

XXXIII. Kandó Konferencia 2017
“Kandó a tudomány hajóján”

Publikációk

1084. Budapest, Tavaszmező u .17.

2017.11.23.

ISBN 978-963-7158-08-7

Aszinkron motorok tervezése

Bendiák István

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Automatika Intézet, Villamos Gépek Szakcsoport, bendiak.istvan@kvk.uni-obuda.hu, 1034 Budapest, Szőlő utca 4. AB.fsz.10

A dolgozat témája aszinkron motorok tervezési kérdései. A tervezés az IEC szabványra támaszkodik. A tervezés alapvető szempontja a különböző hatásfok osztályok által előírt követelmények betartása és vizsgálata. A dolgozat bemutatja egy adott motortípus kifejlesztését és tesztelését. A tervezet aszinkron motorsorozat gyártása előtt alapvető méréseket kell elvégezni. A mérést darabszámtól is függő számu gépen kell elvégezni, amelyek értékelhető adatokat adnak a kifejlesztendő motortípus veszteségi jellemzőiről. Alapvető mérések: Üresjárási mérés, rövidzárási mérés, terhelési mérés, melegedésmérés. A dolgozat bemutatja a fent említett mérések eredményeit és elemzéseit.

Keywords: Üresjárási mérés, rövidzárási mérés, terhelési mérés, melegedésmérés

1. Bevezető

Dolgozatom témája egy 1100 W-os négypólusú aszinkron motor tervezésének bemutatása. Az elmúlt időszakban felmerült a gyakorlati igény egy IE2 hatásfokosztályba sorolandó motorral kapcsolatban. A motorral szemben támasztott követelmények voltak, állandó üzem, 90 mm-es tengelymagasság, 24 mm-es tengely átmérővel, lehetőleg négypólusú motor. Ennek alapján született meg kollégáim és általam tervezett aszinkron motor.

2. Aszinkron motorok tervezési kérdései gyakorlati szempontok alapján^{[1][2][3][4]}

Általános megjegyzés az aszinkron gép működési elvéhez

Az aszinkron gép működési elvét leggyakrabban azzal magyarázzák, hogy az állórész által létrehozott forgó mágneses tér erővonalai metszik a forgórész vezetőit és így abban feszültség indukálódik.

Meg kell azonban jegyezni, hogy ez az erővonalmetszést kiemelő magyarázat csak akkor teljesen igaz, ha a vezetők nincsenek „vasba ágyazva”, ami igen ritka eset.

A legelterjedtebb aszinkron gépeknél azonban az állórész és a forgórész vezetői is hornyokban helyezkednek el, így a fő fluxus erővonalai a vastest fogain és a koszorúkon keresztül záródnak, és csak igen kis részük „metszi” a vezetőket.

Ettől még az erővonalmetszésből levezetett következtetések igazak, kivéve azt, hogy a nyomaték képződése során nem a vezetőkre fog hatni az erő, hanem a vastest fogaira.

2.1. Tervezési irányelvek, követelmények

A tervezés során a legfontosabb cél a motorral szemben támasztott követelmények kielégítése.

A követelmények rendkívül szerteágazóak lehetnek.

2.1.1. Általános követelmények

Az ilyen jellegű követelményeket az általános ipari felhasználású motorokra IEC 60034-1 szabvány tartalmazza (üzem típusok, névleges értékek, működési körülmények, melegedési határértékek, adattábla adatok, mérések és tesztek stb.)

Az általános célú motorokon kívül még nagyon sok speciális felhasználási terület létezik, amelyekre külön követelmények és előírások vonatkoznak. Ilyenek például a háztartási gépek (pl. házi vízmedence szivattyúmotorok), vasúti üzemű motorok (pl. metrókocsin üzemelő kompresszor motor), szerszámgépeken üzemelő (szervo) motorok stb.

2.1.2. A mechanikai kialakítással szemben támasztott követelmények

Ezek a követelmények azért fontosak, mert sok esetben meghatározzák az aktív résszel szemben támasztott követelményeket is.

Ilyen követelmények például a gép hűtését nagyban befolyásoló védettségi fokozat (pl. IP23, IP54 stb.).

A gép beépítési méretei rendszerint valamilyen szabvány (pl. az IEC 60072) írja elő a gép nagyságától függően (pl. 112M, 132S, 200L stb.).

Az általános célú motorok teljesítmény-méret összerendelése is általában szabványban (IEC-NEMA) vagy más irányelvben (EU direktívák) rögzített.

Lehetnek speciális követelmények, mint például a gép rezgése nagy fordulatszámoknál (szerszámgép főorsó), ami miatt a tengely átmérőjét a lemezcsomag alatt a lehető legnagyobbra kell választani, vagy különleges szilárdsági követelmények (nyomásálló tokozású robbanásbiztos kivitel) stb.

2.1.3. A villamos adatokat befolyásoló követelmények

A mai korban már a motorok villamos energiával való táplálása sem csak kizárólag feszültség-kényszer útján valósul meg, hiszen az áramirányítóknak áramkényszert is alkalmaznak.

A hagyományos (feszültség kényszeres, vagy hálózati) táplálási módnál a motor tervezésére nagy befolyással van a feszültség szintje (törpe feszültség, kislefeszültség, nagy feszültség).

Leggyakrabban a kislefeszültségű (max. 690 V) motorokkal lehet találkozni.

A motorok nyomaték- és fordulatszám viszonyai rendkívül változatosak. A legáltalánosabb esetben a motorokat 2, 4, 6 és 8 pólusra tervezik és a szabványban előírt billenő- és indítónyomatékot kell teljesíteniük bizonyos indítási áramkorlát mellett.

A fordulatszám alapvetően a pólusszám megválasztásával befolyásolható, de igényesebb esetekben ma már erre frekvenciaváltót használnak (főleg 4 pólusú motorokhoz).

Sok esetben nem a motor névleges teljesítménye a mérvadó, hanem a felfutás során igényelt nyomaték (pl. kompresszorok esetén), amit a legelterjedtebb kalickás motoroknál a kalicka alakjával lehet befolyásolni (ha nem frekvenciaváltós motorról van szó).

Az áramirányítóról táplált motorokat a névleges fordulatszámnál lényegesen nagyobb fordulatszámokon is használják (pl. 4 pólusú 50 Hz-es motort 15000/min vagy annál nagyobb fordulatszámra, mit a tervezésnél szintén figyelembe kell venni).

Újabban az általános célú motorokra hatásfok követelmények is elő vannak írva, ami jobb és több anyagfelhasználást igényel. A jobb hatásfokú motoroknál a melegedés alacsonyabb, tehát a szigetelés hőállósági követelménye nem kritikus.

Vannak azonban olyan területek, ahol a motorok tervezésénél a melegedés fontos szerepet játszik (füstgáz elszívók, robbanásbiztos motorok) és ez befolyásolja az aktív anyagok (dinamólemez, rézhuzal) tömegét.

Az aktív részek arányát a motorhoz választott igénybevételekkel lehet befolyásolni. Lehet például választani viszonylag magas közepes légrésindukciót, ami azzal jár, hogy a vas telítődésének a korlátozása miatt több vasat kell használnunk, ami kisebb horonyméretre és kisebb rézfelhasználáshoz vezet. Nagyobb motoroknál az ilyen elven tervezett kalickás gép kevesebb indításra lesz alkalmas, mivel az indítási áram okozta hirtelen melegedést csak a réz tömegével lehet korlátozni (gyors melegedés esetén a hőmérséklet emelkedése adiabatikus).

Az indítások számának és körülményeinek minimálisan megkövetelt értékét az IEC 60012 szabályozza.

2.2. A tervezés szokásos menete

Az egyes gyártók gyakorlata eltérő lehet, de nagy számban vannak közös vonások is a tervezésben.

2.2.1. Fő méretek

A tankönyvek általában a gépállandókból és a villamos/mágneses igénybevételek szokásos értékeiből indulnak ki az aktív részek méreteinek a meghatározásánál.

Emellett érdemes figyelembe venni például a lemez gyártók kínálatában megtalálható lemez alakokat is. Jelenleg Európában a villamos gépek különféle komponenseire szakosodott nagy gyártók alakultak ki, akik rendszeresen kiállításokon mutatják be a termékeiket (pl. CWIEME).

A kvázi „szabványos” méretű lemezeken kívül gyártanak szabványos motorházakat, pajzsokat kapocsházakat stb.

Meg kell azonban jegyezni, hogy ezek a katalógusból választató komponensek (amelyek a gyártók weblapján megtalálhatók) csak a nagy számban gyártott, teljesen zárt, felületi hűtésű, általános célú kalickás motorokra vannak tervezve.

A speciális motorokra (pl. vízűtés, átszellőztetett kivitel, magas fordulatszám stb.) csak részben használhatók a katalógus alkatrészek.

2.2.2. Lemezalak

Ha nem tudunk a katalógusokból választani, akkor külső átmérőből kell kiindulni és a pólusszám függvényében kell meghatározni a furat átmérőjét. Nagyobb pólusszámhoz nagyobb furatot lehet tervezni, mivel a koszorú mérete egyre kisebb lesz (a fluxus a pólusszám növelésével csökken a koszorúban).

A horonyszám megválasztását a tekercselés igényei mellett a gyárthatóság is befolyásolja.

Kisebb furat átmérőhöz kevesebb horonyszámot kell választanunk, hogy a 4 mm-nél kisebb fog méretet elkerüljük.

A legkedvezőbb horonyalakhoz párhuzamos falú fog és félig zárt horony tartozik.

Nagyfeszültségű motoroknál (3 kV felett) azonban csak nyitott állórész hornyok jöhetnek szóba a fazonhuzalos, előre gyártott tekercselés miatt.

Kalickás motoroknál igen fontos az állórész/forgórész horonyszám kombináció megválasztása, mivel rossz esetben ez felfutási nehézséget és zajt okozhat.

A kalickás forgórészű motorok forgórész horonyalakja rendkívül változatos, mivel ezzel befolyásolhatjuk a nyomaték-fordulatszám jelleggörbe alakját (mélyhornyú, kétkalickás stb.).

2.2.3. Tekercselés

A pólusonkénti és fázisonkénti állórész horonyszám minél nagyobb legyen és lehetőleg ne legyen tört szám.

Körhuzalos tekercselésű kisebb motoroknál a nagy darabszám miatt olyan tekercselést kell választani, ami géppel is kivitelezhető (automata tekercselőgépek).

Körhuzalos tekercselésnél a kívánt keresztmetszet rendkívül változatos módon kombinálható és befolyásolni lehet a fázisok kapcsolási módjával is soros/párhuzamos, csillag/delta.

4 kW alatt például az üzemi kapcsolás csillag szokott lenni, mivel delta esetén túl sok menet és ennek megfelelően túl vékony huzalok adódnának.

2.2.4. Mágneses kör

Alapvetően a légrés méretére kell ügyelni, amelynek mechanikai és mágneses korlátai egyaránt vannak (tankönyvekben vannak erre ajánlások).

A lemezminőség kiválasztása a követelményektől függ. A jó hatásfokú (energiahatékony) motorok esetében inkább az alacsony fajlagos veszteségű lemezek jöhetnek szóba (M400-50A, M250-35A stb.).

A lemez mágneses igénybevétele 1.6 T körül szokott lenni (a lemezméretek tervezésénél ezt figyelembe kell venni).

2.2.5. Ellenállások, szórási reaktanciák (a helyettesítő vázlat elemei)

Azt lehet mondani, hogy az aszinkron motor villamos számítása a szórásokról szól.

A helyettesítő vázlat paraméterei sohasem állandóak a motor munkapontjának a változásakor.

Az ohmos ellenállást viszonylag könnyű számítani, de az áramkiszorulást és a vezető hőmérsékletét figyelembe kell venni. Állórész tekercseléséknél az áramkiszorulás a szokásos 50-60 Hz frekvenciánál csak olyan esetben növeli meg a tekercs ellenállását, ha a vezető magassága 10 mm-nél nagyobb (ez ritka).

A forgórészen már igen gyakori a 10 mm –nél mélyebb horony így az áramkiszorulással szinte mindig számolni kell.

A mágnesező reaktancia és a vasvesztéseget reprezentáló ellenállás számítását csak mindig az adott szlip függvényében (iterációval) lehet meghatározni, mert a belső feszültség az áram hatására csökken.

A forgórész ellenállás kimondottan szlipfüggő (az áramkiszorulás és a kétkalickás hatások miatt).

Az állórész és forgórész szórási reaktanciák áramfüggőek és a forgórész szórási reaktanciája még szlipfüggő is. Ezeknek a reaktanciáknak a számítására többszörös iterációt kell alkalmazni.

Külön szólni kell a szórási reaktanciáknak arról a részéről, amely a fogfejeket telíti. Ez a telítődés a nagyobb áramoknál például „kinyitja” a félig zárt hornyot.

2.2.6. Üzemi paraméterek, jelleggörbék

A paraméterek meghatározására ma már kizárólag csak a helyettesítő vázlatot használják (kördiagramot nem). A hatásfok meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy az új IEC 60034-2 új módszert használ a járulékos veszteségek mérésére, és ez nem mindig egyezik a korábbi 0,5 % -s mértékkel.

2.2.7. Melegedés, szellőzés

A melegedés számítására is vannak ugyan hagyományos (analitikus) módszerek, de ezt így nehéz kiszámolni. Újabban léteznek véges elemes programok erre a célra, azok viszont drágák, így ebből a szempontból sokszor csak a tapasztalat segít.

2.2.8. Mechanikai számítások

Normál esetben csak a tengely lehajlását, a kritikus fordulatszámot és a csapágy élettartamot szokták számolni. Nyomásálló tokozású, vagy vasúti üzemű és egyéb speciális gépeknél azonban a motorház, talpak, egyéb konstrukciós elemek számítására is szükség lehet.

2.2.9. Zaj és rezgés számítása

A motorok állórészének különböző rendszámú deformációjáról és a rezgés valamint a zaj gerjesztő erőiről a szakirodalomban találhatóak ugyan számítási módszerek, de ezek elég bonyolultak, ezért sok esetben a tapasztalat és a megfelelő horonyszám kombinációra vagyunk utalva.

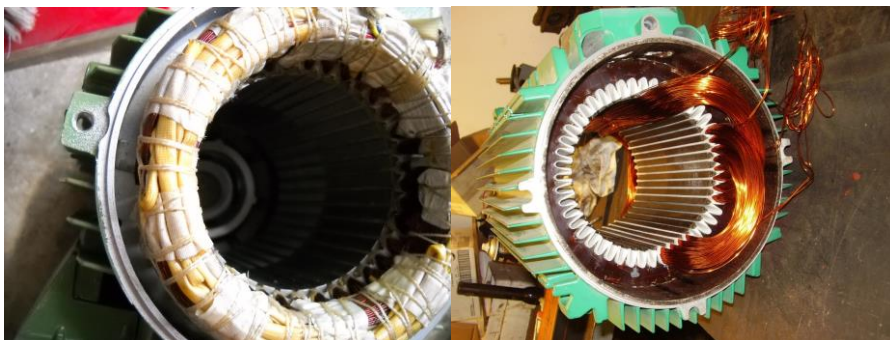
2.2.10. Számítógépes tervezési módszerek

A piacon létező szoftverek alkalmasak akár hagyományos, akár véges elemes modellezésre is akár az elektromágneses, akár a melegedési, vagy akár a szilárdsági számításokról is legyen szó (Maxwell, Flux-3D, SPEED, stb.).

Léteznek a 70-es években kifejlesztett, a hagyományos elveken alapuló számítógépes számítási módszerek, amelyek annak idején a kézi (logarléc) számítások módszerét követik, de lényegesen több iterációs ciklust használnak, így pontosabban is. Ezeket a gyárak mérnökei fejlesztették különféle platformokon (Visual Basic, MathCad, Excel stb).

3. Tervezett aszinkron motor rövid bemutatása

A tervezett aszinkron motor 1100 W, négypólus, IE2 hatásfokosztály, 90 mm-es tengelymagasság és 24 mm-es tengelyátmérő.

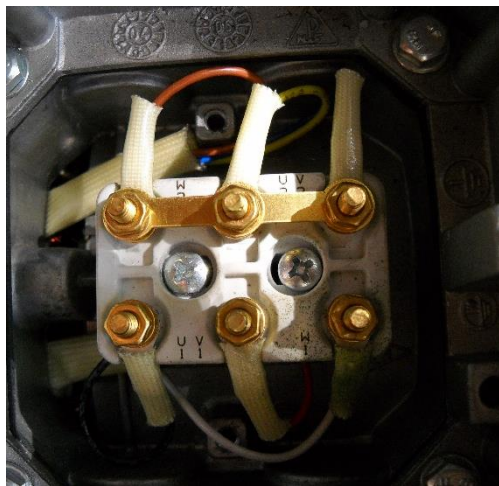


1. ábra. Aszinkron motor tekercselésének lépései

Aszinkron motoron az alábbi mérések kerültek elvégzésre:

- tekercsellenállás mérés
- üresjárási mérés
- terhelési mérés
- rövidzárási mérés
- melegedésmérés
- rezgésmérés
- zajmérés

Az elkészült első példányokon elvégzett méréssel ellenőriztem és korrigáltam a motor valós paramétereit, beleértve természetesen a prototípus motorok közötti eredmény szórásokat. A mechanikai élettartalmot növelve a motorba gumizárt csapágyak kerültek.



2. ábra. A motor kapocsléce, még ellenőrzésen esett át.

Aszinkron motorok gyártása és kivitelezése összetett feladat. A tervező részlegnek szorosan együtt kell működni a tekercselőkkel, összeszerelőkkel. Az első motorok elkészülte után ellenőrizni kell a motorok szigetelésrendszerét, kapocsléc bekötését, talpfelfogató csavarok szorosságát, alátétek, rugósalátétek rögzítését. Illetve az elkészült motor adattáblájának helyességét.

Elkészült motor adatai:

1. táblázat. Tervezett aszinkron motor adatai.

Aszinkron motor névleges adatai							
U [V]	I [A]	P [W]	n [1/min]	Hatásfok	Üzemtípus	M [Nm]	cosφ
400 V Y	2,45 A	1100	1437	83,2 %	S1	7,35	0,78

Összefoglalás

Aszinkron motorok tervezése mindig egy jól összehangolt munka eredménye. Tervezési irányadó kérdések mindig a szabvány és motorral szemben támasztott gyakorlati követelmények. Ebben a tervezési munkában megtanultam (megtanultuk) a szoros együttműködést, a folyamatos információ-cserét. A tervezési és gyakorlati kérdéseket rugalmas és korrekt egyeztetése nélkülözhetetlen a hatékony munka eléréséhez.

Irodalomjegyzék

- [1] Laczkó István: Aszinkron motorok tervezési kérdései gyakorlati szempontok alapján. Budapest. 2014.
- [2] Laczkó István: Dahlander-motorok tervezési kérdései gyakorlati szempontok alapján.
- [3] Liska József, Villamos Gépek IV. Aszinkron gépek, harmadik kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest 1968.
- [4] AUSTIN HUGHES AND BILL DRURY: ELECTRIC MOTORS AND DRIVES, Fundamentals, Types, and Applications, Fourth Edition, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, 2013.

Villamos hajtásrendszerek rezgései

Bendiák István

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Automatika Intézet, Villamos Gépek Szakcsoport, bendiak.istvan@kvk.uni-obuda.hu, 1034 Budapest, Szőlő utca 4. AB.fsz.10

A dolgozat témája villamos hajtásrendszerek rezgéseinek vizsgálata. A villamos forgógépek mechanikai összekapcsolása fontos követelményeket támaszt a hajtással szemben. A különböző tengelykapcsolatok eltérő rezgéseket hoznak létre. A dolgozat gyakorlati példán keresztül mutatja be a tengelybeállítás alapvető követelményeit. Egy adott gépkapcsolaton végzett vizsgálatok jól szemléltetik a különböző rezgéseket, amelynek célja a gépcsoport mechanikai kapcsolat minőségének értékelése. A méréseket a hajtógépen és hajtott berendezéseken is el kell végezni különböző irányokban és minél több leterheltségi állapotban. Ezekből az eredményekből képet kaphatunk a hajtásrendszer megbízhatóságáról, mechanikai élettartalmáról.

Keywords: tengelybeállítás, rezgésmérés, hajtásrendszer, gépcsoport

Bevezetés

A dolgozat célja egy aszinkron motoros hajtásrendszeren végzett rezgésmérés és annak elméleti hátterének bemutatása. A gyakorlatban felmerült kérdés volt, hogy adott fordulatszámon üzemelő a gépcsoport jelentős zajt bocsátott ki. Így a zaj-probléma megoldására tesztmérést végeztem és megállapítottam a gépcsoport sajátfrekvenciáját.

1. Zaj és rezgés kialakulása^{[1][2][3][4]}

A zaj létrejötte során érintett tárgyakat, elemeket és magát az embert egy rendszernek tekintjük. Ez a rendszer három fő részből áll. Az egyik oldalon a zajforrás található, mint zaj jelenségének oka, a másik oldalon a zajt érzékelő, észlelő elem, amely maga az ember vagy az őt helyettesítő műszer. A zajforrás és az érzékelőt az ún. környezet köti össze, azt teremti meg közöttük a kapcsolatot. A rendszer jellemzői vizsgálódás szempontból két fő csoportba oszthatók. A rendszer passzív jellemzőinek nevezzük a rendszernek az időtől független jellemzőit, amelyek a rendszer reagálóképességét határozzák meg, ha azt valamilyen hatás éri. Ezeket a jellemzőket a rendszer, ill. elemeinek geometriai adatai, anyagi minősége, állapota határozza meg. A rendszer aktív jellemzői közé azokat a fizikai jelenségeket sorolhatjuk, amelyek időben változnak és hatnak a passzív jellemzőkre.

Minden gerjesztőerő jellemezhető amplitúdójával, rendszámával, frekvenciájával és fázishelyzetével. Ezek a gerjesztő erők hatnak a gépre, mint mechanikai, passzív, rezgőképes rendszerre és létrehozzák a rezgőmozgást.

A villamos gép rezgőképessége felfogható a rendszer átviteli tulajdonságaként is, ugyanis a mechanikai rendszer bemenetére a gerjesztőerőt adva, annak kimenetén megjelenik a rezgés. A gép rezgőképessége két paraméter függvénye, mégpedig a rendszámé és frekvenciáé. Minden rendszámú rezgéshez tartozik a gépnek legalább egy mechanikai sajátfrekvenciája. A rezgés szempontjából a veszélyt természetesen az okozza, ha a gerjesztőerő frekvenciája a gép egyik sajátfrekvenciájával megegyezik vagy azt megközelíti (általában bemutatandó mérés alapvető célja a gépcsoport sajátfrekvenciájának meghatározása). A gép hallhatósági frekvenciatartományába eső energiájának egy része átalakul hangenergiává. Az átalakulás „hatásfokát” a gép hangszugárzási képessége határozza meg. A gépnek ezt a képességét leíró rendszerjellemző függvényben szerepel a sugárzási tényező. Ezek után jelenik meg a gép felületén a hangteljesítmény.

A gép rezgési energiájának kis frekvenciájú részét, amely egyáltalán nem ($f < \sim 30$ Hz) vagy csak fül által csillapítva ($f < \sim 1000$ Hz) hallható.

2. Zaj- és rezgésokozók rendszerezése^{[1][2][3][4][5][6][7][8][9][10][11][12][13]}

A villamos gépek zaj- és rezgésokozói nem egyformán vesznek részt a rezgés és a zaj képzésében. A villamos gép alapfeladata az energia átalakítása, és ehhez elektromágneses teret használ közvetítőként. Az elektromágneses tér megvalósításával kapcsolatos zajokozókra pl.: tekercsek kialakítása, elhelyezése, telítődési jelenségek, a forgógépekben a mágneses vezetőképesség ingadozása a hornyolás és a légrés-excentricitás miatt jól mérhető mechanikai deformációt, rezgést hoznak létre. A villamos gép összes többi része felfogható úgy, mint az energiaátalakítást segítő, közvetett feladatú elem. Ide sorolhatjuk a gép csapágycsúcsait, amelyek az álló- és a forgórésztekercsek relatív helyzetváltoztatási lehetőségét biztosítják, a csúszó érintkezőket, valamint a villamos gépekben keletkező veszteségek miatt fellépő termikus teljesítmény elvezetését segítő ventilátor.

A zajokozók befolyásolhatóság szempontjából jelentősen különböznek egymástól. Aszinkron gépben a hornyolás hatására fellépő gerjesztési-és horonyharmonikusok. A horonyszám-kombináció helyes megválasztása és egyazon típusnagyságú gép gerjesztési és horonyharmonikusának frekvenciája és amplitúdója – adott terhelési állapot és anyagminőség esetén- előre számolható. A forgórész dinamikus kiegyensúlyozatlanságának hatása is számítható. A kiegyensúlyozatlanság mértéke, ill. megengedett felső határa technológiai utasítás csak a megengedhető felső korlátig.

Aszinkron gép rezgésének és zajának okozói

- gerjesztési felharmonikusok
- horony-felharmonikusok
- telítési felharmonikusok
- szellőzőrések álló-és forgórészen
- ventilátorlapátok kialakítása
- álló-és forgórész nem koncentrikus szerelése
- forgórész dinamikus kiegyensúlyozatlansága
- aszimmetria a tekercselésben
- csapágyhiba
- laza szerelés
- görbe tengelyvég

3. Aszinkron motorok légrésindukciójának kialakulása^{[1][2][3][4]}

Az elektromechanikai energiaátalakítás megvalósítása az aszinkron gépben alapvető feladat a meghatározott pólusszámú, szinuszos eloszlású mágneses tér létrehozása. A szokásos konstrukciójú gépekben a légrésfluxust hornyokba helyezett, árammal átjárt vezetők hozzák létre. A hornyolás két következménnyel jár. A gerjesztési görbe a kerület mentén lépcsős, vagyis az alapharmonikus gerjesztési hullámon kívül erős felharmonikus-tartalma van. A hornyolás a légrés kerület menti egyenletességét is megszünteti, vagyis a mágneskör ellenállásának majdnem egészét képező légrés az álló és forgórész relatív elmozdulása következtében periodikusan ingadozik. A helyi szélsőértékek: fog foggal szemben, ill. horony horonnyal szemben. Az előbbi megfelel a mágneses vezetőképesség

maximumának, az utóbbi a minimumának. Az aszinkron gép a teljes mágnesezőáram-szükségletét a hálózatról fedezi, s ezért a légrését a lehető legkisebbre kell készíteni.

A három fázistekercs váltakozó gerjesztése forgó gerjesztéssé egyesül, a légrés mágneses vezetőképessége azonban nem állandó. Befolyásolja a hornyolás, a telítés és a forgórész elhelyezése. Az előbbieket gerjesztési, az utóbbiakat vezetőképességi hullámoknak nevezik. Valamely gerjesztési hullám a térbeli vezetőképesség állandó tagjával kölcsönhatásba lép és gerjeszti az állórész alap- és a tekercselési indukció félhullámain. Ezek póluspárszáma a gerjesztési hullámok póluspárszámával azonos. Veszélyes mértékű deformáció ill. zaj akkor jön létre, ha a gerjesztőerő frekvenciája a gép valamelyik mechanikai sajátfrekvenciájának közelébe esik vagy azzal megegyezik (az általam végzett mérés tartalmazza ezt a frekvenciaértéket). Ez a koincidencia, amelynek következménye a rezonancia, előfordulhat statikus üzemben állandósult fordulatszámra és tranzienst üzemben is. Aszinkron gépek esetében a tapasztalat alapján a következő frekvenciatartományt kell vizsgálni.

- zajra $200 \text{ Hz} \leq f_r \leq 4000 \text{ Hz}$
- rezgésre $10 \text{ Hz} \leq f_r \leq 1000 \text{ Hz}$

4. Mechanikai sajátfrekvencia meghatározása méréssel^{[1][2][3][4]}

A sajátfrekvencia előre számítása csak bizonyos elhanyagolások révén feltételezett modellekre lehetséges. Minél egyszerűbb a modell, s így minél könnyebb a számítás, általában annál pontatlanabb az eredmény. Ha viszont a modell és a matematikai apparátus bonyolultabb, számítógépes programokra van szükség a számítások elvégzéséhez.

A villamos gép, mint rezgőképes rendszer mechanikai négy-pólusnak tekinthető, amelynek be- ill. kimeneti pontjai a gerjesztés, ill. az érzékelés helyének felelnek meg. A bemenő jel az erő, az érzékelt pedig a rezgés. Általános gerjesztés esetén az adott válasz a rezgés gyorsulás.

$$a(t) = \int_{-\infty}^t f(\Gamma) h(t - \Gamma) d\Gamma$$

ahol $f(\Gamma)$ a gerjesztőfüggvény; $h(t - \Gamma)$ a súlyfüggvény

Esetünkben a gerjesztés impulzusszerű, mechanikus ütés, amelyet Dirac- δ függvénnyel modellezünk. Ennek megfelelően az $a(t)$ rezgés gyorsulás éppen a $h(t)$ súlyfüggvénnyel egyezik meg.

Az időtartomány-beli vizsgálat nehézségei és a célkitűzés miatt a jelenség analízisét a frekvenciatartományban végezzük el. Miután $f(t)$ véges energiájú abszolút értékben is integrálható, létezik az $a(t)$ Fourier-transzformáltja, amely

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) e^{-j\omega t} dt$$

Az $A(\omega)$ függvény közvetlenül kimérhető frekvenciaanalizáló műszerrel. Az egyszeri gerjesztés bemenő jele egyetlen ütés, a kimenő jel pedig a lecsengő sajátrezgések összessége. A lecsengés ideje rövid, így a klasszikus analízis eljárások nem használhatók. Ismeretes, hogy az egyszeri időfüggvény periodikussá tételével a jel spektruma vonalassá válik. olyan módon, hogy a vonalak egymástól mért távolságát az ismétlődési idő reciproka, nagyságukat pedig az eredeti egyszeri jel spektruma mint burkoló szabja meg. Az analízis sávszélességétől függ, hogy a vonalassá tett spektrum egyes vonalait, vagy pedig a burkológörbét mérjük-e ki. A sávszélesség az integrálási idő helyes megválasztásával az eredeti jel spektruma kimérhető.

Az így kapott spektrum egyes komponensei a gép mechanikai sajátfrekvenciáit adják, mégpedig a mérések tanúsága szerint sokkal nagyobb számban, mint ahogy ezt az alapján várhatnánk. A méréssel ugyanis az egyes gépelemek sajátfrekvencián kívül az összeépítésükkel létrejövő ún. csatolási frekvenciákat is megkapjuk, amelyek

a valós gépben reális rezonanciaveszélyt idézhetnek elő. Frekvenciaváltós táplálás esetén megfigyelhető a lokális rezgésmaximumok, vagyis a fellépő rezonancia jelenségek.

5. Aszinkron motorral hajtott hajtásrendszer rezgésmérése^{[1][2][3][4]}

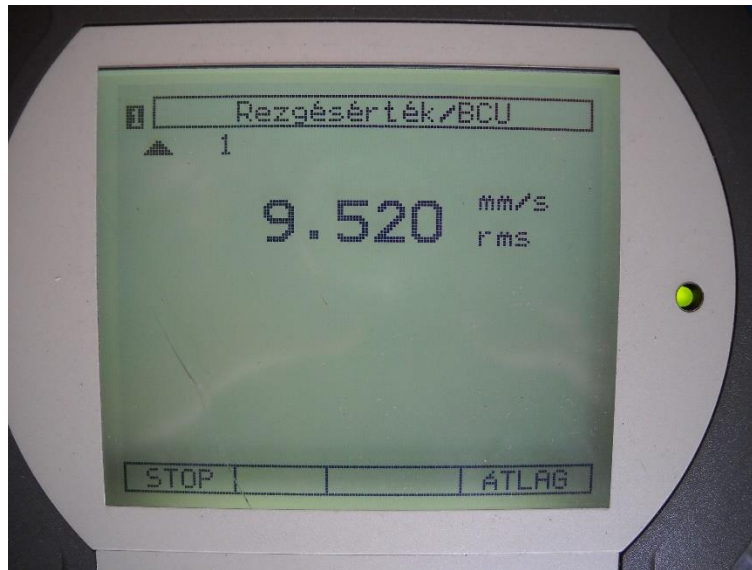
A gyakorlatban felmerült kérdés volt, hogy adott fordulatszámon üzemelő a gépcsoport jelentős zajt bocsátott ki. Így a zaj-probléma megoldására tesztmérést végeztem és megállapítottam a gépcsoport sajátfrekvenciáját. A hajtómotor 5,5 kW négyfólusú.

Mérés menete: A hajtógépen elhelyeztem a rezgésmérő szenzort. A képen látható módon x-irány; y-irány és z-irányból mértem rezgést.



1. ábrák. A rezgésmérő szenzor elhelyezése.

A hajtógép 50 Hz-ről táplálva jelentős rezgés alakult ki névleges teljesítményének 100 %-nak leadásakor. A legnagyobb rezgést z-irányból volt mérve (tengellyel párhuzamos irány), értéke: 9,52 mm/s.



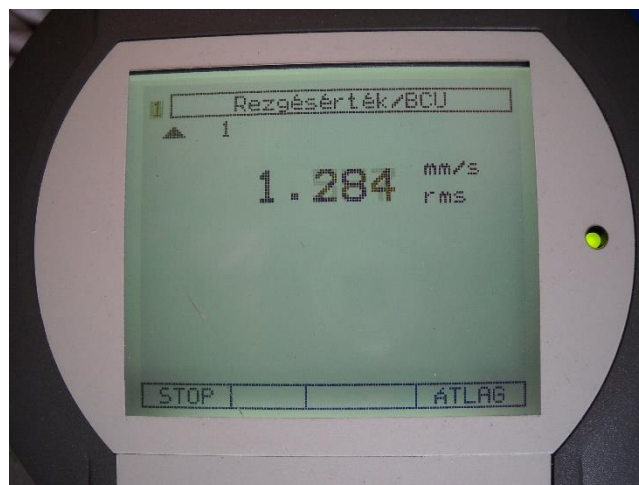
2. ábra. Tengellyel párhuzamos irányban fellépet rezgésérték.

Y-irányban mért rezgésérték 1,47 mm/s.



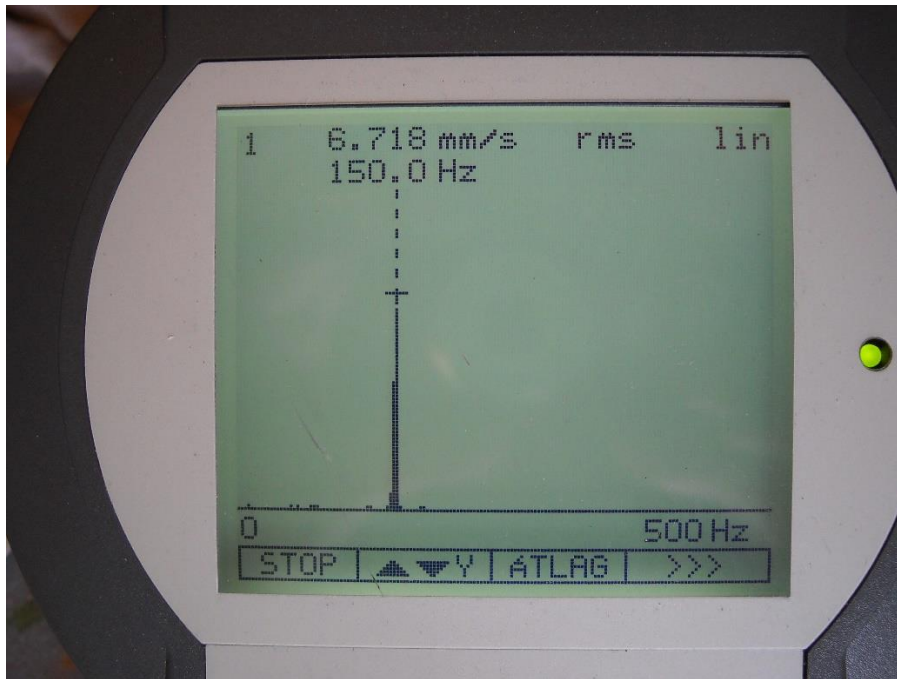
3. ábra. Függőleges irányban fellépet rezgésérték.

X-irányban mért rezgésérték 1,27 mm/s.



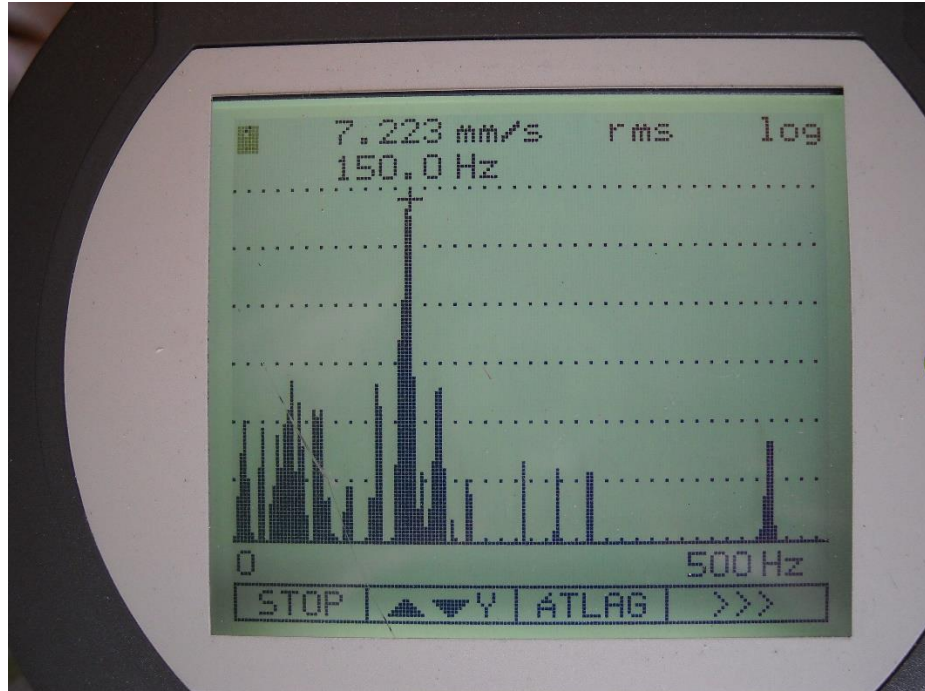
4. ábra. Vízszintes tengellyel 90 fokos szöget bezáró irányban fellépet rezgésérték.

A mérések alapján látható, hogy a legnagyobb rezgésérték z-irányban jött létre. Ebben az irányban felvettem hajtásrendszer rezgésspektrumát a képeken látható jellemzőkkel.



5. ábra. Gépcsoport sajátfrekvenciájának meghatározása lineáris skálán, értéke 150 Hz.

A rezgémérőn a logaritmus skálázás van beállítva, jól látható a 150 Hz-es összetevő mellett megjelenő komponensek.



6. ábra. Gépcsoport sajátfrekvenciájának meghatározása logaritmus skálán, értéke 150 Hz.

6. Rezgés mérés kiértékelése^{[1][2][3][4]}

A villamos gép, mint termék minősítése rezgésjóság szempontjából, jellegzetesen egyszámjegyű minősítés. A gép rezgésminősítése a mértékadó rezgés erősség alapján történik. A rezgés erősségi fokozatot nemzetközi megegyezés alapján rögzítik a szabványok. Különböző méretű és fajtájú forgógépek rezgésminőségi fokozatait úgy állapítják meg, hogy 1. táblázat megfelelő értékeinél vonják meg a határt.

Rezgés erősségi fokozatok		
Jele	alsó	felső
	határa, mm/s	
0,11		0,112
0,18	0,112	0,18
0,28	0,18	0,28
0,45	0,28	0,45
0,71	0,45	0,71
1,12	0,71	1,12
1,8	1,12	1,8
2,8	1,8	2,8
4,5	2,8	4,5
7,1	4,5	7,1
11,2	7,1	11,2
18	11,2	18
28	18	28
45	28	45
71	45	71

1. táblázat. Rezgés erősségi fokozatok.

Rezgésminőségi fokozat	Névleges fordulatszám [1/min]		56 ≤ h ≤ 132	132 < h ≤ 225	225 < h ≤ 400
	felett	-ig	mm tengelymagasságú gép mértékadó rezgés erőssége (legfeljebb) mm/s		
N	600	3600	1,8	2,8	4,5
	3600	6000	2,8	4,5	7,1
R	600	1800	0,71	1,12	1,8
	1800	3600	1,12	1,8	2,8
	3600	6000	1,8	2,8	-
S	600	1800	0,45	0,71	1,12
	1800	3600	0,71	1,12	1,8
	3600	6000	1,12	-	-

2. táblázat. Kis és közepes teljesítményű villamos forgógépek rezgésminőségi osztályai.

A mért rezgés erősségi fokozatok alapján látható hogy, a géprendszer rezgése felülmúlja ezeket az értékeket. A hajtógép 132 mm-es tengely magasság 5,5 kW 1450 1/min fordulatszámon a rezgést z-irányból volt mérve

(tengellyel párhuzamos irány), értéke: 9,52 mm/s. Ennek következtében a gépcsoportot üzemen kívül helyeztem és módosítva lett a hajtógép felfogatása.

Összefoglalás

A dolgozat megírásának alapvető indítéka üzemen és diagnosztikai oldalról van kiemelt jelentősége. Villamos hajtások felülvizsgálata során felmerült kérdések, mint pl.: átvitt nyomaték, szögsebesség, felfogatás, felfogatás „minősége”, csavarok, alátétek és ezek fajtái, típusai. Gyakorlatban hajtásrendszer villamos és mechanikai vizsgálatnak is alá kell „vetni”. Vannak olyan esetek, pl.: amikor gyárak, irodaházak építésekor, egyeztetni kell építészmérnökkel. Épületek, mint nyugvó rendszerek mechanikája, fontos tudni, hogy különböző építőanyagok milyen mértékben adnak át rezgéseket. Mérést végezni és közösen tárgyalni, a kialakuló rezgés elfogatható értékű-e. A dolgozat egyszerű esetet mutat be a villamos hajtásoknál kialakuló rezgésekről.

Irodalomjegyzék

- [1] Kovács K. Pál, Villamos gépek tranziens folyamatai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970
- [2] Kovács K. Pál, Rácz István, Váltakozóáramú gépek tranziens folyamatai, Akadémiai Kiadó, 1954
- [3] Timár Peregrin László-Fazekas Albert-Kiss József-Miklós András-S. J. Yang, Villamos gépek zaja és rezgése, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1986
- [4] Shahaj, Annabel (2010) Mitigation of vibration in large electrical machines. PhD thesis, University of Nottingham. Mitigation of Vibration in Large Electrical Machines, Annabel Shahaj, BEng(Hons), May 17, 2010
- [5] A. Hubert, G. Friedrich, Vibrations and acoustic noise reduction in A.C. electrical drives. Use of analytical and experimental modal techniques, Laboratoire d'Électromécanique de Compiègne (L.E.C.)
Université de Technologie de Compiègne
Centre de recherche de Royallieu BP 20 529
60205 Compiègne Cedex
France
- [6] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, The Finite Element Method, McGraw-Hill 1989.
- [7] P.P. Silvester, R.L. Ferrari, Finite Elements for Electrical Engineers, Third Edition, Cambridge University Press, 1996.
- [8] J.L. Coulomb, G. Meunier, "Finite element implementation of virtual work principle for magnetic or electric force or torque computation", IEEE Trans.Magn. Vol.20 no 5, pp.1894-1896, 1984.
- [9] Z. Ren, A. Razeq, "Local force computation in deformable bodies using edge elements", IEEE Trans.Magn., Vol.28, 1992, pp.1212-1215.
- [10] J.T. Oden, Mechanics of Elastic Structures, McGraw-Hill 1967.
- [11] W.T. Thomson, Theory of Vibrations with Applications, Fourth Edition, Prentice-Hall 1993.
- [12] L. Meirovich, Computational Methods in Structural Dynamics, Sijthoff & Noordhoff 1980.
- [13] W. Heylen, S. Lammens, P. Sas, Modal Analysis Theory and Testing, Katholieke Universiteit

Terrestrial Solar Spectral Radiation Simulator for Indoor Plant Cultivation with LED light sources

Cs. Kárász, J. Kopják

Óbuda University, Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering, Budapest, 1034, Hungary

Light radiation is the basic source of energy for plants. In order to find the best light source we supposed to know exactly how plant (photosynthesis) works – how plants transform light energy into organic materials, which they could use during their biological processes. This knowledge is constantly being evolved; different approaches of botanical scientists, and the improvement of technology helps it but unfortunately it is not complete – neither close to completion. To avoid the traps of incomplete knowledge, the suggestion is to get back to the source of the original light source: to the sunlight and copy its parameters the best way it is possible.

This article shows a way to design a sunlight simulator. After a brief introduction of previous literature on the topic, this knowledge is approached through the investigation of the (most) important parameters of sunlight through astrophysical science [7][8][9] with the help of photovoltaic measurement technology [1][5][6]. Also, it is briefly showed how plant photosynthesis works [14][17][21] – in order to be able to further enhance the effectiveness of light source for indoor plant cultivation in a closed loop agricultural system. Finally, the electric equipment necessary for the light source and its driver are discussed, and a basic setup of the light source (driver) is described [1][2].

Keywords: sunlight simulator, LED driving, indoor plant cultivation, plant factory

1. Introduction

Light is one of the most important parameter which effects the cultivation of plants. Different light sources are used in agriculture – mostly Metal halide (MH) and High pressure sodium lamps (HPS) due to their favourable light spectrum and feasible working conditions. Lately LED lights became more and more the focus of researches in the agriculture because of their flexible parameters and longer lifetime.

Special plant cultivation light sources appeared on the market – made with the help of LED light sources (even so called full spectrum lights appeared). However, the quality of light – the result of plant cultivation still do not reach the quality of naturally grown plants quality. Therefore, the suggestion is to use

natural resources – or try to simulate those. Among these resources is the energy source of plants: the natural sunlight. In this article a way of simulating this resource is showed – a way to design sunlight simulator.

2. The way of sunlight - Terrestrial Solar Radiation

The way of light proceeds from the Sun through the interstellar medium and reaches the atmosphere of the Earth and then arrives to the surface of it. Although, the interstellar medium (dust and gas clouds) has a high variability [7], the energy and spectral variance of the electromagnetic radiation of extra-terrestrial light arriving to the atmosphere could be taken as a constant value – it can be validated by the measurements of the projects Daedalus and Icarus as well [12]. This radiation arrives with just the right energy to give life to the flora and fauna of the Earth with the help of its atmosphere instead of creating a blazing ball of it (conditions similar to the ones like it is on the surface of Venus).

The atmosphere of the Earth can be divided to concentric regions. Its effect to solar radiation caused by its constituents – gases, dust and water. The sizes of particles and its ratios depend on the altitude – and the altitude depends on the location around the Earth (different magnetic strength can be found of the Earth at the poles than at the equator) [9].

The layers of homosphere (troposphere, stratosphere and mesosphere) and heterosphere (thermosphere, exosphere and ionosphere) effects the solar radiation in different ways – like several layers of filters taking out or weakening different elements of it.

The above mentioned processes entails either absorption, scattering or transmission of sun radiation [8]. The first two processes comes with energy transmission from the radiation to the medium of the atmosphere – hence its temperature rises. The layers of the atmosphere has changing temperatures – having local minimum and maximum points. The condensation of water changes particle sizes, which makes the attenuation of the atmosphere even more complex. It is important also to mention that different wavelengths behave differently – therefore the effect of the above mentioned parameters have to be examined to a narrow waveband and the results integrated.

3. The model of terrestrial solar radiation

Taking into account the above mentioned parameters, several models have been developed over the years (such as CPR2, MLWT2, Rest) which

calculates the direct normal irradiation (DNI) [6]. These models use input values similar to each other's such as water in vertical column, vertical column ozone amount, nitrogen dioxide amount, Angstrom's turbidity coefficient, Angstrom's wavelength exponent, solar position (azimuth angle, zenith angle and solar elevation).

4. The simple model of atmospheric radiation of sunshine and the ASTM G173-03

The American Society for Testing and Materials committee used Gueymard's SMARTS2 [5] to formulate a standard for the radiation of sunshine [3]. The conditions selected were: 37° slope used for the tilted surface, zenith 48° (representing average latitude values), facing south, albedo 0.3, turbidity 0.29, 20°C ambient temperature to represent the average of 48 states in the United States of America. The total irradiance of the AM1.5G spectrum is obtained by integrating it and is found to be 759 [W/m²].

This standard basically gives / sets the terrestrial solar radiation spectrum and strength at different wavelength – and with the ASTM E927-05 Standard Specification for Solar Simulation it is ready to be used for the creation of a solar simulator.

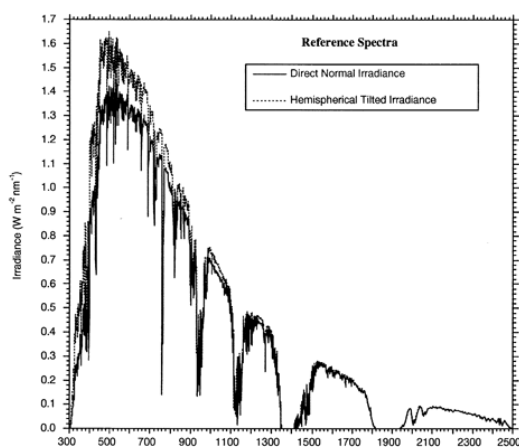


Figure 1: The standard terrestrial solar spectral irradiance and hemispherical tilted irradiance (37°) made by ASTM: the G173-03 (2012) [1], average made for 48 states of the USA.

5. Using photovoltaic standards for agriculture – sunlight simulators

Several sunlight simulators have been developed – according to the standards set ASTM G173-03 and E927-05. These standards mainly used for photovoltaic equipment test and validation. In the agriculture these equipment are not feasible to use - and might not be the best neither. The photovoltaic (PV) cells

have different needs than plants and therefore the above mentioned standards do not require the level of perfection as plants do.

Author	Year	Ligh source	Type of light sources/number	Wavelength [Nm] or Type	Sum Number of light source
[11] Kohraku	2006	LED	4	470-570; 470,644,950	784
[4] Bliss, Betts and Gottschalg	2008	LED	8	375-680	~500
[25] Xu, Huo, Ren	2013	Metal Halid	1	Metal-Halide	4X5
[22] Sabahi, Tofigh, Kakhki, Bungypoor-Fard	2016	Metal halide	2	Metal-Halide	20
[16] Moore, Higgins and Loomer	2010	Xenon	solar simulator 94063A (Oriell Corp., Stratford, CT, USA)	Xenon	1
[24] Alves, Bateman, Prior, Leather	1998	Xenon	solar simulator 94063A (Oriell Corp., Stratford, CT, USA)	Xenon	1
[23] Shatat, Riffat, Agyenim	2013	Halogen	1	Tungsten Halogen	30
[18] Novickovas, Baguckis, Vaitkunas, Mekys, Tamosiunas	2014	LED	6	500 - 600; 448; 660; 740; 850; 940	25
[15] Mohan, Pavithran, Osten, Jinumon Mrinalini	2014	LED + Halogen	5 +1	470, 505, 530, 655 and white Led + Halogen lamp in IR	5 +1
[10] Kim, Dostart, Huynh and Krein	2014	LED + Halogen	24,12,12,12 + 8	neutral-white, blue, cyan, and UV + Halogen lamp	60 + 8
[13] Luka; Eiternick, Turek	2015	LED	SINUS 220 by WAVELABS : 21 different LED	400 - 1200Nm	21

Table 1: Sunlight simulators present in other studies

Most of the sunlight simulators created for PV cell testing were tested according to the requirements of the standards in terms of classes A, B, C; according to Spectral Match, Spatial Non-Uniformity of Irradiance (SNE), and Temporal Instability of Irradiance (TIE).

The parameters of Xenon, Metal Halide or Tungsten Halogen light sources are not enough to entirely follow the standard spectral and energy distribution of the ASTM G175-03 diagram. However, the LED with its narrow electromagnetic radiation spectrum and its flexible driving possibilities could manage to replicate the AM1.5G spectrum.

6. LED lights and LED light drives

The basic semiconductor device: a PN junction gives the base of the LED. During the recombination of holes and charges photon emission takes place in the material. The edge and surface photon emission depends on the extraction efficiency of the material. Different types of LEDs have been developed mainly along the spectrum, efficiency and power improvement. Newer types are the quantum dot LED (QLED) and organic LED (OLED) not used in lighting but mostly in video type applications are used.

Important parameters while driving LED are the forward current, the temperature coefficient (which is proportionate to current), forward voltage, the spectrum altering effect of current and temperature change, and the cooling of the LED chips – which could drastically effect the lifetime of the chips as well.

LED chips behave as a short circuit when the proper forward voltage is applied on its pins, therefore it is important to limit the current going through the chips.

To provide the above mentioned working parameters for the LED chips there are several combinations of power supplies to use. The power supplies of the LED could be grouped around the power source (DC-DC, AC-DC), the conversion of voltage to the appropriate value (transformator, buck, boost), the power factor correction (PFC) and dividing of it between the different branches of LED chains [1].

7. LED light drive control – dimming

Since the light output is proportionate to the current applied on the pins of an LED chip, the most obvious choice is to use the current to regulate the light output of the chip. However, this current change effects the spectral output of the light source, therefore it is better to avoid it.

Other regulating methods are the pulse width modulation (PWM), whereas using the flexibility of the light source we acquire the necessary current

with turning on and off the current during a very short time period (hence the name of the technology - pulse). The average of the current on/off times will give the requested current level. The duty cycle (pulse width) is changed according to the momentary needs of a certain application.

The digital version of the PWM is the pulse code modulation (PCM) [2], in which the code of the pulses entails the codification of the requested on times of one period of duty cycle, which is digitalized to a 2^n resolution with an A/D converter.

Further improvement of the PWM and PCM technology is the multiphase PWM (MPWM). In this technology the PWM is used on more than two channels and the key is that only one channel turns on or off at a time – in this way the flickering coming from the lights sources is limited to less channels (the sensitivity threshold of the human eye is 120Hz) [1].

8. Radiometric and Photometric values of (light) emitters

In the UV and IR bands the intensity of the emission is represented by the SI unit of radiant flux: Φ_e ; watt [W] or [mW] – a Radiometric value.

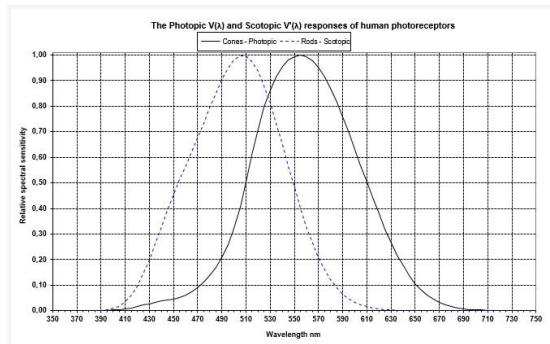


Figure 2: CIE (International Commission on Illumination) deemed the above graph the the spectral luminous efficiency for photopic and scotopic vision – denoted as $V(\lambda)$ for the fact that it was named visibility curve [19][20]

However, component catalogues use the SI unit of Luminous flux: Φ_v , lumen [lm] in the visible region of the electromagnetic wave spectrum, which is a photometric value, representing the luminous energy (which has a visible – luminous – nature). The latter parameter is based on the photopic response of the human eye: an operationalized capability of the human eye to perceive light on a distinct wavelength in daylight conditions.

The photoreceptors of the human visual perception are very different from plants (in terms of functionality and responses as well). There are two main group of photoreceptors in the human eye: rods and cones. While rods are incapacitated (saturated) during daylight conditions, cones function as the main tool of visual perception, which is deemed as photopic response. In darkness rods carry out the duty of visual perception named scotopic response [20].

Because of the human eye related (limited) information content, (these) photometric values do not carry reliable information for the agricultural (or photovoltaic) usage of the present emitter components (even though it gives (more or less reliable) information about the sensations (like light intensity) given to humans by the products.

It is necessary to get a converted number for the light intensity for all the bands / components in terms of performance parameter, in order to be able to compare and relate one component to another to calculate the necessary amount of radiant flux to simulate the ASTM G173 like spectral distribution (or any distribution relevant to a special location, time and atmosphere created with SMARTS 2).

The relative spectral sensitivity function ($V(\lambda)$) has to be used as a weighing factor [19] in the conversion formulae, which can be calculated via a non-linear regression fit to the CIE spectral luminous efficiency graph with the following approximation:

$$V(\lambda) = 1,019 \times e^{-258,4 \times (\lambda - 0,559)^2} \quad (1)$$

where λ is in micrometers.

The automation of the calculation can be made with the following command in Microsoft Office Excel `1,019*EXP(-258,4,5*(((λ/1000)-0,559)^2))` where λ is the waveband parameter of a component (in nanometer).

The eye is the most sensitive around the 550nm wavelength: this is where the $V(\lambda)$ will have the highest value; i.e.: equals to one. This indicates that the human eye can perceive the most detail in the 555nm wavelength in normal daylight conditions (505nm during dark condition). In these conditions: at 555nm photopic light with 1 [W] of radiant flux equals to 683 [lm] luminous flux and at the same time 1 [lm] luminous flux equals to 1.464E-03 [W] radiant flux **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.Hiba! A hivatkozási forrás nem található..**

The conversion from luminous flux to radiometric flux data involves a wavelength parameterized component – which makes it necessary to integrate the results of the whole band (the whole emission source spectral band of a component).

Therefore the radiant flux could be calculated from luminous flux according to the following (simplified) equation:

$$\Phi_e [W] = \Phi_v V(\lambda) 1.464E - 03 \quad (2)$$

In more accurate calculations (whereas a channel of an emitter's radiation is calculated as a band) the following integration has to be used:

$$\Phi_e [W] = 1.464E - 03 \frac{W}{lm} \int_{\lambda} \Phi_v V(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

9. Light requirements of plants – plant physiology

Plants get valuable information from light conditions about their environment and can respond – change accordingly. This information is acquired via photoreceptors such as phytochromes, cryptochromes, rhodopsins, xanthopsins and phototropins [17]. Practically, the stimulation of these receptors could regulate the growth/morphology of plants.

Also, electromagnetic radiation means the energy for plants; it is the source of growth and base of their processes. The photo pigments with the help of the photosynthesis (II – I and the light independent Calvin cycle which is a supplementary procedure of the two former one) [14].

Both the light harvesting and light sensing parts of the plants reacts-uses a certain spectrum of the electromagnetic radiation. However, it is still a question if all the necessary information is at hand about the above mentioned processes. For example it is still a question - if the presence of green spectrum (495Nm – 570Nm) in an artificial light enhances or deteriorate the growth of plants (at certain stage of their maturation). More experiments are required to check the difference between the plants grown under different quality of artificial light or under natural sunlight.

The lighting of plants could be divided in two category. In one category are the lights which are built to entertain the known needs of plants. In these terms the needs of plants means the spectrum required for them according to our present knowledge. Unfortunately, the results (the grown plants) are still not close to the naturally grown plants.

In the other category the aim with the light source is to give the most naturalistic light possible to plants: these lights called full-spectrum lights – which not necessarily close to the sunlight but extension of the above mentioned artificial light spectrum (mostly 70% red (660nm) and 30% blue (460nm)). But it is still far from the quality of the sunlight (mostly it is a reddish coloured light – based on aforementioned ratio of red and blue).

Therefore, sunlight is still the best option to cultivate plants.

Photoreceptor name	Colour Sensitivity	Area controlled / effected by the receptor
Phytochrome (might be complementer system with Cryptochrome)	Red : Far red <i>ratio</i>	Early flowering - stem elongation, Fatty acid regulation during seed maturation, Chlorofil increasement --- Reduces during the End Of the Day
Phototropin (light-oxygen-voltage (LOV) sensor)	Blue	Chloroplast and leaf movement, stomatal opening, phototropism, onset of flowering, entrainment of the circadian clock, regulate aspects of morphogenesis
Cryptochrome (might be complementer system with Phytochrome)	UV-A and Blue	Cell expansion reduction
Rhodopsin (in Microalgae)	Light intensity (colour independent)	Fototaxis direction indicator
Xanthopsin (<i>not present in plants</i>)	Blue	Fototaxis direction indicator
BLUF (blue-light sensors using flavin adenine dinucleotide - <i>not present in plants</i>)	Blue	Connected with cyclic nucleotid metabolism

Photopigment name	Colour Sensitivity	Area controlled / effected by the receptor
Chlorophyll a, b (c1,c2,d)	green (450-475nm) and orange-red (630-675nm)	Captures light, and with its electrons activates the photosynthesis. Chlorophyll b absorbs a different band of light and helps Chlorophyll a with its energy.
Phycobilin (primarily in cyanobacteria and red microalgae)	blue, green, yellow or orange (400-650nm)	They replace the accessories of Chlorophyll in terms of light absorption accessory – antennae.
Carotenoid	from the blue (400nm) until the green (550nm)	It deals with the excess of light – protecting other pigments (Chlorophylls at first place).

Table 2: Photoreceptor and photo-pigment sensitivity of different bands of electromagnetic stimulus and their effect on plant morphology

10. Results - Sunlight simulator

9.1 LED spectrum assembly

The aim is to replicate the distribution of the ASTM G175-03. This can be achieved with the appropriate amount of LEDs – even though these have discrete wavebands of radiation, added together and drove with the right power supply will give the spectrum of the AM1.5G spectrum.

In the commercially available market (Digi-key) 134 LEDs have been found. With this resolution the spectrum of the LEDs could simulate the sunlight.

	Wavelength [nm]	Global tilt $\left \frac{W}{m^2nm} \right $	Direct+circumsolar $\left \frac{W}{m^2nm} \right $	ASTM channel ratios compared to highest value (531[nm])
55	530	1,5446	1,3598	0,9481
56	531	1,6292	1,4348	1
57	535	1,5535	1,3701	0,9535

Table 3: ASTM G173-03 Reference Spectra assembly process example – the ratio is in the last column - the different channels compared to the highest value in the reference spectra, which is chosen as reference point (middle row) with two examples around the highest value

Almost all LEDs chosen have different power output – especially the ones in the non-visible spectrum. However, this problem could be solved via setting up the drive (duty cycle) of all the LEDs proportionally to the most powerful part of the AM1.5G spectrum.

There are so much difference between the different LED's emitting power that often one LED is not enough in certain wavebands (especially at the two extreme sides of the spectrum) to follow the reference LED's output power (absolute point). This can be compensated via calculating the output power in respect to the absolute point.

Wavelength [nm]	Radiant Flux [mW]	Viewing Angle [°]	ASTM channel ratios compared to the highest value (531 [nm])	Proportionate Radiant Flux calculated in regards to the highest value (127,38mW)	Driving of each LED (Proportionate Radiant Flux / Radiant Flux)	Number of LEDs needed	Duty cycle of the channels	Sum of the radiant flux
377	8,1	18°	0,4372	55,6890	6,8752	7	0,98217	56,7
531	127,4	130°	1	127	1	1	1	127
591	122,7	120°	0,8999	114,6389	0,9339	1	0,9339	122,7

Table 4: ASTM G173-03 Reference Spectra assembly process – modified with a resolution of the chosen emitter channels with the highest value chosen as reference point (dotted row) with two examples around the highest value

The suggested LED distribution according to the values would give a quite similar diagram to the original ASTM G173-03 (after the omission of outlayer elements the channels, there are 119 channels to be used).

11. Discussion

With the above cited information a closer match of the ASTM G173-03 could be created than previous versions of Sunlight simulators have. However, this spectrum could be further improved with the fine tuning of the channels with finding the local minimum and maximum points of the diagram and using those numbers as the bandwidths of the LEDs to be used. The next step in this study is to find these numbers (with the help of a simple Visual Basic software) and create the first version of the proposed sunlight simulator.

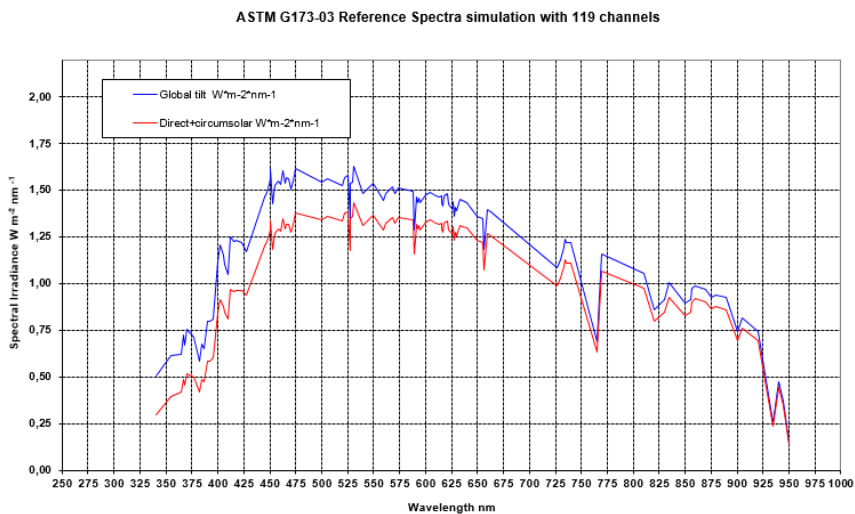


Figure 3: ASTM G173-03 reference spectra simulation showing the chosen 119 LED channels

Supported by



SUPPORTED BY THE NEW NATIONAL EXCELLENCE PROGRAM OF THE MINISTRY OF HUMAN CAPACITIES

References

- [1] M. Arias, A. Vazquez, J. Sebastián, *Automatika* **53** (2012), 156
- [2] I. Ashdown, *Proc. SPIE* **6337** (2006), 63370W-1
- [3] ASTM International, ASTM G173-03 (2012), Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface, West Conshohocken, PA, 2012, Available: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>
- [4] Bliss, Martin & Betts, Thomas & Gottschalg, Ralph. (2008). Advantages in using LEDs as the main light source in solar simulators for measuring PV device characteristics. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering.
- [5] C.A. Gueymard, SMARTS2, a simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine: algorithms and performance assessment, Florida Solar Energy Center, 1995
- [6] C.A. Gueymard, *Solar Energy* **74**, (2003), 355
- [7] E. Herbst, *Chem. Soc. Rev.* **30** (2001), 168
- [8] M. Iqbal, An introduction to solar radiation, Academic Press Canada, Ontario, 1983
- [9] Prof. M. Z. Jacobson, Fundamentals of Atmospheric Modeling, Cambridge University Press, 2 ed., 2005

- [10] K. A. Kim, N. Dostart, J. Huynh and P. T. Krein, "Low-cost solar simulator design for multi-junction solar cells in space applications," 2014 Power and Energy Conference at Illinois (PECI), Champaign, IL, 2014, pp. 1-6.
- [11] Shogo Kohraku, Kosuke Kurokawa, A fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator, In *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 90, Issues 18–19, 2006, Pages 3364-3370k
- [12] K. F. Long, R. K. Obousy, A. C. Tziolas, A. Mann, R. Osborne, A. Presby and M. Fogg, (2010), Project icarus: Son of daedalus - Flying closer to another sta, *Journal of the British Interplanetary Society* 62(11), May 2010
- [13] T. Luka, S.Eiternick and M. Turek, Rapid Testing of External Quantum Efficiency using LED Solar Simulators, *Energy Procedia* Volume 77, August 2015, Pages 113-118
- [14] Y. Munekage, M. Hashimoto, C. Miyake, K. Tomizawa, T. Endo, M. Tasaka, T. Shikanai, *Nature* **429** (2004), 579
- [15] Abhay Mohan M.V, Jishnu Pavithran, K Lijo Osten, Jinumon A. and C. P. Mrinalini, LED Based Solar Simulator, *IEEE*, 1–6.
- [16] D. MOORE, P. M. HIGGINS & C. J. LOMER, Effects of Simulated and Natural Sunlight on the Germination of Conidia of *Metarhizium flavoviride* Gams and Rozsypal and Interactions with Temperature, *Biocontrol Science and Technology* Vol. 6 , Iss. 1,1996
- [17] A. Möglichen, X. Yang, R. A. Ayers, K. Moffat, *Annu Rev Plant Biol.* **61** (2010), 21
- [18] Novičkovas, Algirdas & Baguckis, Artūras & Vaitkunas, Andrius & Mekys, Algirdas & Tamošiūnas, Vincas. (2014). Investigation of solar simulator based on high-power light-emitting diodes. *Lithuanian Journal of Physics.* 54. 114-119. 10.3952/physics.v54i2.2920.
- [19] A. C. Parr, (2000), The Candela and Photometric and Radiometric Measurements, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* 106, 151–186 (2000)
- [20] .I. Rabinowitch, (1956), Chapter 34, time effects. II. Photosynthesis in intermittent light. In: *Photosynthesis and related processes*, Volume 2, part 2. Interscience publishing, New York.d
- [21] E. Rosenquist and O. van Kooten, "Chlorophyll Fluorescence: A General Description and Nomenclature" in *Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology*, J.R. DeEll and P.M.A Toivonen Ed, Springer US, 2003, pp.: 31-77
- [22] Sabahi H, Tofigh AA, Kakhki IM, Bungypoor-Fard H. Design, construction and performance test of an efficient large-scale solar simulator for investigation of solar thermal collectors. *Sustain Energy Technol Assess* 2016;15:35–41.
- [23] Mahmoud Shatat, Saffa Riffat, Francis Agyenim, *International Journal of Energy and Environment (IJEE)*, Volume 4, Issue 2, 2013, pp.219-230
- [24] Teixeira, Alves & Bateman, Roy & Prior, Chris & Leather, Simon. (1998). Effects of simulated solar radiation on conidial germination of *Metarhizium anisopliae* in different formulations. *Crop Protection.* 17. 675-679. 10.1016/S0261-2194(98)00074-X.
- [25] Xu, C & Huo, K & Ren, Z. (2013). Design and practical application of the solar radiation simulator. *Sensors and Transducers.* 159. 358-363.
-

GDPR a CIO szemüvegén keresztül

Dr. Bartók Sándor Péter, Dr. Beinschróth József

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Tavaszmező u. 17.,
Budapest, 1084, BSP@kvk.uni-obuda.hu, beinschroth.jozsef@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: Az Európai Unió (EU) általános adatvédelmi rendelete (General Data Protection Regulation, GDPR) a korábbi elvárásoknál szigorúbb követelményeket fogalmaz meg a személyes adatok védelmére vonatkozóan. A követelményeknek számos (jogi, szervezeti, informatikai stb.) összetevője van. A cikk azt vizsgálja, hogy megfelelőség biztosítása érdekében végrehajtandó feladatok közül melyek azok, amelyek a CIO kompetencia körébe tartoznak.

Kulcsszavak: adatvédelem, személyes adatok

1 Bevezetés

1.1 Történelem

A személyes adatok védelme a magyar törvények között elkülönülten az 1992. évi LXIII. törvényben „a személyes adatok védelméről és a közérdekű adatok nyilvánosságáról” jelent meg.

Ez a szabályozás az adatokat még egységesen szemléli, vagyis a személyeset és közérdekűt is szabályozta.

Ez a jogszabály élenjáró volt Európában. Más országban is készült már ilyen témájú törvény, de európai szinten csak 1995. október 24-én jelent meg az Európai Parlament és a Tanács 95/46/EK irányelve „a személyes adatok feldolgozása vonatkozásában az egyének védelméről és az ilyen adatok szabad áramlásáról”.

A magyar törvényi szabályozás Európában élenjáró volt, mind időben, mind szabályozottságban (szigorúságban).

Azóta Európai Unió megalkotott egy rendeletet, ami 2018.05.25-én lép teljesen hatályba, és ez a GDPR (General Data Protection Regulation), vagyis az Európai Parlament és a Tanács (EU) (2016. április 27-i) 2016/679 rendelete, „a természetes személyeknek a személyes adatok kezelése tekintetében történő

védelméről és az ilyen adatok szabad áramlásáról, valamint a 95/46/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről” (általános adatvédelmi rendelet).

Az EU tagok számára ez a - minden EU-s állampolgárra és jogi entitásokra közvetlenül ható rendelet - általában szigorúbb, mint az előző szabályozás.

1.2 Az európai és a magyar szabályozás eltérései

1.2.1 Az európai szabályozásban a büntetés szigorúbb

Az eljárási és szabályozási megkötöttségek szempontjából nem, de a szankciók szempontjából már számunkra is sokkal szigorúbb. Nálunk inkább kártérítés volt a cél (bár lehetett 20Mft-os büntetés is), az EU-s rendeletnél viszont az akár 20millió€, globális árbevétel 4%-át elérő büntetés! (Ráadásul a magasabb érték az érvényes!)

1.2.2 Az európai szabályozás enyhébb

- Különleges adathoz elég az explicitás, nem kell írásbeliség.
- Elég tájékoztatni az adatok megszerzésig, nem kell az adatgyűjtés megkezdés előtt.
- Lett törlésmentes eset is, amikor nem kötelező az adatokat törölni felhasználás után.
- Nem ír elő állami nyilvántartást, csak sajátot.

2 A GDPR bemutatása

2.1 A lefektetett elvek:

- A személyes adatok kezelésére vonatkozó elvek:
Jogszerűség, Tisztességesség, Átláthatóság, Célhoz kötöttség, Korlátozott tárolhatóság, Feltétlen szükségesség, Pontosság, Biztonság elve (PrivacyByDesign), Előzetes tájékoztatás, Incidenskezelés.
- Az adatkezelés jogszerűsége:
Hozzájárulás, Jogszabályi felhatalmazás, Szerződéses alapok pl. jogos érdek.
- A hozzájárulás feltételei:
Az érintett egyértelmű nyilatkozattal önkéntes, konkrét, tájékoztatáson alapuló és egyértelmű hozzájárulása alapján, egyedi célokra vonatkozóan.
- A gyermek hozzájárulására vonatkozó feltételek az információs társadalommal összefüggő szolgáltatások vonatkozásában különösen marketing célú, személyes profilok miatt.

- A személyes adatok különleges kategóriáinak kezelése:
Faji, etnikai, politikai, vallási, szakszervezeti, azonosításra alkalmas genetikai, biometrikus adatok, szexuális irányultság, stb.
- A büntetőjogi felelősség megállapítására vonatkozó határozatokra és a bűncselekményekre vonatkozó személyes adatok kezelése:
Csak közhatalom végezheti a teljeskörű nyilvántartást.
- Azonosítást nem igénylő adatkezelés

2.2 Fejezetei

1. Általános rendelkezések (Tárgy, Hatály, Fogalmak)
2. Elvek
3. Érintett jogai
 - Átláthatóság és intézkedések
 - Tájékoztatás és a személyes adatokhoz való hozzáférés
 - Helyesbítés és törlés
 - Tiltakozás joga és automatizált döntéshozatal tiltása
 - Jogkorlátozások
4. Adatkezelő és adatfeldolgozó
 - Általános kötelezettségek
 - Adatbiztonság (Sajnos azonossá vált a fogalomhasználat)
 - Adatvédelmi hatásvizsgálat és előzetes konzultáció
 - Adatvédelmi tisztviselő
 - Magatartási kódex és tanúsítás
5. Személyes adatok külföldre továbbítása
6. Független felügyeleti hatóságok
 - Független jogállás
 - Illetékesség, feladatok és hatáskörök
7. Együtműködés és egységesség
 - Együtműködés
 - Egységesség
 - Európai adatvédelmi testület
8. Jogorvoslat, felelősség és szankciók
9. Adatkezelés különleges esetei
10. Felhatalmazás és végrehajtás
- 11 Zárórendelkezések

2.3 Érdekesebb változások az irányelvhez képest

- A személyes adatok elfeledtetéséhez való jog;
- „Privacy by design”¹ elveknek való megfelelés;

- Adatvédelmi hatásvizsgálat;
- Adatvédelmi felelős kijelölése;
- Adattovábbítási korlátozások EU-n kívüli országokba;
- Kértesítés adatvédelmi incidensekről;
- Kártérítés és bírságok.
- Adatvédelmi incidens kezelése
- Adatvédelmi tisztviselő
- Előzőleg csak az adatkezelőre vonatkoztak előírások, most már az adatfeldolgozókra is. (Persze közvetve eddig is vonatkoztak az adatfeldolgozóra is, de csak az adatkezelőn keresztül.)

3 A CIO közreműködése

A CIO-knak kiemelt szerepük van a GDPR-nak való megfelelésben, mivel az adatok feldolgozásáért, annak technikai alapjaiért ők felelnek.

Legfontosabb kérdések számukra:

- Milyen adatokat tárolnak? - Adatok felmérése, Meta-adatbázis létezése;
- Hogyan tárolják és dolgozzák fel az adatokat? - Eljárások és technikák;
 - Hozzáférési jogosultságok rendszere
 - Adattulajdonosok informálása
 - Adatok továbbadása harmadik félnek
 - Privacy by Design elv követése
 - stb.
- Milyen (jogi) szabályozások korlátozzák az adatfeldolgozási lehetőségeket? - Compliance;
- Milyen módon biztosítják a folyamatok és rendszerek megbízhatóságát? - Adatbiztonság;
- Mikor és milyen módon törlik a már nem szükséges (és nem tárolható) adatokat? - Adatpurgálás.
- Milyen kockázatok léteznek a GDPR adatokkal kapcsolatosan - Privacy Impact Assessments, Risk Assessment.
- Belső illetve külső adatfeldolgozás - Outsourcing?
- Felelősség explicit tétel - Adatvédelmi felelős.
- Hibakezelés - Incidens bejelentés 72órán belül
- A szervezetben (cégen) belüli tudatosság biztosítása - Oktatás

4 A CIO feladatai

4.1 Közvetlen és közvetett feladatok

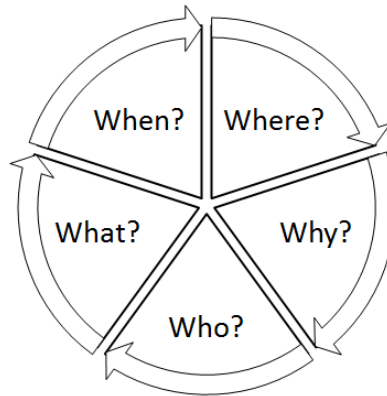
A GDPR követelményeknek való megfelelés többféle feladatot jelent a CIO számára. Ezek között vannak olyanok, amelyeket közvetlenül neki, vagy megbízottjának kell irányítania. Ilyenek pl.:

- Azonosítani szükséges, hogy mely rendszerekben milyen személyes adatokat kezelünk.
- Ki kell dolgozni olyan technikai mechanizmusokat, amelyek a személyes adatok igény szerinti törlését végzik el.
- Ki kell dolgozni olyan technikai mechanizmusokat, amelyek kérés esetén megadják, hogy egy-egy konkrét személyről milyen konkrét adatokat tárolunk.

A feladatok többsége azonban olyan, amelyben a CIO nem feltétlenül irányítóként szerepel, de mindenképpen jelentős szerepe van. Ilyenek pl.:

- Azonosítani szükséges, hogy a kezelt adatokat milyen adatkezelési célok érdekében kezeljük.
- Ki kell dolgozni olyan folyamatokat, amelyek a személyes adatok törlésére vonatkozó kéréseket kezelik
- Ki kell dolgozni olyan folyamatokat, amelyek a személyes adatokra vonatkozó információ kéréseket kezelik
- El kell érni, hogy „főlöszlegesen”, célhoz kötöttség nélkül ne kezeljünk személyes adatokat.

Míndezek értelmében abból a célból, hogy teljes körű információval rendelkezünk a kezelt személyes adatokról összetett felméréseket szükséges elvégezni az 5W elvnek megfelelően. Ennek értelmezését mutatja be az 1. ábra.



1. ábra: Az 5W elv

Mi teszi mindezt bonyolulttá? Az, hogy a legtöbb szervezet esetén a nyilvántartások nem feltétlenül pontosak, aktualizáltak, így könnyen előfordulhat, hogy elfeledkezünk valamilyen kezelt adatokról. Arra vonatkozóan, hogy semmiről sem feledkezzünk meg, pontos módszertan nemigen dolgozható ki. Ha azonban több irányból is vizsgáljuk a kérdést (alkalmazástérkép, adatkörök, többszörös ellenőrzés stb.), akkor jó esélyünk lesz arra, hogy semmit nem hagyunk ki.

4.2 Alkalmazástérkép

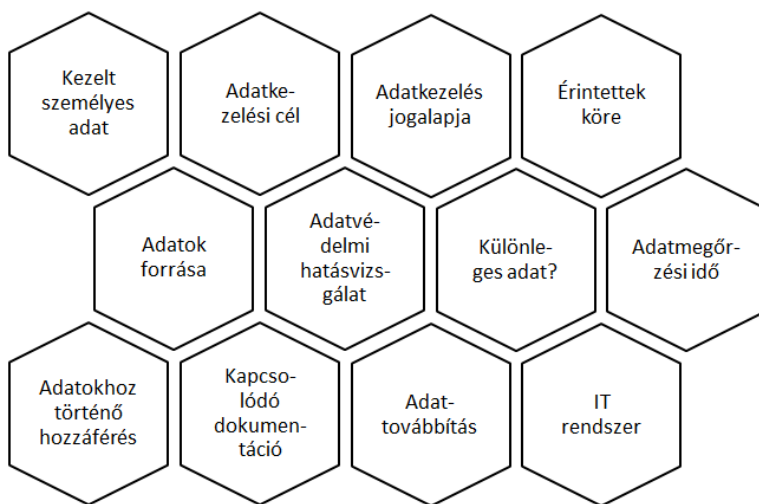
A személyes adatokat tartalmazó adatkörök, adatbázisok pontos és naprakész nyilvántartása nem képzelhető el pontos, naprakész alkalmazástérkép nélkül. Ez az egyes szervezetek esetén tipikusan rendelkezésre áll, ugyanakkor aktuális állapotára vonatkozóan tipikusan nincs garancia. A GDPR előírások betartása a gyakorlatban megköveteli, hogy pontos, aktuális képünk legyen a használt alkalmazásokról és a közöttük levő adatátadásokról. Ezek alapján legalábbis részben kontrollálható, hogy hol, melyik rendszerekben valósul meg személyes adatok kezelése.

4.3 Vagyonleltár az adatkörökre

Ugyancsak pontos felmérés szükséges a szervezet által kezelt, személyes adatokat tartalmazó adatkörökre. (Az adatkör az adatbázisnál tágabb fogalom: egy-egy adatkör, a logikailag, szervezetenként összetartozó adatokat tartalmazza. Így egy-egy adatkör akár több alkalmazás által kezelt, több adatbázisból is állhat és akár papír alapú összetevői is lehetnek.)

A személyes adatokat tartalmazó adatkörök pontos felmérése, ill. aktualizálása ugyancsak elengedhetetlen a GDPR előírások betartásához, hiszen ez egy másik kontrollt jelent arra, hogy ne maradjanak személyes adatok a látókörünkön kívül.

Arra vonatkozóan, hogy az vagyoneletről pontosan mit kell tartalmaznia, nincs rögzített DGPR előírás. Egy használható (és kiegészíthető) megoldást tartalmaz a 2. ábra.



2. ábra: Adatvagyoneletr

4.4 Ellenőrzés: vannak-e valahol nem nyilvántartott személyes adatok?

A tárolt/kezelt személyes adatok teljeskörű azonosításának eszköze lehet különböző ellenőrzések lefolytatása is. Erre vonatkozóan többféle módszer kínálkozik. Bizonyos pozíciót betöltő munkatársak kikérdezése, kérdőíves felmérések, workshopok tartása szolgálhat olyan eredménnyel, hogy korábban nem azonosított személyes adatokat tartalmazó adatköröket ismerünk fel.

Természetesen technológiai támogatás is elérhető: léteznek olyan alkalmazások, amelyek nagy valószínűséggel felismerik a személyes adatokat tartalmazó adatbázisokat. Ezt az alapján teszik, hogy fejléc szövegeket és adatbázis mező tartalmakat vizsgálnak és ezek alapján következtetnek a személyes adatok jelenlétére. Ilyen alkalmazás pl. az SAP terméke az Information Steward.

Tisztában kell azonban lennünk azzal, hogy annak ellenére, hogy az ilyen alkalmazások rendkívül hasznosak, a gyakorlatban nem feltétlenül adnak 100%-os megbízhatóságú eredményt.

4.5 Intézkedési terv

A személyes adatokat tartalmazó adatkörök felmérésével, a folyamatok és mechanizmusok áttekintésével kiadódik, hogy milyen eltérés van a követelmények és a valódi helyzet között. Azonosítható, hogy mely pontokon lesz szükség intézkedések végrehajtására. Ezek számottevő része túlmutat a CIO kompetenciáján: a CIO-nak ezekben nem ezekben nem irányítóként, hanem közreműködőként kell részt vennie. Az intézkedések többfélék is lehetnek. Pl.

- Technológia beszerzés, frissítés
- Szervezeti átalakítások
- Működési folyamatok kidolgozása, átalakítása
- Oktatások
- Szabályzatok aktualizálása
- stb.

4.6 Szabályzatok aktualizálása

Az intézkedések között nagy jelentősége van a szabályzatok aktualizálásának, miután ennek gyakorlatilag minden szervezetben meg kell történnie.

A szervezetek szabályzatai között ugyanis számos olyan van, amely valamilyen szinten kapcsolódik a GDPR-hoz. Ezek nemcsak a klasszikus értelemben vett információbiztonsági szabályzatok (IBSZ, Adatvédelmi szabályzat, Titokvédelmi szabályzat stb, hanem a szervezeti működést meghatározók is (SZMSZ, Adatvédelmi tájékoztatók, Adatkezelést érintő szerződések, Adatkezelési tájékoztatók, Magatartási kódexek, Nyilatkozat minták stb.) is.

Ezek számottevő része (jó esetben) már tartalmaz a személyes adatok védelmére vonatkozó kitételeket, amelyek tipikusan a 2011. évi CXII. törvény az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról törvény előírásaihoz kapcsolódóan kerültek bele a szabályozásokba. Ezek aktualizálása mindenképpen szükségessé válik, miután a GDPR további követelményeket is támaszt.

Az aktualizálások általában messze túlmutatnak a CIO ill. az informatikai szervezet kompetenciáján: több szervezeti egység együttműködésével állítható elő a követelményeket teljes mértékben figyelembe vevő szabályozási rendszer.

Ezen a ponton érdemes megragadni az alkalmat, hogy túllépjünk a GDPR támasztotta követelményeken és a meglévő szabályozásokat egy átlátható, strukturált rendszerbe tereljük és ehhez kialakítsunk egy dokumentációs keretrendszert.

5 Kockázatok

Mint ahogyan minden projekt során, a GDPR megfelelés kialakítására irányuló projekt során is kell kockázatokkal számolnunk. A leginkább általánosnak tekinthető kockázatok a következők:

- Valamely tárolt ill. kezelt személyes adatot tartalmazó adatkör nem kerül azonosításra.
- Az intézkedések nem érik el a céljukat: a GDPR megfelelés továbbra sem lesz biztosított.
- A GDPR megfelelés biztosítására indított projekt nem megfelelően lesz megtervezve, így nem lesz elegendő erőforrás, nem lesz betartva a kitűzött határidő stb.

6 Magyar felügyelet vizsgálati szempontjai

1. Tudatos adatvédelem. Szakmai felkészítés a megfeleléshez.
2. Adatkezelés {i kritériumainak} felülvizsgálata. Célok, koncepciók.
3. Érintettek tájékoztatása. Önrendelkezési jog érvényesülése.
4. Érintettek jogai. JSz-ok áttekintése.
5. Érintett hozzáférési joga.
6. Adatkezelési jogalap.
7. Hozzájárulási feltételek.
8. Gyermek jogainak kiemelt kezelése.
9. Incidens bejelentése hatóság felé.
10. Beépített adatvédelem és (előzetes) hatásvizsgálata.
11. Adatvédelmi tisztviselők.
12. Adatvédelmi felügyeleti hatóság illetékessége.

7 Összefoglalás

A GDPR tehát egy olyan EU szintű szabályozás, ami a személyes adatok kezelésére vonatkozik és közvetlenül hat minden EU-s állampolgárra és jogi entitásokra, vagyis a szervezetekre és cégekre is. Mivel szinte már minden szervezet és cég az adatait informatikai eszközökkel tárolja és ezen eszközök

működésért a CIO-k felelnek, nekik fontos szerepük van a GDPR-ból következően.

Legfontosabb, hogy tisztában legyenek a személyes adatok kezelésére vonatkozó szabályozásokkal, így elsősorban a GDPR-ral magával és az informatikai rendszerekre vonatkozó hatásokkal.

A szabályozás alapján kiemelt feladatai az adatok felmérése, az adatok biztonságos kezelése, a compliance és adatfeldolgozásért technikailag felelősként a tudatosítás elősegítése.

Kiemelten fontos tehát, hogy az adatokkal kapcsolatos összes folyamatnál legyen építve a GDPR követelményrendszere.

8 Hivatkozások

[1] Az informatikai biztonság kézikönyve, szerkesztő: Muha Lajos, Verlag Dashöfer Szakkiadó, 2000. (folyamatosan aktualizált kiadvány)

[2] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2016/679 RENDELETE, (2016. április 27.) a természetes személyeknek a személyes adatok kezelése tekintetében történő védelméről és az ilyen adatok szabad áramlásáról, valamint a 95/46/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről (általános adatvédelmi rendelet) <http://www.privacy-regulation.eu/hu/>

[3] Webinar – Monitoring GDPR Risk with SAP Information Steward <https://itelligencegroup.com/dk/events/webinar-monitoring-gdpr-risk-with-sap-information-steward/>

[4.] <http://www.isaca.org/About-ISACA/Press-room/News-Releases/2017/Pages/GDPR-Deadline-Is-9-Months-Away-Are-You-Ready.aspx>: GDPR Deadline Is 9 Months Away: Are You Ready?

[5] http://www.isaca.org/Knowledge-Center/Research/Documents/COBIT-GDPR-Checklist_res_eng_0817.pdf : Key Tips & Takeaways for GDPR Implementation Using COBIT5

[6] GDPR Data Protection Impact Assessments: <http://www.isaca.org/Education/Online-Learning/Pages/Webinar-How-to-Perform-GDPR-Data-Protection-Impact-Assessments.aspx>

[7] GDPR myths debunked: <https://www.cio.com/article/3215129/compliance/10-gdpr-myths-debunked.html>

[8] GDPR for the CIO: Data protection is about more than GDPR compliance: <http://www.computerweekly.com/opinion/GDPR-for-the-CIO-Data-protection-is-about-more-than-GDPR-compliance>

Informatikai stratégia tervezés

Dr. Beinschróth József, Dombora Sándor

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Tavaszmező u. 17.,
Budapest, 1084, beinschroth.jozsef@kvk.uni-obuda.hu,
dombora.sandor@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: Az informatikai rendszerek folyamatos fejlesztése, az IT beruházások tervezése csak informatikai stratégián alapulóan valósulhat meg optimálisan. IT stratégiai tervezést azonban csak kevés szervezet végez, többnyire ötletszerűen, ad-hoc módszertanok alapján. A cikk bemutatja, hogy az IT stratégiának hogyan kell felépülnie, hogyan kell más stratégiákhoz kapcsolódnia, milyen lépések végrehajtásával valósítható meg.

Kulcsszavak: informatika, stratégia, információbiztonság

1 Alapvetések

1.1 Mit értünk stratégián?

Stratégián általában a célok, valamint a célok eléréséhez szükséges eszközök és módszerek együttesét értjük. A stratégia szót eredeti jelentésében a hadviselésben használták. Arra utalt, hogy a szerzett tapasztalatok alapján ismert legyen a jelenlegi és a jövőbeli helyzet, meg legyenek határozva a célok és a célok eléréséhez szükséges eszközök. A stratégia jelenlegi értelmezésében csak annyiban különbözik az eredetitől, hogy használati területe lényegesen kiterjedt: nem feltétlenül a hadászatban, hanem a szervezeti működés területén is relevánssá vált. Ebben a kontextusban a stratégiát legáltalánosabban a célok, a célok eléréséhez szükséges eszközök, viszonylag hosszú időszakra érvényes meghatározásaként értelmezzük. A stratégia a szervezet működésének vezérfonala, amely a szervezeti célokat és az elérésükhöz szükséges lehetséges akciókat határozza meg. A stratégiában rögzített alapelvek és az akciók tartalma határozza meg az erőforrások elosztását és a szervezet működésének fő irányvonalát.

A stratégia legfontosabb elemei a stratégiai célok, amelyek a szervezet jövőre vonatkozó legfontosabb törekvéseit foglalják össze, valamint a tervezett tevékenységek (akciók), amelyek a stratégiai célok megvalósításának részletesen

definiált eszközei, melyek az adott cél megvalósítása érdekében, logikailag összetartozó feladatokat, feladatcsomagokat foglalnak magukba.

A stratégia mindig a következő kérdésekre fókuszál:

- Hol vagyunk most?
- Hová kívánunk eljutni?
- Hogyan juthatunk el oda?

1.2 A szervezeti stratégia szükségessége

Minden szervezet alapvető érdeke, hogy eredményesen és hatékonyan működjön, teljesítse a környezet (szabályozások, ügyfelek, tulajdonosok, felügyeleti szervek) által támasztott elvárásokat miközben értéket teremt a szervezet ügyfelei számára. Az elvárásokat a környezet határozza meg, a szervezet ezeket a rendelkezésére álló erőforrások hatékony felhasználásával kell, hogy kielégítse. Mindehhez a szervezetnek működésére vonatkozóan konkrét célokat kell megfogalmaznia és meg kell határoznia a célokhoz vezető utat, amely egymás utáni feladatok végrehajtását jelenti. Eközben mérésekre, ellenőrzésekre, esetleg korrekciókra van szükség.

Jól definiált célok nélkül nem valósítható meg racionális irányítás, az értékteremtés bizonytalanná válik. Ez azt jelenti, hogy a működés során szükség van egy vezérfonalra, stratégiára, amely nélkül az elvárások kielégítése nem lenne lehetséges. A stratégiára vonatkozó igen fontos követelmény, hogy az az érintettek körében ismert legyen, és így támogatást nyújtson a koncepcionális, ill. az operatív döntések meghozatalához.

1.3 A szervezeti stratégia jellemzői

A szervezeti stratégia alapelveket rögzít, célokat és akciókat tartalmaz. Az elemek maximális száma mindegyik kategóriában viszonylagosan korlátozott, ugyanis egy nagyon sok alapelvet, célt és akciót tartalmazó, minden apró részletre kiterjedő stratégia a gyakorlatban semmire sem használható.

A stratégia a jövőre fókuszál, ennél fogva mindig tartalmaz valamennyi bizonytalanságot és kialakítása nem nélkülözheti az intuitív elemeket. Mindezek miatt a stratégia lényeges jellemzője, hogy adaptív módon viszonyul az esteleges megváltozott feltételekhez, természetesen nem megfélelve a rögzített célokról, ugyanakkor a jogszabályi, technológiai, környezeti változások miatt a célok kezelésében is szükséges bizonyos fokú rugalmassággal rendelkeznie.

Üzleti értékteremtés céljára sokféle stratégiai megközelítés létezik, ezek a következő markánsan elkülöníthető kategóriákba sorolhatók:

- Vállalkozói megközelítés: tulajdonosi és menedzseri funkciók birtokában merész és kockázatos célok és akciók kitűzése, ill. felvállalása.
- Adaptív megközelítés: Átláthatatlanul és gyorsan változó környezetben a folyamatos kihívásoknak való megfelelés és tartózkodás a jelentős változásoktól, a konfliktusok kezelésére történő fókuszálás.
- Tervezői megközelítés: racionális magatartás a jól definiált célok érdekében az események befolyásolásán és jól tervezett cselekvések végrehajtásán keresztül.

A gyakorlatban megvalósuló stratégiák, tipikusan valamennyi kategóriából tartalmaznak elemeket, ugyanakkor felismerhető rajtuk az előző kategóriák valamelyikének meghatározó jellege.

Mindhárom megközelítés szükséges feltétele egyfajta vezetői tudatosság, amelynek a következőkben kell megnyilvánulnia:

- Létezik egy vízió magáról a szervezetről annak különféle szolgáltatásairól, összetevőiről és kapcsolatairól.
- Léteznek definiált akciók (stratégiai tervek) a stratégiai elképzelések megvalósításáról.
- Létezik egy mechanizmus, amely az elért eredményeket folyamatosan összeveti az eredeti stratégiai elképzelésekkel (tervekkel).

1.4 A stratégiaalkotásra vonatkozó követelmények

A megfelelő szervezeti stratégia kidolgozása és alkalmazhatósága számos szükséges feltételt támaszt. Ilyenek például a következők:

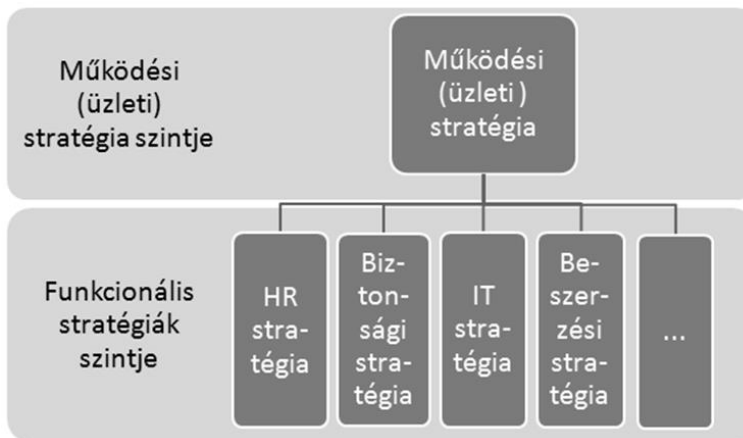
- célja az értékteremtés: értékesthető szolgáltatások nyújtásának vagy termékek előállításának formájában;
- reális célok kitűzése;
- megfelelő módszertan alkalmazása;
- a teljes szervezeti működés stratégiai szintű lefedése;
- megfelelő pozícióban levő, elkötelezett felelős;
- rendszeres aktualizálás;
- aktualizálás környezeti, jogszabályi és technológiai változások esetén;
- hatékony kommunikáció;
- összhang a szervezeti stratégia és a különböző funkcionális stratégiák között;

- összhang a hosszú, közép és rövidtávú célok és tevékenységek között;
- a vonatkozó jogszabályok szabványok és ajánlások figyelembe vétele;
- az adott szakterületen tapasztalható és várható trendek figyelembe vétele;
- az adott szakterületen tevékenykedő partner szervezetek, versenytársak tevékenységének figyelembe vétele.

A felsorolt feltételek közül a reális célok kitűzése jelentős kockázati tényező, különösen az üzleti tevékenységek területén. A kitűzött célokat különböző szakterületi szakértőknek kell értékelnie, kiszűrve azokat, amelyek bármely okból teljesíthetetlenek lennének.

1.5 A szervezeti stratégia felépítése

A szervezeti stratégia hierarchikus felépítésű és rész stratégiákból (funkcionális stratégiák) áll. Ezek a rész stratégiák nem izoláltak, egymással holisztikus kapcsolatban állnak. A kapcsolatok nem azonos erősségűek, jelentőségük függ a szervezet méretétől és típusától és akár időben is változhat. A szervezeti stratégia felépítését a következő ábra szemlélteti:



1. ábra
Szervezeti stratégia felépítése

(Az ábrán az egyes funkcionális stratégiák közötti holisztikus kapcsolatok nincsenek feltüntetve.)

Az egyes funkcionális stratégiák természetesen saját, az adott funkcionális területhez tartozó célokkal rendelkeznek. Ezek a célok a működési (üzleti) stratégia szempontjából azonban eszközként jelennek meg. Ugyanakkor létezik egyfajta visszacsatolás az egyes funkcionális stratégiák és a működési (üzleti) stratégia között: a funkcionális stratégiák egyúttal egy feltételrendszert is

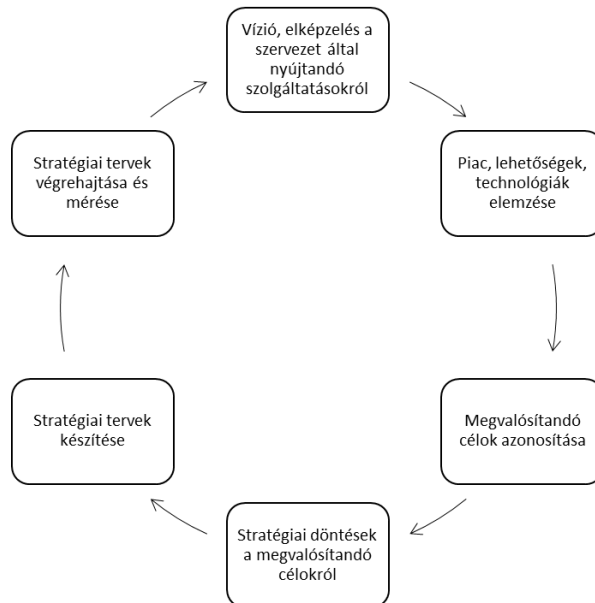
meghatározhatnak magasabb szintű stratégiára vonatkozóan. Mindezek kezelése interaktív tervezési szemlélettel lehetséges.

A szervezeti stratégia egyes összetevőinek kialakításában nem ugyanazon szereplők vesznek részt. A működési (üzleti) stratégia kidolgozása elsősorban felsővezetői részvételt igényel ugyanakkor az egyes funkcionális stratégiák kialakításakor az adott szakterületi kompetenciának kell megjelennie azzal együtt, hogy a felsővezetői kontrollnak ezekben is érvényesülnie kell.

A működési (üzleti) stratégia kialakítása során az egyes szervezetek mozgástere nagyon különböző. Egy versenyszférabeli szervezet jelentős szabadságot élvez, míg pl. egy olyan szervezet, amelynek a működését a releváns törvények és jogszabályok gyakorlatilag meghatározzák, minimális mozgástérrel rendelkezik. Ez utóbbi esetben a működési stratégia formális jellegű dokumentummá, ill. hivatkozássá válhat, azonban meglehetősen fontos, mert a különböző funkcionális stratégiákat belőle kell levezetni.

1.6 A szervezeti stratégiaalkotás folyamata

A stratégia alkotás nem egyszeri egyszer egyetlen alkalommal végrehajtandó feladat, hanem folyamatosan és ciklikusan ismétlődő tevékenység. Jellemzően a következő ciklusnak megfelelően alakul:



2. ábra
Szervezeti stratégiaalkotás folyamata

A ciklus időben leghosszabb szakasza a végrehajtás és mérés lépés, amely majdnem az egész ciklust lefedi. Ugyanakkor célszerű a stratégiát évente áttekinteni és az esetlegesen megváltozott követelményeknek megfelelően aktualizálni biztosítva ezzel a stratégia folyamatos frissítését.

A ciklusnak belátható időtartam alatt kell végbemennie. A gyakorlatban alkalmazott időhorizont tipikusan 3-5 év.

2 Az IT stratégia alappillérei és a megvalósításához szükséges előfeltételek

2.1 A szervezetek IT stratégiával kezelhető kihívásai

Napjaink szervezetei korábban nem tapasztalt kihívásokkal szembesülnek, sajátos üzleti, működési feltételeknek kell megfelelniük mind a piaci, mind a technológiai, mind a társadalmi hatások területén. Az élesedő verseny, a gyors piaci és jogszabályi változások, a fogyasztók, vásárlók, ill. ügyfelek növekvő elvárásai, a gyors technológiai változások, a hatalmas mennyiségű információ, az etikai kérdések egyre nagyobb hangsúlya, a társadalmi felelősségvállalás fontossága, a megváltozott természetű munkaerő stb. az üzleti/működési környezet alapvető megváltozását eredményezték.

Ezek a kihívások – legalábbis részben – az információtechnológia egyre intenzívebb alkalmazásával kezelhetők, gyors változásokra való képesség nagymértékben függ az informatika alkalmazásától. Például a folyamatos minőségfejlesztés, a működés folyamatos kontrollja és fejlesztése, az innováció, a szervezetek közötti hatékony együttműködés nemigen képzelhető el az IT-re való egyre erősebb támaszkodás nélkül.

Az informatika alkalmazása ugyanakkor számos újkeletű problémát vet fel: jelentős erőforrás igény, a beszállítóknak való kiszolgáltatottság, bizalmassági és rendelkezésre állási kockázatok, szervezeti és menedzsment kérdések stb. [1]

2.2 Az IT stratégia célja és szükségessége

Ahhoz, hogy az informatikai megoldások ténylegesen túllépjenek a folyamatokat támogató szerepükön, stratégiai szintű kezelésükre van szükség.

Nem vitatható, hogy az utóbbi évtizedekben végbement hatalmas informatikai fejlődés következtében az egyes szervezetek működése az általuk alkalmazott informatikai rendszerektől erősen függővé vált. Működési folyamataik fenntarthatóságát, folyamatos működését döntően befolyásolja informatikai rendszereik rendelkezésre állása és megfelelő működése. Ma már elenyésző

számban fordulnak elő olyan működési folyamatok, amelyeknek nincs informatikai támogatottsága, egyre inkább általánossá válik, hogy a működési folyamatok különféle informatikai rendszerek működésére épülnek, így a számítógépek, hálózatok, kommunikációs rendszerek, alkalmazások egyre inkább kritikus rendszereknek minősülnek, melyek hiánya esetén a szervezet az alaptevékenységeit sem tudná ellátni. Általában igaz, hogy a működési (szervezeti) stratégiai elképzelések megvalósítása jól működő informatika nélkül ma már egyáltalán nem is lehetséges. Ez mindenképpen indokoltá teszi az informatika stratégiai szintre emelését.

Az IT stratégia általános célja mindig az, hogy a szervezet stratégiai céljai maximális informatikai támogatottságot kapjanak. Ez azt jelenti, hogy az IT stratégia általában kiszolgáló jellegű, azaz nem a végső cél, hanem eszköz, de ez alól vannak kivételek. Főképpen a technológia-intenzív szférában érvényesülhet a technológia húzóereje, amikor a technológiai célok válnak egyúttal üzleti célokká. Számos nézőpont szerint napjainkban az informatika öninduktív folyamatként is értelmezhető, a fejlődés generátora lehet a meglévő alkalmazások akár öncélú fejlesztése is.

Ahhoz, hogy a szervezet feladatait hosszabb távon is képes legyen ellátni, a rövid távú terveken túlmenően hosszú távú szemléletre és tervekre van szükség. Ez összhangban van azokkal a hazai és világviszonylatban megjelenő szabványosítási tendenciákkal, melyek a szervezetek irányításához kapcsolódóan az IT stratégiára vonatkozóan előírásokat tartalmaznak. Ilyen előírások például a következők:

- SOX – Sarbens-Oxley törvény, amely 2002-ben lépett életbe a befektetők védelmének érdekében a vállalatoknál esetlegesen alkalmazott könyvelési csalások ellen;
- Bazel2 – Bázeli tőkeegyezmény II. változat - Pénzügyi szabályozási rendszer;
- ITIL – IT szolgáltatások életciklus modellje, Szolgáltatás stratégia [5], Szolgáltatás tervezés, Szolgáltatás bevezetés, Szolgáltatás üzemeltetés, Állandó szolgáltatásfejlesztés;
- COBIT – Control Objectives for IT and Related Technology [2];
- MSZ ISO/IEC 27001:2014 – Nemzetközi információbiztonság irányítási szabvány [3];
- GDPR – General Data Protection Regulation - Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2016/679 rendelete (2016. április 27.) a természetes személyeknek a személyes adatok kezelése tekintetében történő védelméről és az ilyen adatok szabad áramlásáról [4].

2.3 Az IT stratégia súlya a szervezetben

Az IT stratégia nem minden szervezetben azonos jelentőségű. Előfordulnak olyan szervezetek, ahol kiemelt jelentősége van, és előfordulnak olyanok is, ahol csak mérsékelt súllyal szerepel. A jelentőség több tényezőtől függ: mind a működési szféra mind a méret meghatározó. Az IT stratégia jelentőségének szempontjából a szervezetek alapvetően négy kategóriába sorolhatók a következő ábrának megfelelően (stratégiai rács modell):



3. ábra
Stratégiai rács modell

A négy kategória ismérvei a következők:

Támogató

Az IT sem a jelenben, sem a jövőben nem játszik alapvető szerepet a vállalati stratégiában. Az információ technológiát ez esetben jellemzően valamilyen részfunkció kiszolgálására alkalmazzák, pl. irodai alkalmazások

Termelési

Bár a meglévő IT rendszerek stratégiai fontossága jelentős, de egy újabb informatikai fejlesztés nem hozna jelentős változást a vállalati működésben. A fejlesztés erőltetése hiba is lenne, hiszen komoly anyagi terhet jelentene, a megtérülése pedig kérdéses lenne.

Átalakuló

A meglévő rendszerek nem elég korszerűnek ahhoz, hogy az újabb, bonyolultabb üzleti folyamatokat is támogassák. Emiatt a technológia fejlesztésére van szükség, mivel hosszú távon a tervezett és fejlesztés alatt álló alkalmazások a stratégiai célok eléréséhez elengedhetetlenek.

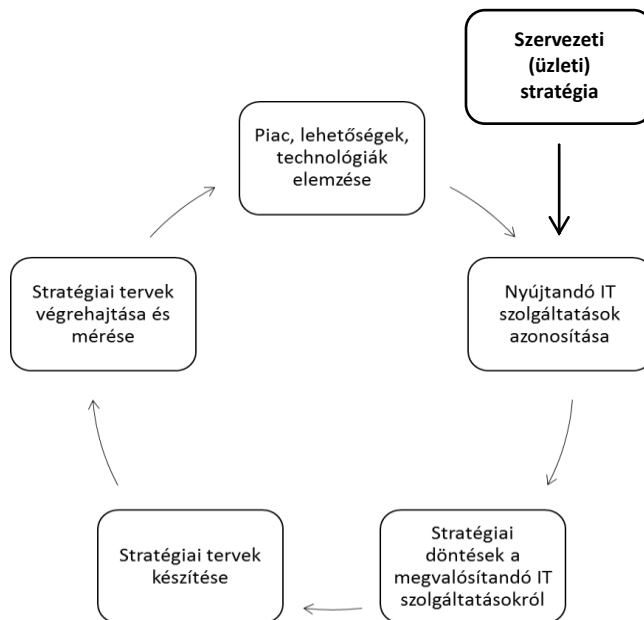
Stratégiai

Ez esetben a rendszerek a jelenben és a jövőben is stratégiai fontossággal bírnak. A zökkenőmentes mindennapi működés és a tervezett alkalmazások egyaránt kritikusak a sikeres működéshez.

Az IT stratégia alkotás folyamatában meghatározó jelentőségű, hogy az érintett szervezet megfelelő kategóriába való besorolása megtörténjen.

2.4 Az IT stratégia készítés folyamata

Az IT stratégia alkotás nem egyszeri egyszer egyetlen alkalommal végrehajtandó feladat, hanem a szervezeti stratégia és más funkcionális stratégiák készítéséhez folyamatosan és ciklikusan ismétlődő tevékenység. Jellemzően a következő ciklusnak megfelelően alakul:



4. ábra IT stratégia alkotás

A ciklus időben leghosszabb szakasza a végrehajtás és mérés lépés, amely majdnem az egész ciklust lefedi. Ugyanakkor célszerű a stratégiát évente áttekinteni és az esetlegesen megváltozott szervezeti stratégiának és egyéb követelményeknek, ill. lehetőségeknek megfelelően aktualizálni, biztosítva ezzel a stratégia folyamatos frissítését.

A ciklusnak belátható időtartam alatt kell végbemennie. A gyakorlatban alkalmazott időhorizont tipikusan 3-5 év.

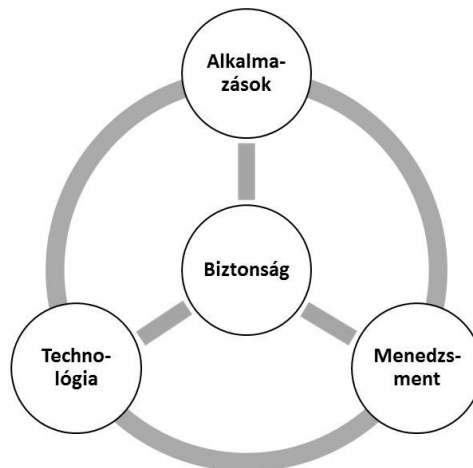
3 Az IT stratégia struktúrája és tartalmi követelményei

3.1 Az IT stratégia összetevői

Az IT stratégia a szervezeti stratégia egy fontos összetevője. A funkcionális stratégiák egyike, igen szoros, holisztikus kapcsolatban áll a többi funkcionális stratégiával és kialakításában döntő szerepe van a működési (üzleti) stratégiának. Az IT stratégia nem tárgyalható kizárólag technológiai kérdésként, komplex megközelítésre van szükség, melyben a technológiai összetevőkön túli összetevők is szerepelnek. Az IT stratégia megalkotása során ugyancsak meghatározó az elérhető technológia fejlődését jellemző szempontok figyelembe vétele.

Az IT stratégiának összhangban kell lennie a működési (üzleti) stratégiával és definiálnia kell a szervezet IT területen elérendő céljait és az ehhez szükséges jövőképet. A jelen állapotból kiindulva rögzítenie kell a jelen és a jövőben elképzelt állapot közötti eltéréseket valamint azt az utat, amelyet követve a jövőbeli állapot megvalósulhat. Az átfogó jellegű IT stratégiai elképzeléseknek viszonylag hosszabb távra kell érvényesnek lenniük és a szervezet meghatározó folyamataira kell vonatkozniuk, integrálniuk kell az informatikai megoldásokat a szervezet működésébe.

Összetevői és ezek kapcsolódásai a következő ábrának megfelelőek:



5. ábra Az IT stratégia összetevői

Az egyes összetevők között holisztikus kapcsolat van, ezzel együtt az IT biztonságnak speciális helyzete van, miután a többi összetevővel több ponton átfedésben van.

Technológia (Információtechnológia)

A szervezetekben felmerülő stratégiai szintű technológiához kapcsolódó kategóriák tipikusan a következők:

- infrastrukturális elemek;
- hardver elemek (desktop gépek és mobil eszközök);
- szoftver platformok (desktop gépeken és mobil eszközökön);
- hálózati aktív és passzív elemek;
- a technológiára vonatkozó dokumentáció.

Alkalmazások (Információrendszerek)

A szervezetekben felmerülő stratégiai szintű IT alkalmazásokhoz kapcsolódó kategóriák tipikusan a következők:

- irodai rendszerek;
- csoportmunka szoftverek;
- levelező rendszerek;
- ERP rendszerek;
- az Internet hozzáférés eszközei;

Az IT stratégiának megkülönböztetett figyelmet kell fordítania a stratégiai rendszerekre. Akkor nevezhetünk egy rendszert stratégiainak, ha támogatja

- a stratégiai célok elérését;
- a szervezeti teljesítmény hatékonyságát, ill. növelését;
- a szervezeti kultúra pozitív változását;
- a partneri kapcsolatok eredményességének javulását (ügyfelek, vevők, versenytársak).

A stratégiai rendszerek fókuszában tipikusan a következők szerepelnek:

- az ügyfelek, vevők, versenytársak (a belső szervezeti folyamatok helyett);
- az értékhozzáadás (a költségcsökkentés helyett);
- az előnyök megosztása az üzleti partnerekkel (a rövid távú profit maximalizálás helyett);
- az üzleti indíttatású innováció (a technológiai helyett);
- az üzleti partnerek igényeire, gondolkodásuk megértésére vonatkozó törekvés;

- az információ folyamatos gyűjtése és feldolgozása valamint felhasználása az üzleti fejlesztésekben.

Menedzsment (Információmenedzsment)

A szervezetekben felmerülő stratégiai szintű IT menedzsment kategóriák tipikusan a következők:

- az informatikai szervezet elhelyezkedése a szervezet egészében;
- az informatikai szervezet felépítése (pozíciók, feladatok, felelőségek, információ áramlás);
- kompetenciák, oktatások;
- informatikai szabályozások;
- üzemeltetési konstrukciók (saját üzemeltetés, outsourcing, cloud szolgáltatás igénybe vétele);
- mérések, visszajelzések, észrevételek kezelése.

Biztonság (Információbiztonság)

Az egyes szervezetek számára nagyon fontos kérdés, hogy folyamatosan tisztában legyenek azzal, hogy az információbiztonság tekintetében megfelelnek-e, ill. mennyiben felelnek meg az elvárásoknak. Ehhez arra van szükség, hogy az elvárások jók definiáltak legyenek. Az elvárásokat az IT biztonsági stratégiában kell rögzíteni.

A szervezetekben felmerülő stratégiai szintű IT biztonsági kategóriák tipikusan a következők:

- biztonsági politika;
- fizikai veszélyforrások kontrollok és védelmi intézkedések;
- logikai veszélyforrások kontrollok és védelmi intézkedések;
- szervezeti-szervezési veszélyforrások kontrollok és védelmi intézkedések;
- az életciklushoz tartozó veszélyforrások kontrollok és védelmi intézkedése.

3.2 Az IT biztonsági stratégia szükségessége

Korábban az IT biztonsági stratégiát beleértették az első három összetevőbe, azonban önálló tárgyalás mindenképpen fontos. A következőkben indokoljuk, hogy miért.

Bár az informatikai rendszerek kritikus szerepet játszanak a szervezetek működésében, nyilvánvaló, hogy a szervezetek elsődleges célja nem az informatikai rendszereik biztonságos üzemeltetése, hanem a működési folyamataik (elsősorban kritikus folyamataik) megszakadás nélküli, folyamatos működtetése, azaz az informatikai rendszerek megfelelő színvonalú üzemeltetése nem cél, hanem csupán egy szükséges feltétel. Ennek megfelelően a technológia működése önmagában még nem feltétlenül garantálja az IT rendszerekkel támogatott folyamatok kiesésmentes működését, annak léteznek további, szervezeti, szabályozási, humán stb. feltételei is.

A szervezetek működése során tipikusan kezel olyan adatokat, amelyek csak korlátozott körben ismerhetők meg. Ezek tipikusan a szervezeti működés során keletkeznek, ill. a szervezet továbbítja, feldolgozza, megjeleníti vagy tárolja őket. Ezek meghatározott körön túli hozzáférése, megismerése a szervezet számára különböző mértékű negatív következményekkel járhat.

Mindezek miatt nyilvánvaló, hogy az IT biztonsági stratégia nem tárgyalható kizárólag technológiai kérdésként, komplex megközelítésre van szükség, amely egyaránt figyelembe veszi a technológiai, a szervezési, a szabályozási és egyéb jellegű veszélyforrásokat (fenyegetéseket) is, és ezekből kiindulva határozza meg a belőlük származó kockázatokat, valamint a velük szemben alkalmazható védekezési módszereket.

Következtetések

A szervezetek biztonságos működtetésének és fejlesztésének fontos feltétele a szervezeti és informatikai stratégia tervezése, amelyek szorosan összefüggenek az információbiztonsággal.

Hivatkozások

- [1] Az informatikai biztonság kézikönyve, szerkesztő: Muha Lajos, Verlag Dashöfer Szakkönyvek, 2000. (folyamatosan aktualizált kiadvány)
- [2] ISACA: COBIT 5 for Information Security Introduction, 2012 <https://www.isaca.org/COBIT/Documents/COBIT-5-for-Information-Security-Introduction.pdf>, 2015.05.11.
- [3] MSZ ISO/IEC 27001:2014; Informatika. Biztonságtechnika. Az információbiztonság irányítás rendszerei. Követelmények
- [4] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2016/679 RENDELETE a természetes személyeknek a személyes adatok kezelése tekintetében történő védelméről és az ilyen adatok szabad áramlásáról, valamint a 95/46/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről (általános adatvédelmi rendelet), 2016. április 27.
- [5] ITIL Service Strategy, TSO, 2011, ISBN 9780113313044

Energiamonitoring rendszer építése ESP8266 alapon

Hajdu Balázs

balazsh92@gmail.com

Energiamonitoring rendszer ismertetése, mely alapjául az Espressif cég által gyártott igen kedvező árú, és egyszerűen programozható SoC szolgál. Segítségével valós idejű adatokat, és trendeket ismerhetünk meg villamos fogyasztásunkról.

Kulcsszavak: energiamonotoring, ESP8266, IoT, SO

1 Bevezetés

A kínai Espressif Systems volt az első vállalat, aki rendkívül kedvező áron dobott piacra (eredetileg WiFi modemnek szánt) chipet [1], mely ennek következtében hatalmas népszerűsége tett szert a gyártók és a hobbisták körében egyaránt. Az ESP8266 [2] nem csak egy WiFi modem, hanem egy 32 bites SoC, mely felhasználásának csupán a képzelet szab határt. MQTT [3] protokollt használva akár okos otthonunkat is építhetjük.

Jelen cikkben SoC egy energetikában való alkalmazását szeretném ismertetni. A cél egy olyan mérési rendszer kialakítása, mely képes naplózni és megjeleníteni:

- Teljesítmény görbét
- Energia görbét
- Pillanatnyi mérési adatokat

És ehhez már telepített digitális fogyasztásmérők optikai impulzuskimenetét használja fel.

2 ESP8266 ismeretése

Az ESP8266 egy 32 bites SoC, mely a kiemelkedő közösségi támogatásnak köszönhetően mára egy (megfelelő nyelv használtával) könnyen programozható, és rengeteg sikerélményt nyújtó IoT platformá nőtte ki magát. Különbőféle erre felkészített firmware-eket felhasználva akár a programozás is megkerülhető. [4][5]

A SoC főbb paraméterei:

- 32 bites RISC CPU @ 80 MHz
- 64 KB utasítás memória, 96 KB adat memória
- 4 MB flash memória
- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi
- 16 GPIO
- SPI, I2C
- Hardver UART
- Egy 10 bites A/D

3 Mérés elve

A méréshez a fogyasztásmérők impulzuskiemenetét használtam fel. Így a megoldandó feladat az, hogy a fogyasztásméréből érkező impulzusokból teljesítményt számítsunk. Ennek két lehetséges megoldása van, melyet egyszerű számítási példákkal kívánok bemutatni.

Példánkban a fogyasztásmérő konstans 1000 watt teljesítménnyel van terhelve, és 1000 impulzust ad kWh-onént ($K_{IMP} = 1000 \text{ IMP/kWh}$).

Így az egy impulzusra adódó energia:

$$E_{1imp} = \frac{1[kWh]}{1000} = \frac{1000[W] \cdot 3600[s]}{1000} = 3600[Ws]$$

1. Meghatározott intervallumban érkezett impulzusok számítása:

A példában $t = 60$ másodpercig számoltuk az impulzusokat, így $n = 16$ impulzust számoltunk.

Ebben az esetben a "t" szomolási idő alatt elfogyasztott energia:

$$E_t = E_{1imp} * n = 3600 [Ws] * 16 = 57600 [Ws]$$

Amiből kiszámítható számolási idő (t) alatt az **átlag** teljesítmény:

$$P_{tAVG} = \frac{E_t}{t} = \frac{57600}{60} = 960 [W]$$

2. Periódusidőmérésre visszavezetett teljesítménymérés:

Ebben a példában az impulzusok közötti periódusidőre vezetjük vissza a teljesítménymérést. Esetünkben ez legyen $T = 3,6$ másodperc. Így:

$$P = \frac{E_{1imp}}{T_{imp}} = \frac{3600[Ws]}{3,6[s]} = 1000[W]$$

A mérés során a második megoldást alkalmaztam. Ennek oka, hogy:

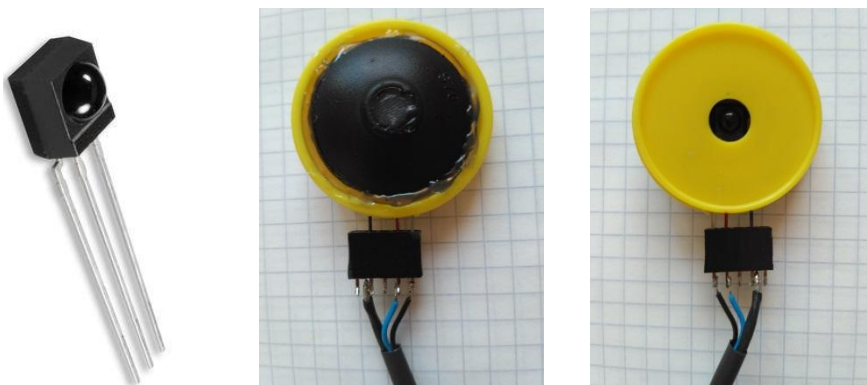
- Gyorsabb mérést tesz lehetővé (minden impulzus után mérési pont, a mérési pontok gyakorisága villamos fogyasztás függvénye)
- Az első módszernél pontosabb mérés, ugyanis fix idő alatt számolt idő alatt nincs lehetőség „tört” impulzusok regisztrálására, csupán egészekre.

A második módszerrel a két impulzus közötti átlagteljesítményt kapjuk meg.

4 Impulzusok detektálása

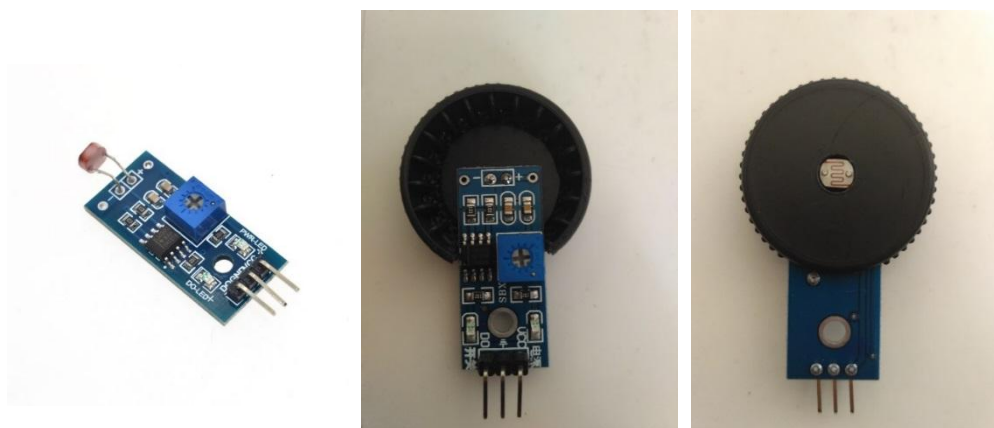
Az impulzusok érzékelésére kétféle szenzort alkalmaztam:

Az infravörös impulzusok érzékelésére egy TSOP2236 típusu infravörös vevő modult használtam. Az infra vevő modult egy műanyag házba építettem, ezzel megkönnyítve a fogyasztásmérőre való felerősítést, valamint némi árnyékolást kívántam biztosítani az esetleges nem kívánt infravörös behatásoktól.



1. ábra: Infravörös impulzusok érzékelője

A látható fény tartományába eső impulzusok érzékeléséhez szintén egy kész fényérzékelő modult használtam. (2. ábra)



2. ábra: Látható fény tartományába eső impulzusok érzékelője

A modulon található egy feszültségosztó, melynek a föld felé kötött eleme egy fotoellnállás. Ennek az ellenállásosztónak a kimenete egy műveleti erősítő nem invertáló bemenetére került bekötésre. A műveleti erősítő invertáló bemenetére egy potméterrel állítható feszültségosztó van kötve. Így egy állítható értékű nem invertáló komparátor kapcsolást kaptunk. A potméteren állítható be, hogy mekkora érzékelt fényerősségénél jelenjen meg a komparátor kimenetén feszültség.

Annak érdekében, hogy a modul könnyen felerősíthető legyen a fogasztásmérőre, valamint, hogy minél jobban védett legyen a külső zavarjelektől a modul kapott egy műanyag kupakból készült árnyékoló felületet.

Az érzékelők felerősítése gyurmautasztóval történik a fogyasztásmérőkre, mely így bármikor könnyen eltávolítható, és áthelyezhető.

5 Szoftverkörnyezet

A szoftverkörnyezet kiválasztásánál kiemelt szempont volt, hogy szabad szoftverekre építsek. Ennek egyrészt gazdasági, másrészt kényelmi okai voltak.

A kliens oldal (maga az ESP8266-os SoC) Arduino platform segítségével lett programozva, mely rendkívül gyors és egyszerű fejlesztést tesz lehetővé, és számos közösségre karbantartott függvénykönyvtár érhető el hozzá.

Szerver oldalon Emoncms-t [3] alkalmaztam. Az Emoncms segítségével nem csak energiamonitroing-jellegű adatgyűjtés valósítható meg, hanem bármilyen szenzor adatait gyűjthetjük segítségével, így készülhet belőle akár időjárás állomás adagyűjtő és megjelenítő is.

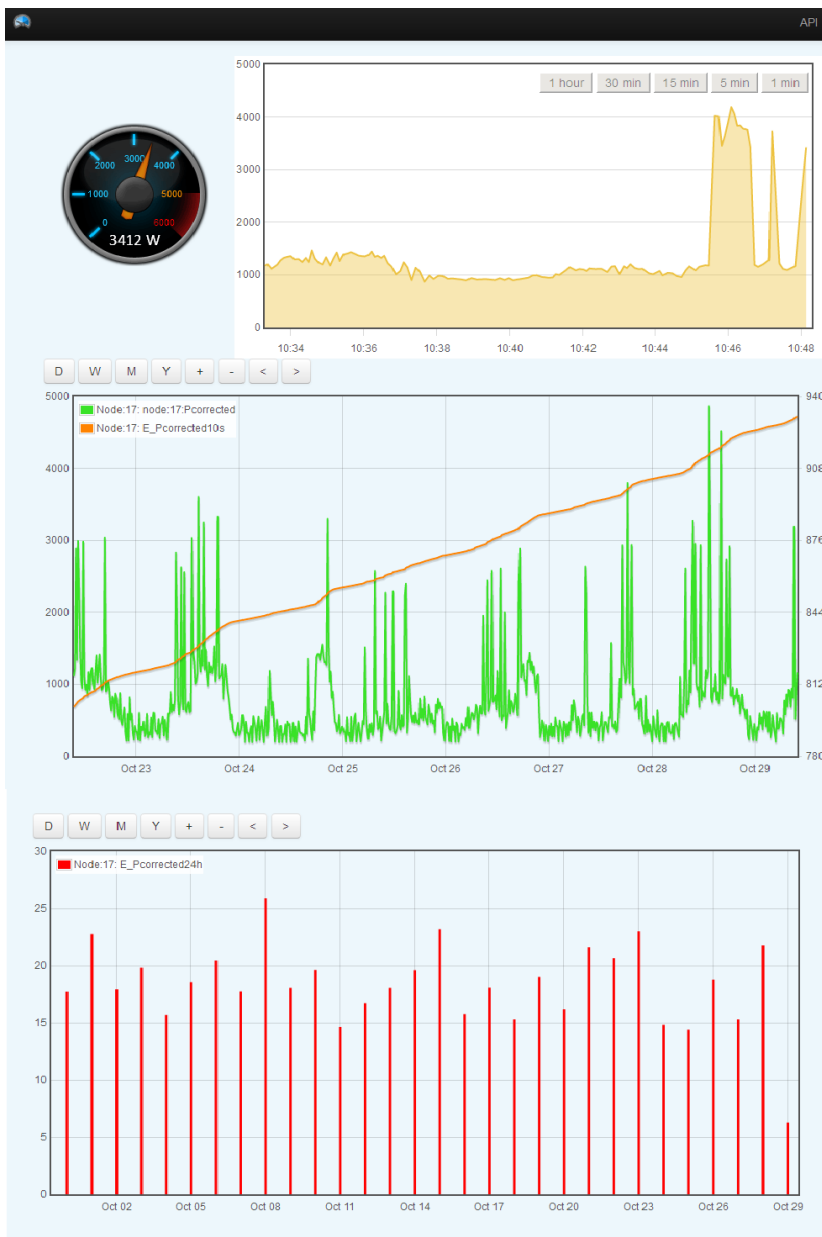
Én a fejlesztéshez a fejlesztők által üzemeltetett Emoncms-t használtam, viszont igény esetén saját webszerverre is telepíthető.

Az Emoncms “Feed API”-ja mérési adatokat HTTP POST utasításokkal fogadja, json formátumban. (Ugyanígy külső alkalmazással le is tudjuk kérdezni az adatokat a rendszerből.)

Az Emoncmsben létre lehet hozni ún. “Dashboardokat” (műszerfalakat) grafikus szerkesztőprogram segítségével. Itt felvehetünk műszereket, grafikonokat, feliratokat, amiket akár nyilvánosan meg is oszthatunk. (3. ábra)

Esetemben felvettem egy mutatós műszert, mely a pillanatnyi teljesítményfelvételt mutatja, továbbá az alábbi három grafikont:

- Folyamatosan frissülő, rövidtávú teljesítménygörbe
- Teljesítmény görbe
- Napi energiafogyasztást megjelenítő görbe



3. ábra: Emoncms dashboard

Az Emoncms projekt rendelkezik egy telefonos alkalmazással [4][5], mely kényelmes felületet biztosít a mérési adatok megjelenítésére telefonkészüléken. (4. ábra)

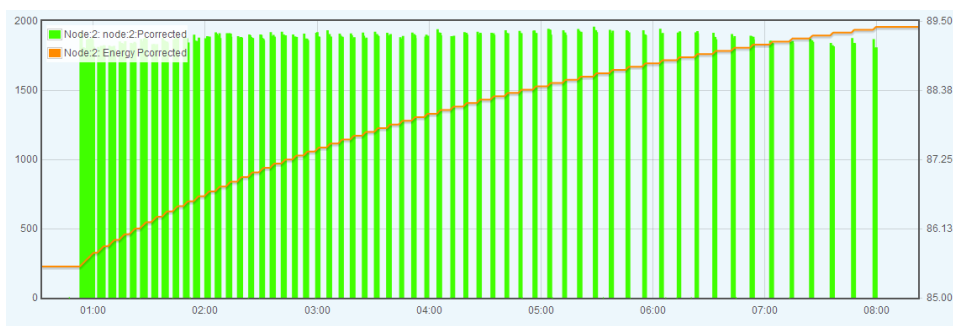


4. ábra: Emoncms mobil alkalmazás

A telefonos alkalmazásban meg lehet adni az energiaárát, és a napi energiafogyasztás mellett az elfogyasztott energia árát is kiírja.

6 Mért adatok alternatív felhasználása

A nyilvánvaló felhasználási lehetőségeken kívül (például fogyasztói szokások vizsgálata, esetleg napalemes rendszer méretezéséhez segítségül szolgáló adatok szerzése) járulékos lehetőségként felmerült bojlerok vízkövesedési állapotának vizsgálata az energia görbe meredeksége, vagy a termosztát kapcsolásának gyakorisága segítségével. (5. ábra)



5. ábra: Bojler teljesítmény- és energia görbéje

Konklúziók

Egy olyan egyszerű megoldást kívántam bemutatni, mely segítségével egy ház vagy lakás napi teljesítmény, és energiagörbéit lehet láthatóvá tenni, minimális költségvetésből, valamint megvizsgáltuk a mérési eredmények lehetséges felhasználási lehetőségeit.

A készülék alapvetően egyszerű mérési elvét felhasználva (periódusidő mérés) többféle közmű monitoringja is megoldható, például: vízfogyasztás vagy a gázfogyasztás.

Kivatkozások

- [1] https://www.hobbielektronika.hu/cikkek/esp8266_firmware_frissites.html
- [2] <http://espressif.com/>
- [3] <http://mqtt.org/>
- [4] <https://play.google.com/store/apps/details?id=cc.blynk&hl=hu>
- [5] <https://iotappstory.com/>

SMOG-1 hallgatói műhold

Hödl Emil Viktor, ÓE hallgató^{1,2}, Herman Tibor¹, Géczy Gábor¹,
Kristóf Timur¹, Kálmán Tibor¹, Józsa Viktor³, Petróczy Balázs³,
Dudás Levente¹, Szüllő Ádám¹, Csarnai Tibor⁴, Nemcsics Ákos^{4,5},
Gschwindt András, témavezető¹

¹BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

²ÓE, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

³BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

⁴MTA-EK, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet

⁵ÓE, Mikroelektronikai és Technológiai Intézet

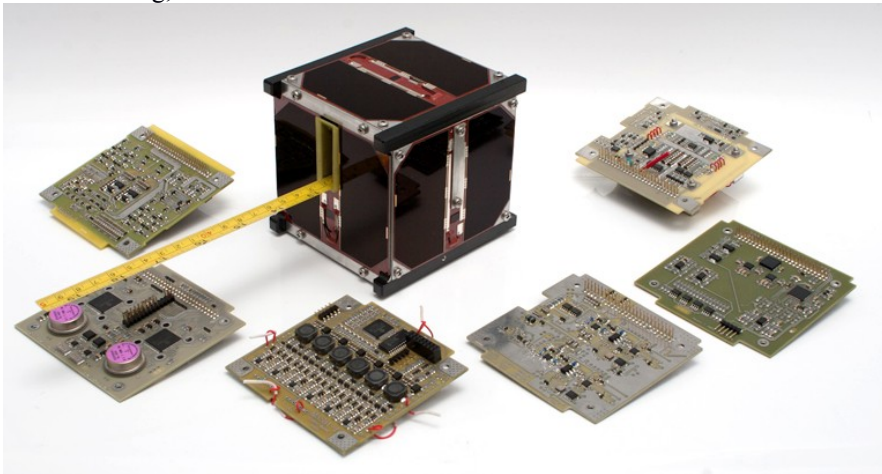
Kivonat: Magyarország első műholdja a Masat-1 folytatásaként egyetemi keretek között oktatási céllal készül. Új műholdunk neve SMOG-1. Ez egy „PocketQube” kategóriájú műhold, mely 5 cm-es él hosszúságú kocka, 250 g maximális tömeggel. Fő feladata a rádiófrekvenciás szmog felmérése a digitális földfelszíni televízió műsorszóró sávokban (DVB-T), tehát a 470-860 MHz sávban méri az adók által világűrbe kisugárzott teljesítményt. A műhold feladata végrehajtásához szükséges spektrumanalizátoron túl rendelkezik kommunikációs (COM), energiaellátó (EPS-1 és 2), antennanyitó alrendszerrel és fedélzeti számítógéppel (OBC). Minden rendszer redundáns és egy pont meghibásodás kezelésére tervezett.

A műhold tervezése során a méreti megkötéseken túl az is kihívást jelentett, hogy korábban ilyen méretű műhold még nem működött a világűrben. Ezért nem állt rendelkezésre megfelelő méretű napelem.

Kulcsszavak: műhold; SMOG-1; pocketqube

1. Előzmény Masat-1

A Masat-1 Magyarország első műholdja, egy cubesat osztályú műhold volt, melyet 2012. február 13-án bocsátottak fel és 2015. január 10-én lépett be a légkörbe és semmisült meg. Ezen időtartam alatt kifogástalanul üzemelt, egy 2014-es tartalék fedélzeti számítógépre (OBC, On-Board Computer) kapcsolást leszámítva, így a tartalék rendszer is jól vizsgázott, tehát működő műholdként semmisült meg, nem lett űrszemét.



1. ábra
Masat-1 repülőpéldány

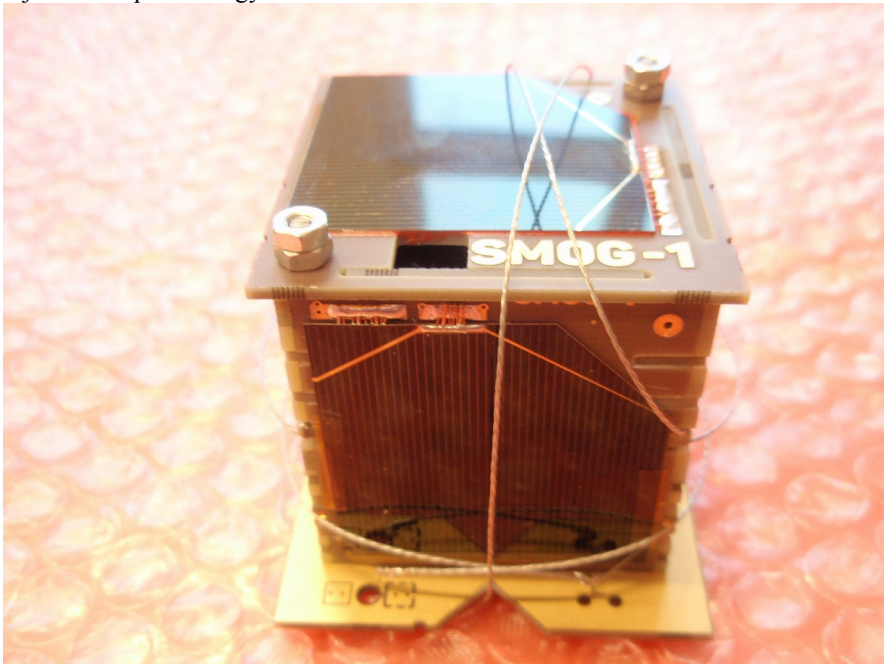
A Masat-1 csapat kétfelé vált. Egyik része vállalkozást alapított C3S néven és ipari vonalon folytatta tovább, míg a másik része oktatási vonalon folytatta tovább a műholdfejlesztést.

A cubesat szabványt Bob Twiggs amerikai professzor alkotta meg 1999-ben. Ezen szabvány szerint a műhold 10x10x10 cm-es méretű és maximálisan 1 kg tömegű lehet, azért alkotta meg ezt a szabványt, hogy az egyetemen tanuló diákok tapasztalatokat szerezzenek műholdak tervezésében, építésében és üzemeltetésében.

A cubesat-ok jelentős felbocsátási költsége (~80 000 euró) és a technológia fejlődése arra ösztönözte Twiggs professzort, hogy egy új, még kisebb műhold osztályt alkosson meg, melyet pocketQube-nak nevezett el.

2. SMOG-1

A pocketQube-ok 5x5x5 cm-es kocka műholdak legfeljebb 250 g tömeggel, így a felbocsátási költség ~20 000 eurót tesz ki. Ezen felbocsátási költséget egyetemi kereteken belül ipari szponzorok segítségével könnyebb előteremteni. Így a Masat-1 után egy SMOG-1 nevű pocketQube fejlesztésébe kezdtünk. A fejlesztő csapat megalakulásakor tudatosan bevontuk a gépészmérnököket, mivel a Masat-1 fejlesztő csapatában egy kivételt leszámítva villamosmérnökök voltak.

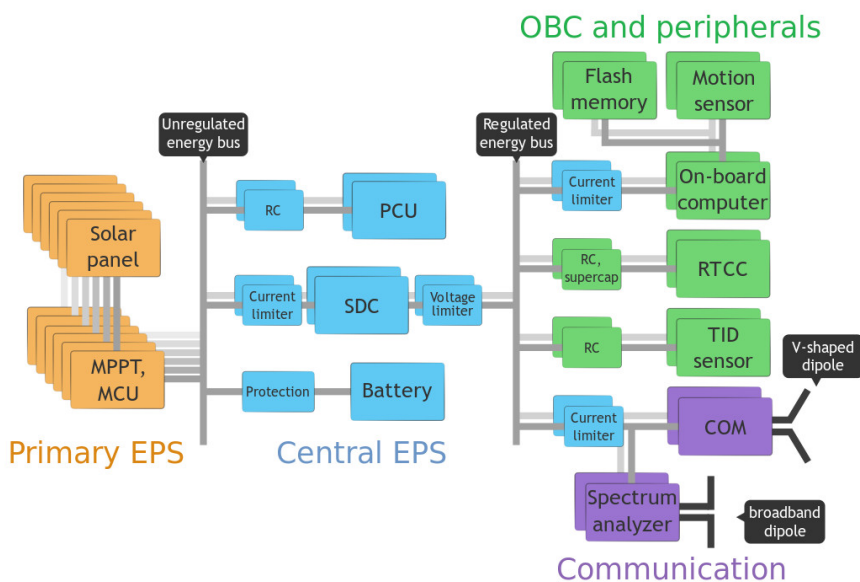


2.ábra
SMOG-1 kvalifikációs példány

A SMOG-1 elsődleges feladata a rádiófrekvenciás szmog mérése, tehát annak a teljesítmények a számszerűsítése melyet a TV adók a DVB-T (*Digital Video Broadcasting — Terrestrial*, Digitális földfelszín videó adás) sávban (430-800 MHz) a világűrbe sugároznak. Ezen kívül oktatási műhold, így hallgatók készítik oktatói segítséggel, továbbá másodlagos feladatként van rajta egy teljes ionizációs sugárzási dózist mérő rendszer.

2.1 a műhold alrendszerei

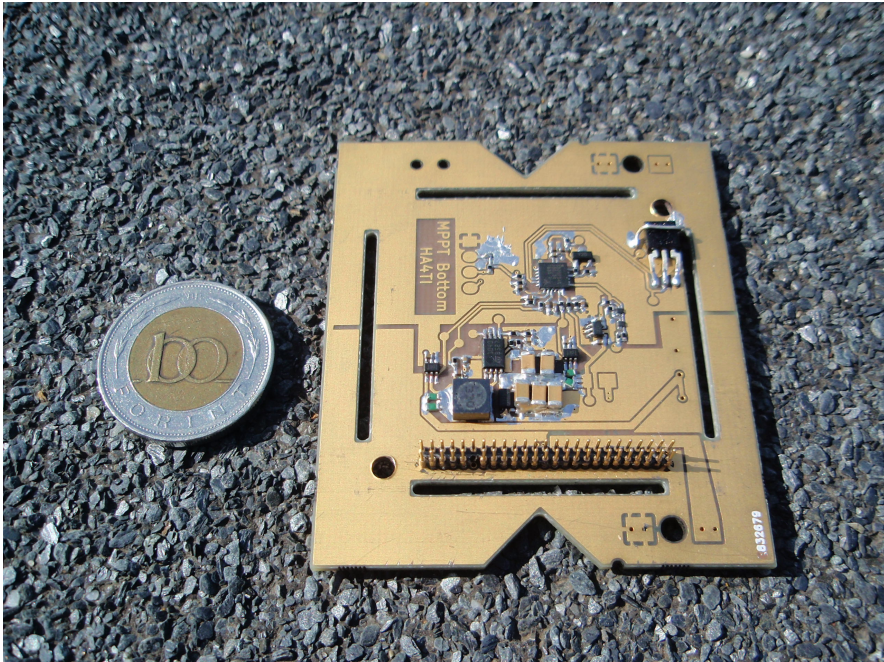
A műholdat az elsődleges-, másodlagos energiaellátó alrendszer (EPS-1, EPS-2, Electrical Power System), a kommunikációs alrendszer és rádiófrekvenciás szmogot mérő spektrummonitorozó (COM, Communication), a fedélzeti számítógép (OBC) és antennanyitó panel alkotják. Minden alrendszer legalább 1-szeresen tartalékolts és egy pont meghibásodás kezelésére méretezett.



3.ábra
SMOG-1 blokkvázlat

2.2 Energiaellátó rendszer (EPS-1)[3]

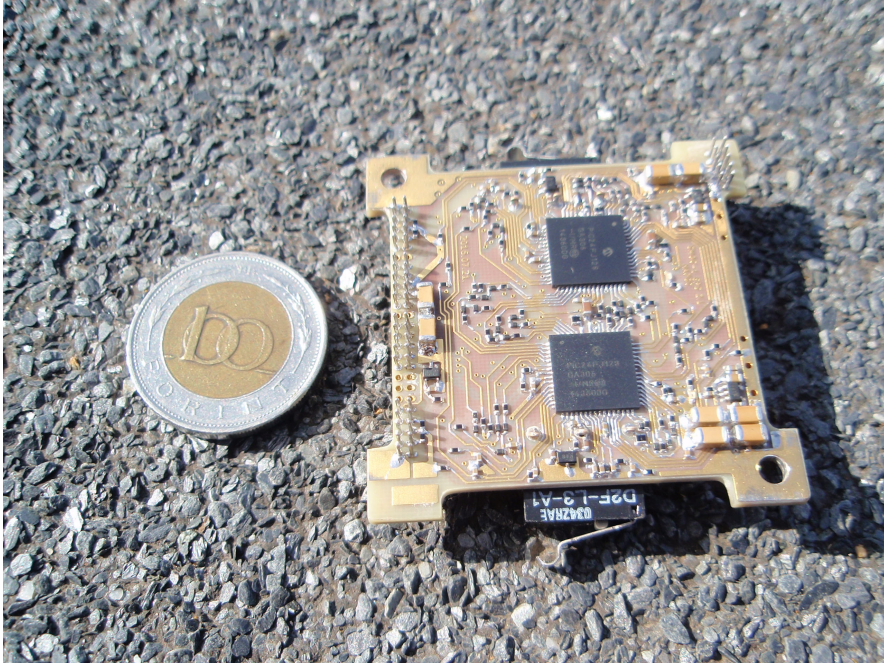
Ez a rendszer tartalmazza a napelemeket, melyek ~30% hatásfokú GaAs napelemek (InGaP/GaAs/Ge), típusuk: TJ Solar Cell 3G30C. Ezeket a napelemeket cubesat-okra szánták, így a méretük nem volt megfelelő, ezért a cellákat kettőbe kellett vágni, melyet a KFKI-ban végeztek el. Pontosabban nem vágás, hanem törés, mivel a hordozót vágták meg és a félvezető kristályt pedig törték, hogy a kristálytani zónák mentén váljon két részre a napelem. A műhold mind a hat oldalán van napelem és maximális munkapont kereső áramkör. Ezen alrendszerhez tartozóan mind a hat oldalon van egy napérzékelő fotodióda, mellyel a műhold helyzetét tudjuk meghatározni a Naphoz képest. A napelem oldalakról bejövő átlagteljesítmény a világűrben 300 mW lesz, mely 500 mW lesz csúcsban.



4. ábra
EPS-1 panel

2.3 Energiaellátó rendszer (EPS-2, Electrical Power System)[4]

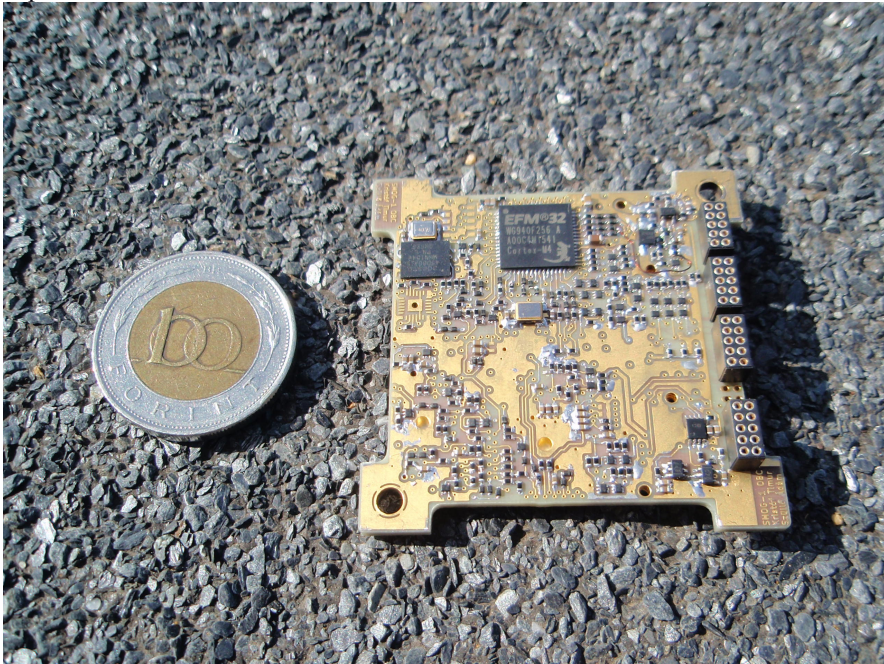
Az EPS alapvető feladata, hogy az elektromos energia előállításáról, tárolásáról, szétosztásáról, szabályozásáról és monitorozásáról gondoskodjon. Az EPS további feladata, hogy biztosítsa az energiabuszok sértetlenségét bármelyik arra tápláló, vagy arról fogyasztó eszköz meghibásodása esetén. Ilyen feladat például az akkumulátor esetleges zárlata esetén a meghibásodott akkumulátor érzékelése és eltávolítása az energiabuszról, vagy az elsődleges tápegység meghibásodása esetén a hiba érzékelése, és a tartalék rendszerre való átállás zökkenőmentes megvalósítása. A felsorolt feladatokon kívül az EPS vezérlő alrendszere, a PCU (Power Control Unit) monitorozza az energiarendszerre vonatkozó telemetria adatokat is, mint például a 700 mAh Li-ion akkumulátor töltöttsége, az SDC (Step Down Converter, Lefele konvertáló) áramkörök aktuális hatásfoka, vagy az energiabuszok leterheltsége. Ezeket az adatokat a PCU egységek dolgozzák fel, majd küldik tovább a központi fedélzeti számítógép avagy OBC számára.



5. ábra
EPS-2 panel

2.4 Fedélzeti számítógép (OBC, On-Board Computer)[2]

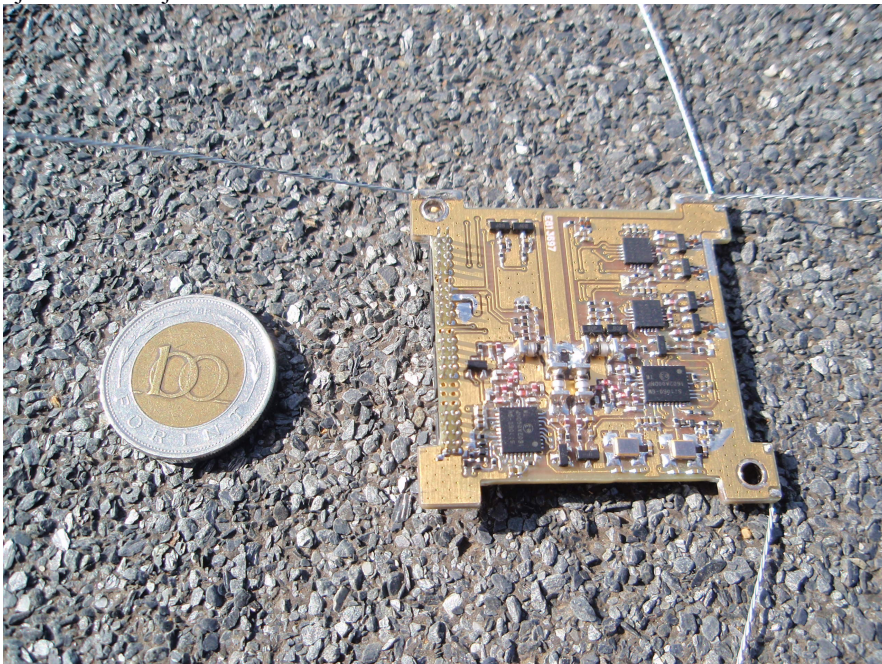
Egy EFM32WG mikrokontroller (ARM Cortex-M4 maggal) alkotja a számítógép lelkét, továbbá helyet kapott egy mozgásérzékelő szenzor, RTCC (Real Time Clock and Calendar) modul a pontos idő nyilvántartására, valamint egy 8 MB-os flash memória a mérési adatok tárolására. Feladata az egyes alrendszerek vezérlése, telemetria adatok gyűjtése ezek alapján a műhold állapotának vezérlése és fenntartása (elegendő energia áll rendelkezésre, minden alrendszer megfelelően működik, stb.), az üzemmód eldöntése (normál üzem, vész üzem, stb.), kapcsolattartás a földi állomással.



6.ábra
OBC panel

2.5 Kommunikációs és spektrummonitorozó rendszer (COM, Communication)

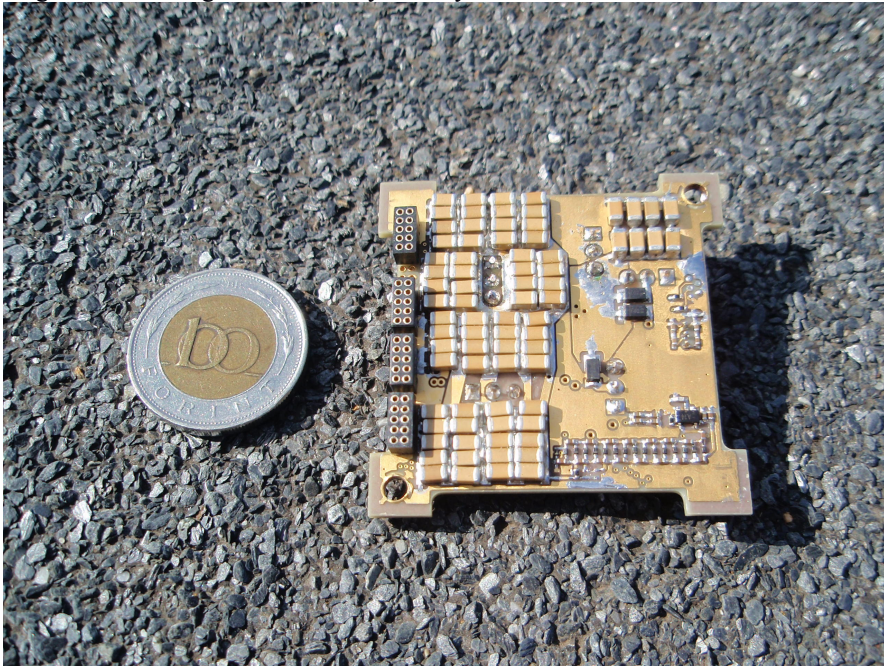
Feladata a földi vezérlő állomással (GND, Ground station) való kapcsolattartás és a rádiófrekvenciás teljesítmény mérése a 430-800 MHz-es sávban 1,5 kHz és 850 kHz között állítható RBW-vel a -120 - -10 dBm-es tartományban. A telemetria és távparancs rendszer a 437,345 MHz-es rádióamatőr sávban sugároz maximálisan 100 mW teljesítménnyel 12,5 kHz-es sávszélesség mellett. Kettő-kettő antenna áll rendelkezésre kettő a telemetriaadó/vevő egység számára ennek V alakú geometriája van a homogénebb karakterisztika miatt, kettő pedig a spektrummonitorozó rendszernek, amiknek szélesebb frekvencia tartományban kell érzékenynek lenniük. Az antennák egy kerékpár bowden 3 elemi szálának újrásodrásával jöttek létre.



7.ábra
COM panel

2.6 Antennanyitó panel

Az antenna a műhold pályára állása előtt feltekert állapotban van, így az antenna nyitását a pályára kerülés után biztosítani kell, ez a műhold küldetése szempontjából kritikus művelet. Ha az antennák nem nyílnak ki, akkor nem tudunk a műholdnak parancsot küldeni és nem tudjuk venni a műhold jeleit. Elsődlegesen az akkumulátor energiájával nyitva az antennákat, oly módon, hogy egy műanyag szálát olvaszt el. Ha az akkumulátor valamilyen oknál fogva nem működik, akkor a napelemekről próbálja meg kinyitni az antennákat, mivel közvetlenül róluk nem jön le elég teljesítmény a nyitáshoz, ezért a bejövő energiát kondenzátorokban (104 db, egyenként 220 uF kapacitású) tároljuk, amint elérte a megfelelő töltöttséget az antennanyitás folyamata elindul.



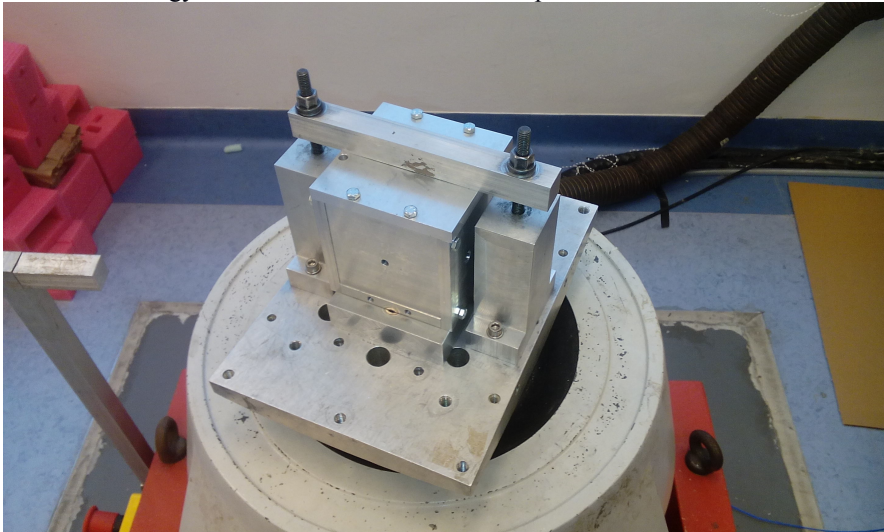
8.ábra

Antennanyitó panel

3. Tesztek

3.1 Rázópados teszt

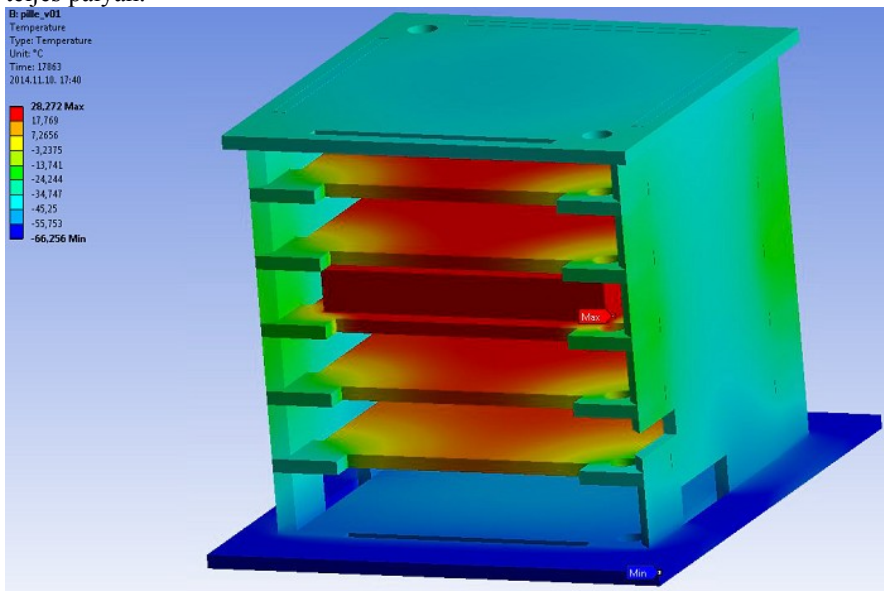
A műholdat rázópadban teszteltük, hogy lássuk kibírja-e a rakéta felbocsátásakor fellépő erőhatásokat. Mivel embert nem szállító rakétán fog feljutni a világűrbe, ezért 20 g amplitúdójú szinuszos, a hajtómű folyamatos üzeme miatt és 100 g felütés-szerű terhelés fogja érni a műholdat, az első fokozat leválásának pillanatában. Ezen teszten minden gond nélkül átment a műhold, mivel a vázszerkezete kellően merevre lett tervezve, ami így egy erősen aláhangolt rezgőrendszert jelent. A vizsgálat további értékes hozadéka, hogy nemcsak a szerkezet bírja ki ezt a terhelést, hanem az elektronikai alkatrészek és a napelemek sem sérültek vagy váltak le a hordozó áramköri lapokról.



9.ábra
Rázógép

3.2 Termo-vákuum kamra

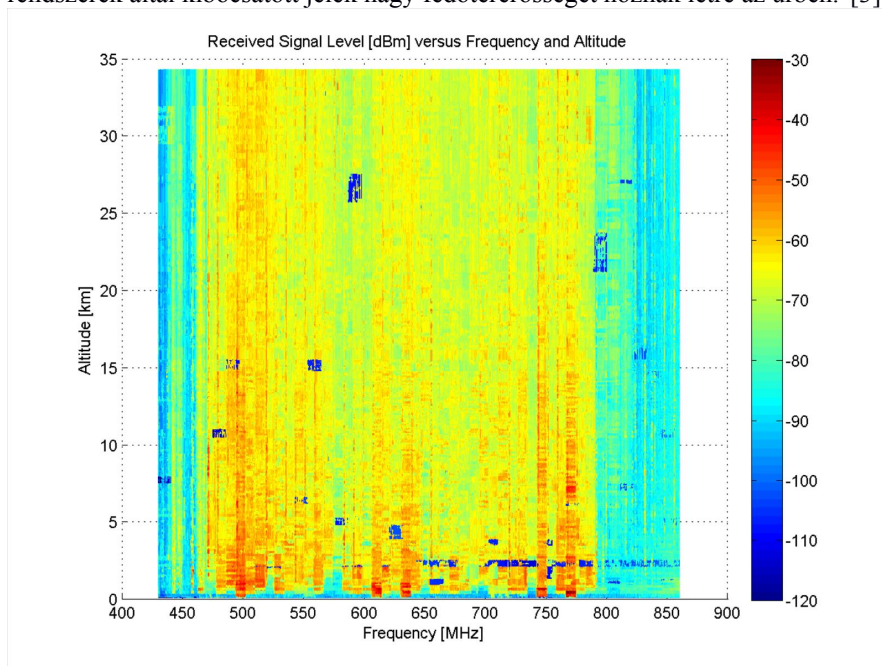
A termo-vákuum kamrában a műhold világűr körülményeihez hasonló környezetben vizsgálható, mivel a nyomás vákuumhoz közeli és -40 - 80°C hőmérséklet tartományban állítható. A mérés célja a műhold hőháztartásának vizsgálása, hogy vannak-e esetlegesen "forrópontok". Tehát olyan helyek ahonnan a keletkező hő megreked, így túlmelegítve az adott alkatrészt. Másrészt a hideg pontok is kiemelt figyelmet kapnak, hiszen az elektronikai alkatrészek működési tartománya alulról is korlátos. A stabil üzem szempontjából az akkumulátor hőmérséklete a legkritikusabb, itt 0°C feletti hőmérsékletet szükséges tartani a teljes pályán.



10.ábra
SMOG-1 hőmodell

4. Ballonos előtesztelés

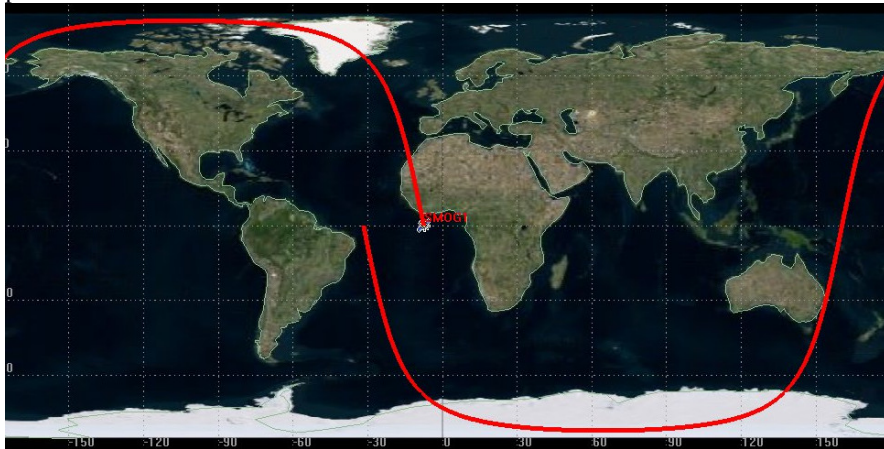
A fejlesztés korai szakaszában elvégeztünk egy ballonos repülést, mely során a kommunikációs rendszer a spektrummonitorozó kísérlettel együtt egy meteorológiai ballon segítségével 30 km magasságba emelkedett, majd ejtőernyő segítségével tért vissza a földre. Az emelkedés és zuhanás közben mérte a DVB-T sávban a jelszinteket. A kísérlet eredményeként még 30 km-es magasságban is jelentős teljesítményeket mértünk, így igazolódott, hogy a világűrben 600 km-es magasságban is értékelhető teljesítmények lesznek. "Ez a kisugárzott jel nem jut el a felhasználók vevőkészülékébe, nem hasznosul, így feleslegesen elpazarolt energia. Ezen frekvenciasáv hullámterjedésére jellemző, hogy áthatol az ionoszférán, ezért az űrben elvégzett mérésekből előállítható egy rádiófrekvenciás szennyezettségi térkép. A hullámsáv ezen tulajdonsága és az itt alkalmazható antennák jól kezelhető méretei miatt ezt a frekvenciatartományt előszeretettel használják műholdas kommunikációra is. Sajnos a műsorszóró és egyéb rendszerek által kibocsátott jelek nagy fedőtérerősséget hoznak létre az űrben." [3]



11. ábra
Rádiófrekvenciás spektrum DVB-T sávban

5. SMOG-1 tervezett műhold pálya

A SMOG-1 nem közvetlenül a rakétáról fog startolni, hanem egy UNISAT-7 nevű olasz 30 kg műholdról. 600 km-es napszinkron pályára fog kerülni, 90 perc alatt fogja megkerülni a Földet, ebből 60 percet tölt napon és 30 percet Föld árnyékban. A Műszaki Egyetem Műholdvezérlő állomásáról (BME GND) kb. napi 70 percet leszünk a műhoddal kapcsolatban, ezen idő alatt kell az adatokat letölteni és a parancsokat felküldeni.



12.ábra
SMOG-1 tervezett műhold pálya

Mivel ilyen kevés időt leszünk kapcsolatban a műhoddal, ezért ahogy a Masat-1-nél is történt szeretnénk bevonni a rádióamatőröket a műhold vételébe. A honlapunkról majd le lehet tölteni egy általunk készített szoftvert, melynek segítségével a vett jeleket dekódolni tudják, és interneten keresztül elküldhetik a központi szerverünkre.

6. Elsődleges földi állomás

A Petőfi híd Budai hídfőjénél a Műszaki Egyetem 50 m magas épületének (E épület) tetején van az elsődleges műholdvezérlő állomásunk. Ez egy 4,5 m-es és egy 3-es parabola antennából áll. Az állomás automatikus és távvezérelhető, 1 kW-os adóteljesítményű és a 4,5 m-es parabola nyeresége 23 dBi. A 4,5 m-es parabola X-Y elrendezésű forgatóval van felszerelve, míg a 3 m-es parabolát azimut-eleváció elrendezésű forgató pozicionálja.



13. ábra
BME GND 4,5 m-es parabola antenna

Konklúzió

A SMOG-1 műhold repülőpéldányának összeszerelése a végéhez közeledik, 2018 elejére elkészülhet a két repülőpéldány. A várható felbocsátás 2018 végén lehet. A SMOG-1 műholdon való dolgozás során az egyetemi hallgató fontos tapasztalatokat szerez egy komplett mérnöki tervezési, kivitelezési feladatról. Így mikor diplomás mérnök lesz a fejlesztés során szerzett tapasztalatokat, tudást a munkája során is kamatoztatni tudja. Ezért a SMOG-1 után további hallgatói műholdak tervezését, kivitelezését és üzemeltetését tervezzük, melyhez reméljük, hogy meg lesz az anyagi támogatás is.

Referenciák

- [1] Levente Dudás, László Szűcs, dr. András Gschwindt: The Spectrum Monitoring System of Smog-1 Satellite, 2016.
- [2] Kristóf Timur: A SMOG-1 PocketQube műhold redundáns fedélzeti számítógépének hardver és szoftver fejlesztése, TDK dolgozat, 2015.
- [3] Herman Tibor: A SMOG-1 PocketQube elsődleges energiaellátó rendszere, diplomamunka, 2015.
- [4] Géczy Gábor: A SMOG-1 pocketqube másodlagos energiaellátó rendszere, diplomamunka, 2016.

A jövő autója jelen van

Gergő Horváth, Levente Reizer, Róbert Istók

*Nissan Sales CEE Kft Budapest, B/2, Infopark stny. 3, 1117,
ghorvath@nissan-europe.com, lreizer@nissan-europe.com, Óbudai Egyetem,
Villamosenergetikai Intézet, Magyarország 1034 Budapest, Bécsi út 94-96,
istok.robert@kvk.uni-obuda.hu*

Abstract: A Nissan több mint 70 évvel ezelőtt készítette el első elektromos járművét. A második világháború utáni Japánban mindennapos volt a küzdelem az üzemanyag fejadagok által okozott gazdasági következmények, és a közösség mobilitására gyakorolt nyomás miatt. Azonban az országnak volt egy korlátlanul rendelkezésre álló energiaforrása a hidroelektromosság. Ez a hatalmas kihasználatlan energiaforrás adta az ötletet a Nissannak, hogy gondoskodjon az ország mobilitásáról, és 1947-ben bemutatta első elektromos járművét a Tamát. Azóta hat különböző típusú villamos autót fejlesztett és gyártott. 2010 megjelent a világ első tömeggyártott elektromos autója a Nissan LEAF. Már alapjaitól kezdve úgy készült, hogy a valaha volt leghatékonyabb, elérhető árú kibocsátásmentes autó legyen – zéró emisszió, zéró kompromisszum. A világszerte értékesített több mint 270 000 LEAF tulajdonosai az elmúlt hat évben több mint 3 milliárd kilométert tettek meg az utakon, mind ezt károsanyag kibocsátás nélkül.

Keyword: Nissan Leaf, ProPilot, ProPilot Park, e-Pedal, e-hajtáslánc, xStorage HOME

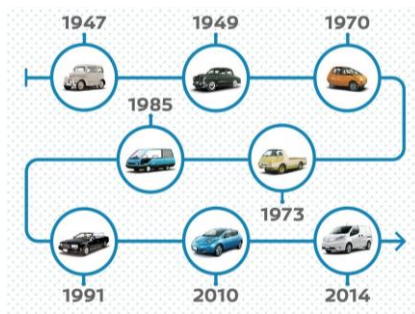
1 Bevezetés

Nissan az első elektromos autóját Tamát 1947-mutatta be lásd 1-es ábrát, azóta különböző időintervallumokba összesen 8 típusú elektromos autót vezetett be a piacra, lásd 2-es ábrát.



1-es ábra. Tama, Nissan első elektromos autója

Az autót 2010-ben kezdték forgalmazni az Egyesült Államokban és Japánban. Ez volt az első olyan tisztán elektromos meghajtású autó, ami nagy tételben került forgalomba. Magyarországi forgalmazása, 2013 tavaszán kezdték.



2-es ábra. Nissan által gyártott elektromos autók.

A 2017-ben piacra került nissan Leaf modelnek a főbb elektromos paraméterei a következők:

- 40kWhLi-ion akkumulátorok
- EM57 típusú elektromos motor:
 - max teljesítmény 110kw(150ps)/3283~9795rpm
 - max nyomaték 320N·m(32.6kgf·m)/0~3283rpm

2 Nissan Leaf technológiák

Az új Nissan LEAF a következő technológiákat tartalmazza: ProPILOT autonóm vezetés, ProPILOT parkolás és e-Pedal

2.1 ProPilot technologia

ProPILOT egy önvezető technológia, mely az egysávos vezetés során képes átvenni az irányítást. A bekapcsolást követően a vezető által előzetesen beállított sebességtartományban (nagyjából 30 és 100 km/h között) automatikusan szabályozza az autót és az előtte haladó jármű közti távolságot. Képes arra is, hogy segítse a vezetőt a kormányzásban, és a járművet a sáv közepén tartsa. Ha az elől haladó jármű megáll, a ProPILOT rendszer automatikusan fékezni kezd, hogy a járművet akár teljesen megállítsa. A megállást követően a jármű még akkor is képes egyhelyben maradni, ha a vezető nem nyomja le a fékpedált. Amikor a forgalom újraindul, és a vezető újból megérinti a kapcsolót, vagy enyhén lenyomja a gázpedált és ezzel aktiválja a ProPILOT rendszert, a jármű folytatja a haladást. Ezek a funkciók jelentősen csökkentik a vezetéssel járó stresszt az autópályán, illetve a sűrű és zökkenőmentesen haladó forgalomban egyaránt.

2.2 ProPilot Park technologia

A ProPILOT Park a parkolásban segíti a vezetőket, hiszen automatikusan kezeli a gázt, a féket, a kormányt és a sebességváltót, így beirányítja az autót a parkolóhelyre.

A négy nagyfelbontású kamera képét használó képfeldolgozó technológia és az autó különböző pontjain található 12 ultrahangos érzékelő adatait felhasználva a ProPILOT Park biztonságosan és pontosan irányítja be az autót a parkolóhelyre.

A különféle parkolási szituációkban (pl. párhuzamos parkolás) a kormányzás, a fékezés és a gyorsítás is teljesen automatikus. A rendszer arra is képes, hogy önállóan megtalálja a parkolóhelyeket az autó közelében, így a vezetőnek nem kell megadnia, hogy hová parkoljon be a jármű. A technológia mindössze három egyszerű lépésben aktiválható, és a legfárasztóbb, illetve sok esetben a legnagyobb kihívást tartogató feladatot veszi le a vezetők válláról.

2.3 e-Pedal technologia

Az e-Pedal lehetővé teszi a vezetőnek, hogy egyetlen pedál használatával induljon el az autóval, gyorsítson, lassítson vagy megálljon – ez a forradalmi innováció pedig tényleg megváltoztathatja az autózást. A gázpedál felengedésével az autó finoman megáll és egyhelyben marad, anélkül, hogy a vezető hozzáérne a fékpedálhoz. A lassulás mértéke akár 0,2 g is lehet, így az e-Pedallal a vezetőnek nem kell állandóan áthelyeznie lábát a gázpedálról a fékpedálra, hogy lelassítson, vagy megállítsa az autót. Így pedig kevésbé fárasztó, ugyanakkor élvezetesebb a vezetés.

A Nissan Japánban, Európában és az Egyesült Államokban végzett tanulmányai szerint a Nissan LEAF e-Pedal használatával a vezetőnek kevesebb alkalommal kell használnia a féket, amikor sűrű, akadozó forgalomban utazik. Ugyan a hirtelen fékezést igénylő szituációkban továbbra is a fékpedált kell majd használnia, de a vezetési szituációk több mint 90%-ában a vezetőnek elég egyetlen pedál.

2.4 e-hajtáslánc technologia

Az új e-hajtáslánc 110 kW-os teljesítménye – ez 38%-kal haladja meg az előző Nissan LEAF teljesítményét – lenyűgöző egyenes vonalú gyorsulást garantál. A csúcsmomáték 26%-kal, 320 Nm-re nőtt, tovább javítva a gyorsulást. A nagyobb teljesítmény mellett a Nissan LEAF hatótávja is nőtt. Az autó új lítium-ion akkumulátorcsomagja – a japán mérési szabványok szerint – 400 km-es hatótávot tesz lehetővé.

A rétegzett lítium-ion akkumulátorcellák egyes celláinak felépítése fejlődött, így azok energiasűrűsége 67%-kal nőtt a 2010-es elődmodellhez képest. A lítium-ion akkumulátorcsomagban alkalmazott másik jelentős műszaki fejlesztés az elektródákat érinti, módosított kémiai összetételű anyagának eredménye a nagyobb energiasűrűség, illetve a nagyobb ellenállóság az akkumulátor töltése és kisülése során.

3 Nissan Intelligens Integráció

A V2G („járműből a hálózatra”) technológia része a kétirányú töltés, amivel a leparkolt elektromos autók teljes mértékben integrálhatóak az elektromos hálózatba. Ez egyben a nem programozható, megújuló energiaforrások fogadását is megkönnyíti a hálózatban, ami elősegíti a megújuló energiaforrások szélesebb körű használatát, illetve az árak további csökkenését. Az xStorage energiatároló rendszer az iparág legjobbjainak kollektív tudására építve a hatékonyabb és fenntarthatóbb otthoni energiafelhasználást célozza meg. Az xStorage Home az alacsonyabb díjszabású időszakokban töltődik fel, és az így eltárolt energia felhasználásának szabályozásával tulajdonosának is segít spórolni, miközben a teljes energiaellátó-rendszer működését is javítja. Hálózati szolgáltatások: az xStorage Home az elektromos hálózatról is tölthető, és abba vissza is tud táplálni áramot, elősegítve, hogy a hálózatok bírjanak a megújuló energiaforrások további terjedéséhez szükséges rugalmassággal. A Nissan elektromos autókban használt akkumulátoroknak fenntartható második életet nyújtó xStorage HOME energiatároló 3,5 kW-os t, és a 6 kW-os változat.

A napelemekkel felszerelt háztartások akár teljes egészében az xStorage HOME egységben tárolt tiszta energiára alapozhatják áramfogyasztásukat. A rendszer használatával emellett akár némi többletjövedelemre is szert tehetnek, ha az tárolt energiát csúcsterhelés idején, magasabb tarifák mellett táplálják vissza a hálózatba. A technológia mindemellett biztos tartalék áramforrást biztosít, ami különösen jól jöhet most, hogy az elektromos hálózatok egyre gyakrabban túlterheltek. Az okostelefonról is vezérelhető rendszerrel egyetlen gombnyomással megoldható a váltás a különböző áramforrások között.

Összefoglaló

Az új Nissan LEAF a különböző technológiát tartamaz ami élvezetesebbé teszi az autózást.

ProPILOT egy önvezető technológia, mely az egysávos vezetés során képes átvenni az irányítást.

A ProPILOT Park a parkolásban segíti a vezetőket, mivelhogy automatikusan kezeli a gázt, a féket, a kormányt és a sebességváltót

Az e-Pedal lehetővé teszi a vezetőnek, hogy egyetlen pedál használatával induljon el az autóval, gyorsítson, lassítson vagy megálljon.

Kétirányú kapcsolóelem megvalósítási trendek háromfázisú mátrix konvertereknél

Kapi Dénes, Badacsonyi Ferenc, Dr. Semperger Sándor

*Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Automatika Intézet
Magyarország*

XXXIII. Kandó Konferencia

Egy adott frekvenciájú, háromfázisú váltakozó feszültség átalakítása egy másik, ettől eltérő frekvenciára történhet többek között elektromechanikus, mágneses, vagy tisztán elektronikus eszközökkel is, mely utóbbiak vezérelt kapcsolók segítségével végzik el az átalakítást. A mátrix konverter - amely a tisztán elektronikus elven működő átalakítók közé sorolható - lényegében véve egy háromfázisú, kényszerített kommutációs ciklokonverter, ami kilenc darab kétirányú kapcsolóelem segítségével lehetőséget biztosít akármelyik kimeneti fázis akármelyik bemeneti fázishoz való kapcsolására.

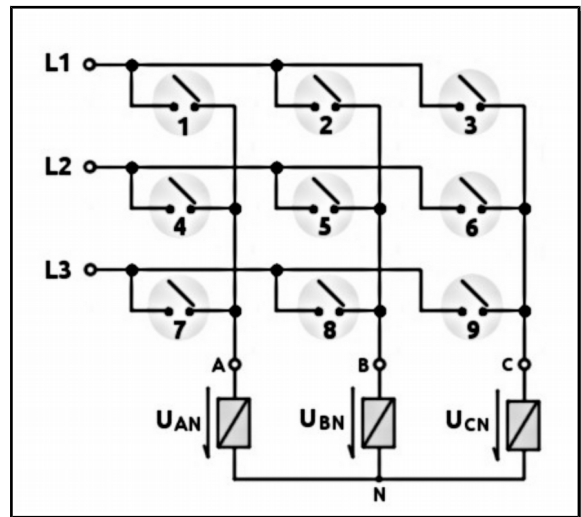
Jelen cikk a széles körben elterjedt, aktuális kétirányú kapcsolóelem megvalósításokat taglalja (mint például a diódahidas kapcsolóelem, vagy a közös kollektoros IGBT kapcsolóelem), a hozzájuk tartozó védelmi áramkörökkel, amelyek védelmet nyújtanak a hibás kommutációból adódó feszültségtűskék destruktív hatásai ellen. Ezen rész után két főbb, a hatásfok javítására szolgáló fejlesztés kerül részletezésre: a szilícium - karbid (SiC) MOSFET - ek, valamint a szimmetrikus feszültségtűrésű RB - IGBT - k vonala, melyek minden igényt kielégítő meghajtásához eltérő vezérlési technikák szükségesek.

HÁROMFÁZISÚ MÁTRIX KONVERTEREK ^[1]^[2]^[3]

A mátrix konverterek a mai értelemben vett és alkalmazott frekvenciaváltókhöz hasonlóan változtatható kimeneti frekvenciájú és feszültségű, szinuszos áram létrehozására szolgáló AC / AC átalakítók, legfőképpen aszinkron, illetve szinkron motorok üzemeltetésére. Előnyei közé sorolható többek között, hogy az inverterekkel ellentétben a direkt mátrix konverterek nem rendelkeznek közbenő DC körrel, így nincs szükség az invertereknél alkalmazott puffer egységre, ebből kifolyólag kisebb méret (nagyobb energiasűrűség), valamint hosszabb élettartam jellemzi. A kétirányú kapcsolóelemek alkalmazásából kifolyólag eredendően képes energiát visszatáplálni a hálózatba, megfelelő vezérlési séma alkalmazása esetén pedig a rendszer teljesítménytényezője egységnyire szabályozható.

A kényszerített kommutációs tirisztoros ciklokonverterek leszármazottjaként is említhető direkt mátrix konverterek biztosítják a legnagyobb szabadságot vezérlés tekintetében, hiszen a kimenet minden egyes fázisát közvetlenül a bemenet akármelyik fázisához kapcsolhatjuk.

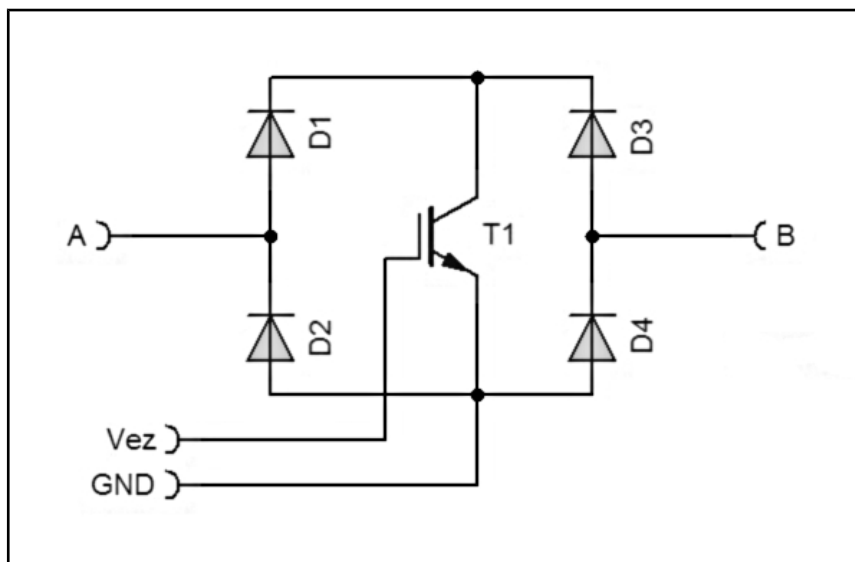
Az iparban való széleskörű elterjedését a mátrix konvertereknek két fő tényező hátráltatja. Egyrészt az a realitás, hogy nincs diszkrét, a célnak tökéletesen megfelelő kétirányú kapcsolóelem, csupán több, egyirányú félvezetőkből felépített egység, amely a veszteségek, valamint a könnyű megvalósíthatóság szempontjából nagy hátrányt jelent. Emellett - az invertereknél is jelen lévő, szabad áramutat biztosító diódák hiányából kifolyólag - komoly gondot okoz a biztonságos kommutáció megvalósítása. Ugyan számos, relatíve jól működő megoldás létezik, azonban ezek közül egy sem teljes értékű.



1.ábra Háromfázisú direkt mátrix konverter sematikus kapcsolási rajza

KÉTIRÁNYÚ KAPCSOLÓELEM MEGVALÓSÍTÁSOK ^{[1][2][3]}

Diódahidas AC kapcsolóelem

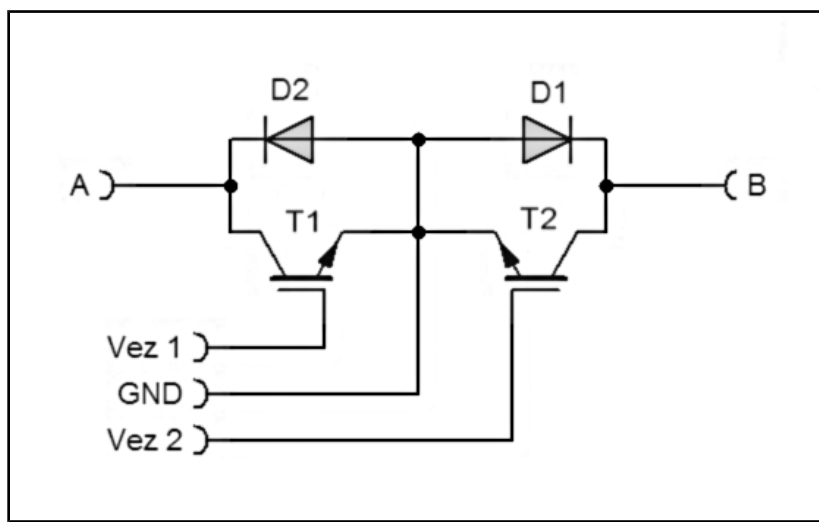


2.ábra Diódahidas AC kapcsolóelem kapcsolási vázlata

Négy darab dióda (D1 . . . D4), valamint egy tranzisztor szükséges ezen diódahidas kapcsolóelem megvalósításához, amelynél a T1 tranzisztor vezérlése esetén, a kapcsolás felépítéséből adódóan mindkét irányú áram (A ⇒ B, valamint B ⇒ A) engedélyezett, azokat nincs lehetőségünk külön - külön vezérelni.

Veszteségek tekintetében a kapcsolóelemen a tranzisztoron eső feszültség mellett még két dióda nyitóirányú feszültségese is megjelenik, amelynek következtében lényegesen rosszabb hatásfokkal rendelkezik, mint például a közös emitteres, vagy közös kollektoros kapcsolóelem.

Közös emitteres AC kapcsolóelem



3.ábra Közös emitteres AC kapcsolóelem kapcsolási vázlatja

A kapcsolóelem előnye, hogy csupán egy darab független tápfeszültségre van szüksége a meghajtó áramkörnek (legyen az akár két darab egycsatornás, vagy egy kétcsatornás IC, hiszen a két tranzisztor emitter pontja közös), emellett az áramirányok egymástól független módon engedélyezhetőek, vagy tilthatóak.

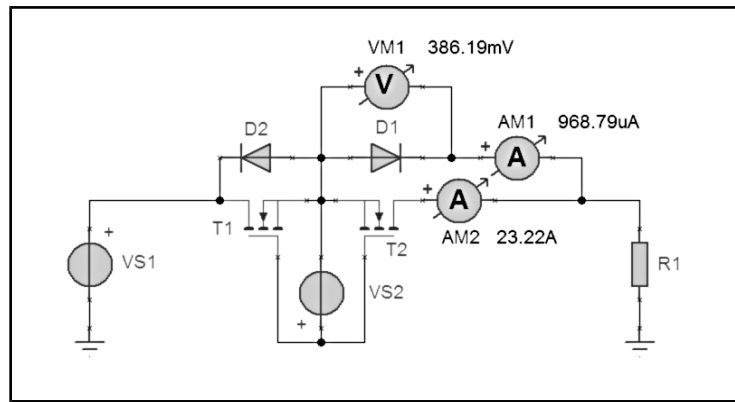
Veszteségét tekintve különbséget kell tennünk közöttük, hogy a vezérelt félvezetők IGBT - k, vagy MOSFET - ek. Előbbi esetben, vezérlés mellett az IGBT szaturációs feszültségén felül egy dióda nyitófeszültség is esik a kapcsolón, vagyis annak eldisszipált veszteségi teljesítménye minden pillanatban:

$$P_{SW} = |I_{AB}| * (U_{CEsat} + U_D)$$

MOSFET - ek alkalmazása mellett viszont, abban az esetben, ha üzemszerűen mindkét tranzisztort vezéreljük, addicionális előnyre teszünk szert, mivel így az I_{AB} áram a tranzisztorok inverziós rétegein (csatornáin) keresztül fog folyni, ami kellően alacsony R_{DSon} értékű FET - ek használata mellett alacsonyabb veszteséget eredményez, mintha ugyanez az áram egy tranzisztoron és egy diódán keresztül folyna.

Ezen módszer alkalmazása gyakori a szinkron kapcsolóüzemű DC - DC átalakítók területén. Ezek értelmében a kapcsoló vesztesége minden pillanatban:

$$P_{SW} = I_{AB}^2 * (2 * R_{DSon})$$

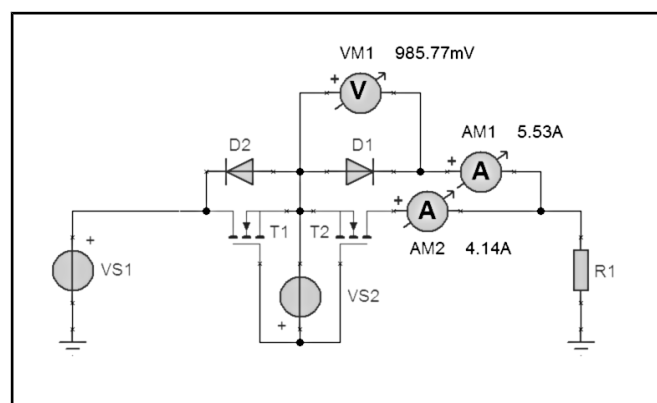


4.ábra Vezérelt IRFZ44N MOSFET inverziós rétegének használata

$$U_{DS} = 55V \quad I_D = 41A \quad R_{DSon} = 17.5m\Omega (25C^\circ)$$

Ez a kedvező hatás egészen addig érvényesül, míg az átfolyó áram hatására a MOSFET drain - source ellenállásán eső feszültség el nem éri az alkalmazott diódák nyitófeszültségét, ekkor ugyanis két áramvezetési útvonal alakul ki, és az áram megoszlik a két félvezető elem között (5.ábra).

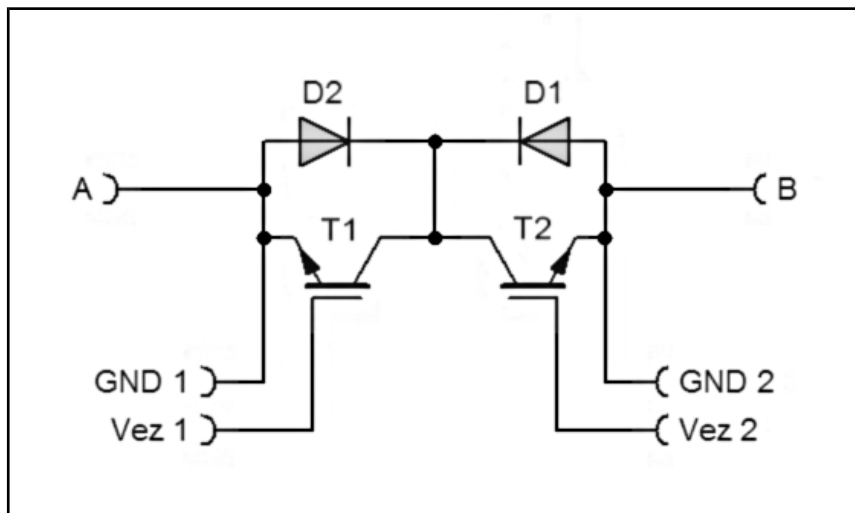
A mátrix konvertereknél is alkalmazható, magasabb feszültségosztályú, FET - ek drain - source ellenállásai tipikusan ohmos nagyságrendűek, így gyakorlatilag már nagyon kis értékű terhelőáram mellett is kinyitnak a kapcsolóelemek diódái. A veszteségek ilyen módon történő csökkentésére megoldást nyújtanak a szilícium - karbid (SiC) alapú teljesítménytranszisztorok, amelyek 1000 - 1200V feszültségtűrés mellett is igen alacsony (<100mΩ) R_{DSon} értékekkel rendelkeznek.



5.ábra Vezérelt IRFP460 MOSFET inverziós rétegének használata

$$U_{DS} = 500V \quad I_D = 20A \quad R_{DSon} = 270m\Omega (25C^\circ)$$

Közös kollektoros kapcsolóelem

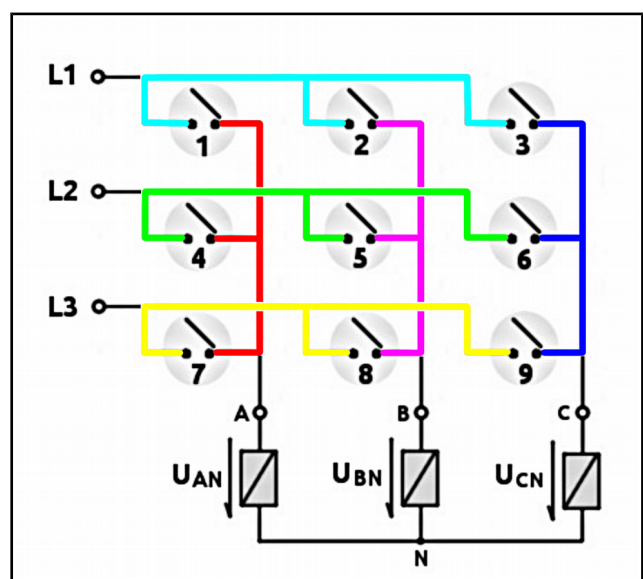


6.ábra Közös kollektoros AC kapcsolóelem kapcsolási vázlata

Szinte ugyanazon tulajdonságok jellemzik, mint a közös emitteres változatot, annyi különbséggel, hogy ebben az esetben két darab független tápfeszültség szükséges a meghajtók számára. Ez logikátlanak tűnhet, viszont ezzel a megoldással egy háromfázisú direkt mátrix konverterhez elegendő mindösszesen hat darab izolált segéd tápegység, míg közös emitteres kapcsolóelemeket alkalmazva kilenc darabra lenne szükség (az 5.ábrán ellenőrizhető az előbbi feltevés hitelessége: az egy sorban elhelyezkedő kapcsolóelemek hálózat felőli oldalai soronként azonos potenciálon vannak, illetve az egy oszlopban lévő kapcsolók terhelés felőli oldalai úgyszintén).

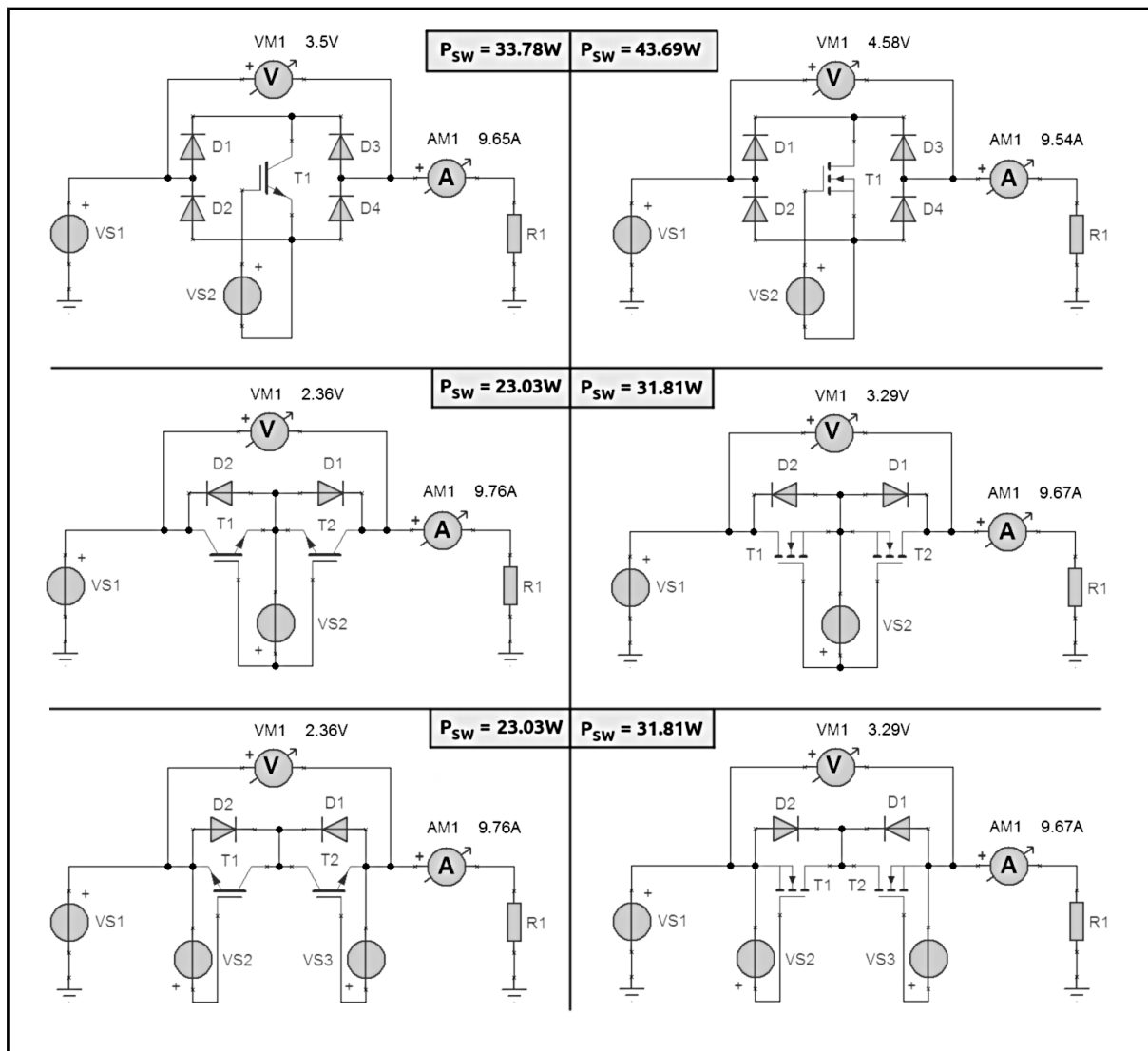
Közös kollektoros kapcsolóelem esetében is használható megoldás a FET - ek inverziós rétegeinek igénybevétele source \Rightarrow drain irányú áram vezetésére, emellett az esetlegesen előforduló hibás kommutációk hatásai ellen védő, úgynevezett active clamp áramkör implementálása is lényegesen egyszerűbbé válik.

A következőkben a diódahidas, a közös emitteres, valamint a közös kollektoros kétirányú kapcsolóelemek veszteségeinek összehasonlítása szerepel, azonos kondíciók (üzemi hőmérséklet, tápfeszültség, terhelés) mellett.



7.ábra Azonos potenciálú pontok szemléltetése háromfázisú direkt mátrix konvertereknél

Veszteségek összehasonlítása



8.ábra Kétirányú kapcsolóelemek veszteségeinek összehasonlítása

Minden esetre érvényes, hogy VS1 tápforrás 100V egyenfeszültséget szolgáltat, R1 terhelő ellenállás pedig 10Ω értékű. VS2, VS3 a kapcsolóelemek vezérlésére szolgáló, 15V feszültséget biztosítja. A félvezetők jellemzői 60C° üzemi hőmérsékleten kerültek modellezésre, melyek releváns katalógusadatait az alábbi táblázat foglalja össze:

Komponens megnevezése	Főbb tulajdonságok
IXGH24N60B IGBT	$V_{CE} = 600V$ $I_C = 48A$ $V_{CEsat} = 2.3V (24A, 25C^\circ)$
IRFP460 MOSFET	$V_{DS} = 500V$ $I_D = 20A$ $R_{DSon} = 0.27\Omega (12A, 25C^\circ)$
MUR1560G Ultrafast diode	$V_R = 600V$ $I_{F(AV)} = 15A$ $V_F = 1.5V (15A, 25C^\circ)$

KOMMUTÁCIÓS MEGOLDÁSOK ÉS VÉDELEM ^{[4] [5] [6]}

Kommutáló induktivitásokkal segített egyszerű kommutáció

Direkt mátrix konverter esetén az elsőként ismertetett, diódahidas AC kapcsolóelemeket alkalmazva a biztonságos kommutációt kizárólag a bemeneti oldalon elhelyezett kommutáló induktivitásokkal lehet megvalósítani, amikor is eljutunk a "make before break" vagy "break before make" dilemmájához, vagyis hogy először az újonnan belépő fázishoz - bemenetekről beszélünk - tartozó tranzisztort kapcsoljuk be, majd a kilépő fázis tranzisztorát kapcsoljuk ki, vagy fordítva. Előbbi esetben a vonali zárlat kialakulásának veszélye igen jelentős, míg utóbbinál a kimeneti oldal induktív körének hirtelen megszakadása.

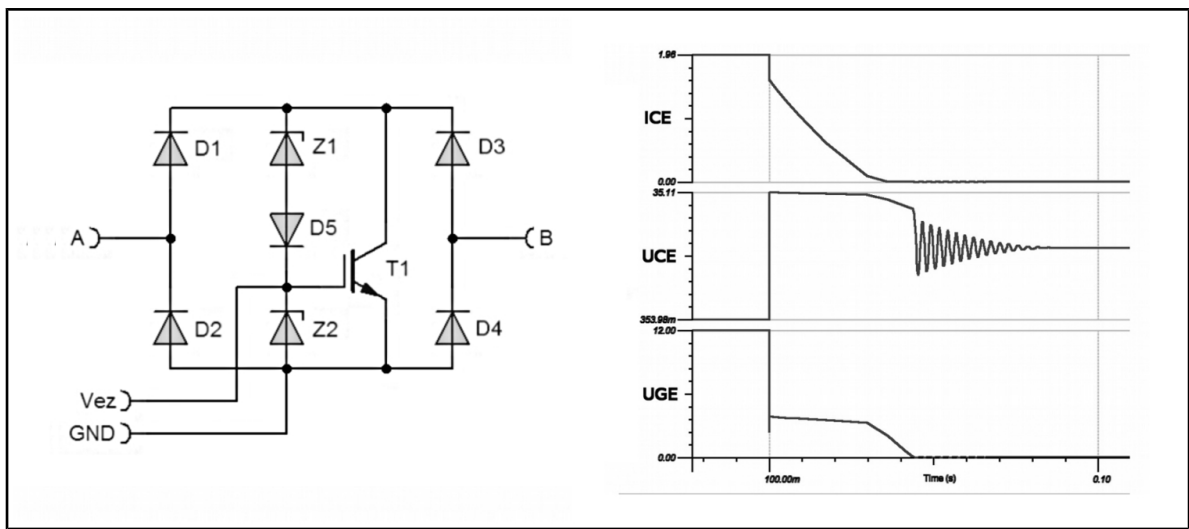
Tekintve, hogy nincs tökéletesen egyszerre záró és nyitó kapcsolóelem, ezért valamiféle megoldást kell találni a bemenő oldali zárlat, vagy a kimenő kör szakadása által okozott negatív hatások kiküszöbölésének érdekében.

A "break before make" koncepciót választva helyi snubberekkel elfogadható értékűre csökkenthető az ideális esetben jóval kevesebb, mint $1\mu\text{s}$ ideig megszakadt induktív kör által okozott feszültségimpulzus, viszont a módszernek egyéb előnyei nincsenek.

Amennyiben a "make before break" sémát alkalmazzuk, azzal több előnyre is szert tehetünk, nevezetesen, hogy vezérlés szempontjából egyszerre kiadható az újonnan belépő fázis tranzisztorának vezérlőjele, és vehető el a kilépő fázis tranzisztoráé, amivel maga a vezérlés egyszerűbbé válik. A zárlati áramok kialakulásának elkerülésére való törekvés értelmében a bemenő oldalra fázisonként kommutáló induktivitásokat helyezünk el, amelyek amellet, hogy a fő feladatukat ellátják (a rövidrezárt fázisok árama csak lassan növekszik), elősegítik a mátrix konverter hálózat oldali feszültségérzékelőinek zavarmentes működését, valamint a kapcsolási frekvenciából adódó felharmonikus tartalmat is csökkentik.

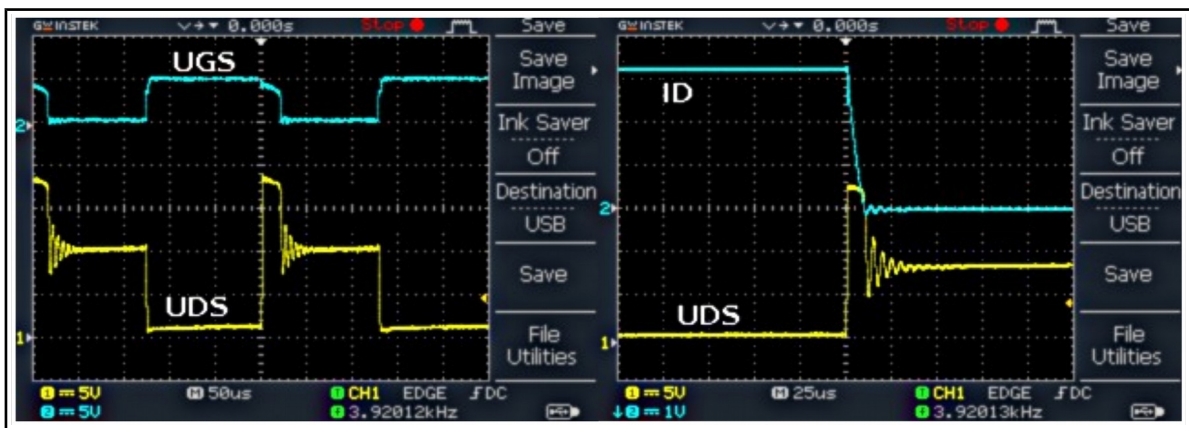
A bemenő oldali kommutáló induktivitások beiktatását követően egy dologról még gondoskodni kell, mégpedig a kilépő fázis tranzisztorának kikapcsolásakor létrejövő, kilépő fázis kommutáló induktivitása által okozott feszültségimpulzusról.

Az impulzus csúcserőjét csökkenthetjük snubber körrel is, viszont elegánsabb megoldásként kínálkozik a feszültség aktív módon történő határolása (active clamp) oly módon, hogy a kapcsolóelem kollektor - emitter feszültsége a kikapcsolást követően egy Zener dióda által meghatározott feszültség szintet átlépve nyitva tartja a tranzisztort, így az az ohmos tartományban még átengedi a kommutáló induktivitás áramát.



9.ábra Diódahidas AC kapcsolóelem "active clamp" áramkörrel kiegészítve

A 9.ábra jobb oldalán található időfüggvényeken látszik, hogy 100ms - nál történt a kikapcsolás az U_{GE} vezérlőfeszültség 12V - ról 0V - ra történő átkapcsolásával. A kommutáló induktivitás árama a növekvő kollektor - emitter ellenállás hatására növelte annak feszültségét, egészen addig, míg a Z1 jelzésű, 30V - os Zener, valamint a vele sorba kapcsolt D5 dióda ki nem nyitott (a határolási feszültség pontos meghatározásához figyelembe kell venni többek között a tranzisztor $U_{GE(th)}$ feszültségét is). A kommutáló induktivitás áramának lecsengése után a gate - emitter feszültség lecsökken, így a tranzisztor lezár. Lényeges, hogy a kapcsolóelem melegedésének számításakor figyelembe kell venni az ily módon eldisszipált többlet veszteségi teljesítményt is.

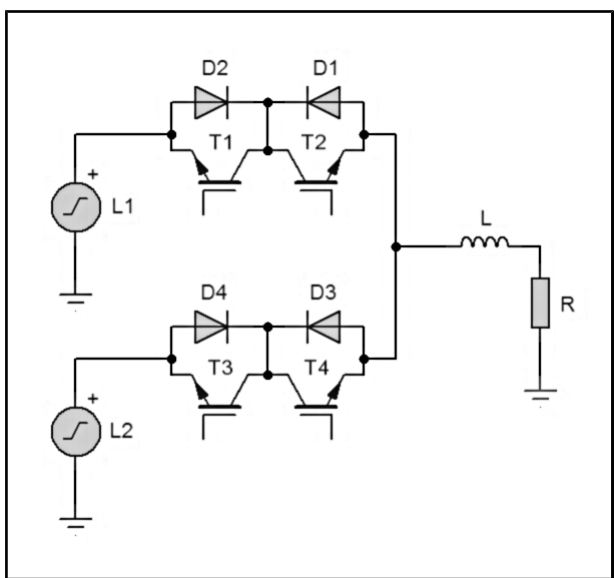


10.ábra "Active clamp" védelem megvalósítása diódahidas MOSFET kapcsolóelemmel

Amennyiben a közös kollektoros, vagy közös emitteres kapcsolóelemet választjuk, ahol az áramirányok külön engedélyezhetőek, akkor más lehetőségünk is adódik a biztonságos kommutáció végrehajtására kommutáló induktivitások, feszültség határoló áramkörök, és snubber körök nélkül is.

A legismertebb kommutációs módszerek a néglépéses, valamint az egyszerűsített kétlépéses biztonságos kommutáció. Mindkét módszer alkalmazásához szükséges a kimeneti áramok irányainak (kétlépéses kommutációnál azok pontos értékeinek) ismerete.

Néglépéses kommutáció



11.ábra Négy- és kétlépéses kommutációt demonstráló kapcsolás

Feltételezzük, hogy a terhelés I_{ki} kimenő árama pozitív, és az L1 fázisról érkezik D2 és T2 félvezetőkön keresztül. Ebben az állapotban az L1 fázishoz tartozó mindkét tranzisztor vezérelve van. A kimenet átkapcsolása az L2 fázisra a következőképpen megy végbe: T1 tranzisztort lezárjuk, ezzel az első lépéssel az L1 fázishoz tartozó kapcsolóelemen csak a kimenet felé folyhat áram. Második lépésként T4 tranzisztor bekapcsolása következik. Ebben az állapotban vonali áram nem folyhat a kapcsolóelemeken, hiszen mindkettő csak a kimenet felé engedi az áramot. Amennyiben az L2 fázis pillanatnyi feszültsége nagyobb, mint az L1 fázisé, úgy D2

dióda lezár, és a terhelés I_{ki} árama most már L2 fázis felől érkezik. Ha L2 fázisfeszültség kisebb értékű, mint L1, abban az esetben D4 dióda egészen addig zárva tart, míg el nem érkezünk a harmadik lépésig, ami a T2 tranzisztor kikapcsolása. Ekkor a kommutáció lényegi része már végbement, utolsó lépésként T3 tranzisztor bekapcsolása történik meg.

Kimenő áram iránya	Kommutációs lépések
Hálózat ⇒ Terhelés	T1 ki ⇒ T4 be ⇒ T2 ki ⇒ T3 be
Terhelés ⇒ Hálózat	T2 ki ⇒ T3 be ⇒ T1 ki ⇒ T4 be

Kétlépéses Kommutáció

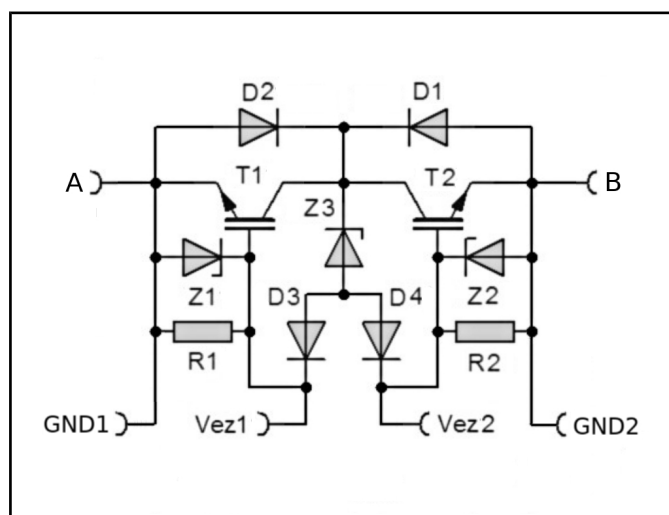
A kétlépéses biztonságos kommutáció annyiban tér el a néglépésestől, hogy a kimenő áram pillanatnyi értéke is szükséges a vezérlés számára. Ennél a módszernél (amelyet szokás "Inter - swich commutation" - ként is feltüntetni) meghatározunk a kimeneti áramra egy szimmetrikus $\pm I_{ki(th)}$ küszöbáramot, amely érték fölött az adott fázis kimenet felé vezető tranzisztorai, a negatív küszöb alatt a hálózat felé vezető tranzisztorai, míg a két küszöbáram között mindkét irány tranzisztorai aktívak. Amennyiben a kommutáció a két küszöbszint közötti kimeneti

áramnál lenne esedékes, úgy két lehetőségünk adódik: vagy várunk addig, míg az áram átlépi az egyik küszöbszintet, vagy pedig ideiglenesen áttérünk a néglépéses kommutációra. Az inter - switch kommutáció előnye, hogy gyorsabb, hiszen a néglépéses módszer első és utolsó lépéseit csak $\pm I_{ki(th)}$ közötti kimenő áramoknál kell elvégezni, viszont egyes esetekben, amikor az alacsony terhelés következtében a kimeneti áram értéke csekély, bizonytalanná válhat a működés.

Kimenő áram jellege	Kommutációs lépések
Hálózat \Rightarrow Terhelés $I_{ki} > +I_{ki(th)}$	T4 be \Rightarrow T2 ki
Hálózat \Rightarrow Terhelés $I_{ki} < +I_{ki(th)}$	T1 ki \Rightarrow T4 be \Rightarrow T2 ki \Rightarrow T3 be
Terhelés \Rightarrow Hálózat $I_{ki} > -I_{ki(th)}$	T2 ki \Rightarrow T3 be \Rightarrow T1 ki \Rightarrow T4 be
Terhelés \Rightarrow Hálózat $I_{ki} < -I_{ki(th)}$	T3 be \Rightarrow T1 ki

Mind a néglépéses, mind pedig a kétlépéses kommutációnál kiemelt gondot kell fordítani a kimenő áramérzékelők jelvezetékeinek minél jobb árnyékolásáról, szűréséről, mivel az esetleges pillanatnyi zavarok miatt nem megfelelő sorrendben megkezdett kommutációs lépések következtében a kimeneti induktív kör megszakad, ami szélsőséges esetekben magával vonja az adott kimeneti fázishoz tartozó kapcsolóelemek tönkremenetelét.

Active clamp áramkör kiterjesztése közös kollektoros kapcsolóelemre

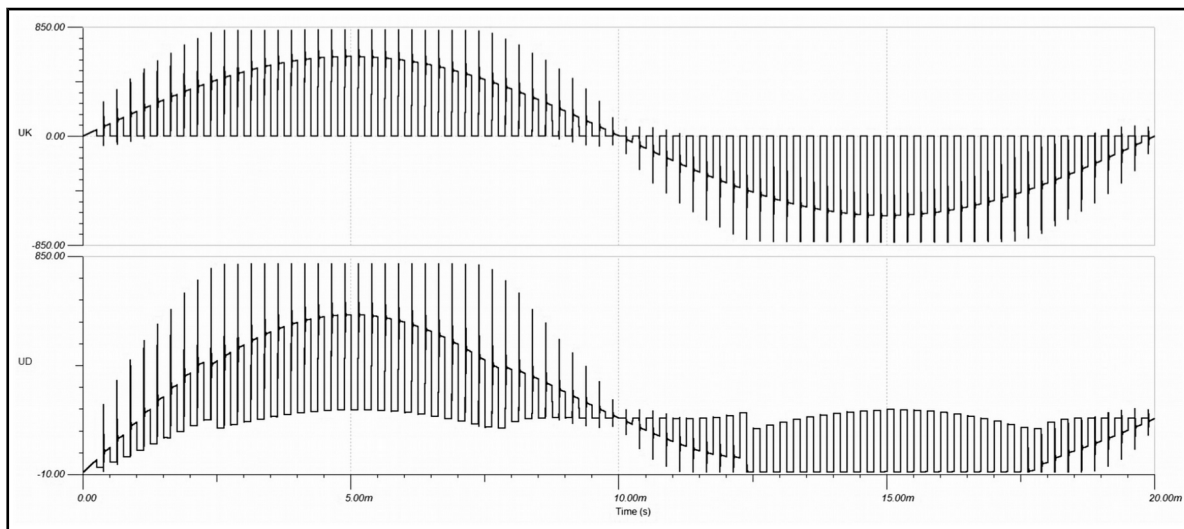


12.ábra Védelmi áramkörrel ellátott, közös kollektoros kapcsolóelem

T1, T2 IGBT - k, valamint D1 és D2 diódák képezik az alapot a közös kollektoros kétirányú kapcsolóelemnek. A maximális feszültség, amit el kell viselniük ezen félvezetőknek, az a hálózati vonali feszültség, ami legfeljebb $563V * 1.1 \approx 620V$ értékű, ezért érdemes 1000V, vagy 1200V feszültségosztályú félvezetőket alkalmazni. Az U_{GE} gate - emitter vezérlőfeszültség maximális értéke tipikusan $\pm 20V$, ezért védelmi okokat szem előtt tartva Z1 és Z2 egyaránt 18V - os Zener diódák. R1 és R2 lehúzó ellenállások célja biztosítani, hogy amennyiben a meghajtó áramkör

és a kapcsolóelem között nagyobb a fizikai távolság, úgy a vezérlőjel vezetékei által begyűjtött zavarjelek még véletlenül se tudják kinyitni az adott kapcsolóelemet.

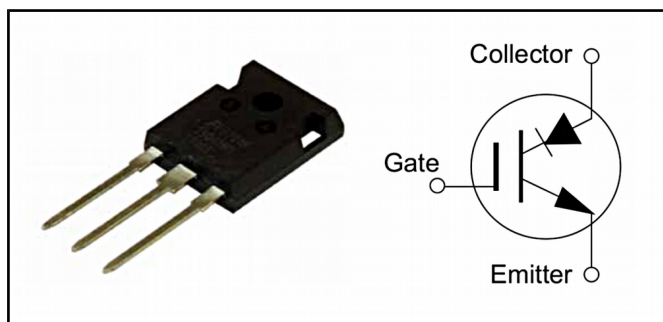
Z3 Zener, illetve D3, D4 diódák a védelmi áramkör részei. Utóbbiak a két IGBT egymástól független módon történő vezérlését teszik lehetővé. Méretezésüknél fontos szem előtt tartani, hogy üzemszerűen ki kell bírniuk záróirányban az áramkör határolási feszültségét, ahogyan ez az alábbi ábrán is látszik:



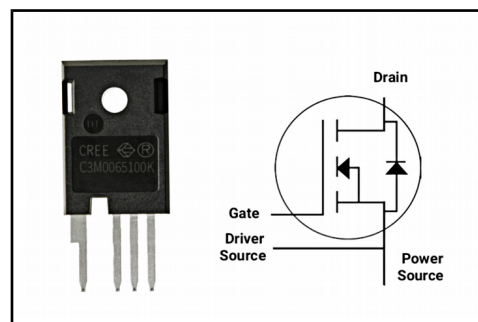
13.ábra Kétirányú kapcsolóelem (UK), valamint az active clamp egy diódájának (UD) feszültsége

HATÁSFOK JAVÍTÁSÁRA SZOLGÁLÓ FEJLESZTÉSEK

A vezérelt félvezetők számunkra releváns üzemi tulajdonságainak javítására törekvő fejlesztések két főbb vonalát képviseli a reverse blocking IGBT (RB - IGBT), valamint a szilícium - karbid alapú (SiC) MOSFET. Míg előbbinél a monolitikus módon lapkára integrált dióda segítségével egy szimmetrikus feszültségtűrésű alkatrészt kapunk (amely záróirányban szokványos diódaaként funkcionál), addig a szilícium - karbid MOSFET - eknél a speciális anyaghasználat eredményez kedvezőbb tulajdonságokat a hagyományos, szilícium alapú FET - ekhez képest.



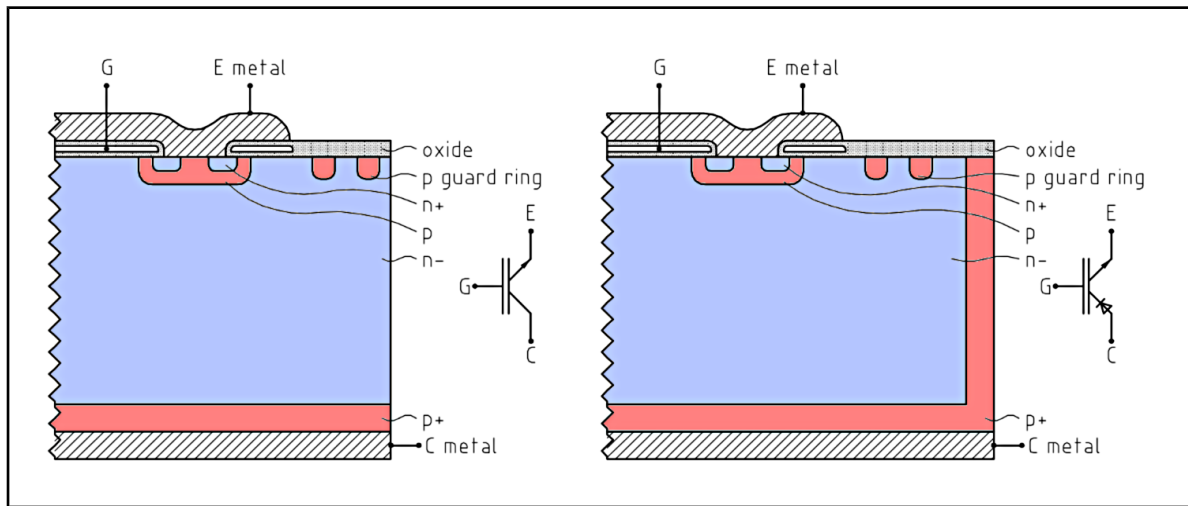
14.ábra Fuji FGW85N60RB
Reverse Blocking IGBT^[7]



15.ábra CREE C3M0065100K
SiC MOSFET^[8]

RB - IGBT ^{[9] [10] [11]}

A reverse blocking IGBT kifejlesztésének mozgatórugóját leginkább az olyan típusú alkalmazások jelentették, ahol valamilyen tekintetben kedvező kimenettel jár a visszáram megakadályozása, az addicionális veszteségek minimalizása mellett. Ilyen alkalmazások például az áraminverterek, indukciós hevítésre használatos rezonáns áramkörök, valamint a kétirányú kapcsolóelemekkel megvalósított kapcsolások, mint a mátrix konverter, vagy az AC PWM átalakítók.



16.ábra Hagyományos IGBT (balra) és RB - IGBT (jobbra) felépítése ^[11]

Felépítését tekintve a hagyományos IGBT - k alsó $p^+ n^-$ rétegei kiürülnek ugyan, azonban a széleken a töltések változatlanul áramolhatnak, aminek következtében az eszköz nem képes jelentős emitter - kollektor feszültséget elviselni átütés nélkül. Izolációs diffúzió eljárással elérhető, hogy a P^+ réteg körbevonja az N^- réteget egészen az oxid rétegig, ahogyan az a 17.ábra jobb oldalán is látható. Ily módon a P - N átmenet (amely egyébként is részét képezi az IGBT - nek) megfelelően lezárva teljes értékűvé válik, mintegy dióaként funkcionálva a lapkán belül úgy, hogy a nyitóirányú jellemzőket minimális mértékben változtatja meg.

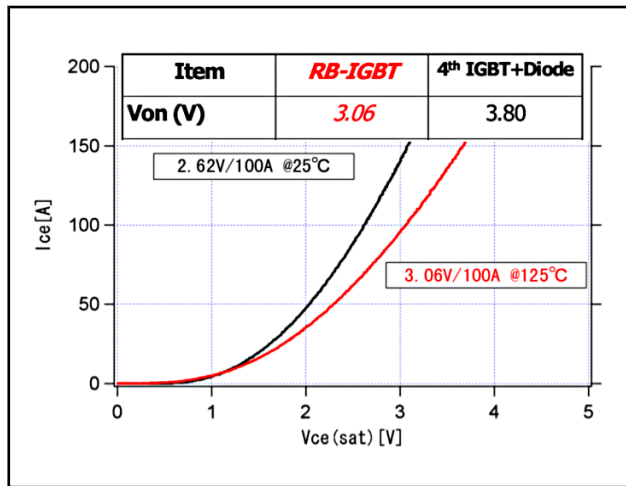
Nyitóirányú jellemzők ^[9]

A Powerex Incorporated, valamint a Mitsubishi Electric fejlesztői által közzétett tanulmányban szereplő 1200V / 100A RB - IGBT modulon 100A átfolyó áram, és 125°C lapkahőmérséklet esetében 3.06V feszültségesés jelentkezik, amely érték lényegesen alacsonyabb a negyedik generációs IGBT és egy vele sorba kapcsolt dióda kombináció esetén (azonos körülmények között) mért 3.8V feszültségénél.

Katalógusbarát 25°C lapkahőmérséklet mellett pedig az RB - IGBT modul szaturációs feszültsége 2.62V, szintén 100A kollektoráram mellett, ami azt a tényt igyekszik alátámasztani, hogy a monolitikus dióda nem befolyásolja számottevően a nyitóirányú jellemzőket.

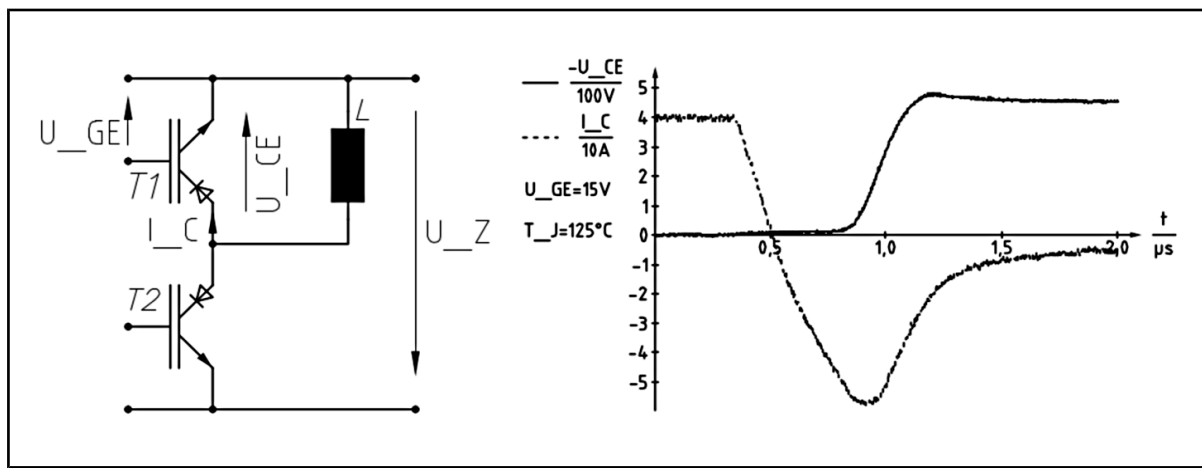
Kikapcsolási jellemzők^[11]

A megnövekedett felületű P - N átmenet következtében a reverse blocking IGBT jellemző Q_{rr} tárolt töltése, és ezzel együtt t_{rr} szabaddáválási ideje is nagyobb, összehasonlítva azokat a normál IGBT - k azonos paramétereivel. A lapkára integrált dióda egy konvencionális egyenirányító diódának felel meg, viszont attól valamivel előnyösebb kapcsolási jellemzőkkel rendelkezik, ami lehetővé teszi az RB - IGBT félvezetők alkalmazását néhány kHz - es kapcsolási frekvenciákon.



17.ábra 1200V / 100A RB - IGBT szaturációs feszültsége^[9]

A 18.ábrán egy kapcsolási jellemzők mérésére használt kapcsolás látható, ahol T1 tranzisztor folyamatos vezérlése mellett T2 bekapcsolásakor ez utóbbi az L induktivitás 40A értékű áramát átveszi, zárásra kényszerítve ezzel T1 - et. Összességében tehát elmondható, hogy a P - N átmenet jelentős tárolt töltésmennyiségének csökkentése további fejlesztések, optimalizálások tárgyát képezi.



18.ábra Kikapcsolási jellemzők mérésére szolgáló kapcsolás és időfüggvényei^[11]

Vezérlés

Mivel gate oldalról nem történt érdemi változás, így az RB - IGBT vezérlésére is ugyanazon paraméterek jellemzőek, mint a normál IGBT - k esetében. Katalógus alapján a megengedett U_{GE} vezérlőfeszültség maximális értéke jellemzően $\pm 20V$, a relatíve magas gate - emitter threshold feszültség miatt általában +15...18V, 0V jelszintek megfelelőek, ám ez erősen alkalmazásfüggő.

SiC MOSFET ^{[12] [13] [14] [15]}

A magasabb feszültségosztályú, hagyományosnak mondható MOSFET - ek tipikusan ohmos nagyságrendű R_{DSon} drain - source ellenállásának következtében az olyan teljesítményelektronikai alkalmazásokból, ahol 900V fölötti feszültség szintek jellemzőek, gyakorlatilag kiszorultak. Megfelelő kialakítással, optimalizálással elérhető ugyan relatíve alacsony R_{DSon} érték 900V fölött is, viszont ezen alkatrészek jóval drágábbak, mint a hasonló paraméterekkel rendelkező IGBT - k. Ez utóbbiak ugyan alacsonyabb kapcsolási frekvenciákon (10 ... 20kHz) üzemeltethetők a kikapcsoláskor jelentkező farokáramból (current tail) adódó magasabb kapcsolási veszteségek miatt, ám feszültségtűrés tekintetében megszokottnak mondhatóak az 1kV és 1.2kV U_{CE} értékek.

Üzemi jellemzők ^[14]

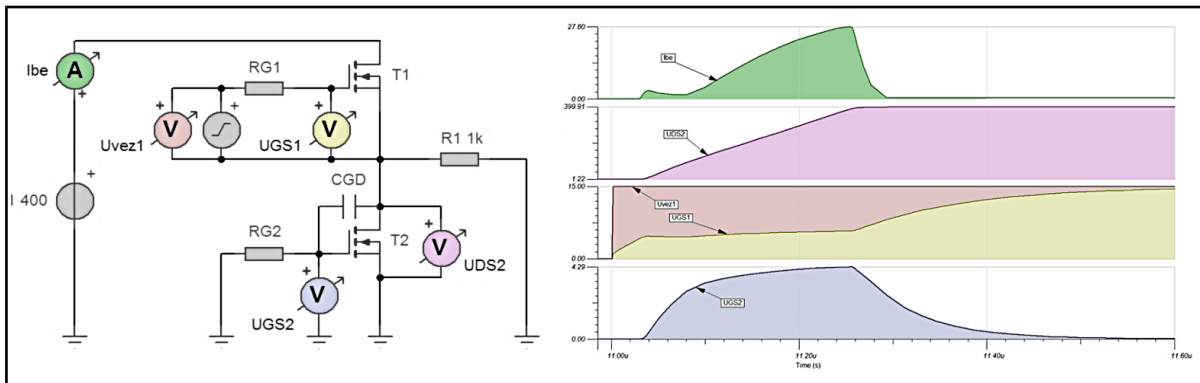
A szilícium - karbid MOSFET - ek legfőbb előnye az alacsony R_{DSon} érték, magasabb feszültségosztály esetén is (jellemzően kevesebb, mint 100m Ω , 1.2kV U_{DS} mellett). Szerkezeti felépítéséből adódóan alacsonyabb szórt kapacitás jellemző rá (amely magával vonja a gyorsabb be- és kikapcsolási sebességet, mivel az összes gate töltés egy nagyságrenddel kisebb, mint a hasonló paraméterekkel rendelkező Si MOSFET - eknél), ennek ellenére az eszköz meredeksége kisebb a hagyományos, szilícium alapú társainál, aminek következtében nagyobb U_{GS} vezérlőfeszültség szükséges a kellően alacsony drain - source ellenállás biztosításához.

Fontos megemlíteni, hogy a SiC MOSFET - ek R_{DSon} értéke 25 $^{\circ}$ \Rightarrow 125 $^{\circ}$ réteghőmérséklet között sokkal kisebb mértékben változik, mint Si MOSFET - ek esetében. Mindkét eszköz pozitív hőfoktényezőjű, azonban míg a szilícium alapú MOSFET - ek 125 $^{\circ}$ hőmérsékleten mért drain - source ellenállása több, mint kétszerese az $R_{DSon}(25^{\circ})$ értéknek, addig ez a paraméter SiC MOSFET - ek esetében csupán megközelítőleg 25% - kal nagyobb.

A MOSFET - ekre jellemző, S \Rightarrow D irányban vezető dióda (body diode) változatlanul jelen van SiC MOSFET - ek esetén is, ami magától értetődően szilícium - karbid dióda, és mint olyan, jellemzően magasabb U_D nyitóirányú feszültségűvel, valamint lényegesen alacsonyabb Q_{rr} zárásleltetési töltésmennyiséggel rendelkezik a hagyományos MOSFET - ek azonos paramétereire viszonyítva.

Vezérlés ^{[13] [14]}

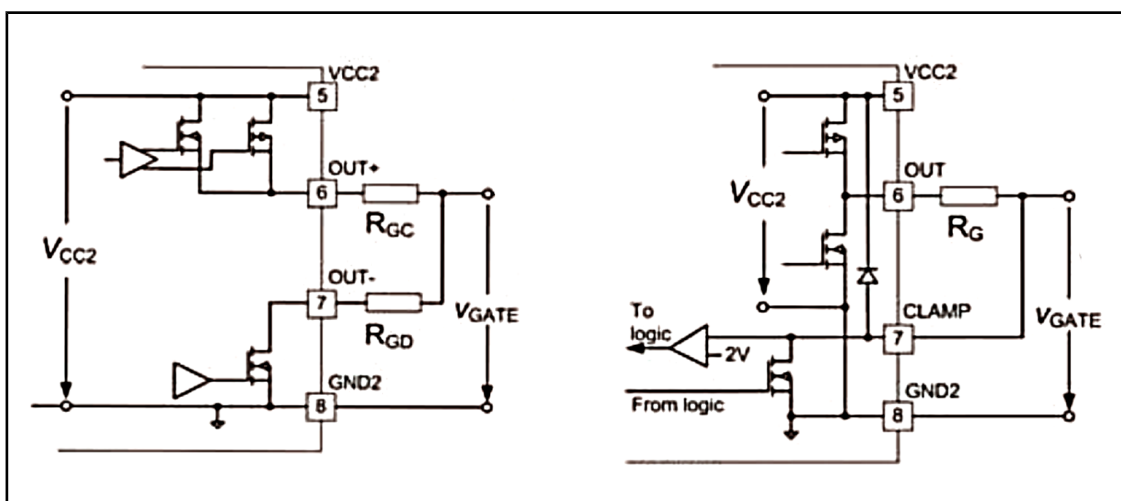
A relatíve alacsony U_{Gsth} threshold feszültségnek (1.5 ... 3V), valamint a kevesebb idő alatt végbemenő kapcsolási tranziensek során adott esetben előforduló magas dU/dt értékek miatt kiemelt gondot kell fordítani a megfelelő meghajtó áramkör kiválasztására annak érdekében, hogy biztonságosan ki tudjuk használni a szilícium - karbid MOSFET - ek előnyös tulajdonságait. Egy optimálisan méretezett meghajtó és SiC MOSFET kombinációhoz képest egy hasonló paraméterekkel rendelkező IGBT megközelítőleg tízszer akkora kapcsolási veszteséggel üzemel.



19.ábra Szórt kapacitások hatásainak szemléltetése Si MOSFET félhíd kapcsolásban

A 19.ábrán egy teljesítményelektronikai alkalmazásokban viszonylag gyakori félhíd kapcsolás látható, ahol jelen esetben csak T1 tranzisztort vezéreljük. A bekapcsolás során T2 tranzisztor U_D feszültsége hirtelen növekedni kezd, ami a C_{GD} szórt kapacitáson keresztül egyidejűleg bekapcsolásra kényszeríti T2 MOSFET - et is, és zárlati áramnak megfelelő áram folyik a félvezetőkön. Nyilvánvaló, hogy minél alacsonyabb a T2 tranzisztor gate - source threshold feszültsége, és minél nagyobb a tápfeszültség, annál körültekintőbben kell eljárni a meghajtás módjának kiválasztása terén.

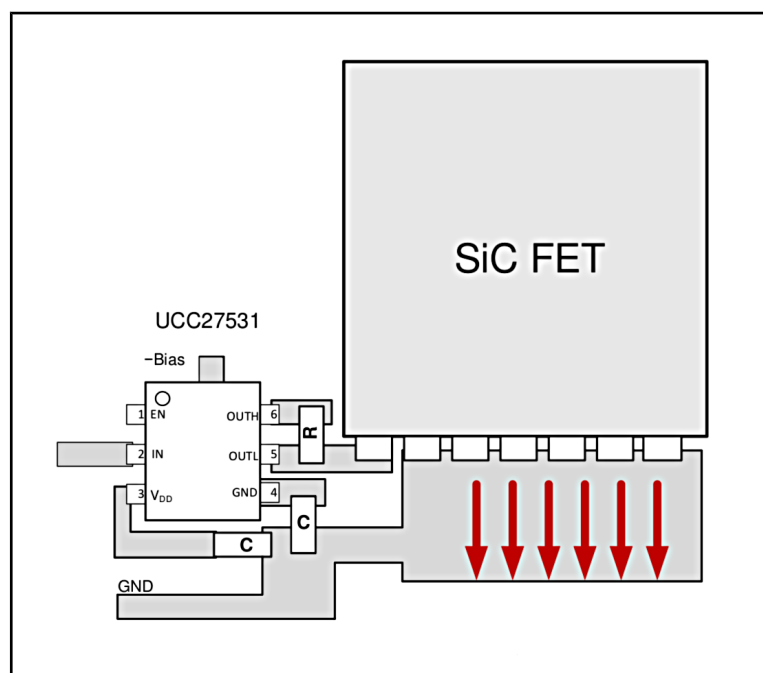
A nem kívánt bekapcsolás elkerülésére több lehetőség kínálkozik, melyek közül a két leginkább elterjedt az elkülönített kimenettel rendelkező meghajtók, valamint az "active Miller clamp" megoldás használata (20.ábra). Előbbi esetben kikapcsolás során negatív U_{GS} vezérlőfeszültség alkalmazása célszerű, amely SiC MOSFET - ek esetén -2 ... -5V értékű. Bekapcsolás során a FET gate kapacitásai R_{GC} ellenálláson keresztül töltődnek, míg kikapcsolás során a töltések egy jóval kisebb értékű $R_{GD} - n$ (néhány ohm) keresztül távoznak onnan. A bemenetre adott magas jelszint esetén természetesen a meghajtó IC kimeneti alsó tranzisztora tiltva van, és vice versa.



20.ábra Elkülönített kimenettel rendelkező meghajtó (balra), valamint "active Miller clamp" megoldást alkalmazó meghajtó (jobbra) felépítése^[13]

Active Miller clamp áramkörrel rendelkező meghajtók esetén a "clamp" láb közvetlen módon az U_{GS} feszültséget figyeli, és amint az 2V alá csökken, a MOSFET gate lába földpotenciálra kerül egy lehúzó tranzisztoron keresztül.

Mint minden magasabb kapcsolási frekvencián üzemelő teljesítményelektronikai alkalmazásban, úgy ez esetben is kiemelt fontossággal bír az áramkör fizikai megvalósításánál az áramköri elemek megfelelő elhelyezése, az optimális eredmények elérése szempontjából. Ennek értelmében célszerű a meghajtó áramkört minél közelebb elhelyezni a vezérelt félvezetőhöz, minimalizálva ezzel a szórt induktivitást, és elfogadható értékűre csökkentve a kapcsolási tranziensek során létrejövő, lecsengő oszcillációt (ringing).



21.ábra UCC27531 SiC MOSFET meghajtó IC javasolt elhelyezése^[14]

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben bemutatásra kerültek a direkt mátrix konverterekben is használható, konvencionálisnak mondható félvezetőkből felépülő kétirányú kapcsolóelemek, azok védelmi áramkörei, ezt követően az RB - IGBT és SiC MOSFET jellemzőinek bemutatásával ezen két aktuális fejlesztési vonal került ismertetésre. Mindkét eszköz magasabb feszültségszintű, kapcsolóüzemű alkalmazásokban használatos, azonban elmondható, hogy az RB - IGBT jelentős Q_{rr} tárolt töltéséből, és a bipoláris jellegű kimenetből adódó magasabb kapcsolási veszteségek miatt csak alacsonyabb kapcsolási frekvenciákon használható megfelelően. Magasabb kapcsolási frekvencia esetén ilyen feszültségszintek mellett egyértelműen a szilícium - karbid alapú MOSFET - ek alkalmazása javasolt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Novel Three-Phase AC-AC Sparse Matrix Converters**
(Johann W. Kolar, Frank Schafmeister, Simon D. Round, Hans Ertl)
- [2] **AC/AC Power Conversion Based on Matrix Converter Topology**
(Siyoung Kim, Seung-Ki Sul, Thomas A. Lipo)
- [3] **Power Electronics handbook 3rd edition**
(Muhammad H. Rashid)
- [4] **Control Techniques for Matrix Converter Adjustable Speed Drives**
(Marco Matteini)
- [5] **A Three-Phase AC/AC Matrix Converter System**
(G.A. Gebrehiwet)
- [6] **New drivers with active clamping for high-power IGBTs**
(Heinz Rüedi, Peter Köhli)
- [7] **Fuji Electric FGW85N60RB datasheet**
(fujielectric.com/products/semiconductor/model/igbt/discrete.html)
- [8] **CREE C3M0065100K datasheet**
(mouser.com/ProductDetail/Wolfspeed-Cree/C3M0065100K)
- [9] **Application Characteristics of an Experimental RB-IGBT Module**
(E.R. Motto, J.F. Donlon, M. Tabata, H. Takahashi, Y. Yu)
- [10] **Application technologies of reverse blocking IGBT**
(Monabu Takei, Akihiro Odaka, Hisashi Fujimoto, Fuji Electric)
- [11] **A New IGBT with Reverse Blocking Capability**
(A. Lindemann, IXYS Semiconductor GmbH.)
- [12] **Application Considerations for Silicon Carbide MOSFETs**
(CREE)
- [13] **A New Gate Driver IC Family that Fits All**
(Infineon)
- [14] **UCC27531 35-V Gate Driver for SiC MOSFET Applications**
(Texas Instruments)
- [15] **Advanced Gate Drive Options for Silicon - Carbide (SiC) MOSFETs using EiceDRIVER™**
(Infineon)

IQRF DPA alapú vezeték nélküli beléptető rendszer szoftverének megvalósítása

Kopják József, Sebestyén Gergely, Mátrai Pál

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki kar, Automatika Intézet

Az elektronika és a biztonságtechnika fejlődésének köszönhetően a védeni kívánt helyiségek illetéktelenektől való megóvása érdekében különféle, egyre nagyobb biztonságot nyújtó beléptető rendszereket fejlesztettek ki. Ezek segítségével egyszerűen lehet korlátozni és ellenőrizni a lezárt területekre való bejutást. A cikk az IQRF DPA protokollal megvalósított, saját fejlesztésű, aszinkron csomagokon alapuló vezeték nélküli beléptető rendszer működésének elemzését és a megvalósítás lépéseinek ismertetését tűzte ki célul. Bevezetéképpen bemutatja az RFID alapú beléptető rendszereket és azok biztonsági szintjeit. Ismerteti a vezeték nélküli beléptető rendszer koncepcióját és előnyeit a vezeték nélküli megoldásokkal szemben. Részletesen bemutatja IQRF DPA protokollt, beleértve a hálózati topológiát. Megmutatja az aszinkron kommunikáció megvalósítását IQRF DPA segítségével. Röviden ismerteti titkosítást és biztonsági megoldásokat.

Bevezetés

A cikkben bemutatjuk a továbbfejlesztési folyamatát a már meglévő, egyetemen fejlesztett beléptető rendszernek. A már rendelkezésre álló rendszer egy RFID alapú, IQRF technológiával megvalósított rendszer. Az IQRF modulok C programozási nyelven megírt kezelő alkalmazásokkal működnek. A jelenleg is folyó projekt ennek a rendszernek a továbbfejlesztése, amely során már aszinkron üzenetekre implementált IQRF DPA protokollt alkalmazunk, mellyel megoldottunk olyan problémákat, amelyek felmerültek a korábbi rendszer használata során.

1 Röviden az RFID-ról

1.1 Rádiófrekvenciás azonosítás (RFID)

Az RFID (Radio Frequency IDentification) technológia elektromágneses mezőt használ ahhoz, hogy automatikusan azonosítsa és nyomon kövesse a címkéket, amelyekben elektronikusan vannak tárolva az adatok. A címkék beépíthetők bármilyen tárgyba, sőt implantátum formájában be lehet ültetni élő állatokba és emberekbe is. [1]

1.2 RFID változatai

Az RFID rendszereket csoportosíthatjuk a frekvenciájuk szerint, mely alapján beszélünk alacsony frekvenciás, magas frekvenciás és ultra-magas frekvenciás rendszerekről. A rádióhullámok eltérően viselkednek a különböző frekvenciatartományokon, melyek mindegyikének megvannak a bizonyos hátrányai és előnyei is.

1.2.1 Csoportosításuk frekvenciatartomány szerint

Az alacsony frekvenciás RFID (LF RFID) 125 kHz és 134 kHz-en üzemel. Ezzel a megoldással rövid, kb. 10-20 cm-es hatótávolságot és lassabb beolvasási sebességet érhetünk el, viszont kevésbé érzékeny a rádióhullám interferenciákra, ezért gond nélkül alkalmazható fémek és folyadékok környezetében.

A magas frekvenciás RFID (HF RFID) 13.56 MHz-en üzemel. Ezt alkalmazva 10 cm-től 1 m-ig terjedő hatótávolságot lehet elérni. Ez a megoldás már érzékenyebb a hulláminterferenciákra.

Az ultra-magas frekvenciás RFID (UHF RFID) 868 MHz - 928 MHz tartományon üzemel. Hatótávolsága eléri a 10 m-t is. A beolvasási sebessége gyorsabb, mint az alacsonyabb frekvenciatartományokban. Hátránya viszont, hogy nagyon érzékeny a hulláminterferenciákra, ezért bizonyos területeken, például állatok vagy fémkonténerek követésénél használhatatlan.

1.2.2 Csoportosításuk energiaellátás szerint

Az RFID címkék működéséhez valamilyen energiaforrásra van szükség, mely szerint megkülönböztetünk passzív, fél-passzív és aktív címkéket.

A passzív címke nem tartalmaz saját, belső energiaforrást, hanem az olvasó által kibocsátott rádióhullámok fogadásakor, az antennában létrejött áramot használja a működéshez. Ennek a hatótávolsága pár millimétertől néhány méterig terjed.

A fél-passzív címke annyiban tér el a passzívtól, hogy tartalmaznak egy kicsi elemet, ami ellátja az IC-t és így nincs szükség az antenna energiagyűjtő funkciójára, így azt kizárólag adásra optimalizálják. Ezzel jobb lesz a válaszdíó és sokkal megbízhatóbban fog működni.

Az aktív címke rendelkezik saját energiaforrással, így az olvasótól akár több száz méteres távolságból is leolvasható a benne tárolt adat. Ezzel a megoldással passzív olvasót is lehet alkalmazni, amely kizárólag aktív címkékből olvas ki adatot. [1][2]

1.3 RFID alkalmazása a beléptető rendszereknél

Az RFID széleskörűen elterjedt a beléptető rendszerekben, ezzel leváltva a korábbi mágneskártyás megoldásokat. Az azonosító kulccsal elég csak megközelíteni az olvasót, hogy a tulajdonosa jogosultságot nyerjen a bejutásra. Hasznos lehet például egy autóba szerelve automatikus kapunyitáshoz, mert nem kell kódot beütni, vagy kártyát lehúzni.

Épületekben is népszerű a használata, ugyanis ezzel a megoldással sokkal egyszerűbbé válik a közlekedés és sokkal könnyebben kezelhető a jogosultságok kiosztása. Továbbá a mágneskártyás megoldással szemben sokkal kényelmesebb és gyorsabb maga a beolvasás is. Azért kényelmesebb, mert elég csak megközelíteni a címkével az olvasót, és azért gyorsabb, mert a leolvasási sebesség nem függ a kártya lehúzási sebességétől. [3]

1.3.1 Vezeték nélküli beléptető rendszerek

A vezeték nélküli technológiák fejlődésének köszönhetően a beléptető rendszerekben is elterjedtek a vezeték nélküli megoldások. Nagy előnye, hogy lényegesen egyszerűbb a telepítési folyamat, mivel nem kell külön energiát fektetni a rendszerhez szükséges kábelek elhelyezéséhez. Régebbi építményekben kifejezetten célszerű, ugyanis így nem kell falat bontani ahhoz, hogy esztétikusan telepítsünk beléptető rendszert. A modernebb vezeték nélküli rendszerben minden részegység, mint az olvasó, a zárszerkezet, a vezérlőáramkör és a számítógép, vezeték nélkül kommunikál egymással. [4]

1.4 Az RFID alapú rendszer biztonsági problémái

Az RFID előnyei mellett figyelni kell arra is, hogy ez a megoldás széles lehetőségeket nyújt az esetleges támadásoknak is. A támadásra lehetőség van a végesszközöknél (olvasó, címke), a kommunikációnál és a háttérrendszerénél is.

Minden címke úgy van megtervezve, hogy bármilyen kompatibilis olvasóval ki lehessen olvasni belőle az adatokat, így akár a hatótávolságon belül elhelyezett

másik idegen eszköz is ki tudja olvasni az információt anélkül, hogy bárki tudomást szerezne róla.

Az olvasási folyamatot meg lehet bénítani egy zavaró berendezés segítségével. A zavaró eszköz megfelelő kialakítással és közelséggel interferenciát okoz az olvasó és a címke között, így akár teljesen ellehetetlenítve a jelátvitelt. A modern olvasók egyszerre több címkét is tudnak olvasni, melyeknek támadási lehetősége egy olyan címke kialakítása, ami képes olyan jelet szolgáltatni, melynek feldolgozása hosszú ideig tarthat. Ezzel lelassítható, vagy akár teljesen le is blokkolható a rendszer.

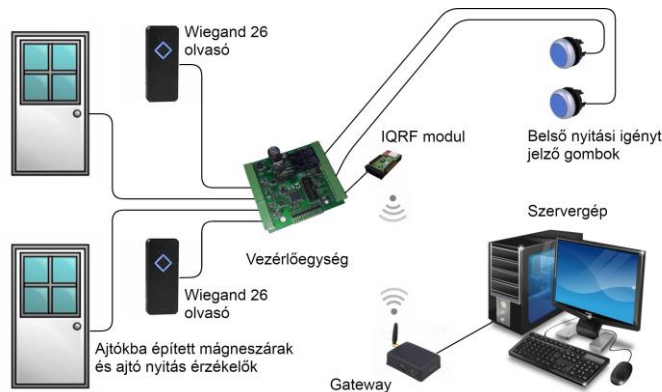
A háttérrendszer is támadható különböző RFID alapú vírusokkal vagy egyéb rosszindulatú szoftverekkel. Az RFID alapú vírus egy olyan címkével juttatható a rendszerbe, amelyet a támadó szándékosan vírus terjesztésére tervezett meg. [5]

A támadási lehetőségek minimalizálása miatt kifejezetten fontos egy jól átgondolt, jól megtervezett, jól kivitelezett rendszer megvalósítása.

2 Az egyetemen fejlesztett beléptető rendszer kialakítása

2.1 A már meglévő rendszer architektúrális felépítése

Az egyetemen fejlesztett beléptető rendszer már meglévő verziója nem sokban különbözik a jelenleg is fejlesztésben lévő rendszertől. A rádiós kommunikációs részben történtek lényegesebb hardver frissítések, de az alap architektúrát az előző verzióhoz képest nem változtattuk. A rendszer architektúrális felépítését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra

A rendszer négy fő részre bontható, melyek az ajtó kezelő perifériák, a vezérlőegység, a szerver és a kommunikációs rész.

Ajtókezelő perifériák gyűjtőnéven neveztem el az RFID olvasókat, a belső nyitási igényt jelző gombokat, a mágneszárat és az ajtónyitás-érzékelőket. A rendszerben Wiegand 26 típusú olvasók vannak alkalmazva, melyek 26 bites kódot olvasnak be. [6][7] Minden olvasónak visszajelzés céljából van beépített csipogója és LED-je.

A vezérlőegységre vezetéken kapcsolódnak az olvasók, az ajtónyitás érzékelők, a belső nyitást kezdeményező gombok, és mágneszárat. A mágneszárat egy-egy a vezérlőegységbe épített relé kapcsolja, amelyet a mikrokontroller vezérel. A vezérlőegységbe be van építve egy EEPROM, amelyben az érvényes kártyaszámok elmentésre kerülnek. Ez azt a célt szolgálja, hogy a szerverrel való kommunikáció nélkül is engedélyezze a belépést az EEPROM adatbázisában szereplő kártyaszámokhoz tartozó felhasználóknak. A vezérlőegységhez csatlakozik továbbá az IQRF TR rádiós modul kezelő áramkör, amely TR-52D típusú modullal kompatibilis. Ezen az adóvevőn keresztül történik a kommunikáció a szerver számítógéppel. A vezérlőegység minden eseményről naplózó információt küld a szervernek.

A szerver határozza meg, hogy mely kártyaszámoknak engedélyezett a belépés. A kártyák azonosítószámait egy adatbázisban tárolja. A vezérlőegységtől kapott naplózó információkat elmenti, hogy visszamenőleg vissza lehessen nézni az összes naplóeseményt. Az események nyomon követéséhez és a kártyaszámokat tartalmazó adatbázis kezeléséhez tartozik a rendszerhez egy webes kezelőfelület. A webes kezelőfelületen keresztül egyszerűen kezelhetjük a jogosultságokat és ellenőrizni tudjuk visszamenőleg az összes naplóeseményt. A szervergéphez csatlakozik egy TR modul, ami pont-pont kapcsolatban van a vezérlőegység TR moduljával.

A vezérlőegység és a szerver közötti kommunikáció IQRF technológiával lett megvalósítva. Az alkalmazott IQRF modulok TR-52D típusúak [8]. Az egyetem által fejlesztett beléptető rendszernek ebben a verziójában a TR modulok C nyelven megírt kezelőprogrammal működnek, az adatokat pedig SPI-on keresztül továbbítják az SPI Master-nek, tehát a szerver számítógéppel, vagy a mikrokontrollernek.

2.2 A korábbi rendszer felülvizsgálata, felfedezett problémák

A már rendelkezésre álló rendszert pár év használat után, most újra megvizsgáltuk. Az eddigi tapasztalatokat figyelembe véve felmértük a továbbfejlesztési lehetőségeket.

Az egyik legnagyobb hátránya a korábbi rendszernek, hogy az IQRF TR modul azóta már elavult. Új rádió-kommunikációs eszközökre van szükség, amelyek

sokkal megbízhatóbban működnek. Sokszor probléma volt, hogy a rendszer rádiókommunikációja nehézkesen működött a modulok gyenge hatótávolsága miatt.

Problémát jelentett az is a korábbi megoldással, hogy nehézkes volt a hálózatmenedzsment. Gyakran előfordult emiatt, hogy a rendszert csak hosszú próbálkozások során sikerült feléleszteni és működésre bírni.

Nem utolsó szempont az adatbiztonság. A korábbi verzió újabb nagy hátránya, hogy a rádiós kommunikációban nem volt titkosítás implementálva.

Ez a cikk a fent leírt problémák lehetséges megoldásainak ismertetését, és az általunk tervezett fejlesztés bemutatását és részletezését tűzte ki célul.

2.3 Megoldási lehetőségek

A megoldási lehetőségeken gondolkozva felvetődött, hogy át lehetne állni egy másik rádió-kommunikációs rendszerre. Lehetséges alternatívának találtuk a Microchip cég LoRa nevezetű technológiáját [9], a Zigbee-t [10], vagy akár a WiFi-t [11]. Végül arra jutottunk, hogy maradunk a korábban is alkalmazott IQRF technológiánál, ugyanis ezzel a megoldással már több éve foglalkozunk, így kellő tapasztalatot szereztünk a megfelelő használatához, és a céggel is felépítettünk egy olyan kapcsolatot, ami lényegesen egyszerűsíti a munkánkat.

Azt a megoldást választottuk tehát, hogy maradunk az IQRF-nél, csak korszerűsítjük a korábbi kialakítást. Úgy döntöttünk, hogy új IQRF rádiós modulokat használunk, amelyek TR-72D típusúak [12]. Az általunk továbbfejlesztett beléptető rendszerben az IQRF DPA protokollt fogjuk alkalmazni.

3 IQRF

Az IQRF egy teljes platform, ami tartalmazza a hardvert, a szoftvert és a protokollokat, továbbá rengeteg segítséget és szolgáltatást is nyújt. Példák, videók, vagy akár képzések formájában segítik előre a gördülékenyebb munkánkat.

Az IQRF technológia olyan vezeték nélküli rendszerek kialakítására alkalmas, amelyek kisebb teljesítményen, lassabb sebességen, kis adatmennyiséget kezelnek. Mindemellett az ezzel kialakított rendszer könnyen kezelhető és folyamatos megbízhatósággal üzemel.

Az IQRF 434.868 MHz és 916 MHz közötti frekvenciatartományban dolgozik és a hatótávolsága néhány métertől, több száz méterig, vagy akár speciális esetekben pár kilométerig is kiterjedhet, ezáltal széleskörűen alkalmazható technológia.

Bármilyen elektronikus berendezéssel használható, ha éppen szükség van vezeték nélküli jeltovábbításra. Kiválóan alkalmas távvezérlésre, a távolról érkező adatok feldolgozására, és egy vezeték nélküli hálózat létrehozására, amelyben számtalan eszköz lehet összekapcsolva. [13]

3.1 IQRF OS 4.00

Az IQRF modulok rendelkeznek saját operációs rendszerrel (OS). A modulok teljesen személyre szabhatóak C nyelven az OS függvényeit használva. A DPA protokollban egy megírt felhasználói alkalmazás helyett OS bővítményeket használhatunk, melyeknek köszönhetően nem kell külön felprogramozni a rádiós modulokat a kapcsolat megteremtéséhez. [14]

3.1.1 Titkosítás

Minden vezeték nélküli rendszer ki van téve az esetleges támadások veszélyének. Az új modulokkal a korábbi verzióval szemben, már titkosítás is lesz alkalmazva a rendszerben. Az új IQRF modulok OS 4.00 operációs rendszere az AES-128 titkosítást alkalmazza, amely egy ipari szabvány a vezeték nélküli kommunikációhoz. Ez a titkosítási szabvány van alkalmazva minden hálózati kommunikációnál, továbbá opcionálisan a felhasználó adatainál. A titkosítás hozzáférésehez egy másik független titkosítást is alkalmaznak a telepítés és az esetleges karbantartások során. [15]

4 IQRF DPA

A DPA azért előnyös, mert ezzel megoldódik a nehézkes hálózat menedzselési probléma, mert a protokoll megoldja a hálózat menedzselését. Az egyetlen buktató csak az, hogy a DPA protokollban a coordinator kezdeményezi a kommunikációt, viszont a mi rendszerünkénél az RFID kulcs olvasásával indítjuk el a működést, ami pedig a node oldalon van (coordinator és node leírása később olvasható). Itt jön az előnye a céggel való jó kapcsolatnak. Az IQRF céggel való konzultálások során javasoltuk, hogy hozzanak létre egy olyan algoritmust, amellyel a node képes aszinkron üzenetet küldeni a koordinatornak. Reagálva a javaslatunkra, létre is hoztak egy "DpaApiRfTxDpaPacket" [16] nevezetű függvényt, amellyel már képesek vagyunk aszinkron üzeneteket küldeni a DPA protokollban node-coordinator irányban.

4.1 IQRF DPA alapfogalmak

A DPA (Direct Peripheral Access) egy egyszerű bájtt-orientált protokoll, amivel vezérelhetjük a hálózatban lévő eszközök (coordinator és node-ok) szolgáltatásait és perifériáit, SPI [17] vagy UART [18] segítségével.

4.1.1 DPA üzenetek felépítése

A DPA protokoll bájttba rendezett üzeneteket használ kommunikációhoz az IQMESH hálózatban belül. Az összes üzenet minden esetben tartalmaz 4 kötelező paramétert: NADR, PNUM, PCMD és HWPID. Az üzenet adott esetben tartalmazhat adatot továbbításra, vagy kiértékelésre. Ez a bájtsorozat az úgynevezett PData.

A négy fő paraméter:

NADR: a hálózatban lévő eszköz címe. Habár ez 2 bájttal hosszú, a 2 bájttal címzés nincs támogatva, így a felső bájttot figyelmen kívül hagyja.

PNUM: a periféria száma.

PCMD: parancs, ami meghatározza a végrehajtandó műveleteket. A ténylegesen megengedett értéktartomány függ a periféria típusától.

HWPID: a hardver profil azonosító (HardWare Profile ID) egyedien meghatározza az eszköz funkcionalitását, viselkedését és az általa végrehajtott a felhasználói perifériákat. Egyetlen eszköz fogja végrehajtani a kérést, aminek ugyanaz a HWPID azonosítója, mint a DPA kérésben. Ha ez az érték 0xFFFF, akkor az eszköz, bármilyen HWPID-vel is rendelkezik, végrehajtja a kérést.

A DPA üzenet felépítését a következő ábra szemlélteti:

NADR	PNUM	PCMD	HWPID	0	...	n - 1
NADR	PNUM	PCMD	?	PData ₀	...	PData _{n-1}

n Data length (Adathossz)

2. ábra

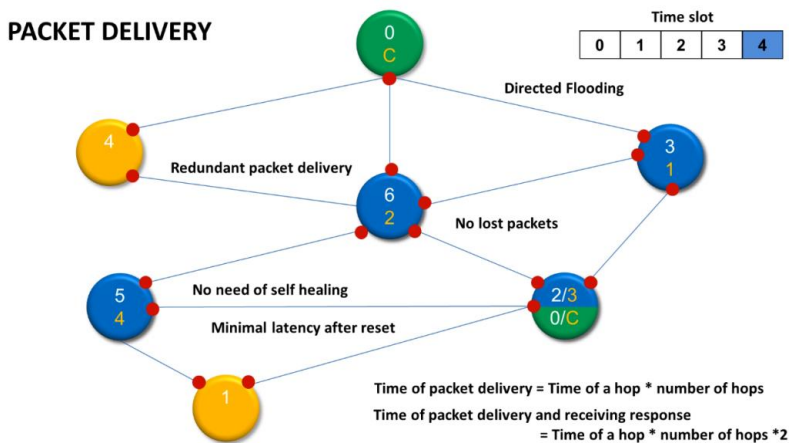
4.1.2 Eszközök típusai

Két főbb fajtáját különböztetjük meg a hálózatban lévő eszközöknek, ezek coordinator (koordinátor), amely a hálózatot menedzseli, és a node-ok (csomópontok), amelyek a coordinator által kiadott parancsokat teljesítik. [19]

4.1.3 IQMESH

A DPA protokoll a háló (mesh) topológiát alkalmazza. A háló topológiát több csomópontú hálózatok esetén célszerű használni az optimális működéshez. A DPA protokollal létrehozott hálózatban egy koordinátor (coordinator) és általában sok, akár több száz csomópont (node) található. A háló topológiában a csomópontok (node-ok) szerepe nem csak abban merül ki, hogy a saját adatukat feldolgozzák, hanem feladatuk még az adatok továbbadása is. Háló topológiát alkalmazva lényegesen stabilabbá és megbízhatóbbá válik a hálózat. [20]

A IQMESH háló topológiát jól szemlélteti egy IQRF oktatóvideóból kivágott ábra: [21]



3. ábra

5 A továbbfejlesztett rendszer beléptetési folyamata

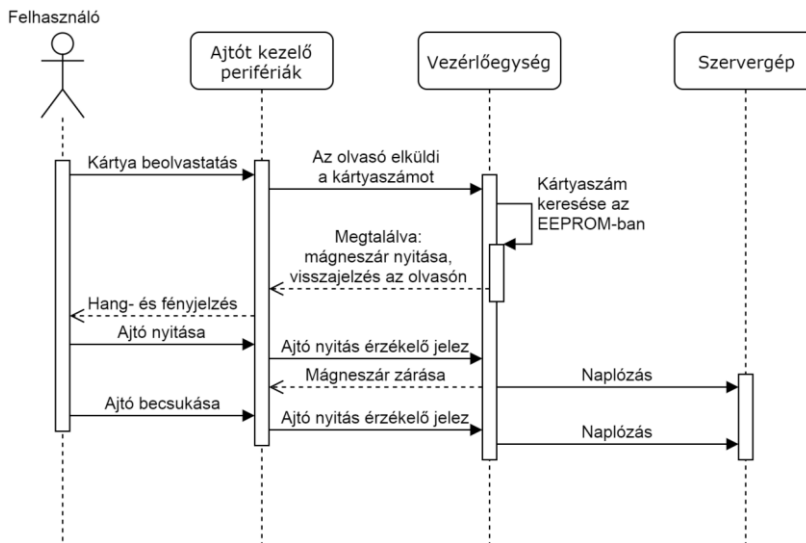
A beléptetéskor a folyamatot egy személy kezdi egy kártya beolvasásával, vagy a belső nyitást kezdeményező gombok lenyomásával.

Kártya beolvasás történt, kártyaszám keresése az EEPROM adatbázisban

Ha egy RFID kártya beolvasása történt, akkor a beolvasott kártya azonosító számát a mikrokontroller feldolgozza. Először is megvizsgálja, hogy az adott kártyaszám szerepel-e az EEPROM-ban tárolt adatbázisban.

A kártyaszám szerepel az EEPROM adatbázisban, beengedés

Abban az esetben, ha szerepel az adatbázisban a beolvasott kártyaszám, a relék vezérlésével nyitja a mágneszárat, melyet az olvasón visszajelez a beépített LED és csipogó segítségével. A felhasználó ezután kinyithatja az ajtót. Az ajtó nyitási állapotát egy beszerelt érzékelő jelzi a vezérlőegységnek. Amennyiben mégsem történik ajtónyitás a mágneszár nyitását követően, egy bizonyos időtúllépés után a mikrokontroller visszazárja a mágneszárat. Ennek a szekvencia diagramját a 4. ábra mutatja.



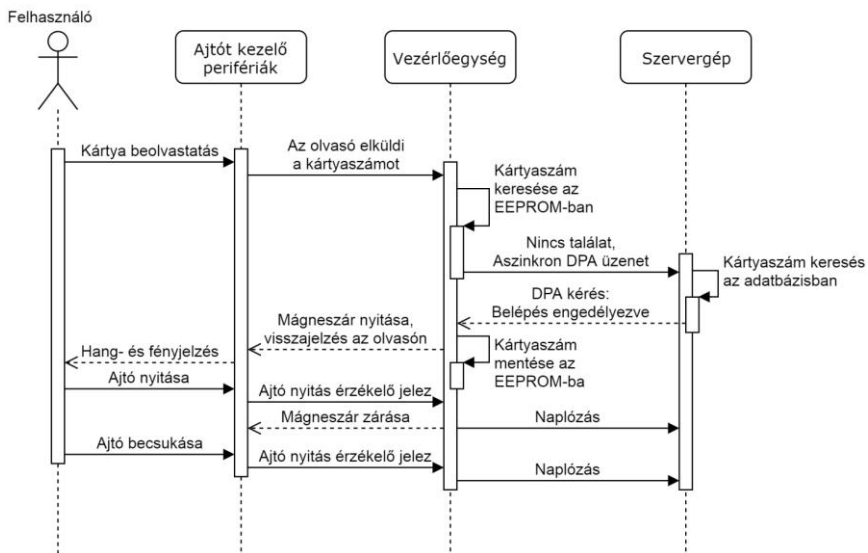
4. ábra

A kártyaszám nincs az EEPROMBAN, keresés a szerver adatbázisában

Ha a beolvasott kártyaszám nem található az EEPROM-ban tárolt adatbázisban, akkor a vezérlőegység továbbítja azt egy aszinkron DPA üzenet formájában a szerver felé. A szerver a kapott kártyaszámot megvizsgálja, hogy a szerver adatbázisban szerepel-e. A szerver elindít egy DPA kérést, ami jelen esetben 2 dolog lehet: belépés engedélyezve vagy belépés megtagadva. A DPA kérésben elküldi a parancs kódját, továbbá beengedés esetén a kártya számát és az érvényességi időt napokban számolva.

A kártyaszám szerepel a szerver adatbázisában, beengedés és mentés az EEPROM-ba

A mikrokontroller feldolgozza a DPA kérdésben lévő adatokat. Ha az adott kártyaszám benne volt a szerver adatbázisában és továbbra is egyezik azzal a kóddal, amelyet a szerver ellenőrzésképpen a DPA kérdéshez csatolt, akkor a vezérlőegység kinyitja a mágneszárat, melyet az olvasón visszajelez a felhasználó számára. Ebben az esetben a vezérlőegységben lévő mikrokontroller az érvényes kártyakódot el is menti az EEPROM adatbázisba, hozzárendelve az érvényesség idejét. Ha az érvényességi idő 0, akkor a kód nem mentődik el az EEPROM adatbázisában, így csak addig léphet be, amíg a szerver adatbázisában szerepel (vendégeknél célszerű). Ennek a szekvencia diagramját az 5. ábra mutatja.

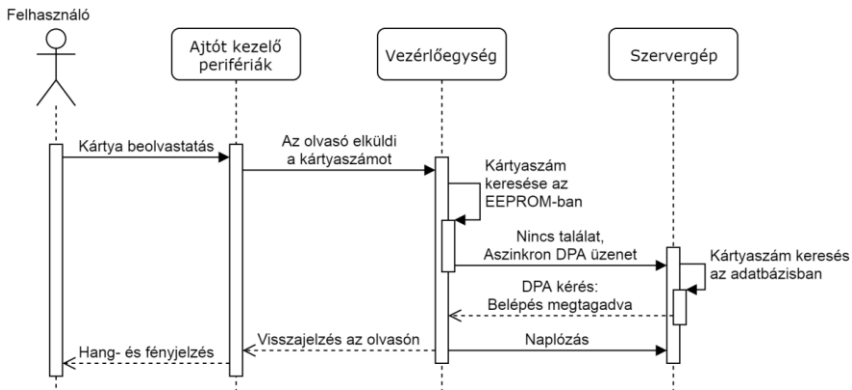


5. ábra

A kártyaszám nincs a szerver adatbázisában, belépés megtagadása

Amennyiben a beolvasott kártyaszám nincs a szerver adatbázisában sem, vagy benne van, de az ellenőrzés céljából visszaküldött kártyaszámmal nem egyezik meg, a vezérlőegység zárva tartja a mágneszárat, melyet egy visszautasító hang és fényjelzéssel vissza is jelez az olvasón.

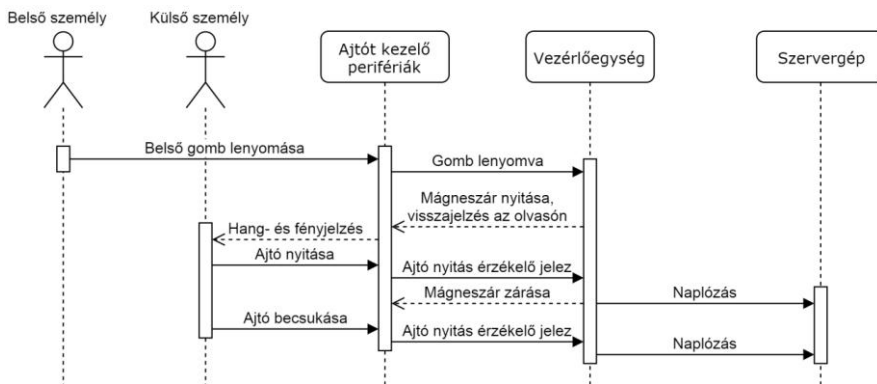
Előfordulhat olyan eset is, hogy a szerver valamilyen oknál fogva nem válaszol. Ilyenkor egy bizonyos időtűllépés után a rendszer visszautasító hang- és fényjelzéssel jelez a felhasználónak. Ennek a szekvencia diagramját a 6. ábra szemlélteti a következő oldalon.



6. ábra

Beengedés a belső nyitási igényt jelző gombokkal

Belső gombok segítségével belülről is lehet ajtót nyitni. A vezérlőegység folyamatosan figyeli a gombok állapotát. Ha a gombot lenyomták, akkor a hozzá tartozó ajtó mágnes-zárját kinyitja, és a külső személynek visszajelzi az olvasó segítségével. Abban az esetben, ha nem történik ajtónyitás egy adott időtúllépésig, visszazárja az ajtót. Ennek a szekvencia diagramját a 7. ábra mutatja.



7. ábra

Nyitott ajtók

Megeshet, hogy az ajtó nyitva marad az események bekövetkezésekor. Ilyenkor a kártya-leolvasáskor az ellenőrzés megtörténik, az eredmény is visszajelzésre kerül, viszont a mágneszárak nincsenek vezérelve. Nyitott ajtóknál a belső nyitási igényt jelző gombok inaktívak.

Naplózás

A kártyaleolvasás eredményéről, az ajtónyitásról és csukásról a vezérlőegység naplóbejegyzéseket küld a szervernek, amely tartalmazza az esemény típusát, annak aktuális idejét, továbbá kártyabeolvasás esetén a kártyakódot és olvasó számát.

Az EEPROM-ban tárolt adatbázis kezelése

A vezérlőegység EEPROM-jában tárolt adatbázis előnye, hogy nincs szükség állandóan a szerverre, így "offline módon" is működhet a rendszer. A beléptetés így sokkal gyorsabb, és egy adott szerver-kimaradáskor is tökéletesen működik, a benne tárolt kódokhoz rendelt személyek számára. Az EEPROM adatbázisát a szerver felől IQRF DPA kérésekkel tudjuk kezelni. Lehetőségünk van törölni 1 kártyakódot, vagy akár az összes elmentett kártyakódot az adatbázisból. A tárolt kártyakódokat a rendszer úgy kezeli, hogy egy bizonyos idő elteltével automatikusan kitörölődjenek az EEPROM adatbázisából. Mindezt az úgynevezett "éjféli parancs" segítségével teszi meg. Az éjféli parancs minden nap egy adott időpontban elküldésre kerül a szerverről egy DPA kérés formájában. A mikrokontroller ennek hatására az EEPROM adatbázisában szereplő összes kártyakódhoz rendelt érvényességi napok számát 1-el csökkenti. Ha ez az érték eléri a 0-t, kitörli az adatbázisból a hozzá tartozó kártyaszámot. Legközelebb ezt a kártyaszámot már a szerver adatbázisáról kérdezi le.

6 Az általunk megvalósított rendszer protokollja

A fejlesztések során ügyeltünk arra, hogy a protokoll minél letisztultabb legyen annak érdekében, hogy a szoftver ne legyen túlbonyolítva, és így a lehető legstabilabban működjön a rendszer.

A kommunikáció történhet Coordinator-Node és Node-Coordinator irányban. Mind a két esetben 4 bájtos DPA üzenettel történik az információcsere. Minden 4 bájtos üzenet mind a két irányú kommunikáció esetében felbontható egy 1 bájtos parancs kódra és egy 3 bájtos paraméterre. A protokollt táblázatos formában szemlélteti a 8. ábra és a 9. ábra.

6.1 Coordinator - Node irányú kommunikáció

Coordinator-Node irányban 5 féle üzenet fordulhat elő. A Coordinator-Node kommunikációs irányt jelezve az 1 bájtos parancs kód legnagyobb helyi értékű bitje mindig 1 értékű. A 3 bájtos paraméter a kártya RFID azonosítószámát tartalmazza szükség esetén.

Coordinator -> Node										
Parancs bájtt								Paraméter		
7	6	5	4	3	2	1	0	LSB bájtt	Középső bájtt	MSB bájtt
1.	-	Érvényességi napok száma					0	RFID Azonosítószám		
2.	-				0	0	1	-		
3.	1	-			0	1	1	RFID Azonosítószám		
4.	-				1	0	1	-		
5.	-				1	1	1	-		

Parancs leírás	
1.	Belépés engedélyezve Érvényességi napok száma = 0 -> Ne mentse el a kártya számát
2.	Belépés megtagadva
3.	Egy kártya törlése
4.	Az összes kártya törlése
5.	Éjfél parancs

8. ábra

Az 5 féle Coordinator-Node irányú üzenet a következő:

- **Belépés engedélyezve**
- **Belépés megtagadva**
- **1 kártya törlése az EEPROM adatbázisából**
- **Az összes kártya törlése az EEPROM adatbázisából**
- **Éjfél parancs**

A "belépés engedélyezve" DPA kérés felépítése részletesebb leírásra szorul. A parancs kód legkisebb helyi értékű bitje 0 értékű, a következő 5 bit az érvényességi napot határozza meg. Az 5 biten tárolt legnagyobb érték binárisan 11111 lehet, ami decimálisan 31 (egy hónap). Ha az érvényességi napok száma 0 értékű, akkor a vezérlőegység nem fogja elmenteni az EEPROM-ba a kártyaszámot, így csak addig érvényes a kártyaszám, amíg a szerver adatbázisában megtalálható.

Megjegyzés: A többi üzenet parancs kódjának a legkisebb helyi értékű bitje mindig 1, így egyetlen bittel azonosítható a "Belépés engedélyezve" parancs. Ez azért hasznos, mert így több bit áll rendelkezésre az érvényességi napoknak.

Az "éjfél parancs" DPA kérés minden nap egy adott időpontban kiküldésre kerül, mely hatására a vezérlőegység az EEPROM-ban lévő összes kártyaszámhoz tartozó érvényességi napok számát csökkenti 1-el.

Megjegyzés: Amikor az érvényességi napok száma eléri a 0-t, a vezérlőegység kitörli a kártyaszámot.

6.2 Node-Coordinator irányú kommunikáció

Node-Coordinator irányban 7 féle üzenet fordulhat elő, amelyekkel naplózunk a végbement eseményeket. A Node-Coordinator kommunikációs irányt jelezve az 1 bájtos parancs kód legnagyobb helyi értékű bitje mindig 0 értékű, az alsó 3 bitje a parancs azonosító száma, a következő 1 bit pedig az ajtóhoz tartozó olvasó sorszáma. A 3 bájtos paraméter a kártya RFID azonosítószámát tartalmazza szükség esetén.

Node -> Coordinator										
Parancs bájt							Paraméter			
7	6	5	4	3	2	1	0	LSB bájt	Középső bájt	MSB bájt
0.							0			-
1.				O l v a s ó			1			RFID Azonosítószám
2.							2			RFID Azonosítószám
3.							3			RFID Azonosítószám
4.	0	-	-				4			-
5.							5			-
6.							6			-
7.							7			-

Naplóesemény					
Az ajtót becsukták	Az ajtót kinyitották	Belső gombot megnyomták	Ismert RFID kártya	Ismeretlen RFID kártya	Időtűllépés
0.					
1.				x	
2.		x		x	
3.				x	x
4.		x	x		
5.			x		x
6.		x			
7.	x				

9. ábra

A 7 féle Node-Coordinator irányú naplózó üzenet a következő:

- **Ismeretlen kártya volt beolvasva**
- **Érvényes kártya volt beolvasva és az ajtót kinyitották**
- **Érvényes kártya volt beolvasva, de az ajtót nem nyitották ki**
- **Belső nyitást kezdeményező gombot lenyomták és az ajtót kinyitották**
- **Belső nyitást kezdeményező gombot lenyomták, de az ajtót nem nyitották ki**
- **Az ajtót manuálisan kinyitották**
- **Az ajtót becsukták**

Miután a szerver megkapja a naplózó információkat hozzárendeli a megkapott adatokhoz az aktuális időt és a kártyához tartozó személy nevét. A naplózott információkat a szerver adatbázis webes kezelőfelületén lehet nyomon követni.

7 A vezérlő program kialakítása

7.1 Cooperative multitasking

A beléptető rendszert kezelő program a "cooperative multitasking" elvén működik, ami azt jelenti, hogy a processzor képes látszólag egyszerre több feladatot elvégezni egyidejűleg. Azért csak látszólag, mert egy processzor valójában nem tud egyszerre több műveletet elvégezni. A cooperative multitasking egy olyan megvalósítás, ahol az egyes részprogramok egymásnak átadják a vezérlést, miután végrehajtották. Létezik olyan megoldás is, amikor egy operációs rendszer határozza meg, hogy milyen időközönként, mennyi ideig futhat egy-egy programrészlet. Ez az úgynevezett "preemptive multitasking", amellyel a programrészletek már nem egymásnak adják át a vezérlést. Az esetleges részprogramon belüli hibák ezzel a megoldással nem okoznak leállást, hiszen egy adott idő után mindenképp visszakapja a vezérlést az operációs rendszer. [22]

7.2 Az EEPROM-ot vezérlő szoftver kialakítása

A vezérlőegységbe épített EEPROM 256 bájtnyi adatot tud tárolni. Úgy alakítottuk ki a szoftvert, hogy ezt a 256 bájtot 4 bájtos blokkonként kezelje. Az első bájtban tárolja a kártyaszámhoz tartozó érvényességi időt napokban számolva. A maradék 3 bájtban a kártya kódja található. Ezzel a kialakítással tehát az EEPROM-ban összesen 64 kártya számát tudjuk tárolni egyszerre. A 10. ábra szemlélteti a 4 bájtos blokkok felépítését.

EEPROM 4 bájtos blokk				
1. bájt		2. bájt	3. bájt	4. bájt
5-7 bit	0-4 bit	Kártyaszám 1. bájt	Kártyaszám 2. bájt	Kártyaszám 3. bájt
Szabad	Érvényességi napok száma			

10. ábra

Az EEPROM egyik fontos jellemzője az egyes bájtok lehetséges újrainvitásainak száma [23]. Fontosnak tartottuk, hogy az EEPROM egész területét egyenletesen használjuk. Úgy alakítottuk a szoftvert, hogy az EEPROM-nak ne csak az első bájtjait írjuk felül újra és újra. Ha mindig csak az EEPROM elejéről kezdjük az új engedélyezett kártyaszámok beírását, akkor amíg az EEPROM eleje lassan elhasználódna, addig a többi része teljesen kihasználatlan maradna. Ennek megoldására olyan vezérlő szoftvert alakítottunk ki, ami egy véletlenszerű

kezdőcímmel kezdi el keresni a kártyaszám beírásához szükséges üres 4 bájtós blokkot az EEPROM-ban. A véletlen szám generálására már egy meglévő megoldást alkalmaztunk, ami a mikrokontrollerben futó rendszer idő. Egyszerűen csak lekérdezzük az aktuális rendszer időt és az alsó bájtját (ami maximálisan pont annyi lehet, mint az EEPROM legvégső címe: hexadecimálisan FF, decimálisan 255) adjuk meg kezdőcímmel az EEPROM-ban lévő szabad helyek kereséséhez. Ebben az esetben fontos figyelni arra, hogy ilyenkor nem az EEPROM végéig kell a keresést lefuttatni. Ha a szabad hely keresése során elértük az EEPROM végét, akkor 0 címről folytatni kell a keresést egészen a korábban legenerált véletlen kezdőcímgig.

8 Összegzés

A beléptető rendszer továbbfejlesztésnek köszönhetően a korábban tapasztalt problémák megoldódtak. Az IQRF modulok lecserélésével megnőtt a hatótávolság és már titkosítás is alkalmazva lett a rádiókommunikációban. Továbbá hálózat telepítése és menedzselése is egyszerűbb a DPA protokoll alkalmazásával. A rendszer protokollja az új verzióban már egyszerűsített, feladat specifikus. A korábbi rendszerben a protokoll multifunkcionális volt, a bonyolultsága sokszor okozott problémát. A fejlesztési eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.

	A korábbi rendszer	A továbbfejlesztett rendszer
Rádiókommunikációs modul	IQRF TR-52D	IQRF DCTR-72D
Modulok vezérlése	C nyelven megírt kezelő programokkal	DPA protokoll alapján, aszinkron üzenetekkel
Hatótávolság	Kicsi (problémás)	Nagyobb (megbízhatóbb)
Hálózatmenedzment	Nehézkes	Egyszerű, mert a DPA megoldja
Titkosítás	Nincs	AES-128 szabványú titkosítás
A rendszer protokollja	Multifunkcionális	Feladat specifikus (egyszerűsített)

1. táblázat Összegzés

A jövőben még az éles tesztek következnek, továbbá tervben van még az új rendszer beintegrálása a már meglévő rendszerhez. Például a korábbi rendszer webes kezelőfelületének az új rendszerrel való kompatibilitását szeretnénk megoldani.

Támogatók



Ez a cikk az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- [1] Wikipédia (2017. november). RFID: <https://hu.wikipedia.org/wiki/RFID>
- [2] Wikipédia (2017. november). Radio-frequency identification: https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification
- [3] Wikipédia (2017. november). Radio-frequency identification; Uses; Access Control: https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification
- [4] Robert Pearson (2010. 10. 21.). Choosing a wireless electronic access control solution. Elérhető: <http://www.securityinfowatch.com/article/10514476/choosing-a-wireless-electronic-access-control-solution>
- [5] Bíró Csaba (2013.06.17.). RFID eszközök támadhatósága, lehetséges védekezés ellenük. Elérhető: http://aries.ektf.hu/~rfidwww/hu/files/rfid_eszkozok_tamadhatosaga.pdf
- [6] Wikipédia (2017. november). Wiegand interface: https://en.wikipedia.org/wiki/Wiegand_interface
- [7] Suprema FAQ (2017. november). Understanding Wiegand: <https://www.supremainc.com/en/node/754>
- [8] IQRF Technology (2017. november). TR-52D series: <https://www.iqrf.org/products/transceivers/tr-52d>
- [9] Microchip (2017. november). LoRa technology: <http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/embedded-wireless/lora-technology>
- [10] Zigbee (2017. november). What is Zigbee?: <http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>
- [11] Wikipédia (2017. november). Wi-Fi: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [12] IQRF Technology (2017. november). TR-72D series: <https://www.iqrf.org/products/transceivers/tr-72d>
- [13] IQRF Technology (2017. november). About IQRF: <https://iqrf.org/iqrfabout>
- [14] IQRF dokumentáció (2017). User_Guide_IQRF-OS-402D_TR-7xD_170821: 1. oldal, IQRF platform

- [15] IQRF dokumentáció (2017). User_Guide_IQRF-OS-402D_TR-7xD_170821: 48. oldal, Encryption
- [16] IQRF dokumentáció (2013-2017). Tech_Guide_DPA-Framework-301_170822: 79. oldal, DpaApiRfTxDpaPacket
- [17] Wikipedia (2017. november). Serial Peripheral Interface Bus: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus
- [18] Wikipedia (2017. november). Universal asynchronous receiver-transmitter: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter
- [19] IQRF dokumentáció (2013-2017). Tech_Guide_DPA-Framework-301_170822: 8. oldaltól, Basics
- [20] IQRF Technology (2017. november). IQMESH: <https://iqr.org/technology/iqmesh>
- [21] IQRF Tehnology (2017. november). IQRF video tutorial set, IQMESH https://iqr.org/support/iqr_video&video=11
- [22] wiki.hup (2017. november). Multitasking: <https://wiki.hup.hu/index.php/Multitasking>
- [23] Wikipedia (2017. november). EEPROM , Failure modes: <https://en.wikipedia.org/wiki/EEPROM>

Applications of the human factor. Questions of human failures

Judit Kovács

Óbuda University, Tavaszmező u. 15-17, H-1084 Budapest, Hungary
kovacs.judit@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: Risk assessment, a data driven process for determining the likelihood of a risk happening, as well as risk management are of the most important tasks nowadays to achieve the maximal safety and security. When considering catastrophes in our civilized world, human factor has always had an important role among the possible causes. The human factor is always present among the main reasons of accidents. According to different papers, 45-80% of errors are due to the human factor. On the other hand, the views that "human commits errors", "humans are the weak part of the system" or "human actions have to be replaced by automation" are too simplistic. Man is able to cope with unforeseen situations, to analyse and to create solutions. Without human actions more incidents would lead to accidents. Safe behaviour does not mean the absence of errors but the positive human contributions to safety, even in the form of prevention. Therefore, the concept of human error should be correctly defined and used with utmost care.

Keywords: human error; human reliability analysis; human factor modelling

1 Introduction

When considering catastrophes in our civilized world, it turns out that human factor has always had an important role among the possible causes. Meanwhile, new challenges like globalization, technology development or terrorism appear, and the presence of natural disasters is also urging new perspectives. Human performance has always been having a significant impact on the reliability of several fields of systems. Among the main reasons of incidents, human factor is always present. On the other hand, the views that "human commits errors", "humans are the weak part of the system" or "human actions have to be replaced by automation" are far too simplistic. Man is able to cope with unforeseen situations, to analyse and to create solutions. Without human actions more incidents would lead to accidents. Safe behaviour does not mean the absence of errors but the positive human contributions to safety, especially in the form of prevention [1].

So, the impact of human performance is always significant. The appropriate treatment of human interaction has a key role in understanding its part in total risk and in the sequences of accidents. Although it is the Human Reliability Assessment (HRA) techniques that principally deal with the analysis of the human factor, there are also other methods that aim modelling some aspects of the human factor. In order to provide this wider view, understanding the psychological background of risk perception is also unquestionable.

2 The Human Factor Causing Incidents

When doing research on the human factor, there has been a great demand to analyse the core of the problem. A sufficiently consistent exploration of the context always reveals human failures also in the depths of technical reasons. According to different papers in the last decades, at least 45% of errors were due to the human factor [2].

But over the last decades, the role of the human factor in accidents has dramatically increased, reaching up to 70-80%. What are the reasons of it?

First of all, it is the continuously progressing high level of reliability and sophistication of the mechanical and electronic components. It implies the increased human engagement rather in the control process, deriving from the complexity of the system.

In the analysis of major reactor accidents and catastrophes in the second half of the 20th century, it is clear that the root causes are most likely to be attributed to the human factor. As an example, the Chernobyl disaster may be mentioned where some of the main problems contributing to the accident were the following: falling short of the safety standards during the design process, even with incorporated unsafe features. Safety analysis also was inadequate: operating procedures were not founded satisfactorily in safety analysis. There was inadequate and ineffective exchange of important safety information both between operators and between operators and designers. The understanding of the safety aspects by operators was inadequate and there was an insufficient respect on the part of the operators for the formal requirements of operational and test procedures[3].

3 The Human Factor Preventing Incidents

Now let's turn our attention to the other side, which is also as important as the first part was: that is the human factor preventing incidents. As it has already been mentioned it is no use to stick to such oversimplified statements as "human actions have to be replaced by automation". What is the main point here is that man is able to cope with unforeseen situations, to analyse and to create solutions. Experts agree that without human actions more incidents would lead to accidents. It was also proven that man is able to find solutions that reduce the adverse consequences of incidents. As a consequence, human intervention may prevent the damage to which a chain of events would otherwise lead.

Let us consider an example regarding NPP accidents. At the Fukushima disaster, the situation was totally different from that of any previous nuclear disasters, especially regarding the human factor. First of all, at Fukushima, there were no human errors found which would have caused a direct initial event. Neither were human errors present that would have been committed during the human actions made for averting breakdowns or accidents. Considering all NPP accidents, Fukushima accident is the only one that is not caused by human error but by extreme external events. From the point of view of the human factor, Fukushima is rather an example for the positive human contribution that minimized the effects of the compound disaster[4]. (The only part of the challenge of the human factor is that Fukushima is a "beyond design basis" accident, that means the tsunami and associated earthquakes were more powerful than the plant was designed to accommodate.)

From the previous overview we may conclude that the technical circumstances have dramatically changed over the last ten years, while the human factor is still there, bearing both its sides. Because of the increase of the safety level of those circumstances, it is important to follow the trends and if necessary, even redefine the concept of safe behaviour. Of course, safe behaviour does not mean the absence of errors, but the positive human contributions to safety, especially in the form of prevention. Therefore, the concept of human error should be correctly defined and used with utmost care.

4 Human Error

Surprisingly enough, there is nothing new under the sun. For instance, let us consider the famous saying by Seneca: „errare humanum est”. Also, considering a part of The Confiteor („Confiteor Deo omnipotenti, et vobis fratres, quia peccavi nimis cogitatione, verbo, opere et omissione: mea culpa, mea culpa, mea maxima culpa.”) which has been attributed to the 9th century, it turns out that defining and

classifying human errors is a timeless practise. The words "cogitatione, verbo, opere et omissione" meaning: cogitatione: thoughts, verbo: words, opere: work and omissione: omission is a grouping of sins. This text being far more than a thousand year-old, already makes a clear and up-to-date classification of errors. The last two groups, as we will see, form a base for classifying human errors. It is also going to be shown by models how important the first two groups are. But now, let's turn our attention to the last two groups.

Two main groups of human errors are errors of commission (wrong human actions) and errors of omission (missing human actions)[5]. There are four hypothetical cases of any action. It either should or should not be done. And it is either done or isn't done. If it should be done and is done, or shouldn't be done and isn't done, then no error is found. But if an action shouldn't be done and yet is done, than an error of commission occurs. On the other hand, if an action should be done but is not done, then an error of omission follows.

Now, let us see the recent definition used concerning human error. First, human error is a general concept, which includes every situations when the planned sequence of mental or physical actions fails to achieve its planned and desired aim, and this failure is not due to any kind of stochastic circumstances[6]. This concept is to loosely describe any sub-optimal human performance. Human failure is the failure of a defined human action. Finally, a failure that is assessed to result in unacceptable consequences such as unavailability or wrong function leading to personal or property damage is called critical failure.

Human error as the consequence of the difference between planned and realized action or performance, may be categorized as slip, lapse and mistake[5].

A separate group of errors is violation, when the action is not allowed, prohibited or not appropriate. Latent error may also play an important role, although this type of errors is usually difficult to identify because of its distance even in time and in space from the evolved event. Human failure may affect components- that is called fault, and processes, when disturbance occur.

There is another classification of errors used in PSA models:

An error of human performance type A is an error that is committed during a human action before the initial event, mainly in connection with the availability of the system (for example in connection with the actions of maintenance). An error of human performance type B is an error which causes a direct initial event. An error of human performance type C is an error that is committed during the human actions made for averting breakdowns or accidents.

Errors of human performance type C have the greatest effect on the results of PSA. In this case the following groups may be differentiated: the lack of a needed action, an action made by mistake and the error of an action made for compensating the lack of a needed action [7].

5 Human Reliability Analysis

It is the human reliability analysis (HRA) techniques that principally deal with the analysis of the human factor, incorporating all the knowledge on human errors but never forgetting about the other, the preventing side of it. (Nevertheless, there are also other methods that aim modelling some aspects of the human factor.) Most of HRA techniques consider the question of data-accessibility and integration into wider systems.

The aims of HRA techniques are the following:

- 1 To identify and analyze the most important human interactions, and to fit them into safety assessments.
- 2 To quantify the probabilities of successes and failures.
- 3 To provide lookout for developing human performance.

All of the techniques concerned with quantifying human reliability include the calculation of human error probability (HEP).

Types of human error probability data have a wide range: actual plant experience, simulator data, experimental data, expert judgement, and artificial data. These types of data may result from several sources of data, namely from event reports, from maintenance reports, from PSA (Probabilistic Safety Assessment) reports, by simulators, from personnel interviews, from experts, etc.

We can observe the seven suggested levels of HRA approaches. Analysing these factors is an essential part of HRA methods. Seven levels of HRA approaches are as recommended:

- 1 Formulating a problem,
- 2 Analysis of factors influencing the performance (PSF-performance shaping factors),
- 3 Task analysis,
- 4 Human error analysis,
- 5 Impact analysis,
- 6 Error-reducing strategies and
- 7 Evaluation of proposals

HRA methods must meet the following criteria:

- 1 Identification of human errors
- 2 Calculating human error probabilities
- 3 Identifying the causes/roots of human errors
- 4 Generating the process of reproduced quality and quantity results
- 5 Causal modelling of human errors that can be described by cognitive and human behavioural sciences
- 6 Data collection, experimental validation, and support for the various external uses of PSA.

Some important HRA techniques are listed below:

Abbreviation	Technique	Author/reference
ATHEANA	A Technique for Human Error Analysis	NUREG/CR-6350
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method	Hollnagel
HCR	Human Cognitive Reliability	EPRI RP-2170-3 NUS-4531
HEART	Human Error rate Assessment and Reduction Technique	Williams
THEA	Technique for Human Error Assessment	Fields
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction	NUREG/CR-1278

6 Models

Let us say a few words on some sorts of modelling the human factor.

Researches are conducted to develop methods of measuring human performance in technical environment, to evaluate longer-term operational concepts, and to develop useful databases and design standards. Modernization efforts, effective human factors in system and facility design, development, and evaluation has become an area of increased interest.

The aim is to define and to verify the general recognition of human factor.

It includes the designing, developing, and evaluating support for systems and subsystems and also the improvement of them. As new features, program management support and human factors support for workplace and facility design have also appeared[8].

As it has already been mentioned, in the engineers' work human factor takes place in two and rather contradictory ways.

Within manufacturing systems the design and re-design is a challenging activity. The competitive environment is constantly changing and there also appears to be a demand to make products cheaper, better and faster.

In this environment, people who carry out repetitive manual production tasks seem to remain key to success. Designers of manufacturing systems often have little appreciation of the wide range of factors that influence the performance of the people who work in the factories. This can lead to the proper designs not performing as expected, with the engineer frequently overestimating how efficiently and effectively people will work. On the other hand, man is able to cope with unforeseen situations, to analyse and to create solutions. When trying to resolve this contradiction, the key to the successful solution is to improve the awareness of engineers about the impact that human factor has on the designs. It is particularly desirable to improve this awareness early on the design process, as many factors can be easily and inexpensively modified at this stage[9].

6.1 A Technical Model

Let us consider an example where it is very important to emphasize the role of the human factor. A disturbance state is a state of the system when it cannot perform its functions due to the effect of well-determined technical or human disturbances.

In the following, the essence of the theory of disturbance state is outlined. This method of examination can aid the shaping of one's attitude towards quality which is necessary for building and maintaining complex – heavy power current, light current – electric systems, including military applied complex electric systems, probably containing controlling sub-systems.

The success of the operation of a complex electric system, as a service system, is determined by how the user requirements are met. This general description is basically the implicit definition of the quality following the concepts of ISO 9000 and TQM standards. In this sense the quality cannot be an exact, directly usable quantity for the system designer and operator. To overcome this problem the concept of key parameters is introduced. Using key parameters the quality of complex electrical systems can be described and the related tasks can be solved.

The key properties are measurable or calculable data which play a significant role in determining the quality of the system. The key properties are characterized by their measures. The designers have control over the parameters that are connected to these key properties.

Knowing the key properties one can account for the exact service parameters (the measures of the key properties). Depending on the system, the key properties can be different. They always depend on the purpose and characteristic features of the system.

Many times the objective is to analyze the absence of failure during the examination of the given system. In these cases, if the key parameters are known, the theory of disturbance can be effectively used. The aim of the method is to divide the measurements into two groups.

The first group contains examinations using confidence models applied for calculations of parameters and fault-possibilities coming from the structure of the system. In this group the analysis is based on reliability theory models (mainly Boole-models and Markov models). The second group contains disturbances which were caused by external and internal disturbance sources (human error or technical malfunction).

The use of fault tree analysis is very efficient for these tests. By means of fault tree analysis, all kinds and sources of disturbances causing system failure can be represented.

Tests connected with causes of disturbance states can be performed according to different guidelines.

Many times the objective is to analyze the absence of failure during the examination of the given system.

During disturbance state tests, technical and other (e.g. human) sources of disturbance having an effect on reliability are tested, even if they have nothing to do with service characteristics. In any case, it is essential to test the sources of disturbance in order.

During these tests, the effects of power-current appliances or equipment, as sources of disturbance possibly endangering reliability, are analyzed, as well as sources of disturbance eliminated by methods of automation and organization.

If inter-subsystem electric and organizational connections of complex automation systems are correctly selected, many failures (sources of disturbance) can be eliminated. When composing design-documentation of complex automation systems, it is very important to find out what kind of disturbances can be caused by human error. Nevertheless, there are disturbances whose appearance can be prevented by instructions and arbitration [10].

6.2 A Psychological Model

Referring back to the categories of human errors: the Latin words, meaning thoughts and words, it may be deduced that what used to be self-evident centuries ago, had to be rediscovered recently. In the last decades it has been recognized that modelling the human factor must include psychological models as well. Let us mention one of them.

Modelling risk perception is an important part of psychological models. Presumed security means supposing security on the basis of probability perception.

In 2016, I carried out a survey with 80 people participating. The aim was to discover the way people perceive risks among the new approaches of hazards, with a technical development never seen before. I wanted to examine whether there is (and what type of) a correlation between the human perception of risks and the actuality and frequency of the same risks happening.

Participants were asked to answer two questions. The first question was to make an order of seven disasters according to their probabilities. As there had not been any previous hints on the probabilities of disasters, participants answered by the subjective probabilities of their own. The second question was to give the time and frequency of the same disasters occurring in the environment (country) of each participant. Here again, each participant answered using his/her own subjective (and not necessarily correct) memories. In order to use the word “disaster” correctly, the definition of disaster was given for the participants. There were the same seven disasters listed alphabetically for both questions. Actually, from the point of view of the research, there could have been any other disasters mentioned instead or parallel. The number seven may be regarded large, but it was given exactly to grant the highest and lowest two probabilities to be adequate to examine. For this reason, the three disasters with middle probabilities were not examined. This way, to each participant an order of four disasters were assigned. Then, from the second part, the orders of actuality and frequency of the same four disasters were assigned to the previous order. For the probability – actuality and probability – frequency orders, a Spearman rank correlation coefficient was calculated.

By the Spearman rank correlation coefficient I measured the correlation of both the probability – actuality and the probability – frequency orders. About 10% of the questionnaires were invalid, due to either improper ranking (using the same number several times) or not answering the second question. From the valid questionnaires, 29% gave an answer only in connection with actuality for the second question. The remaining 71% answered both actuality and frequency. Here, 67% of the Spearman rank correlation coefficient of the probability – actuality and the probability – frequency orders were the same, while 33% were different.

The average Spearman rank correlation coefficient for the above cases are as follows:

Where only the actuality part of the second question was answered: the Spearman rank correlation coefficient of the probability – actuality order is 0.67381.

Where the Spearman rank correlation coefficient of the probability – actuality and the probability – frequency orders were the same: the Spearman rank correlation

coefficient of both the probability – actuality and the probability – frequency orders are 0.692424.

Where the Spearman rank correlation coefficient of the probability – actuality and the probability – frequency orders were different: the Spearman rank correlation coefficient of the probability – actuality order is 0.575.

Finally, where the Spearman rank correlation coefficient of the probability – actuality and the probability – frequency orders were different: the Spearman rank correlation coefficient of the probability – frequency order is 0.598438.

In the final analysis, the coefficients indicate the following:

(1) There is a relatively high positive correlation of both the probability – actuality and the probability – frequency orders.

(2) In the cases where the Spearman rank correlation coefficient of the probability – actuality and the probability – frequency orders were different, a higher positive correlation of the probability – frequency order was obtained.

It means that from the three views concerning risk perception (First: the supposed probability of the incidents that happen frequently, or that have happened lately is relatively higher. Second: incidents that rarely happen, or have not happened recently are more probable to happen in future. Third: no connection is supposed between the probability and the actuality or frequency of a risk happening), the first one has statistical superiority.

Hence, it was concluded that the incidents that happen frequently, or that have happened lately are easier to imagine, so in risk perception, their supposed probability is relatively higher. The results of the survey are consistent with Engländer's concept of the risk – perspective effect. The outcome of the survey also confirms the theorem of Benedikt, Kun and Szász: The human perception of risk is based on the perception of the time period to the risk event.

In connection with this view, presumed security means preparedness for quite well-known incidents, ignoring the hypothetical incidents that are unfamiliar[11].

6.3 A Model for Defence Economy

Finally, let us consider a model for defence economy: In a study on the financing of flood defence and rehabilitation, it was concluded that, in the average of the successive three years, the total cost of disaster protection, restoration cost and recognized damage was approximately 10 times the amount required for the defence investment of development in those years. Despite the uncertainty factors,

the figures suggest that the 1/10 rule recommended for the financing of disaster preparedness seems justified. On the basis of the data, the extent of the potential or the recognized damage on one hand, the development resource for the protection investments on the other hand, and finally, the expenditure to be spent on preparation for prevention, follow the ratio 100:10:1, so they form a geometric sequence with the common ratio 1/10[12].

Conclusions

As the human factor is always present among the main reasons of accidents, it is vital to be aware of the nature of human error. Nevertheless, understanding the preventing side of the human factor is also unquestionable. HRA techniques implement new results for better and wider usage. Several types of models are also being developed for this reason.

References

- [1] NEA (2003): Nuclear Regulatory Challenges Related to Human Performance ISBN : 92-64-02089-6, OECD, Paris
- [2] Vajda György: Kockázat és biztonság, Akadémiai Kiadó, 1998
- [3] www.iaea.org/ns/tutorials/regcontrol/chapters/appendix.pdf 09-11-2015
- [4] Kovács Judit: Human factors challenges and perspectives in disaster management In: Temesvári Zsolt (szerk.) XXXI. Kandó konferencia 2015: "Kandó a tudomány hajóján". 2015. pp. 1-10. (ISBN:978-963-7153-06-3)
- [5] James Reason: Managing the Risks of Organizational Accidents, Ashgate Publishing Company, 2004
- [6] James Reason & Alan Hobbs: Managing Maintenance Error- A Practical Guide, Ashgate Publishing Company, 2003
- [7] OAH 3. 11. sz. Útmutató, Verzió száma: 1. 2006. szeptember
- [8] www.ara.com/projects/faa-human-factors-laboratory-technical-support 08-12-2017
- [9] T.S. Baines, R. Asch, L. hadfield, J.P. Mason, S. Fletcher, J.M. Kay : Towards a theoretical framework for human performance modelling within manufacturing systems design (Simulation Modelling Practise and Theory 13, 2005 ,486-504)
- [10] Gyula Zsigmond, Judit Kovács: Determination of Disturbance States with a Special Focus on the Human Factor BOLYAI SZEMLE 2007:(3) pp. 187-193. (2007)

- [11] Kovács Judit: On the Human Perception of Risk. Questions of Presumed Security XXXII. Kandó konferencia 2016: "Kandó a tudomány hajóján". pp. 1-13. (ISBN:978-963-7158-07-0)
- [12] www.zmne.hu/kulso/mhtt/hadtudomany/2003/2/09gazdakiraly/Chapter1.htm
08-12-2017

Optimum Excitation Angles for Switched Reluctance Motor Drives

M. Hamouda^{1,2}, László Számel¹

¹ Budapest University of Technology and Economics, Department of Electric Power Engineering, Egry József utca 18, H-1111 Budapest, Hungary

² Mansoura University, Electrical Engineering Department, Elgomhouria St., Mansoura 35516, Egypt

E-mail: m_hamouda26@mans.edu.eg, szamel.laszlo@vet.bme.hu

Abstract: Many industrial applications including electric vehicles (EVs) require optimum performance over wide range of speeds. As the control strategy of switched reluctance motor (SRM) is based on the inductance profile which is a function of rotor position and current magnitude, the control of SRM is a challenging task and requires an online adaptive strategy for optimum operation. This paper represents an adaptive control algorithm for optimum operation of SRM over wide range of speed control. It introduces a simple and low cost implementation solution for optimum switch-on angle by good representation of back-emf voltage. Furthermore, it defines the optimum switch-off angle in order to avoid production of negative torque. The SRM, converter, and control algorithm are modeled using MATLAB/Simulink. For accurate results, the nonlinear magnetization characteristics of tested 6/4 SRM is obtained using finite element method (FEM). A series of simulation results is included to show the feasibility of the control algorithm.

Keywords: switched reluctance motor (SRM), excitation, switch-on, turn-off angles, finite element method, MATLAB

1 Introduction

The switched reluctance motor (SRM) is a strong candidate over other motors for variable-speed drive applications including electric vehicles (EVs) and several industrial applications. It can provide a reliable and low-cost variable-speed drive [1]–[3]. However, the doubly salient structure and deep magnetic saturation make the magnetic characteristics a highly nonlinear function of rotor position and current magnitude. This nonlinearity makes control of SRM drives a challenging task [4], [5]. Optimum performance over wide speed range needs adaptive control techniques.

For EVs as example, it is recommended to have the highest torque/ampere ratio over the widest range of speed control. The average torque is affected by the switch-on, switch-off angles and current waveform in motor windings. But these characteristics depend on the motor speed and load torque [1]. Appropriate choice for switch-on and switch-off angles as a function of motor speed and current magnitude can improve torque production and drive efficiency. But this may require sophisticated and complex digital controllers for real time variation of switching angles as a function of motor current and speed [6], [7].

For decades, many researches have been directed to optimize SRM performance based on optimum solution for switch-on and switch-off angles. In [6], a closed loop switch-on angle control is introduced. This control forces first peak of phase current to occur at the angle where the rotor poles begin to overlap with stator poles (θ_m). This method is complicated and requires two sub-algorithms to monitor both first peak of phase current and its position. In [8], a simple conventional approach for optimum switch-on angle based on ideal inductance profile is introduced. In [9], the conventional approach is used to obtain an initial value of switch-on angle, then within a certain range around this initial value an experiment is conducted to find the most efficient set of angles. In [7], excitation angles are optimized based on fitting of inductance profile. It may be simple but over estimates back-emf voltage which results in early switching-on and increased copper losses. In [10], the excitation angles are optimized based on fuzzy adaptive controller. But fuzzy controllers require a good experimental knowledge of motor performance. In [11], a heuristic optimization technique has been introduced based on simplified fourier analysis. In [12], an automatic control of turn-off angle in the face of turn-on angle automatic control is introduced to maximize drive efficiency. The experimental work is used to obtain a relationship between speed, reference current, and switch-off angle. After that, the optimized switch-off angle is obtained through curve fitting.

The paper is organized as follows: Section II presents the mathematical modeling of SRM. It also obtains the calculated magnetization characteristics using FEM. Moreover, Section III and Section IV describe the proposed control algorithm for optimum switch-on and switch-off angles respectively. Section V describes the simulation results and their discussion. Finally, Section VI gives the conclusions drawn from this research.

2 Modeling of SRM

Due to the double saliency structure and deep magnetic saturation of SRM, it has highly nonlinear magnetization characteristics. The flux-linkage $\lambda(i, \theta)$ and hence inductance $L(i, \theta)$ are functions of both current magnitude (i) and rotor position (θ). The voltage equation is given as follows [13]:

$$V = R \cdot i + \frac{d\lambda(i, \theta)}{dt} \quad (1)$$

$$\text{with } \lambda(i, \theta) = L(i, \theta) \cdot i \quad (2)$$

The voltage equation becomes:

$$V = R \cdot i + L(i, \theta) \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL(i, \theta)}{dt} \quad (3)$$

then,

$$V = R \cdot i + L(i, \theta) \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL(i, \theta)}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

$$\text{where } \frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (5)$$

$$V = R \cdot i + L(i, \theta) \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL(i, \theta)}{d\theta} \cdot \omega \quad (6)$$

$$\text{with, } k_b = \frac{dL(i, \theta)}{d\theta} \quad (7)$$

Then the voltage equation becomes:

$$V = R \cdot i + L(i, \theta) \cdot \frac{di}{dt} + k_b \cdot i \cdot \omega \quad (8)$$

where the symbols V , i , R , λ , L , ω , and θ are the phase voltage, current, resistance, flux linkage, inductance, rotor speed, and rotor position respectively.

The phase torque (T) is a function of current and derivative of phase inductance as follows:

$$T = \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL(i, \theta)}{d\theta} \quad (9)$$

Equation (9) shows that the torque does not depend on current direction but depends on the inductance slope $dL/d\theta$.

The nonlinear magnetization characteristics of the simulated 6/4 SRM are obtained using finite element method (FEM) for magneto-static field analysis. These characteristics are stored in lookup tables $\lambda(i, \theta)$ and $T(i, \theta)$ to be used in MATLAB simulation model [14], [15].

Figure 1 shows the FEM-calculated phase-inductance $L(i, \theta)$ as a function of rotor position for different magnitudes of excitation currents. While, Figure 2 illustrates the static torque characteristics $T(i, \theta)$ as a function of rotor position for different

magnitudes of excitation currents. Angle $\theta = 0^\circ$ represents unaligned position and angle $\theta = 45^\circ$ depicts aligned position, where θ is defined in mechanical degrees.

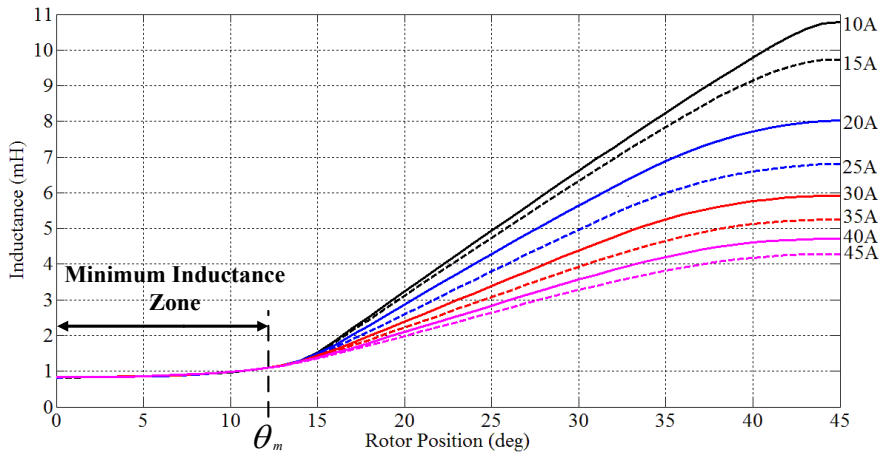


Figure 1

The inductance pattern $L(\theta, i)$

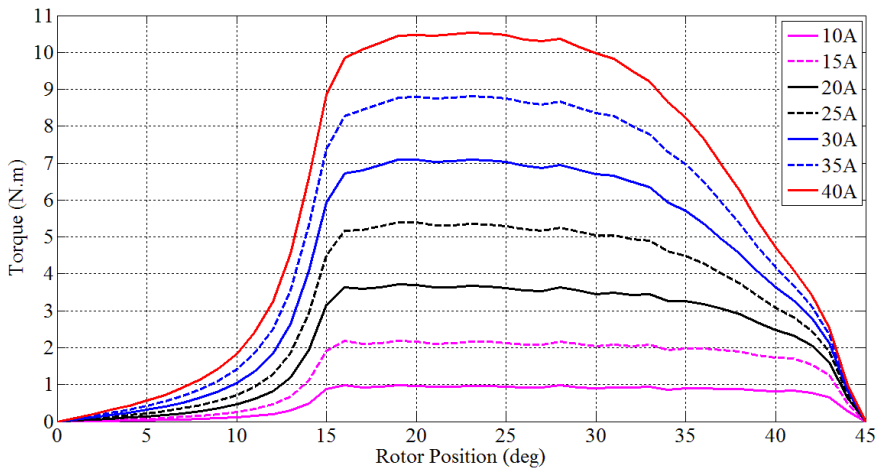


Figure 2

Static torque characteristics $T(\theta, i)$

3 Optimal Switch-On Angle

For simplicity, a linear inductance profile is considered for explanation as shown in Figure 3(a). According to the torque equation, the motor coils must be excited in the increasing inductance zone ($dL/d\theta > 0$), and should be de-energized before the negative inductance zone ($dL/d\theta < 0$) to avoid negative torque production.

Under examination of static torque curve (see Figure 2), it is clear that the maximum torque for the same current magnitude occurs at a certain rotor position. This position is the starting point of rotor movement out of minimum inductance zone (angle θ_m) [6], [7]. Hence, for maximum torque production, the phase current should reach its reference level (I_{ref}) before or at this defined rotor position (θ_m). Before angle θ_m , the slope of inductance ($dL/d\theta \ll$) is very small and no torque is produced. So, if the switch-on angle (θ_{on}) is too advanced, the copper losses in stator coils will be very high [9]. Therefore, θ_{on} can be calculated backward from angle θ_m by a conventional approach as follows [8], [9]:

$$\theta_{on} = \theta_m - \left(\frac{L_u \cdot I_{ref} \cdot \omega}{V_{dc}} \right) \quad (10)$$

where L_u is the minimum inductance, V_{dc} is the dc bus voltage, ω is the rotor speed and I_{ref} is the reference current. Equation (10) assumes constant inductance over period $[\theta_g, \theta_m]$. It gives acceptable performance for low speed. For speeds higher than rated motor speed, Equation (10) starts to break down because of the dominant effect of back-emf voltage [7]. Thus for a wide range of operating speeds, an adaptive control scheme is required which can provide a good representation of back-emf voltage. This can be achieved as follows:

Solving the voltage equation for the phase current during its energizing process gives:

$$i(t) = \frac{V_{dc}}{R + k_b \cdot \omega} \left[1 - e^{-\left(\frac{R + k_b \cdot \omega}{L_u} \right) t_r} \right] \quad (11)$$

then, the required rise time (t_r) for phase current to reach its reference value I_{ref} can be written as:

$$t_r = \frac{-L_u}{R + k_b \cdot \omega} \ln \left[1 - I_{ref} \left(\frac{R + k_b \cdot \omega}{V_{dc}} \right) \right] \quad (12)$$

so the instant of energization of phase current should be advanced to have its first peak of current at θ_m . Therefore, θ_{on} becomes:

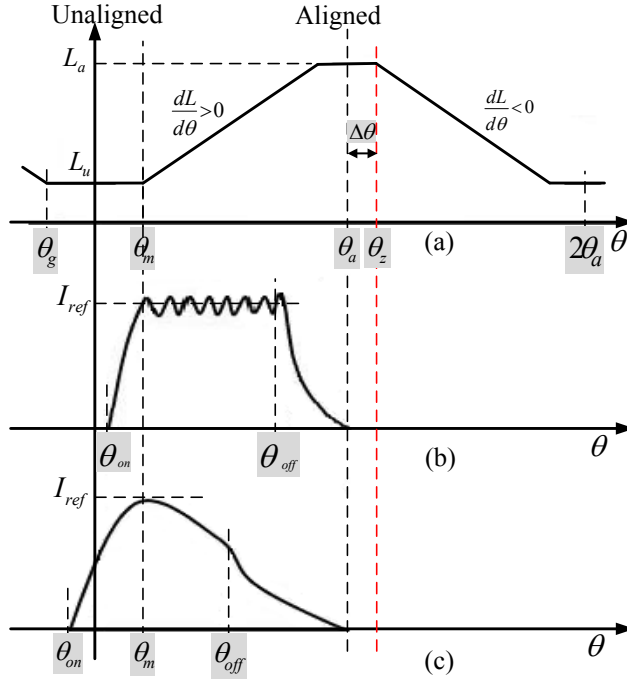


Figure 3

Current waveforms with ideal inductance profile (a) Ideal inductance (b) Current waveform at low speeds (c) Current waveform at high speeds

$$\theta_{on} = \theta_m - \omega \cdot t_r = \theta_m - \omega \cdot \frac{-L_u}{R + k_b \cdot \omega} \ln \left[1 - I_{ref} \left(\frac{R + k_b \cdot \omega}{V_{dc}} \right) \right] \quad (13)$$

It can be noted that θ_{on} is affected directly by L_u and k_b . In order to calculate the optimum θ_{on} accurately, the effect of back emf at high speed or even low speeds should be considered. This effect can be handled by proper adjustment of k_b . If the θ_{on} is controlled to be optimal value over the entire speed range, the current waveforms at low and high speed operation will be as given in Figure 3(b, c). For any value of operating speed, the first peak of phase current should always occur at angle θ_m .

Because k_b is the slope of phase self-inductance $L(i, \theta)$, it is a function of both current magnitude and rotor position too. As always θ_{on} occurs before θ_m , k_b can be calculated in the minimum inductance zone only.

Inductance profile analysis (see Figure 1), reveals the fact that in the minimum inductance zone, the inductance is only a function of rotor position $L(i, \theta) = L(\theta)$. So, simple expression between inductance and position can be introduced. In this

study, a two exponential functions fitting is used. The relationship between inductance and position in the minimum-inductance region can be written as:

$$L = a \cdot e^{b\theta} + c \cdot e^{d\theta} \quad (14)$$

$$k_b = dL(i, \theta) / d\theta = a \cdot b \cdot e^{b\theta} + c \cdot d \cdot e^{d\theta} \quad (15)$$

where a, b, c and d are the fitting coefficients. The coefficients with 95% confidence bounds are calculated using MATLAB fitting toolbox. The calculated results are $a=0.8063$, $b=-0.005571$, $c=0.02503$, and $d=0.2155$. The comparison between the calculated inductance data using FEM and fitted data using equation (14) is shown in Figure 4.

It must be noted that the value of inductance L_u and its slope k_b are not constant over the minimum inductance zone. Both L_u and k_b have maximum values at θ_m . For the sake of simplification, L_u and k_b are taken as the average values over minimum inductance zone. The calculated average values of minimum inductance is $L_u=0.907$ mH and for $k_b=0.02328$ mH/deg.

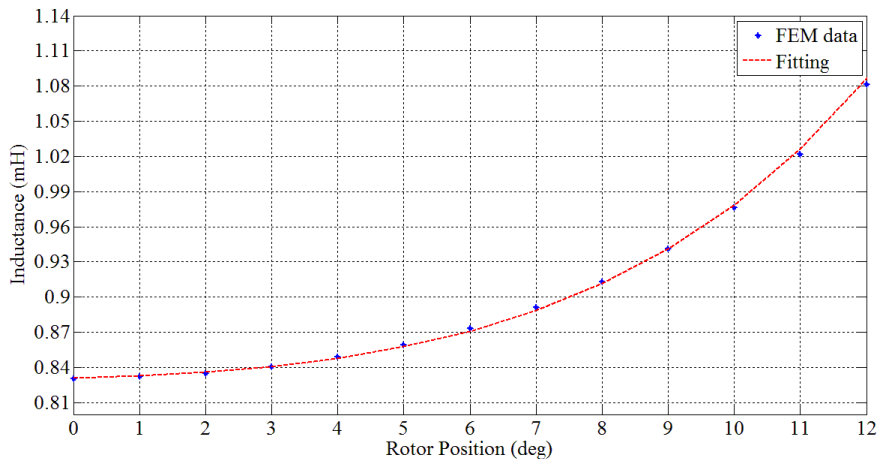


Figure 4

Fitting of inductance curve in minimum inductance zone

4 Optimal Switch-Off Angle

In a similar manner, solving the voltage equation during the de-energizing process gives the motor phase current as follows:

$$i(t) = i_o e^{-\left(\frac{R+k_b \cdot \omega}{V_{dc}}\right) \cdot t_f} - \frac{V_{dc}}{R+k_b \cdot \omega} \left[1 - e^{-\left(\frac{R+k_b \cdot \omega}{V_{dc}}\right) \cdot t_f} \right] \quad (16)$$

where i_o is the phase current at the instant of switching-off. The falling time t_f for the phase current to decay to zero can be given by:

$$t_f = -\frac{L(\theta_{off})}{R+k_b \cdot \omega} \ln \left(\frac{V_{dc}}{i_o \cdot (R+k_b \cdot \omega) + V_{dc}} \right) \quad (17)$$

Equation (17) shows that the de-energizing-time t_f can be adjusted by θ_{off} for an initial phase current i_o and rotor speed ω by $(R+k_b \omega)$. But the calculation of factor k_b during the deenergizing process is very complex because k_b is a function of both current magnitude and rotor position.

As the flux rise time equal to its falling time under single pulse control [7], A simple approach for the switch-off angle can be obtained. Figure 5 shows the phase flux linkage against phase current. After the phase winding is switched-on, the phase flux-linkage starts to rise up from zero, reaching its peak at θ_{off} . On the other hand, after the de-energization of the phase winding, the phase flux-linkage starts to fall down reaching zero at θ_a .

With the flux-linkage's rising time t_{rise} and falling time t_{fall}

$$t_{rise} = \frac{\theta_{off} - \theta_{on}}{\omega} = t_{fall} = \frac{\theta_a - \theta_{off}}{\omega}, \quad (18)$$

$$\text{So, } \theta_{off} = \frac{1}{2}(\theta_{on} + \theta_a) \quad (19)$$

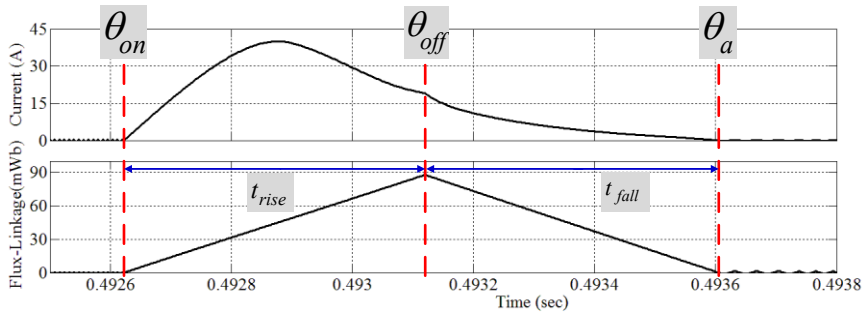


Figure 5

Flux-linkage against phase current in an electrical period

Equation (19) is derived based on the single pulse control under high speeds operation. This equation starts to introduce a noticeable error while the speed is decreasing. The error becomes unacceptable under current chopping mode during

low speeds. This error can be handled with a compensation factor, and equation (19) becomes:

$$\theta_{off} = \frac{1}{2}(\theta_{on} + \theta_a) + k \frac{I_{max}}{I_{ref}} \quad (20)$$

where k is the curve-fitting parameter that is adjusted with motor speed as third-degree-polynomial function based on simulation results as illustrated in Figure 6. I_{max} is the maximum allowable current to follow in motor windings. Mostly, $I_{max} = I_{ref}$ during chopping process under low speeds with rated output power. $I_{ref} < I_{max}$ can be occurred if the motor is operated unloaded with low speeds.

In order to avoid production of negative torque, equation (20) should make motor current decays to zero before or at angle θ_a (see Figure 3). But, as the inductance profile varies greatly from motor to another. In this study, the tested 6/4 SRM inductance has a top dead zone (see Figure 1). The motor generates no torque in this zone because slope of inductance is nearly zero. Therefore, θ_{off} can be delayed to make motor current decay to zero at angle θ_z instead of θ_a . The angle (θ_z) depends on the motor inherited inductance profile. Good choice of θ_z can improve motor output power and drive efficiency in great manner without production of any negative torque. After the addition of top dead zone of phase inductance equation (20) becomes:

$$\theta_{off} = \frac{1}{2}(\theta_{on} + \theta_z) + k(\omega) \frac{I_{max}}{I_{ref}} \quad (21)$$

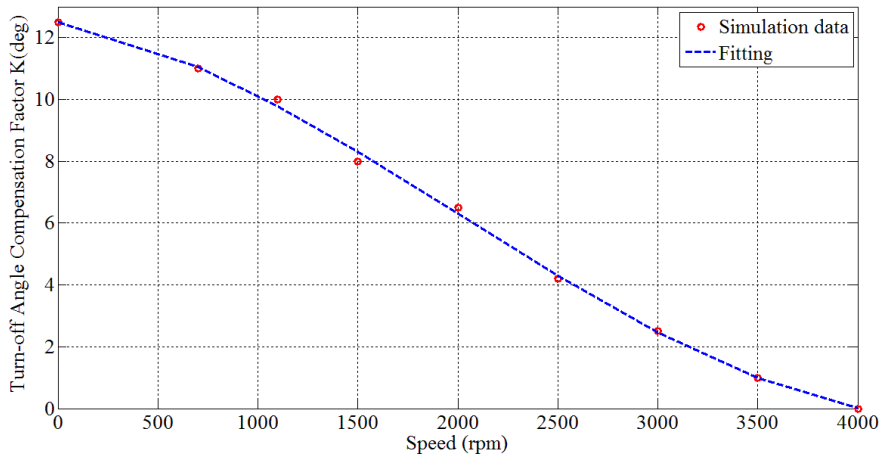


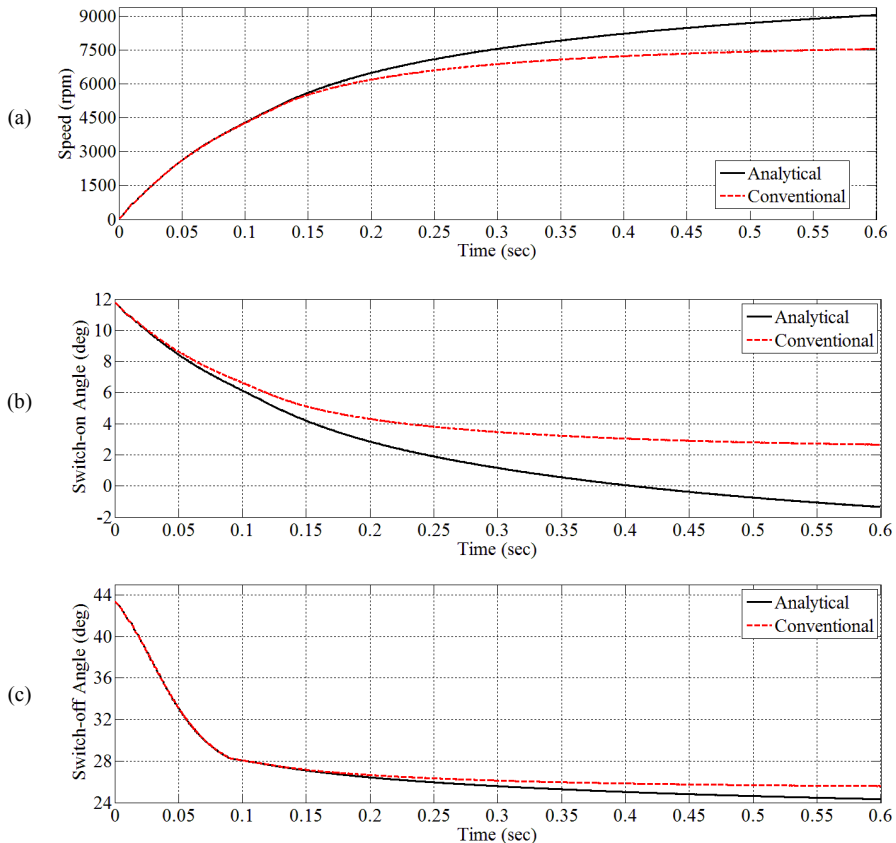
Figure 6

Turn-off angle compensation factor K(deg).

5 Results and Discussion

A simulation model for SRM, IGBT converter, and control algorithm are built using MATLAB/Simulink. The SRM to which the simulation is applied is a 6/4, three-phase, 3kW, 180V SRM designed where $\theta_m=12^\circ$. Different operating conditions have been discussed to test system performance compared to the conventional approach that is given by equation (10).

A clear comparison between the proposed analytical and conventional control algorithms is illustrated in Figures 7 for the motor speed, switch-on angles, switch-off angles, and mechanical output power respectively. The motor starts from rest with the same load torque of 3Nm. The proposed analytical control algorithm allows the motor to reach 9000 rpm while the conventional control algorithm allows the motor to reach only a speed of 7500 rpm as shown in Figure 7 (a). The speed difference is very obvious which demonstrates that the proposed control algorithm has a promising performance over extended speed range. The proposed algorithm changes θ_{on} and θ_{off} very well to be totally adaptive to motor speed and reference commanded current as shown in Figures 7(b,c).



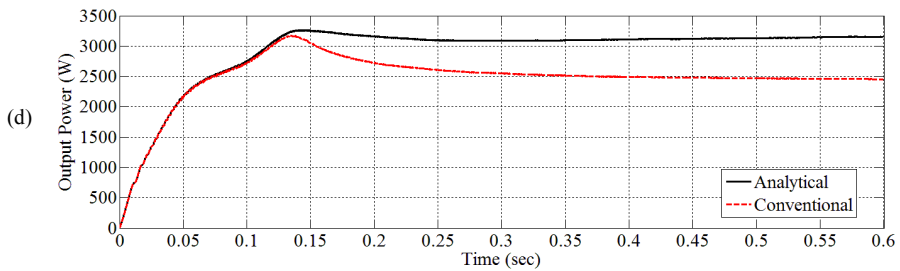


Figure 7

Simulation results of: a) motor speed b) switch-on angles c) switch-off angles d) mechanical output power

As seen in Figure 7(a), both the proposed and conventional control algorithms have the same behavior till speed of 5000 rpm (rated speed). After this speed, the conventional approach starts to break down. The mechanical output power is shown in Figure 7(d). The output power with the proposed algorithm has an extended flat shape with power value equal to motor rated power. On the other hand, the output power of the conventional approach is 20 % less than rated output power of the proposed algorithm for high speeds.

The proposed control algorithm provides adequate value of k_b . this value adjusts θ_{on} all over with motor speed. This allows motor phase current always to reach its commanded reference level (40A) as shown in Figure 8. While the motor phase current under conventional approach has ΔI current difference from its reference value (40A), despite the motor speed is 7500 rpm which is lower than the speed of proposed control algorithm (9000 rpm).

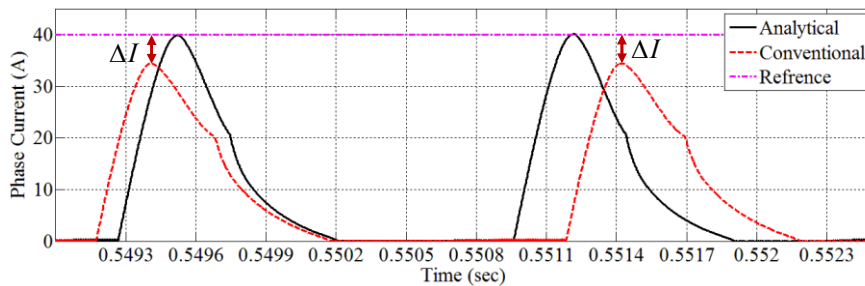


Figure 8

The motor phase current

In order to demonstrate that the provided switching angles are the optimum values, the current waveforms are plotted versus rotor position for low speed of 3000 rpm and high speed of 9000 rpm respectively as given in Figure 9. Under low speed operation, the motor current have enough time to rise and fall. Thus, the

θ_{on} is delayed to be at 8° as illustrated in Figure 9(a). The optimal θ_{on} makes first peak of phase current always occurs at $\theta_m=12^\circ$ approximately. For high speed, θ_{on} is too advanced to be at 1° in order to provide enough time for the phase current to reach its desired level (40A) as shown in Figure 9(b). It is also clear that the first peak of phase current occurs at angle $\theta_m=12^\circ$.

More illustration is given in Figure 10. The motor phase current is plotted along with phase inductance. The first peak of phase current occurs at the end of minimum inductance zone $\theta_m=12^\circ$.

The optimal θ_{off} is the maximum delayed angle that prevents the production of negative torque. It also makes the phase current decays to zero at the end of positive slope of inductance profile ($\theta_z = \theta_a = 45^\circ$). In this paper, angle θ_z is chosen greater than 45° because of the top dead zone of inductance pattern for the tested SRM.

The torque profile is shown in Figure 11. It is clear that the torque profile has no negative torques for low and high speed operation despite the current delayed to zero after $\theta_a = 45^\circ$.

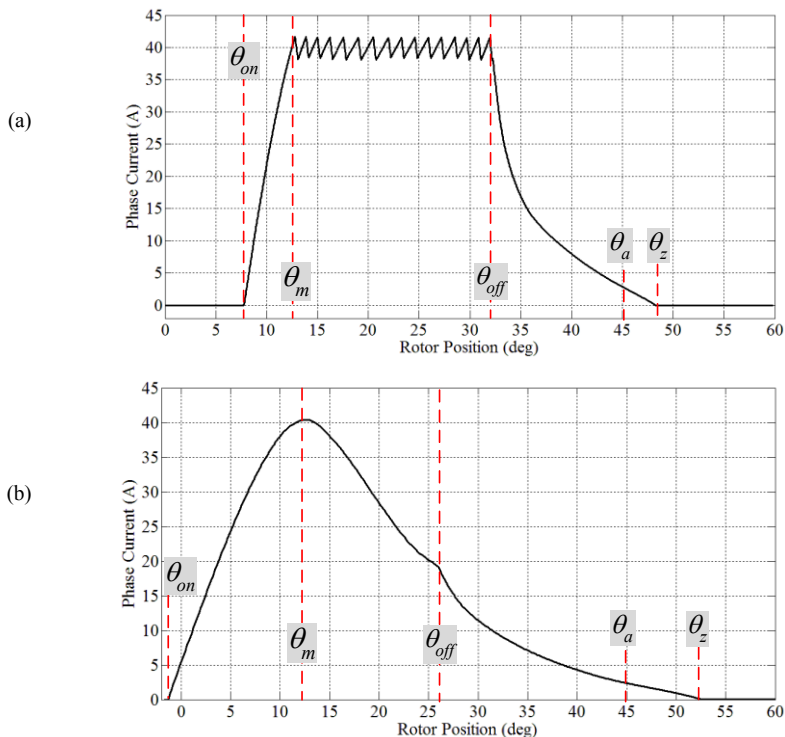


Figure 9

The phase current waveforms at a) low speed of 3000rpm b) high speed of 9000rpm

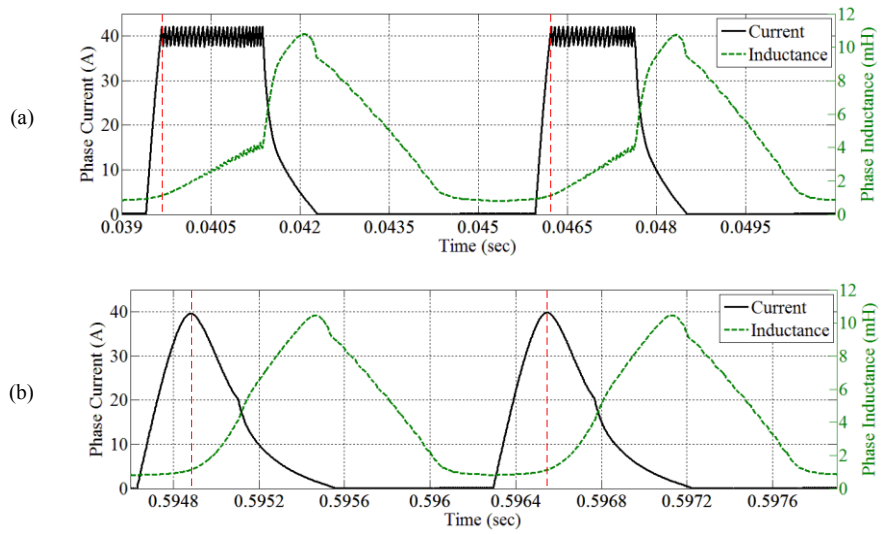


Figure 10

Current and inductance waveforms at a) low speed b) high speed.

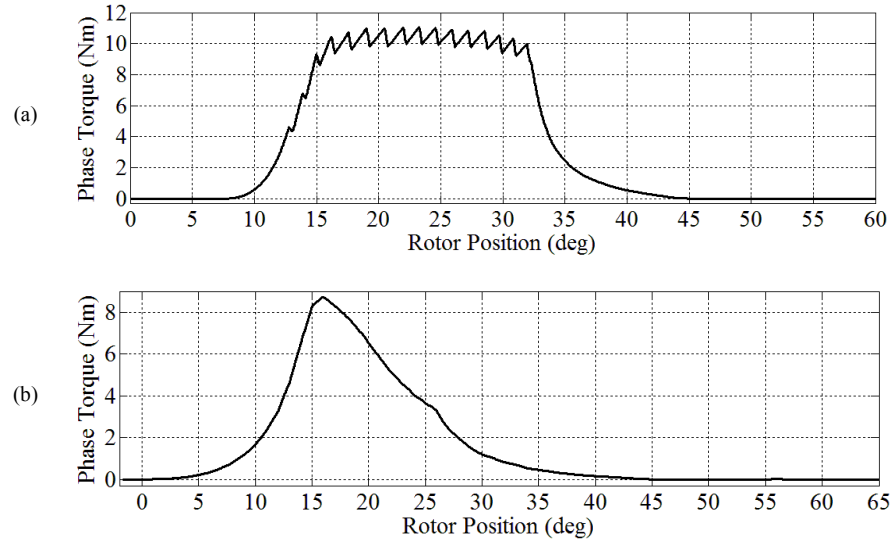


Figure 11

Phase torque waveforms at a) low speed of 3000 rpm b) high speed of 9000 rpm

Conclusions

This paper presents an automatic control algorithm for optimum excitation angles of SRM drives over a wide range of speed control. The proposed algorithm determines the most efficient switch-on and switch-off angles all over with the motor speed and current magnitude. It represents the effect of back-emf voltage at low and high speeds. It offers a simple and low cost implementation technique. The verification of optimum switch on angle is achieved by forcing the first peak of phase current to occur always at angle θ_m while insuring that phase current can reach its desired reference level. The control algorithm defines the optimum switch-off angle that prevents production of negative torque. The motor, inverter and control system is modeled in MATLAB/Simulink to demonstrate system operation over the possible range of speeds. The simulation results show that this technique provides efficient motor operation over extended speed range. It allows motor to reach higher speeds with production of 20% higher mechanical output power compared to conventional approach.

References

- [1] H. Chen, Z. Yang, and H. Cheng, "Average torque control of switched reluctance machine drives for electric vehicles," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 9, no. 7, pp. 459–468, 2015.
- [2] M. Hamouda, A. R. A. Amin, and E. Gouda, "Experimental Investigation of Switched Reluctance Motor Detailed Performance under Balanced and Unbalanced Operation," *Mansoura Eng. Journal*, vol. 40, no. 4, pp. 29–40, 2015.
- [3] X. Wang *et al.*, "Design of A Wide Speed Range Control Strategy of Switched Reluctance Motor for Electric Vehicles," in *International Conference on Information and Automation*, 2015, pp. 294–299.
- [4] E. Gouda, M. Hamouda, and A. R. A. Amin, "Artificial Intelligence based Torque Ripple Minimization of Switched Reluctance Motor Drives," in *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 2016, pp. 943–948.
- [5] M. Hamouda, A. R. A. Amin, and E. Gouda, "A Drive System Design and Implementation for Switched Reluctance Motor Based on Wide Range Speed Control," *17th Int. Middle East Power Syst. Conf. (MEPCON), December 15-17, 2015.*, 2015.
- [6] Y. Sozer, D. A. Torrey, and E. Mese, "Automatic control of excitation parameters for switched-reluctance motor drives," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 2, pp. 594–603, 2003.
- [7] Y. Z. Xu, R. Zhong, L. Chen, and S. L. Lu, "Analytical method to optimise turn-on angle and turn-off angle for switched reluctance motor drives," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 6, no. May, p. 593, 2012.

- [8] T. J. E. Miller, W. H. Bicknell, and P. M. Szczesny, "Microcomputer Control of Motor Switched Reluctance," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-22, no. 4, pp. 708–715, 1986.
- [9] C. Morón, E. Tremps, P. Ramirez, A. Garcia, and J. A. Somolinos, "Performance optimization in switched reluctance motor drives With Online Commutation Angle Control," *IEEE Trans. ENERGY Convers.*, vol. 18, no. 3, pp. 448–457, 2003.
- [10] H. M. Cheshmehbeigi, S. Yari, a R. Yari, and E. Afjei, "Self-Tuning Approach to Optimization of Excitation Angles for Switched- Reluctance Motor Drives Using Fuzzy Adaptive Controller," in *2009 13th European Conference on Power Electronics and Applications*, 2009, pp. 1–10.
- [11] B. Fahimi, G. Suresh, J. P. Johnson, M. Ehsani, M. Arefeen, and I. Panahi, "Self-tuning control of switched reluctance motors for optimized torque per ampere at all operating points," *APEC '98 Thirteen. Annu. Appl. Power Electron. Conf. Expo.*, vol. 2, pp. 778–783, 1998.
- [12] Y. Sozer and D. A. Torrey, "Optimal turn-off angle control in the face of automatic turn-on angle control for switched-reluctance motors," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 1, no. 3, pp. 395–401, 2007.
- [13] R. Krishnan, *Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications*. 2001.
- [14] I. Husain and S. A. Hossain, "Modeling, Simulation, and control of switched reluctance motor drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 6, pp. 1625–1634, 2005.
- [15] M. Hamouda and L. Szamel, "Torque Control of Switched Reluctance Motor Drives for Electric Vehicles," in *Proceedings of the Automation and Applied Computer Science Workshop*, 2017, pp. 9–20.

Lehetőségek a PLC-s ipari automatizálásban

Radovics Balázs

evosoft Hungary Kft., 1117 Budapest, Kaposvár u. 14-18.

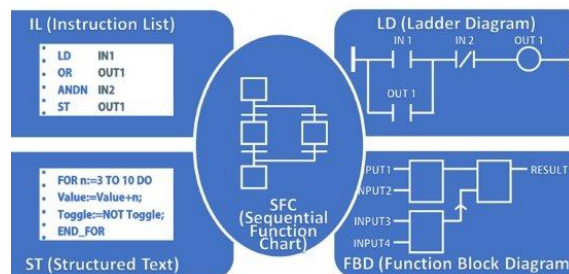
balazs.radovics@evosoft.com

Absztrakt: Mára teljesen természetessé vált az internet használata, legyen szó szociális kapcsolatokról, kommunikációról, esetleg távoli hozzáférésről. De mi a helyzet az ipari automatizálásban? Hogyan alakítja az ipar saját automatizálási eszközeit az Industry 4.0 követelményeihez? Az evosoft Hungary Kft. falain belül a leginnovatívabb Siemens-es eszközök prototípusaival foglalkozunk, melyek megoldást kínálnak napjaink ipari kommunikációs „problémáira”. A következő cikkben az olvasó megismerhet egy-egy szeletet a megszámlálhatatlan lehetőségek közül.

Kulcsszavak: PLC, ipari automatizálás, Industry 4.0

A PLC programozást nevezhetjük kakukktojásnak a programozástechnikai tudások világában, ugyanis az IEC61131-3 szabványban rögzített öt különböző programnyelv mind más-más gondolkodásmódot igényel. A programnyelvek kiválasztása az adott feladattól függ, illetve az esetleges standard-ek betartásától, melyeket egy-egy ügyfél megkövetel. A sokrétű tervezhetőség, diagnosztikai lehetőség nagy előnybe helyezi az általunk tesztelt PLC-eket, melyek Siemens nevét dicsérik. Lehet, kissé elfogult vagyok a Siemens ipari automatizálásra szánt termékeit illetően, de nézzék el nekem - jó értelemben vett szakmai ártalom. A cég szervezeti felépítésében van egy egyre növekvő, egyre több, nagyobb felelősséget a hazai ipari életbe hozó ágazat, mely System Test & Engineering ágazat névre hallgat. Ezen ágazaton belül a Siemens iparban használatos piacvezető termékeinek prototípusait teszteljük, illetve a már kiadott termékekre érkező hibariportokat vizsgáljuk. Majd egyeztetve a fejlesztéssel javítási alternatívák további tesztelésével biztosítjuk a Siemens termékek megrendelői számára, hogy vitathatatlanul egy kiforrott, megbízható hardver, illetve szoftver jusson el hozzájuk. A támogatásunk még a termékek maintenance fázisában, azaz gyártás befejeztével sem marad el, egészen a termék kivonásáig tart. Természetesen ezen fázisokban már nem akkora prioritást élvezve, mint az újabb innovatív eszközök.

Ha már az új, forradalmi eszközökről esett szó, el is érteztünk a System Test & Engineering ágazaton belüli S7-1500 Systemtest projekthez, melyet másodmagammal, Sárdi Péterrel /aki egyben a projekt team managere/ képviselünk az ügyfél felé. A Siemens programozható logikai vezérlő családjainak legújabb üdvöskéje az imént említett család. Munkánk során a termékek Firmware-ét (továbbiakban FW) vizsgáljuk, azaz a programot, mely a hardver lelkét adja. Természetesen a FW-t az



1. ábra: IEC 61131-3 szabvány programozási nyelvei

egyes hardverelemek viselkedésével, azaz egy hardverelem a PLC-ben megírt szoftverre adott válaszával tudjuk a legjobban, a legkisebb hibarátával ellenőrizni. Ehhez a fent említett szabványban szereplő programnyelvek valamelyikét használjuk, mely mindig a feladattól függ, illetve a feldolgozás gyorsaságától.

Csak, hogy tisztába tegyünk egy-két fogalmat, a programot a PLC-be le kell tölteni. Na már most, ha letöltjük, nem mindegy, hogy milyen formában dolgozik vele a továbbiakban a kontroller. A Siemens PLC-kben található egy úgynevezett S7DOS, mely csatolófelületet biztosít a letölteni kívánt programjaink, illetve a vezérlő között. Ebben az összekötőben a program a PLC-k számára is érthető MC7 kódra fordítódik. Megállapítható, hogy az a program fog a leggyorsabban futni, mely a legközelebb áll az MC7 kódhoz. Ha példának vesszük az S7-300-as PLC családot, ott az STL (Statement List) nyelv, mely a szabvány szerinti IL nyelvnek (Instruction List) felel meg, fog a leggyorsabban a vezérlő számára is érthető, feldolgozható kódra konvertálódni. Ezt tehát alapul tudjuk venni, ha számít a feldolgozás gyorsasága egy S7-300-as PLC esetében. S7-1500-as családnál már kissé más a helyzet. A PLC a szabvány szerinti ST (Statement List), illetve FBD (Function Block Diagram) nyelvekre van optimalizálva, de lényeges különbséget nem lehet tapasztalni a többi programnyelv között sem. Lényeges különbség alatt [ms]-os tartományra gondolok. A másik szempont, mely beleszólhat abba, hogy milyen nyelvet is használjunk egy-egy feladat megoldásához, az a feladat típusa, ha nevezhetem így. Nézzünk egy egyszerű példát a megértés érdekében. Ha pl. bitlogikával foglalkozunk egy munka alatt, akkor erre a legmegfelelőbb LAD (Ladder Logic) nyelven programozni, melyet a legtöbb okosrelé is ismer. Persze, gyakorlott PLC programozói tudás birtokában be fogjuk látni, hogy más nyelven sem túl bonyolult a bitlogika. Egy másik példa: amennyiben futási időben szeretnénk valamely modult, modulokat átparaméterezni, vagy hatalmas adatblokkokkal dolgozunk és indokolt lenne pointer használata, vagy bármiféle indirekt címzés, akkor az IEC61131-3 szabvány szerinti IL, illetve az ST programnyelvek javallottak. Az S7-1500-as projekt két ország kooperációs munkáját dicséri, melyeket nem nehéz kitalálni, ha az evosoft Hungary kft. ügyfélkörét nézzük, hogy Németország, illetve Magyarország. Közös egy teljesen új, innovatív hardver, illetve FW kidolgozásán, fejlesztésén, tesztelésén dolgozunk, melynek előrelátható megjelenési ideje ez év második felévére tehető.

A mai rohanó világban elengedhetetlen, hogy automatizáljunk. Ez alól a mi munkánk sem kivétel. Hiába PLC programnyelveken írjuk, futtatjuk a tesztszoftveinket, az automaták írásához magas szintű objektum orientált programozási nyelveket használunk, mint például C#, C++. Ezen kódok megírására, az automata tesztek tervezésére egy tesztautomatizálással foglalkozó projektcsoport áll a tesztmérnökök rendelkezésére, segítséget nyújtanak nekik nap mint nap. Mára már egy teljesen saját keretrendszerrel írtak a kollégák, amelyen keresztül egy C#-ot professzionális szinten nem ismerő mérnök is könnyedséggel írhat C# kódot, és azon keresztül automatákat különböző felületi, illetve futtatási tesztekhez. Ez a keretrendszer, program, mely TestCreator néven jelent meg az S7-1500-as projekten belül mostanra már a V2.0-ás verziót érte el. A kollégák szeretik használni és mondanom sem kell, hogy a megannyi új funkció, mely a PLC FW-ben megjelenik újabb és újabb fejlesztést von maga után a TestCreator-ban. Tehát egy rendszerteszteléssel foglalkozó projekt életébe is szervesen beleszól az automatizálás. A jövő teljesen abba az irányba megy az iparban, a tesztelésben, és még megannyi mérnöki területen, hogy minél több minden automatizált legyen, ezzel megkönnyítve az



2. ábra: az S7-1500 PLC termékcsalád legnagyobb tagja, CPU1518

emberek életét, munkáját. Napjainkban elég nehéz elképzelni, hogy valamit is a gyártásban teljesen kézzel vigyenek végbe teljesen kizárva az automatizálást. De mi van akkor, ha szeretnénk tudni, hogy mi is történik a bizonyos fázisokban akár több ezer kilométer messziről is? A következő nagy kérdés, hogy ezt hogyan is oldjuk meg. Gondolhatnánk, hogy az internet világában, ma ez már nem számít nagy kihívásnak, de ez nem olyan egyszerű. Nézzük meg az elejét, amikor is sok-sok gyártó különböző eszközeit legyártotta, majd egy ipari résztvevő vásárolt a saját beruházásaihoz, példának okáért egy Phoenix Contact, egy Mitsubishi, illetve egy Siemens eszközt. Ahhoz, hogy a rendszer jól működjön, szükséges volt az eszközök egymás közötti kommunikációja. Ehhez elengedhetetlen volt egy közös kommunikációs csatorna kiválasztása vagy megalkotása. Ezt a szerepet kezdetben a ModBus töltötte be. Így soros vonalon mindent összeköthettünk mindennel, viszont ez a kommunikáció master-slave kapcsolaton alapszik és bit, byte, word orientált elemi adatok átvitelére lett fejlesztve. A mai modern ipari



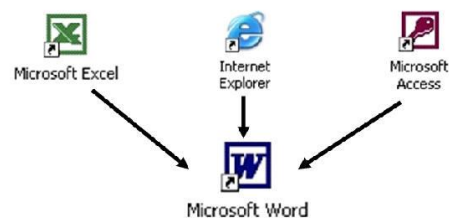
1. ábra: Modbus logója

kommunikációban már nem bitek, byte-ok szintjén kommunikálunk, hanem adatrekordok segítségével, melyek legalább három mezőből állnak úgy, mint tervjel, érték, időbélyeg. Kellott tehát egy olyan adatátviteli lehetőség, mely adatrekord alapú és egyaránt megfelel a versengő automatizálási eszközöket gyártó cégek elvárásainak. Az automatizálási rendszerekben alkalmazott PC-ken javarészt, 99%-ban Windows operációs rendszer futott, fut. Olyan rendszer kellett tehát amely Windows alapokon nyugszik. Így nem nehéz kikövetkeztetni, hogy ki is volt az, aki kezébe vette az irányítást. Mint bizonyára kitalálták, a megfejtés a MICROSOFT. Bill Gates hamar rájött, hogy a nagy automatizálási felhasználók igen fizetőképesek, így belépett az OPC Foundation-be, mely fő feladatául egy egységes rendszer kidolgozását tűzte ki. 1996-ban előállt az



3. ábra: az OPC Foundation logója

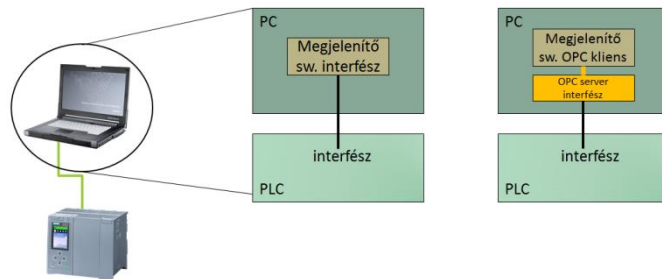
első verzió. Az OPC működésének megértéséhez feltétlen szükséges jó pár Windows-os fogalom ismerete. Most egy pár mondatban a teljesség igénye nélkül egy alap magyarázattal szeretnék szolgálni az OPC szerver megértésére. Az OPC rövidítése OLE for Process Control, mely magában foglalja az OLE (Object Linking and Embedding) technológiát, mely a Windows-os objektumok egymásba ágyazhatóságát, illetve egymáshoz csatolását írja le. Amikor egy



2. ábra: példa az OLE-ra Microsoft alkalmazásokban

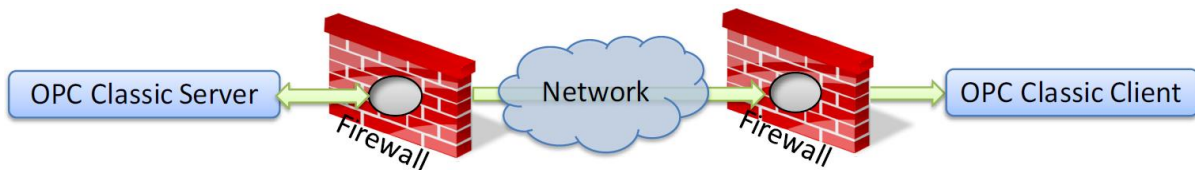
programot telepítünk a Windows-ba, nem csak az történik, hogy a szoftver adatai felmásolódnak a winchester-re, hanem egy hatalmas adatbázisba (registry) bejegyzésre kerül, hogy az adott telepített szoftvernek milyen kommunikációs tulajdonságai vannak. Milyen alkalmazásba tudjuk beágyazni, illetve melyekhez csatolni a telepített program által létrehozott adatokat és fordítva. Az OLE folyamataiban mindig két alkalmazás vesz részt: egy OLE szerver, amely képes szolgáltatni az objektumot, illetve egy OLE konténer, mely képes fogadni. Az, hogy egy szoftver képes-e OLE

szerver vagy konténer lenni az a registry-ben, szépen le van írva. A Notepad-be például hiába próbálunk egy „.gif” fájlt beágyazni, nem megy, mert a Windows látja a Notepad-hez tartozó registry-ből, hogy nem képes az ilyen típusú adatokat feldolgozni, így meg sem kísérli azt. Míg szöveget „.doc”-ból, illetve TXT-ből is egyaránt elfogad. A COM (Component Object Model) technológia pedig arra szolgál, hogy az objektumok egyezményes jelentéssel bírjanak minden alkalmazás számára. Mint az imént említettem, egy „.gif”, egy „.doc”, egy „.txt” minden alkalmazás számára ugyanazt kell, hogy jelentsenek. A „.doc” objektum mindenki számára szöveges objektum lesz, míg pl. egy „.jpg” pedig kép. Az automatizálási szakmának is megvannak a maga objektumai, pl.: mért érték, kiadott parancs, napi jelentés stb. és tipikus eljárásai pl. megjelenít, végrehajt nyugtáz. Ezeket mondanom sem kell, hogy korrekt módon le kellett írni, melynek végeredményeképpen jött létre az OPC ajánlás. Tehát az OPC nem más, mint windows-os programok közötti szabványos kommunikáció. Fontos megjegyezni, hogy alkalmazások közötti adatcseréről beszélünk, nem pedig eszközök közöttiről. Külső szemmel egy OPC szerveren keresztüli kommunikáció teljesen ugyanúgy néz ki, mint amelyhez nem használunk OPC szervert, a különbség a PC-n belül van. A klasszikus bal oldali ábrán a megjelenítő szoftver rendelkezik egy PLC interfész programmal (valamilyen DLL, mely ezt szolgálja), melyen keresztül közvetlenül kommunikációt tud folytatni a PLC-vel. A jobb oldali ábrán látható, hogy a PC rendelkezik egy, a PLC „anyanyelvét” beszélő OPC server alkalmazással, melyen keresztül bonyolítja le a kommunikációt. Ezek



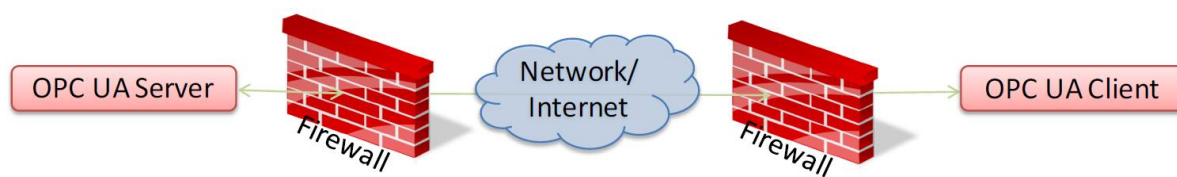
4. ábra: OPC szerver a PC-n belül

az OPC kliensek. Egy szerver több klienst is kiszolgálhat, és egy kliens több szervertől is kérdezhet. Ezekkel a fogalmakkal egy alapvető képet kaptunk az OPC szervekről, azok fontosságáról és felhasználási lehetőségeiről. Láthatjuk, hogy ezeket az adatokat Windows-os alkalmazásokon keresztül egyszerűen a világhálóra küldhetjük, és a más kontinensen is játszani könnyedséggel tudjuk egy-egy ipari résztvevő gyáregységei által automatizálására használt eszközök adatkommunikációit. Persze lévén, hogy Windows-on keresztül zajlik a kommunikáció számolnunk kell az esetleges tűzfal miatti veszélyekkel. Az alábbi ábrán láthatjuk, hogy a hálózaton keresztüli OPC szerver, kliens közötti kommunikáció hatalmas „lyuk”-at eredményez a tűzfalon, mely bemutatnom sem kell mekkora



5. ábra: Classic OPC szerver-kliens közötti kommunikáció

veszélyeket tartogathat magában. Megannyi kémprogram, káros szoftver bejuthat rendszerünkbe a tűzfalon keletkezett „lyuk”-on keresztül. Ahhoz, hogy ezt ki lehessen védeni, platformfüggetleníteni kellett az OPC-t. Így jutottunk el az internetes világ automatizálásában leggyakrabban használt szabványhoz, az OPC UA-hoz (Unified Architecture). Ez lényegében nagyban hozzájárult az Industry 4.0-hoz. Az OPC UA nagy előnye, hogy bármely platformon használhatjuk, a szerver akár a PLC-n is lehet, a kliens pedig például egy android-os eszközön, vagy akár egy iOS-en, mégsem hagy maga után akkora támadási felületet, ahogy azt az alábbi ábra szemlélteti.



6. ábra: OPC UA szerver-kliens közötti kommunikáció

Az OPC UA két protokollt használ, melyeken keresztül megvalósítja a kommunikációt: ezek az „UA Binary”, illetve az „UA XML”. Tanúsítvány szükséges a hitelesítéshez a kliens és a szerver között. Ha beállítottuk a protokollt, kiválaszthatjuk a titkosítást is, majd gond nélkül lefolytathatjuk a kommunikációt a két, illetve több résztvevő között OPC UA-n keresztül.

Az Industry 4.0 létrejöttével megannyi lehetőség tárult elénk az eszközök közötti kommunikációra, legyen szó PLC-k, illetve automatizálási rendszerek közötti adatcseréről, vagy egy magasabb szintű hálózat, a terepi eszközökkel való összekapcsolásáról. A kommunikációs lehetőségek mellett pedig az automatizálás a másik olyan pont, mely hatalmas fejlődés előtt áll. Nem is beszélve a korábbi évek fejlődési szakaszairól. Kicsit furcsa kimondani, hogy még mi is, akik automatizálásra szánt termékeket tesztelnek, automatizálunk. Ha jobban belegondulunk, egy automatizálásra szánt terméknek a tesztjeit automatizáljuk. Az az érzés pedig mindig elégedettséggel tölt el, hogy többek közt a mi projektünk az, ahol eldöntik az adott prototípus termékekről, hogy valóban elérték-e a piaci érettség fokát. Mert igenis számít a véleményünk.

Szerző: Radovics Balázs

Vezeték nélküli beléptető rendszer architektúrális tervezése

Sebestyén Gergely, Kopják József

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Automatika Intézet,
Budapest, kopjak.jozsef@kvk.uni-obuda, sebestyen.gergely@kvk.uni-obuda

Hagyományos vezetékes kommunikációval rendelkező RFID azonosítás alapú beléptető rendszerek telepítése meglévő épületek esetén előfordulhat, hogy nem lehetséges vagy nem költséghatékony. Ez a probléma megoldható lehet a beléptető rendszer vezetékes kommunikációs hálózatának vezeték nélküli megoldásra történő leváltásával. A cikk célja bemutatni egy mesh topológiájú vezeték nélküli hálózati kommunikáción alapuló beléptető rendszer architektúrális tervezését, amely teljesíti a beléptető rendszerek általános működésével szemben támasztott elvárásokat.

Keywords: vezeték nélküli, beléptető rendszer, RFID, IORF

1 Célok meghatározása

A vezeték nélküli beléptető rendszer tervezése az egyetem régebbi épületeinek néhány labor és irodahelyiségének felszerelését célozta. Az épületekben működő korábban kiépített beléptető rendszer mellett azoktól függetlenül, de az RFID azonosító kártyák felhasználásával. A vezeték nélküli kommunikáció alkalmazása a telepítés egyszerűsége miatt fontos. A beléptető rendszer a korábban is használt kulcsok mellett hivatott működni kényelmi funkciót megvalósítva. A megtervezett beléptető rendszer további tervezési szempontja volt, a korábbi kulcsok használata esetén meglévő biztonsági szint megtartása. A beléptető rendszernek továbbá biztosítani kell az online működést, a jogosultságok kezelését és a naplózást ellátó felügyeleti rendszert is tartalmaznia kell. A rendszer kialakításának további fontos szempontja a költséghatékony kialakítás.

2 Biztonsági szintek áttekintése

A vezeték nélküli beléptető rendszer tervezésének első lépéseként szükséges áttekinteni a vonatkozó szabvány ajánlások és az iparág által alkalmazott megoldásokat. A beléptető rendszer egy komplex elektromechanikai-informatikai rendszer, amely telepített ellenőrző pontok segítségével lehetővé teszi az objektumokban történő személy- és járműmozgások hely-, idő- és irány szerinti engedélyezését vagy tiltását, az események nyilvántartását, visszakeresését. A szerkezeti elemeken túl tartalmazza azokat az intézkedéseket és apparátusokat melyek az üzemeltetéshez és a beléptetés felügyeletéhez szükségesek [1] [2].

A beléptető rendszerekre általánosan az MSZ-EN 50133 szabványsorozat rendelkezik [1]. A szabványsorozatban a rendszer-és funkcionális követelmények, a rendszer részegységei, valamint a beléptető rendszereknél használt fogalmak találhatóak. A beléptető rendszerek olvasókból, vezérlőkből, az áthaladást szabályozó eszközökből és érzékelőkből (*Access Point Actuators and Sensors - APAS*) valamint a felügyeletet végző rendszerből állnak. Az áthaladást szabályozó és érzékelők feladata, hogy csak a jogosultak áthaladását tegye lehetővé, illetve a jogosulatlanok áthaladását akadályozza mechanikusan vagy elektromechanikusan valamint ezek állapotát képes legyen meghatározni. Az olvasók feladata az azonosításra alkalmas adatok továbbítása a rendszer felé. A vezérlők az olvasóktól érkező adatok alapján döntenek el, a rendszer kialakításától függően a felügyeleti rendszertől kapott információk alapján vagy a vezérlőben található lokális adatbázisból, hogy az adott felhasználó jogosult-e az áthaladásra a hely, idő és iránynak megfelelően és működtesse az APAS-t [1] [2]. A felügyeleti rendszer feladata a jogosultságok eldöntése, a vezérlő egységek felügyelete, az események rögzítése és naplózása, hogy később visszakereshetőek és listázhatóak legyen. Az áthaladási szabályozó eszközök működésük szempontjából lehetnek életvédelmi (fail safe) vagy vagyonvédelmi (fail secure). Életvédelmi abban az esetben, ha tápkimaradáskor az eszközök állapota nyitott, vagyis szabaddá válik a menekülési útvonal. Vagyonvédelmi abban az esetben, ha tápkimaradáskor állapota zárt [2].

Az MSZ-EN 50133 szabvány szerint a beléptetési pontok biztonsági besorolása az alábbiak szerint [1]:

1. táblázat
Felismerési osztályok

Felismerő képesség nélküli	0
Megjegyzett információ - Személyi azonosító kód (PIN)	1
Birtokolt tárgy alapú (token) vagy biometrikus	2
Kombinált (token+PIN, biometrikus+PIN, token+biometrikus)	3

2. táblázat
Jogosultság kezelési osztályok

Nincs időzóna és naplózás	A
Van időzóna és naplózás	B
Időzóna van, naplózás nincs	Ba

3. táblázat
Biztonsági osztályok és hozzáférési szintek besorolása [1] [2]

Biztonsági besorolás	EN50133 besorolás	Vezeték nélküli kommunikáció	Hozzáférés és felismerési besorolás	Alkalmazási példa
4	3B	nem alkalmazható	3 faktor - biometrikus és emberi kép ellenőrzés	Reptéri csomagellenőrző részleg
4	3B	nem alkalmazható	2 faktor - biometrikus és emberi kép ellenőrzés	
3	3B	alkalmazható	2 faktor nem biometrikus	Adatközpont
3	2B	alkalmazható	1 faktor - biometrikus	
2	2B	alkalmazható	Token	Kórház
1,2	1B	alkalmazható	PIN	
1	2A	-	Token egyedülálló zár	Kis üzlet, Nyilvános és magánterület között
1	1A,1B	-	PIN egyedülálló egyedülálló	

A beléptető rendszerek esetén a biztonságot rendszer egyszerűsége biztosíthatja. A megfelelő fizikai védelem hiányában a beléptető rendszer nem lenne képes megakadályozni a behatolást illetéktelenek számára. A 4. táblázatban az adott biztonsági besorolás esetén alkalmazható ajtó anyagokat mutatja be.

4. táblázat
Beléptetési pontok kialakítása biztonsági osztályoknak megfelelően [2]

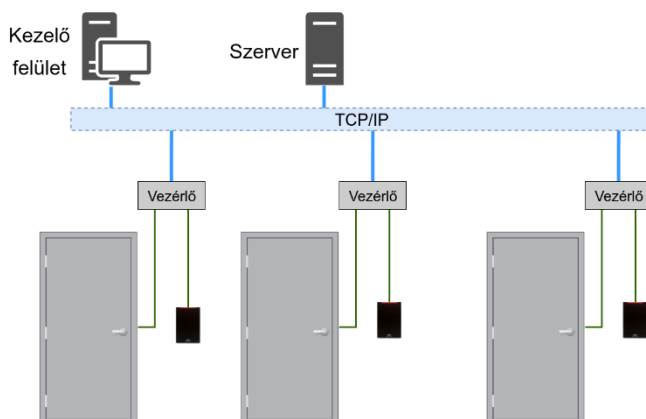
Biztonsági besorolás	Üreges	Puhafa	Keményfa	Acél
1	Beltéri, alacsony kockázat	Beltéri, alacsony kockázat	-	-
2		Beltéri, alacsony kockázat	Beltéri, közepes kockázat	-
3		Beltéri, alacsony kockázat	Kültéri, alacsony kockázat(éjszakai zárás külön zárral)	Kültéri, közepes kockázat(éjszakai zárás külön zárral)
4			Kültéri-és beltér, közepes kockázat	Kültéri-és beltér, közepes kockázat
4			Kültéri-és beltér, közepes kockázat	Kültéri-és közepes/magas kockázat

3 Kialakítási lehetőségek áttekintése és kiválasztása

A hagyományos vezetékes kommunikációval rendelkező beléptető rendszerek általános felépítését az 1. ábra mutatja [3] [4]. A hagyományos beléptető vezérlők IP alapú vagy korábban RS-485 kommunikációval rendelkeznek [5].

A beléptető rendszerben vezetékes kommunikáció leváltása vezeték nélküli kommunikációra több ponton is lehetséges. A legkevesebb vezetékeztést és legegyszerűbb telepítést azok a megoldások jelenthetik ahol az azonosító olvasó berendezés és a zár egyben helyezkedik el. Ennél a kialakításnál bonyolult mechanika és a szükséges telepes tápellátás miatt szükséges karbantartási igény jelenik meg [6]. Ennél a kialakításnál a felügyeleti rendszerrel való kapcsolattartás ellátó gerinchálózat továbbra is vezetékes kialakításúak, azaz csak a vezérlő és az ajtó közötti vezetékeztetés vált szükségtelemmé. Ennek a kialakításnak lehetne továbbfejlesztett változata, melyben a zárbetétek alkotnák a gerinchálózatot is, ennek a magasabb kommunikációs igénye miatt a telep élettartama drasztikusan csökkenhetne, ezzel tovább növelve a karbantartási igényt.

Az elképzelhető megoldások közé sorolható még az a kialakítás, mikor az olvasó és a vezérlő is vezeték nélküli kommunikációval rendelkezik, de a zár működtetését a vezérlő egység vezetéken keresztül végzi. A megtervezett beléptető rendszer egy kezdeti változatában ez a megoldás is szerepelt. Ennél a kialakításnál az olvasó telepítése egyszerűvé válik, de a szükséges telepes tápellátás okozhat magasabb karbantartási igényt, illetve az olvasó megfelelő RFID azonosítók olvasására alkalmas kialakítást is igényel.

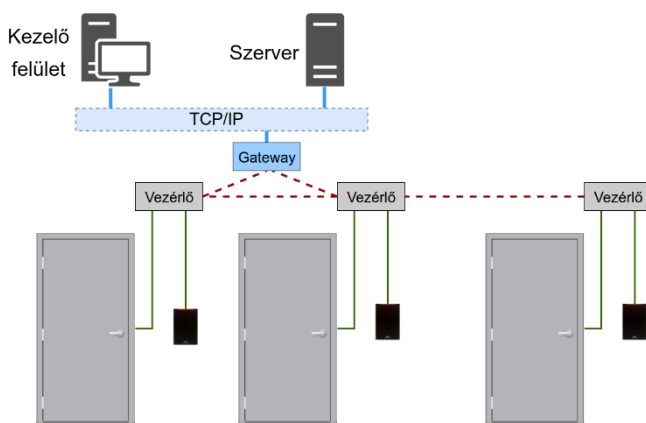


1. ábra
IP alapú beléptető rendszerek általános felépítése

A kompromisszumos megoldás a 2. ábra szerinti felépítés került végül kiválasztásra, ahol az olvasó és zár is vezetéken keresztül csatlakozik a vezérlő

egységhez, de a vezérlők a felügyeleti rendszerrel vezeték nélküli kommunikáción keresztül tartja a kapcsolatot. A megoldás előnye, hogy a telepítés bonyolultabb részét képező gerinc hálózat kiépítése nem igényel komolyabb átalakításokat az épületben.

A beléptető rendszer vezeték nélküli hálózatát alkotó olvasó és vezérlő eszközöknek alacsony költségűnek, a megbízható működésűnek és az egyszerűen telepíthetőnek kell lennie.



2. ábra

A vezeték nélküli beléptető rendszer architektúrájának kialakítása

A beléptető rendszer alkalmazási helyén kiépített vezeték nélküli hálózat, valamint az IP alapú háttér infrastruktúra, mely tartalmazza hálózat felügyeletét és megjelenítéséhez szükséges eszközöket. A vezeték nélküli hálózat és háttér infrastruktúra között az átjáró teremt kapcsolatot, mely az eltérő kommunikációs rendszerek illesztésén felül a vezeték nélküli hálózat menedzselését is elvégzi.

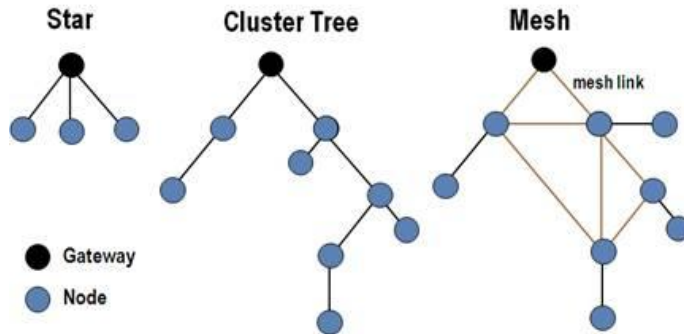
4 Vezeték nélküli hálózat

A vezeték nélküli hálózat kiválasztásához a beléptető rendszer kialakításának szempontjába fontos tulajdonságokkal rendelkező elérhető megoldásokat összehasonlítva kerülhet kiválasztásra.

4.1 Hálózati topológia

A vezeték nélküli hálózatok legelterjedtebb kialakítása a pont-pont, vagy több kapcsolat esetén pont-multipont, azaz csillag topológia. A csillag topológiájú hálózat tulajdonságaiból adódóan, ha egy újabb eszközt kívánunk hozzáadni és az

kívül esik valamennyi eszköz hatótávolságán, akkor egy újabb jelisméltő-átjáró vagy hozzáférési pont telepítése is szükséges, mely képes a többi átjáróval kommunikálni. Amennyiben a hálózat csomópontjai képesek ellátni ezt a feladatot, azaz a csomópontok képesek továbbítani az üzeneteket más csomópontoknak, akkor juthatunk a fa topológiához.



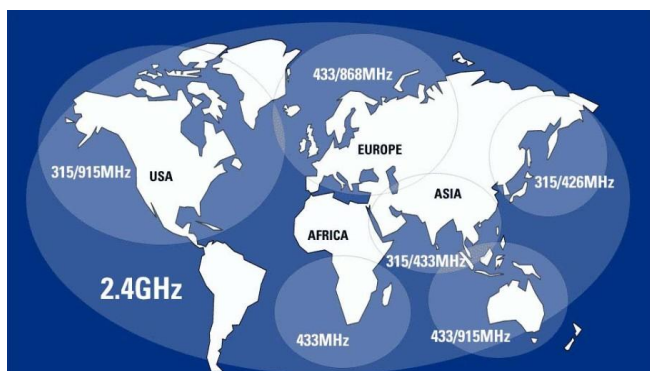
3. ábra Vezeték nélküli hálózati topológiák [7]

A mesh vagy szövevényes hálózatok a fa topológiájú hálózatoktól eltérően a csomópontok bármelyike képes közvetlenül több hálózati eszköznek is továbbítani üzeneteket. A fa és mesh topológia legfőbb előnye, hogy a telepítés rendkívül egyszerű, mivel nem igényel extra eszközöket az üzenetek a hálózat egy távolabbi pontjához történő eljuttatásához, ez által a telepítés költséghatékonyabb lehet. A fa hálózatok esetén egy kapcsolat megszűnésekor a hálózat jelentős része kieshet. A mesh hálózatok többek között erre nyújtanak megoldást, mivel alternatív útvonalak kialakítása is lehetséges, így az egyes kapcsolatok redundánsak lehetnek [7].

A beléptető rendszer kialakítása esetén a hatótáv kiterjesztése és a lehetséges redundáns kapcsolatok miatt optimális megoldás lehet a mesh rádiós hálózat alkalmazása.

4.2 Működési frekvencia

A vezeték nélküli hálózatok alkalmazásakor meg kell határozni, hogy milyen frekvencia tartományban lehet üzemeltetni. A legjobb választás az ISM (Industrial, Scientific and Medical) frekvenciasávok használata. Ezek a frekvenciasávok szabadon használhatók, azaz nem engedélyköteles az ezekben a sávokban történő sugárzás. A legerjedtebb a 2.4GHz-es sáv, mivel az világszerte egységesen használható [8]. Ezt elsősorban a nagyobb adatátviteli sebességet igénylő informatikai eszközök használják köztük a WiFi, Bluetooth nagyobb mennyiségű adatok kis távolságra történő átviteléhez.



4. ábra ISM frekvenciák a különböző kontinenseken [9]

Az ISM sávok egy másik tartománya az 1GHz-hez közeli (SubGHz), 868MHz Európában és 916MHz Amerikában és Ázsiában, illetve a 433MHz világszerte. Az 1GHz-hez közeli 868-916MHz-es sáv jelenleg még nem túlzottan kihasznált a 2.4GHz-hez képest. A SubGHz-es tartományban működő eszközök további előnye, hogy fogyasztása lényegesen alacsonyabb lehet a 2.4GHz-eshez képest.

A beléptető rendszerhez a nagyobb hatótávolság és elsősorban épületekben kevésbé zajos frekvencia sáv miatt a 868 MHz-es tartomány megfelelő választás lehet.

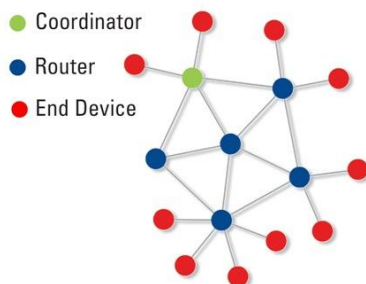
5 Vezeték nélküli megoldások

A következő részben részletes bemutatásra kerülnek azok a vezeték nélküli technológiák, melyek alkalmasak lehetnek az előző pontban felsorolt elvárásoknak eleget tenni és alkalmasak lehetnek a vezeték nélküli beléptető rendszer kommunikációs hálózatának kialakításához.

5.1 ZigBee

Az egyik legelterjedtebb IEEE 802.15.4 alapú mesh topológiát is támogató megoldás a ZigBee. A ZigBee fejlesztését összefogó szervezet a ZigBee Alliance, amely specifikálta a logikai hálózatot, a biztonsági és adatvédelmi eljárást és az alkalmazási profilokat [10].

A ZigBee hálózatok az IEEE 802.15.4 szabványnak megfelelően tartalmaznak egy PAN koordinátorként, amely a hálózat menedzselését végzi, valamint teljes funkciójú eszközöket (*FFD- Full-Function Device*), amelyek üzenet továbbításra is alkalmasak, illetve hálózati végpontokat (*RFD Reduced-Function Device*), amelyek nem képesek üzenet továbbítására.



5. ábra ZigBee hálózat [11]

A hálózat topológiája lehet csillag, fa vagy mesh. Alapvetően az *AODV-Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing* útvonal választási technikát használja, melynek lényege, hogy egy adott útvonal csak akkor kerül meghatározásra mikor annak használatára szükség van [10]. A meghatározott útvonal az alternatív útvonalak közül a legkisebb ugrásszámmal rendelkezik. Az eljárás előnye, hogy a meghatározott útvonal a legoptimálisabb lesz, továbbá nem használt útvonalakat nem szükséges tárolni. A másik alkalmazott eljárás a *tree routing*. Ennél az eljárásnál nem szükséges tárolni az útvonalakat, mivel az üzenet útja dinamikusan alakul a hálózat fa struktúrájában a szülő-gyermek viszonyok alapján. Hátránya, hogy az ugrások száma nem minden esetben lesz optimális és nem képes alternatív útvonalakat alkalmazni *FFD router* esetleges meghibásodása esetén, emiatt a hálózat jelentős része kiszakadhat a hálózatból [10].

A hálózat kiépítésekor minden esetben az új eszköz kezdeményezi a hálózathoz történő csatlakozást. Hálózathoz csatlakozás sikeres, amennyiben a PAN koordinátor engedélyezi az eszköz csatlakozását és a csatlakozási pont rendelkezik még szabad hellyel [10].

A ZigBee egyik nagy előnye, hogy az egyik legelterjedtebb LR-WPAN megoldás. A ZigBee Alliance tagjai között több mint 300 gyártó szerepel, ezzel a leg támogatottabb megoldásnak számít, viszont ezek nagy része a 2,4GHz-es tartományra fejlesztett eszköz.

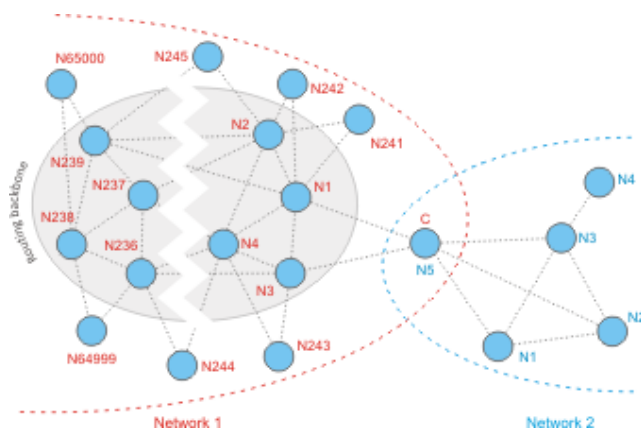
A ZigBee protokollban használt AES-128 titkosítás nem csak az üzenetek biztonságát szolgálja, hanem az üzenetek validálását is lehetővé teszi. A titkosítás a MAC szinten történik meg, ez által már ezen a szinten elutasítható a nem hiteles eszközöktől érkező üzenet [10]. A ZigBee hálózatok kialakításához elérhető szélesebb körben is alkalmazott, a SubGHz-es frekvencia sávot is támogató rádiós modulok a Digi cég XBee elnevezésű moduljai [12].

5.2 IQRF

Az IQRF a Microrisc s.r.o által fejlesztett vezeték nélküli megoldás kifejezetten az épületautomatizáláshoz, elosztott vezérlő rendszerekhez és telemetriához készült. Az IQRF megoldásai az IQRF-OS-nek elnevezett hálózati menedzsmenetet is ellátó firmware-el előre felprogramozott különböző hardver kialakítású modulok formájában érhetők el.

Az IQRF alkalmas pont-multipont, illetve mesh hálózat kialakítására. A saját mesh hálózatukat IQMESH-nek nevezték el. Az IQMESH két kitüntetett hálózati szerepet különböztet meg, a koordinátort és node-ot. A hálózat felügyeletét a koordinátor látja el. Az IQMESH hálózati kommunikáció alapvetően kérés-válasz alapú, azaz az üzenet küldést a koordinátor kezdeményezi. Az IQMESH az aszinkron kommunikációt is támogatja, viszont a TDMA közeghozzáférés miatt, nem garantált a csomag ütközések elkerülése.

A hálózatban egy koordinátor és max 249 node lehet, viszont egy node lehet egy másik hálózat koordinátora, így a hálózat elméletileg akár 65000 node-ból is állhat. Az IQMESH időosztásos közeghozzáférése (*TDMA-Time Division Multiple Access*) alapuló szövevényes hálózat. Az időosztásos technika alkalmazásának előnye, hogy a hálózatot alkotó eszközök csak a számukra meghatározott időrésben (*timeslot*) kezdeményezhetnek kommunikációt. Ezzel elkerülhetőek a hálózatban a csomagütközések, valamint meghatározható a csomagok továbbítására szükséges pontos idő [13].



6. ábra IQMESH hálózat [13]

Az IQMESH hálózat egyik további előnye, hogy az egyes hálózati eszközök mindegyike képes teljes funkciójú eszközként működni, azaz képes az üzenetek továbbítására. Az időosztásos hálózat miatt energiatakarékos, alvó üzemmódban működhet minden eszköz. Az útvonalválasztáshoz az elárasztásos (*flooding*) technikát alkalmazzák [13]. Az összes hálózati eszköz a saját időrésében

továbbítja a kívánt csomagot. Ekkor ezt az összes környező eszköz megkapja. Ha minden eszköz ezt elismétli, akkor egy csomagot többször is megkaphat az eszköz, ez által rendkívül robusztussá téve a hálózatot, viszont megnöveli a kommunikáció teljes idejét. Az optimalizálás érdekében, ezért a teljes hálózatot zónákra osztják [13]. Ekkor csak minden zóna első eleme vesz részt a kommunikációban. A megoldás előnye, hogy ha az adott eszköz meghibásodik, akkor az adott zónában soron következő eszköz veszi át a helyét, amennyiben van ilyen.

A hálózat kiépítése során az eszközöket párosítani kell a hálózathoz, amikor kiosztásra kerül az eszköz hálózati azonosítója. Ahhoz, hogy az eszközök képesek legyenek a hálózatban a mesh kommunikációra, szükséges a hálózat feltérképezése. A *discovery* eljárás során a koordinátor virtuális hálózati címet oszt ki a hálózat koordinátora, illetve zónákra osztja a hálózatot, amely alapján az eszközök képesek meghatározni hány ugrásra, *hop*-ra van szüksége a hálózatban az üzenet célba juttatásához.

Az IQRF modulok különböző hardver kialakítással érhetőek el. Létezik integrált PCB antennás kivitel és csatlakoztatható külső antennás változat is. Elérhető továbbá ezek mindegyikének felületszerelt és SIM tokba illeszthető változata is. A modulok alacsony fogyasztással rendelkeznek: küldéskor 35mA, normál vételi módban 13mA és XLP módban 8uA áramfelvétellel 3V-on. Működése a SubGHz-es ISM tartományokban (868/916MHz és 433MHz), maximális adatátviteli sebessége 115kb/s, de jellemzően csak 19.2kb/s sebességen használható [13]. Nyílt terepen a hatótávolsága megközelíti a 300m-t, beltérben 15-30m közötti.

Új eszköz csatlakoztatása a hálózathoz nem automatikusan, hanem a koordinátor speciális *bonding* üzemmódjának engedélyezésekor lehetséges. A *bonding* üzemmódban az új eszköz kérheti hálózatba történő felvételét, melyet a koordinátor igazol vissza [13]. A hálózathoz történő csatlakoztatás hasonló a WiFi-nél alkalmazott WPS üzemmódhoz [14].

5.3 A vezeték nélküli szenzor hálózat kiválasztása

Az ismertetett vezeték nélküli megoldások a 5. táblázatban kerültek összehasonlításra főbb jellemzőik alapján.

Az IQRF fő előnye a hálózati tulajdonságaiból adódik. Az IQMESH hálózat a TDMA közeghozzáférés és ennek köszönhetően megvalósítható flooding mesh routing technológia segítségével biztosítható a robosztus kommunikációs hálózat, az esetlegesen többszörösen redundáns csomag küldési útvonalakkal. A flooding mesh routing teszi lehetővé az egyszerű hálózat telepítés, mellyel könnyen hozható létre megbízható hálózati kommunikáció [13].

5. táblázat
Rádiós modulok összehasonlítása

	ZigBee	IQRF
Full mesh támogatása (minden eszköz képes csomagtovábbításra)	nem	igen
Közeghozzáférés	CSMA/CA	TDMA
Útvonalválasztás	ADOV, tree routing	flooding mesh routing
Hatótáv [m] kültér/ beltér	- (nem történt mérés)	500/20 (TR72DA)
Frekvencia sávok (EU)/ csatornák száma	868MHz/1	868MHz/62
Titkosítás	AES-128	AES-128 (TR-7x)
Ár/modul 1db [EUR]	25-39	18

Az XBee esetén a 868 MHz-es tartományban működő elérhető modulok csak egy csatornát biztosítanak, amely egy esetlegesen közelben működő másik hálózat zavarhatja, az IQRF ezzel szemben 62 csatornát biztosít.

Mindkét megoldás alkalmazza az AES-128 titkosítást, ebben nincs eltérés. Az IQRF és az XBee között a modulok árában nincs nagyságrendi különbség, de az IQRF olcsóbban beszerezhető. A fentiek alapján a beléptető rendszer kialakításához az IQRF vezeték nélküli hálózat lehet optimális választás a beléptető rendszer kialakításához.

5.4 Felmerülő kommunikációs problémák

A beléptető rendszer számára kiválasztott IQRF hálózat esetén felmerülő kommunikációs problémákat figyelembe kell venni a beléptető rendszer tervezésénél. Az IQMESH hálózat nem biztosít csomagküldés nyugtázását, ezért a TDMA közeghozzáférés miatt rádiós zavar esetén elveszhetnek üzenetek. Az IQMESH topológiájából adódóan is előfordulhat csomagvesztés. Ez akkor fordulhat elő, ha a hálózatban a hálózati eszközök aszinkron módon kezdeményeznek üzenet küldést. A beléptető rendszerben a legtöbb kommunikációs üzenetet a felhasználók beléptetésének eseménye indítja és ezeket az üzeneteket a vezérlő egységek aszinkron módon küldik el.

A beléptető rendszerben előforduló események a felhasználó autentikációja vagy az ajtók nyitása, mely naplózásra használható fel. Az előforduló adatvesztés az autentikáció esetén a felhasználó újbóli próbálkozásával odaható meg. A naplózási események esetleges adatvesztését a biztonsági besorolásnál figyelembe kell venni.

6 Biztonsági besorolás meghatározása

A megtervezett beléptető rendszer főbb tervezési paraméterei az 6. táblázatban kerültek összegzésre. A főbb kötöttségeket a meglévő ajtók típusa és a kizárólag RFID alapú beléptetés adta.

6. táblázat
Tervezési szempontoknak megfelelő besorolás meghatározása

Tervezési szempont	Paraméter	Megfelelő biztonsági besorolás
Ajtók típusa	Beltéri -Üreges/Puhafa	1
Felismerési osztály	RFID Token	1,2
Jogosultság kezelési osztály	Időzóna nincs, naplózás opcionális	A (opcionálisan B)
Kommunikáció típusa a vezérő a felügyeleti rendszer között	Vezeték nélküli	1,2,3

Az ajtók üreges illetve puhafa típusúak, melyek cseréje lem lehetett opció, ez jelentős mértékben meghatározta a rendszer besorolását.

A vezeték nélküli kialakítás a vezérlő egységek és a felügyeleti rendszer, illetve az olvasók és vezérlők között sem korlátozott a megfelelő biztonsági besorolásokban a szabvány ajánlás szerint [2].

A jogosultság kezelési osztály esetén, mivel a célok között nem szerepelt az időzónák használata és a naplózás is opcionálisan került meghatározásra, ezért a vezeték nélküli hálózat kiválasztásánál felmerülő lehetséges adatvesztés nem befolyásolja a biztonsági besorolás meghatározását.

A vezeték nélküli beléptető rendszer megtervezése a követelmények szerint a maximális besorolási osztály a 2B szerint történhet, azzal a megkötéssel, hogy az időzóna kritériumot nem teljesíti.

7 Konklúzió

A vezeték nélküli beléptető rendszer architektúrális tervezése az elvárt céloknak megfelelően teljesíthető. A kiválasztott kommunikációs technológia és rendszer topológia az elvárt biztonsági szintet teljesíti, az EN 50133 szabvány szerinti 2B besorolásnak megfelel az időzóna kritérium teljesítésén kívül.

A rendszer architektúrális felépítése költséghatékonyságra optimalizált kompromisszumos megoldás. Az egyes beléptető vezérlő egységeket összekötő vezeték nélküli hálózat biztosítja az egyszerű telepítést, a vezetékes olvasók és zárszerkezetek pedig olcsó beruházási és üzemeltetési költségeket biztosíthat. A mesh topológiájú vezeték nélküli rádiós hálózat képes lehet biztosítani az online működést lefedve a beléptető rendszerhez tartozó ajtók által határolt teljes területet.

A vezeték nélküli beléptető rendszer architektúrális kialakításához a kiválasztott megoldásokkal a megfogalmazott célok elérhetőek.

Támogatók



Ez a cikk az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- [1] „Riasztórendszerek. Beléptetőrendszerek biztonságtechnikai alkalmazásokhoz.”. Szabadalom száma: MSZ EN 50133, 2006.
- [2] BSIA - British Security Industry Association, "A specifier's guide to access control systems," 2012.
- [3] „PRO3000 IP Enabled Access Control Solution,” Honeywell, [Online]. Available:
<http://www.asia.security.honeywell.com/NewsandEvents/NewProductReleases/Pages/PRO3000IPEnabledAccessControlSolution.aspx>. [Hozzáférés dátuma: 12 Nov 2017].
- [4] „IP Door Access Control,” Kintronics, [Online]. Available:

- <https://kintronics.com/solutions/ip-door-access-control/>. [Hozzáférés dátuma: 12 Nov 2017].
- [5] Systems I/O, „Access Control System Overview,” [Online]. Available: <http://www.systems-io.com/AccessControl.html>.
- [6] Assa Abloy, „Aperio,” Assa Abloy, [Online]. Available: <https://www.assaabloy.com/en/com/solutions/technology-platforms/aperio/>. [Hozzáférés dátuma: 12 Nov 2017].
- [7] National Instruments, „What Is a Wireless Sensor Network?,” National Instruments, [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/7142/en/>. [Hozzáférés dátuma: 16 Nov 2017].
- [8] Texas Instrumets, „ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview,” [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/swra048/swra048.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 12 Nov 2017].
- [9] „ISM Bands,” [Online]. Available: <http://teelengineering.com/wp-content/uploads/2014/12/World-map-of-available-wireless-frequency-bands1.jpg>.
- [10] ZigBee Alliance, „ZigBee: ZIGBEE SPECIFICATION,” [Online].
- [11] Jennic, „ZigBee,” [Online]. Available: <http://www.jennic.com/elearning/zigbee>. [Hozzáférés dátuma: 12 Nov 2017].
- [12] „ZigBee,” Digi, [Online]. Available: <https://www.digi.com/xbee>. [Hozzáférés dátuma: 12 Nov 2017].
- [13] Microrisc, „IQRF OS Users’s Guide,” 2015. [Online]. Available: <http://www.iqrf.org>.
- [14] „Wi-Fi Simple Configuration Protocol and Usability Best Practices for the Wi-Fi Protected Setup™ Program,” [Online]. Available: https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/wsc_best_practices_v2_0_1.pdf. [Hozzáférés dátuma: 12 Nov 2017].

Modell alapú szoftverfejlesztés az oktatásban

Wendler Márk, Kopják József

2040 Budaörs Kismartoni utca 64. [Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán
Villamosmérnöki Kar, Automatika Intézet, Budapest, 1034 Bécsi út 96/b],
mark.wendler@microchip.com

A szoftverfejlesztés egy összetett folyamat, három jellegzetes lépésre különíthető el: modellezésre, tervezésre és implementálásra. A modell alapú szoftverfejlesztési technika a tervezési és az implementálási lépéseket próbálja egyszerűsíteni és automatizálni.

A versenyszférában az egyik legfontosabb érték a gyorsaság, az a cég kerül versenyelőnybe, amelyik hamarabb tudja kereskedelmi forgalomba hozni a termékét. A műszaki termék kifejlesztésének jelentős részét a szoftverfejlesztés teszi ki, így természetes, hogy ennek a folyamatnak a lerövidítése kulcskérdés a cégek illetve a fejlesztők számára. Többek között ezen ok miatt is számos cég használ modell alapú szoftverfejlesztést.

Azok a mérnökök, akik már találkoztak ezzel a fejlesztési technikával előnyben indulnak a munkaerő piacon. Fontos tehát, hogy a hallgatók találkozzanak a modell alapú szoftverfejlesztéssel a tanulmányaik során, mert az egyetemről kikerülve így lesznek versenyképesebbek a munkaerőpiacon. Ezzel párhuzamosan az egyetem versenyképessége is nő, ha jó szakembereket képez a társadalom számára.

A modell alapú szoftverfejlesztés technikájának elsajátítása fontos a fentebb említett okok miatt, de ez rejt egy veszélyforrást is, mivel az eljárás absztrakciós réteget emel a valódi implementációs tér fölé. A villamosmérnököknek tudniuk kell hardver szinten mi és hogyan működik, ezért a modell alapú szoftverfejlesztés alkalmazásának oktatása a technológia működésnek - pontosabban a modelltől létrehozott implementáció - ismertetésére és megértésére is ki kell terjedjen.

Több szoftver létezik, ami megfelelő a probléma grafikus modellezésére és a modell implementációjának létrehozására. Az egyik legismertebb, legelterjedtebb és legdrágább a MATLAB-Simulink Coder páros. Ezeknek egy ingyenes és több szempontból is jó alternatívája a Scilab-Xcos modellező és X2C keretrendszer.

Ez a cikk a modell alapú szoftverfejlesztési módszernek és a Scilab-X2C szoftver alkalmazásának oktatásba való beültetésének lehetőségeit elemzi.

Kulcsszavak: modell, szoftverfejlesztés, oktatás, beágyazott rendszerek, kódgenerálás, unit test, X2C, Scilab, XCOS

1 A modell alapú szoftverfejlesztés

A szakmai irodalom hat különböző modellezési és szoftverfejlesztési módozatot különböztet meg [1]:

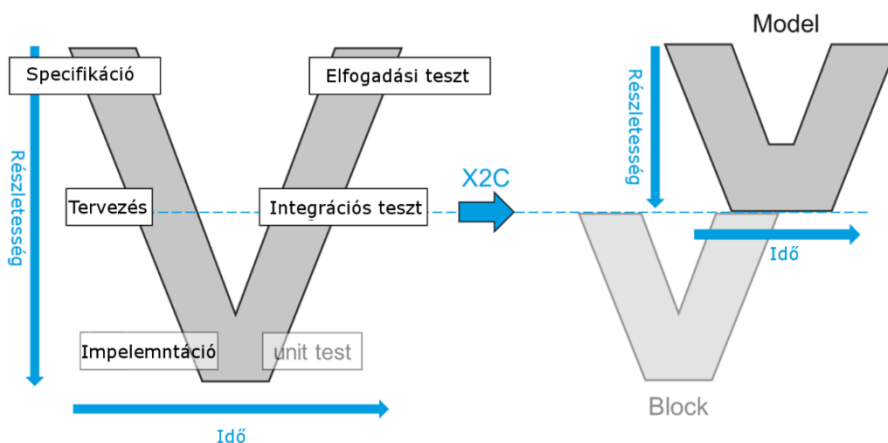
1. Az első típus nem tartalmaz vizuális, grafikus modellt, csak „szöveges” formátumban lévő kód az egyetlen eszköz, ami leírja a program működését.
2. A második típus a már meglévő kódból készít vizuális modellt.
3. Harmadik eset, mikor a problématerőről készítenek modellt, majd ezt a modellt referenciaként használják fel kódolásnál.
4. A modell és a kód egymásra visszahatóan frissülnek. Más szavakkal, ha a kód módosul akkor a modell is frissíthető, és visszafelé hasonlóan.
5. **Az ötödik megközelítési mód mikor a modell centrikusság érvényesül, tehát a modell amit fejlesztenek és abból már automatikusan generálható kód.**
6. Amikor csak a modell érvényesül és nincs kód.

Ebben a tanulmányban az 5. eset lesz a középpontban, ahol a modell adja az alappillért a probléma megoldásához, nélkülözhetetlen a szoftver kifejlesztéséhez, központi szerepet játszik és ahol a programkód közvetlenül a modelltől generálható. Ugyanakkor a programkódból nem cél a modell grafikus megjelenítése és visszaállíthatósága.

A modellek építőelemekből épülnek fel. Ezeket az objektumokat, a legtöbb vizuális modellező programban blokkoknak nevezik. Ezeknek a blokkoknak a megfelelően összekötött összessége eredményez egy rendszerleíró modellt.

1.1 A modell alapú szoftverfejlesztés előnyei

A blokkok teljes körűen kitesztelt funkcióval rendelkeznek. Ezért használata egyszerűbb és kevesebb hibalehetőséget rejt, mint a közvetlen - például C kódban – megvalósított funkcionálisan azonos program, programrész.



1-1. ábra Egyszerűsített V modell, X2C modell alapú szoftverfejlesztés [3]

A blokkok használata elrejt a futtatható kódot és egyértelműen egy magasabb absztrakciós réteget jelent. Ezen ok miatt is előszeretettel használják ezt a módszert, biztonságkritikus rendszereknél, például autó elektronika, fékrendszerek stb. Az absztrakciós réteg használata és a kódgenerálás következtében jelentősen csökkenthető a fejlesztési idő, ezért is gyakran használják a gyors prototípusfejlesztés, „fast prototyping” módszereknél is.

A versenyszférában fontos a fejlesztési idő. A komplex feladatok mint például a motoszabályzás és egyéb bonyolultabb matematikai problémák megoldása hosszú, bonyolult és átláthatatlan C kódot eredményeznek. A modell egyszerűsíti és átláthatóbbá teszi a probléma leírását. Ezen felül már egy tesztelési réteget is tartalmaz a modell, mert ezeknél a rendszereknél a használt építőelemek már ellenőrizve vannak. Nem véletlen, hogy ez a módszer mára már szerves része többféle fejlesztési területnek.

1.2 A modell alapú szoftverfejlesztés az oktatásban

Jelenleg főként informatikus képzések keretén belül oktatnak modell alapú szoftverfejlesztési módszert [4] [5] [6] [7]. Alapvetően csak előadásokon mutatják be a modell alapú szoftverfejlesztés lehetőségeit. Ismereteim és a források szerint informatikus képzésen belül a Budapesti Műszaki Egyetem Mérnök-informatikai MSc képzésén, azon belül is csak az egyik szakirányon találkozhatnak a hallgatók gyakorlat orientált egy alkalmas laborfoglalkozáson a modell alapú szoftverfejlesztéssel.

A villamosmérnöki tantervekben [5] [4] [8] egyedül a Kandó Kálmán Villamosmérnöki kar MSC képzésén foglalkoznak a témával.

Nem áll szándékomban elemezni, hogy az mérnökinformatikai vagy a villamosmérnöki képzésen fontosabb oktatni a modellalapú szoftverfejlesztést. A tanulmánnyal inkább azt szeretném bemutatni és elemezni, hogy a villamosmérnököknek is nagyon fontos ez a tudás, mert már alacsony szintű programozásnál, hardver közeli fejlesztéseknél is egyre gyakrabban használják ezt a módszert.

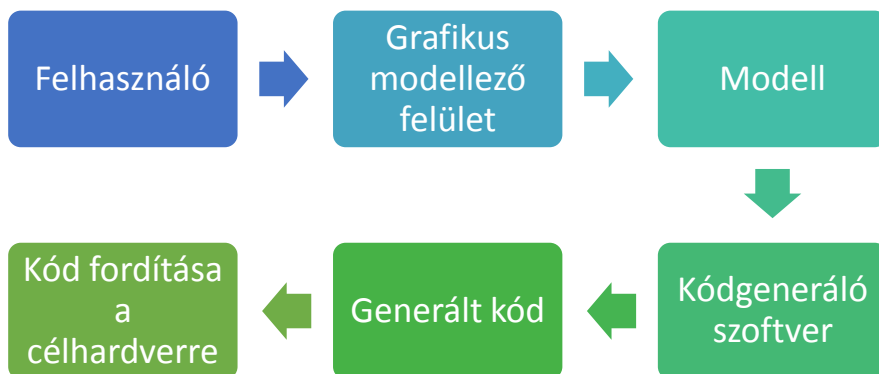
Azok a mérnökök, akik már találkoztak ezzel a fejlesztési technikával előnyben indulnak a munkaerő piacon. Fontos tehát, hogy a hallgatók találkozzanak a modellalapú szoftverfejlesztéssel a tanulmányaik során, mert az egyetemről kikerülve így lesznek versenyképesebbek a munkaerőpiacon. Ezzel párhuzamosan az egyetem versenyképessége is nő, ha jó szakembereket képez a társadalom számára.

A modellalapú szoftverfejlesztés alapjai és használatának gyakorlata gyorsan megtanulható, és így rövid idő alatt lehet látványos eredményeket elérni. Ezért jól alkalmazható gyakorlatorientált oktatás keretén belül, mert a hallgató egy-két labor alkalom alatt kézzelfogható eredményt érhet el. Így a hallgató érdeklődése és motiváltsága egyszerűen fenntartható.

A modellalapú szoftverfejlesztés technikájának elsajátítása fontos a fentebb említett okok miatt, de ez rejt egy veszélyforrást is, mivel az eljárás absztrakciós réteget emel a valódi implementációs tér fölé. A villamosmérnököknek tudniuk kell hardver szinten mi és hogyan működik, ezért olyan modellező és kódgeneráló szoftvert kell keresni, ami egyszerűen átlátható kódot generál és megfelel a fentebb leírt első típusú hardver független rendszerleíró modell igényeinek. A periféria paraméterezése továbbra is a felhasználó feladata és a modell nem rejti el, egyszerűsíti le ezeknek a beállításait.

1.3 Modellező és kódgeneráló szoftverek

Általánosan egy modell alapú szoftverfejlesztés egy ciklusa a következő egyszerűsített folyamatábra szerint zajlik.



1-2. ábra Modell alapú szoftverfejlesztés egy ciklusa

Két fő szoftver szükséges, a modellező és a kódgeneráló. A modellező program egy előre elkészített blokkokból álló könyvtárból dolgozik. A felhasználó ezekből a blokkokból felépíti a modellt. A kódgeneráló program az elkészített modellt beolvasva a blokkok paramétereit és sablon forráskódjait felhasználva legenerálja a végleges futtatható kódot.

A modell leírására több specifikáció is létezik, ha a kódgeneráló és a modellező is kompatibilis az adott specifikációval/formátummal (pl. UML) akkor a két szoftver kompatibilisnek tekinthető. Ebből következik, hogy több modellező szoftver kimeneti modelljével is kompatibilis lehet a kódgeneráló. Másik irányból közelítve, különböző kódgeneráló szoftverek is generálhatnak futtatható állományokat egy adott szoftverrel elkészített modelltől.

Sokféle modellező és kódgeneráló szoftver van a piacon. A legismertebb a Matlab – Simulink páros. A cikkben ennek egy jó alternatíváját szeretném bemutatni.

1.3.1 Scilab – Xcos

A Scilab [9] egy nyílt forráskódú programcsomag amellyel numerikus számításokat lehet elvégezni és emellett tartalmaz egy magas szintű programleíró nyelvet is. A programcsomag különböző jelanalízisekre, statisztikai számításokra, képfeldolgozásra, folyadék és egyéb szimulációkra használható. Röviden megfogalmazva a Matlab egyik legkomolyabb ingyenes alternatívája. Tartalmaz egy „ATOMS” nevezetű csomagkezelőt, amivel különböző eszközökkel bővíthető a program tudása.

Az XCOS nevezetű modellező program a csomag része. Hasonlóan a Simulink-hez, tartalmaz több alapvető blokk könyvtárat és szimuláció futtatására is alkalmas.

A Scilab és a Matlab részletesebb összehasonlítását a [10] forrás tárgyalja.

1.3.2 X2C

Az X2C programcsomag egy kódgeneráló keretrendszer. Kompatibilis a Matlabbal és a Scilabbal is. Legtöbb részét Java programnyelven fejlesztik.

Tartalmaz több előre elkészített blokkot, amit automatikusan beépít a modellező szoftver könyvtáraiba. Ezekből a blokkokból képes a szoftver C forrásállományokat készíteni, amiket majd a célhardverre lehet lefordítani. Főbb tulajdonságai és képességei a programcsomagnak:

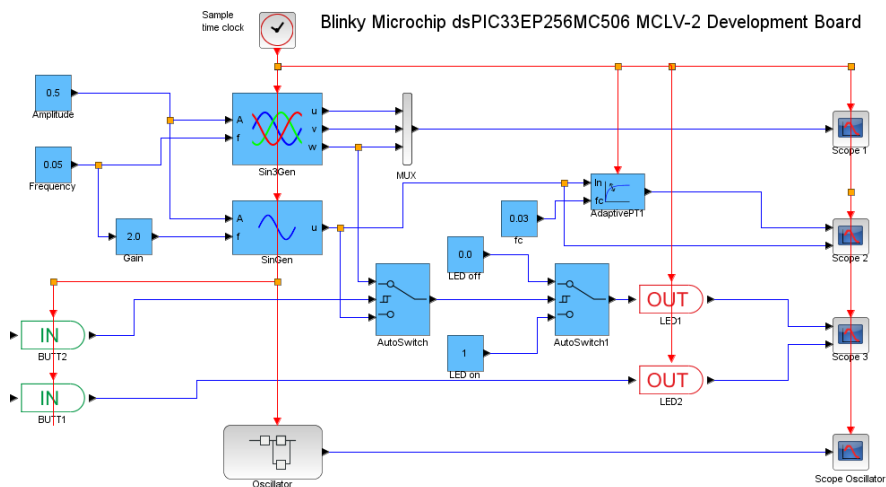
1. X2C modell szimuláció hardver nélkül
2. Online vezérlő-blokk paraméterek frissítése (Letöltés-Feltöltés)
3. Online adat megjelenítés (X2C scope)
4. Sok támogatott mikrokontroller, X2C mag ami futtatja a generált kódot, az is C nyelvű
5. Sok példaprogramot tartalmaz különböző mikrokontroller családokra

6. Java felhasználói felület – GUI – „Communicator” a paraméterek átvitelére célhardverhez
7. Oszcilloszkóp szerű felület hardver adatok online vizualizációjára
8. Blokk készítő segédprogram, amivel saját blokk készíthető
9. Saját fejlesztésű robusztus LNet [11] protokoll a valós idejű adatkommunikációhoz

2 X2C példaalkalmazás

2.1 Villogó modell bemutatása

Az alábbi képen egy viszonylag egyszerű bemutató modell látható.



Két bemenettel és két kimenettel rendelkezik BUTT1, BUTT2, LED1 és LED2. BUTT1 bemenet közvetlen a LED2 kimenetre van kötve, tehát ami a BUTT1 bemeneten érkezik az közvetlen a LED2 kimeneten jelenik meg. LED1 kimenet egy kicsit komplexebb logika hajtja. A BUTT2 értékétől függ, hogy a LED1 alapfrekvenciáját a “SinGen” vagy a 3 fázisú “Sin3Gen” egyik fázisa adja. Az “AutoSwitch1” blokk paraméterét 0 amplitúdó komparálási szintre állítva a szinusz bementi jelből 0 és 1 diszkrét értékű négyzögjelet csinál. LED1 vagy be van kapcsolva vagy ki van kapcsolva, köztes értéket nem vehet fel fizikailag. Szimulálásnál nem lenne érdekes a köztes érték sem, de a generált C kód majd a mikrokontroller egyik kimenetét kapcsolja. A “Sample time clock” blokk paraméterénél lehet beállítani a mintavételezési időt. Az időalapú, például generátor, integrátor és scope blokkok-at össze kell kötni a szinkronizáló órajellel is.

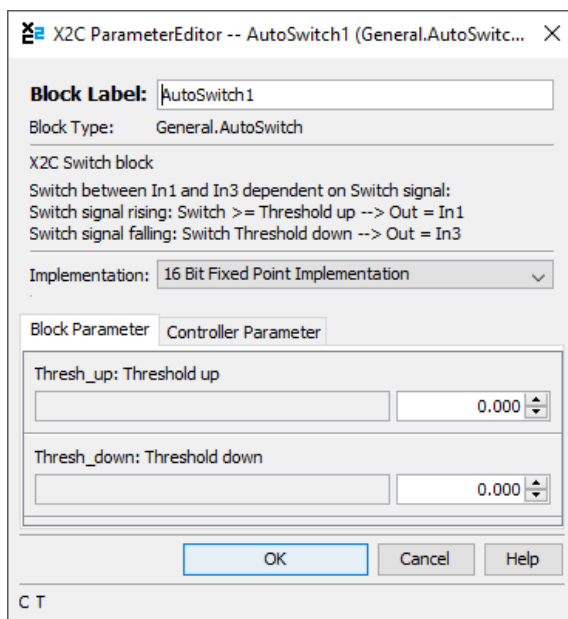
Az XCOS-ban elkészített modell alkalmas arra, hogy a Scilab szoftver lefuttassa a matematikai szimulációját. A “Scope” blokkok ebben az esetben érvényesülnek és

a szimuláció lefuttatása alatt folyamatosan jelenítik meg egy grafikonon a bemeneteire kapcsolt jeleket.

Itt fontos megjegyezni, hogy az X2C blokkjai és az alapértelmezett beépített XCOS blokkok is használhatóak a modellezésnél és szimulációnál. Viszont generálható C kód csak a kék, X2C blokkjai mögött vannak. Arra kell itt figyelni, hogy a speciális “OUT” kimentési blokk bemenetére bekötött jelet nem befolyásolhatja, módosíthatja semmilyen blokk ami nem X2C kompatibilis.

2.1.1 Blokk paraméterek

Számos blokknak vannak állítható paraméterei. A paraméter ablak megnyitásához csak kétszer rá kell kattintani a blokkra. Például az „Autoswitch blokknak” az alábbi ábrán látható a paraméter ablaka.



2-1. ábra AutoSwitch blokk paraméterei

Első paraméter, amit minden blokknál be kell állítani az implementáció. Fontos, hogy az adott implementáció meghatározza a blokk bemenetinek és kimeneteinek a típusát (C programnyelv beépített alaptípusai). Ha két különböző típusú blokk bemenetet és kimenetet szeretnénk összekötni, akkor típuskonvertáló köztes blokkot kell beiktatni. Ellenkező esetben a kódgenerálás sikertelen lesz!

A „Block Parameter” fülön a blokknak megfelelő paramétereket lehet beállítani. Jelen esetben az AutoSwitch blokknak az alsó és felső átkapcsolási szintjét lehet beállítani. Tehát ez a blokk igazából egyfajta hiszterézises komparátornak felel meg.

2.2 X2C kódgenerálás

Az X2C kicsit furcsán oldotta meg a „communicator” részprogram elindítását.

Három speciális blokkot tartalmaz a modell, amire kétszer kattintva

nem a paraméterek ablak jelennek meg, hanem speciális funkciók indulnak el. 4-2. ábra mutatja a három speciális funkció blokkot.

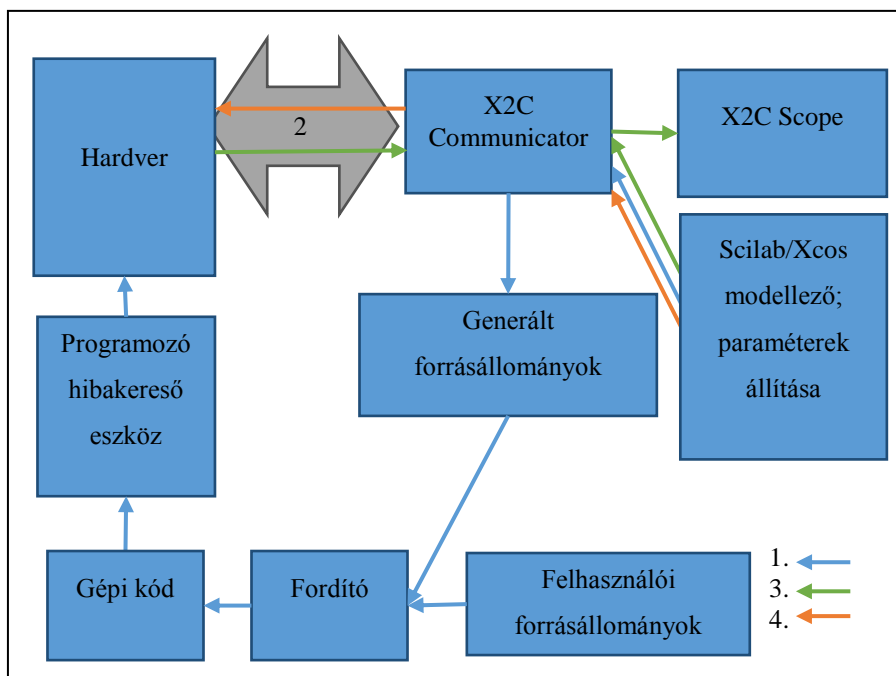


2-2. ábra FX2C funkció gombok

1. Az első „start communicator” magától értetődően elindítja a „communicator” segédprogramot.
2. A középső a modelltől egy XML fájlt hoz létre és átadja a communicatornek, tehát még C kód még nem hoz létre.
3. A harmadik gomb a fentebb leírt automatikus dokumentációkészítő funkciót indítja el.

2.2.1 X2C Communicator segédprogram

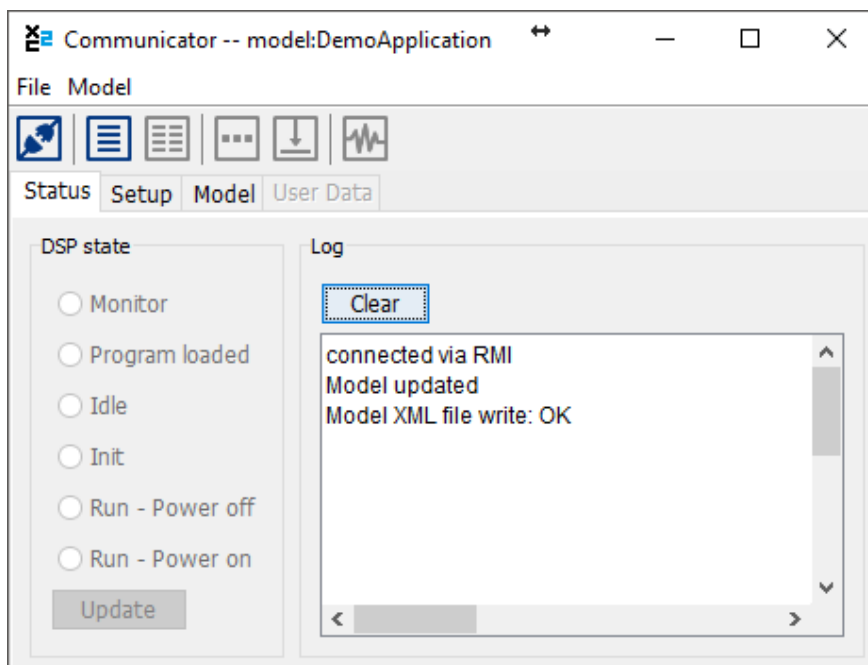
Az X2C Communicator tekinthető a rendszer magjának. A következő ábra szemlélteti a funkcióit.



2-3. ábra Communicator funkciói

1. Funkció: Modelltől C kód generálása
2. Funkció: Kommunikáció UART, USB vagy TCP/IP-n keresztül a hardverrel
3. Funkció: Híd a virtuális oszcilloszkóp a modell és a hardver között. Az oszcilloszkópnak ismernie kell, hogy milyen blokkok vannak a modellben és azoknak milyen bemeneti és kimenetei, valamint a hardvertől érkező valós idejű adatokat is a communicator-on keresztül kapja meg.
4. Funkció: A modell valós idejű összekötése a hardverrel. Ez az egyik leghasznosabb funkciója az X2C rendszernek. Mikrokontroller programvégrehajtása közben ha változtatjuk a blokkok egyes paramétereit, akkor az valós időben az LNet protokollon keresztül frissül a mikrokontrollerben is. Tehát nem szükséges az a hosszú procedúra, hogy újra legeneráljuk a forrásállományokat a modelltől valamint újra lefordítani a programot gépi kódra és letölteni a célhardverre minden egyes blokk paraméter módosításánál. Ez a funkció drasztikusan lecsökkenti a szabályzókörök és rendszerek behangolásának az idejét is!

Alább látható az X2C „Communicator” felülete:



2-4. ábra X2C Communicator felülete

Átfogó képet szeretnék bemutatni az X2C rendszerről, nem célom lépésről lépésre a folyamatot részletezni, a [3] forrás részletesen leírja a működést.

2.3 Modellből létrehozott kód elemzése

A modellből a „Communicator” egy X2C.c fájlt és egy X2C.h állományt generál. Ez a fájl tartalmazza a modell leírását. Kettő függvényt tartalmaz:

1. `void X2C_Init()`: Inicializálja a blokkokat a kódgeneráláskor beállított blokk paraméterekkel és „összelinkeli” a blokkok bemeneteit és kimeneteit a modell huzalozása szerint.
2. `void X2C_Update(void)` függvény végrehajtja a modell kalkulációját.

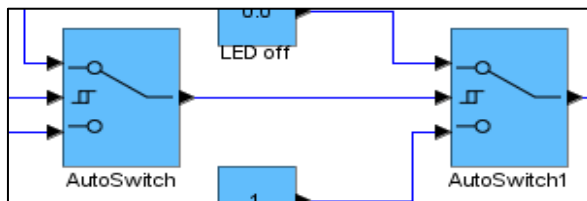
2.3.1 Blokkok linkelése

A blokkok bemenetei pointer típusú változók, a kimeneteik pedig egyszerű változók. A linkelés így már magától értetődő. A blokk bemeneti pointer változójának átadja a bemenetre kötött blokkjának a kimeneti változójának a címét. Például a két AutoSwitch blokk a következőképpen van összekötve:

```

AUTOSWITCH_FIP16      TAutoSwitch; // Az AUTOSWITCH_FIP16 típus a
                        blokk forrásállományaiban van
AUTOSWITCH_FIP16      TAutoSwitch1; //Először globálisan definiálja a
                        változókat
...
void X2C_Init()
{
...
    TAutoSwitch.Thresh_up = 13107; //Paraméterek inicializálása
    TAutoSwitch.Thresh_down = 13107;
...
TAutoSwitch1.Switch      = &TAutoSwitch.Out; // Blokkok linkelése
...
    AutoSwitch_FiP16_Init(&TAutoSwitch); // Blokk inicializálásának lefuttatása
}

```



2-5. ábra Bemenet és kimenet összekötése

2.3.2 Modell kalkulációjának végrehajtása

A `void X2C_Update(void)` függvény egyesével meghívja a blokkokhoz tartozó függvényt. A függvények paraméterei az adott blokk struktúra változója.

...

```

AutoSwitch_FiP16_Update(&TAutoSwitch);
ManualSwitch_FiP16_Update(&TManualSwitch);
AdaptivePT1_FiP16_Update(&TAdaptivePT1);
AutoSwitch_FiP16_Update(&TAutoSwitch1);
...

```

2.3.3 Blokkok kódja

A blokkok kódját nem generálja le az X2C, mert az mindig ugyan az. Tehát a blokkok kódja egy másik forrásállományban van, ezért azt valamilyen módon be kell linkelni a fordítónak. Ez azért is jó, mert a blokkok kódját egy előre lefordított állományból is be lehet tölteni fordítási időben, így nem kell a sok különböző blokk C forráskódját mindig újrafordítani. Például az AutoSwitch forrásállományai tartalmazzák a fentebb említett AUTOSWITCH_FIP16 struktúra típust is:

```

typedef struct {
    uint16    ID;
    int16     *In1;
    int16     *Switch;
    int16     *In3;
    int16     Out;
    int16     Thresh_up; //
    int16     Thresh_down; //
    int8      Status;
} AUTOSWITCH_FIP16;

```

2.4 Modell ki/bemenetei és a perifériák kapcsolata

A modell speciális IN and OUT blokkokat tartalmaz amiknek a segítségével lehet a modellt és a külső világot összekötni. Az IN blokkok bemeneteinek frissítéséről manuálisan kell gondoskodni mielőtt meghívnanánk a *void X2C_Update(void)* függvényt. Például a BUTT1 és BUTT2 értékét a mikrokontroller PORTB 5 és a PORTA 4 bemenettől tesszük függővé:

```

...
#define READ_BUTT1    (PORTBbits.RB5)
#define READ_BUTT2    (PORTAbits.RA4)
...
if(READ_BUTT1 != 0) {
    Inports.BUTT1 = 0; // Bemeneti blokk frissítése manuálisan
} else {
    Inports.BUTT1 = INT16_MAX; ; // Bemeneti blokk frissítése manuálisan
}
if(READ_BUTT2 != 0) {

```

```
Inports.BUTT2 = 0;
} else {
    Inports.BUTT2 = INT16_MAX;
}
X2C_Update(); // Modell frissítése
...
```

Az X2C_Update(); meghívásával lefut a modell matematikai kalkulációja. Ezután egyszerűen kiolvasható a kimeneti blokkoknak az értékei:

```
#define SET_LED1    (LATBbits.LATB6 = 1)
#define CLEAR_LED1 (LATBbits.LATB6 = 0)
#define SET_LED2    (LATBbits.LATB7 = 1)
#define CLEAR_LED2 (LATBbits.LATB7 = 0)
...
X2C_Update();

/* LEDs */
if(*Outports.pLED1 != 0) { // Kimeneti blokk kiolvasása
    SET_LED1; // Kimeneti blokk értékétől függően kapcsolja a LED-et
} else {
    CLEAR_LED1;
}
if(*Outports.pLED2 != 0) {
    SET_LED2;
} else {
    CLEAR_LED2;
}
```

3 X2C előnyei az oktatásban

A X2C példaalkalmazáson keresztül a 2. fejezetben bemutatam az X2C kódgeneráló program koncepcióját. Most összefoglalom miért alkalmas ez a rendszer a villamosmérnökök oktatására.

3.1 Átlátható generált kód

Egyik fő követelmény volt, hogy olvasható, átlátható kódot készítsen a kódgeneráló. Szerintem a fentebb bemutatott kód ennek teljesen megfelel. Ez kifejezetten fontos az oktatásban mivel, általában a hallgatók nem túl gyakorlottak a programozásban, főleg villamosmérnökök révén. Kezdőknek fontos, hogy ne ijedjenek meg a kusza kódtól és áltassák a program működését. Értsék, hogy a

kódgeneráló nem csinál mást mint a blokkok kódjait egyszerűen összeköti néhány változó segítségével.

3.2 Blokk generálás

Gyakorlatban megcsinálni valamit, sokat hozzátesz egy rendszer működésének megértéséhez. Az X2C blokk generáló segédalkalmazása lehetővé teszi, hogy akár laborfoglalkozás ideje alatt készítsen a hallgató egy saját blokkot. Ezzel segítve a kódgenerálás mögött rejlő algoritmus jobb megértését.

3.3 X2C Hardverfüggetlen modell

Az X2C hardverfüggetlen modellt használ, és a generált kód is a legalapvetőbb C programnyelvű forráskód. Ahogy fentebb leírtam a felhasználónak kell biztosítani, hogy a perifériákkal megfelelően legyen összekötve a modell. Például az A/D átalakító működésével tisztában kell lennie a hallgatónak, fel kell tudnia paraméterezni és ki kell tudnia számolni, hogy az átalakított digitális érték pontosan milyen feszültség szintnek felel meg. Majd a megfelelő átszámítással a modell bementének át kell adja. A modell egyik kimenetével például PWM perifériát szeretne meghajtani a hallgató akkor ugyancsak tudnia kell a PWM periféria működését.

Ezek például egyes kódgenerátoroknál el vannak rejtve, és a fejlesztőnek nem szükséges tökéletesen ismerni a célhardvert. Villamosmérnökként ez nem előnyös mivel mindig hardverhez közel dolgozunk, és sokszor ott jelentkezik a hiba. Ha el van rejtve a hardver egy rétege, akkor az áramkörök hibáinak megkeresése is nehézkesebb.

3.4 Kézzelfogható szabályzás

A Kandó Kálmán Villamosmérnöki kar tanulójaként mindig is fontosnak tartottam a gyakorlatot. A modell alapú szoftverfejlesztés módszerrel a hallgatók egyszerűen csinálhatnak például elektromotor fordulatszám szabályozási algoritmust, amit aztán élesben, rögtön a laborfoglalkozáson ki is próbálhatnak. Eddig főleg szimulációban csináltunk matematikai szabályzási modelleket. Ezzel a szabályzási algoritmusok fejlesztését és azoknak a finomhangolási gyakorlatát egy lépéssel közelebb lehet hozni a hallgatóknak. A gyakorlat segítségével, jóval mélyebben sajátíthatják el az automatika egyes részterületeit.

4 Összefoglalás

A modell alapú szoftverfejlesztés elterjedt a villamosmérnöki szakmában, ezért fontos, hogy az oktatásban is megjelenjen a technika. A Scilab és X2C programok ingyenesek és megfelelnek az oktatás egyéb elvárásainak is. A két programmal természetesen bonyolultabb szabályzásokat is meg lehet valósítani, például mezőorientált motor vezérlést, így akár a hallgatók készíthetnek diplomamunkát a segítségével. 2017/18 II. félévében lesznek az első laborgyakorlatok bevezetve, ezt követően a téma eredményei pontosabban meghatározhatóak lesznek.

4.1 Használt szoftverek és példa alkalmazások

A bemutatott szoftverek és modellek ingyenesen letölthetők és kipróbálhatóak.

4.1.1 Scilab, Xcos

<https://www.scilab.org/> Az X2C egyelőre csak az 5.5.2 Scilab verziót támogatja.

4.1.2 X2C

<http://www.mechatronic-simulation.org/x2c>

4.1.3 X2C Microchip motor control addon

Az általam is készített bemutató alkalmazások és leírások innen érhetőek el:

<https://www.sim2tronic.com/>;

<http://www.embeddedcodesource.com/codesnippet/scilab-x2c-addon>

4.1.4 Microchip MPLAB X fejlesztőkörnyezet és fordítók

<http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>;

<http://www.microchip.com/mplab/compilers>

Támogatók



Ez a cikk az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Hivatkozások

- [1] A.W.Braun-J.Conallen-D.Tropeano, „Introduction: Models, modeling and model driven architecture,” Heidelberg, 2005.
- [2] D. Kamma and S. Kumar G, “Effect of Model Based Software Development on Productivity of Enhancement Tasks,” Jeju, South Korea, 2014.
- [3] L. C. o. M. GmbH, *X2C Documentation*, Linz: Linz Center of Mechatronics GmbH, 2017.
- [4] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, *MSc képzési program mérnökinformatikus és villamosmérnöki szakon*, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2017.
- [5] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, *BSc képzési program mérnökinformatikus és villamosmérnöki szakon*, Budapest: Budapesti

Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2017.

- [6] Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar, *KÉPZÉSI PROGRAM Mérnökinformaticus mesterképzési szak*, Budapest: Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar, 2017.
- [7] Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar, *KÉPZÉSI PROGRAM Mérnökinformaticus alapképzési szak*, Budapest: Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar, 2017.
- [8] Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, „Tantárgyprogram leírások "D" tanterv,” 2017. [Online]. Available: <http://kvk.uni-obuda.hu/kepzesek/msc/tantargyprogramok-d>. [Hozzáférés dátuma: 08 11 2017].
- [9] P. R. Perrine Mathieu, Scilab: I. Fundamentals, ISBN: 978-2-8227-0293-5: Editions D-Booker, 2016.
- [10] S. S. V, „COMPARATIVE STUDY OF MATLAB AND ITS,” in *National Institute of Technology*, Calicut, 2011.
- [11] L. C. o. M. GmbH, *LNet Documentation*, Linz: Linz Center of Mechatronics GmbH, 2017.
- [13] Wikipedia, „<https://hu.wikipedia.org/wiki/MATLAB>,” 23 03 2016. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 8 11 2017].
- [14] M. Wendler és C. Baumgartner, „X2C block generation user guide,” 2016. [Online]. Available: <http://www.embeddedcodesource.com/codesnippet/scilab-x2c-addon>.
- [15] J. Zambada, *Sinusoidal Control of PMSM Motors with dsPIC30F DSC*, AN1017: Microchip Technology Inc., 2005.
- [16] J. Zambada és D. Deb, *Sensorless Field Oriented Control of a PMSM*, AN1078: Microchip Technology Inc, 2010.

GPS alapú kisegítő navigációs műszerek

Dr. Schuster György

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

Bevezető

A kisgépes repülésben a nem ellenőrzött légtérben a pilóta felelőssége a navigáció és a forgalom figyelése. A tájékoztató szolgálat ugyan sok szempontból segíti a pilóta dolgát, de a navigáció és a repülőgép vezetése különösen bonyolult időben, vagy sötétben komoly terhelést jelent. Az utóbbi időben számos alkalmazás született a navigáció segítésére, de tapasztalataink azt mutatják, hogy ezek csak bizonyos problémákat oldanak meg, ezek természetesen igen nagy segítséget nyújtanak, de lehet még javítani a szolgáltatásokon. Ebben a cikkben intézetünkben fejlesztett a repülésben használatos klasszikus IFR műszerek GPS alapú emulációjának algoritmusait mutatjuk be további hasznos szolgáltatásokkal.

Az adott témában az utóbbi négy évben három szakdolgozat született különféle platformokon [1][2][3]. Érdekes figyelni a tapasztalatok alapján a szolgáltatások fejlődését és felhasználhatóságát. A cikk végén erre is kitérünk.

1. Navigációs alapok

A föld alakja geoid, de navigációs szempontból az egyszerűség kedvéért gömbnek tekintjük. Így a matematikai tárgyalás sokkal egyszerűbb, mintha minden alakzati szempontot figyelembe vennénk.

Megjegyzés: van olyan általunk fejlesztett alkalmazás, amely esetén szükséges a korrekció.

Definíció: Az **azimut** adott felszíni pontból kiinduló iránynak a ponton átmenő hosszúsági körrel bezárt szöge.

Az azimutot a hosszúsági kör északi ágától kiindulva az óramutató járásával megegyező irányban haladva 0° - 360° -ig számolják.

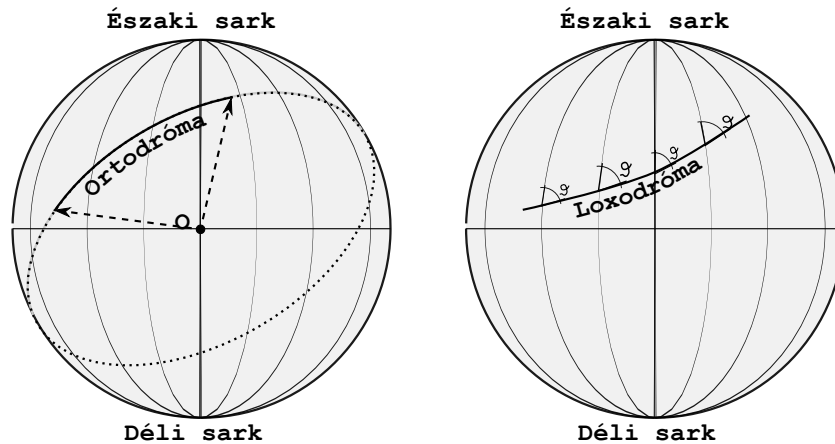
Tehát észak: 0° , vagy 360° , kelet: 90° , dél: 180° , nyugat 270° .

Definíció: Az **ortodróma** az az útvonal, amely a bolygó felszínén egy főkört követ.

A gömb felszínén ez adja a legrövidebb útvonalat, de az útvonal mentén az azimut folyamatosan változik, ami a pilóták terhelését növeli.

Definíció: A **loxodróma** az az útvonal, amely mentén az azimut állandó, lásd az 1 ábrát. Az ábrán a ϑ azimut minden délkör esetén azonos.

A navigáció egyszerűbb, mivel a folyamatosan azonos azimutot kell a pilótának tartani, de az útvonal hosszabb, mint az ortodróma esetén.



1. ábra: Az ortodróma és a loxodróma útvonalak

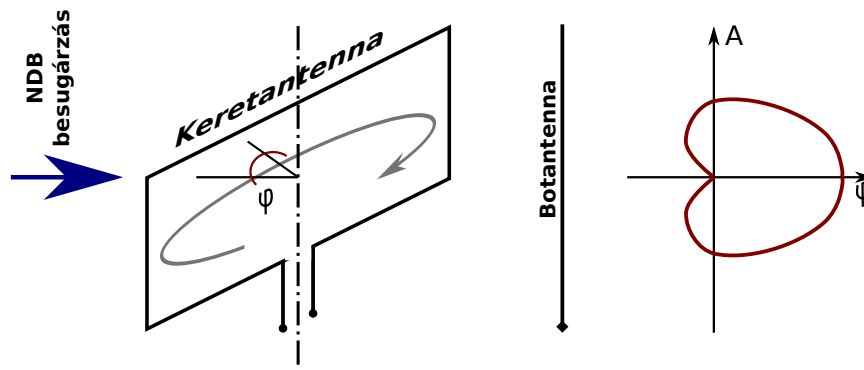
2. Klasszikus rádió navigációs műszerek

Az emuláció esetén az alapvető rádió navigációs műszereket vettük alapul, ezek: ADF, VOR, DME.

2.1. ADF

Az ADF (Automatic Direction Finder) egy NDB (Non-Directional Beacon) segítségével navigál. Az ADF műszer az NDB irányába mutat. A pozicionálás nem túlságosan pontos, mivel az NDB középhullámon működik (190kHz - 1750kHz), így a felhőzet, illetve a terepviszonyok az irányérzékelést jelentősen befolyásolják.

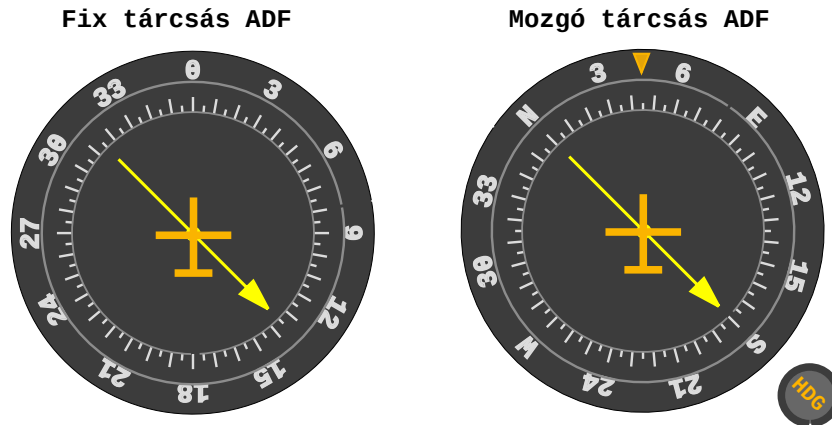
Az ADF műszer elvileg egy nem irányított botantennából és egy forgatható keretantennából áll. A botantenna irányfüggetlenül veszi az NDB jelét, míg a keretantenna vett jelének amplitúdója a beállítás szögétől függ. Ha a két jelet összeadjuk, akkor az eredő szög - amplitúdó függvény egy úgynevezett szívgörbét kapunk, amelynek minimuma jól detektálható, lásd 2. ábra [5].



2. ábra: Az ADF vázlata

A kijelzés kétféle lehet:

- a géptengelyhez képest történő kijelzés, másnéven fix tárcsás ADF,
- lehet a valós mágneses irányhoz viszonyított kijelzés, másnéven mozgó tárcsás ADF.



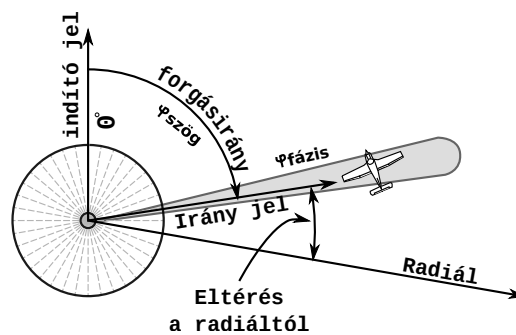
3. ábra: Az ADF műszer kijelzés.

2.2. VOR

A VOR (**V**ery **H**igh **F**requency **O**mnidirectional **R**ange) a VHF sávban dolgozó (108MHz - 117.95MHz) navigációs eszköz. Célja, hogy a VOR adóhoz vezető, vagy elmenő radiálhoz viszonyítva a repülőgép pozíciója hány fokos eltérést mutat. A repülőgép haladási irányát nem veszi figyelembe.

Működése a következő: adott egy referencia jel, amelyet a VOR minden irányban sugároz az adott frekvencián. Ezt az antennát veszik körbe a keskeny sávban sugárzó irányadók, általában 10° -onként, lásd 4 ábra. Ezek a geometriai eltolásuknak megfelelően fázisban eltolt jelet sugároznak. A sugárzott jel 30Hz-es amplitúdó modulált jel¹.

A fedélzeti rendszer ezeket a jeleket veszi és kiszámítja, hogy a repülőgép milyen szögben helyezkedik el az adóhoz viszonyítva.

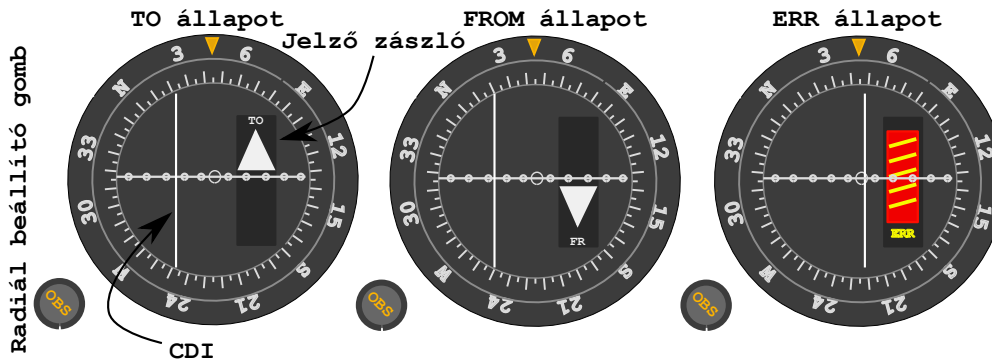


4. ábra: A VOR működése.

¹A részletes működéstől most eltekintünk.

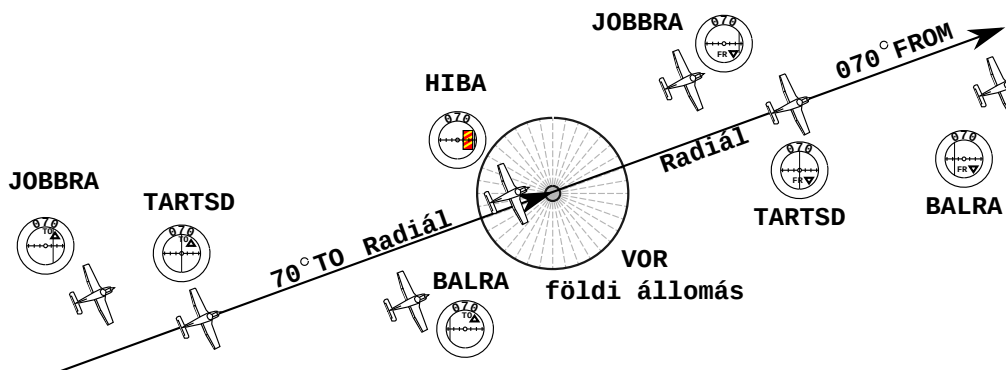
A fedélzeti műszer azt mutatja a pilóta számára, hogy mennyire tér el a kérdéses radiáltól. Ezen kívül megkülönbözteti azt is, hogy a repülőgép a VOR állomás felé tart (TO), vagy az állomástól távolodik (FROM). Hiba esetén, ha a műszer nem tud mérni, akkor hibajelzést ad.

A műszer azt jelzi ki, hogy a repülőgép melyik irányba induljon a radiálhoz és az irányhoz képest, hogy az aktuális radiálja rááljon, lásd 5 ábra, illetve 6 ábra [5].



5. ábra: A VOR kijelzése.

A CDI (Course Deviation Indicator) kijelzésén egy osztás 2° eltérésnek felel meg.



6. ábra: A VOR kijelzése értelmezése.

A VOR-nak van egy modernebb változata a DVOR (Doppler VOR). Ez pontosabb, működése más, de a mi szempontunkból ez nem lényeges.

2.3. DME

A DME (Distance Measuring Equipment) adót közvetlenül a VOR adó közelébe telepítik (VOR/DME). Feladata a repülőgép és az adó távolságának meghatározása. Működése időmérésen alapul. A repülőgép kiad egy jelet, amire a DME válaszol. Az időeltérésből számítható a távolság.

A DME jellemzője, hogy nem végez magassági korrekciót, így egy a talajszint felett 10000m magasan repülő gép távolsága az adó felett 10km [5].

2.4. Egyéb műszerek

A GPS lehetővé teszi, hogy más műszereket is emuláljunk, amelyek szintén sok kiegészítő információt szolgáltatnak a pilótáknak.

Első sorban a repülőgép haladási irányát jelző pörgettyűs iránytartó segíthet sokat, főleg azokban az esetekben, ha a repült útvonal hosszabb ideig tart. A gyakorlatban a pörgettyűs iránytartót 15 percenként egyeztetni kell a mágneses iránytűvel. Abban az esetben, ha a pilóta tennivalói valamilyen okból megszorozódnak, ez elmaradhat. Másik szempont, ha a repülés nem középeurópai környezetben történik. Ekkor a mágneses észak és a földrajzi észak jelentősen eltérhet. Ez komoly korrekciókat igényel.

Járulékos hatás, hogy ebben az esetben a valós földrajzi haladási irányt kapjuk meg.

A második ilyen jellegű kiegészítő adat föld feletti sebesség. Ez szintén jelentős navigációs információ.

3. A GPS használat jellemzői

A polgári GPS vevők pontossága nem túl jó. Katalógus adatok szerint egy kereskedelemben kapható, "elviselhető" árú GPS modul pontossága átlagban öt méter. Tapasztalataink szerint olyan esetben, ha nincs a közelben komoly zavarást okozó objektum, amely reflektálni képes a GPS holdak adásait, akkor ez a pontosság 2 méter körülinek adódik - saját méréseink alapján.

Ezeket a méréseket sajnos nem tudjuk a levegőben elvégezni, mert nem áll rendelkezésünkre jól kalibrált mérőeszköz. Azonban feltételezhetjük, hogy ez a pontosság közel azonos a földfelszínen mért pontossággal.

A pontosság mérése a budaörsi repülőtér 09R/27L pálya 27 küszöbén történt.

Másik fontos jellemző a GPS modul által szolgáltatott információ gyakorisága. Ez az érték általában 1 mondat másodpercenként.

Ez két következménnyel jár. Az első, hogy a pilóta számára milyen sűrűn frissítődik az információ.

A probléma vizsgálatára a leggyakoribb polgári célú repülőgép a Cessna-172 maximális megengedett sebességét vettük alapul. Ez az érték $V_{NE}=163$ csomó műszer szerinti sebesség, ez közel 84 m/s.

A másik szempont, hogy a feldolgozó egység számára mennyi idő áll rendelkezésre, a számítások elvégzésére és a kijelzés vezérlésére. Ez számunkra elég kedvező, így nincs szükségünk túlságosan erős számítási kapacitásra, illetőleg lehetőség nyílik számos kiegészítő információ kiszámítására és kijelzésére.

A következő kérdés a "beszerzett" információ megbízhatósága. Mivel az alkalmasított GPS eszköz semmilyen biztonságtechnikai minősítéssel nem rendelkezik, így önálló navigációra nem használható. Éppúgy nem, mint egy mobiltelefon applikáció sem. Kiegészítő navigációs eszköznek viszont kiváló lehet.

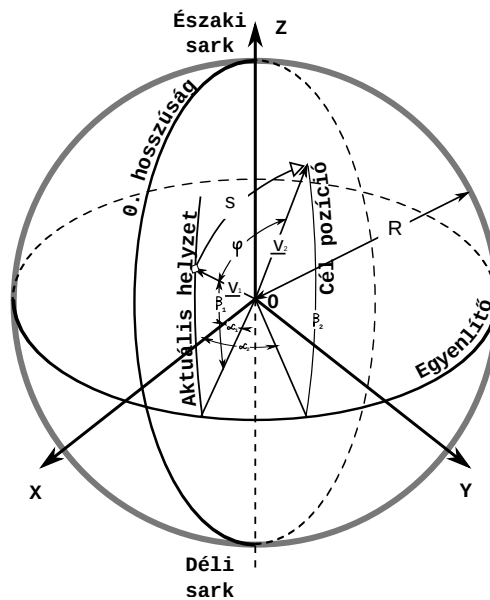
4. Geometriai megoldások

A navigációs rendszerben két lehetséges megoldást dolgoztunk ki, az első egy globális navigációs megoldás a teljes bolygóra alkalmazható. A második megoldás nagyjából Magyarország méretű területen

nyújt megfelelő navigációs támogatást.

4.1. Lineáris algebrai megoldás

Az adott megoldásban a földet gömbként kezeljük, amelynek sugara 6370km. Ehhez a gömbhöz rögzítünk egy derékszögű koordináta rendszert, ahol az origó a gömb középpontja, az X tengely pozitív iránya 0. hosszúsági kör és az egyenlítő metszéspontján, az Y tengely pozitív iránya a 90. keleti hosszúsági kör és az egyenlítő metszéspontján, a Z tengely pozitív iránya az északi sarkon keresztül megy, lásd 7. ábra [3] [6].



7. ábra: A geometriai modell.

Ahol:

R a föld sugara: 6370km,

α_1 az aktuális helyzet hosszúsági koordinátája,

β_1 az aktuális helyzet szélességi koordinátája,

v_1 az aktuális helyzet helyvektora,

α_2 a cél pozíció hosszúsági koordinátája,

β_2 a cél pozíció szélességi koordinátája,

v_2 a cél pozíció helyvektora,

φ a megteendő ortodrómius ív szöge,

S a megteendő út.

A pozíció vektorok számítása [6]:

$$\underline{v}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \quad \text{ahol: } x_1 = R \cos \alpha_1 \cos \beta_1, \quad y_1 = R \sin \alpha_1 \cos \beta_1, \quad z_1 = R \sin \beta_1. \quad (1)$$

$$\underline{v}_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} \quad \text{ahol: } x_2 = R \cos \alpha_2 \cos \beta_2, \quad y_2 = R \sin \alpha_2 \cos \beta_2, \quad z_2 = R \sin \beta_2. \quad (2)$$

Az északi félteke szélességeit pozitív, míg a déli félteke szögeit negatív előjellel vesszük figyelembe. Hasonlóan a keleti félteke hosszúságai pozitívak, a nyugati félteke szögei negatívak.

A számítások ezen szakaszában nem érdemes a sugárral szorozni, mivel minden művelet aritmetikai hibát okoz. Így rendre a \underline{v}_1 vektort a normált \underline{v}_1^* és \underline{v}_2 vektort a normált \underline{v}_2^* vektorra cseréljük.

Az útvonal tartósíkjának kiszámításához a két normált pozíció vektornak a vektoriális szorzatát számítsuk ki:

$$\underline{v}_n = \underline{v}_1^* \times \underline{v}_2^*. \quad (3)$$

Ebből számítható a φ szög és az S úthossz:

$$\varphi = \arcsin |\underline{v}_n|, \quad S = R \varphi. \quad (4)$$

Az \underline{v}_n vektor az útvonal tartósíkjának normális vektorával párhuzamos. Ha ezt normáljuk, akkor megkapjuk a tartósík normálisát:

$$\underline{v}_n^* = \frac{\underline{v}_n}{|\underline{v}_n|}. \quad (5)$$

A 0. hosszúsági kör normálisa és a \underline{v}_n^* vett hajlásszöge:

$$\underline{v}_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \vartheta^* = |\arccos(\langle \underline{v}_0, \underline{v}_n^* \rangle)| \quad (6)$$

Ez a szög a hajlásszög, de még nem a valós irány. Ennek két oka is van, az egyik, hogy a 0° os irány nem az X tengely "irányában", hanem a Z tengely irányában van és a navigációs körüljárás iránya ellentétes a pozitív körüljárás irányával.

A ϑ^* szöget ekkor már érdemes radiánból fokba átszámítani. Így teszünk mi is.

A következő esetek lehetségesek:

○ $\alpha_1 = \alpha_2$ és $\beta_1 = \beta_2$, a célpontnál vagyunk, nincs mit tenni.

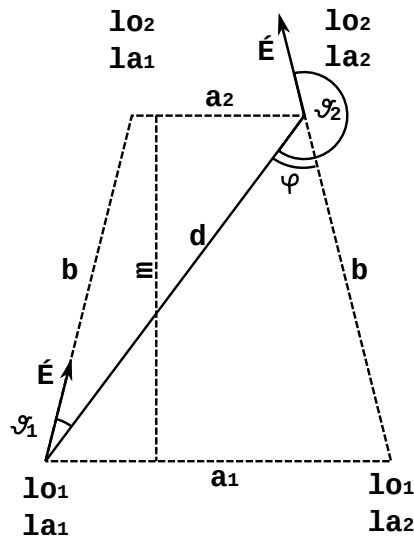
↑ $\alpha_1 = \alpha_2$ és $\beta_1 < \beta_2$, ekkor $\vartheta = 0^\circ$, nem kell számolnunk,

- ⊙ $\alpha_1 = \alpha_2$ és $\beta_1 > \beta_2$, ekkor $\vartheta = 180^\circ$, nem kell számolnunk,
- ⊙ $\alpha_1 < \alpha_2$ és $\beta_1 = \beta_2 = 0$ ekkor $\vartheta = 90^\circ$, nem kell számolnunk,
- ⊙ $\alpha_1 > \alpha_2$ és $\beta_1 = \beta_2 = 0$ ekkor $\vartheta = 270^\circ$, nem kell számolnunk,
- ⊙ $\alpha_1 < \alpha_2$, $\beta_1 = \beta_2$ és északi félteke, ekkor $\vartheta = \vartheta^*$,
- ⊙ $\alpha_1 > \alpha_2$, $\beta_1 = \beta_2$ és északi félteke, ekkor $\vartheta = 360^\circ - \vartheta^*$,
- ⊙ $\alpha_1 < \alpha_2$, $\beta_1 = \beta_2$ és déli félteke, ekkor $\vartheta = 180^\circ - \vartheta^*$,
- ⊙ $\alpha_1 > \alpha_2$, $\beta_1 = \beta_2$ és déli félteke, ekkor $\vartheta = 180^\circ + \vartheta^*$,
- ⊙ $\alpha_1 < \alpha_2$ és $\beta_1 < \beta_2$, ekkor $\vartheta = \vartheta^*$,
- ⊙ $\alpha_1 < \alpha_2$ és $\beta_1 > \beta_2$, ekkor $\vartheta = 180^\circ - \vartheta^*$,
- ⊙ $\alpha_1 > \alpha_2$ és $\beta_1 < \beta_2$, ekkor $\vartheta = 180^\circ + \vartheta^*$,
- ⊙ $\alpha_1 > \alpha_2$ és $\beta_1 > \beta_2$, ekkor $\vartheta = 360^\circ - \vartheta^*$.

4.2. Egyszerűsített síkra fektetett megoldás

A síkra fektetett megoldás kis távolságok esetén elfogadható navigációs pontosságot eredményez [3].

Az alapgondolata az, hogy a forrás és a cél koordinátáiból egy egyenlő szárú trapézt definiál, amelynek oldalai a koordinátákból számíthatók, lásd 8. ábra. Az ábrán az északkeleti és a délnyugati irányt tárgyaljuk.



8. ábra: A geometriai szituáció (ÉK, DNy).

Ahol:

lo_1 a kiindulási hosszúsági koordináta,

la_1 a kiindulási szélességi koordináta,

lo_2 a cél hosszúsági koordináta,

la_2 a cél szélességi koordináta,

a_1 a trapéz "alsó" alapja,

a_2 a trapéz "felső" alapja,

b a trapéz oldalfala,

m a trapéz magassága,

d az útvonal hossza,

ϑ_1 a kiindulási szög,

φ a délnyugati irány segédszög,

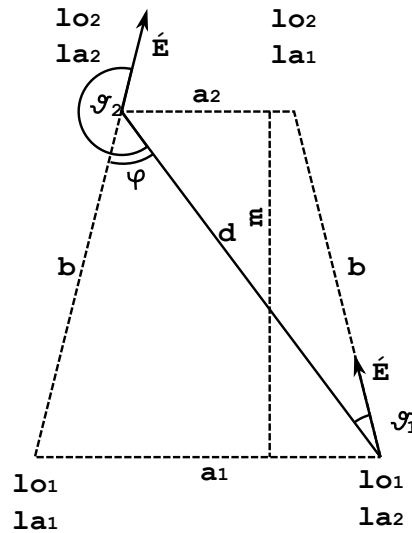
ϑ_2 kiindulási szög a délnyugati irányba,

É északi irány.

A fenti paraméterek a következő formulákkal számíthatók:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= R(lo_2 - lo_1) \cos la_1, & a_2 &= R(lo_2 - lo_1) \cos la_2, & b &= R(la_2 - la_1) \\
 m &= \sqrt{b^2 - \left(\frac{a_1 - a_2}{2}\right)^2} & d &= \sqrt{m^2 + \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)^2} \\
 \vartheta_1 &= \arccos \frac{b^2 + d^2 - a_2^2}{2 b d}, b d \neq 0 & \varphi &= \arccos \frac{b^2 + d^2 - a_1^2}{2 b d}, b d \neq 0 & \vartheta_2 &= \varphi + \pi
 \end{aligned} \tag{7}$$

A 9. ábra az északnyugati és a délkeleti geometriai szituációt mutatja.



9. ábra: A geometriai szituáció (ÉNy, DK).

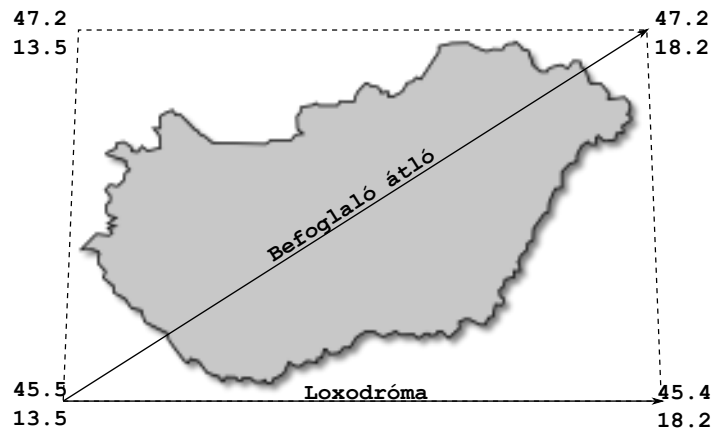
A számítás menete ugyanaz, ami az előző esetben, a számított szögértékek az északkeleti - délnyugati irányból számítható úgy, hogy az előzőleg számított értékeket kivonjuk 2π szögértékből.

Természetesen a kijelzést fokban adjuk meg.

A számítás szempontjából a következő kivételekkel kell számolnunk:

- $l_{o1} = l_{o2}$ és $l_{a1} = l_{a2}$ megérkeztünk, nincs mit tenni,
- ⤴ $l_{o1} = l_{o2}$ és $l_{a1} < l_{a2}$ az irányyszög 0° ,
- ⤵ $l_{o1} = l_{o2}$ és $l_{a1} > l_{a2}$ az irányyszög 180° ,
- ⤴ $l_{o1} < l_{o2}$ és $l_{a1} = l_{a2}$ az irányyszög 90° ,
- ⤵ $l_{o1} > l_{o2}$ és $l_{a1} = l_{a2}$ az irányyszög 270° .

Az egyszerűsített megoldás esetén a repülőgép nem ortodrómám repül, azonban egy olyan útvonalat figyelembe véve, amely Magyarország teljes területét tekintve, a maximális irányeltérés 2° , lásd 10. ábrát.



10. ábra: Ellenőrző útvonal

Megjegyzés: bármelyik algoritmust használjuk, azt nem szabad elfelejteni, hogy a GPS vevő másodpercenként közöl adatot a számítógéppel, tehát az útvonal során folyamatosan rendelkezésre állnak friss navigációs adatok.

5. Emulált navigációs műszerek

Az összes emulált navigációs műszer esetén csak és kizárólag a kijelölt fordulópont koordinátáira van szükség. Tehát nem szükséges az adott helyen bármiféle navigációs adó jelenléte. Ez lényegesebben rugalmasabbá teheti a navigációt.

5.1. ADF, DME emuláció

Ez a két emuláció a legegyszerűbb. Ennek oka az, hogy a kijelzendő értékek az alap számításból adódnak, mind az irányszöveget, mind a távolságot figyelembe véve [2] [3].

A távolság érték célszerűen numerikus jellegű kijelzés. Az ADF lehet numerikus és lehet grafikus is.

Az ADF grafikus kijelzésnél viszont célszerű a géptengely irányát is mérni, amihez kiegészítő műszerezés - egy mágneses iránytű - szükséges.

A GPS mondat tartalmazhatja a repülőgép sebességét is a földhöz viszonyítva. Ha nem tartalmazza, a sebesség érték kiszámítható. Ez szintén kijelzésre kerül, illetve kijejezzük a fordulópont elérésének becsült idejét is. Ez az érték a távolság, a sebesség és a szintén GPS által szolgáltatott UTC időből számítható.

5.2. VOR emuláció

A pontos VOR navigáció esetén a radiáltól való eltérést a cél pozícióból kiinduló radiálból számíthatjuk.

Az első a lineáris algebrai megoldásnál a radiált szintén ortodromának kell tekinteni. Ekkor az adott radiálnak megfelelő síkban lévő nagykör pozícióját és a repülőgép aktuális pozícióját tudjuk összehasonlítani.

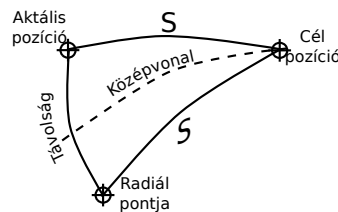
A módszer lényege, hogy a repülőgép aktuális pozíciójából a megérkezés szögét és az aktuális radiál szögének különbségét tudjuk számítani.

A pilótának jó támpontot nyújthat a szögeltérésen kívül az is, hogy mekkora a távolsága a kérdéses radiáltól. Ekkor azonban már egy inverz pálya számítást is el kell végeznünk.

Ez az inverz pályaszámítás az S távolságból az adott síkok egyenleteiből számítható [2] [6].

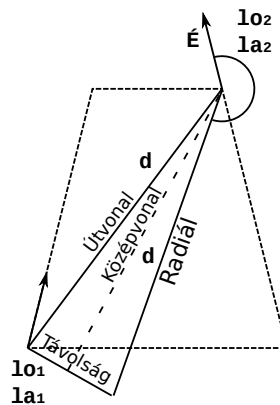
Jóval egyszerűbb a probléma az egyszerűsített megoldás esetén. Ekkor az érkezési pozícióból húzott radiálon lévő egyenes és az útvonal egyenes távolságát számíthatjuk [3].

További kérdés, hogy hogyan értelmezzük a radiáltól való távolság fogalmát. Ez a fejlesztés során elég sok vitát váltott ki. A javaslat az volt, hogy a radiált S hosszon és az útvonalat S hosszon vesszük. Innen a megoldások különböznek az első megoldásban ezeket a pozíciókat ívhossz távolságra átszámoljuk, lásd 11. ábra [3].



11. ábra: Lineáris algebrai megoldás a távolságra

A második esetben egyenlő szárú háromszögnek tekintjük a radiált és az útvonalat és az alap hosszát számítjuk, lásd 12. ábra.



12. ábra: Egyszerűsített megoldás a távolságra

Magyarország méretű navigációs feladat esetén az egyszerűsített megoldás megfelelő pontosságúnak bizonyult a kísértletek alapján.

6. A GPS vevő és GPS mondat

A lehetséges GPS vevőkkel támasztott követelmények nem túlságosan szigorúak. A kitűzött cél az, hogy másodpercenként kapjunk egy mondatot és lehetőleg ez soros vonalon történjen. Az általunk előnyben részesített GPS mondat típusa GGA.

A mondat szerkezete egy példa alapján [4]:

\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47

\$GP ez egy GPS mondat,

GGA a mondat típusa,

123519 UTC időpont (12:35:19),

4807038,N északi szélesség $48^{\circ}, 07.038'$,

011000,E keleti hosszúság $011^{\circ}, 000'$,

1 GPS fix adat,

08 8 műholdat lát,

0.9 horizontális felbontás,

545.4,M a tengerszint feletti magasság,

46.9,M geoid korrekciós érték (kivonandó),

***47** ellenőrző összeg,

CR-LF mondat lezáró karakterek.

Nem szeretnénk ide típust írni, de előzetes felmérések alapján legalább tíz, a kereskedelemben kapható típus megfelelt az előzetes követelményeknek.

A mechanikai kialakítás célszerűen az, hogy a GPS egységet külön burkolatban helyezzük el, akár alkalmazunk külső antennát, akár nem és soros kommunikációval kommunikálunk a számító és kijelző eszközzel.

7. A számító és kijelző egység

Felmerül a kérdés, hogy mi az oka annak, hogy nem megszokott platformokon fejlesztjük a rendszert.

A válasz az, hogy megtettük. Ezek az eszközök sok szempontból megfeleltek a követelményeknek. Legnagyobb problémájuk az, hogy a fedélzeten erős napsütésben nem látszanak jól. Ez azt eredményezte, hogy a pilóta figyelmét túlságosan elvonták a repüléstől. Tehát pont azt a célt nem érték el, amire szántuk ezeket.

A kísérletek alapján a legjobban használható eszköz egy elektronikus papír kijelző. Ez jól látható erős napsütésben és éjszakai feladat esetén megfelelően megvilágítható. Ennek az eszköznek egyetlen problémája, hogy lassú, ezért a frissítési frekvenciája alacsony.

Lehetséges alternatívák a következők:

- saját fejlesztésű eszköz,
- egy szabad hozzáférésű monokróm e-könyv olvasó,
- egy elektronikus papír kijelzőjű telefon.

Az általunk választott megoldás a saját fejlesztésű eszköz lett. Ennek jellemzői:

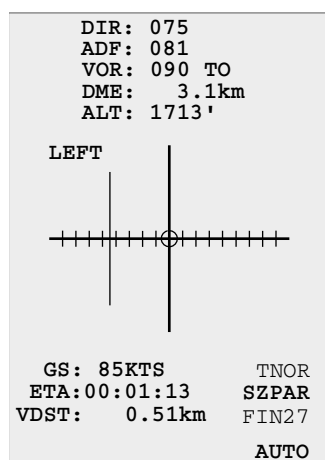
- különálló, soros porton kommunikáló GPS egység,
- ARM Cortex M4 számító egység,
- 5"-os elektronikus papír kijelző, szükség esetén vörös háttérvilágítással,
- számítási algoritmus a 4.2. fejezetben ismertetett módszer.

A kijelzés frissítése öt másodpercenként történik, így elkerüljük a kijelző kellemetlen villogását, de elegendő információt nyújtunk a navigációhoz.

A navigációs adatok sorrendben egy mikro SD kártyán egy CVS állományban kerülnek tárolásra. A fordulópontokat a rendszer automatikusan, illetve manuálisan is képes váltani. A koordináták egy PC-s adatbázisból letölthetők a kártyára.

A készülék energia ellátása egy külső power bank-ról történik, így nem szükséges belső tápegység építése.

A 13. ábrán a kijelzés képernyőterve látható [3].



13. ábra: A kijelzés képernyőterve

A 13. ábrán látható szimbólumok jelentése:

DIR: a való haladási irány,

ADF: a következő navigációs pont iránya,

VOR: a VOR radiál,

DME: a következő navigációs pont távolsága,

ALT: GPS által mért magasság,

LEFT tartás balra (**RIGHT**, ha jobbra),

GS: a valós földhöz viszonyított sebesség,

ETA: a következő navigációs pont elérésének becsült ideje,

VDST: a VOR radiáltól való távolság,

AUTO a navigációs pontok váltása automatikus (**HAND**, ha kézi),

TNOR előző, **SZPAR** aktuális, FIN27 a következő navigációs pont.

8. Gyakorlati tapasztalatok

Mindhárom dolgozatban szereplő eszköz elkészült. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatatták, hogy a mobil telefonos alkalmazások [1] [2] - bár hiba nélkül működnek - de nem jó látszanak erős nappali fényben és néha nem eléggé érzékenyek. Éjszakai körülmények között tökéletesen megfelelnek a célnak.

Az elektronikus papírt használó eszköz [3] nappal nagyon jó, bár a frissítési frekvencia kicsit alacsonynak bizonyult, de az alap navigációs feladatokra kiváló. Nappal jól látható és olvasható. Éjszakai alkalmazását a megvilágítási igény megnehezíti, de ez megoldható.

Gyakorlatban mindhárom eszközt teszteltük, mindhárom eszközzel azonos feladatot lerepültünk úgy, hogy csak biztonsági szempontból használtuk a hagyományos VFR navigációt. Egy esetben tapasztaltunk eltérést, amelynek oka egy egyszerű programhiba volt a VOR kijelzésben, de a többi szolgáltatás bőven elegendő információt biztosított a pontos navigációhoz.

További tapasztalat az, hogy az egyszerűsített navigáció normál kisgépes repülésben teljesen megfelel a követelményeknek. Az útvonal követés nem rosszabb, mint térképes útvonal követés esetén.

Hivatkozások

[1] Beck Zoltán: "GPS alapú légi-navigációs rendszer" 2014 KVK diplomaterv.

[2] Molnár István: "Repülőgépes navigációs rendszer fejlesztése ANDROID eszközre" 2015 KVK diplomaterv.

[3] Oláh Tamás: "GPS alapú rádió navigációs eszközök szimulációja és megvalósítása" 2016 KVK diplomaterv.

[4] "https://digiterra.hu/wp-content/static/dok/Expv7_RefGuide_TreeVol_HU/index.html?the_geoid_undulation.htm"

[5] U.S. Department of Transportation FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION Instrument Flying Handbook FAA-H-8083-15A

[6] The Pilot's Manual PM 3 Instrument Flying Aviation Supplies &Academics, Inc. Newcastle, Washington ASA-PM-3C-PD PDF ISBN 978-1-56027-833-7

[7] http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-36-0123_Schuster_Gyorgy-Terpecz_Gabor.pdf