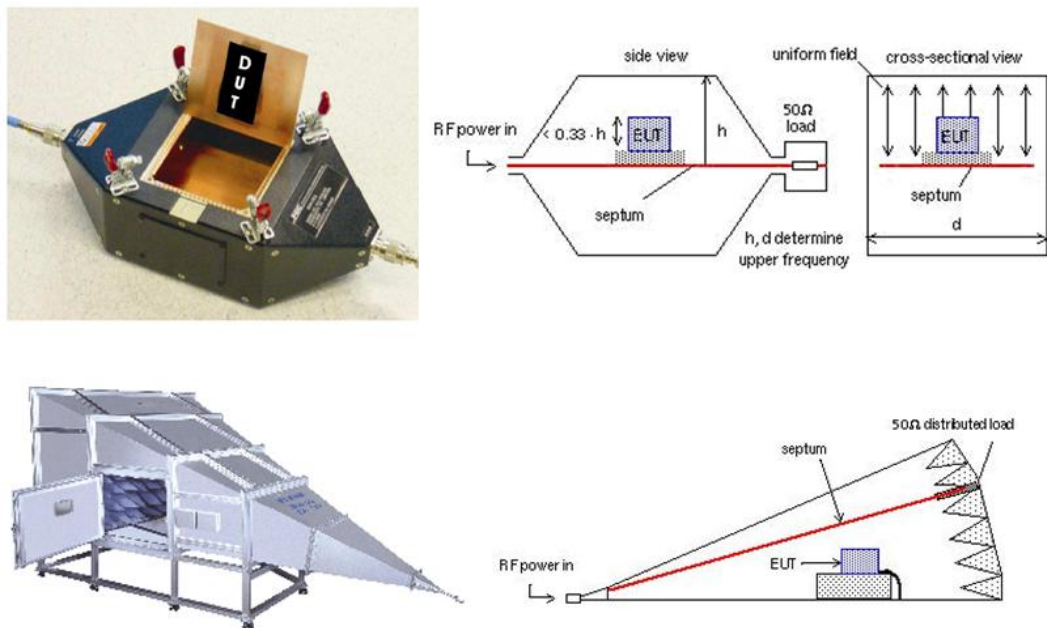
A mérést speciális mérőhelyiségben is el lehet végezni, ami védelmet nyújt az időjárás szemben. Ilyen esetben azonban nem használhatunk fém tárgyakat a helységben. Az ilyen mérőhelyek falai fémbevonatúak, az ajtók felfekvő felületeinél RF szigetelés szükséges. Reflexió- és rezonanciamentesítés céljából RF energia elnyelő réteget helyeznek el a falakon és a padlón is. Ezt a gyakorlatban legtöbbször ferrit csempékkel (alacsony frekvencia) vagy széntartalmú szivacsból kialakított kúpokkal (magas frekvencia) oldják meg.

A 80 MHz alatti frekvencia tartományban azonban a tárgyak fizikai mérete és elhelyezése problémássá válik. Ilyen esetekben legtöbbször TEM cellát használnak. Ez lényegében egy négyszögletes keresztmetszetű koaxiális tápvonal, melynek végei beszűkülnek. Előnye, hogy viszonylag kisméretű, és olcsó berendezés, valamint kis energiával meg lehet hajtani. Magasabb frekvenciákig használható változata a GTEM-cella (Gigahertz Transvers Electromagnetic).

Összefoglalva a sugárzott emisszió mérése rendkívül hosszadalmas, költséges és nagy



3.3. ábra. A dortmundi EMC központ szigetelt mérőszobája

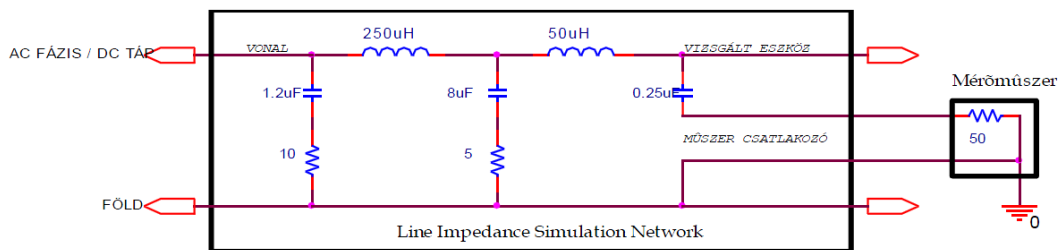


3.4. ábra. TEM és GTEM cellák

helyigényű lehet. Ezzel szemben a vezetett zavarok méréséhez elegendő kevesebb hely, egy jel átlag és csúcérték mérésére alkalmas mérőműszer, egy LISN (Line Impedance Simulation Network vagy Line Impedance Stabilizing Network) és egy szigetelt asztal, ahol a mérendő eszközt elhelyezhetjük [3]. A mérési alapkonzfigurációra léteznek megkötések (adott a szigetelt asztal minimális magassága, minimális távolsága a faltól a szórt kapacitások csökkentésére, a mérőkábel hossza). A méréseket jól definiált környezeti paraméterek (hőmérséklet, relatív páratartalom, légnyomás) mellett kell elvégezni, hogy az eredmények összevethetőek legyenek.

Jelvezetékeken megjelenő zavarok mérésére kívülről csatlakoztatható árammérő fejet

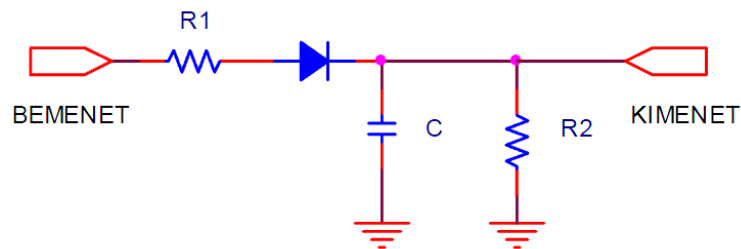
használnak, a táp- és földvezetékek zavarainak mérését egy speciális eszköz segítségével végzik. Ez a vonali impedanciát szimuláló, stabilizáló hálózat, a LISN. A LISN arra szolgál, hogy a vizsgált eszköz felől a vonal impedanciája függetlenül a hálózat terheltségétől mindig 50 Ohm környezetében legyen. Így az eszközön elvégzett mérések függetleníthetők attól, hogy a mérést milyen kontextusban, milyen elektromos hálózatban végezzük, és hogy éppen a mérés elvégzésekor ez a hálózat milyen terheltségű. A LISN használatának hátránya, hogy az 50 Ohm egy önkényesen választott érték, de egy ilyen referencia impedancia megléte lehetővé teszi, hogy a mérési eredmények alapján a mért rendszert értékelhessük más rendszerekhez viszonyítva. A LISN szűrést is végez: a mérendő eszköz felől érkező zavarokat átengedi a műszer irányába, a vonal irányából érkező zavarokat azonban csillapítva engedi át az eszköz és a műszer felé.



3.5. ábra. Vonali impedancia stabilizátor

A CENELEC kiadott egy szabvány-előzetest (EN 50 222), ami leszögezi, hogy az emissziós tesztek eredményét változtatás nélkül kell összevetni a határértékekkel, ugyanis a határértékek megállapításakor a mérési bizonytalanság már valamilyen módon számításba került. Ha ezt a megközelítést elfogadják és véglegesítik, akkor a megfelelés eldöntése a mérési eredmények értékelésekor jelentősen leegyszerűsödik. A szabványok a vezetett zavar határértékeket a frekvenciatartományban és dBuV-ban definiálják (1 uV-hoz 0 dBuV tartozik, és 1 V 120 dBuV-nak felel meg). A tesztek során tehát a feszültségzavarok mérését kell elvégezni a tápvezetékeken.

A CISPR-16 szabvány alapján a vezetett zavarokat olyan heterodin spektrumanalizátorral végzik, ami tartalmaz egy állítható paraméterű kvázi-csúcs detektort. A kvázi-csúcs detektor a jel csúcsértékénél kisebb, de átlagértékénél nagyobb jelet szolgáltat attól függően, hogy milyenek a paraméterei. Ez egy állítható felfutási és lefutási idejű amplitúdó-demodulátor (3.6. ábra), amelynek felfutása és lefutása különböző időállandóval jellemezhető exponenciális görbe mentén megy végbe.



3.6. ábra. Kvázicsúcs detektor

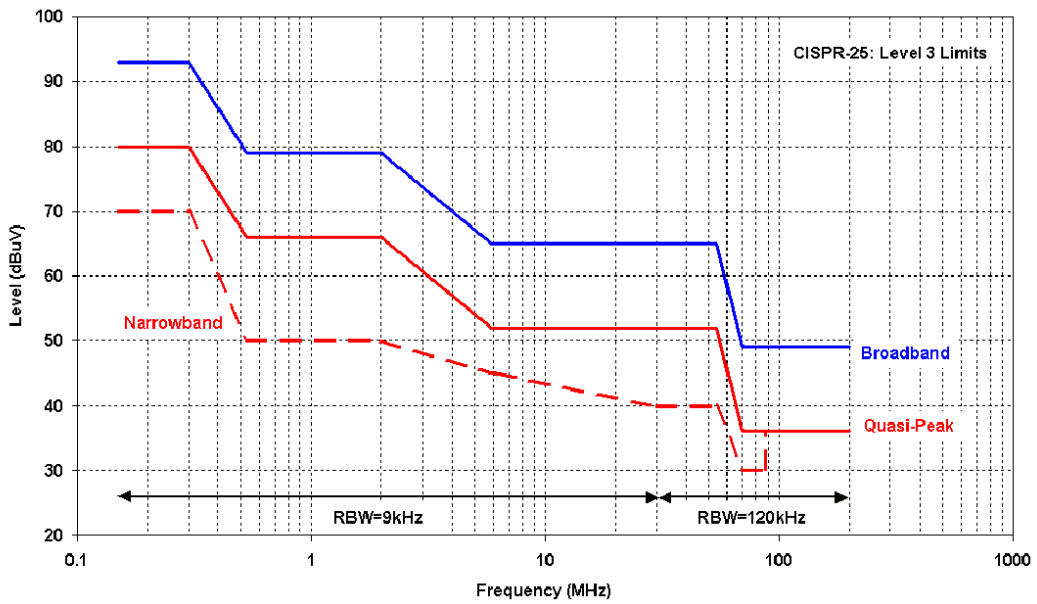
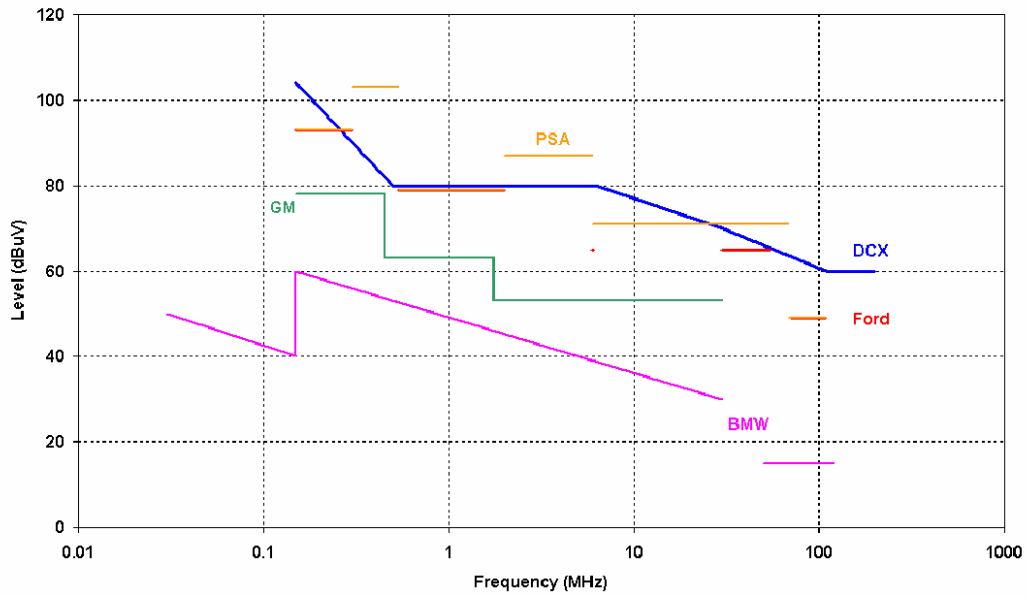
Feltöltődéskor a bemeneti feszültség nagyobb a kondenzátor feszültségénél, így a dióda nyitva van, és R1 ill. R2 ellenállások által meghatározott sebességgel töltődik a kondenzátor. Ha a bemenet feszültsége a kondenzátor feszültsége alá csökken, a dióda lezár, és R2-n keresztül a kapacitás kisül (feltéve, hogy a kimenetre ideális, nagy impedanciás egység csatlakozik). A lekevert és beállítható sáv szélességgel szűrt jel kerül a detektor bemenetére. Ez minél gyakrabban érkező pulzusokat tartalmaz, annál jobban közelít a detektor kimenete a jel csúcserkéhez. Ha ritkábban érkeznek a pulzusok, akkor ez az érték lecsökken. Azt, hogy a jel ebben a tartományban (adott sáv szélességgel szűrt jel) szélessávnak, vagy keskenysávnak számít a CISPR-16 szabvány az alapján definiálja, hogy a jel átlagától mennyire tér el a csúcs-detektor kimenetén megjelenő és a videó-szűrővel átlagolt, kijelzett érték. Ha a különbség 6 dB-nél nagyobb, akkor a jel szélessávú a mért frekvencia körüli tartományban, ha kisebb, a jel keskenysávú.

A különböző autógyártók előállhatnak saját EMC igényekkel is [5]. Az egyes gyártók rendszerint a lényegi részeket átveszik a vonatkozó szabványból, de azokat kis mértékben úgy módosítják, hogy azok a saját rendszerükhöz specifikusabbak legyenek, és a határértékeket is ilyen módon állapítják meg. Például ha egy terv megfelel a Ford szabványainak, az lehet, hogy megfelel a GM (General Motors) néhány tesztjének is. Előállhat azonban olyan eset is, hogy a BMW, a Peugeot-Citroen (PSA), Daimler-Chrysler (DC) vagy a Volkswagen AG (VAG) egyes tesztjeinek viszont nem felel meg a termék. Jellemzően eltérő teszt-szinteket és frekvenciatartományokat alkalmaznak, illetve ugyanazon jelenség tesztelésére eltérő módszereket írnak elő. Ennek ellenére, ha arra a kérdésre keressük a választ, hogy megfelelően fog-e működni egy Fiat autórádió egy BMW gépjárműben, akkor a válasz igen, viszont valószínűtlen, hogy ugyanannak a tesztnek felelt meg a termék. Az immunitási szint alapján az egységeket funkcionálisan A, B, C, D és E osztályokba sorolja az ISO 7637 szabvány. Az „A” osztályú egység a tranzien fennállása során és a tranzien lezajlása után is a tőle elvárt módon működik, míg az „E” osztályú egység valamely a tranzien alatt olyan mértékben sérül, hogy a tranzien lezajlása után bizonyos funkcióját vagy funkcióit képtelen újra ellátni csere vagy javítás nélkül. A B, C, D osztályok ezek között folyamatos átmenetet alkotnak. Az autógyártók saját rendszerükben ezzel szemben legtöbbször csak 2 osztályt különböztetnek meg, lényegében a fenti csoportosításnak megfelelő A és C osztályokat.

A vezetett zavarok emissziójára vonatkozó CISPR-25 szabványt azonban majdnem minden gyártó egységesen vette át a saját teszt specifikációján belül. A 150 KHz - 108 MHz sávot csak a DC (a mérés itt 200 MHz-ig fut) és a BMW (a mérés itt 30 KHz-től indul) változtatta meg. A Ford és a PSA a CISPR-25-nek megfelelő határértékeket használja, de a többi gyártó eltérő értékeket vesz figyelembe (3.7. ábra).

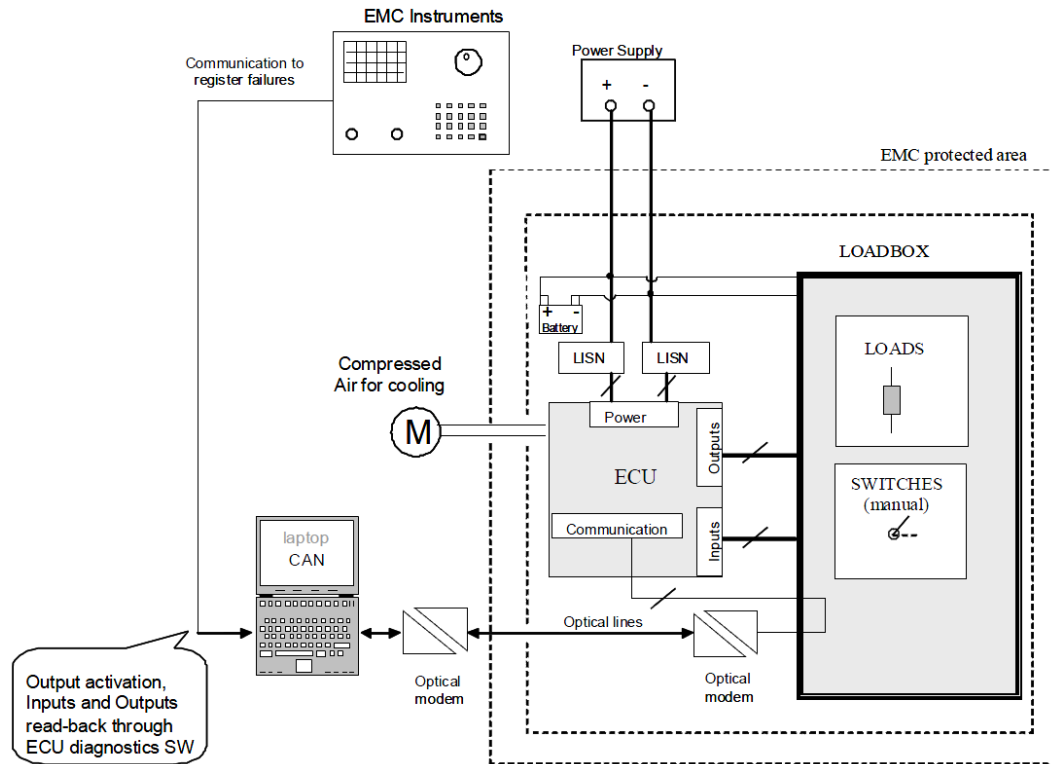
A Body Computerek vezetett zavar emisszió mérése során is az aktuális vevő előírásai hatályosak. Az általam lemért vezérlő vezetett emisszió méréséhez is tartozik a vevő és a Bosch által közösen meghatározott teszt leírás és határérték sorozat. A dokumentum tartalmazza a hivatkozott vevői előírásokat, az adott termék legfőbb adatait, és részletes teszt leírásokat. A mérési koncepciót a 3.8. ábra mutatja.

A mérés során a vezérlő felprogramozott állapotban van. Az ECU vezérlésére a Comfort



3.7. ábra. A különböző autógyártók vezetett emissziós határértékei és a CISPR-25, Level 3-nak megfelelő határértékek

CAN buszt használják, a többi CAN vonalon normál adatforgalom zajlik. A CAN vonalak az úgynevezett Load Box-on keresztül vannak összekötve. A LIN forgalomban az ECU master-ként van jelen, LIN slave-eket a PC szimulál. Így a LIN vonalakon is normál adatforgalom látható. A legtöbb EMC teszt során optikai átvitelt alkalmaznak a CAN és LIN vonalakon. A Load Box a bemeneti és kimeneti perifériák szempontjából tulajdonképpen a gépjármű helyettesítése. Ez az eszköz nem tartalmaz aktív elektronikát vagy szoftvert, hanem csak az eredeti vagy szimulált terheléseket. A bemenetek egyszerű manuális kapcsolóval vagy potencióméterrel vannak helyettesítve. A lámpák esetében az eredeti égők találhatóak a Load Box-ban, míg a motorokat ellenállások helyettesítik.

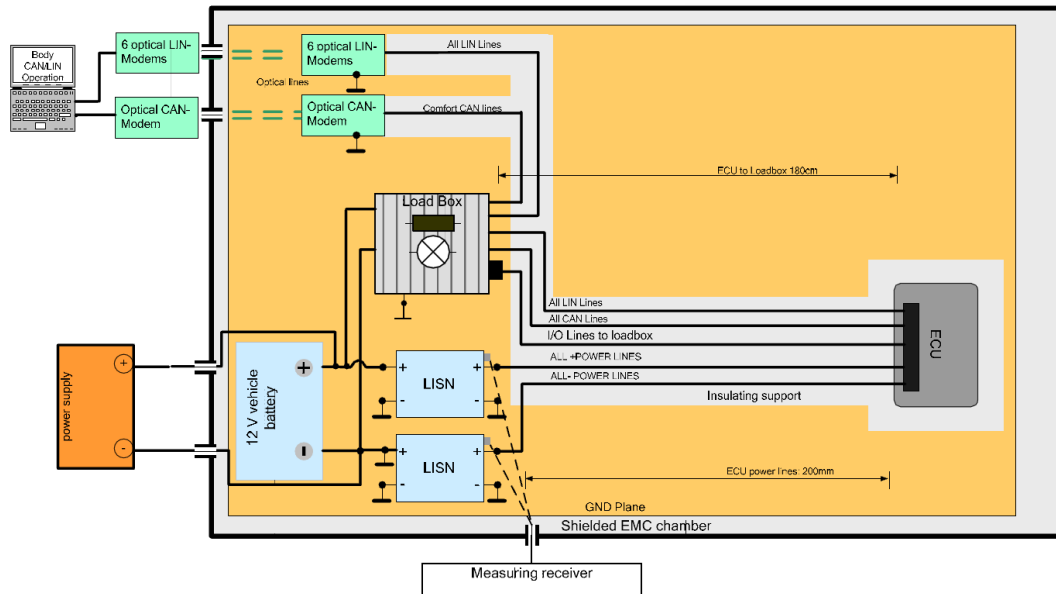


3.8. ábra. EMC mérési alapösszeállítás

Kétfajta működési módot különböztetünk meg az ECU állapotától függően. Alvó módban a Body Computer periodikusan felébred néhány ms ideig, és beolvassa a bemeneteket. A kimenetek és egyéb funkciók alvó módban nincsenek aktiválva. Aktív módban a vezérlő végre tudja hajtani a specifikációban szereplő összes funkcióját. Ezek figyelembevételével az ECU tesztelés során úgynevezett scenáriókat különböztetünk meg. Vezetett zavar emisszió mérés esetén a vezérlő aktív módban van, minden bemenetét használja, azonban a kimenetek közül csak a folytonosan üzemelők használtak. A mérés során első lépésben a Load Box összes bemeneti kapcsolóját bekapcsolják, majd a vezérlőt aktív módba küldik. Ekkor a várt áramfelvétel 100 és 200 mA között van. Ezt követően visszaolvassák a bemenetek állapotát, majd a kimeneteket is bekapcsolják és visszaolvassák a kimeneti állásokat. A nem folyamatosan üzemelő kimeneteket (például ajtózárs) ezek után állítják kikapcsolt állapotba, majd újra visszaolvassák a kapcsolók állását. A fenti lépéseket követően hajtják végre az EMC tesztet, amely során szintén vizsgálják a be- és kimenetek állását. A vezetett emisszió mérés elrendezése a 3.9. ábrán látható.

A tesztek során a LISN '+' és '-' vonalán mérnek meghatározott frekvencia sávokban. Az aktuális Body Computer termékre vonatkozó limitek a 3.1. táblázatban olvashatók.

A mérések során időtakarékosági célokból a kvázi-csúcs méréseket csak akkor hajtják végre, ha a csúcsértékmérés során a kvázi-csúcs mérésre vonatkozó limit túl lett lépve.



3.9. ábra. Nagyfrekvenciás vezetett zavar emisszió mérése mesterséges hálózattal

3.1. táblázat. Vezetett zavar emisszió határértékei

Band	Freq. Start	Freq. Stop	PK	QP	Av	Bandwidth
125 kHz	0,1 MHz	0,15 MHz	73 dBuV	-	-	9 kHz
LW	0,15 MHz	0,3 MHz	70 dBuV	57 dBuV	50 dBuV	9 kHz
MW	0,52 MHz	1,73 MHz	54 dBuV	41 dBuV	34 dBuV	9 kHz
KW	3,85 MHz	26,1 MHz	53 dBuV	40 dBuV	33 dBuV	9 kHz
CB	26,5 MHz	29,7 MHz	63 dBuV	-	43 dBuV	9 kHz
TV1	47 MHz	88 MHz	48 dBuV	-	33 dBuV	1000 kHz
4m-BOS	84,015 MHz	87,255 MHz	41 dBuV	-	8 dBuV	120/-/9 kHz
UKW	76 MHz	108 MHz	32 dBuV	19 dBuV	12 dBuV	120 kHz
TV2	90 MHz	108 MHz	43 dBuV	-	28 dBuV	1000 kHz

3.3. A Surface-scan eljárás

Az előző fejezetben bemutatott eljárás segítségével megállapítható, hogy a Body Computeren található-e meg nem engedett mértékben zavart emittáló eszköz. Az interferencia frekvenciája leolvasható, azonban a forrás helyéről nem szolgáltat információt a mérés. A zavarforrás lokalizálásának folyamatát automatizálva jelentős időt és költségeket lehet megtakarítani. Az úgynevezett surface-scan eljárás során a vezérlő kisugárzott tere egy erre alkalmas szonda segítségével kerül feltérképezésre [11]. Az eljárás során egy mágneses vagy elektromos szondát léptetünk egy előre meghatározott (rács)ponthálózaton a vezérlőtől néhány mm távolságra. Az eljárást IC-k vizsgálatára is elterjedten használják, erre vonatkozóan az IEC-61967-3 szabvány fektet le megkötéseket.

Az eljárás természetéből adódik, hogy a mérés a vezérlő közelterét illetően gyűjt információt. A szabvány szerinti EMC emisszió mérések azonban a távotérben zajlanak. Ezért a surface-scan módszerrel gyűjtött színeképek értelmezésekor ki kell térni a köztér-távotér transzformációra, mivel egy köztérben észlelt zavarforrás nem biztos, hogy megegyezik a távotérben észlellettel.

A Body Computer mérése során a vezérlő bekapcsolt állapotban kell, hogy legyen, illetve

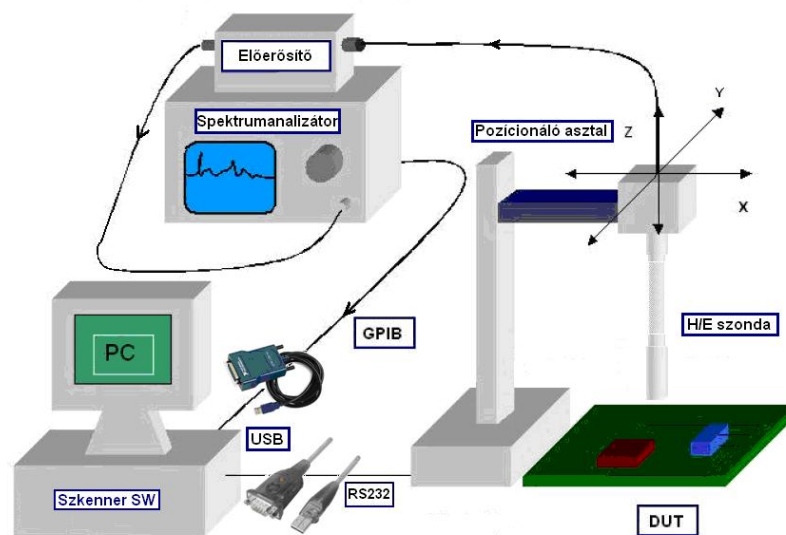
a PCB-n található magasabb alkatrészek tabuzónaként definiálandók, hogy a szonda nem károsodjon. A tér intenzitáseloszlását rögzíthetjük egy kívánt frekvencián a vezérlő teljes felületére vonatkozóan, vagy egy pontban lemérhetjük a spektrális eloszlást.

4. fejezet

A mérési összeállítás

4.1. A mérés blokkvázlata

A közeltéri elektromágneses mező mérése során a következő összeállítást használtam:



4.1. ábra. Mérési összeállítás vezérlők kisugárzott terének vizsgálatára

Az elrendezés magában foglal egy pozicionáló asztalt, mely segítségével a szonda automatizáltan bejárja a kijelölt felületet, illetve tetszés szerint pozicionálható a határokon belül. A szondát RS232 interfészen vezérelhetjük. A DUT-t az asztal négyzethálójának (0,0) pontjára helyezve könnyebben tudunk hivatkozni a vezérlő egyes felület-tartományaira a koordináták segítségével. A szonda jelét egy előerősítőn keresztül a spektrumanalizátorba vezetve válik az eredmény rögzíthetővé a műszer és a PC közti GPIB kapcsolatnak köszönhetően. Az elrendezés alkalmas hőterkép felvételére is (ez esetben infra szondát kell alkalmazni).

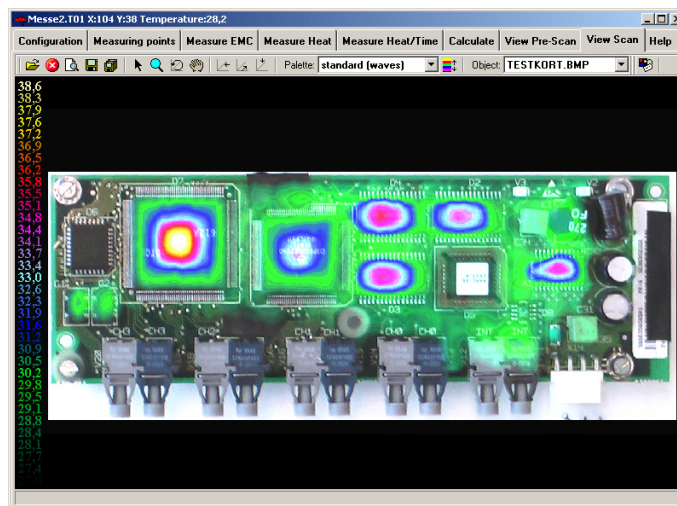
4.2. Pozícionáló asztal

A Bosch által biztosított, a 4.2. ábrán látható pozícionáló asztal típusa: Detectus AB RS 642. Ez az eszköz kimondottan EMI zavarforrás lokalizálásra készült azzal a céllal, hogy szélesebb felhasználói kör tudjon EMI problémán dolgozni [12]. Tartozéka egy vezérlő szoftver, amely a használat során egyszerűnek és felhasználóbarátnak bizonyult.



4.2. ábra. Detectus AB pozícionáló asztal

A rendszer lehetőséget biztosít úgynevezett összehasonlító mérések futtatására is. A PreScan és MultiScan funkcióknak köszönhetően a mérési tartományba eső frekvencián megjeleníthető a mért térerősség eloszlás. A kapott színeképp áttetszősége állítható, így alá helyezve a vezérlőnk képét, a kimenet szemléletessé, könnyebben értelmezhetővé válik.



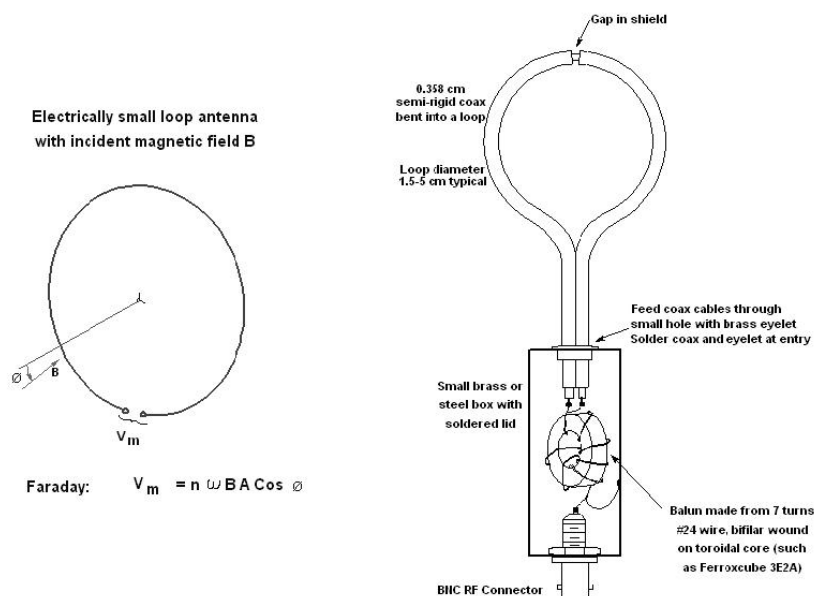
4.3. ábra. Felhasználói felület és a mérési eredmények megjelenítése

Lehetőség van bonyolultabb struktúrák esetén a mérendő eszköz 3D modelljének bevitelére STL formátumban. Ez esetben a szkener automatikusan pozícionál a z tengely mentén is.

4.3. Elektromos és mágneses szondák

Az elektromos áramkörök elektromágneses mezőt hoznak létre, mely mező képes olyan rádiófrekvenciás energiát sugározni, amely meghaladhatja a szabvány szerinti limitet [13,14]. Különösen digitális áramkörök vagy a kapcsolóüzemű tápegységek esetében állhatnak elő olyan felharmonikusok, melyek erős teret hoznak létre. Olyan esetekben, ahol a rádiófrekvenciás áram egyenestől eltérő pályára van kényszerítve, a vezetősáv induktivitása miatt a mágneses mező fog dominálni. Azokban az esetekben, ahol alacsony áram folyik, viszont nagyok a potenciálkülönbségek, ott az elektromos terek dominálnak. Az elektromos és mágneses szondák segítségével szelektíven mérhetjük az elektromágneses terek összetevőit. Ezek az eszközök nem váltják ki egymást, annál inkább kiegészítik az egymás által szolgáltatott információt. Jelen felhasználásban egy zavar emisszió forrás frekvenciája ismert a távöltérből, így az adott frekvencián szondák segítségével a közeltéri emisszió kép alapján következtetéseket szeretnénk tenni a zavarforrás lokalizálásáról.

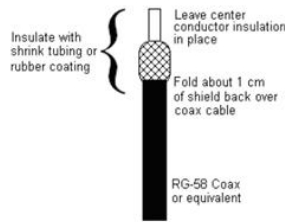
Egy mágneses szonda a legegyszerűbb esetben állhat egy BNC csatlakozó két pólusa közé forrasztott drót hurokból. Az ilyen egyszerű felépítés azonban az elektromos mező összetevőt is érzékeli. Jellemzően árnyékolt hurkot használnak a gyakorlatban, ezáltal a szonda sokkal érzékenyebb lesz a mágneses tér változásaira. A működés alapelve a Faraday törvény, amely az elektromos feszültségre és a mágneses fluxusra vonatkozó tapasztalati törvények egyike. A törvény szerint egy hurokban indukálódó feszültség egyenlő a hurok fluxusának idő szerinti deriváltjával (a jobcsavar szabállyal ellentétes előjellel). A hurok által kifeszített felület mágneses fluxusát pedig a mágneses térerősség felületi integrálja adja [19].



4.4. ábra. Mágneses szonda felépítése

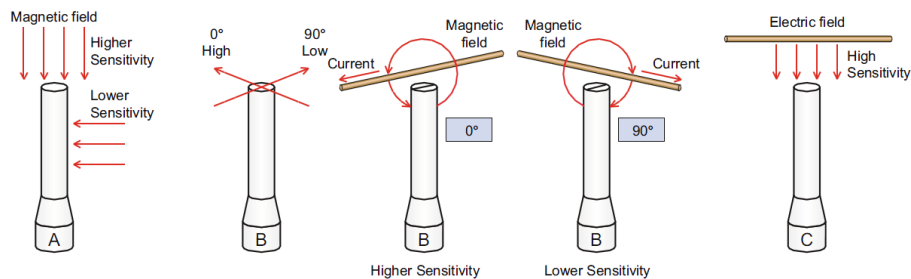
A fentiek következtében a mágneses szonda kimenő feszültsége arányos a hurok felületét metsző mágneses térerősség vonalakkal. A kimenő feszültség (U_m) egyenlő a hurkok számának (n), a körfrekvenciának (ω), a mágneses térerősségnek (B), a felületnek (A) és a beeső

térféregység vektor és a felület normálvektora által bezárt szög koszinuszának szorzatával (4.4. ábra). Egy ilyen hurokantenna tipikusan közel ideális feszültségforrásként viselkedik, azaz nem szükséges az illesztése mérőműszerekhez. A szonda impedanciáját a sugárzási ellenállás, a hurok Ohmos ellenállása és induktivitása adja. A hurok árnyékolását megszakítják, hogy mágneses indukció jöhessen létre. Az elektromos mező közös módusú áramot hoz létre a hurokantenna esetében, míg a mágneses szonda differenciális jelet állít elő, így egy szimmetrizáló transzformátorral, vagy balunnal tovább csökkenthető az elektromos tér által gerjesztett válaszösszetevő. Az egész konstrukciót szigeteléssel látják el, mivel ezeket a szondákat aktív állapotban lévő berendezések felületétől néhány milliméterre használjuk, így elkerülhetjük a nem kívánt rövidzárat. A mágneses szondák hurka minél nagyobb, annál érzékenyebb az eszköz, és a hurok területén fellépő átlagos mágneses térféregységet méri. A kisebb hurkú mágneses szondák érzékenysége alacsonyabb, viszont nagyobb térbeli felbontással képesek mérni. A fizikai méretei miatt ezek a szondák a felülethez közelebb képesek mérni, így precízebb információt szolgáltatnak a téreloszlásról. Az elektromos szondák általában elektromos szempontból rövidzárnak tekinthetők, hangolatlan dipólus-szerű struktúrák, melyek nem érzékenyek a mágneses mezőre. Precíz mérésekhez hangolhatók, de hangolatlan állapotban is használhatók elektromos terek létezésének, illetve elektromos terek struktúrájának kimutatására. Az elektromos szondák felépítése a 4.5. ábrán látható.



4.5. ábra. Elektromos szonda felépítése

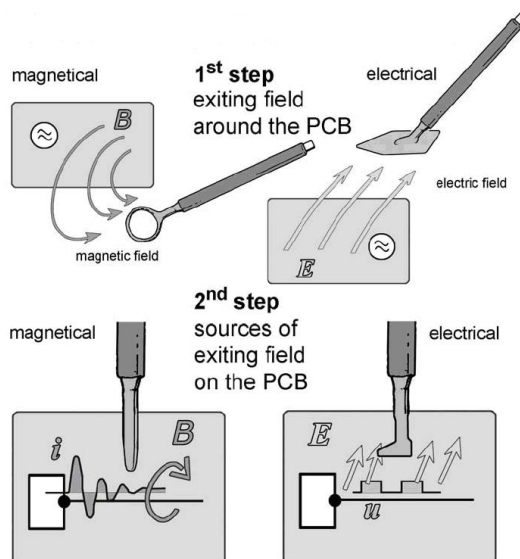
A legegyszerűbben elektromos szondát egy koaxilás kábelből hozhatunk létre a külső vezető visszahajtásával. Az így árnyékolatlanul maradt belső bevezető szakaszt körülvevő szigetelésre szükség van, illetve az egész csont védelmére is használhatunk egy zsugorcsonkot, ami így megvéd a vizsgált eszközökkel való érintkezéstől. Az elektromos szondák busz struktúrák, nagyméretű alkatrészek, tápvonalak felett az elektromos tér vertikális összetevőjét érzékelik (4.6. ábra).



4.6. ábra. Elektromos és mágneses szondák orientációja

A szondák megfelelő kombinálásával jobb időbeli hatékonyság érhető el, a különböző

szondák eltérő jellegű feladatokra alkalmasak (4.7. ábra).



4.7. ábra. Szondák megfelelő kombinálása közeleteri mérésekhez

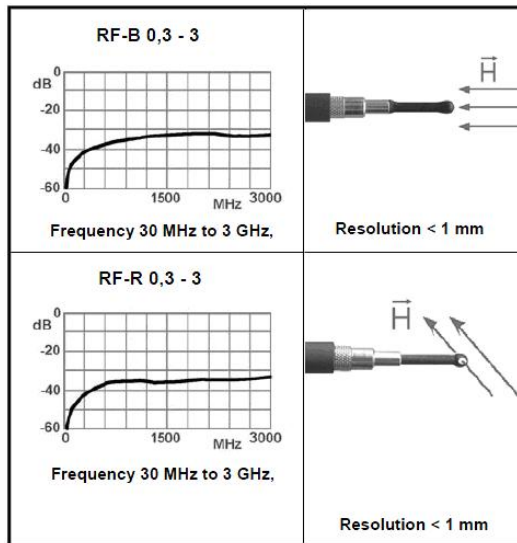
Ajánlott első lépésként felmérni az elektromos vagy mágneses tér jelenlétét, illetve orientációját. Ezt követően kerülhet sor részletesebb vizsgálatra egy már leszűkített felületen. Az első lépéssel ellentétben a második már nagy térbeli felbontású szondát kíván meg, ezért ezen a ponton szondacserére is sor kerülhet.

A mérések során a Langer EMV RF3 mini és RF1 szondakészletét használtam. A készletben található szondák közül az RF R 0,3-3 és az RF B 0,3-3 mágneses, valamint az RF E 10 elektromos szondákkal mértem. Ezekhez a szondákhoz rendelkezésre álltak az antennakorrekciós faktorok is.

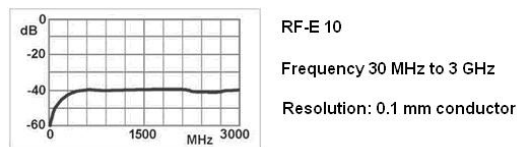
Az RF R 0,3-3 szonda (4.8. ábra) mágneses mezők térbeli felvételére alkalmas nagy felbontással [15]. Ez a szonda egy hurokantenna, melynek orientációja szabad szemmel is megállapítható. A mérés során, ha a térerősség vektorok merőlegesen haladnak át a hurok felületén, akkor mérhetünk maximumot. Ebben a pozícióban a szonda 90 fokkal való elforgatása adja a minimumot. Ez a képessége teszi a szondát alkalmassá arra, hogy mágneses terek orientációját és intenzitását felmérje. A szondával 2 mérést szükséges végezni, és a mért x és y irányú térerősség összetevőket ezután vektoriálisan össze kell adni.

Az RF B 0,3-3 típusú szonda (4.8. ábra) kialakításából kifolyólag alkalmas tűhegy pontossággal érzékelni a mágneses tereket, mivel a vertikálisan beeső erővonalakat érzékeli [15]. Viszonylag nagy felbontást lehet vele elérni, valamint képes nehezen hozzáférhető helyeken is mérni. Ezt a típusú szondát tehát többnyire egy korábbi mérés után gyanúsnak vélt terület részletesebb vizsgálatára használjuk, például az RF R 0,3-3 szonda által szolgáltatott színek alapján gyanúsnak vélt terület pontosabb megismerésére.

Az RF E 10 szonda műszaki adatai a 4.9. ábrán láthatók. A mérőfej 0,5 mm * 2 mm felületű, a szonda felbontóképessége lehetővé teszi PCB vezetősávok egymástól függetlenül történő vizsgálatát [15].



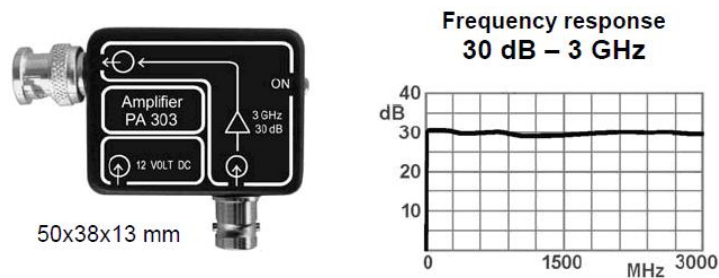
4.8. ábra. RF-B 0,3-3 és RF-R 0,3-3 mágneses szondák



4.9. ábra. Az RF-E 10 elektromos szonda adatai

4.4. Előerősítő

A mérés során a zajt a legnagyobb mértékben az első fokozat határozza meg. Mivel a spektrum-analizátor zajtényezője nagy, ezért a szonda és az analizátor közé egy előerősítőt kell tenni (4.10. ábra). Az előerősítő lehetővé teszi kis közeltéri szondák használatát nagy érzékenységgel. Ennek eredményeképp az autóiparban is előforduló gyenge terek is mérhetőek nagy felbontással.

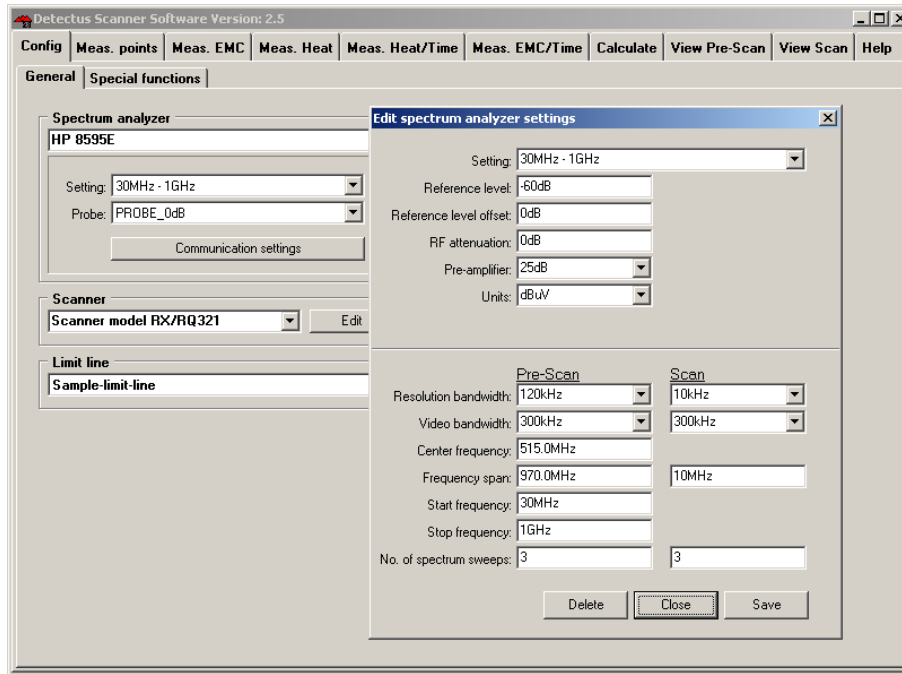


4.10. ábra. Langer PA 303 előerősítő karakterisztikája

4.5. PC és mérő szoftver

A mérés során egy laptop állt rendelkezésemre, amely nem rendelkezik sem GPIB- sem soros porttal. Ezért átalakítót használtam, a GPIB-USB átalakításhoz a National Instruments GPIB-USB-HS termékét. Az átalakítókhöz tartozó drivereket és a Detectus Scanner

Software v2.8 programot installáltam [16]. Ez utóbbi segítségével irányítható a szonda befogófeje, illetve ez a szoftver dolgozza fel a spektrumanalizátortól érkező információt is. A mérőszoftver első indításakor hozzá kell rendelnünk a megfelelő spektrumanalizátort és szondát a méréshez. A spektrumanalizátor esetében be kell állítani az aktuális GPIB címet, a pozicionáló asztal irányításához pedig az aktuálisan használt COM portot.



4.11. ábra. A Detectus Scan Software konfigurálása

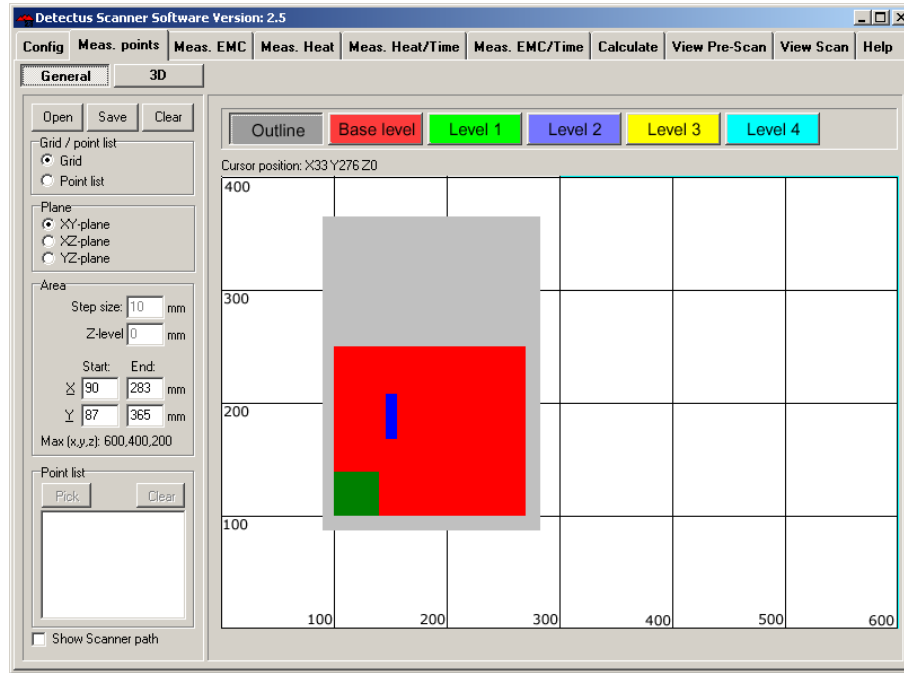
A konfigurálást követően beállíthatók a mérendő zónák. Téglalap alakú területek definiálhatók, amelyek lehetnek különböző magasságokban. Az asztal által meghatározott limit a minimális lépésközre 1 mm.

A Grid/Point list választógombbal dönthetjük el, hogy manuálisan megadott pontokon, vagy rács mentén haladjon a szonda a mérés során. Az előkészítés precíz végrehajtását követően indítható maga a mérés.

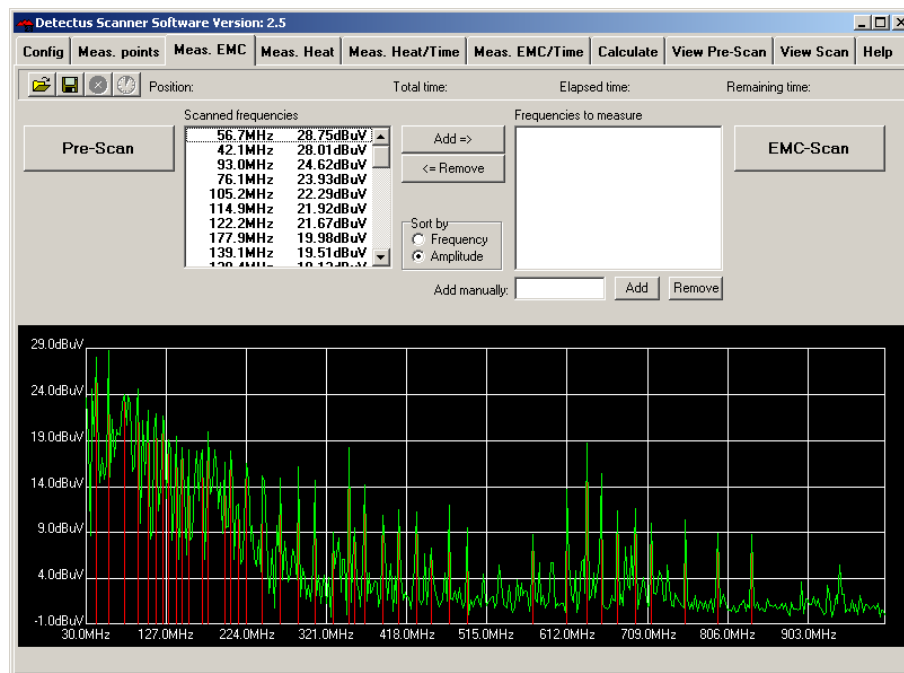
Az úgynevezett Pre-Scan funkció szélessávú mérést hajt végre, miközben a spektrumanalizátort Max-Hold módba állítja. A mérés lefutása után az adott frekvencián mért worst-case értékeket jelzi ki a program listaszerűen és grafikonon is. Ezt követően választhatunk a listából frekvencia értékeket, vagy adhatunk hozzá manuálisan is mérési frekvenciákat az EMC-Scan ablakba. Az EMC-Scan funkció ezeken a kijelölt frekvenciákon veszi fel a térelözlést a kijelölt pontokban. Az ilyen típusú mérések kimenete minden frekvenciához egy külön fájl lesz, melyek egyenként megnyithatók (4.14 ábra).

Mind a Pre-Scan, mind az EMC-Scan típusú mérések a megfelelő gombbal indíthatók az ablak bal- illetve jobb oldalán (4.13. ábra). A kimeneti fájlok offline módon is feldolgozhatók, valamint az eredmények több különböző és szemléletes prezentálására van módunk (4.15 ábra).

A Multi-Scan típusú mérés minden rácsponthoz felveszi a kívánt spektrumot teljes szélességében, és a vizsgálni kívánt frekvenciát később is kiválaszthatjuk. Ilyen típusú mérés

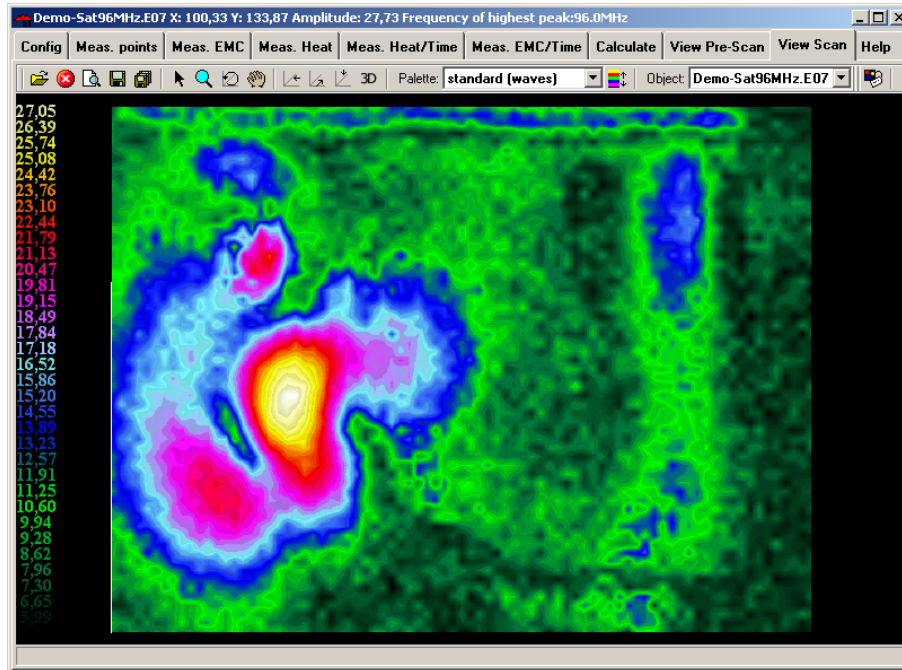


4.12. ábra. Mérési terület definiálása

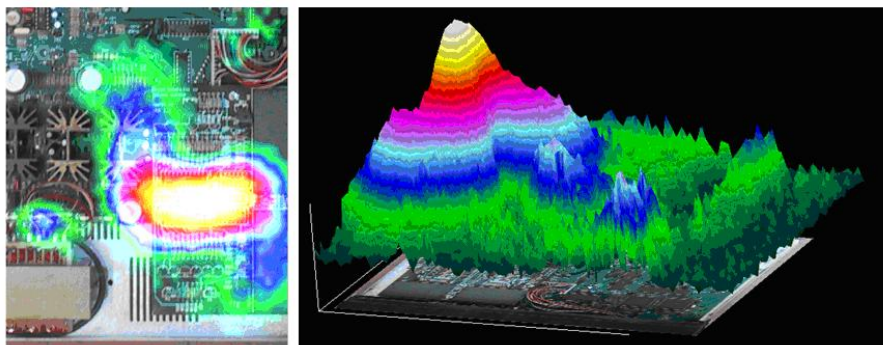


4.13. ábra. Pre-Scan típusú mérés futtatásának eredménye

kimenete az 5.1. ábrán látható. A program segítségével mérési riportot is generálhatunk, amely tartalmazza a mért színeképet és a csúcserőtekeket, valamint az összes mérési beállítást. Fontos továbbá, hogy a program képes összeadni két mérési eredményt vektoriálisan, ami hasznos funkciónak bizonyult az RF R 0,3-3 típusú szondával való mérés során, ahol a 90 fokkal elfordított szondaállású méréseket összegezni kell (4.16. ábra). Ezt a Calculate fülön a következő módon tehetjük meg: az egyik betöltendő mérés az eredeti szondaállással felvett információ, a másik pedig a 90 fokos elforgatás után rögzített adatsorozat, a

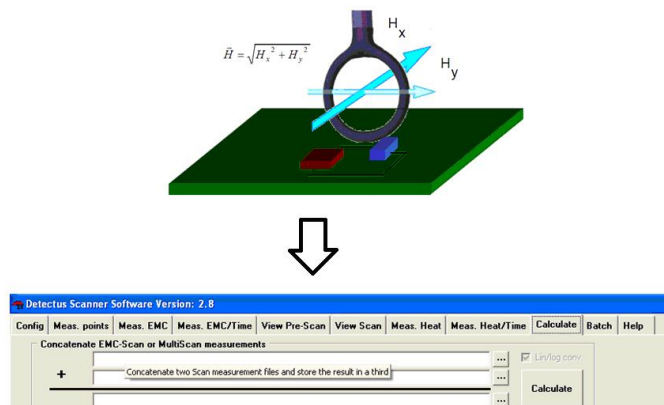


4.14. ábra. EMC Scan típusú mérés futtatásának eredménye



4.15. ábra. A felvett emissziós kép szemléltetése

használandó művelet pedig a Concatenate.



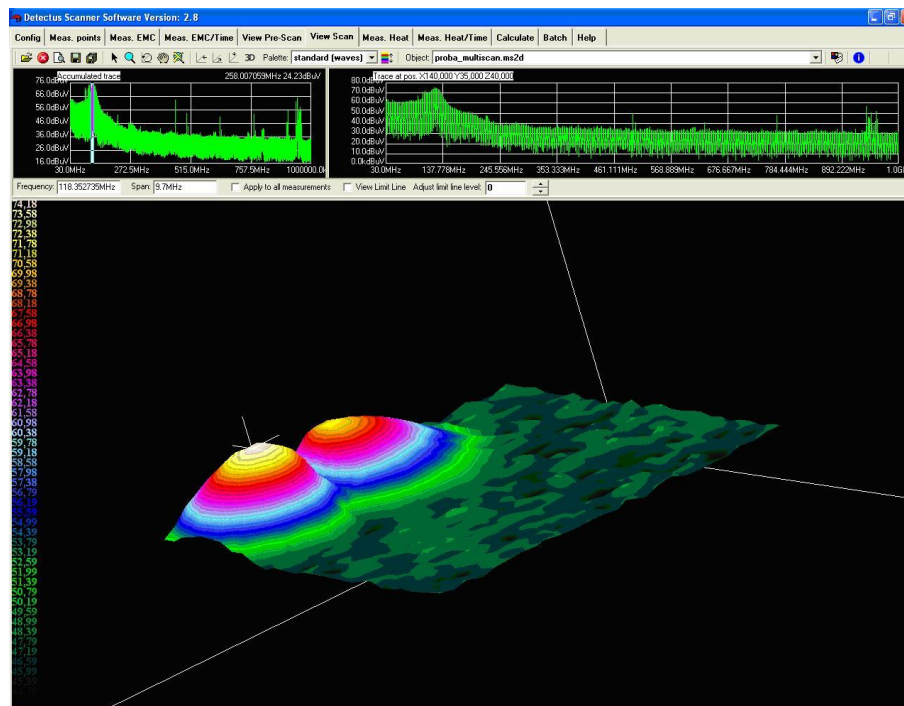
4.16. ábra. Mérési eljárás az RF-B 0,3-3 típusú hurokantennával

5. fejezet

Body Computer terének mérése

5.1. Közeltéri mérések

A mérőhely konfigurálása során egy fejlesztés alatt álló panelt mértem az RF B 0,3-3 szondával. A vezérlőn található két tápegység, ezek tekercsei által létrehozott tér hatása látható az 5.1. ábrán. A többi alkatrész hatása elhanyagolható.

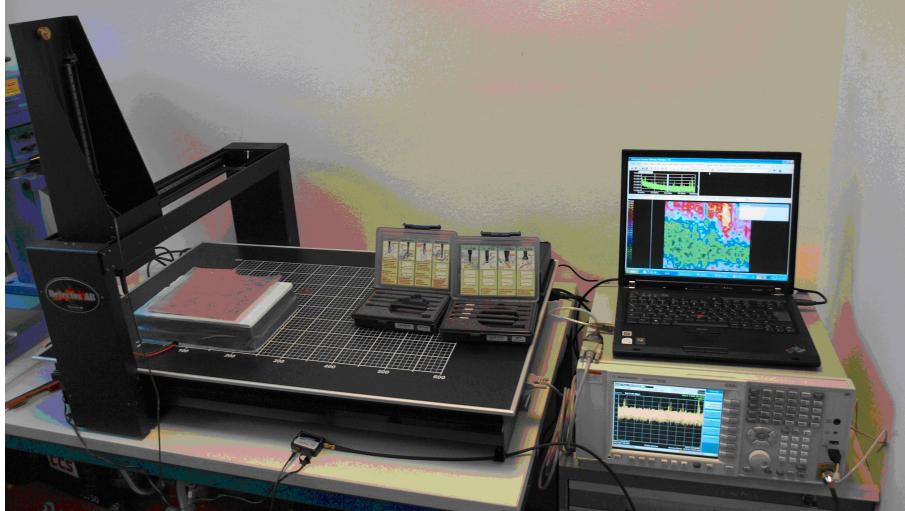


5.1. ábra. Próbamérések Multi-Scan funkcióval

A Multi-Scan típusú mérési fájlt betöltve az ablak bal felső részén látható a kiválasztott frekvenciasáv, a színekben az ebben a sávban mért térerősség értékeket láthatjuk. A pozicionáló kereszt által kiválasztott pontban a program kirajzolja a spektrumot a jobb felső sarokban.

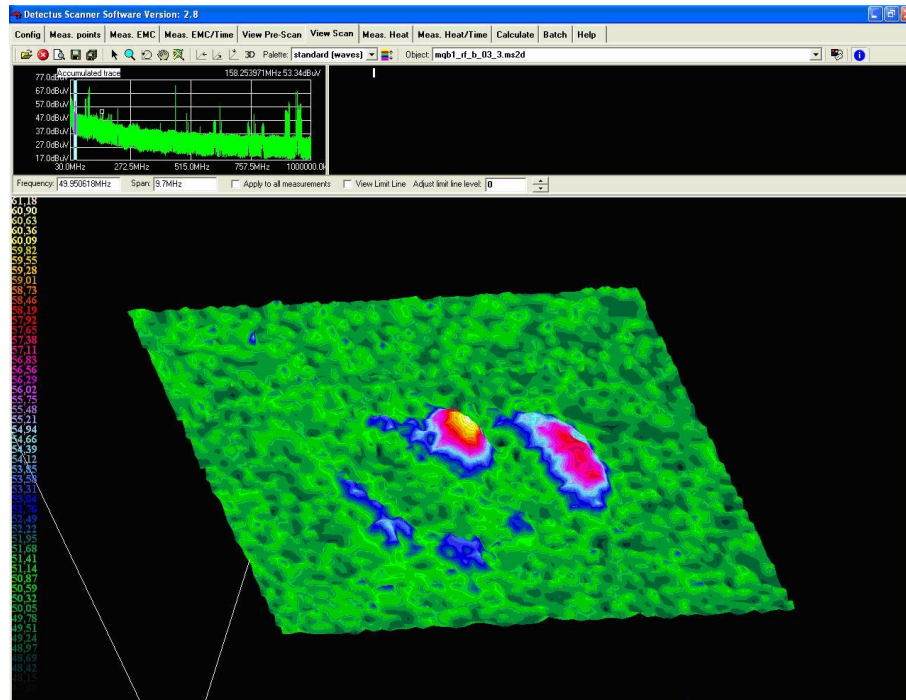
A mérőhely konfigurálása után a Body Computer méréséhez elkészítettem egy speciális vezetékeztést, amely segítségével a vezérlő tápellátása biztosítható. A Body Computer 3 csatlakozóházából a pinek merőlegesen állnak kifelé 1 cm magasan. A csatlakozók és

a vezetékadás akadályt jelent a mérőszondának. Ha a vezérlő mindkét oldalát szeretnénk megmérni, akkor egy speciális tartószerkezetre is szükség van. Ezt styrofoam anyagból készítettem el, amely anyag jellemzően használt tartó struktúrák kialakítására EMC mérések során. A relatív dielektromos állandója 1.4 alatt van, ami megfelel a szabványnak. A próba-



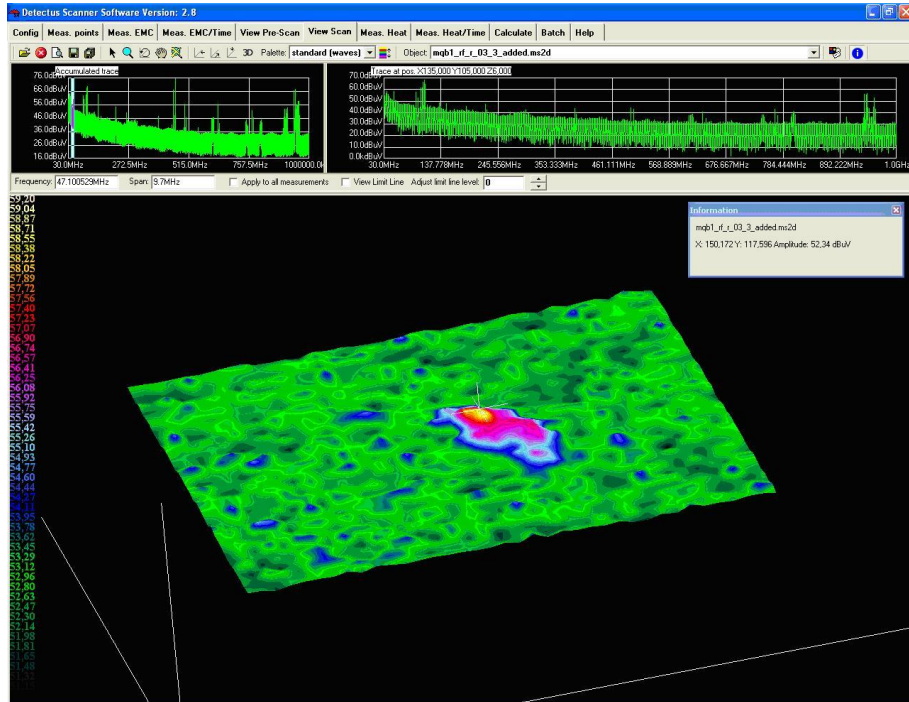
5.2. ábra. Mérészközök a közelítéri méréshez

mérések és a tartó elkészítése után a Body Computer terét mértem 3 különböző szondával. A mérési eredmények az 5.3., 5.4., 5.5. ábrákon láthatók.

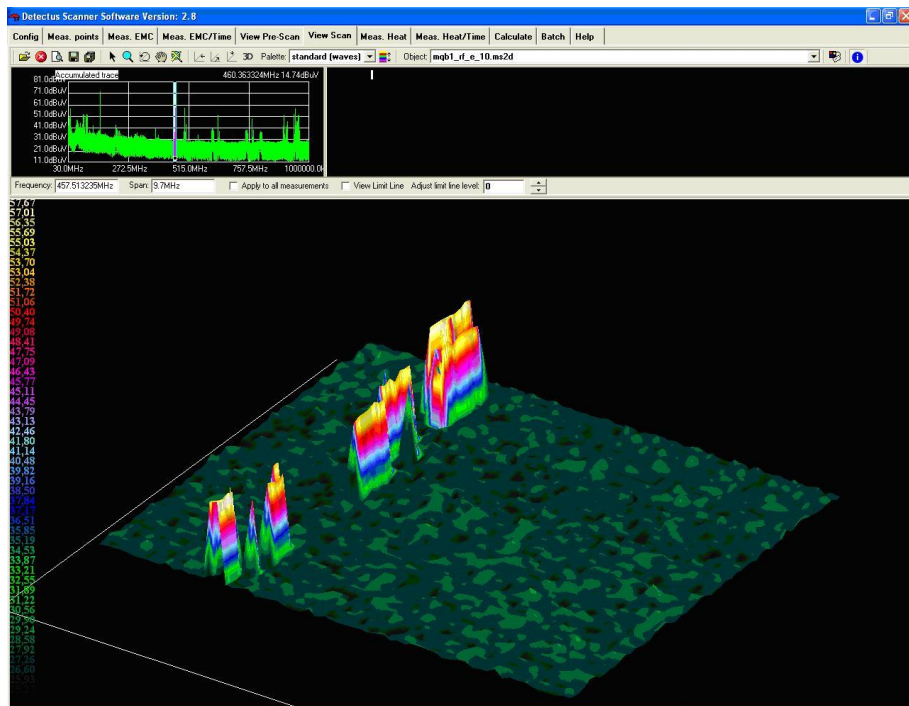


5.3. ábra. A BCM mágneses tere RF B 0,3-3 típusú szondával mérve

A mérések a Body Computer akadálymentes oldalán történtek, így a szondákkal néhány mm távolságból tudtam mérni. Az eredményekből azt a következtetést lehet levonni, hogy az alkalmazott térbeli felbontással (3 mm-es rács) és helyes szondahasználattal meg lehet



5.4. ábra. A BCM mágneses tere RF R 0,3-3 típusú szondával mérve



5.5. ábra. A BCM elektromos tere RF E 0,3-3 típusú szondával mérve

nevezni gyanús alkatrészt vagy alkatrész csoportot, esetleg vezetősávot.

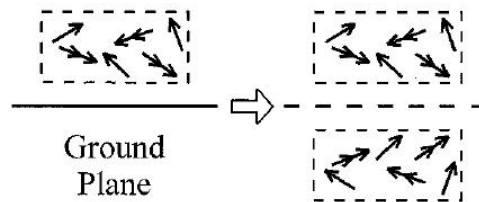
5.2. Közeltér-távoltér transzformáció

Emissziós mérésekhez a legjobb környezetet az úgynevezett SAC (Semi-Anechoic Chamber) szolgáltatja [20]. Az EMC szabványok által előírt 10-30 méteres mérési távolságok miatt

azonban egy nagyméretű mérőkamra költségei jelentősen emelkednének. Utóbbi jelenség is hozzájárult ahhoz, hogy az EMC közösség a 2000-es évek elején kiemelten foglalkozzon mind a zajforrás azonosítás problémájával, mind távoldali eredmények számításával közeli mérések alapján.

A zajforrás azonosítás, vagy más néven elektromágneses inverz probléma feladata megtalálni azt az árameloszlást, amely a mérttel egyező elektromágneses teret hoz létre. Az irodalomban található legtöbb megoldás valamilyen matematikai minimalizációs eljárást használ erre a célra. Ezt az ötletet továbbgondolva született meg az a gondolat, hogy elektromos és mágneses dipólusokkal helyettesítve az eredeti zajforrásokat, előállítható egy olyan elrendezés, amely ugyanazt a közeli emissziós képet állítja elő, mint a vizsgált eszköz. Az elektromos és mágneses tér amplitúdó és fázis értékeire is szükség van a megfelelő dipólus elrendezés megtalálásához. A dipólusok pozíciója, orientációja és intenzitása egy genetikán alapuló algoritmusmal megtalálható. Ebben az elrendezésben a dipólusok az emissziós forrásokat modellezzik. A zajforrások a dipólusok paramétereire alapján is meghatározhatók. A megfelelő elrendezésből az elemi dipólusok sugárzási összefüggéseit használva számítható a távoldali.

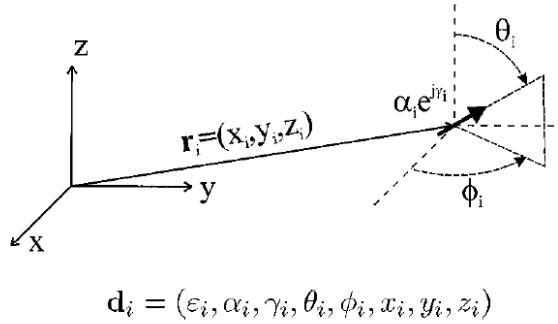
Egy nyomtatott huzalozású áramkör esetén az EMI fő forrásai az egyenes vezetősávok (elektromos dipólusokkal modellezhetők), az áramhurkok, és a rések vagy vágatok (mágneses dipólusokkal modellezhetők). SAC-ben végzett mérések esetén figyelembe kell venni, hogy a vizsgált eszköz egy föld felület felett sugároz. Ezt a helyettesítő dipólus elrendezés tükrözésével modellezhetjük (5.6. ábra).



5.6. ábra. A földpotenciál hatásának modellezése

A dipólusok és képeik által előállított térerősségek szuperpozíciót és koordináta transzformációt használva számolhatók mind a közel-, mind a távoldali pontokban. Az ekvivalens N darab helyettesítő dipólus leírása kis számú paraméterrel is lehetséges. Egy elemi dipólus a tér r_i pontjában leírható a helykoordinátákkal, az orientációt leíró szögekkel, valamint a gerjesztő amplitúdóval és fázissal, továbbá egy kétállapotú változóval, amely a dipólus elektromos vagy mágneses természetét jelöli (5.7. ábra).

Így egy N darab dipólusból álló elrendezés leírható egy $8 \cdot N$ elemű vektorral. A kisugárzott tér ezen paraméterek függvénye a tér minden pontjában. A helyes paraméterek beállítására globális keresés, például genetikus algoritmus ajánlott. A genetikus algoritmusok optimalizációs technikának tekinthetők, melyek a fajok természetes evolúcióján és Mendel genetikai elméletén alapszanak. A helyettesítő dipólusok számával az összefüggések egyre bonyolultabbakká válnak. Gyakorlati tapasztalatok alapján felső határnak a 8 dipó-



5.7. ábra. Elemi dipólusok jellemzése

lust határozták meg, mivel e felett az eljárás már konvergencia problémákat mutathat. Ezt az eljárást használva tetszőleges síkbeli alakzat mentén felvett közeltéri értékekkel dolgozhatunk, valamint távöltéri értékek előállításához elegendő információ a közeltéri amplitúdó.

A közeltéri mérésekből távöltéri eredmények szolgáltatására még számos különböző megközelítésről olvashatunk. Létezik olyan eljárás, amely tetszőleges felületre alkalmazható, azonban fázisinformációt és tangenciális irányú térerősség értékeket kíván meg a teljes felületen. Más megközelítés a második Green azonosságon alapulva adja meg a távölteret, ehhez azonban fázisinformációra és két koncentrikus félgömb mentén elvégzett mérésekre van szükség. A csak amplitúdót tartalmazó mérési rekordok esetén a méréseket két felület mentén vagy két antennával kell elvégezni. Egyes eljárások képesek a közeltéri mérésekből távöltéri eredményeket szolgáltatni, ha a mérés a vizsgált eszközt körülvevő gömbfelületen történt.

6. fejezet

Zavarforrások azonosítása

Az esetleges sugárzó alkatrészek azonosítását végző eljárás a megfelelő szondával végrehajtott megfelelő típusú mérést követően a mérési eredmények szoftveres feldolgozását foglalja magában. Az implementált program bemenetként várja az adott vezérlő layout információját illetve a mérési eredményeket, előbbit és utóbbit is kötött formátumban. A működés alap gondolata, hogy a layout-terv és a mérési eredmények közös koordináta-síkba való transzformálása után a kijelölt limit érték feletti térerősség értékekhez tartozó koordináta pár alapján a layout megfelelő pozícióban található alkatrésze jelölhető ki, mint potenciális sugárzó eszköz további vizsgálatra.

A program megvalósítására a National Instruments Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 2011 v11.0 termékét használtam. A fejlesztő környezet a továbbfejlesztési lehetőségeket is figyelembe véve került kiválasztásra. A Labview támogatást nyújt a mérési elrendezésben megadottak szerinti GPIB és soros port kezelésére, valamint a rendelkezésre álló spektrumanalizátor vezérlésére is.

6.1. Az NI LabView rövid bemutatása

Az elektronikus műszerek funkcionális felépítése lényegében nem változott az elmúlt évtizedekben, mindegyiknek van bemeneti egysége, feldolgozó egysége és megjelenítő egysége [18]. A műszerek és az (egyszerűbb) adatgyűjtők, vezérlők lényegében csupán a bemeneti és kimeneti egységeikben különböznek, a feldolgozó és megjelenítő egységeik nagyon hasonlóak. A mikroprocesszorok tömeges elterjedésétől kezdve beszélhetünk beágyazott rendszerekről - noha ez a kifejezés csak jóval később, Magyarországon a kilencvenes évek végétől terjedt el -, hiszen a mikroprocesszorok tették lehetővé, hogy komplex feldolgozó, vezérlő funkciókat építsünk a műszereinkbe. A hardver tipizálásával, modulokra bontásával könnyen és gyorsan lehet egyedi műszereket, készülékeket létrehozni. A hardvermodulokból összeállított berendezések testreszabása szoftverben történik. Ebben az összeállításban a PC lényegében egy (viszonylag) olcsó, univerzális műszermag, komoly feldolgozási kapacitással, nagy memóriával és háttértárral, gazdag ember-gép kapcsolattal és többféle kommunikációs interfésszel. A feladathoz illeszkedő I/O perifériákkal történő kiegészítés után kész a műszer vagy adatgyűjtő, vezérlő hardvere és alapszoftvere. A készülékfejlesztés

jelentős része az alkalmazói szoftver elkészítését jelenti. Az univerzális műszermagból és a kiegészítő, szintén univerzális perifériákból sokféle konkrét műszer alakítható ki, attól függően, hogy éppen milyen alkalmazói szoftver fut a műszermagon, vagyis a számítógépen. Ugyanazon a hardver- és alapszoftver-készleten - az alkalmazói szoftver cseréjével - sokféle műszer implementálható, például multiméter, függvénygenerátor, oszcilloszkóp, spektrumanalizátor. Az így előálló műszer valódi abban az értelemben, hogy funkcionálisan megegyezik egy hasonló célműszerrel, de virtuális abban az értelemben, hogy a fizikai megjelenése lényegesen eltér azokétól.

A LabView egy olyan adatfolyam alapú, magas szintű grafikus programozási nyelv és környezet, amely elsősorban mérés-technikai és a hozzá-kapcsolódó jelfeldolgozási feladatok megoldására szolgál, de alkalmas más, például szimulációs feladatok megoldására is [17], továbbá általános programozási nyelvként is használható.

Mivel a rendszer virtuális műszerezésre szolgál, így az elkészült forrásprogramok .vi (virtual instrument) kiterjesztést kapnak. A vi-ok programok speciális könyvtárakba - vi library - rendezhetők. A vi library a Windows intézőben egy file-ként jelenik meg .llb kiterjesztéssel, de LabView környezetben egy vi library természetesen több vi-programot is tartalmazhat.

Ha LabView-ban programozunk, akkor a legegyszerűbb esetben kétfajta ablakot használunk: a felhasználói kezelőfelület ablakát (Front Panel) és a grafikus program ablakát (Block Diagram). Minden bemeneti és kimeneti egységnek kétféle megjelenési formája van: a Front Panelen látható és a Block Diagrammon látható forma.

A Front Panelen vannak elhelyezve a programot vezérlő nyomógombok, kapcsolók, érték-megadó mezők, különböző kijelzők, grafikonok, vagy legördülő típusú menük, vagyis amit a program használója lát. A program fejlesztése közben a LabView fejlesztő környezetéből történő futtatás során is ezen a képernyőn tesztelhető a program. A Front Panelen elhelyezett objektumok névvel ellátva automatikusan megjelennek a grafikus program ablakában vagy más néven a Block Diagramban. Itt tervezzük meg a program futását. A bemeneti és kimeneti egységek (vezérlő és megjelenítő blokkok, Control, Indicator) valamint a köztük kapcsolatot teremtő funkcionális egységek a blokkdiagramon össze vannak huzalozva. A huzalozás jelenti a végrehajtás menetét, lényegében a programot. Minden egyes vezérlőtől (a bemenetektől) a huzalok vagy vonalak mentén egy-egy adatút alakul ki a megjelenítő-kig (kimenetekig). A blokkdiagram (program) végrehajtását az adatfolyam határozza meg. Egy adott funkcionális egység akkor hajtódik végre, ha az összes bemenetén rendelkezésre állnak az adatok. A funkcionális egység a végrehajtás után az összes kimenetére kiadja a megfelelő adatot.

A grafikus jelekkel meghatározott műveletek, függvények, a köztük lévő vezetékezésnek megfelelően futnak le. A Front Panelhez és a Block diagramhoz tartozó építőelemek palettákon jelennek meg (Controls és Functions paletták), melyek segítségével implementálható a választott algoritmus.

6.2. Szoftver specifikáció

6.2.1. A projekt leírása

Az alábbiakban dokumentált alkalmazás a „A BOSCH Body Computerek vizsgálata EMC szkennelrel” című diplomaterv terméke. A fedélzeti vezérlők fejlesztése során is gyakori probléma, hogy a termék EMC tesztje során egy esetleges hibaforrás detektálása után a vizsgálat hosszú időt vesz igénybe. Az EMC szkennelrel a zavarforrás lokalizálható, a mérés gyors és nem vesz igénybe komolyabb erőforrásokat szabvány szerinti méréshez képest. A feladat végtermékeként előálló eljárás segítségével a fejlesztés során lehetőség nyílik idő és költség megtakarításra, illetve megfelelő kiindulópont biztosítható esetleges hibák korrekciójára.

6.2.2. Használati esetek

A szoftver alkalmazása során előforduló használati esetek (use case-ek):

- Mérési adatok betöltése: Az alkalmazás a Detectus AB RS 642 szkennel által előállított és a Detectus AB Convert.exe alkalmazása által ASCII formába konvertált EMC-Scan típusú mérési eredményeket képes megfelelően feldolgozni. A betöltött fájl formátumát leellenőrzi a program, és nem megfelelő fájl esetén a működést leállítja, hibaüzenettel jelez a felhasználónak.
- Layout betöltése: A layout információt is szöveges fájlként várja a program. Ezt nem szükséges betölteni minden alkalommal, mivel az alkalmazás elsősorban Body Computerekhez készült, és ezt az információt statikusan tárolja. A layout fájl cserélhető. A betöltött fájl formátumát leellenőrzi a program, és nem megfelelő fájl esetén a működést leállítja és hibaüzenettel jelez a felhasználónak.
- Paraméterbeállítás: A sugárzó alkatrészek azonosítása során ezen funkció segítségével beállítható az adott design esetére vonatkoztatott, már zavaró hatásúnak minősített térerősség érték.
- Zavarforrások azonosítása: A megfelelően megadott bemeneti adatok és megfelelő limit érték esetén a program listázza a beállított limit felett sugárzó elemeket.

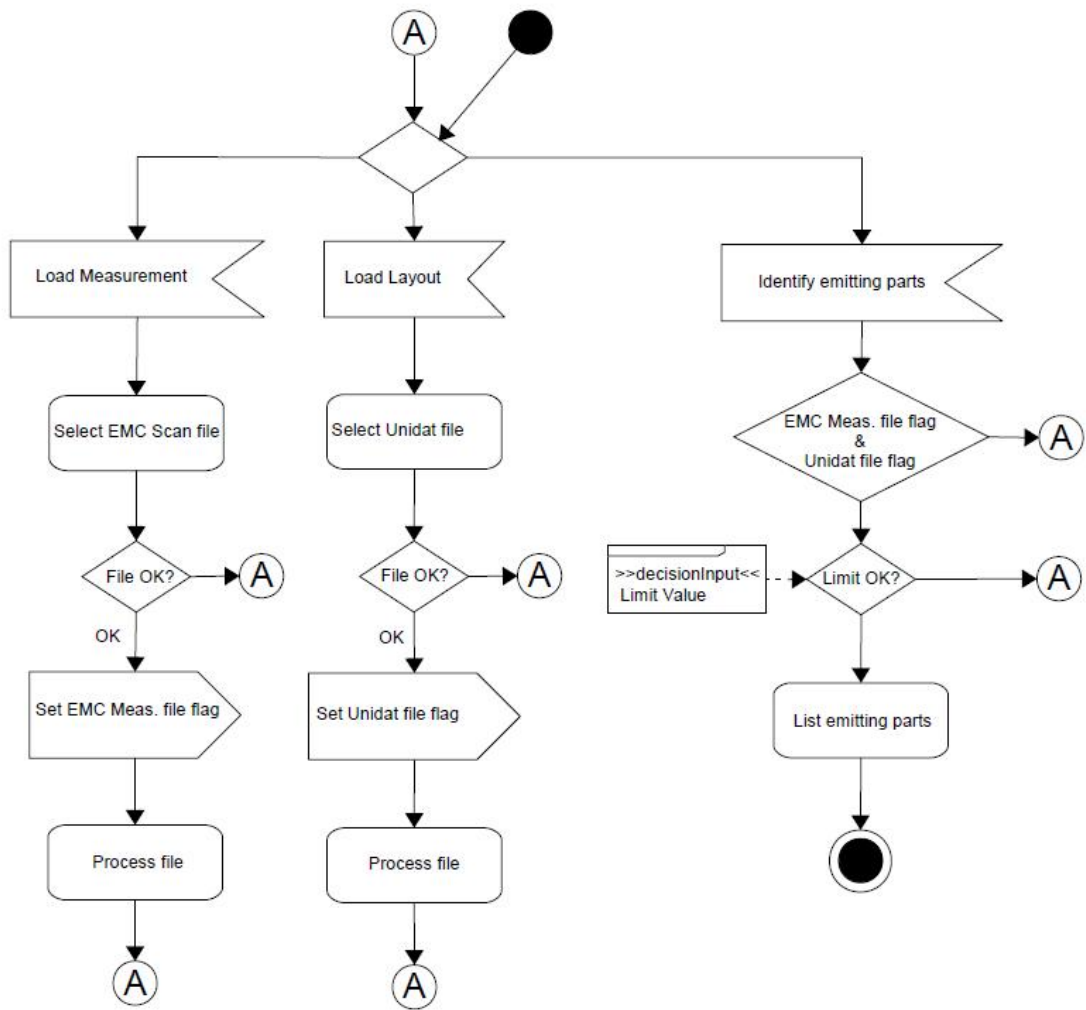
6.2.3. Algoritmus

A szoftver a sugárzó alkatrészek azonosítására úgynevezett listák közötti cross-check műveletet hajt végre. A koordináta alapú layout-, illetve téreloszlás információ alapján a kimeneti lista generálható. A megadott limitérték feletti térerősség értékekhez tartozó koordinátákat a program kikeresi, és a layout listában ezekhez a pontokhoz tartozó alkatrész neveket új listába menti. A szkennel által elérhető legkisebb lépésköz 1 mm, így a layout fájl megadása elegendő 1 mm-es felosztással. Esetleges gyorsabb mérések érdekében a lépésköz növelhető, ekkor az alkalmazás durvább felosztás szerint, de szintén a fent megadott módon működik.

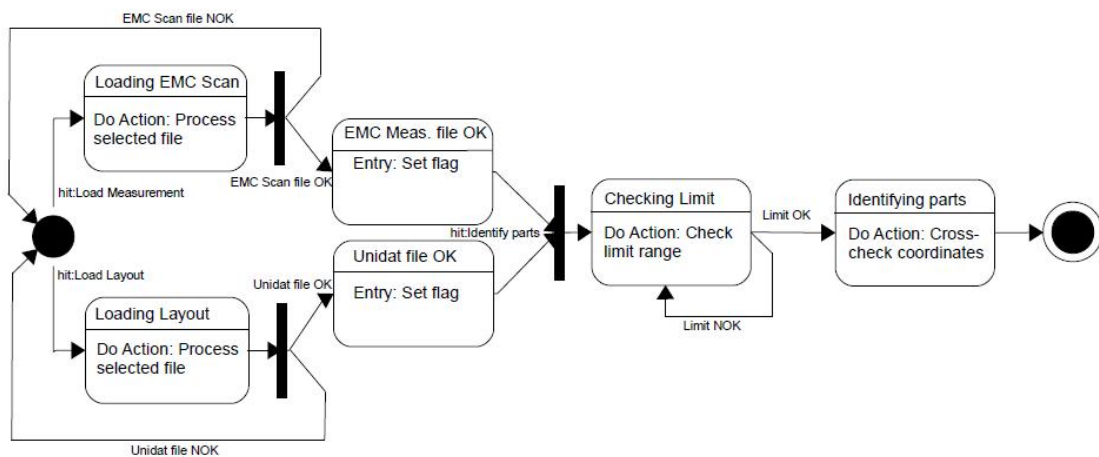
A szoftver működése eseményvezérelt. Elemi események a layout illetve EMC Scan típusú mérés betöltésének kezdeményezése, illetve a zavarforrások listázásának indítása. Zavarforrások azonosításához szükséges előzőleg egy EMC Scan típusú mérés, illetve a layout információkat tartalmazó unidat fájl betöltése. A szkennel mérési adatainak betöltése a fájl ellenőrzésével indul, majd ezt követően a program feldolgozza az adatokat, alkalmassá téve ezzel az információt a későbbi összevetésre. A kiválasztott fájl ellenőrzését követően a layout betöltése során előáll az alkatrészek neveit és a középpontok koordinátáit tartalmazó lista is. Zavarforrások listázásához olyan állapotba kell kerülnie a rendszernek, hogy a fenti műveletek sikeres végrehajtását jelző flagek igaz értékűek legyenek, illetve a limit értéket az előzőleg kiolvasott és kijelzett értelmezési tartományon belül adja meg a felhasználó. A feltételek teljesülését követően a felhasználó kezdeményezésére a szoftver kikeresi a szkennel mérési adatait tartalmazó listából a limit felett sugárzó pont(ok) koordinátáit, majd a layout információkból kinyeri az ezen pont(ok)hoz legközelebb eső középpontú alkatrészek referencia elnevezéseit.

A program viselkedésének leírására szolgál az aktivitás diagram (6.1. ábra). Az úgynevezett „token flow” szemantikán alapuló leírás lényegében egy jól definiált folyamatábra, amely a vezérlő jel vagy token áramlását szemlélteti. A jelölések megfelelnek az UML (Unified Modeling Language) szabványnak.

Az állapotdiagram a program dinamikus viselkedését ábrázolja, megadja, hogy mely események hatására milyen állapotok állnak elő, illetve milyen állapotátmenetek következnek be (6.2. ábra). Az UML diagramok struktúrájában szintén a viselkedést leíró ábrák közé tartozik.



6.1. ábra. A program viselkedési leírása UML aktivitás diagrammal

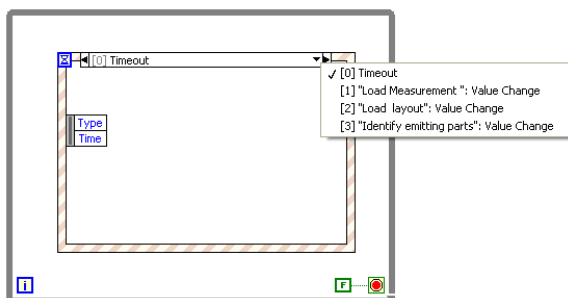


6.2. ábra. A program viselkedési leírása UML állapot diagrammal

6.3. Implementáció

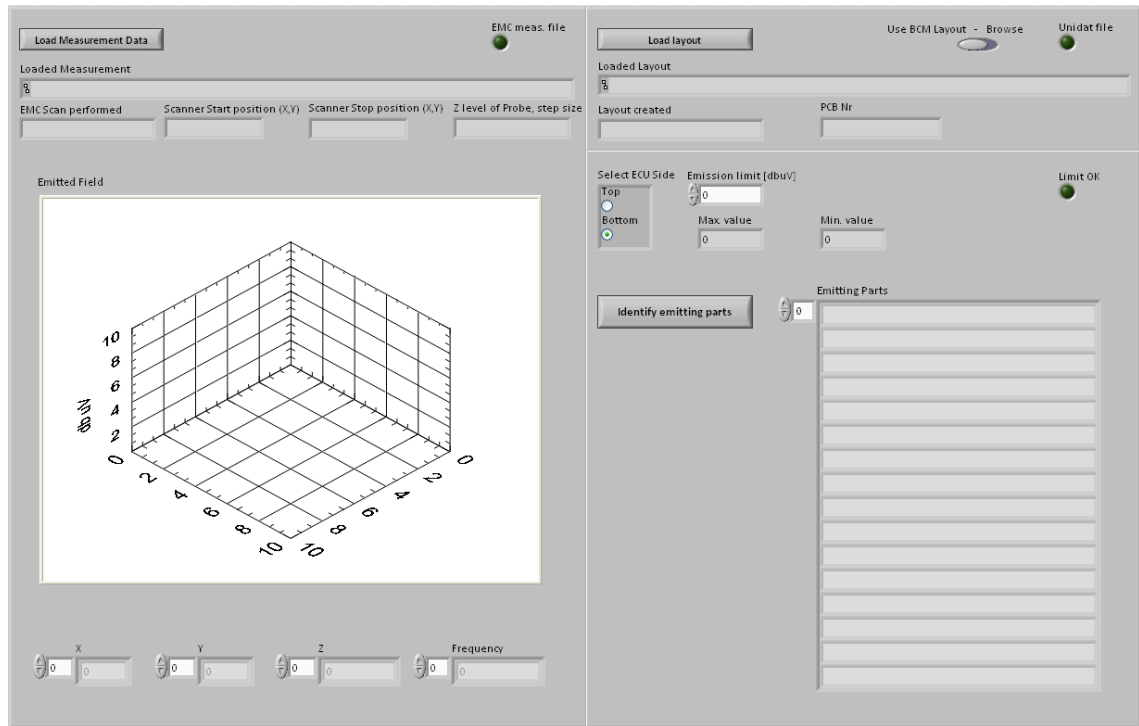
6.3.1. Szoftverstruktúra

Az implementáció során meg kellett találni az adott feladatra alkalmas vi-okat, illetve a különböző adattípusok konverzióját is meg kellett oldani. Az elkészült szoftver funkcionálisan és strukturálisan is 3 fő részből tevődik össze. A működés eseményvezérelt, 3 nyomógomb (Load Measurement, Load Layout, Identify emitting parts) egyenkénti megnyomása alkotja az elemi eseményhalmazt. A fő ciklus egy while típusú struktúra, amely a program indításától bezárásáig fut. Ezen a cikluson belül történik a 3 gombnyomás lekezelése (6.3. ábra). A főcikluson kívül a csak egyszer lefutó inicializáló vi-ok találhatók.



6.3. ábra. A szoftver váza

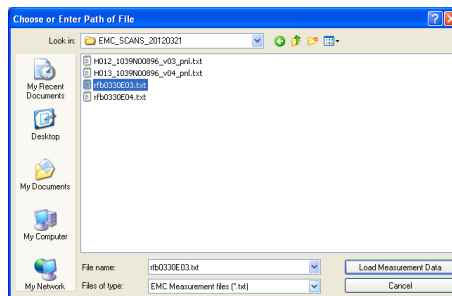
A főciklusban egy eseményvezérelt programok létrehozására használt struktúra található (event case structure), amely a felhasználói felületen található nyomógombok értékváltozására érzékeny. Ezzel a megoldással elkerülhető a nyomógombok értékének folyamatos lekérdezése (polling). A mérési adatok betöltését megvalósító kódrészletet a „Load Measurement” címkéjű eset tartalmazza, a PCB terv adatainak kinyerését megvalósító kód a „Load Layout” címkéjű blokkban található, míg a kimeneti alkatrészlista generálása az „Identify emitting parts” címkéjűben. A funkciók természetéből fakadóan az alkatrészek beazonosítása nem futtatható mérés, illetve layout betöltése nélkül. Ezek sorrendje tetszőleges. A felhasználói felület a 6.4. ábrán látható.



6.4. ábra. Felhasználói felület

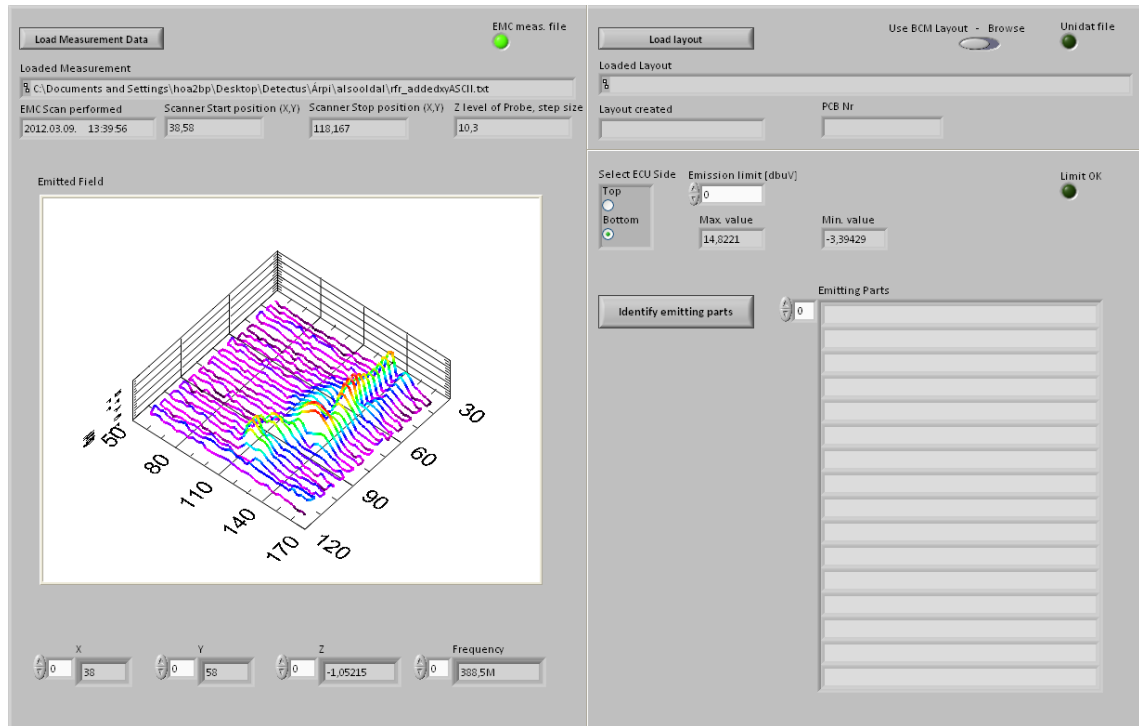
6.3.2. Mérési adatok betöltése

A felhasználói felületen a „Load Measurement Data” feliratú gomb megnyomásának hatására a gombhoz tartozó boolean terminál true értékbe billen, és a nyomógomb értékének megváltozására érzékeny struktúra megfelelő ága kerül végrehajtásra. A gombnyomást követően egy felugró ablak jelenik meg, amely a szkennelhez tartozó konvertáló program segítségével előállított ASCII formátumú mérési fájlokat vár (6.5. ábra).



6.5. ábra. Szkenner mérési adatainak betöltése

A mérési fájl kiválasztása után a felugró ablakban a „Load Measurement Data” feliratú gombra kattintva a program betölti a mérési adatokat (6.6. ábra). A beolvasott térerősség értékek minimuma és maximuma is látható a felhasználói felület jobb oldalán, hogy a későbbiekben szükséges térerősség limit értéket meg tudja adni a felhasználó.



6.6. ábra. EMC Scan típusú mérés megjelenítése

A „Loaded Measurement” címkejű elérési útvonal az előző lépésben kiválasztott mérési adatfájltra mutat. A konvertált fájlok fejlécében a mérésre vonatkozó adatok találhatóak, melyek közül a jelen felhasználás szempontjából fontosak a felhasználói felületen is megjelennek. Ezt követően kerül sor a mérési rekordokat tartalmazó rész feldolgozására. A konvertált EMC Scan mérési fájlban az „X;Y;Amplitude;Frequency” sort követően két-tősponttal elválasztva ennek megfelelően találhatóak meg az adatok (6.7. ábra). Ezen a

```

date: 2011.11.16. 15:09:46
Measuring points
Start X: 40
End X: 165
Start Y: 15
End Y: 155
Z level: 40
Step size: 5

Frequency of highest peak: 124813213
X;Y;Amplitude;Frequency
40;15;40,624870300293;123553213
40;20;39,4506721496582;123553213
40;25;40,0200729370117;126073213
40;30;40,7314720153809;124813213
40;35;41,7936706542969;123553213
40;40;42,8528709411621;127353213

```

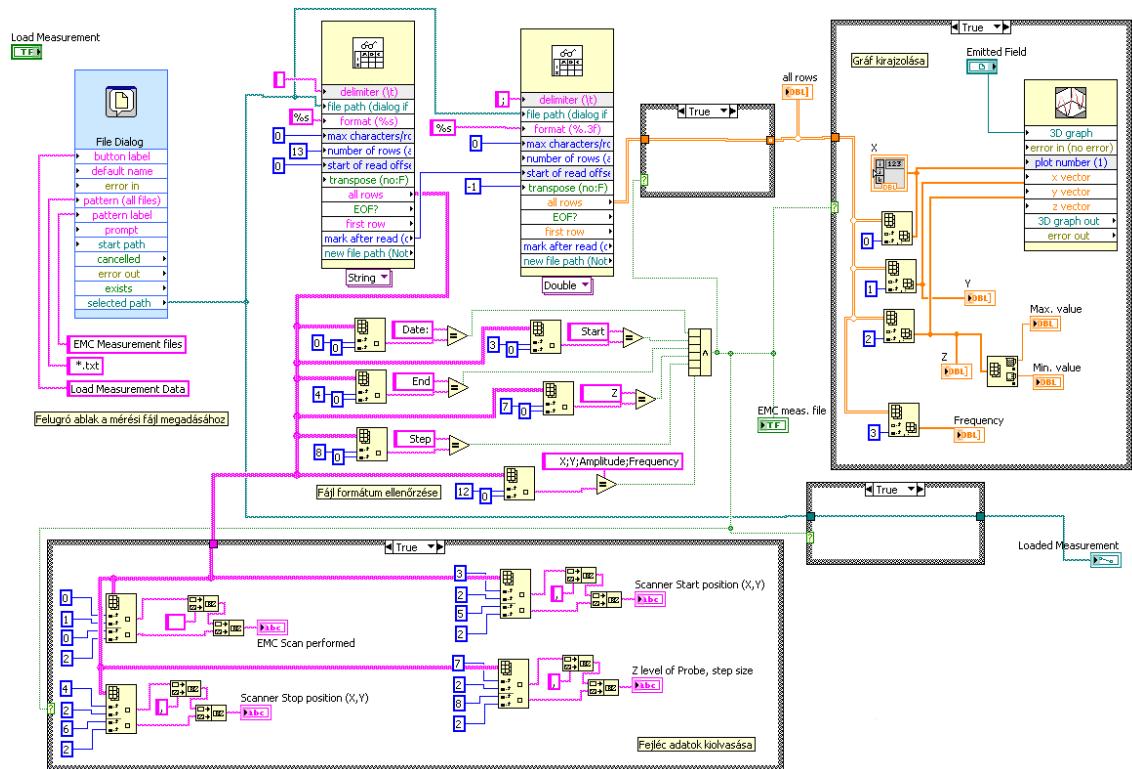
6.7. ábra. Konvertált EMC Scan típusú mérési fájl tartalma

ponton történik meg a fájlformátum ellenőrzése is, a program hibaüzenettel jelzi, ha nem a fentieknek megfelelően tagolt fájlt adunk át bemenetként. Utolsó lépésként a beolvasott koordináta és amplitúdó értékeket az alkalmazás egy gráfon rajzolja ki. A beolvasott adatokat böngészhetjük a gráf alatt található indikátorok segítségével. A mérési adatok betöltésének implementálása során a következő vi-okat használtam:

- File Dialog,
- Read From Spreadsheet File,

- Index Array,
- Display Message To User
- NI_3Dgraph
- Array Max&Min

A felugró ablak létrehozására szolgál a „FileDialog.vi”, paramétereit a felugró ablak feliratai, illetve a keresett fájl kiterjesztése. A kiválasztott mérési fájlt a „ReadFromSpreadsheetFile.vi” segítségével nyitja meg a program (6.8. ábra). Első használatkor csak a fejléc adatok kiolvasására szolgál, paraméterként a delimitert szóközzel definiáltam, illetve beállítottam, hogy csak az első 13 sor kerüljön beolvasásra. Kimenatként egy sztringekből álló tömb jön létre, amelyben az „IndexArray.vi” segítségével kerestem. Amennyiben a fájl megfelel az EMC Scan típusú mérési fájlok tartalmának, és struktúráisan a Detectus Converter segítségével előállított fájlformátumnak, az alkalmazás tovább lép. Amennyiben hibás fájlt adunk meg, a program hibaiüzenettel jelez a felhasználónak. A fejléc adatok közül a mérés dátumát, a szkennert kezdő- és végpozícióját, z irányú magasságát, illetve a lépésközt jelenítettem meg a Front Panelen. A második „ReadFromSpreadsheet.vi” bemeneti paraméterként megkapja a fájlban azt a pozíciót, ahol az első végrehajtás leállt, azaz a fejléc végén és az adatrekordok előtt. Itt delimitertnek kettőspontot kötöttem be. További eltérés, hogy kimenatként double típusú tömb jön létre, amely tartalmazza a mérési pontok koordinátáit, az amplitúdót, és a frekvenciát. Ebből a tömbből az „IndexArray.vi” segítségével a koordinátákat és az amplitúdót tartalmazó oszlopokat bekötöttem a 3D-s gráfot kezelő „NI_3Dgraph.vi” bemenetére. Az amplitúdók közül ezen a ponton kerül meghatározásra a minimum és a maximum érték. Az indikátorok indításkor történő alaphelyzetbe állítására a „Reinitialize to default” invoke node-ot használtam. A 3D gráf esetében azonban sajnos nem hozható létre ilyen vi. Ez kiküszöbölhető, ha a gráf első beillesztésekor megjelenített alapnézetét a blokkdiagram nézetben található „Edit” menü „Make current values default” menüpontját használva mentjük alapértelmezett kezdőállapotként. Az „EMC meas. file” címkéjű ledet flagként használtam a későbbiekben, 1-be billentése a sikeres EMC Scan mérés betöltését jelzi, 0 értéke a lépés le nem futtatását, vagy nem megfelelő fájl megadását jelzi.



6.8. ábra. Mérési fájl betöltését megvalósító blokkdiagram

6.3.3. PCB terv betöltése

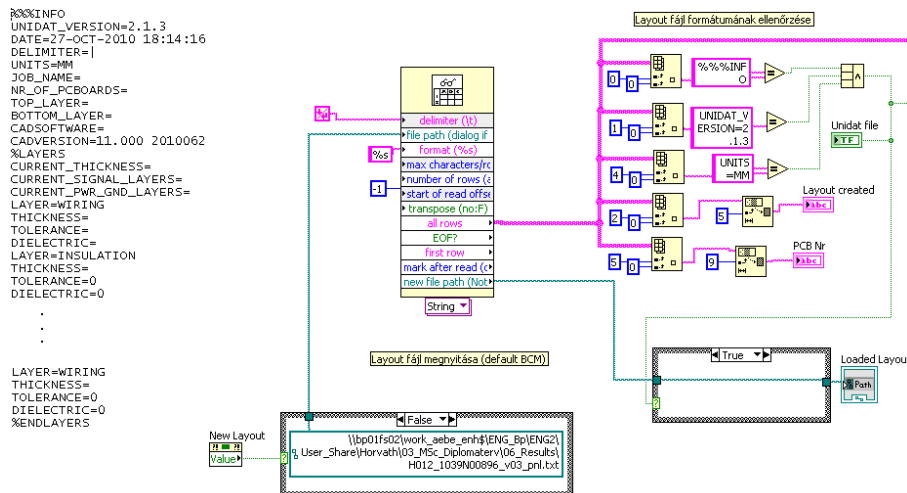
Ezen funkció segítségével betölthetünk egy .uni kiterjesztésű, layout információt standard formában tartalmazó fájlt. A felhasználói felületen a „Load layout” címkéjű nyomógomb megnyomására a gombhoz tartozó boolean típusú terminál true értékűvé válik, ami az eseményvezérelt blokk érzékenységi listájába tartozó eseményt jelent. A gombnyomás után lefutó kód a fájl betöltését, formátumának ellenőrzését, valamint a kívánt információk kinyerését végzi el a szöveges leírásból.

Felhasznált vi-ok:

- File Dialog,
- Read From Spreadsheet File,
- Index Array,
- Display Message To User
- Reverse 1D Array
- Array Subset
- Array Size
- Build Array
- Delete From Array

- Search/Split String
- String Subset

A felhasználói felületen jobb felül található választó gombbal jelezhetjük, hogy a Body Computerhez tartozó unidat fájlt kívánjuk használni, vagy egy ettől eltérőt szeretnénk megadni. Az új fájl kiválasztása a mérési adatok beolvasásához hasonlóan felugró ablakon lehetséges. A felugró ablakot a már ismertetett „FileDialog.vi” segítségével hoztam létre. Az unidat fájl megadását, a fájl feldolgozását, és a BCM-től eltérő design használatát jelző „New Layout” flag kezelését egy úgynevezett „Flat Sequence Structure” egymást követő blokkjaiban implementáltam. Ezzel a megoldással válik lehetővé, hogy a program indítását követően több eltérő tervet töltsünk be. A szoftver a layout információk megadása után megnyitja a kiválasztott fájlt. Delimiternek újsor elemet kötöttem be a már ismert „ReadFromSpreadsheet.vi”-ba, így a végrehajtás eredményeként sztringeket tartalmazó tömb jön létre, ahol minden elem egy-egy sor az eredeti fájlból. Ez a szöveges leírás is tartalmaz egy fejléct, amelyet a program ellenőriz (6.9. ábra). Ha nem a várt standard fájlfelepítést detektálja, akkor hibaüzenettel jelez, és a művelet sikeres lefutását jelző flag nem billenik 1-be.



6.9. ábra. Layout információk betöltése

A fejléc ellenőrzését követően a program a nagyméretű (több százezer sornyi) szöveges fájlból kikeresi az alkatrészek referenciáját és koordinátáit tartalmazó sorokat. Ennek kezdetét a %%COMPONENTS sztring, végét pedig üres sor jelzi. Miután megtalálta a kívánt fájlrészt, a szoftver a nem használt részeket törli. Eredményül egy olyan tömb jön létre, amely csak az alkatrészek pozíciójára vonatkozó sorokat tartalmazza. Ehhez törölni kell a hasznos részen belülre eső %LOCAL és %ENDLOCAL sztringek közti tartalmat is (6.10. ábra). Az alkatrészekre vonatkozó sorok a következő formában tartalmazzák az információt:

Referencia ||| Bosch TTNr. || Footprint ||| Rotáció | PCB Oldal | X koord. | Y koord.

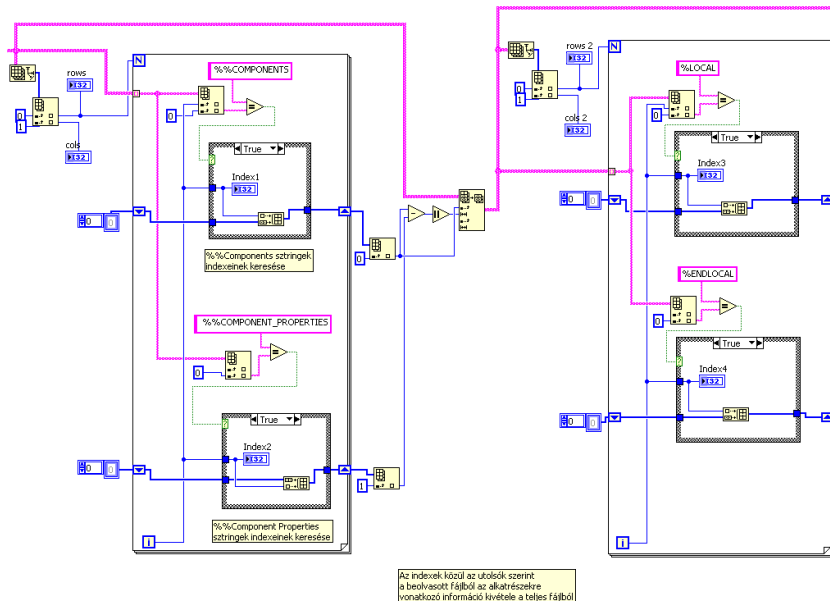
```

%%COMPONENTS
C1500|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||180|4|125.75|86.1|125.75|86.1|SMD|||smd||
R400|1267360629|RC-0402-H0.4-Z01-RD75||90|4|50|150.5|50|150.5|SMD|||smd||
C1118|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||180|4|126.2|143.1|126.2|143.1|SMD|||smd||
R401|1267360629|RC-0402-H0.4-Z01-RD75||180|4|124.8|127.4|124.8|127.4|SMD|||smd||
C1501|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||90|4|123.8|86.5|123.8|86.5|SMD|||smd||
C1119|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||90|1|125.9|127.4|125.9|127.4|SMD|||smd||
R402|1267360428|RC-1206-H0.75-Z01-RD75PBF||90|1|78.5|118.5|78.5|118.5|SMD|||smd||
C1502|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||0|4|78.1|16.4|78.1|16.4|SMD|||smd||
P1716|C_MP14|MP-CL_4-Z01-RD75||180|4|174.3|16.7|174.3|16.7|SMD|||tmt||
C1503|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||270|4|80|15.9|80|15.9|SMD|||smd||
R403|1267361316|RC-0402-H0.4-Z01-RD75||270|1|36.5|150.3|36.5|150.3|SMD|||smd||
R404|1267360428|RC-1206-H0.75-Z01-RD75PBF||180|4|78.8|118|78.8|118|SMD|||smd||
C1504|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||90|4|127.8|86.9|127.8|86.9|SMD|||smd||
C1310|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||180|4|166.1|78.1|166.1|78.1|SMD|||smd||
C1311|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||270|4|163.4|78.5|163.4|78.5|SMD|||smd||
R405|1267361300|RC-0402-H0.4-Z01-RD75||270|1|21.8|118.9|21.8|118.9|SMD|||smd||
C1505|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||0|4|127|88.9|127|88.9|SMD|||smd||
R406|1267361316|RC-0402-H0.4-Z01-RD75||90|1|55|149|55|149|SMD|||smd||
:
:
%LOCAL
%PINLIST
I1|0|0|CL_0|0|0|CL_0|0|0||
%ENDLOCAL
:
:
C1309|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||0|4|159.4|80.4|159.4|80.4|SMD|||smd||
C1115|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||180|4|112.5|33.36|112.5|33.36|SMD|||smd||
C1116|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||90|1|126.1|59.4|126.1|59.4|SMD|||smd||
P1712|C_MP14|MP-CL_4-Z01-RD75||180|4|176.7|16.7|176.7|16.7|SMD|||tmt||
C1117|1267370511|CC-0603-H0.95-Z01-RD75PBF||90|1|126.7|41.1|126.7|41.1|SMD|||smd||
:
:
%%COMPONENT_PROPERTIES
C1500|FTPRINT_TYPE=smd|
R400|FTPRINT_TYPE=smd|
:
:

```

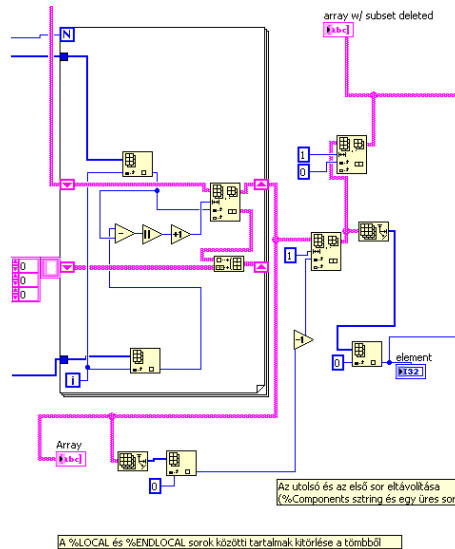
6.10. ábra. Unidat fájl hasznos részének struktúrája

A kód 6.11. ábrán látható része először megállapítja a tömb méretét az „ArraySize.vi” segítségével, majd ezt az értéket továbbítja a for ciklus számlálójának. A ciklusban végighaladva a sorokon a program megkeresi a %%COMPONENTS, %%COMPONENT PROPERTIES, sztringeket, és eltárolja a sorok indexeit. Mivel ezek a jelző sztringek többször is előfordulnak, ki kell keresni a megfelelőt, jelen esetben az utolsót. Ezt egy a for ciklushoz rendelt shift regiszterrel és a „BuildArray.vi” használatával valósítottam meg. A for ciklusban a shift regisztert az egyes iterációk közötti adatátadásra használtam, így a ciklus lefutása után egy tömbben állnak rendelkezésre az indexek. A „BuildArray.vi” fizik hozzá a shift regiszterhez találat esetén a következő elemet. Az „ArraySubset.vi”-t használva az eredeti tömbből csak a kívánt részt adtam át a második for ciklusnak, amely megkeresi az eltávolítandó %LOCAL és %ENDLOCAL sztringekkel határolt sorokat.



6.11. ábra. Unidat fájl hasznos részének keresését megvalósító kód

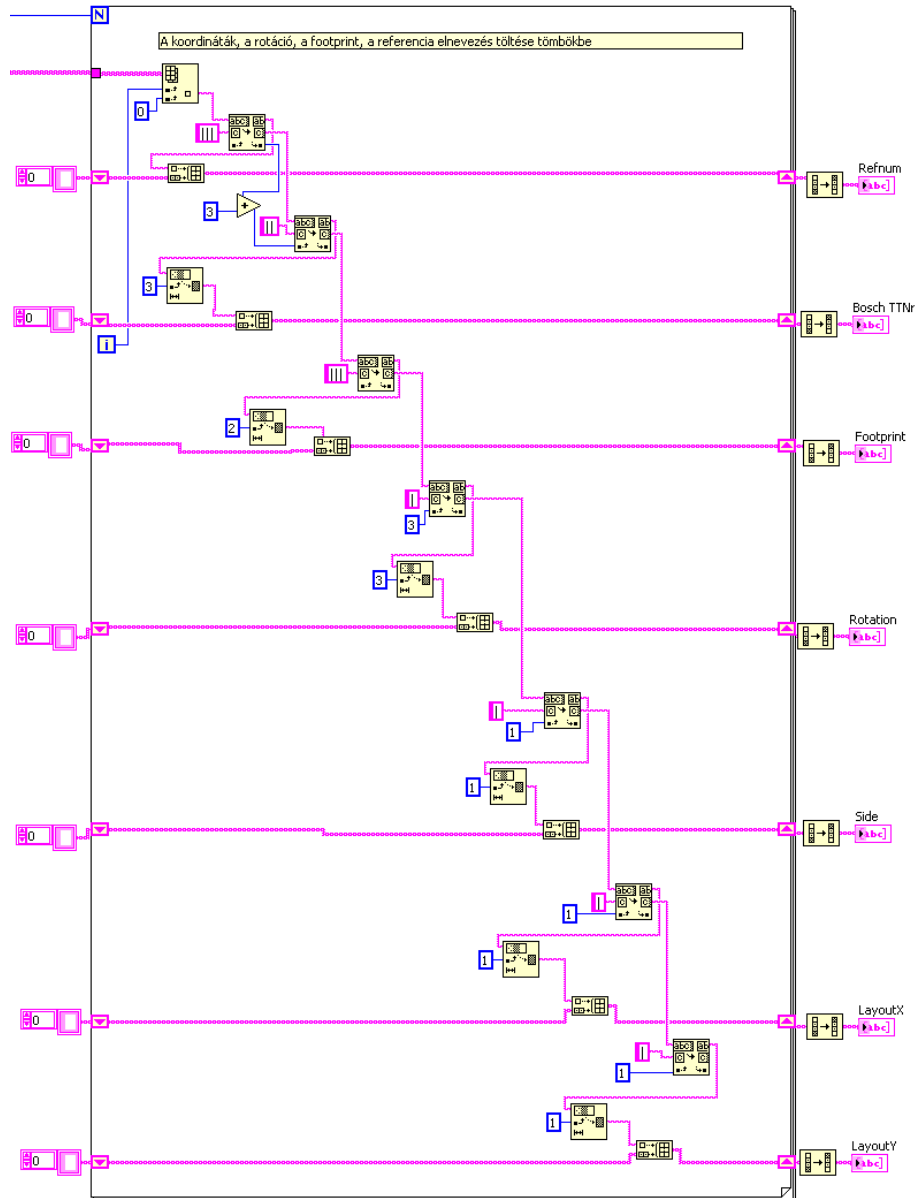
Amint rendelkezésre állnak az idexek, a program törli a %LOCAL és %ENDLOCAL sorokat, és a közöttük lévő részt (6.12. ábra). A törlés egy for ciklusban történik meg, a



6.12. ábra. Unidat fájl nem használt részeinek törlését megvalósító kód

ciklusszámlálót ez esetben is az indexekkel feltöltött tömb mérete határozza meg. A törlést a „DeleteFromArray.vi” segítségével oldottam meg. Így előáll a tisztán hasznos információt tartalmazó tömb, amely az ismertetett formában tartalmazza a koordinátákat.

A sorokat egyenként a „Search/SplitString.vi” segítségével először a „|” karaktersorozatnál bontja két részre a szoftver (6.13. ábra). Az első részt eltárolja a „Refnum” tömbbe, a sor fennmaradó karaktereit pedig a következő elválasztó karaktersorozat, azaz a „|” szerint bontja két részre. Eltárolja a Bosch referencia számot, és a fennmaradó részt továbbadja. Ezt az elvet folytatva előállnak azok az egyforma méretű tömbök, melyek tartalmazzák a sorokból kinyerhető paramétereket. Nem indexelt tömbátadás esetén a indexelés megfordul a új tömbben, ezért a „Reverse1DArray.vi”-t kell használni, hogy az eredeti indexelési irányhoz illeszkedő tömbök álljanak elő. A fejlesztés során a tömböket minden esetben az indikátorok segítségével manuálisan is ellenőriztem.



6.13. ábra. Információ kinyerés a standard felépítésű sorokból

6.3.4. Zavarforrások azonosítása

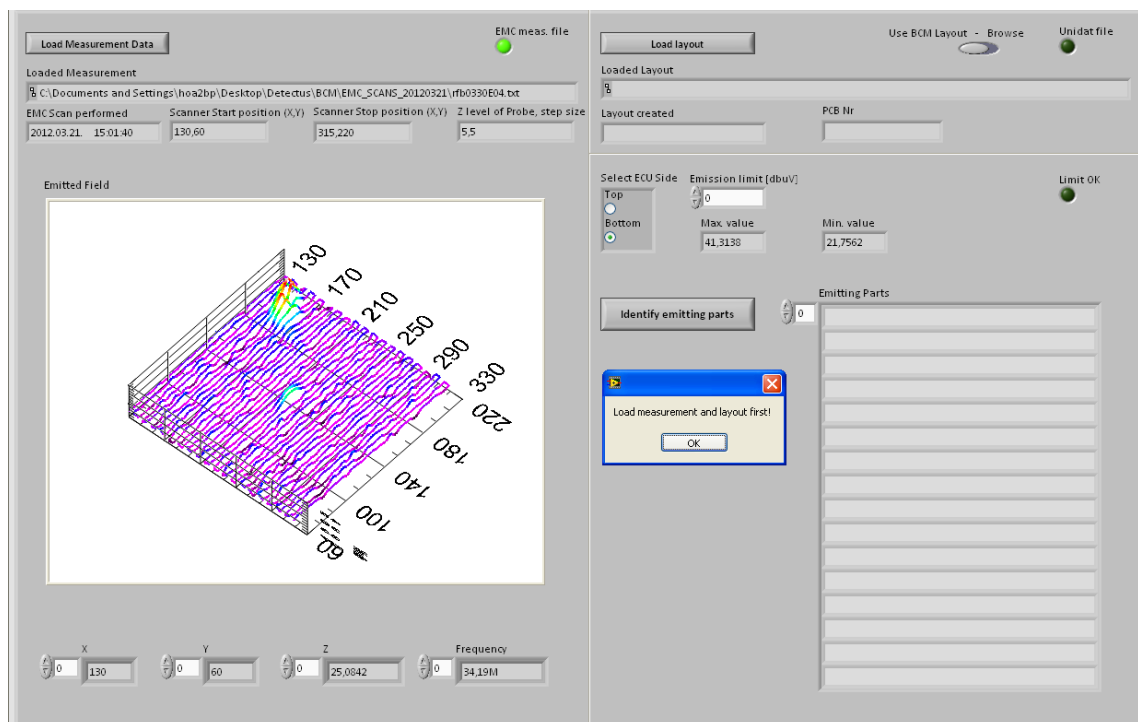
A beállított limit felett sugárzó alkatrészek beazonosítását végző folyamat az előző 2 lépésben előállított koordináta alapú adatsorokon hajt végre kereszt-ellenőrzést. Futtatásához szükséges a mérési adatsor, valamint egy unidat file betöltése, illetve helyes emissziós limit megadása. A layout információ és az EMC-Scan típusú mérés alanyának összetartozásáról a felhasználónak kell megbizonyosodnia, továbbá a mérendő eszközt a layout-referencia pontjával a szkennelés kiindulópontjába pozícionálva kell elhelyeznie.

Felhasznált vi-ok:

- File Dialog,
- Property Node Value,

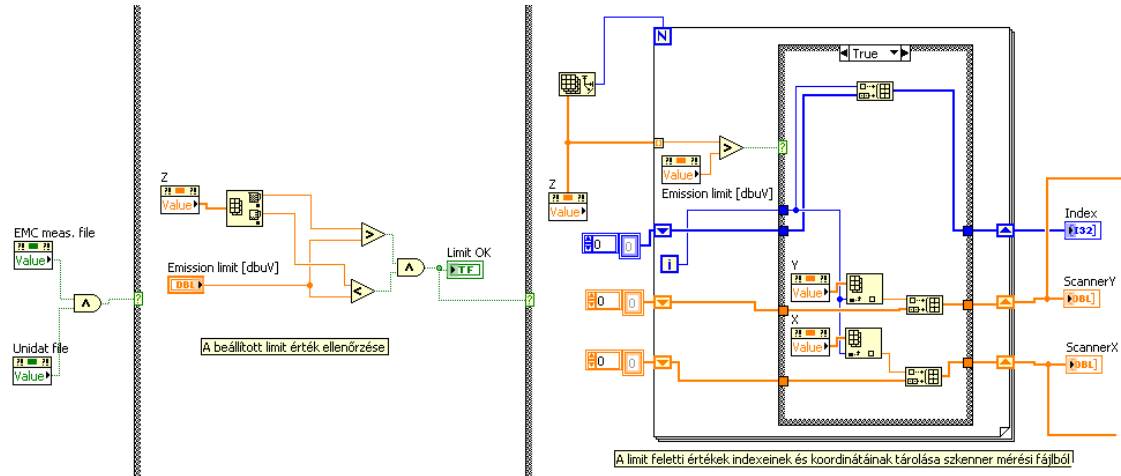
- Index Array,
- Display Message To User
- Reverse 1D Array
- Sort 1D Array
- Array Size
- Build Array
- Array Max&Min
- Search/Split String
- String Subset

Az „Identify emitting parts” címkéjű folyamathoz tartozó kódrészlet első lépésben ellenőrzi, hogy az „EMC meas. file” flag valamint az „Unidat file” flag logikai és kapcsolata 1 értékű-e (6.15. ábra). A ledek értékét úgynevezett Property Node-ok segítségével éri el a szoftver, ahol a választott property a value. Amennyiben egyik, vagy mindkét megelőző lépést elmulasztotta a felhasználó, arra az alkalmazás hibaiüzenettel hívja fel a figyelmet (6.14. ábra).



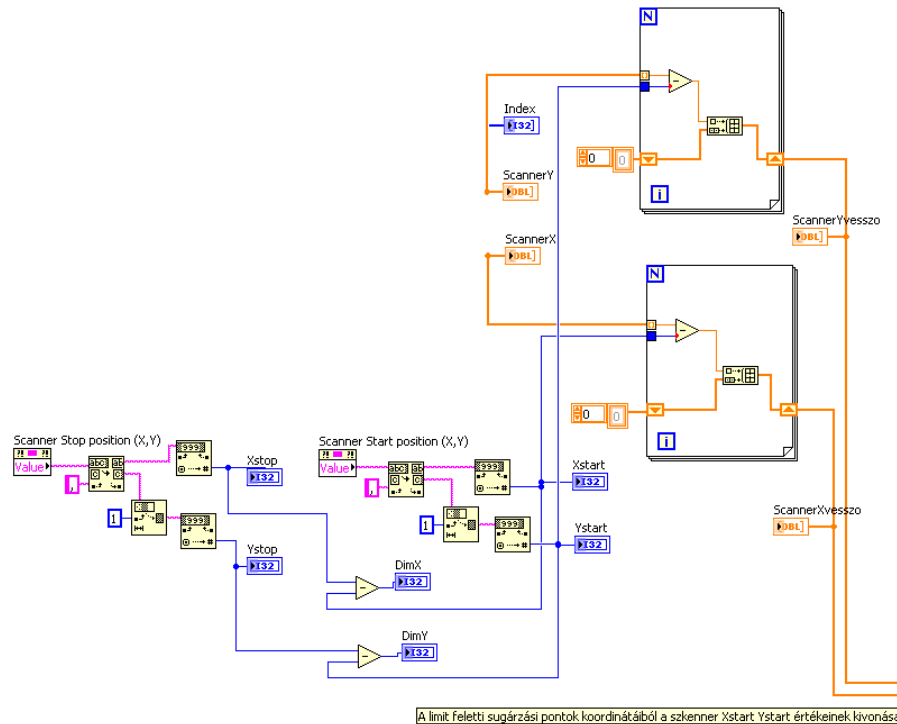
6.14. ábra. Kötött sorrendű végrehajtás

Logikai 1 érték esetén következő lépésben a program ellenőrzi, hogy a megadott emissziós limit a mért térerősség értékek maximuma és minimuma közé esik-e. A mérési amplitúdók tartományába eső limit esetén a következőkben meghatározásra kerülnek azok az X



6.15. ábra. A beállított limit felett sugárzó pontok keresése az EMC Scan mérési fájlból

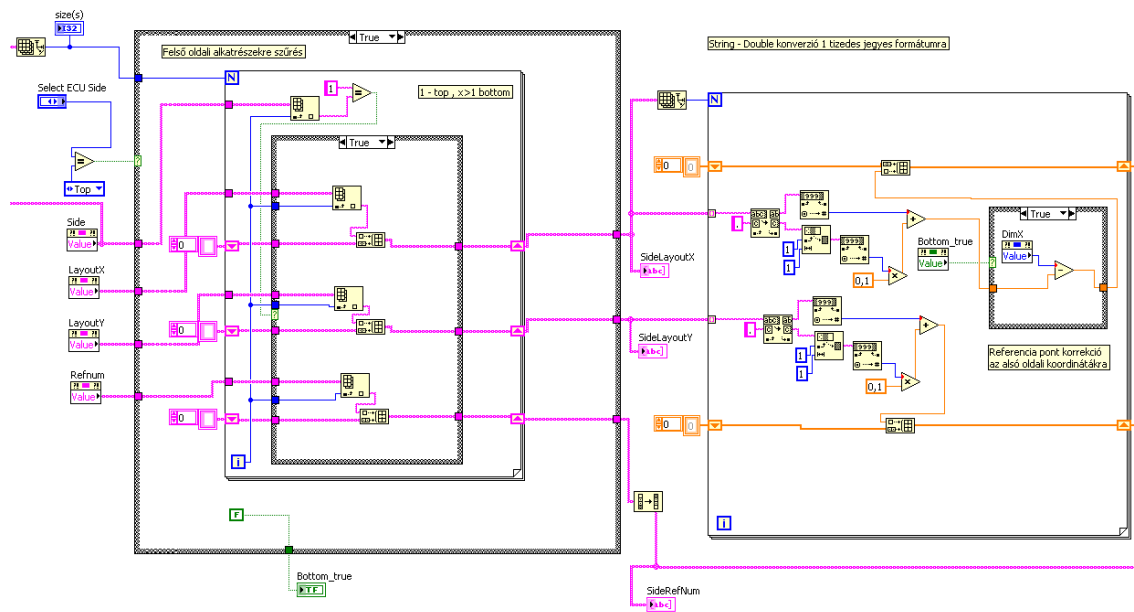
és Y koordináták az EMC Scan mérési fájlból, melyekhez limit feletti sugárzás tartozik (6.15. ábra). Ez technikailag a már ismertetett for ciklushoz tartozó shift regiszterrel és a „BuildArray.vi” segítségével történik meg. Ha előálltak a koordináták a szkennert referenciapozícióját az alkalmazás betolja az origóba, hogy összehasonlíthatóvá váljon a 2 koordináta csoport. A megoldáshoz a már kiolvasott „Scanner Start position” tömböt használtam Property Node segítségével elérve. A tömb a szkennelés kezdő pozíciójának koordinátáit vesszővel elválasztva tartalmazza egy sztringben. A program a sztringből a „Search/Split.vi” és a „StringSubset.vi” segítségével kinyeri „Xstart” és „Ystart” koordinátákat. Ezen a ponton szükség van a „DecimalStringToNumber.vi”-t használva sztring formátumúról 32 bites integerré való átkonvertálásra. A koordináták sztring formátumát a mérési adatfájl formátumának ellenőrzésekor az adatok sztring típusú tömbbe történő beolvasása okozza. Miután az adattípusok már lehetővé teszik, a referenciapont origóba tolési pontként a szkennert kezdő pozícióját leíró X és Y koordináták kivonásával történik meg (6.16. ábra).



6.16. ábra. A mérési koordináták eltolását végző kódrészlet

Az „ScannerYvesszo” és a „ScannerXvesszo” tömbök így az EMC Scan mérési fájlból a limit feletti sugárzási pontok koordinátáit tartalmazzák az origóba eltolt referenciaponttal. A program a „Scanner Stop position” tömbből a fent ismertetett módon kinyeri az x és y irányú végpont koordinátákat. Ezek közül az x jelenti a panel, illetve a lemért panelrészlet x irányú méretét milliméterben. Következő lépésben a rádió gombokkal beállított PCB oldalra szűr a szoftver az unidat fájlban. A layout adatok feldolgozásának eredményeként előálló tömbök közül a „LayoutX”, „LayoutY”, és „Refnum” elnevezésűeket a program a „Side” tömb tartalma alapján szűri. Az unidat fájlban a %%COMPONENT PROPERTIES jelölő sztringet követő sorok a már ismertetett helyen magukban rejtik az alkatrész beültetési oldalát. Jelen esetben a felső oldalt 1-es jelöli, és a PCB rétegek számától függően egy 1-nél nagyobb pozitív egész jelöli az alsó oldalt. Azért, hogy az alkalmazás más ECU-k esetén is alkalmazható legyen, itt elég az egynél nagyobb feltétel teljesülését figyelni. A rétegek számának dinamikus kezelése is szükséges ahhoz, hogy a program bármely más design esetén is használható legyen.

A lépés eredményeként létrejövő „SideRefNum”, „SideLayoutY” és „SideLayoutX” tömbök tehát a beállított ECU oldalon található alkatrészek adatait tartalmazzák az unidat fájlból. A 6.17. ábrán látható második for ciklus feladata a sztring típusú adatok double típusúvá konvertálása. Mivel ezt a lépést nem tudtam megoldani a rendelkezésre álló konvertáló vi-ok segítségével, létrehoztam egy saját ciklust, amely a bemeneti sztringet kétfelé bontja a „,” karakter mentén, majd a helyiértékektől függően beszorozza a megfelelő kitevőjű 10-es alapú hatvánnyal. A létrejövő „SideLayoutXDBL” és „SideLayoutYDBL” tömbök double típusúak, a konverziót a következő lépésben történő távolság számítási algoritmus indokolja. A layout koordináták értelmezésekor alsó oldali mérés esetében figyelembe kell

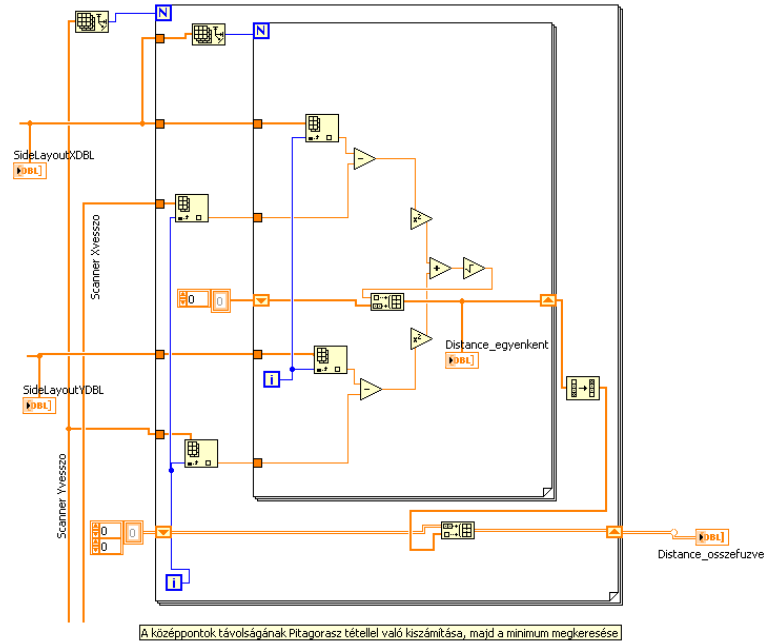


6.17. ábra. Az Unidat fájl koordinátáinak feldolgozása

venni, hogy a referencia pontot a felső oldali referencia pont levetítésével kapjuk, ezért alsó oldali méréseknél a panel, illetve a lemért panel részlet x irányú hosszából kivonva kapjuk a jelen értelmezésnek megfelelő, valamint a szkennertől mért értékekkel összevethető koordinátákat.

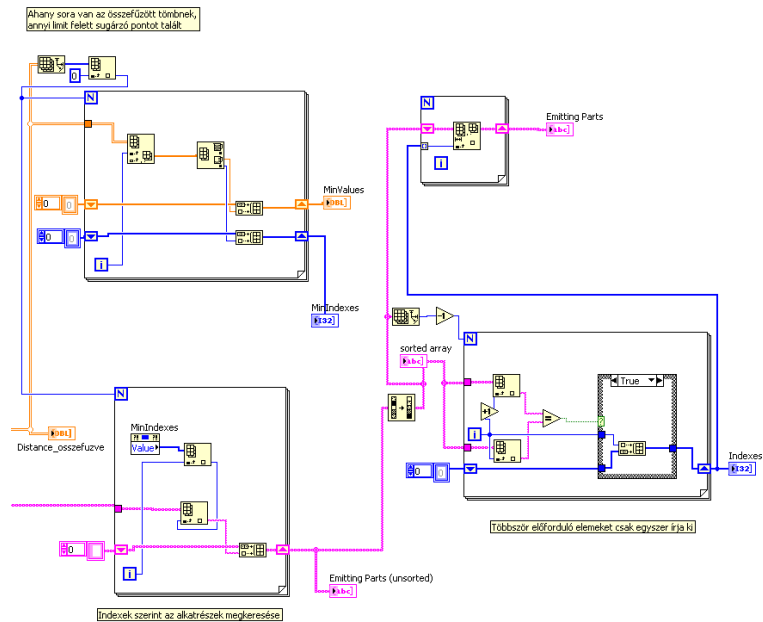
Ez a lépés a layout adatok sztringből double típusúvá való konvertálását követően történik meg. Az alsó oldali mérést a „Bottom_true” címkejű flagként használt led jelzi. A led értékéhez és a „DimX” változóhoz Value típusú Property Node segítségével fér hozzá az alkalmazás.

Miután rendelkezésre állnak a limit felett sugárzó pontok koordinátái double formátumúvá konvertálva és az origóba tolva, valamint az unidat fájlból kinyert alkatrészek koordinátái a megfelelő oldalra szűrve double típusú adatként, vizsgálhatók a sugárzó pontokhoz legközelebb eső alkatrész középpontok távolságai. A távolságot 2, egyenként egy koordináta párral leírt pont között a Pitagorasz tétellel számítottam ki (6.18. ábra). Ezt a lépést Labview-ban egymásba ágyazott for ciklusokkal oldottam meg. A belső ciklus addig fut, amíg a megfelelő oldalon található alkatrészeket végig ér, ezekre egyenként kiszámítja az aktuális limit feletti sugárzó ponttól vett távolságot. A külső ciklus lépteti a sugárzó pontokat.



6.18. ábra. Távolság számítások

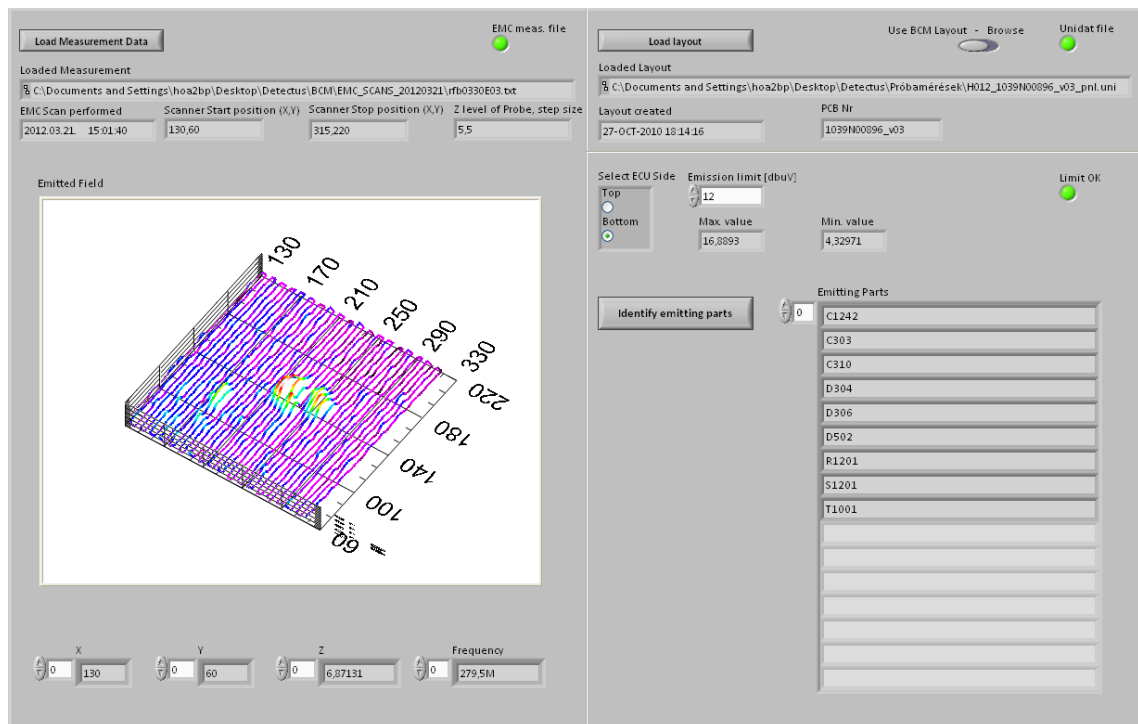
A lépés kimenete a „Distance_osszefuzve” címkejű tömb, amely annyi sort tartalmaz, ahány pontot talált a szoftver a megadott limit felett. Az oszlopok száma az aktuális oldalra eső alkatrészek számával egyezik meg. A 2 dimenziós tömbben tehát megtalálhatók a megengedettnél erősebben sugárzó pontok távolságai egyenként az alkatrészek-től számítva, amelyek a beállított oldalon találhatóak. A következő feladat a sorokban a minimum értékek megtalálása, és az oszlopindexek kikeresése.



6.19. ábra. Sugárzó alkatrészek keresése

Ezt a feladatot a 6.19. ábrán látható kódrészlet valósítja meg. A fenti for ciklus annyiszor fut le, ahány sora van a „Distance_osszefuzve” 2 dimenziós mátrixnak, azaz ahány ponton

sugárzott a mért vezérlő a megadott limit felett. Az „Array Max&Min.vi” segítségével a keresett értékek és az előfordulási indexek is kinyerhetők. A „MinIndexes” property node segítségével kikereshetők a „SideRefNum” tömbből a sugárzó pontokhoz tartozó referencia elnevezések. Ebben a lépésben kihasználtam, hogy a „SideRefNum” tömb úgy van indexelve, mint a „Distance_osszefuzve” mátrix oszlopai. A lépés kimeneteként előálló tömb azonban előfordulhat, hogy többször tartalmaz egy alkatrészreferencia elnevezést. Ezért a tömböt a „Sort 1D Array.vi” segítségével rendeztem, majd elemenként kikerestem az esetleges ismétlődések indexeit. A rendezett tömbből az ismétlődéseket jelölő indexek segítségével a felesleges elemek törölhetők. Sikeres mérési- illetve layout fájl betöltést követően helyesen megadott limit értékre a program kilistázza az unidat fájlból azokat a referencia elnevezéseket, amelyek a sugárzó alkatrészekre vonatkoznak. Egy ilyen végrehajtás eredménye látható a 6.20. ábrán. A 3 világító led jelzi az előfeltételek teljesülését. Végző lépésben az „Emitting parts” címkéjű listában kerülnek felsorolásra az alkatrészek. Az eredmények ellenőrzésére egy belső programot (BCMPartLocator) használtam, amely megerősítette a kimeneti listában szereplő alkatrészek sugárzó területek alatti elhelyezkedését.



6.20. ábra. Sikeres végrehajtás eredménye

7. fejezet

Összefoglalás, továbbfejlesztési lehetőségek

A bemutatott közeltéri mérési eljárás célja a hardverfejlesztés segítése, különösen az emissziós elektromágneses kompatibilitási problémák forrásainak beazonosításakor. Az elkészült alkalmazás kimondottan Body Computerekhez készült, de a standard formátumú bemeneti fájlok lehetővé tették a használatot más vezérlők esetén is. A fejlesztés során a Body Computer mellett más autóelektronikai vezérlőre is volt lehetőségem kipróbálni az eljárást. A végrehajtás mindkét esetben sikeres volt.

Az alkalmazás továbbfejlesztése több irányban is lehetséges. Az egyik irány az unidat fájl feldolgozásakor a footprint adatok - és ezáltal a tokméretek - kinyerése, továbbá az alkatrészek rotációjának figyelembe vétele. A tokközéppontok vizsgálata magában hordozza azt a veszélyt, hogy egy esetleges sugárzó pont valóban közelebb esik egy kis méretű szomszédos alkatrész középpontjához, de a valóságban az emittáló pont egy nagy méretű alkatrész tokjának területére esik. Ezen probléma megoldható egy olyan kódrész hozzáadásával, amely a tokméretek és a rotációk birtokában az alkatrészek kiterjedését veszi figyelembe a megfelelő középponttal és orientációval. Az így definiált értékekkel a vizsgálat szempontja az, hogy az adott sugárzó pont mely alkatrész területén helyezkedik el a 2 dimenziós síkon. További fejlesztési lehetőség a vezetősávok figyelembe vétele. Főleg az elektromos szondákkal végzett mérések értelmezése kívánja ezt meg. Ez a feladat jóval komplikáltabb, mint az alkatrészek vizsgálata. A változatos alakú vezetősávok helyzetének kinyerése a layoutot leíró fájlból közelszem olyan egyszerű, mint az alkatrészek esetén.

A diplomaterv kiírásnak megfelelően elkészült egy olyan eljárás, amely képes megnevezni zajforrásokat. A témában irodalomkutatást végeztem, amelyet követően megismertem a felületi szkennelés módszerét. Ezt egy szoftveres megoldással egészítettem ki. A mérési összeállítást követően méréseket végeztem, a szkennelés során a közeltéri szondák megválasztása bizonyult kiemelt fontosságúnak. Megfelelő mennyiségű mérési adat gyűjtését követően implementáltam a mérési fájlokat és a vezérlő elrendezését leíró fájlt feldolgozó szoftvert. Az alkalmazást LabView-ban készítettem el. A megvalósított funkció megfelelő kiindulópontot biztosít zavarforrások beazonosítására, információt nyújt belső zavarok továbbterjedéséről és így útmutatást ad a hibás tervek korrigálására.

Irodalomjegyzék

- [1] Bosch Automotive Handbook, Bentley Publishers, 7th edition, 2007
- [2] Hajdú Ádám, *High Frequency Characterization and Modeling of Electronic Components*, Diploma Thesis, BME-EET, 2010
- [3] Bódis-Szomorú András, *EMI szűrő tervezése elektronikus kormány szervó kapcsolási zajának elnyomására*, Önálló laboratóriumi beszámoló, BME-MIT, 2004
- [4] A Bosch Magyarországról,
<http://www.bosch.hu/content/language1/html/867.phtml>, 2012. május 10.
- [5] Automotive EMC Standards,
<http://www.autoemc.com/>, 2012. május 10.
- [6] Bosch Worldwide - About us
http://www.bosch.com/en/com/bosch_group/bosch_figures/bosch-figures.html, 2012. május 10.
- [7] Horváth Ákos, *A Bosch Body Computerekben alkalmazott félvezetők termikus vizsgálata*, Önálló laboratórium II zárójegyzőkönyv, BME-MIT, 2011
- [8] Molnár Zsolt, *Az elektromágneses kompatibilitás*, előadásjegyzet, BMF-KVK, 2009
- [9] Szűcs László, *Járműipari EMC mérések*, BME-SZHVT, 2008
- [10] Technische Universität Braunschweig, Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit, *Grundlagenlabor: EMV*, Version 2.5
- [11] T. Ostermann, B. Deutschmann, *TEM-Cell and Surface Scan to Identify the Electromagnetic Emission of Integrated Circuits*, GLSVLSI'03 Organization, 2003
- [12] Detectus AB, *EMC-Scanner*, RS Series Brochure

- [13] Scott Roleson, *EMC Testing: Using Field Probes as EMI Diagnostic Tools*, Conformity Annual Guide, 2007
- [14] Rhode&Schwarz, *Probe Set R&S HZ-15 for E and H near-field emission measurements with test receivers and spectrum analyzers*, 2006
- [15] Measuring Set-Up, *Near Field Measuring*, Langer EMV-Technik GmbH
- [16] Detectus AB, *EMC-Scanner datasheet*, 15th edition, 2010
- [17] Labview System Design Software,
<http://www.ni.com/labview/>, 2012. május 10.
- [18] Scherer Balázs, dr. Tóth Csaba, Molnár Károly, *Virtuális műszerek mérés sorozat*, BME-MIT, 2009
- [19] Fodor György, *Elektromágneses terek*, Műegyetemi kiadó, 2008
- [20] Joan-Ramon Regué, Miquel Ribó, Josep-Maria Garrell, Antonio Martín, *A Genetic Algorithm Based Method for Source Identification and Far-Field Radiated Emissions Prediction From Near-Field Measurements for PCB Characterization*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 43, No. 4, 2001

Ábrajegyzék

[1.1., 1.3., 1.4., 1.5., 3.8., 3.9.] Bosch Global Network (Intranet),
<https://inside.bosch.com/irj/portal>, 2012. május 10.

[1.2.] Tóth Csaba, *Autóipari beágyazott rendszerek*, BME-MIT előadás jegyzet

[2.1., 2.4.] Molnár Zsolt, *Az elektromágneses kompatibilitás*, előadásjegyzet, BMF KVK, 2009

[2.2.] Szűcs László, *Járműipari EMC mérések*, BME-SZHVT, 2008

[2.3.] Wikipédia,

http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_Vertr%C3%A4glichkeit, 2012. május 10.

[2.6., 2.7., 2.8., 2.9.] Hajdú Ádám, *High Frequency Characterization and Modeling of Electronic Components*, Diploma Thesis, BME-EET, 2010

[2.10., 3.5., 3.6.] Bódis-Szomorú András, *EMI szűrő tervezése elektronikus kormány szervó kapcsolási zajának elnyomására*, Önálló laboratóriumi beszámoló, BME-MIT, 2004

[3.1.] Teseq Inc. , *Automotive Electrical Disturbances*, USA, 2011

[3.2., 3.3., 2.5.] Technische Universität Braunschweig, Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit, *Grundlagenlabor: EMV*, Version 2.5

[3.4.] Molnár Zsolt, *Az elektromágneses kompatibilitás*, BMF-KVK, 2009 , T. Ostermann, B. Deutschmann, *TEM-Cell and Surface Scan to Identify the Electromagnetic Emission of Integrated Circuits*, GLSVLSI'03 Organization, 2003

[3.7.] Martin O'hara, *A Generic Automotive (TIER1) EMC Test Standard*, AutoEMC.net, 2006

[4.1.] Thomas Wunder, *Vergleich und Validierung berechneter und gemessener elektromag-*

netischer Felder von einfachen Leiterplattenstrukturen , Bühlertal, 2004

[4.2. ,4.3.] Detectus AB, EMC-Scanner, RS Series Brochure

[4.4., 4.5.] Scott Roleson, *EMC Testing: Using Field Probes as EMI Diagnostic Tools*, Conformity Annual Guide, 2007

[4.6.] Noise Laboratory Co., LTD., *EMC Precision Scan EPS 3000*

[4.7., 4.8., 4.9.] Langer EMV-Technik GmbH , *Near Field Measuring*

[4.10.] Langer EMV-Technik GmbH , *Preamplifier PA*

[4.11., 4.12., 4.13., 4.14., 4.15.] Detectus AB, *EMC-Scanner datasheet*, 15th edition, 2010

[5.6., 5.7.] Joan-Ramon Regué, Miquel Ribó, Josep-Maria Garrell, Antonio Martín, *A Genetic Algorithm Based Method for Source Identification and Far-Field Radiated Emissions Prediction From Near-Field Measurements for PCB Characterization*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 43, No. 4, 2001

Táblázatjegyzék

[2.1.] Szűcs László, *Mérési segédlet RF zavarkibocsátás és zavarérzékenység méréshez (EMC)*, BME-SZHVT, 2002

[2.2., 2.3., 2.4.] Bódis-Szomorú András, *EMI szűrő tervezése elektronikus kormány szervó kapcsolási zajának elnyomására*, Önálló laboratóriumi beszámoló, BME-MIT 2004

[3.1.] Bosch Global Network (Intranet),
<https://inside.bosch.com/irj/portal>, 2012. május 10.