



2013.11.05.

Közelítéri szkennер mozgó- és vezérlő egységeinek kifejlesztése

Tudományos Diákköri Konferencia

Készítette: Takács Annamária
Gépgyártástechnológia MSc I. évfolyam
Konzulensek: Dr. Nagy Sándor címzetes egyetemi tanár
Gyurika István Gábor tanszéki mérnök

NYILATKOZAT

Alulírott, Takács Annamária a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója kijelentem, hogy ezt a TDK dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a TDK dolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel.

Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból vettem át, egyértelműen a forrás megadásával jelöltem.

.....
Takács Annamária

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
1.1. Tartalmi összefoglaló	3
1.2. Content Summary	3
2. Elméleti összefoglaló	5
2.1. Elektromágneses összeférhetőség.....	5
3. EMC tudatos tervezés.....	12
3.1. Tervezési koncepciók – védelmi módszerek	12
4. Mérési eljárások	16
5. A mobil zavarforrással szembeni immunitás mérés bemutatása.....	17
5.1. A mérés felépítése	18
5.2. Mérési paraméterek, beállítások	21
5.3. A mérés folyamata.....	22
6. Koncepcióvizsgálat	23
6.1. Az elképzelés.....	23
6.2. Önálló konstrukció	23
6.3. Részegységek alkalmazása	24
6.4. A piacon található késztermékek felkutatása.....	25
7. A konstrukció	26
7.1. Követelmények.....	26
7.2. A mechanika	27
7.3. A tartószerkezet	29
7.4. A vezérlés	31
8. Konzekvencia, megvalósulás	39
9. Köszönetnyilvánítás	41
10. Irodalomjegyzék.....	42

1. Bevezetés

1.1. Tartalmi összefoglaló

A TDK munkám témáját a Robert Bosch Kft. Budapesti Fejlesztő Központjának EMC (Elektromágneses Kompatibilitás) csoportjánál végzett gyakornoki feladataim motiválták. Koncepciót készítettem sugárzott elektromágneses tereket alkalmazó automatizált mérések végzésére lehetőséget biztosító robot rendszer megvalósítására vonatkozóan.

A mérési idő és a mérési bizonytalanság csökkentése érdekében, egy orientációval, két tengely mentén mozogni képes, számítógép által vezérelt mechanikai konstrukciót terveztem, mely a mérő személy fizikai beavatkozását kizárja ki egy tesztelendő eszköz adott felülete mentén definiált nagyszámú mérőpont közti antenna állítás szükségese esetén. A koncepcióvizsgálatom részeként többféle lehetőséget tártam fel a megvalósításra vonatkozóan. Egy mozgó egységet és vezérlő elektronikát tartalmazó egyedi rendszer tervét alkottam meg, melyben az elektronika X-Y pozíció információt képes fogadni szabványos adatkommunikáció formájában egy személyi számítógéptől.

Az EMC mérés során, az aktív egyidejű adatgyűjtésért, a Robert Bosch Kft. által rendszeresített, már rendelkezésre álló felhasználói felület volt felelős, ezért ezen szoftver kifejlesztése túlmutatott az adott feladat keretein. A dokumentált koncepciót a Robert Bosch Kft. EMC méréstechnikai szakértői felülvizsgálták és kutató, ill. fejlesztő tevékenységeik támogatására való rendszeres alkalmazásra alkalmasnak minősítették.

1.2. Content Summary

My TDK job's aim came up during my trainee work at ElectroMagnetic Compatibility (EMC) group at Budapest Engineering Center of Robert Bosch Kft. A functional concept has been developed for a robot system enabling EMC test engineers to automatize radiated field electromagnetic characterization measurements.

A single orientation 2-axis mechanism, driven by computer control was designed to substitute human physical activity when there is a need of high number of near field antenna test points over a pre-defined surface of a device under test (DUT), for the reduction of test time and test uncertainty, as well. I have carried out investigations over several options during my research, as a part of my literature review. I have created an individual moving system's

design accompanied by control electronics, capable of receiving standard command frames containing X-Y position information, from a computer.

For active, synchronous data acquisition during EMC test, already available user interface was used (internally approved by Robert Bosch Kft.), hence such software design tasks were out of scope of the work. Documented concept was reviewed and determined to be applicable for regular use in research and development test activities, by EMC test engineering experts of Robert Bosch Kft.

2. Elméleti összefoglaló

Mit is jelent a CE jelölés? Amikor elektronikai berendezést vásárolunk, a rádiótávközlő berendezések esetében a gyártónak fel kell tüntetnie ezt a jelölést, hogy forgalomba hozhassa a készüléket. Ahhoz, hogy ez a két betű rákerülhessen a használati tárgy burkolatára, hosszú utat kell megtennie a terméknek. Mindezt az EMC rendeletben találjuk meg (31/1999 (VI. 11.) GM-KHVM), amelynek lényege, hogy a környezet elektromágneses terhelését csökkentsék, a szennyezést korlátozzák.

Az elektronikai termékek egyre szélesebb körű elterjedése, egyre nagyobb számban való jelenléte jellemző napjainkban. A biztonságos és „zavartalan” működés megvalósítása főként az elektromágneses teret kibocsátó termékeknél fontos, így folyamatosan szigorodó előírásokat kell teljesíteni a fejlesztésük során. A cél minimalizálni az elektromágneses tér energia-kibocsátását. Fontos, hogy a berendezés által kibocsátott jel csak arra hasson, amelyre szeretnénk. Más megközelítési szempontból pedig immunisnak kell lenniük a környezetből érkező zavarokra, illetve ki kell tudniuk szűrni a számukra hasznos jelet a „zajból”.

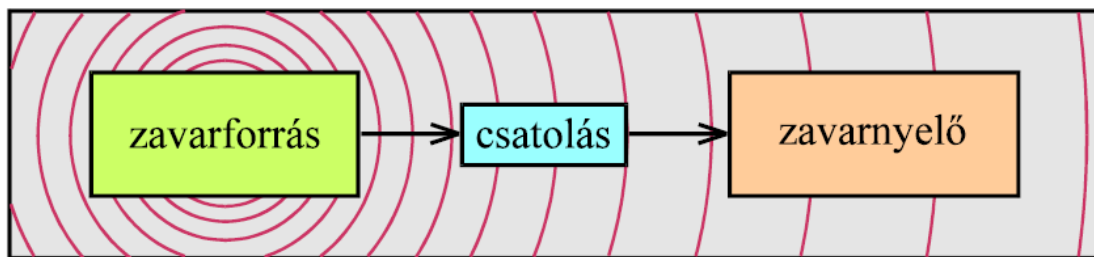
2.1. Elektromágneses összeférhetőség

Az elektromágneses összeférhetőség magában foglalja mindazt, amely szükséges a berendezések megfelelő és problémamentes működéséhez adott elektromágneses környezetben. Egy hétköznapi példa a sok közül a jobb érthetőség érdekében: Ha a mobiltelefonunk egy elektromos készülék környezetében van (pl.: hangszóró, rádiókészülék, monitor), a beérkező hívást már azelőtt érzékeljük, hogy az jelezné nekünk. Kattogó hanggal, vagy a digitális kijelző képének vibrálásával adja tudtunkra a zavaró elektromágneses tér a jelenlétét. Definíció szerint az elektromágneses összeférhetőség a berendezések azon tulajdonsága, amely segítségével az önmaga által keltett elektromágneses környezetben megfelelően tud működni, illetve a körülötte lévő eszközökre káros hatást (elektromágneses zavarást) jelentő állapotot nem okoz.

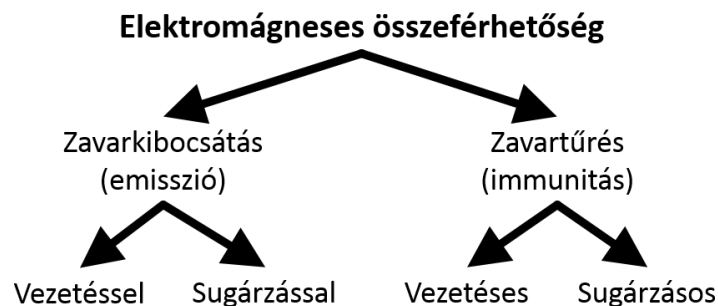
A szaknyelvben összefoglalóan az EMC kifejezést használjuk az előbb említett problémákkal foglalkozó tudományterületre. Az EMC nem más, mint az elektromágneses összeférhetőség magyar rövidítése, mely az angol Electromagnetic Compatibility kifejezéssel egyezik meg. A német nyelvben az EMV mozaikszó használatos, melyet az Elektromagnetische Verträglichkeit rövidítésével kapunk. Magyarországon az elektromágneses összeférhetőség alapfogalmait az MSZ IEC 1000-1-1 szabvány gyűjti össze.

Zavarforrás és zavarnyelő

Zavar az elektromágneses energiát kibocsátó zavarforrás miatt keletkezik. Ennek két fajtáját különböztetjük meg, a természetes, például a villámcsapás, és a mesterséges, például egy rádióadó. Az elektromos berendezésekbe való bejutás történhet vezetett- vagy sugárzott csatolás által. Az előbbit más néven kondukciónak, az utóbbit radiációnak hívjuk. A zavarforrást más néven kibocsátónak, a zavart elektronikát pedig zavarnyelőnek nevezzük. A kompatibilitás akkor valósul meg egy kibocsátó esetében, ha az általa létre hozott zavarok mértéke, annak elektromágneses környezetében nem lép túl egy előírt határértéket. A nyelőt pedig akkor tekintjük kompatibilisnek, ha működésére nincs lényeges hatással a környezetében várható (adott szintű) elektromágneses zavar. Mindezeket az 1. ábrán láthatjuk leegyszerűsítve.



1. ábra Az elektromágneses zavarás terjedésének szemléltetése [1]



2. ábra Az EMC tematikus felépítése [2]

A 2. ábra mutatja az EMC tudományának tagozódását. A rohamos fejlődésnek köszönhetően egyre több elektromos berendezés kerül forgalomba, melyek egyre jobban terhelik a saját környezetüket. A magyar nyelvben erre használatos kifejezés az elektroszmozg, mely angolul így hangzik: spectrum pollution.

Zavarforrás	Zavarkibocsátás tipikus frekvencia tartománya [MHz]
Fénycsővek	0,1 – 3
Kommutátorok	0,1 – 4
Porszívók	0,1 – 0,5
Motorok	0,1 – 10
Kapcsoló üzemű tápegységek	0,1 - 10
Kapcsolók érintkezői a kapcsolási ívek révén	30 – 300
Megszakítók, mágneskapcsolók, relék	0,1 – 50
Nagyfrekvenciás sebészet	0,4 – 5
Számítógép processzorok	~100

1. táblázat Zavarforrások a jellemző frekvenciával [1]

Az 1. táblázatban találjuk a különböző zavarforrás példákat a hozzájuk tartozó zavarkibocsátási frekvenciával.

Tipikus zavarnyelők [1]:

- Rádió- és televíziókészülékek
- Ipari gyártóberendezések
- Automatizálási rendszerek
- Mérő-, vezérlő- és szabályozó készülékek
- Mobil távközlő berendezések
- Hordozható és közcélú rádió adó-vevő berendezések
- Orvosi és tudományos berendezések
- Információtechnológiai berendezések
- Adatfeldolgozó rendszerek
- Háztartási eszközök és elektronikus készülékek
- Gépjárművel mikroelektronikai berendezései
- Légi, tengeri és belvízi közlekedési rádió távközlő berendezések
- Oktatási és kutatási elektronikus berendezések
- Távközlő hálózatok és berendezések
- Rádió és televízió műsorszóró állomások
- Lámpatestek és fénycsővek
- Szívritmus-szabályozók
- Élő szervezetek

Védőintézkedések

Ahhoz, hogy a fellebb említett adó- és vevőkészülékek megfelelően működjenek, védőintézkedésekre van szükség. Ezzel biztosítják a berendezések elektromágneses összeférhetőségét. Három oldalról megközelítve a lehetőségeket, megvalósítható a forrásnál, például árnyékolás, spektrumbehatárolás segítségével, melyet primer intézkedésnek nevezünk. A csatolás útján való alternatívák közé tartoznak például a szűrés és a vezeték topológia. A nyelő felől például a kapcsolási koncepció és a szűrés jelenthet megoldást, melyek összefoglalóan a szekunder intézkedések. Az eddig említett módszerek a passzív védelmek sorába tartoznak. A másik kategória az aktív védelem, mely során túlfeszültség korlátozó eszközöket alkalmazunk. Ezek lehetőségeire és megvalósításukra részletesebben is kitérek a 3. EMC tudatos tervezés pontban.

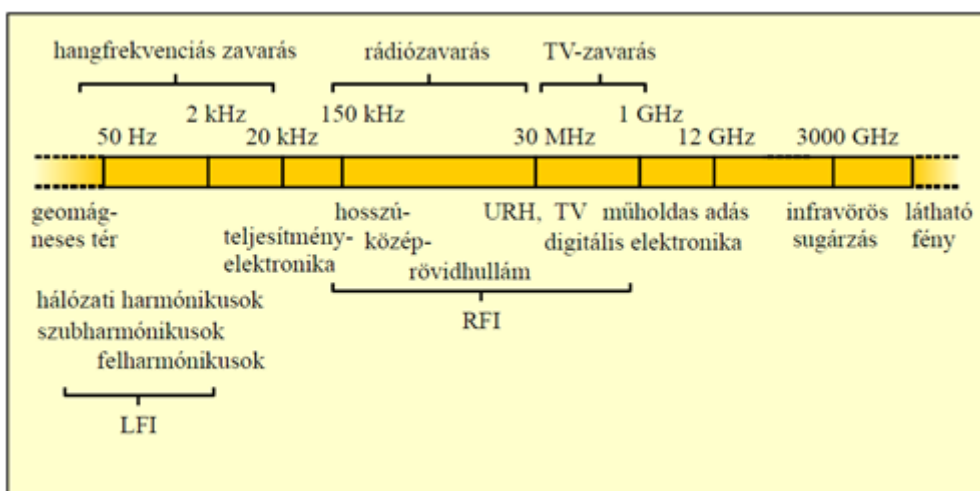
Elektromágneses zavarás

Az elektromágneses zavarás, vagy EMI (angolul Electromagnetic Interference, a németben pedig az elektromagnetische Beeinflussung-ot használják) következtében a berendezések vagy az átviteli csatornák üzemszerű működése romlik.

A zavarok eredete	Megnevezés		A zavar forrása	Mit okoz?
	ESD (Electrostatic Discharge / Damage – Statikus villamos kisülés / károkozás)		Elektrosztatikus kisülés	Szikrakisülés útján, vezetett és sugárzott zavar
	EMP (Electromagnetic Pulse - Lökőhullám)	SEMP (Switching Electromagnetic Pulse – Kapcsolási eredetű lökőhullám)	Hálózati kapcsolási intézkedés	Vezetett és mágneses úton terjedő zavar
		LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse – Elektromágneses villámimpulzus)	Közvetlen és közeli villámkisülés	Vezetett és sugárzott mágneses zavar, berendezések potenciálemelkedése, nagy értékű létesítmények megsemmisülése, emberek halála
		NEMP (Nuclear Electromagnetic Pulse – Nukleáris elektromágneses impulzus)	Atomrobbanás	Impulzus-jellegű sugárzott zavar, adott körzetben minden elektromágneses elven működő berendezés működése megbénul
	LFI (Low Frequency Interference – Kisfrekvenciás zavarás)		Villamos hálózat	Lehet folyamatos zavarás, elektromágneses mennyiségek befolyása áramkörökre, rendszerekre, élőlényekre
	RFI (Radio Frequency Interference – Rádiófrekvenciás zavarás)		Kisugárzott elektromágneses energia	Lehet folyamatos zavarás, távközlési, adatátviteli, egyéb villamos berendezések hibás működése

2. táblázat A zavarforrások eredetének felosztása [1]

Az előbb említett osztályozásban (2. táblázat) megjelenő ESD és EMP végződésű források tranziens lefolyásúak, tehát impulzus jellegűek, ezzel szemben az ábra elég szűk tartományra jelzi az EMP ill. ESD hatását. Az LFI és az RFI pedig a frekvenciájukkal jellemezhető, stacionárius jelek. Ebből kifolyólag nagy jelentőséggel bír a zavaró hatás frekvenciatartománya, mivel ahogy nő a foton közvetítő elektromágneses sugárzás energiája, úgy nő a fotoné is. A következő, 3. ábrán megfigyelhető, hogy a zavarfajták hol helyezkednek el a megjelenített frekvenciatartományon.



3. ábra A frekvenciaspektrum és a rajta elhelyezett zavaró hatások [1]

Az EMC szintjei

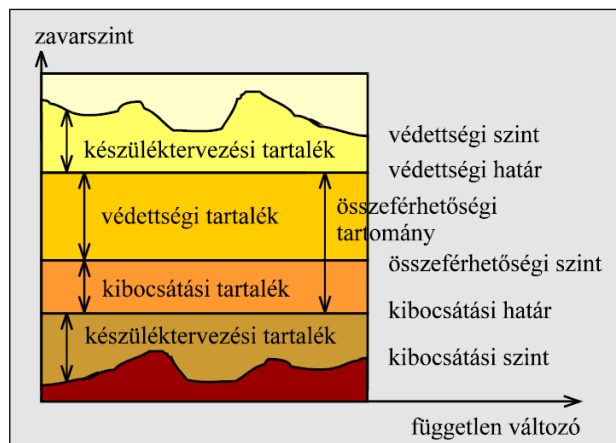
Ahhoz, hogy meg tudjuk határozni egy elektromos berendezés összeférhetőségét, szükség van a zavar szintjeinek definiálására. A következőkben a fontosabb megnevezések meghatározását teszem meg.

Megnevezés	Definíció
Kibocsátási szint	Egy előre megadott módon mért kibocsátott zavar szintje
Kibocsátási határérték	A még megengedett legmagasabb kibocsátási szint
Zavartűrési szint	A nyelőn előírt módon keltett, adott elektromágneses zavar azon legnagyobb szintje, amelynél nem következik be a működőképességének romlása
Zavartűrési határérték	Az elvárt legalacsonyabb zavartűrési szint
Összeférhetőségi szint	Az az előírt zavarsszint, amelynél az elektromágneses összeférhetőség elfogadhatóan, nagy valószínűséggel létrejön.
Kibocsátási tartalék (védeltségi tartomány)	Az elektromágneses összeférhetőség szintjének és a kibocsátási határértéknek a hányadosa.
Zavartűrési tartalék (tartomány)	A zavartűrési határértéknek és az elektromágneses összeférhetőség szintjének a hányadosa.
Összeférhetőségi tartomány	A zavartűrési határértéknek és a kibocsátási határértéknek a hányadosa.

3. táblázat EMC szintek, határértékek, tartományok meghatározása [1]

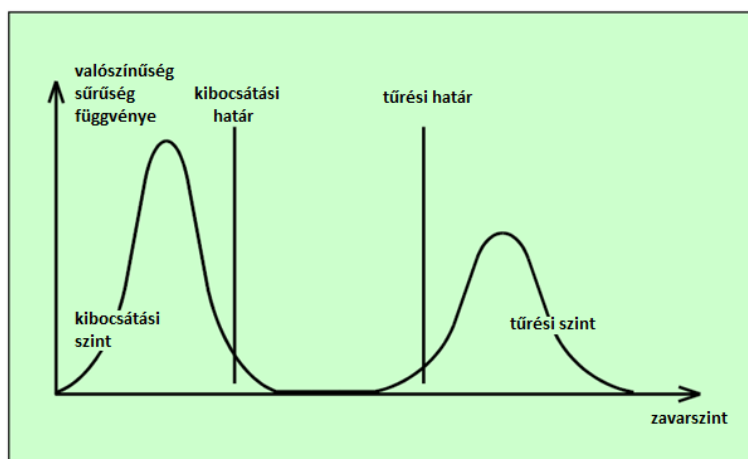
A 4. ábra szemlélteti a 3. táblázatban definiált tartományokat. A minta rendszer tartalmaz egy zavarforrást, egy –nyelőt, és valamilyen független változót (pl.: frekvencia). Ez utóbbi található a vízszintes tengelyen. A 4. ábra megmutatja, hogy jelen esetben a megengedett értéket (kibocsátási határt) sehol sem éri el a kibocsátási szint. Mindez azt jelenti, hogy összeférhető a zavarforrás a zavarra nézve. A zavartűrési szintet vizsgálva láthatjuk, hogy mindenhol magasabb a minimálisan elvártnál. Ebből pedig arra következtethetünk, hogy a zavarnyelő is összeférhető. Mivel logaritmikus léptéket használunk

a függőleges tengelyen, ezért a tartalékok, melyeket hányadosként határoztunk meg, különbségekként jelennek meg.



4. ábra A zavarszintek tartományai [1]

Első lépésben az összeférhetőségi szintet érdemes megválasztani abban az esetben, ha az elektromágneses környezet ellenőrizhető. Ebből származtatható a kibocsátási és a védettségi határérték. Ha nem ellenőrizhető, akkor a meglévő vagy az elvárt zavarszintekhez viszonyítva kell az összeférhetőségi szintet megválasztani. Ajánlott mindkettőt úgy meghúzni, hogy az elektromágneses összeférhetőség kellő biztonsággal megvalósulhasson. Tehát a határértékek megállapítása valószínűségi megfontolások alapján történik. A berendezések szórásából adódóan ezek nem számszerű értékek, hanem valamilyen valószínűségi függvénnyel jellemezhetőek, mint például a Gauss-féle normál eloszlás. Vannak olyan lehetőségek is, hogy ha a független változót módosítjuk, idomulnak hozzá a függvények is. Szükséges amiatt is, mert a rendszerben megjelenhetnek bizonytalanságok és szuperponálódó zavarok is. A vizsgálatoknak úgy kell lezajlaniuk, hogy minél több valóságos helyzetet lefedjenek, ahol a berendezéseknek kifogástalanul kell működniük.



5. ábra A kibocsátási és a zavartűrési szint valószínűségi sűrűsége normál eloszlás esetén (a független változó egy adott értékénél) [2]

Az 5. ábra szemlélteti a feljebb leírtakat egy adott független változó esetén. [1][2]

3. EMC tudatos tervezés

A tervezés során fontos tudni, hogy a berendezés milyen környezetben fog majd működni. Mekkora lesz az elektromágneses zavarás, mit kell neki elviselni, milyen funkciók megvalósítása közben. Példaként említhetők az orvosi műszerek.

Az EMC fogalom azt jelenti, hogy a készülék egy előre definiált környezetben összeférhető. Ha megváltoznak a körülmények, akkor mindez már nem feltétlenül lesz igaz. Előre azonban nem lehet megjósolni maximális biztonsággal az elektromágneses közeget. Mindezek miatt az EMC előírásokat úgy tudjuk meghatározni, hogy az összeférhetőség vagy megállapodás szerinti vagy elfogadható valószínűségű.

A tényleges tervezés első lépése a figyelembe veendő zavarforrások definiálása, mely eltérő lehet más és más elektromágneses környezetben. Másodikként a zavarás mértékét kell meghatározni. Harmadik pontban a készülékre gyakorolt hatások vizsgálata tartozik. Végül a negyedik lépés során kidolgozzuk a védelmi módszereket.

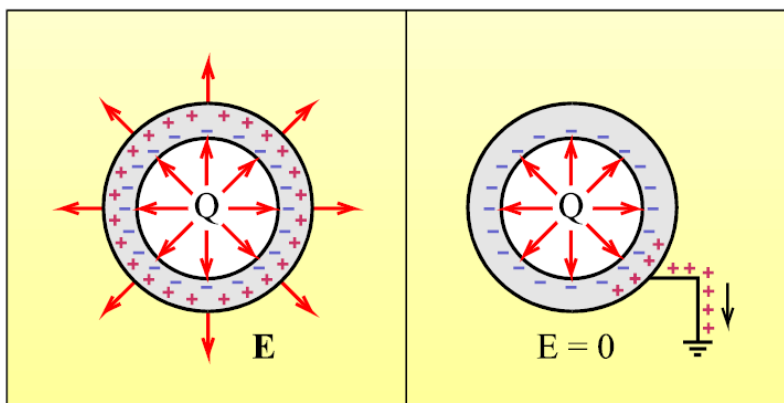
3.1. Tervezési koncepciók – védelmi módszerek

Ahhoz, hogy a védelem valóban megvalósuljon, biztonságos, és alkalmazható legyen, a gyakorlatban különböző bevált módszereket alkalmaznak, melyekről a következőkben egy átfogó összefoglalást készítünk. A törekvések olyan irányba indultak el, hogy a termék megbízhatóságát a lehetőségekhez mérten maximálisan növelni kell.

Árnyékolás

Az árnyékolást az elektromágneses tér tulajdonságai alapján több részre fel lehet osztani. Elsőként a sztatikus villamos tér árnyékolását kell megemlíteni. Mindez az úgynevezett Faraday-kalitkával, viszonylag egyszerűen megoldható. Megvalósításához villamosan jól vezető anyag szükséges, melyből önmagába záródó burkolatot hozunk létre. A kalitkán belül a térerősség (E) zérus és a villamos erőter teljesen árnyékolt lesz.

A 6. ábra mutatja, a belső villamos térrel szembeni védelem kialakulását. A kapacitív zavarcsatolás (villamos közeltér) elleni védelem hozható létre a Faraday kalitka földelésével.

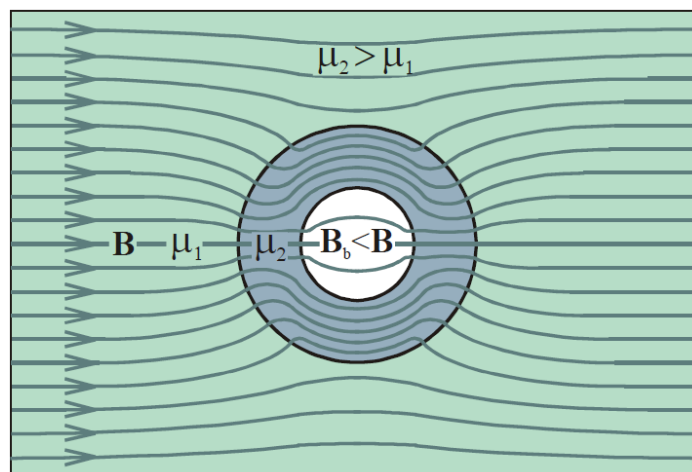


6. ábra A külső tér belső villamos tér elleni védeleme [1]

A statikus mágneses tér árnyékolása ezzel szemben teljesen tökéletesen nem valósítható meg, mivel a töltésmegosztás hatására nem csökken a mágneses tér intenzitása, illetve maga a töltésszétválasztás nem is alakulhat ki. A megoldás ferromágneses anyag alkalmazása. Hatékony, de ez sem nyújt 100%-os árnyékoltságot az adott térrészen.

A kis frekvenciával váltakozó villamos tér esetében az árnyékolás a sztatikus térhez hasonlóan oldható meg. Ezzel szemben nagy frekvenciák esetén negatívan befolyásolja a védelmet a fáziseltolás.

A magnetosztatikus tér árnyékolása teljesen más elvből ered. A védendő térrészt olyan anyaggal vesszük körül, melynek a mágneses vezetőképessége sokkal nagyobb, mint a sajátja. Ezzel azt érjük el, hogy a zavaró mágneses erővonalakat eltereljük, és a védett tér mellett vagy körül vezetjük el, ahogy ezt a 7. ábra is mutatja. A hatékonyság feltétele az, hogy végig, folyamatosan homogén és ferromágneses anyagban halad, majd záródik az erővonalak útja.



7. ábra Magnetosztatikus árnyékolás [1]

Elektromágneses hullámok árnyékolása megvalósítható elméletileg bármely vezető anyag alkalmazásával. Szem előtt kell tartani azt a tényt viszont, hogy adott frekvenciákon és a sajátfrekvenciákon az árnyékolás nem hatásos. A 100 KHz alatti kisebb frekvenciákon a jobban vezető anyag előnyösebb a védelemre a nagy behatolási mélység miatt. Felette pedig a behatolási mélység csökkenésének köszönhetően a ferromágneses anyagok bizonyulnak hatékonyabbnak. [1][2]

Túlfeszültség elleni védelem

Ezt a fajta problémát különböző eszközökkel oldják meg, melyek aktív védelmet biztosítanak. A szikraköz például gázkisülés segítségével valósítja meg mindezt. A varisztorok nem mások, mint feszültségfüggő ellenállást képviselő félvezető átmenetek, melyek csak adott feszültség felett válnak vezetővé. Másik megoldáshoz zener-diódát alkalmaznak a különleges karakterisztikája miatt.[1]

Elektrosztatikus feltöltődés – ESD

Főként félvezető alkatrészeket tartalmazó elektronikák esetén, minden túlzás nélkül kijelenthető, hogy az ESD, azaz az elektrosztatikus kisülés, angolul Electrostatic jelenti a gyakorlatban az egyik legjelentősebb problémát.

A környezet oldaláról (főként gyártás, feldolgozás során) többféle módon megvalósítható. Ezek közül az első, hogy megakadályozzuk a töltésszétválasztódás létrejöttét. Mindez történhet úgy, hogy leföldeljük a vezető testeket, vagy antisztatikus anyagokat használunk (fogaskerekek



alkalmazása szíjhajtás helyett). Más módszerek lehetnek például a légnedvesség növelése, ionizátorok alkalmazása

8. ábra Antisztatikus eszközök jelölésére szolgáló piktogram [1]

(töltések kibocsátása a szigetelők felületének töltés kiegyenlítésére), illetve a túlfeszültség elleni védelem. A 8. ábra egy piktogramot mutat, melyet antisztatikus eszközök jelölésére használnak.

4. Mérési eljárások

A mérések során a vizsgált berendezést röviden csak DUT-ként szokták emlegetni, amely az angol Device Under Test (vizsgált berendezés) kifejezésből képzett mozaikszó. Ahhoz, hogy például egy autóiipari elektronikai berendezés szériagyártásba kerüljön, rengeteg folyamaton kell keresztül mennie. Többek között a gyártó által előírt EMC minősítő méréseken. A mérések menete, az eszközök, berendezések mérések közbeni működtetése szabványban rögzítve van.

A szabványokra azért van szükség az EMC mérések során, hogy az adott vizsgálatot bármikor, és bárhol (természetesen arra alkalmas környezetben) meg tudják ismételni ugyanazon pontossággal.

Az EMC mérések esetén leggyakrabban előforduló eszközöket, mérőberendezéseket a következő, 4. táblázat tartalmazza.

Hálózati analízátor, spektrumanalízátor	Vezetett és sugárzott zavarok előállítása
Műhálózat (LISN, szétcsatoló berendezés)	Vezetett zavarok mérésekor a hálózat által szállított zavarok kiszűrése valamint szabványos hálózati lezáró impedancia megvalósítása
Jelgenerátor	Szimulált zavaró jelek előállítása zavartűrési vizsgálatokra (sugárzott zavaroknál antenna is szükséges)
Jelcsatoló berendezés	Zavarjelek csatolása a mért berendezés felé (csatolókonkondenzátor, antenna)
Mérőantenna	Adott frekvencia tartományban a zavarjelek kisugárzása, ill. vétele
Közelítéri mérőfej	Nyomtatott áramkörök vizsgálata
Mérőkamra, mérőlaboratórium	Sugárzott zavarok vizsgálata esetén, árnyékolt, esetenként visszhangmentes zárt elektromágneses tér

4. táblázat A mérések során alkalmazott berendezések [1]

Az EMC mérések elengedhetetlen részei egy elektronikai termék fejlesztési folyamatának. [1][2]

5. A mobil zavarforrással szembeni immunitás mérés bemutatása

A mérés során a vizsgált elektronika immunitását, más néven zavartűrő képességét vizsgáljuk. A távközléstechnikai, radar, műsorszóró és távérzékeléstechnikai készülékek elektromágneses hullámokat bocsátanak ki az üzemszerű működésük közben. Esetünkben a készülékbe juttatunk többféle szabványos jelet, adott csatolóeszközön keresztül, és folyamatos megfigyelés alatt tartjuk a vizsgált eszköz működőképességét. A zavarforrás nem más, mint egy modulált rádiófrekvenciás jel, mely elektromágneses hullámként jut be a készülékünkbe. A mérés célja, hogy kiderítsék, a mobiltelefonok, illetve egyéb (fent említett) alkalmazások által kibocsátott zavarokra az adott vizsgált egység mennyire immunis.

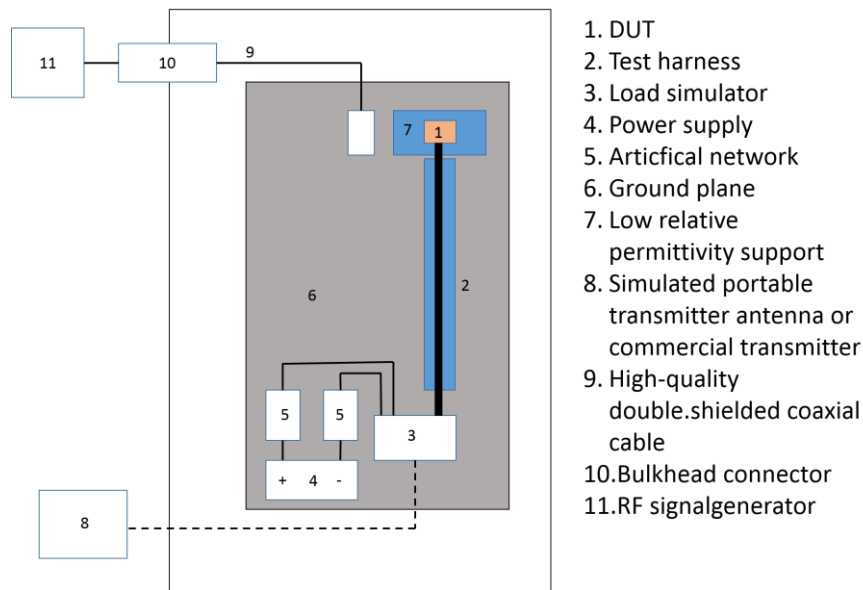
ZAVARFORRÁS	TÁVOLSÁG	TIPIKUS TÉRERŐSSÉG ÉRTÉK
Műsorszóró adó	2 km	1 V/m
CB rádió	5 m	10 V/m
Kézi rádiótelefon	1m	0.1-1 V/m
Kézi rádiótelefon	0.1m	1-30V/m
Radar	1 km	100V/m

5. táblázat A zavarforrások mértéke a távolság függvényében [3]

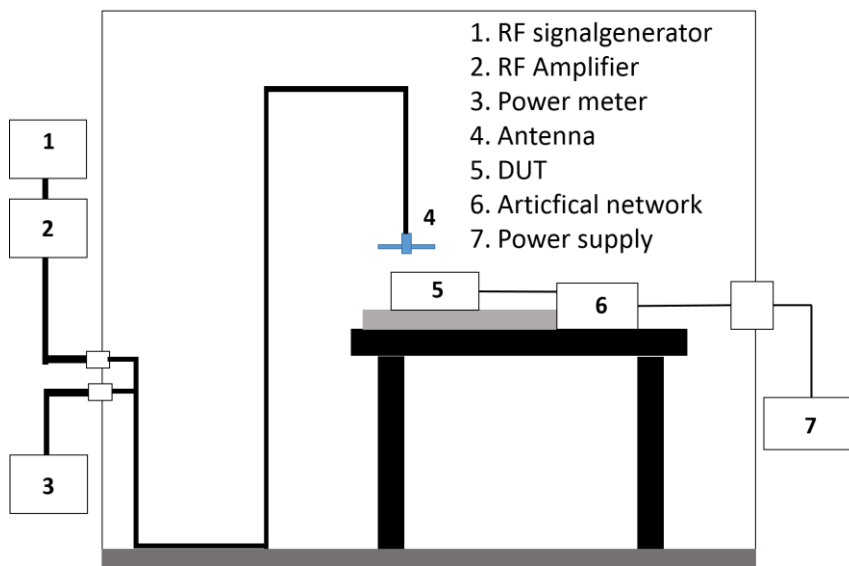
A 5. táblázat tartalmaz néhány jellemző példát a zavarforrásokra, melyekhez társítja az adott távolságban tipikusan érzékelhető elektromos térerősség nagyságát. A mérés során a mobiltelefon helyettesítésére egy bipoláris antennát használunk. A mérés során a zavaró jel frekvenciája 28 és 2590 MHz között van. Egy-egy tesztnél frekvenciasávok vannak megadva, melyeken belül 3-4 konkrét frekvencia van előírva. A vizsgálat során követni kell a mérési útmutatót.

A mérés során adott raszterpontokat (lásd később, 5.2. Mérési paraméterek, beállítások bekezdés) bejárva zavarjelekkel sugározzuk a vizsgálandó készüléket, miközben egy szoftver segítségével nyomon követjük, hogy a vezérlő elektronika viselkedésére gyakorolt hatásokat. Az immunitásvizsgálat célja ezzel az, hogy megállapítsuk, az adott eszköz milyen mértékben ellenálló az elektromágneses sugárzásokkal szemben. Az eredmények alapján az eszközt, immunitás szinte szerint, osztályba sorolják. Az osztályozás Class A-tól indul, és Class E-ig tart.[3][4]

5.1. A mérés felépítése



9. ábra A mérés elrendezése felülnézetből [6]



10. ábra A mérési elrendezés oldalnézetben [6]

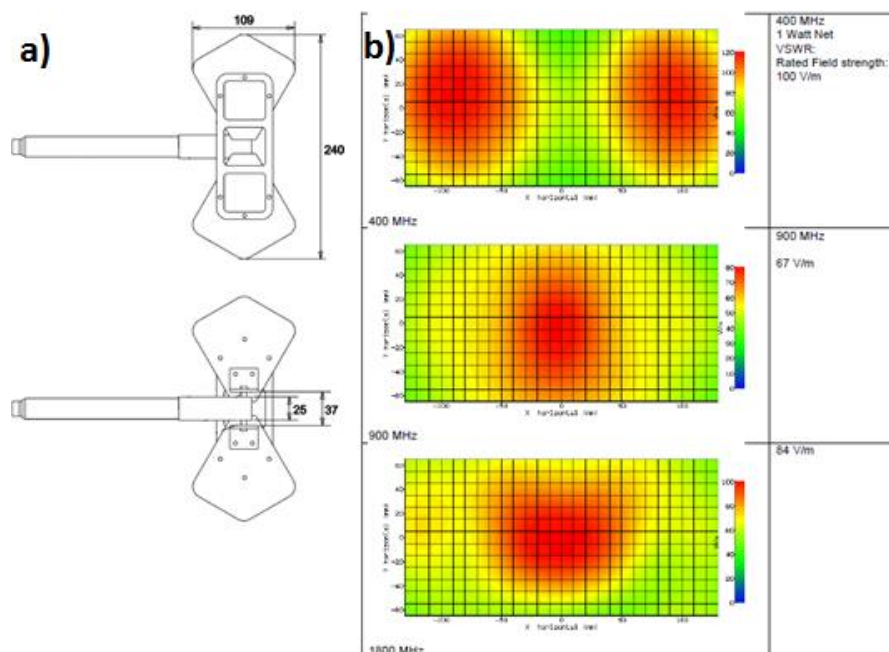
A méréshez használt eszközök között van egy antenna (10. ábra/4.), egy jelgenerátor (9. ábra/11. és 10. ábra/1.), egy teljesítmény generátor (10. ábra/3.), egy oszcilloszkóp (9. ábra/8.), egy tápegység (9. ábra/4.), érzékelők, perifériák, műhálózat (9. ábra/5. és 10. ábra/6.), maga a DUT (9. ábra/1. és 10. ábra/5.), amit vizsgálunk, illetve a folyamatos megfigyeléshez/ellenőrzéshez (monitoring) tartozó számítógép és szoftver. Az eszközök, melyek a kamrában találhatók, egy földelt asztalon kerülnek elhelyezésre. A vezetékek és a DUT alá szigetelő hab lemez (styrofoam) kerül, melynek előírt vastagsága van. A vezetékek hossza, a különböző távolságok és méretek a mérési előírásban rögzítve vannak.

Az antenna

A méréshez használt bipoláris antenna sugárzási frekvenciatartománya 360 MHz és 2,7 GHz között található, befoglaló méretei 240x109 mm (11. ábra/a)), maximális bemeneti teljesítménye 20 W, tömege pedig 135 g. Alakja leginkább egy pillangóhoz hasonlít. Alkalmas távoltéri (1-3 méter) és közeltéri (minimum 5 mm) besugárzásra egyaránt. A speciális formájának köszönhetően nagy sávszélesség megvalósítására alkalmas. Mindezen tulajdonságai alapján a különböző országokban érvényes előírásoknak is megfelel, így széles körben alkalmazható.

Leggyakrabban immunitásvizsgálatoknál használják az autóiparbeli, orvosi, tudományos és űrkutatásbeli alkatrészeknél. Általában szegmensekre felosztott területet pásztáznak vele végig, két egymásra ortogonális polarizációban. A tipikus mérési távolságok 5 és 50 mm között találhatók, melyek megkönnyítésére távtartókat szerelnek fel az antenna csővére. A mérés tökéletes lefolyása érdekében az antenna sugárzó területéről, és annak minimum 300 mm-es környezetéből minden fémet el kell távolítani, mivel azokról a sugárzás visszaverődhet, szóródhat.

Példaként térerősség eloszlási diagramok láthatók a 11. ábra/b) oldalán 50 mm távolságban, 400, 900 és 1800 MHz-en, 1W teljesítményen, 100, 67, valamint 54 V/m térerősséggel. [5]

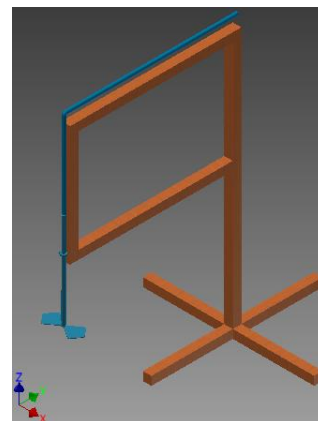


11. ábra a) Az antenna rajza a befoglaló méretekkel b) Térerősség eloszlási diagram [5]

Az antennához tartozik még egy antennarúd, mely fémből van (11. ábra/a)). Így az össztömege a rúddal együtt 2 kg. A fém rúdon található a már korábban említett, tetszőlegesen felszerelhető távtartó.

A jelenlegi mérés felépítése

A jelenlegi mérés során a vezérlő elektronika felett mozgatják az antennát. Különböző pontokra pozicionálva, adott frekvenciájú zavart bocsátanak ki, majd figyelik az elektronika funkciókiesését. A pozicionálást egy fa keret segítségével, kézzel végzik. A keret egyszerűsített rajzát az antennával és a jelvezetékkel a 12. ábra mutatja.



12. ábra A jelenleg használatban lévő koncepció

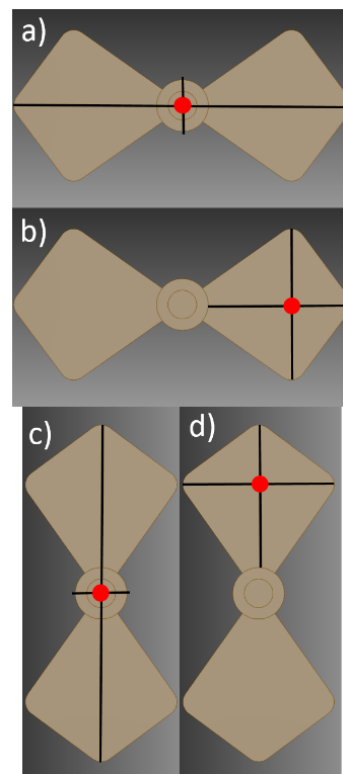
Ahhoz hogy a mérést ne zavarja meg az antenna fém vezetőke, az antenna által besugárzott tértől legtávolabb kell azt elvezetni. Emiatt a függőlegesen elhelyezett antennától a jelvezeték is függőlegesen felfelé kell kivezetni. Erre a célra egy fa keretes állvány szolgál, melynek a mérés közvetlen közelében lévő részei fémet nem tartalmaznak az előbb említett ok miatt. Az állvány segítségével tudjuk az előírt pontokra pozicionálni a zavarkibocsátó eszközt. A problémát az okozza, hogy minden egyes szegmensre kézi erővel be kell állítani az állványt és az orientációt is. Mindez annyit jelent, hogy egy adott mérés futtatása után be kell menni a kamrába, és újrapozicionálni a fa keretet. Időigényes, és folyamatos emberi beavatkozás szükséges hozzá.

5.2. Mérési paraméterek, beállítások

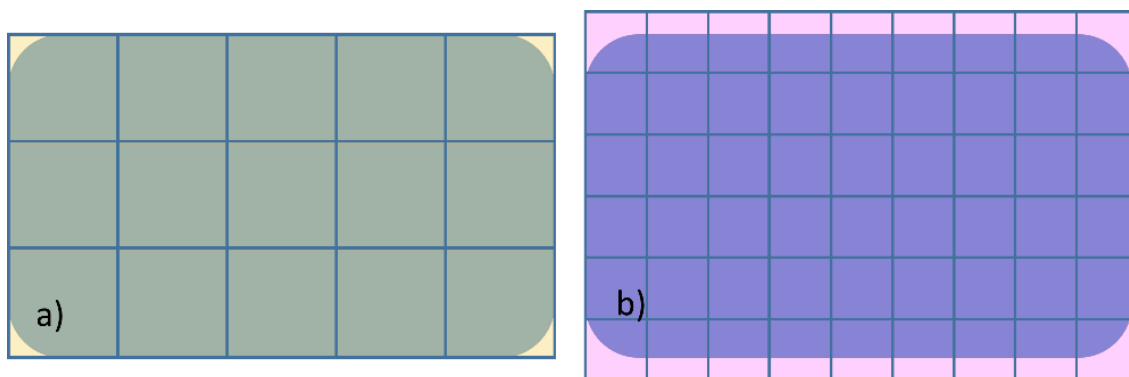
A mérés során a DUT és az antenna közötti távolság pontos beállítása szükséges. A mérési előírások és a megrendelő által meghatározott térközök mentén történik a vizsgálat. Ennek mérete a legtöbb esetben 50, 30 és 5 mm.

Az antennával végzett mérés során maga az antenna is több orientációt és pozíciót vehet fel. Ezalatt azt értjük, hogy nemcsak az antenna közepével, hanem annak „szárnyával” is szükséges a méréseket elvégezni, mivel a sugárzás mértéke e két szélső helyzetben más és más. Tehát a vizsgálat során az adott magasságban, az adott frekvencián először az antenna közepével pásztázzuk végig a vezérlő egységünket, majd pedig az antenna egy, tetszőlegesen kiválasztott „szárnyának” közepével, ahogyan azt a 13. ábra is szemlélteti. Amikor a középpontjával sugárzunk, akkor a besugárzási terület nagysága 50x50 mm, míg a lapátnál ez a paraméter 30x30 mm.

Fontos szem előtt tartanunk, hogy a DUT minden részletén végig kell menni, ami azt jelenti, hogy a teljes felületét be kell sugározni. Emiatt és a besugárzási terület mérete alapján fel szokták osztani a vezérlőt szegmensekre, és ezáltal megállapítják, hány ponton is kell elvégezni a mérést adott beállítással. Természetesen a lapáttal való sugárzás esetén több részt határoznak meg a vezérlőn. Mindezt szemlélteti a 14. ábra, ahol az a) esetben az egyszerre besugárzott terület mérete 50x50 mm, míg a b) esetén ez 30x30 mm.



13. ábra Antenna orientációja és mérési pontjai



14. ábra A sugárzási terület mérete szerinti szegmensfelosztás

5.3. A mérés folyamata

Első lépésként bekötik az antennát és az asztal fölé helyezik a tartó segítségével. Ezután lefuttatnak egy ellenőrzést, mely segítségével a berendezések és az összeállítás megfelelőségét vizsgálják. Ezt követően kezdődhet a mérés. Beállítják az antennát a megfelelő magasságba és orientációba, majd végigpásztázzák a szegmenseket. Miután egy orientációval elkészültek, a másik módot is alkalmazzák. Mindeközben folyamatosan figyelik a funkciókat. Majd a mérési eredményeket naplózzák. Ha szükséges, többször megismétlik a folyamatot, különböző frekvenciákon. A legvégén a mérési jegyzőkönyv elkészítése történik, mely során az előre meghatározott értékek alapján minősítik a DUT megfelelőségét, és osztályba sorolják (Class A – Class E). [6]

6. Konceptióvizsgálat

A feladat első lépéseként irodalomkutatót végeztem, majd a koncepcióvizsgálat következett, mely során több lehetséges megoldást is találtam. A mérnöki szemlélet megköveteli, hogy több nézőpontból közelítsünk meg egy adott problémát. Jelen esetben mindez azt jelenti, hogy a végső konstrukcióhoz milyen úton értünk el. A világháló és a szakirodalmak olvasása során három fő irány alakult ki, mint lehetséges megoldás. Ezen lehetőségeket vizsgáltuk, mind megvalósíthatóság, mind kompatibilitás szempontjából.

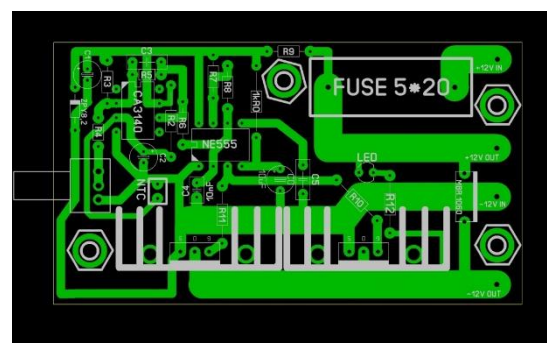
6.1. Az elképzelés

A jelenlegi konstrukciót az előző fejezetben bemutatam. A változtatások célja az emberi beavatkozás minimalizálása, esetleges kiiktatása. Az antenna mozgatását szeretnénk volna megvalósítani oly módon, hogy kívülről programozva ő beáll adott pozícióba, majd miután a mérés lefutott és az adatgyűjtés megtörtént, lép a következő szegmensre. Amint végigpásztázta egy orientációban a DUT felületét, történne egy forgatás, melyet esetlegesen automatikusan, esetlegesen kézzel oldottunk volna meg, majd pedig újra végigjárja az előre beprogramozott útvonalat az adott módon. A vízszintes magasságállítás automatizálása is felmerült lehetőségként, viszont a korlátozott költségek és tér miatt ezt csak továbbgondolások után valósíthatjuk majd meg.

6.2. Önálló konstrukció

Első esetben teljesen önállóan, szabványos alkatrészek és eszközök segítségével történő megvalósítást vizsgáltam meg. Az elképzeléshez alkalmazkodva valamilyen X-Y koordináták mentén mozgó manipulátorra volt szükség, melyet első elgondolás alapján léptetőmotorokkal oldottunk volna meg. Legelőször nem számoltunk a vízszintes állítással és az elfordulás lehetőségével sem.

A vezérlés tekintetében abban az esetben, ha semmit nem vásárolok meg összeállítva, akkor egy üres, alap nyomtatott huzalozású lemezből indulhatok ki, melyen azonban még a vezetékek sincsenek meg. A 15. ábra egy vezetékezés tervezését mutatja, mely során a korábban említett szempontokat szem előtt tartva megtervezetném a huzalozást, majd az alkatrészeket kiválaszthatnám



15. ábra Példa egy nyomtatott huzalozású lemez tervezési folyamatára [7]

hozzá katalógusból, és az EMC vizsgálatokat is el kellene végezni rajta. Ezzel pedig csupán a vezérlő elektronikám lenne meg, az összeköttetése a számítógéppel és a mechanikával pedig még plusz feladat lenne. Látható, hogy ez a szélsőség nem vezet praktikus, költséghatékony, és hamar megvalósítható végeredményhez.

A vizsgálat során kiderült, hogy a megfelelő konstrukcióhoz sok összetevő szükséges, melyek önállóan megvéve, majd összeépítve idő- és költségigényesebbek, mint ha részegységeket vásárolnánk meg. Emellett például a tengelyek összehangolása sem egyszerűbb ebben az esetben, érdekesebb volt tehát tovább keresgélni esetleges előre összeépített részegységek után.

6.3. Részegységek alkalmazása

A következő lépésben azt vettem számításba, mely részegységeket lehet előre összeépítve megvásárolni. Példaként ezt szemlélteti a 16. ábra. Elsődlegesen egy komplett mozgatóegység beszerzése segítette volna a megvalósítást. Rábukkantunk az igényeinknek elsőre megfelelőre, melyet további részletes vizsgálatra bocsátottunk. Mivel a Robert Bosch Kft.-nél kaptam segítséget a megvalósítási koncepció ötletelése során, a Rexroth csoport a megadott adatainkat felhasználva ajánlott egy megvalósítási lehetőséget, mely a mozgatóegység megvalósításáról szól.

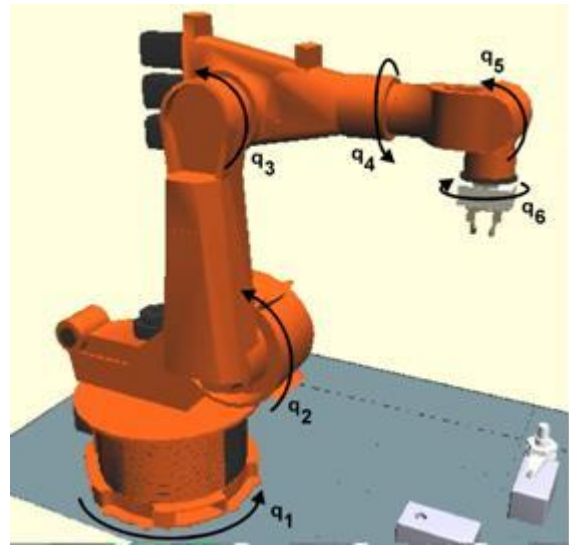


16. ábra Összeépített részegységek példája [8]

6.4. A piacon található késztermékek felkutatása

Az ipari igények olyan széleskörűek ezen a területen, hogy találhatóak a piacon már komplett, erre a célra szolgáló célgépek is. Ezek megvásárlása után minimális specifikációt követően azonnal alkalmasak az adott feladat elvégzésére. Ez a megoldás kézenfekvő abban az esetben, ha a megoldandó problémára célzottan találunk célgépet.

Az első ilyen lehetőség egy robotkar alkalmazása (17. ábra), mely minden megkövetelt mozgásfunkciót teljesít. Erre a célra legalkalmasabbnak olyan robotkar bizonyult volna, amely X-Y-Z mentén tud mozogni, illetve a Z tengely körüli elfordulásra (C) is képes. Természetesen figyelembe kellett venni azokat a fontos tényezőket, melyeknek teljesülnie kell ahhoz, hogy a mérés elvégezhető legyen, és megfelelő eredményt adjon. Ehhez a robotkar szerkezetét nem vezetőképes anyagúnak kellett volna megválasztani. A mérés szigorú követelményei és a költségvetés szempontjából vizsgálva ez a megoldás nem lett volna optimális.



17. ábra Egy példa robotkar megvalósításra [9]

7. A konstrukció

A TDK munkám során egy olyan mozgatóeszköz koncepcióját dolgoztam ki, mely során a jelenlegi manuális, hosszadalmas mérési eljárást váltottam ki. Ezzel időt tudunk spórolni, valamint a mérés kivitelezésének pontossága is javítható. A kiindulópont feljebb, a 6.1. Az elképzelés című fejezetben olvasható.

7.1. Követelmények

A koncepcióvizsgálatok során fény derült azon problémákra, melyek jelentősen befolyásolták a végső konstrukció kialakításának fő irányelveit. A legfontosabb, hogy az antenna közvetlen környezetében nem lehet fém anyagból készült alkatrésznek lennie. Ennek egyszerű oka az, hogy az antenna besugárzását rendkívüli módon befolyásolják a fémek, megváltoztatják, meghamisítják a mért értékeket. Ez pedig azt eredményezte, hogy a konstrukciót két részre kellett bontani. Az egyik maga a fából készült tartó, a másik pedig a mozgatóegység, melyet erre a tartóra rögzíteni tudunk.

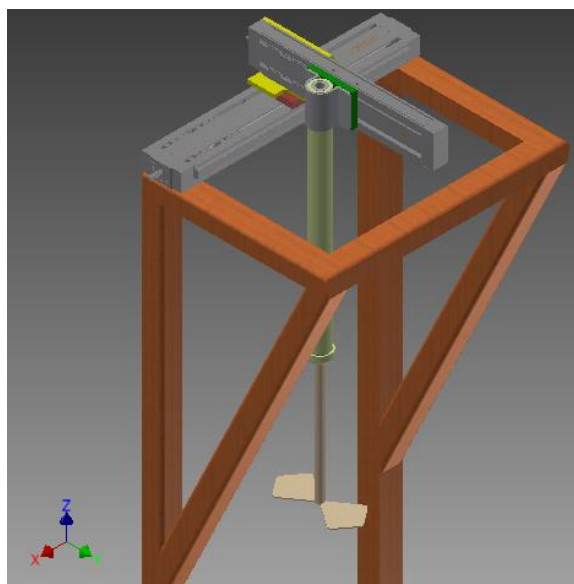
A másik korlátozó tényező a kamra ajtajának mérete volt. Mivel az adott mérőhelyen egyéb, teljesen más mérésekre is sor kerül, ezért a szerkezetnek mozgathatónak kellett lennie oly módon, hogy azt bármikor ki tudjuk hozni és vissza tudjuk vinni a kamrába/kamrából. Ennek megvalósítását 7.3. A tartószerkezet című fejezetben írom le részletesebben.

A következő, ami felmerült a megfigyelések során, hogy az antenna és a jelvezeték csatlakozása viszonylag merev. Ennek fontos szerepe abban az esetben van, amikor automatizált orientációváltásról beszéltünk. Ekkor egy határozott fordítás hatására akár szét is csavarodhatott volna az antenna és a vezeték kapcsolata. Ennek megoldására szerencsére hamar találtunk megoldás, méghozzá egy toldó csatlakozót alkalmaztunk, mely lehetővé teszi a szabad elfordulását az antennának és a jelvezetéknek egymáshoz képest.

A mozgatás során egy 2 kg össztömegű antennát kell a szerkezetnek térben mozgatni. A nem vezetőképes környezet miatt egy 1 méter magasság felett helyeztük el a mozgató egységet. Attól függetlenül, hogy nem nagy tömegről van szó, a megmozdítása és a megállítása között az antenna rendelkezik kilengéssel. Ezen rögzítenünk kellett a mozgatóegységhez az antennarudat. Ehhez pedig szükség volt egy rúdra, mely kiválasztását a 7.2. A mechanika című fejezetben részletezem.

7.2. A mechanika

A koncepcióvizsgálat során arra a következtetésre jutottam, hogy a Bosch Rexroth által javasolt szerkezetet fogom megvalósítani. A mérési paraméterek, a feltételek és követelmények alapján a mechanika legfontosabb tulajdonságait meg tudtam határozni. Természetesen az általuk felkínált lehetőségeknek katalógusukban utána olvastam, és leellenőriztem a legfontosabb jellemzőket. A 18. ábra a tervezési folyamat közbeni vázlatát mutatja, melyet a későbbiekben részletesebben is bemutatok.



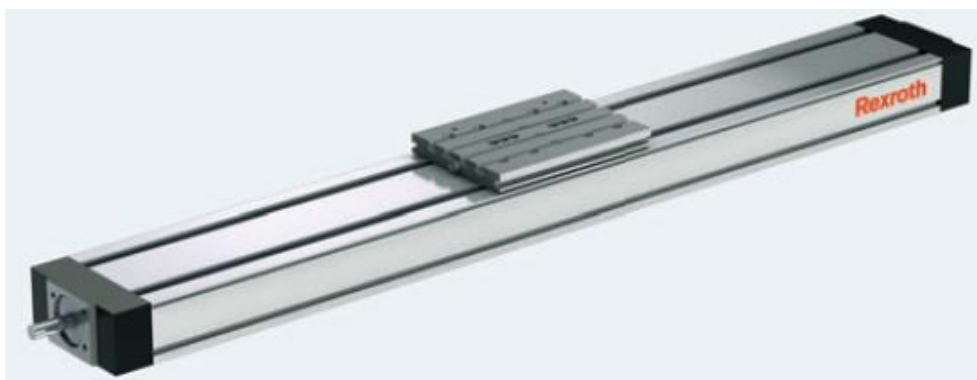
18. ábra A mechanika folyamat közbeni vázlata

Az antenna megvezető rúdnál anyagválasztás szempontjából több féle lehetőség is felmerült. Készülhetne műanyagból, mivel olyan széleskörű ezen terület anyagválasztéka, hogy biztosan talállok a követelményeknek megfelelőt. Felmerült még a tömegcsökkentés érdekében a karbonszál erősítésű rúdanyag is, melynek merevségével és súlyával egy polimer rúd nem vetekedhet, viszont költségesebb megoldásnak tűnt. Így kompromisszumos megoldást alkalmazva végül maradtam a műanyag rúd ötleténél, melyek közül a tömegcsökkentés (sűrűség), az ár, és a merevség alapján az ABS (Akrilnitril-Butadién-Sztirol) nyerte el a tetszésemet. A rúd segítségével megvezettem a sugárzó eszközt, rögzítettem azt az adott magasságban, valamint minimalizáltam kilengését a mozgatás során.

A mechanika paraméterei

A mechanika tehát előre összeépített részegységekből készült. A szükséges mozgásigény X és Y tengely menti lineáris mozgás. A maximális sebesség, melyet a tengelyeknek teljesíteniük kell, az 0,025 m/s. A pontosság, mely segítségével a mérés megfelelő kivitelű lehet, a milliméteres nagyságrendbe tartozik. A bejárando terület nagysága 300 mm x 420 mm, ami maximum egy A/3-as méretű vezérlő vizsgálatára alkalmas. Az antenna illetve a megvezető cső tömege összesen körülbelül 7 kg.

A kiválasztott elemek a Bosch Rexroth katalógusából: az X tengely CKK-110, míg az Y tengely CKK-90 típusú (19. ábra). Ezekről tudni kell, hogy golyósorsós tengelyek, melyeket kívülről hajtunk szervomotor segítségével. Jellemző rájuk, hogy magas helymeghatározási és ismétlési pontossággal, nagy pillanatnyi terhelhetőséggel, nagy tolóerővel és magas teherbírással rendelkeznek. A keret alumínium profilból készült. A motor közvetlenül hajtja meg a golyósorsót. A maximális sebessége 2,53 m/s, ismétlési pontossága $\pm 0,005$ mm, maximális terhelhetősége 7240 N. A két tengely között csupán méretbeli különbség van, a kialakításuk ugyanazon az elven történik.



19. ábra A kiválasztott CKK kompakt modul [10]

A mechanikai koncepció

A feladat megoldására egy majdnem H elrendezést készítenek, amely abban különbözik a H-tól, hogy nincs meg az egyik „szára”, tehát összesen 2 kompakt modul egymásra építéséből áll (20. ábra). A két tengelyt egymáshoz egy derékszög idom segítségével rögzítik, melyet alapfelszereltségként tartalmaz a megrendelés. Ennek köszönhetően az X tengely a fa állványhoz van biztosítva (megvalósítását lásd a következő fejezetben), míg az Y tengely csupán az X-re. Az antenna a megvezető rúdon keresztül kerül rögzítésre az Y tengely kocsijára. mindez egy erősebb „fél bilinccsel” történik. A mozgó kocsi felszínén találhatóak hornyok, melyek segítségével felfogadható stabilan a bilincs.

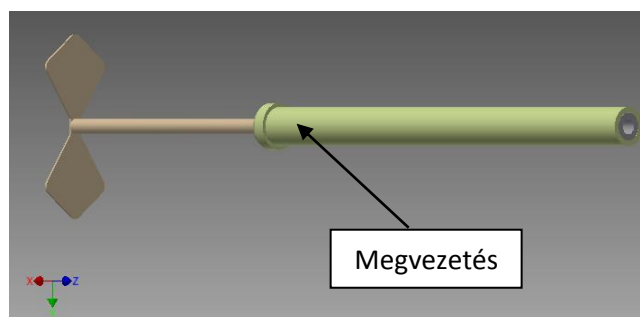


20. ábra A két tengely egymáshoz képesti elrendezése [8]

A motorválasztás során első körben a léptető motor lehetősége merült fel. Mivel ez már kifutó szériában van a Bosch Rexroth-nál, illetve valószínűleg sokkal lassabb maximális sebességet tudtam volna vele megvalósítani, a szervomotorokra esett a választás. Méghozzá 2

darab MSM031B típusú kerül majd beépítésre a remélhetőleg megvalósítandó szerkezetbe. Hozzájuk tartozik két darab komplett hajtás vezérlőelektronika, melyek típusa HCSO1.1.

Az antenna merevítésére szolgáló műanyag rúd úgy épül fel, hogy benne állítható legyen az antennarúd kilógásának mértéke. A rúd rögzítését megkönnyíti a rajta található fém gyűrű. Ehhez viszonyítva lehet a különböző magasságokat beállítani, melyhez segítségként a műanyag rúd oldalára helyező furatokat készítenek. A gyűrű miatt természetesen nagyobb átmérőjű polimer csőre van szükség, mely merevítését növeli egy közbülső betét, csődarab alkalmazása. Alul a szerkezetre egy menetes anya kerül, melyben két félből álló kúpos szorítás található az antenna biztos rögzítése érdekében. A felső részen ez a megoldás megismételhető (21. ábra).



21. ábra Az antenna és a megvezetés összeépítve

7.3. A tartószerkezet

A követelmények között az egyik legfontosabb az volt, hogy nem lehet fém alkatrész az antenna 1 méteres közvetlen közelében magán az antennacsövön kívül. Így a tartószerkezetet fából vagy műanyagból készíthető. A műanyag költségigényessége miatt kizártam, így maradt a fa, mely időtálló és viszonylag minimális befektetést jelent. A tömeg, melyet a tartószerkezetnek el kellene viselnie, körülbelül 30 kg. Ez meglehetősen nagy tömeg, így a szerkezet megerősítése érdekében merevítéseket helyeztem el rajta. Egy kezdetleges konstrukciót szemléltet a 22. ábra, ahol még a kerek nem láthatók.

A könnyű mozgathatóság érdekében a lábaira guruló kerekeket érdemes elhelyezni, így elkerülve a folyamatos emelgetést. Természetesen a gurulás megakadályozása érdekében olyan részegységet választok, melynek befékezett állapota is van.



22. ábra A tartószerkezet kezdetleges konstrukciója

A kamra méretéből adódó korlátozott magasság megoldására egy teleszkóp ötletből kiinduló, összeecsúsztatható lábszerkezetet lett volna a legideálisabb. Ennek kivitelezését úgy valósítottam meg, hogy egymásba csúsztatható, csavarral rögzíthető legyen. Felmerült itt is többféle lehetőség. Elsőként a szétszedhető keret. Ekkor a mozgató egység levehető az állványról, majd pedig a fa keret nagyjából közép tájékon ketté vehető lett volna. A két fél rögzítését egy áthidaló gyűrűvel oldottam volna meg, melyet szintén csavarokkal szorítottam volna rá a szerkezetre. Ez az elgondolás megvalósítás szempontjából egyszerű lett volna, de a használata egy idő után instabillá válhatott volna, mivel a kopás hatására esetleg instabil szerkezet jött volna létre.

A másik megközelítés az összeecsúsztatható szerkezet, mely el is nyerte a tetszésem. Ebben az esetben a legalsó elem tömör fából készült rúd, majd felette egy cső volt. Ebbe a csőbe bele tud csúszni a rúd, így megvalósítva a magasságcsökkentést. A rögzítés lábanként 3-3 facsavarral történt, melyek a rúdba előre kialakított hornyokba illeszkedtek a nagyobb felületen való felfekvés érdekében. A cső nem végig cső, csak addig a mélységig, amíg az alsó szegmens bele tud menni, tehát attól függ, hogy milyen hosszú a rúd.

A következő fontos szempont a merevség növelése. Mivel közvetlenül az asztal mellé tolva fogják használni a keretet, lehetőség adódik az asztalhoz való rögzítésre. Erre is felmerült többféle elgondolás. Természetesen a fém csavar jelenleg sem alkalmazható. Facsavar használata viszont megengedett. Az asztal anyagát tekintve szintén fa, úgyhogy csavar vagy többször használatos dübel segíthet a rögzítésben. Emellett ha olyan profilúra alakítjuk ki a lábakat, hogy azokon „bemarást” hoztunk létre úgy, hogy egy felfekvő felületet alakítottuk ki az asztal és a lábak között. Valamennyire gyengítheti ez a kialakítás magát a szerkezetet, de ha gondosan választom meg a keresztmetszet méretét, nem okozhat gondot. Jelen helyzetben mind a két megoldást tudtam egyszerre alkalmazni.

A merevítés növelése érdekében a felső négyszög alakú keret a mozgatható lábaktól távolabbi két sarkából kiindulva plusz rudakat helyezek be. Erre is kétféle lehetőség van. Függőlegesen, mint egy asztalt képezve az asztalon, maximálisan növelhető a merevség. Ha ferdeszögben helyezek be plusz rudakat, azok is megnövelik a merevséget, bár nem olyan mértékben, mint az előző esetben. Megválasztható a szög úgy, hogy a behelyezett rudak pont úgy végződjenek, hogy felfeküdjenek az asztalra is, de a lábakhoz is rögzítve legyenek. Összességében a megtartandó tömegem nem olyan nagy, hogy a 4 lábas kivitel kelljen választanom, így maradnék a ferde megtámasztásos megoldásnál.

Miután a merevségét megnöveltem a szerkezetnek, a mozgó egység rögzítését is meg kell oldani. Ebből a szempontból tekintve a dolgot, a felső kereten egy külső peremet képezve elvégezhető a pozicionálás. Figyelembe kell venni a tengelyekre szerelt alkatrészeket is, így nem feltétlen tudjuk a peremet a teljes területen létrehozni. Fontos, hogy emellett konkrét rögzítés is történjen, melyet ebben az esetben már fém segítségével is végre hajthatunk a megfelelő magasság miatt. A tengelyek kompakt kialakítása miatt az X tengelyt a külső perem mellett belül rögzíthetjük egy speciális, készen kapható elemmel, melynek van egy hajlított rész, ami „beakasztható” a tengely oldalán lévő horonyba, majd pedig a fa szerkezethez csavarozható. Így biztos a rögzítése, valamint a mozgás hatására ébredő dinamikus terhelésnek is ellen tud állni.

Az Y tengely rögzítése csupán az X-hez történik, melyet már korábban, a 7.2. A mechanika című fejezet részben leírtam.

A végleges mechanikai konstrukció 3D-s elkészítéséhez szükség van még alkatrészekre, melyek nem állnak a rendelkezésemre, ilyen például a szervomotor 3D-s modellje, és a hozzá kapcsolódó tartozékok. A dokumentáció alapján azonban a megvalósítás kivitelezése megoldható.

7.4. A vezérlés

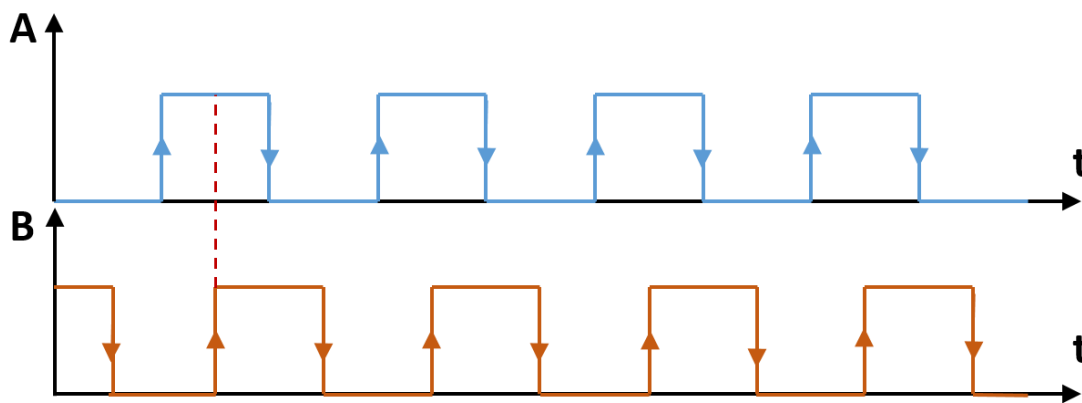
Ahhoz, hogy a konstrukció úgy mozogjon, ahogyan azt szeretnénk, szükség van valamilyen irányító egységre is. Ezt többféle módon megvalósítható. Első körben tervezhető vezérlő elektronika, amely hosszadalmas, időigényes. Második lehetőségként részegységeket alkalmazhatunk, ezeket összeépítve pedig kaphatunk egy kész vezérlő egységet. Harmadikként pedig vásárolhatunk egybeintegrált irányítórendszert, mely specifikus esetekben nem feltétlen tud olyan és annyi funkciót, melyre szükségünk van, emellett pedig költségigényes.

Így a lehetőségeket felmérve arra a döntésre jutottam, hogy a közbenső megoldás választom. Ez pedig azt fedi, hogy beszerzésre került egy vezérlő elektronika, melyhez illeszteni tudtam a mechanikát valamint a számítógépet is, valamint programozhattam bele előre definiált pontokat, melyek alapján a mozgás megvalósítható lett. Ennek részletezését teszem meg a következőkben. A cél az, hogy előre meghatározott pontokra tudjuk pozicionálni az antennát, illetve jelzést kapjunk, amikor elérte azokat. Ennek megvalósítását részletezem a következőkben.

A perifériák

Ahhoz, hogy meg tudjuk állapítani, milyen vezérlés lesz a legalkalmasabb, fel kell térképeznünk a használni kívánt perifériákat. A konstrukció mechanikáját ismertettem a 7.2. A mechanika című fejezetben. Itt kiderült, hogy egy szervomotor segítségével meghajtott golyósorsós mozgatásról van szó. Tehát első perifériaként említhető a motor, melynek a vezérlés szempontjából fontos paramétere a fordulatszám. Ezt tudjuk szabályozni. Jelen feladatnál antenna mozgatásról van szó, mely során a pontos pozicionálás és annak visszajelzése, hogy megérkezett a sugárzó eszközünk az előre meghatározott helyre, egyaránt fontos.

A mozgás érzékelésére, tehát, hogy forog-e a motor, szükség van egy jeladóra. A választás egy 90° -os jeladóra esett, mely kvadratúra jelet képez. Ez nem jelent mást, mint a vizsgált két négyszög jel egymáshoz képest $\frac{1}{4}$ periódussal el van tolva. A mozgás során ez a megoldás nemcsak azt érzékeljük, hogy történik-e elfordulás a motornál, hanem az irányt is. Tehát a negyed periódus eltolása irányérzékenységet is okoz, mely számunkra előnyös. Így a motor fordulatszáma és a haladás irányát is tudja érzékelni a vezérlőnk, mellyel a szabályozási kört zárttá tettük.



23. ábra A két négyszögjel közötti negyed periódus eltolás szemléltetése

A négyszögjelek vizsgálata során élváltások történnek, melyeket szemlélteti a 23. ábra. Az irányérzékenység is leolvasható az ábráról. Amikor az A jel felfelé futó ágon halad, és őt követi eltoltan a B jel, akkor a motor pozitív irányba forog. Ellenkező eset áll fent, ha az ábrát visszafelé olvassuk le, azaz amikor az A jel felfelé haladó ágban van (az ábrán eredeti iránnyal ez lefelé szálló ág), akkor a B jel eltolva negatív irányba változik (szintén fordított az ábrán).

A jelek módosulása két módon figyelhető meg. Az egyik lehetőség szerint az élváltás (mindkét jel értéke megváltozik) hatására megszakítást generál a vezérlő (interrupt), majd jelez a számítógép felé. Példaként jelen esetben adott távolságok megtétele után érkezik az értesítés, mely visszajelzést ad, hogy valóban oda ért az antennám a kívánt pozícióba. A másik módja a nyomon követésnek a folyamatos kérdezgetés, melyet angolul polling-nak nevezünk. Ekkor a folyamat során állandó kérdezz-felelek játszódik le a vezérlés és a jeladó között, melynek nagyobb a teljesítményigénye, mint az előző megoldásnak. Így mindent figyelembe véve az interrupt használatát alkalmaztam.

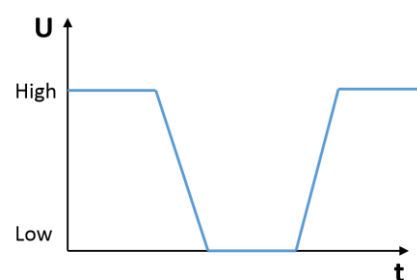
Mivel jelen esetben X és Y mentén is mozgatjuk az antennát, ekkor mind a két hajtás esetén meg kell valósítanunk ezt a felügyeletet, mellyel nyomon tudjuk követni, hogy az általunk kiadott mozgás végrehajtódott-e vagy sem. Ezzel sikeresen kiküszöbölhető a túl sok jeladó beépítése.

A jeladó relatív útdóként működik, mely során ha áramtalanítom a rendszert, majd újra bekapcsolom, nem fogja tudni, hogy éppen hol helyezkedik el, és merre is kell elindulnia. Alkalmazhattunk volna EEPROM memóriát a pozíció adatok tárolására, így árammentesítés után is tudta volna az utolsó pozícióját. A problémára mégsem lett volna jó megoldás, mivel egy véletlen elmozdulás áramtalanított állapotban, és már nem megfelelőek a memóriában lévő koordináták. Ezen felül az EEPROM nem olyan használatra van tervezve, ahol viszonylag sok a ki- és bekapcsolás. Ennek hatására rövid időn belül tönkre menne, cserélni kellene.

Így egy referencia pontot kellett bevezetni a gond áthidalására. Ha bekapcsolás után ráfut az antenna a referenciára, az kinullázza a mérőrendszerét, és tudni fogja, hol is van éppen. A munkatérben szinte bárhol elhelyezhető, ám logikus megfontolások alapján két lehetőség merült fel a hollétének eldöntésére. Első ötletként felmerült, hogy a munkatér geometriai középpontjára tesszük (X és Y tengelynek is a felénél található). Az elgondolás megfelelő lenne, és bárhol is volt a térben, hamarabb oda ér középre, mint ha valamely szélső pozícióba kellene menni. Ennek ellenére problémát okozna neki az indulás. Nem tudná eldönteni, merre is kellene elindulnia ahhoz, hogy a megadott pontba érjen. Éppen ezért valamelyik szélső helyzetbe kell tenni, amivel kiküszöböljük a kezdeti nehézségeit. Célszerűen azt a sarokpontot választjuk, amihez viszonyítva csak pozitív irányba történhet a haladás, tehát amely megadja a legkisebb koordinátájú pontot. Így a negatív számok felmerülése is kiiktatható. Mivel a munkatér mérete csupán 420 mm x 300 mm, így

viszonylag gyorsan eljut az antenna a referenciára a tér bármely pontjából, ami így időkiesést nem jelent.

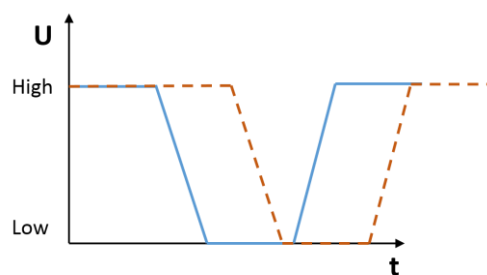
A nullpont megvalósítását réses optocsatolóval valósítottam meg, mivel ez egy olcsó, és jól működő alkatrész. Található benne egy infra LED, valamint vele szemben egy infra fototranzisztor. Köztük található egy maximum 3 mm széles rész. A működése során, amikor a rést kitakarjuk például egy fémből készült lemezdarabbal, akkor a tranzisztoron nem folyik áram. Abban az esetben, amikor a LED és az érzékelő között nem található akadály, a tranzisztor vezetővé válik. Ezt a kis fémlapot a mozgó kocson helyezük el. A folyamat karakterisztikáját szemlélteti a 24. ábra. A tranzisztor nem vezető állapotban korlátozott ideig van, melynek hossza a pontossággal ellentétesen arányos. Minél kisebb ez a szakasz, annál pontosabb a nullpont meghatározása.



24. ábra Optocsatoló működési karakterisztikája

Ezek a csatolók érzékenyek a ráfutás irányára, tehát a referenciapont precíz definiálása érdekében mindkét irányból rá kell futni. Ez úgy működik, hogy egyik oldalról megközelíti a szán az optocsatolót, majd lefut róla, és amint leért róla vissza indul, hogy ismét ráérjen a csatolóra. Ekkor lesz igazán korrekt a referenciálás.

A pontosság növelése érdekében alkalmazhatjuk a csatolókat párban, vagyis egymás mellé helyezhetünk belőlük kettőt úgy, hogy a szánon elhelyezett fémlemez szélessége pont akkora legyen, hogy a két optocsatoló közti távolságnál minimálisan nagyobb legyen. Az így kialakuló karakterisztikákat mutatja be a 25. ábra. Jól látható,



25. ábra Két egymás mellett elhelyezett optocsatoló működési karakterisztikája

hogy az a szakasz, ahol mindkét csatoló esetén a tranzisztoron nem folyik áram, minimálisra csökkent. Ennek következtében rendkívül precíz meghatározás valósulhat meg, és irányfüggetlenné válik az érzékelés. A konstrukcióm során ekkora pontosságra nem volt szükség, így csupán egy adott helyre egyet építettünk be belőle.

Ezt az optocsatolót alkalmazhatjuk végállskapcsolóként is. Figyelni kellett azonban arra, hogy úgy helyezzük el őket, hogy ne tudjon a mozgó egységünk jelentős mértékben túlfutni ezeken a végállásokon, mivel a gyors kapcsolás és a megállás között van valamennyi

hőtídő. A megvalósítása úgy történhet, hogy a ráfutás után végálláson megáll a mozgó szán, majd az újraindítás lassan játszódik le. A tengelyek mindkét végére tettünk végálláskapcsolót, így összesen négy darab került beépítésre, melyből kettő együttműködve referenciapontként is funkcionál.

Lehetőségünk volt még hőmérsékletszenzorokat bekötni, melyek figyelik a motorok hőmérsékletét, és jeleznek egy előre definiált érték felett, valamint megállítják a mozgást, megakadályozva ezzel a túlmelegedést és az esetleges károsodást.

A vezérlőegység

A kommunikáció megvalósítására az I²C buszt alkalmazzuk. Van egy adat (SDA) és egy órajel (SCL) vonala, valamint a hozzájuk tartozó felhúzó ellenállások. A master, magyarul mester, végzi az irányítást, állítja az órajelet, a kommunikáció sebességét. A slave, vagyis „szolgák” hozzá alkalmazkodnak, követik az utasításait. Jellemzően az 5V és a 3,3V-os feszültségjeleket használja. Előfordul 7 és 10 bit-es címtartományban is. Az adatsebesség 10-100 kbit/s között mozog. Újabban már vannak ennél gyorsabban is, melyek közül a legmagasabb a 3,4 Mbit/s-os High Speed mód. Egyéb funkciók közé tartozik például a 16 bites címtartományú kivétel. Négy lehetséges üzemmódot különböztetünk meg, ezeket a következő, 6. táblázat tartalmazza.

Üzemmód	Adatáramlás
Mester küld adatokat	Mester csomópont adatokat küld egy szolgának
Mester fogad adatokat	Mester csomópont adatokat fogad egy szolga
Szolga küld adatokat	Szolga csomópont adatokat küld a mesternek
Szolga fogad adatokat	Szolga csomópont adatokat fogad a mester

6. táblázat A négy lehetséges üzemmód [11]

Alapvetően minden üzenet egy Starttal kezdődik, és egy Stoppal végződik. Amikor az órajel alacsony jelszinten van, akkor történhet csak adatváltozás. Ezek alól kivétel a Start és a Stop, melyek esetén a magas órajelszint mellett történik adatváltozás. Ennek oka ezen funkciók jól elkülöníthetősége.[11]

A vezérlő kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy költséghatékony legyen, de mégis teljesítsen minden feladatot, amelyet meg akartam vele valósítani. A sok szempont figyelembe vételét követően a Microchip PIC10F322-es mikrokontrollerre esett a választás. A tulajdonságai közül elsődleges, hogy hardveresen tudja kezelni őt az I²C busz, valamint USB interfésze van a számítógép felé. Ez utóbbi megvalósítható két módon. Direkt USB

kimenettel, melynél külön programozni kell az USB-t, ami bonyolult. A másik lehetőség egy soros porton keresztül történő megvalósítás. Ekkor az USB egy virtuális soros portként létezik, és csupán azt kell programozni, ami már nem okoz nagyobb problémát, mivel alaphoz bele van építve a Windows operációs rendszerbe is. Erre az FT232-es típusú USB chipet választottam ki.

Amint azt korábban ismertettem, sok perifériát kell a vezérőnek kezelni. Ezért kellett egy portbővítőt választani, mely segítségével a 8 helyett 16 bit lett, mely már elegendő lábbal rendelkezik. A Microchip által gyártott MCP23017-es, 16 bites típus lett a megfelelő. A bővítő 15-17-es lábai a címzőbitek, míg a 19-20-as pedig interrupt. Ez utóbbiak képesek jelezni, ha bármelyik lábon változás történik. Ennek segítségével tudjuk figyelni, hogy a számon elérték-e az előre beprogramozott pontot. Megadható a bővítőnek, hogy az adott lábak ki- vagy bemeneti szerepet töltsenek be, hogy pozitív vagy negatív legyen a polaritásuk, valamint hogy melyik pin-re generáljon a vezérő interrupt-ot, azaz megszakítást. Az 1-4-es pinek funkcionálhatnak default value-ként (alapértelmezett értéként), melyek segítségével nem az adott pin-eken történő változásokat generálhat a bővítő, hanem az alapértelmezett értékektől való eltéréseket. Ha az 1-7 lábakat bemenetnek választjuk, akkor működhetnek pull-up resistor-ként (felhúzó ellenállásként), aminek hasznát vehetjük kapcsoló illetve tranzistor illesztésénél. A számítógép felé való kommunikáció I²C busz segítségével történik.

A bővítésnek köszönhetően 8 eszközt képes kezelni, amely a következő módon alakul ki. A Control Byte formátum első bitje a start bit. Ezt követően található 4 bit, melyek fixek. Mögöttük található 3 bit, melyeket a kontrolleren A0, A1 és A2-vel jelölik. Ezek tetszőlegesen választhatók, és így adódik ki a 8 eszköz. (Bővebben a [12] hivatkozás alatt olvasható)

A hőmérséklet szenzort szintén a Microchip oldaláról választottam, méghozzá az MCP9800/1 típusút. A mikrokontrolleren beállítható egy pin interrupt funkcióba, mely jelez, ha valamelyik motor túlmelegedett. [13]

A vezérő és a számítógép közötti út

A mozgást végző motorhoz tartozik egy teljesítményelektronika, mely általában analóg kimenettel rendelkezik. A szervomotor fordulatszáma analóg jelként jelenik meg. A mikrokontrollernek kis teljesítményű elektronikája van, mely digitális jeleket közvetít. Következésképpen szükség van egy D/A konverterre, mely a számítógép digitális jeleit

átalakítja. Abban az esetben hagyható csak el, amikor a motornak van digitális interfésze. A kiválasztott D/A konverter a Microchip MPC47A1 típusú eszköze.

Ennek tulajdonságai közé tartozik, hogy mindig a referenciához képest adja meg a kimenő feszültséget és gyors. Tudni kell, hogy a gyorsaság és a bitmélység egymással fordítottan arányos jellemző. Csak magas költségek árán valósítató meg mindkettő egyszerre.

A mikrokontrollerről pedig a jel az FT chip-en keresztül soros porton át USB-re alakítva érkezik a számítógéphez. Ott új kommunikációs port jelenik meg, melynek köszönhetően a Windows programok már elérők.

A programozás

A mikrokontrollert klasszikus C-ben lehet programozni. Egy Windows-ban futó szoftver segítségével megírjuk a programot, majd soros porton keresztül feltöltjük rá. A grafikus megjelenés létrehozásához a C# programnyelvet alkalmazzuk. Ennek segítségével olyan grafikus felületet hozhatunk létre, melyen gombok szerepelnek. Ezek jelölik az egyes programozott pozíciókat a munkatérben. Így az adott specifikációjú méréshez rendelt pontokat megjelenítve, csupán kattintás segítségével mozgathatjuk az antennát.

A részletes programozás és a grafika megvalósítása később fog megvalósulni, a jelenlegi feladatban a koncepció és a szemlélet kialakítása volt a cél.

A vezérlés elhelyezése, tápellátása

Fontos szempont, melyet szem előtt kell tartani, hogy az I²C busz vezetéke nem lehet túl hosszú a nyomtatott huzalozású lemezen, ezért annak a készüléken belül kell lennie. Ez nem jelent mást, hogy az összeépített vezérlőt ott kell elhelyezni, ahol a motorok is találhatóak. Ennek miéértje csupán az, hogy az I²C busz kapacitása nem lehet nagyobb, mint 400 pF. Ha a vezeték hossza nagy, nő az ellenállás, nő a kapacitás is, és így lassul a kommunikáció sebessége. Az USB kapcsolat esetén alkalmazni kell egy optikai leválasztót, hogy a számítógép és a vezérlés egymástól független potenciálon legyenek, tehát ne valósuljon meg az összeföldelésük.

A tápkábelt a kamra külseje felől vezetjük be, és ha szükséges, akkor mérés közben lekapcsoljuk a hálózatról a konstrukciót. Ennek akkor lehet jelentősége, ha valamilyen zavarjelként megjelenik a vizsgálatok során a hálózati frekvencia. Ekkor azonban újra el kell végezni a referenciálást, mely időkiesést jelent, de nem számottevőt. Ezt pontosan csak a megvalósított konstrukció használatakor tudjuk megállapítani.

8. Konzekvencia, megvalósulás

A TDK munkám során egy olyan mozgató rendszer kifejlesztése volt a feladat, mely két koordináta, tehát X és Y mentén tud „közlekedni”, miközben egy antenna található a mozgatóegységen. Ezzel az antennával olyan méréseket végeznek, mely során a mobiltelefon káros hatásait vizsgálják az autó elektronikai termékeken.

Az elméleti összefoglaló részletességét azért tartottam fontosnak, mert az EMC mérések nagyon összetett folyamatuk. Megértésükhöz nemcsak azt kell tudnunk, hogy mi célt szolgál, esetleg hogyan működik a vizsgálandó berendezésünk, hanem azt is, hogy egy adott átervezésre miért volt szükség, és a mérés során azt a hibát miként észleltük.

Az irodalomkutatót és a koncepcióvizsgálatot követően kialakult egy olyan szemlélet, mely során részegységekből összeállítható szerkezetet hozhatunk létre. Ebben segítségemre voltak a Bosch Rexroth csoport munkatársai, akik irányt mutattak, mely elemeket kellene alkalmazni a már jól definiált feladat megoldására.

Katalógusok segítségével végre hajtottam a különböző részegységek kiválasztását, és ezt követően pedig a vezérlés elkészítése következett. Furcsa mód, visszafelé haladtam a megoldás során, és a perifériáktól kezdve, a megfelelő érzékelők meghatározásán át jutottam el egyrészt a vezérlőig, majd pedig innét továbbhaladva egészen a számítógépig. Az összekapcsolás folyamata során beleütköztem több-kevesebb nehézségbe, melyeket szerencsére hamar át lehetett hidalni.

Ez egy elsődleges koncepció, melyet természetes a Robert Bosch Kft. munkatársai bevonásával készítettem, és amely valóban alkalmas az adott mérés automatizálására. A kialakítása úgy történt, hogy a szerkezetben még rejlő, de első körben nem előhozott, kiaknázatlan lehetőségeket idővel továbbfejleszthessük. Amiért ezen tartalékok csak fejben, ötlet szintén maradtak meg, annak oka többek között a költségvetés, mely során a több kisebb beruházás előnyösebb, valamint a feladat nagysága, mely rendkívül széleskörű szakértelmet kíván.

Természetesen, mint minden még meg nem valósult, de már dokumentált ötletet, a későbbiekben ezt is tervezzük bővíteni a vezérlés és a monitorozás oldalán egy úgynevezett DDL (Dinamic Linking Library) segítségével. Ez nem más, mint egy előre lefordított kód, amelyet más program, többek között a méréshez használatos is fel tud dolgozni, és ennek

segítségével irányítani tudja a mozgásokat parancsok kiküldésével, és be tudja olvasni a mért eredményeket.

Ezen kívül szeretnénk, ha sikerülne megvalósítani plusz mozgásformákat, mint például a Z tengely körüli forgatás, ami újabb időspórolást jelentene, mivel orientációváltás esetén is kiiktathatnánk az emberi közbeavatkozást. A másik megvalósítandó a Z tengely irányában történő lineáris mozgás, melyre a vezérlőelektronikától való távolság beállításánál lenne szükség, így teljes mértékig automatizált rendszert hozva létre.

9. Köszönetnyilvánítás

A TDK munkám létre jöttében sok ember segítsége szükséges volt. Ők nemcsak tudásukkal, hanem emberileg, idejüket és türelmüket áldozva támogatták a dolgozatomat, és vele együtt engem, hogy mindez megvalósulhasson.

Köszönetet mondok Gyurika István Gábornak, aki a Gyártástudomány és –technológia Tanszék tanszéki mérnöke, és motivációjával valamint segítségével sikerült elindulnom ezen a TDK konferencián.

Hatalmas köszönet illet Dr. Nagy Sándor címzetes egyetemi tanárt, ki nem sajnálva szabadidejét és energiáját, rengeteg kutatómunkával segítette a dolgozat haladását. Tudásának köszönhetően állt össze egy egész, kerek művé ez a dolgozat.

A Robert Bosch Kft. részéről köszönetet mondok Dr. Bánky Tamásnak, aki önzetlenül segített bármely kérdés esetén, és erején felül egyengette a dolgozat elkészülésének útját. Erdei Andrásnak, akinek szakmai tudása nélkül a dolgozat színvonala nem jöhetett volna létre. Till Györgynek, aki rengeteg támpontot adott a vezérlés és a mechanika kialakításával kapcsolatban.

A Bosch Rexroth csoport részéről Prekel Dánielnek köszönöm, hogy segítette munkám egy komplett javaslattal, melyet az alaposan átbeszélt adatok ismeretében alkotott meg.

10. Irodalomjegyzék

- [1] ELEKTROMÁGNESES ÖSSZEFÉRHETŐSÉG (EMC) oktatási anyag, 2002, 120-123,
- [2] EMC ALAPOK, Bevezetés az elektromágneses kompatibilitás gyakorlatába, Rejtő Ferenc, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Budapest, 2006, 47;
- [3] RF zavarkibocsátás és zavarérzékenység méréshez (EMC) – Mérési segédlet, Szűcs László, 2002
- [4] Járműipari EMC mérések (EMC-jelű mérés) – Szűcs László, 2008
- [5] Bipoláris antenna, Schwarzbeck 420 NJ,
<http://schwarzbeck.de/Datenblatt/K420NJ.pdf>, 2013.10.06.
- [6] ISO 11452-9:2012(E) szabvány
- [7] Nyomtatott huzalozású lemez példa,
<http://www.hobbielektronika.hu/forum/getfile.php?id=181410>, 2013.10.31.
- [8] Easyhandling katalógus, Bosch Rexroth,
http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/download/index.jsp?object_nr=R310EN2606, 2013.10.15.
- [9] Robotkar példa, http://e-oktat.pmmf.hu/webgui/www/uploads/tenkesnet/bpandur/7_elemei/image024.jpg, 2013.10.31.
- [10] Az összekötő elemek katalógusa, Bosch Rexroth,
http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/download/index.jsp?object_nr=R999000063, 2013.10.15.
- [11] I²C kommunikációs busz, <http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>, 2013.10.30.
- [12] Microchip MCP23017 portbővítő,
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21952b.pdf>, 2013.10.29.
- [13] Microchip MCP9800/1 hőmérsékletszenzor,
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21909d.pdf>, 2013.10.29.

A dolgozat lezárásának dátuma: 2013.11.05.