



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

XXXVII.

Kandó Konferencia

2021. november 18-19.



<http://konf2021.kvk.uni-obuda.hu>



**Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar**

**1084 Budapest,
Tavaszmező u. 15-17.**

ISBN: 978-963-449-272-6

Tartalomjegyzék

Magyar nyelvű publikációk

Egy optimális céltárgytartó konfiguráció Seebeck-effektuson alapuló termoáram keltéséhez	3
Varga Zoltán, Rácz Ervin	
Google tárgyszó találatok idősorain végzett elemzések	15
Farkas Zoltán, Ürmös Antal, Nemcsics Ákos	
LCD-be integrálható, ujjlenyomat binarizációs képfeldolgozására alkalmas hardver tervezése	21
Zeffler Tamás, Csikósné Pap Andrea Edit	
Lokális hálózatok tranziensének vizsgálata és felismerése mesterséges intelligenciával	31
Kohanecz Ádám, Kozma Dávid Márk, Deli Tamás	
LoRaWAN hálózat stabilitás vizsgálata különböző környezeti viszonyok mellett	41
Kozma Dávid Márk, Kohanecz Ádám, Borsos Döníz	
Metró szerelvények moduláris felépítésű klíma inverterei	51
Várhelyi Nándor	
Nyomás szenzorok kalibrálása és kalibrálási nehézségei	58
Kozma Dávid Márk, Sándor Tamás	
Az önvezető autók elfogadásában alul értékelt tényezők	67
Zilahy Dalma	
Automatikus kártevő azonosítás és számlálás	75
Braun Ferenc, Molnár Zsolt	
<u>Angol nyelvű publikációk</u>	
Analysis of Grid Connected Hybrid Inverter powered by solar paver panels	87
Marcell Szente, Roland Bálint, Attila Fodor	
Balancing capacitively split DC link of three-level inverters	97
László Stranyóczky	
Derivation of the Permanent Magnet Synchronous Machine Model step by step from the three phase model to the d-q model	109
András Hadúr, Károly Veszprémi	
Solar system with electric vehicle charging capabilities	123
Róbert Istók	
Traffic Sign Detection Using Convolutional Neural Networks	131
Milán Kriston, Döniz Borsos	

Egy optimális céltárgytartó konfiguráció Seebeck-effektuson alapuló termoáram keltéséhez

Varga Zoltán,^{1,2} Dr. Rácz Ervin³

¹Óbudai Egyetem, Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskola (PhD hallgató) 1034 Budapest, Bécsi út 96/B, varga.zoltan@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet, 1034 Budapest, Bécsi út 96/A, varga.zoltan@uni-obuda.hu

³Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet, 1034 Budapest, Bécsi út 96/A, racz.ervin@uni-obuda.hu

Absztrakt: Napjainkban a villamosenergia-fogyasztás az elmúlt évtizedekből fogyasztáshoz képest jelentős mértékben megnövekedett. A klímaváltozás következményeképpen az emberiség energiaszükséglete folyamatosan növekszik. Az energiaszükséglet a fejlettségi indexben megmutatkozik, mégpedig, a kutatók kapcsolatot találtak az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztás és az emberi fejlettségi index (angolul Human Development Index (HDI)) között. Azokban az országokban, ahol az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztás magas, ott nagy a valószínűsége, hogy a HDI érték is magas [1]. A fentiek okán a rendelkezésre álló villamosenergia-rendszerek hatásfokának javítása indokoltá válik. Ilyen rendszerek hatásfokjavításának egyik lehetséges módszere a rendszerben termelődött „maradék hő” felhasználása, pl.: villamosenergiává való átalakítása Seebeck-effektus segítségével [2]. A Seebeck-effektus egy olyan termoelektromos jelenség, amelynek során két különböző anyagi minőségű fém két végpontján való összekapcsolásakor létrehozott zárt vezetőkörben, a kapcsolódási pontok különböző hőmérsékleten tartása esetén, a körben villamos áram folyik [3]. Ebből merítve az ötletet, a villamos rendszerben még megjelenő/meglévő hő és a Seebeck-effektus párosítása által a rendszerből villamos áram révén villamosenergia nyerhető. Mindezek alapján célul tűztük ki, hogy kísérleti úton demonstráljuk a Seebeck-effektust hűtőbordák és Peltier-elem felhasználásával. A kísérletek elvégzése során elsődleges célnak tartottuk olyan megoldás keresését, amely a környezetben előforduló („élet közeli”) és alacsony villamosenergia befektetéssel jár (pl.: hűtőborda vízzel vagy széllel való aktív vagy passzív hűtése). Ennek érdekében először különböző hűtőbordák hővezetésének kísérleti úton való vizsgálatát végeztük a célból, hogy feltérképezzük, vajon melyik hűtőborda esetén idézhető elő a legjobb hővezetés, és ezáltal a céltárgy testen elérhető legnagyobb hőmérséklet-különbség. A kísérletek során a felület melegítéséhez reprodukálható működésű infravörös (IR) lámpát alkalmaztunk. Munkánk következő lépései a kísérletek piszkozati, majd pontos, reprodukálható végrehajtása, a kísérleti adatok begyűjtése, az adatok feldolgozása, majd az eredmények értékelése volt követve a kísérletezés tradicionális útját. Az eredményekből az látható, hogy a Peltier-elem két oldalának 20 °C hőmérséklet-különbsége esetén, akár 35 mA villamos áram is kinyerhető a villamos körben a Seebeck-effektus felhasználásával.

Keywords: Seebeck-effektus, hűtőborda, Peltier-elem, villamos áram

1. Bevezetés

Napjaink energiafogyasztása drasztikus növekedésen ment keresztül, amely magával vonzza a megnövekedett károsanyag kibocsátást, köztük pl. a szén-dioxid kipufogatását a környezetbe. Az energiafelhasználás a fejlettségi indexben is megmutatkozik, mégpedig: a kutatók kapcsolatot találtak az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztás és az emberi fejlettségi index (angolul Human Development Index (HDI)) között. Azokban az országokban, ahol az egy főre jutó villamosenergia fogyasztás magas, ott nagy a valószínűsége, hogy a HDI érték is magas [1]. A korábbi évtizedekben megfelelőnek tartott, villamosenergia-termeléshez alkalmazott megbízható rendszerek mára erősen környezetszennyezőnek mutatkoznak és az általuk magas koncentrációban kibocsátott szén-dioxid miatt szigorú következményeket, előírásokat vezettek be [4]. A villamosenergia-növekedés és más paraméterek (pl.: társadalmi, környezeti, gazdasági) együttes és egymásra ható okának eredményeképpen az egyes villamosenergia-termelő rendszerek hatásfokának növelésére kellően magas figyelmet fordítanak a kutatók. Mindazonáltal, a kutatások homlokterében áll a hibrid, sokoldalú rendszerek bevezetése a lehető legoptimálisabb kihasználásuk érdekében.

A fentiek okán a rendelkezésre álló villamosenergia-rendszerek hatásfokának javítása indokoltá válik. Ilyen rendszerek hatásfok-javításának egyik lehetséges módszere a rendszerben termelődött „maradék” hő felhasználása, pl.: villamosenergiává való átalakítása Seebeck-effektus segítségével [2]. A Seebeck effektus egy olyan termoelektromos jelenség, amelynek során két különböző anyagi minőségű fém két végpontján való összekapcsolódásakor létrehozott zárt körben, a kapcsolódási pontok különböző hőmérsékleten tartása esetén a körben elektromos áram folyik. A Seebeck-effektust szokás inverz Peltier-effektusnak is nevezni, mert villamos áramot vezetve két különböző anyagi minőségű fémből készült zárt körben, a kapcsolódási pontokon eltérő hőmérsékletek jelennek meg (az egyik csatlakozási pont lehül, a másik felmelegszik az áram irányától függően)

[3] [5]. A jelenséget 1821-ben Thomas Johann Seebeck demonstrálta. Habár, a jelenség elég régre visszavezethető, de a témában jelentős kutatás folyik, amely nem csak felhasználói szintű eszközök létrehozását, hanem újtechnológiában használatos eszközök fejlesztését is magával vonzza. Az ilyen megemlítésre érdemes eszköz, a radioizotrópos termoelektromos generátor, amely a radioaktív izotópok természetes bomlásából származó hőt hasznosítja villamos áram keltésére Seebeck-effektus segítségével [6]. A korábban említett inverz Seebeck-effektuson alapuló eszközök is elérhetőek, mégpedig, Peltier-elem formájában. Az eszközt egy francia fizikusról nevezték el, Jean Peltier, aki a jelenséget 1834-ben figyelte meg.

A Peltier-elemeket széleskörben alkalmazzák termoelektromos generátorként vagy hűtésre, vagy fűtési célokra. Ilyen típusú hűtési alkalmazással a számítógépek processzorainál vagy kis teljesítményű hűtőszekrényeknél lehet találkozni. A járműiparban egyik lehetséges alkalmazása a különféle járművekben képződő kipufogógáz hőjének hasznosítása [7] [8]. Cikkünkben egy Peltier-elem termoelektromos alkalmazását használjuk ki villamos áram keltéséhez.

Korábbi cikkek taglalják a termoelektromos eszközök potenciális alkalmazhatóságát villamos áram keltésére. Ezek a tudományos cikkek egyértelművé tették, hogy az előrelépések az anyagokban és az anyagfeldolgozásban magasabb elméleti és gyakorlati termoelektromos hatásfokot eredményeztek [9], [10], [11].

Bodnár és társa egy hűtőegységet terveztek Peltier-elemekből laboratóriumi mérésekhez. Ebben a koncepcióban a Peltier-elem Peltier-hatását használták [7], [12]. Tehát áramot vezetve a körbe a Peltier-elem két felülete között hőmérséklet-különbséget hoztak létre. Szauter és társai kísérleti célú duális funkciójú berendezéseket mutatnak be cikkükben, melyhez a hűtési és fűtési célokat Peltier-elemekkel végzik. A cikkben látható, hogy a felület hőmérséklet-változtatására a Peltier-elemek megfelelőnek mutatkoznak [13]. Casano és társa kísérleti úton vizsgálták a Peltier-elemek termoelektromos hatékonyságát. A kísérleteiket több, különböző értékű ellenállás felhasználásával végezték, valamint a hűtőborda hűtésére folyadékot használtak, amelyet egy szivattyú segítségével keringettek. A kísérleteikből azt találták, hogy a termoelektromos modul biztató a maradék hő eredményes felhasználásához [14].

Mindezek alapján **célul tűztük ki, hogy kísérleti úton demonstráljuk a Seebeck-effektust hűtőbordák és Peltier-elem felhasználásával. A kísérletek elvégzése során elsődleges célunk tartottuk olyan megoldás keresését, amely a környezetben előforduló („élet közeli”) és alacsony villamosenergia befektetéssel jár.**

2. Kísérletek

2.1. Tervezés folyamata

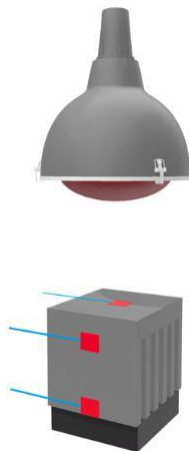
A kísérletek elvégzéséhez az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézet Alternatív Energiaforrások Tudásközpont laboratóriumában (OE KVK VEI AET) rendelkezésre álló műszerparkot használtuk. A laboratóriumban elérhető hűtőbordák közül három darab került kiválasztásra. A szelektálásnál figyelembe vettük a hűtőbordák hosszmereteit, tömegét, alakját és felületük simaságát. Az 1. táblázat mutatja a hűtőbordák technikai adatainak leírását.

1. táblázat: Kiválasztott hűtőbordák technikai adatai

Hűtőborda jelölése	méretek		
	magasság [cm]	szélesség [cm]	hosszúság [cm]
A	2,8	11,5	12
B	4,5	7	7,5
C	5	7	10

A hűtőbordák összehasonlításához szükséges kísérlet elvégzéséhez a hűtőbordákra egymástól egyenlő távolságokra 3 darab K-típusú hőelemet helyeztünk fel (lásd az ábra piros jelöléseit), amely az adatlapi leírás alapján 0 °C és 100 °C között nagy pontossággal képes hőmérséklet mérésre. A hőmérséklet monitorozására Voltcraft K204 digitális datalogger hőmérőt alkalmaztunk, amely a monitorozás mellett az adatok mentésére is képes. A műszer a mért adatokhoz időpillanatokat rendelt, így a hőmérséklet pillanatnyi értékeit időben ábrázolhattuk, majd az egyes hűtőbordákhoz tartozó értékekkel összehasonlíthattuk.

Az összehasonlításból további következtetéseket vontunk le a Seebeck-effektus méréséhez alkalmazandó hűtőborda kiválasztásánál.



1. ábra: Hűtőborda vizsgálati elrendezése, ahol a megvilágító fény IR és a hűtőbordákon 3 db K-típusú hőelem került elhelyezésre, amelyet az ábrán a piros színű téglalapok szemléltetnek.

Az összehasonlítás során kiderült, hogy mindegyik hűtőborda (A, B és C jelű) képes a 60 °C-os hűtőbordát szobahőmérsékletűre visszahűteni viszonylag azonos időállandóval, azonos hűtési technika mellett. A hűtőbordák jóságának megállapítása és a nekünk megfelelő hűtőborda eredményes kiválasztása érdekében egy olyan csoportosítási szempontot hoztunk létre és olyan vizsgálati szempontrendszert definiáltunk magunknak, amelyeknek segítségével kiválaszthattuk a kísérlet következő szakaszához megfelelőnek mutató hűtőbordát. E szempontrendszer:

- gyorsan hűljön le azonos hűtési technika mellett
- nagy hőmérséklet-különbség alakuljon ki a hűtőborda teteje és az alja között azonos hűtési technika mellett
- a hűtőborda felső sík felülete valóban sima legyen

E paraméterek figyelembevételével a hűtőbordákat a 2. táblázatban csoportosítottuk.

2. táblázat: Megfelelőnek mutató hűtőborda szempontok

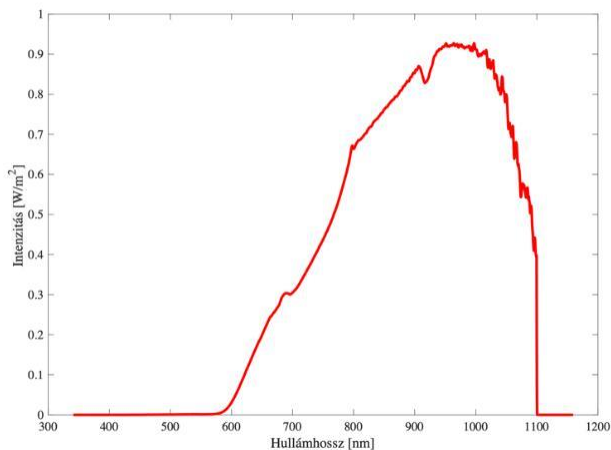
Hűtőborda jelölése	Hűtés gyorsasága	Hőmérséklet-különbség	Felület simasága
A	122 s	27 °C	Nem elég sima
B	126 s	31,7 °C	Sima
C	126 s	37,3 °C	Sima

A 2. táblázat alapján látható, hogy mindegyik hűtőborda közel azonos idő alatt képes a hűtőborda tetejét lehűteni azonos hűtési technika alkalmazásával. A hűtőborda legfelső és a legalsó „oldallapjai” között létrejövő hőmérséklet-különbséget vizsgálva, a legjobbnak a C-jelű hűtőborda mutatkozik, amelynek másik előnye, hogy a felülete sima. Tehát a három hűtőborda közül a 2. táblázatban szereplő értékek miatt a legalkalmasabbnak a C-jelű hűtőbordát találtuk a kísérletek további szakaszának elvégzéséhez.

Mielőtt a kísérlet további szakaszát bemutatnánk, röviden ismertetjük a kísérlethez alkalmazott eszközöket.

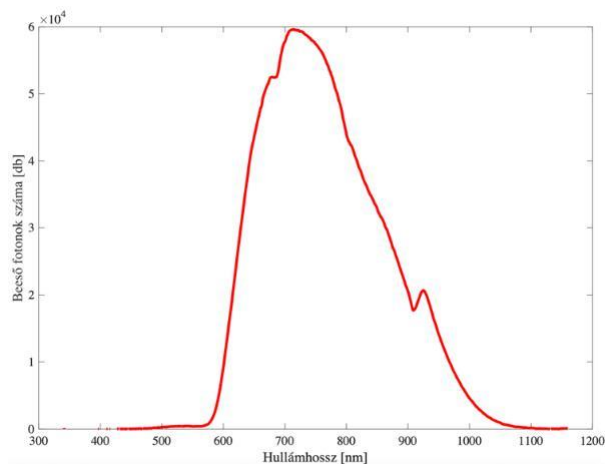
A termoelektromos áram vizsgálatához Peltier-elemet használtunk, amelynek anyaga alumínium-oxid (Al_2O_3) (másnéven timföld) és érintkező anyaga BiSn. A Peltier-elem termoelektromos generátor feladatot lát el a kísérletben, mivel elektromos áram indukálódik az elem kimenetén, ha az elem két oldala különböző hőmérsékletű. A két oldal között létrejött hőmérséklet-különbség nagysága határozza meg az indukált elektromos áram nagyságát.

A kísérletekhez egy olyan jól definiált hőszugárzás előállítására képes eszközre volt szükség, amely megfelelő hőszugárzónak mutatkozik. A mérések során a felület melegítéséhez reprodukálható működésű, infravörös (IR) lámpát alkalmaztunk. Az IR lámpa intenzitás-hullámhossz spektrumát a 2. ábra, a lámpa foton beütésszám-hullámhossz spektrumát a 3. ábra mutatja.



2. ábra: Kísérlethez alkalmazott infravörös lámpa intenzitás-hullámhossz spektruma.

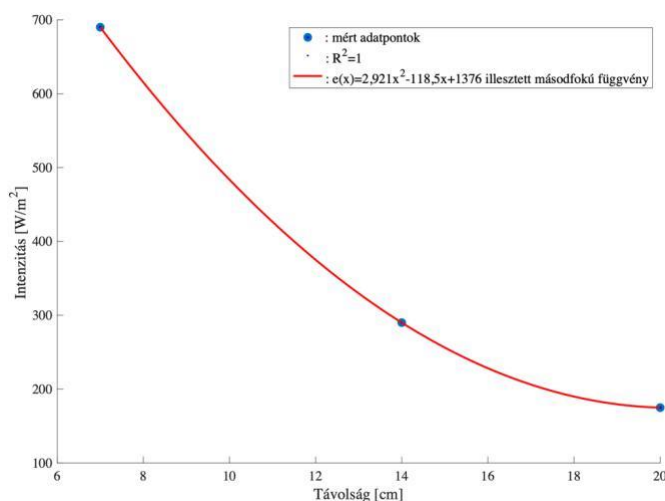
Jól látható az IR lámpa intenzitás-hullámhossz spektrumáról, hogy a vörös és az infravörös tartományban lévő hullámhosszakon mutat magas intenzitás értékeket.



3. ábra: Kísérlethez alkalmazott infravörös lámpa foton beütésszám-hullámhossz spektruma.

A 3. ábra szemléletei a foton beütésszám-hullámhossz spektrumot, amely megtekintésekor ugyancsak megfigyelhető, hogy a vörös és az infravörös tartományban nagy foton beütésszám értékek vannak. A rövidebb hullámhosszú tartományokból nem érkezik foton a Peltier-elem felületére (~570nm-től teljesen levág).

A kísérlet során alkalmazott IR lámpa használatával kezdetben egy alapvető megválaszolatlan kérdés az volt, hogy az IR lámpa által megvilágított felület mekkora fényintenzitás, pontosabban sugárzási intenzitás éri. Ennek érdekében a megvilágított felületen mért spektrális intenzitás értékeket ábrázoltuk a sugárzási forrás felülettől vett távolsága függvényében. Az intenzitás-távolság inverz négyzetes törvénye illetve függvény alapján, a sugárzási intenzitás fordítottan arányos a távolság négyzetével ($I \sim 1/x^2$). Ennek értelmében, a mért adatpontokra ilyen másodfokú függvényt illesztettünk. A 4. ábráról kiderül, hogy az illesztett másodfokú függvény ($e(x)=2,921x^2-118,5x+1376$) grafikonja tökéletesen illeszkedik a mért adatpontokra ($R^2=1$).



4. ábra: IR lámpa intenzitás-távolság értékek, ahol kézzel a mért adatpontok, pirossal a mért adatpontokra illesztett másodfokú egyenlet látható. Az illesztés hibája $R^2 = 1$.

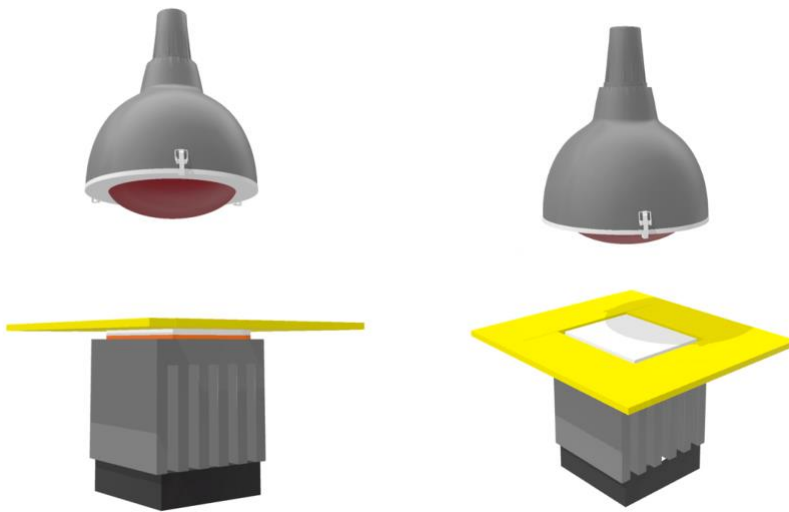
A Peltier-elem felületét ért sugárzási intenzitás mellett az elem felületének hőmérséklete is változik a távolság függvényében, mégpedig az intenzitással arányosan. Amennyiben a Peltier-elem felülete és a lámpa közötti távolság 7 cm, a felület hőmérséklete elérheti a 60 °C-ot. Amennyiben a távolságot már 14 cm-re állítottuk, az elem felülete csak 50 °C, és 20 cm távolság esetén pedig a felületi hőmérséklet maximálisan már csak 40 °C. Tekintettel arra, hogy a természetben a

környezeti - és így a felületi - hőmérséklet nem éri el a 60 °C fokot, érdemes volt a kísérletek további szakaszaiban a távolságot 14 cm-re állítani.

Az alkalmas hűtőborda kiválasztását követően a Peltier-elemet felhelyeztük a hűtőborda tetejére olyan konfigurációban, hogy a hideg oldala érintkezett a hűtőbordával, a meleg oldala az IR lámpa közvetlen infravörös sugárzásának volt kitéve.

3. Kísérleti eredmények értékelése

Az eszközök és a hűtőborda kiválasztásának bemutatását követően, ebben a fejezetben kitérünk a Seebeck-effektus vizsgálatára, amelyhez egy termoelektromos generátort, azaz Peltier-elemet használtunk. A fejezetben a keltett elektromos áram és a hőmérséklet-különbség kísérletből származó adatokat ábrázoltuk, értékeltük.



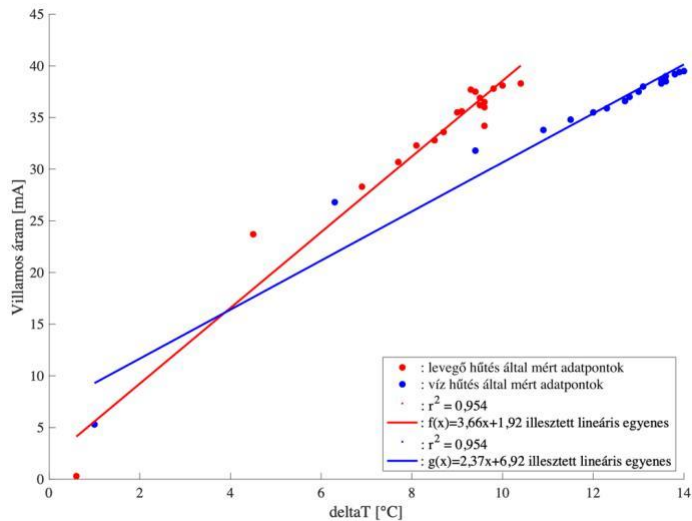
5. ábra: Seebeck-effektus demonstrációjára alkalmazott kísérleti elrendezés 3D-s ábrája. A bal oldali ábra 45°-os oldalnézetből, míg a jobb oldali ábra felülnézetből mutatja a kísérleti elrendezést.

Az 5. ábra szemlélteti a Seebeck-effektus demonstrációjára alkalmazott kísérleti elrendezést 3D-s ábra módszerével, ahol fentről a Peltier-elem felületét (fehér négyzet az 5. ábrán) IR lámpa világítja meg. A Peltier-elem hátoldala a hűtőbordához ezüst hővezető paszta érintkező felületekre való felvitelével került rögzítésre. Az IR lámpa jelentős hőszugárzásából adódóan a Peltier-elem hűtőbordához csatlakozó oldalát és a hűtőbordát hőszigetelő extrudált polisztirol habbal (XPS) választottuk le. A hővezető paszta érintkező felületekre való felvitelének fontossága nagy, hiszen ez által biztosítható, hogy a csatlakozó oldalakon jó hővezetés alakuljon ki. Az ezüst hővezető paszta alkalmazása a rendszer

mechanikai stabilitását is növelte, a két felület között kialakuló felületi feszültség miatt.

Az illetéknéppen megépített céltárgyrendszer tesztelését két különböző hűtési technika összehasonlítása mellett végeztük el. Egyik hűtési módszer az egy oldali szélcsatorna hűtés, és a hűtőborda állóvízben való hűtésének alkalmazása. Tekintettel arra, hogy célként olyan hűtési technika kidolgozását, felhasználását tűztük ki, amely a környezetben előforduló tehát „élet közeli”. Ezért pl. az intenzív közvetlen hűtések, úgy mint pl. a szárazjég vagy a folyékony nitrogén használata nem felel meg.

A céltárgyrendszer megépítését és a hűtési technikákat alkalmazva a Seebeck-effektus kísérleteket elvégeztük. A Peltier-elem két lapján hőmérséklet-különbséget hoztunk létre a fentebb leírt módszerrel. A hőmérséklet-különbség hatására elektromos áram folyt illetve elektromos áram volt detektálható a zárt villamos áramkörben. A Seebeck-effektus tehát működött. A kísérletek után a mérési adatokat begyűjtött, feldolgoztuk, értékeltük és ábráztuk. Az adatok feldolgozására és értékelésére a MatLab célszoftvert alkalmaztuk.



6. ábra: Hőmérséklet-különbség (deltaT) és a keletkező termo villamos áram kapcsolata a Seebeck-effektus esetén, a mért adatpontokra illesztett elsőfokú függvény görbéjével és az illesztési pontossággal.

A 6. ábra szemlélteti a hőmérséklet-különbség és a villamos áram kapcsolatát a Seebeck-effektus esetén. A mért villamos áram adatpontokra lineáris egyenest illesztettük, mert a Seebeck-effektuskor a keletkezett termoáram és a hőmérséklet-különbség közötti kapcsolat lineáris ($I/\Delta T = \text{állandó}$). A piros színű elektromos áram adatpontokra az arra illesztett szigorúan monoton növekvő lineáris függvényt és annak egyenletét látjuk $f(x) = 3,66x + 1,92$ a levegő hűtés esetén. Mindemmel, a kék

színű adatok a vízhűtés során mért termoáram adatpontokat prezentálják. A vízhűtés esetén mért adatpontokra is a lineáris függvényt illesztettük, amely esetén az illesztett egyenes egyenlete: $g(x) = 2,37x + 6,92$.

Az eredményekből elsősorban trend jellegű változás mutatkozik, ugyanis, minél nagyobb a hőmérséklet-különbség, várhatóan annál nagyobb a generált villamos áram (az elmélet alapján ez várható is). Továbbá az is látszódik, hogy a vízhűtés esetén nagyobb hőmérséklet-különbséget lehet elérni ugyanazon hűtőbordával, ennek eredményeképpen magasabb a termoelektromos áram. Végezetül mindkét hűtésnél megfigyelhető, hogy az illesztett lineáris függvények ($f(x)$ és $g(x)$) jól lefedik az adatpontokat, amelyet az r^2 értéke is bizonyít (pl.: $r^2 = 0,954$ és $0,954$).

4. Összefoglalás

Célul tűztük ki, hogy kísérleti úton demonstráljuk a Seebeck-effektust hűtőbordák és Peltier-elem felhasználásával. A kísérletek elvégzése során elsődleges célunk tartottunk olyan hűtési megoldás keresését, amely a környezetben előforduló, „élet közeli” és alacsony villamosenergia befektetéssel jár. A cél elérése érdekében a kísérlet során alkalmazni kívánt, az OE KVK VEI AET laboratóriumában elérhető eszközöket teszteltük, úgymint a reprodukálható működésű IR lámpát, a termoelektromos generátort és hűtőbordákat. A hűtőbordák közül volt legjobb, nevezetesen a C-jelű hűtőbordát kiválasztottuk a Seebeck-effektus demonstrációjának céljára. Választásunk indokaként hozható fel a C-jelű hűtőborda sima felülete és az, hogy magasabb hőmérséklet-különbség érhető el a hűtőborda két oldala között más hűtőbordákhoz képest, azonos hűtési technika alkalmazásával. Megvizsgáltuk az IR lámpa foton beütésszám-hullámhossz spektrumát, intenzitás-hullámhossz spektrumát és az intenzitás-távolság közötti kapcsolatot. A piszkozati mérésekből és a fentebb említett kísérletekből levont következtésekből megépítettük a céltárgyunkat (lásd 5. ábra). A céltárgy megépítését követően két fajta hűtési technika mellett teszteltük és demonstráltuk is a Seebeck-effektust.

Az elvégzett kísérletek alapján látható, hogy a Seebeck-effektus termoelektromos generátor segítségével kimutatható. Valamint láttuk, hogy minél nagyobb a hőmérséklet-különbség a termoelektromos generátor két oldallapja között, annál nagyobb a generátor kapcsairól kinyerhető villamos áram. A mért adatpontokra a lineáris függvényt illesztettük, egyenes illesztéskor az illesztés pontosságát is meghatároztuk mind a két hűtési technika esetén. Továbbá, a 6. ábráról látható elektromos áram adatpontok tükrözik, hogy a két hűtési technika alkalmazható. Tekintettel arra, hogy azonos hűtési vizsgálat mellett a vízhűtés esetén magasabb hőmérséklet-különbség és ebből adódóan magasabb villamos áram nyerhető ki a rendszerből, a vízhűtés mutatkozik a előnyösebb hűtési technikának, amelyet célunk további vizsgálatoknak is alávetni és a hűtést a természetesség elvének megtartásával továbbfejleszteni. Érdemes itt Casano és társai publikációját megemlíteni, akik ugyancsak a vízhűtés mellett vizsgálták a Seebeck-effektust [14].

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézetének Alternatív Energiaforrások Tudásközpontjának a támogatását és az eszközök kísérleteink elvégzésére való rendelkezésre bocsátását. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A szerzők köszönik az Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskolájának a támogatását is.

Hivatkozások:

- [1] A. Luque and S. Hegedus, Eds., *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
- [2] L. Yan, M. Shao, H. Wang, D. Dudis, A. Urbas, and B. Hu, ‘High Seebeck Effects from Hybrid Metal/Polymer/Metal Thin-Film Devices’, *Adv. Mater.*, vol. 23, no. 35, pp. 4120–4124, Sep. 2011, doi: 10.1002/adma.201101634.
- [3] V. A. Drebuschak, ‘The Peltier effect’, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 91, no. 1, p. 311, 0 2007, doi: 10.1007/s10973-007-8336-9.
- [4] X. Li, H. Liao, Y.-F. Du, C. Wang, J.-W. Wang, and Y. Liu, ‘Carbon dioxide emissions from the electricity sector in major countries: a decomposition analysis’, *Environ Sci Pollut Res*, vol. 25, no. 7, pp. 6814–6825, Mar. 2018, doi: 10.1007/s11356-017-1013-z.
- [5] Z. Conka, P. Hocko, M. Novak, M. Kolcun, and M. Gyorgy, ‘Impact of renewable energy sources on stability of EWIS transmission system’, in *2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Krakow, May 2014, pp. 75–79. doi: 10.1109/EEEIC.2014.6835840.
- [6] Nagy I., ‘Légköri gázokkal táplált ionhajtóművek’, *Repüléstudományi Közlemények*, vol. 31, no. 1, pp. 213–222, 2019, doi: 10.32560/rk.2019.1.17.
- [7] Bodnár I. and Koós D., ‘Peltier-elemes hűtőberendezés tervezése és megvalósítása napelemcella hűtésére’, *MDT*, vol. 9, no. 2, pp. 50–55, Dec. 2019, doi: 10.35925/j.multi.2019.2.8.
- [8] F. Bognár and P. Benedek, ‘A Novel Risk Assessment Methodology – A Case Study of the PRISM Methodology in a Compliance Management Sensitive Sector’, *ACTA POLYTECH HUNG*, vol. 18, no. 7, pp. 89–108, 2021, doi: 10.12700/APH.18.7.2021.7.5.
- [9] S. B. Riffat and X. Ma, ‘Thermoelectrics: a review of present and potential applications’, *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, no. 8, pp. 913–935, Jun. 2003, doi: 10.1016/S1359-4311(03)00012-7.

- [10] L. E. Bell, ‘Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems’, *Science*, vol. 321, no. 5895, pp. 1457–1461, Sep. 2008, doi: 10.1126/science.1158899.
- [11] T. Kajikawa, ‘Approach to the Practical Use of Thermoelectric Power Generation’, *Journal of Elec Materi*, vol. 38, no. 7, pp. 1083–1088, Jul. 2009, doi: 10.1007/s11664-009-0831-2.
- [12] I. Bodnár, D. Koós, P. Iski, and Á. Skribanek, ‘Design and Construction of a Sun Simulator for Laboratory Testing of Solar Cells’, *ACTA POLYTECH HUNG*, vol. 17, no. 3, pp. 165–184, 2020, doi: 10.12700/APH.17.3.2020.3.9.
- [13] Ferenc S., Ádám S. J., Zoltán S., Gábor S., Huba S., and Szabolcs K. S., ‘Dual Function Solar Cell and Panel Testing Equipment for Experimental Purposes’, p. 9.
- [14] G. Casano and S. Piva, ‘Experimental investigation of the performance of a thermoelectric generator based on Peltier cells’, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 35, no. 4, pp. 660–669, May 2011, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2010.12.016.

Google tárgyszó találatok idősorain végzett elemzések

Farkas Zoltán, Ürmös Antal, Nemcsics Ákos

Mikroelektronikai és Technológia Intézet, Óbudai Egyetem, 1084 Budapest,
Tavaszmező utca 17, Magyarország
e-mail:farkas.zoltan@kvk.uni-obuda.hu, urmos.antal@kvk.uni-obuda.hu,
nemcsics.akos@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: Mojzes Imre és e cikk szerzője 2009-ben publikálták a negyedik passzív áramkörü elem, a memrisztor felfedezése után az ezzel a tárgyszóval indított Google keresések találati számának idősoráról írt cikküket. Ebben a korábbi cikkben szó esett a „google dance”-ről, a keresőmotor robot ágensei által bejárt és indexelt internetes oldalakat tartalmazó adatbázis konszolidációjakor fellépő találatszám ingadozásról. Jelen cikk tárgya számos tárgyszóra történt Google keresések találati szám idősoroknak elemzése. A tárgyszavak a koronavírussal, az értéktőzsdei szlenggel és a magfizikából ismert erős nukleáris kölcsönhatást közvetítő, újonnan felfedezett odderon gluonnal kapcsolatos kifejezések. Az idősorok elemzését alapvető statisztikai eszköztárral (átlag és szórás), valamint a korrelációs számításból származtatott technikákkal végeztük el. Előzetes eredményeink szerint a koronavírussal kapcsolatos idősorokban enyhe emelkedés és csökkenés mutatható ki. Az odderon gluonnal kapcsolatos idősorokban egy tízszeres százszoros nagyságrendbe eső változás mutatható ki a „google dance”-szel összefüggésben.

Keywords: google; timeseries; coronavirus; covid-19; koronavírus.

1. Bevezetés

Az interneten fellelhető adatmennyiség gigászi feladat elé állítja az abban eligazodni kívánó felhasználót. A probléma kezelhetővé tételére még a 90-es években létrejöttek az első internetes keresőmotorok, ezek között az azóta vezető szerepre szert tett Google. Anegyedik passzív áramkörü elem, a memrisztor megvalósítását követően a kétezres években publikáltunk egy cikket a memrisztor Google találatainak idősor-elemzéséről [1]. Kutatócsoportunk az elmúlt években további Google keresőkifejezések idősorait hozta létre jellemzően napi több, rendszertelen időközben végzett mintavételekkel. A kifejezések jellemzően angol nyelvűek voltak, kivéve a „koronavírus” szót. Ezek:

A koronavírussal kapcsolatos kifejezések: „coronavirus”, „covid-19”, „koronavírus” voltak.

Az angol nyelvű tőzsdei szlengben használatos „bull market” (bika, azaz emelkedő árfolyamokkal jellemezhető piac), „bear market” (medve, azaz csökkenő árfolyamokkal jellemezhető piac) valamint az általánosan elterjedt „market crash” (tőzsdei összeomlás) kifejezés

A nemrég felfedezett, nukleáris erős kölcsönhatás közvetítésében résztvevő, femtométer nagyságrendű méretű „odderon” gluonnal kapcsolatos kifejezések: „odderon”, helyesírási hibával: „oderon” valamint az „, „odderon” gluon” és a „, „oderon” gluon” kifejezés.

A legkorábbi a koronavírussal kapcsolatos idősor, ez 2020 március végétől kezdődik. Egy lehetséges felosztás szerint a koronavírussal és az odderonnal kapcsolatos idősor az adott dolog megjelenéséhez közeli időpontban indul, a tőzsdei kifejezések idősora az adott kifejezések elterjedt használata idején veszi kezdetét. Egy másik megközelítés szerint az odderon egyértelműen tudományos kontextusban szerepel, a koronavírus „blended”, azaz kevert, tudományos és nem tudományos kontextusban szerepel, a tőzsdei fogalmak egyértelműen nem tudományos kontextusban szerepelnek (amennyiben eltekintünk a pénzügytudomány esetleges érintettségétől).

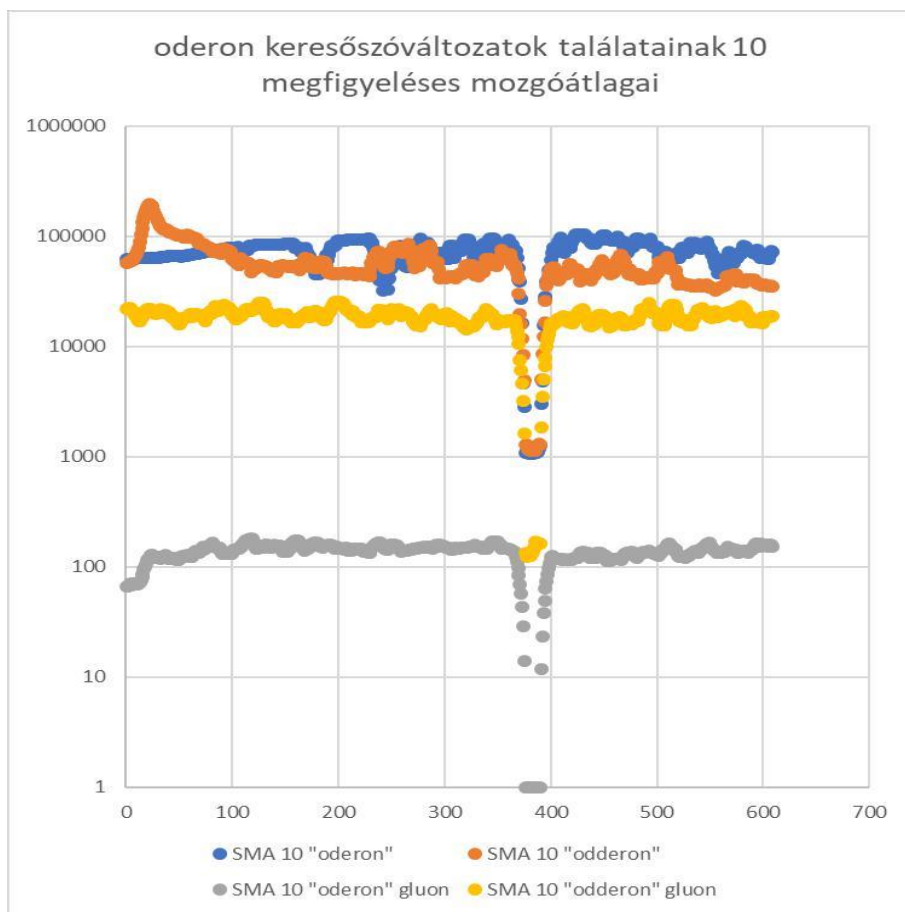
Mozgóátlag vizsgálatok

Mivel a találati számok, mint a legtöbb sztochasztikus idősor, elég nagy szórást mutatnak („ugrálnak”), az egyik legegyszerűbb technika, hogy értékelhető diagramokon jelenítsük meg azokat, a mozgóátlagok képzése volt. Az egyszerű mozgóátlag (angolul: simple moving average) egyszerűen adott megfigyeléstől visszatekintve meghatározott számú megfigyelés értékeinek átlagát jelenti [2] [3]. Ebben a fejezetben 10 megfigyelésre vonatkozó mozgóátlag értékek alakulását elemezzük.

Az „oderon” és „odderon” keresőkifejezések egymáshoz képest többször helyet cseréltek. Az „oderon” nem csupán az „odderon” szubatomi részecske hibás leírása, hanem cseh és lengyel helységnevé, különböző műszaki és kulturális jelenségek, tárgyak, személyek megjelölése. A vizsgált időszakban az „odderon” gluon és az „oderon” gluon keresőkifejezésekre adott találatok száma jelentősen eltért, az előbbire jól kivehetően két decimális nagyságrenddel több találat adódott. Nagyjából a 250. mozgóátlag értékig az „odderon” és az „oderon” keresőkifejezések találati számainak tíz megfigyelésre vonatkozó mozgóátlaga viszonylag, lassan, trendszerűen változott, ettől kezdve a mozgóátlagok diagramjain erőteljesebb rövidtávú ingadozás megfigyelhető.

Szembeötlő, hogy a Google mind a négy keresőkifejezésre lecsökkent találati számot adott, nagyjából a 375. mozgóátlag környékén. A lecsökkent találati számok 2021. aug. 08-ától 2021. aug. 12-éig álltak fenn. A szóbanforgó

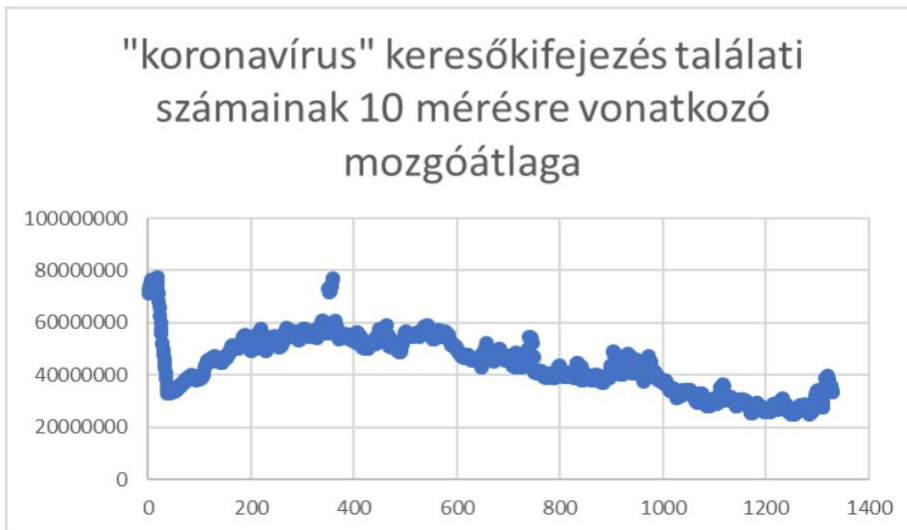
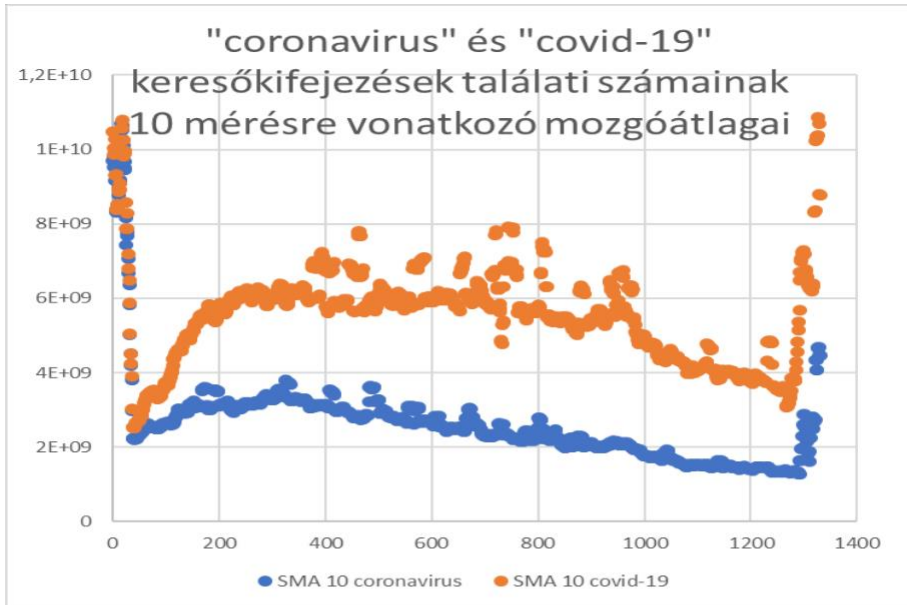
keresőkifejezésekre nézve szinkronizált csökkenés és emelkedés műszaki oka számunkra ismeretlen.



1. ábra

Függőleges tengely: megfigyelések tíz megfigyelésre vonatkozó mozgóátlaga, vízszintes tengely: mozgóátlag sorszáma

Ami a koronavírus különböző nyelvi mutációira vonatkozó keresőkérdést illeti, a találati számok 10 mérést figyelembe vevő mozgóátlagainak alakulását a 2. a., és b., ábrán láthatjuk.

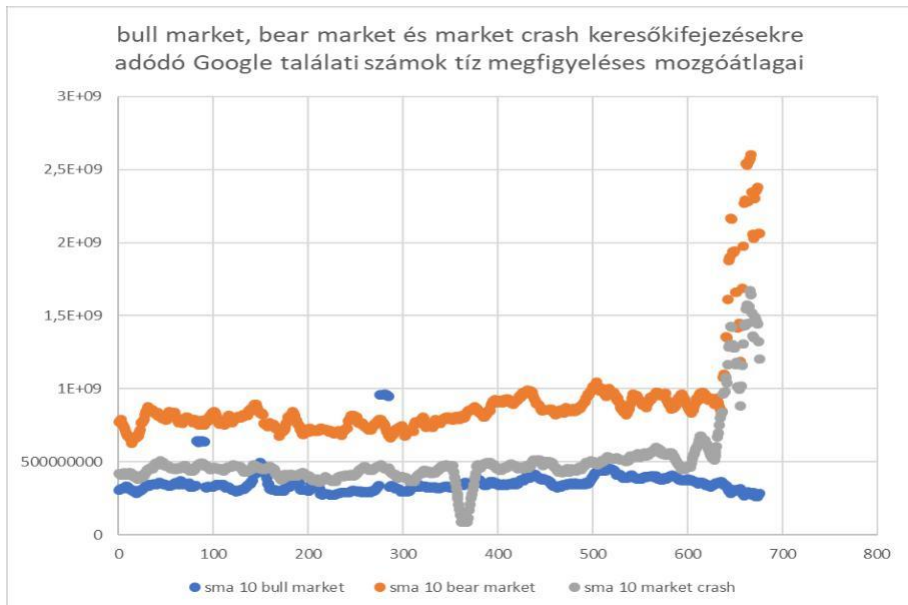


2 a., és b., ábra

Függőleges tengely: megfigyelések tíz megfigyelésre vonatkozó mozgóátlaga, vízszintes tengely: mozgóátlag sorszáma

A 2. a., és b., ábrákon egyértelmű hosszótávú csökkenés látható, amelyet az idegen nyelvű keresőkifejezések találati számainak megugrása követ 2021. november elejétől. A találatok mozgóátlagai megugranak az adatok rögzítésének

kezdetén (ne feledjük, hogy ez az időszak 2020 március legvégére és április elejére esik, amikor a globális figyelem ráirányult a pandémiára), majd egy visszaesést követően magas szinten stabilizálódnak, ahonnan a megfigyelési időszak második felében lassan csökkennek. Legtovább a „covid-19” keresőkifejezés találati számainak mozgóátlaga maradt a magas érték közelében. Naptári dátumra lefordítva a „magas” értékek a koronavírus magyar és angol formájának idősorában 2020. júniusától 2020 októberéig álltak fenn. A „covid-19” találati listáján 2021. áprilisától szembeötlő a csökkenés.



3. ábra

Függőleges tengely: megfigyelések tíz megfigyelésre vonatkozó mozgóátlaga, vízszintes tengely: mozgóátlag sorszáma

A 3. ábrán az értékpapírpiaccal kapcsolatos kifejezések találati szám mozgóátlag idősorának grafikonját láthatjuk. Az áremelkedéssel szinoním „bikapiac” (bull market) találati számai tendenciájukban alacsonyabbak, mint az árcsökkenéssel szinoním „medvepiac” (bear market) találati számai. A tőzsdői összeomlást kifejező (market crash) kifejezés találati számai a két előző kategória között alakulnak. Mind a három kifejezés találati számainak mozgóátlagaiban növekedés figyelhető meg a 300. megfigyelést követően. Ez naptár szerint 2021. június 16-ának felel meg. A market crash 300. és 400. adatok közt levő visszaesése 2021. júliusára tehető. A bear market és market crash kifejezések megfigyelési időszak vége felé történő felfutása 2021. novemberében történt.

Talán nem értelmetlen a növekvő tendenciát összevetni az Amerikai Egyesült Államokbeli tőkepiac történéseivel. Az amerikai tőkepiaci forgalom három legfontosabb indexe a Standard and Poor 500 (S&P 500), a Dow Jones Industrial

Average (DJIA), valamint a NASDAQ Composite. Az S&P 500 egy átfogó nagyvállalati index, a DJIA a harminc vezető iparvállalat egy-egy részvényéből álló részvénycsomag árfolyama, a NASDAQ index pedig a vezető technológiai vállalatok árfolyamát sűríti egyetlen számmá.

A június közepe az S&P 500 tekintetében egy többhónapos árfolyamnövekedési periódus közepére esik, a DJIA erős növekedés után oldalazó mozgásba kezdett, a NASDAQ index pedig éppen fordítva, egy hosszabb oldalazás után indult növekedésnek ebben az időszakban.

Összefoglalás

A vizsgált tíz idősorban érdekes anomáliákat találtunk. Erre az egyik példa az odderonnal kapcsolatos kulcsszavak találati számainak egyidejű visszaesése. A másik példa, hogy a tizből öt idősor markánsan felugrott 2021. novemberében. Ez megelőzte a koronavírus omikron változatának megjelenését.

Irodalomjegyzék

- [1]. I.Mojzes, Z. B. Farkas: The speed of dissemination of information about the realization of the fourth passive electronic circuit element measured by Google hits. SCIENTOMETRICS 81: 3 pp. 699-702., 4 p. (2009)
- [2]. <https://www.investopedia.com/ask/answers/071414/whats-difference-between-moving-average-and-weighted-moving-average.asp> (as seen on 08th december 2021 9:34 UTC+1)
- [3]. https://school.stockcharts.com/doku.php?id=technical_indicators:moving_averages (as seen on 08th december 2021 9:36 UTC+1)

LCD-be integrálható, ujjlenyomat binarizációs képfeldolgozására alkalmas hardver tervezése

Zeffer Tamás¹, Csikósné Dr. Pap Andrea Edit²

Óbudai Egyetem Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest¹

zeffer.tamas@kvk.uni-obuda.hu

Mikroelektronikai és Technológiai intézet, 1084 Budapest²

pap.andrea@kvk.uni-obuda.hu

Absztrakt: Ebben a tanulmányban egy olyan ujjlenyomat érzékelő és feldolgozó áramkört mutatunk be, amely LCD kijelzőbe integrálható és hidrogénezett amorf Si (a-Si:H) vékonyréteg-tranzisztor technológiával készül. Ez az áramkör képes az ujjlenyomatot kialakító fodrokból bináris információt előállítani és az érzékelőjére vetült képet párhuzamosan, pixelenként feldolgozni. A pixel áramkör kis számú félvezető eszközből épül fel, azaz négy TFT tranzisztorból, két kondenzátorból és egy fotoelektromos érzékelőből. Tervezésünk fő célja, hogy az LCD kijelző gyártási technológiájára jellemző meglehetősen alacsony jel-zaj arányt (SNR) jelentősen megnöveljük és ennek érdekében a jelfeldolgozás nagyobb részét az érzékelőhöz közel végezzük el. Megoldásunk újdonsága, hogy hasonló ujjlenyomat képfeldolgozó hardvert az irodalomban nem találni. Ebben a megoldásban egy neuromorf áramkör segítségével az a-Si:H alapú félvezető elemek mismatch-ből adódó nagy szórása csökkenthető. A megoldás része még, hogy az áramkör pixelenkénti binarizációs képfeldolgozást végez hardveresen, párhuzamos számítással. Az érzékelő pixeláramkör érzékenysége széles megvilágítási tartományban megmarad, vagyis a környezeti megvilágítás által meghatározott új munkapontban ismét kialakul. Az áramkör ezért képes a környezeti fény adaptációjára, hasonló módon, ahogy ez történik a gerincesek szemében megtalálható fotoreceptorokban.

Keywords: vékonyréteg tranzisztor (TFT); neuromorf áramkör; SNR; ujjlenyomat olvasó, hidrogénezett amorf Si (a-Si:H), binarizáció, LCD képernyő

1. Bevezető

Az aktív mátrixú folyadék kristályos kijelzők (AMLCD) gyártása folyamán létrehozott integrált áramkörök az alacsony előállítási költségük miatt rendkívül vonzó lehetőséget nyújtanak a képernyőket gyártó cégeknek [4]. Az a-Si:H vékonyréteg-technológia előnye még, hogy a CMOS technológiával szemben, az üveg megvédi a szenzort a zordabb körülményektől, pl. műhelyben vagy ipari

környezetben is jól működik [5]. Az olvasó képernyőbe integrálása pedig a teljes képernyő felületen lehetőséget biztosít egyéb biometrikus hitelesítésekre: az egy ujjbegy mellett több ujjbeggyel vagy tenyérrel azonosíthatjuk magunkat. Másrészről viszont a technológia által biztosított lehetőségek a tervező számára igen korlátozottak. A kevésbé összetett áramkörök tervezése és létrehozása is nagy kihívást jelentenek. Ennek oka, hogy a vékony rétegű tranzisztorok teljesítménye gyenge, mert alacsony a töltés mobilitásuk, jelentős ID(VDS) karakterisztikában megmutatkozó "kink" hatás, nagy a szivárgó áramuk, és sajnos számtalan egyéb előnytelen tulajdonságukat tartjuk még számon[6]. Ezek a tervezési nehézségek a CMOS technológiában nem vagy kisebb mértékben jellemzők. Továbbá a tömb érzékelőket leíró FPN vagy „rögzített mintájú zaj” (angolul: fixed pattern noise) is magas ebben a technológiában. Ez viszont a hasznos kimeneti jel nagy részét felemészti még az analóg-digitális átalakítás előtti áramkörrészekben. Az FPN jelenséget a pixelenként ismétlődő azonos méretű áramköri félvezető elemek nem azonos erősítése (device mismatch) hozza létre, ami végeredményül alacsony jel-zaj arányt okoz. Publikációnkban az alkalmazott neuromorf áramkörrel ujjlenyomat képfeldolgozást oldunk meg, a technológia nagy villamos paraméter szórásaiból adódó rossz jel-zaj arányt javítjuk, és széles tartományban érzéklni tudjuk a fényt. Az általunk ajánlott ujjlenyomat-olvasó alkalmazás egy swipe-sensor, vagyis olyan eszköz, ami az érzékelő sor felett elhúzott ujjbegy kép feldolgozását végzi.

2. Hardver követelmények

Ujjlenyomat olvasásra alkalmas áramkör tervezésének első lépéseként érdemes megismerni a bűnüldözésben használt olvasók minőségi követelményeit. Ezeket fogalmazza meg az FBI (Federal Bureau of Investigation) által kiadott verifikációs és minősítő eljárások gyűjteménye [7, 8]. A dokumentumok alapján az 1. táblázatban hasonlítjuk össze az FBI megfeleltetésű olvasók és a kereskedelemben megtalálható, nem bűnüldözésben használt ujjlenyomat-olvasók specifikációs adatait. Látható, hogy a kereskedelemben használt eszközök nem minden szempontból felelnek meg szigorúan az FBI követelményeknek vagy nincs is róluk fontosabb minősítésre alkalmas adat.

A táblázatból kiolvasható, hogy a felbontás nem mindenütt felel meg az FBI specifikációnak. Mivel a nagyobb szenzoros felületen több ujjlenyomat jellemző (minutiae-t) állapítható meg, ezért kompromisszum van a szenzor nagysága és a sikeres azonosítások arány mérőszáma között. A táblázat második sorából látszik az a nyilvánvaló tény is, hogy nagyobb képinformációhoz juthatunk a nagyobb szürkeárnyalatos felbontású olvasóval. Ennek ellenére néhány kereskedelmi terméknél a 2-3 bites felbontás is megfelelőnek tűnik [9]. Itt érdemes megjegyezni, hogy kisebb felbontás legtöbbször speciális algoritmus megalkotását teszi szükségessé vagy rosszabb minőségű képet állít elő. A táblázat utolsó két sorában az MTF-en (Modular Transfer Function) alapuló és a geometrikus pontosságot mérő követelmények láthatók. Ezen verifikációs mérési eljárások a

legyártott olvasókon végezhető a képminőség biztosítása érdekében és a Mitre cég által kiadott technikai dokumentációban vannak megfogalmazva [10]. A dokumentáció célja a bűnözésben használt ujjlenyomat olvasó eszközök verifikációja FBI direktívák alapján, melyet világszerte több ország is alkalmaz.

1 táblázat: IBM szabvány [10] kontra nem szabványos, egyéb, kereskedelmben megtalálható ujjlenyomat-olvasó összehasonlítása

	FBI megfeleltetésű érzékelők	Kereskedelmi egyéb olvasók
Érzékelő felület nagysága	Minimum 12,8 mm széles és 16,5 mm magas	Azonosításokból származó hiba lehet kompromisszum
Felbontás vagy Nequest frekvencia	Minimum 500 dpi	Minimum 250 dpi
Kép típus és szürke tartomány	Monokróm képet állít elő, pixelenként 8 bit mélységűt, minimum 256 szürkeárnyalattal (tömörítés előtt)	Mnokróm kép minimum 2-3 bites szürkeárnyalat
Térfrekvenciás válasz: MTF vagy Modular Transfer Function	$MTF_{min}(f) \leq MTF(f) \leq 1.12$ lásd [8] a PIV $MTF_{min}(f)$ -ről	Specifikációkban nem szerepel
Geometrikus Pontosság	A teszt 99% -ban legyen: DAC $\leq \max\{0.0013'', 0.018 \cdot X\}$ DAL $\leq 0.027''$	Specifikációkban nem szerepel

Egy olvasó például robusztusabbnak mondható, ha a feldolgozásra került kép a nyirkos bőr vagy az alacsony bőrredők esetében is azonosítható. Az alacsony magasságú redők főleg idős embereknél vagy fizikai munkásoknál figyelhető meg. A geometria pontosság az x és y irányú kép torzulásának mérését célozza meg. Az MTF alapú mérés pedig a kép élességének jóságát irányzó eljárás, ahol a beolvasott képet NIST szoftverekkel minősítik és a kép tárgya egy speciálisan elkészített, adott frekvenciájú, szinuszosan változó fehér/átlátszó-fekete mintát tartalmaz. A NIST intézet az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Szabványügyi és Technológiai Intézete.

3. Tervezési célok

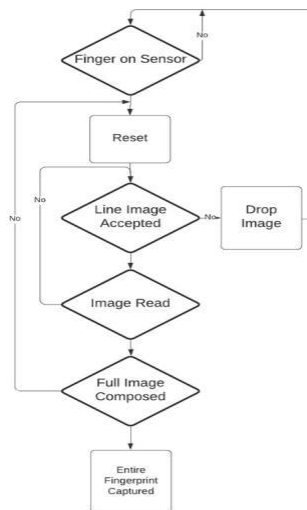
Képfeldolgozó érzékelő áramkör tervezése során kigyűjtöttük az általunk leginkább hasznosnak bizonyuló főbb kutatás- fejlesztési területeket. Ennek eredményeként vizsgálni érdemes a hardver és szoftver interfész kialakítását (hardware and software interfacing), a különböző optikai hatásokat (fénytörések és tükröződések az anyagban), meglévő kiolvasó áramkör vagy feldolgozó modulok tanulmányozását beépíthetőségük szempontjából, és a jel-zaj arányt a nagyobb zaj források helyének azonosításával. A fejlesztést igénylő feladatokat részletesen a 2. táblázatban gyűjtöttük ki. Érdemes megjegyezni más kutatók munkáját az LCD-be integrálható ujjlenyomat olvasók területén, ahol az egyes kutatások fókusza leginkább az újabb érzékelők létrehozása volt. Úgy gondoljuk, hogy ez viszont a gyártás technológia folyamatának megváltoztatásával jár, ami a gyártó cégnek költséges vagy az LCD termékre nézve negatív hatással is lehet. Ezért ezek vizsgálata tervezési céljainkba nem szerepelnek. A táblázatban a mismatch fogalma az egyes félvezetők anyag inhomogenitásából származó konstansok szórását jelenti. Ez okozza például két azonos méretű és azonosan előfeszített tranzisztor drain árambeli különbségét. Szintén ezért lesz pixelenként jelbeli különbsége azonosan megvilágított és egyforma méretű fotószenzoroknak.

Táblázat 2: FBI és az egyéb kereskedelmi ujjlenyomat-beolvasó specifikációs adatainak összehasonlítása

	SIGNAL TO NOISE RATIO	feladatok
SNR	Dioda Mismatch	teszt céljából legyártott érzékelő tömbök mismatch összehasonlítása, ahol a tömbök csupán a diódák méretében különböznek egymástól
	Tranzisztor Mismatch	Vékony réteg tranzisztorok teszt struktúrájának legyártása és tesztelése különböző méretekben, hogy a mismatch optimális méretét megtaláljuk az analóg áramköri részekhez. A digitális részeknél érdemes vizsgálni a szivárgó áramot.
	Reszet Zaj	Reset Schemes vagy reset sémák
	Dark vagy sötét áram	áramköri (kontra komponens) szinten mérni
	Néhány ígéretes érzékelő tesztelése	néhány ígéretes, a gyártási technológia változtatását nem igénylő, egyéb, félvezető érzékelő tömbös és pixelenkénti tesztelése fény érzékenység és mismatch céljából
	technológiai folyamat változtatása	kompromisszumos vizsgálat az érzékelő minősége és a gyárhatóság egyszerűsége között
	A kis méretű PPS, APS, vagy Smart Pixelek összehasonlítása	saját technológiával elkészített meglévő teszt struktúrák összehasonlítása és levonható következtetések
	HW-SW INTERFACE ÉS ALGORITMUS	
Rendszer	Kép rekonstrukció	Kép rekonstrukcióhoz szükséges swipe sebesség mérése (10-30 sorból is állhat a "line" vagy "swipe" olvasó)
	adat "feed through" vagy feldolgozási sebesség	Feldolgozási sebesség vizsgálata, áramköri szinten
	PROCESSING ELEMENTS	
Analóg tervezés	pixel szintű kiolvasás	méret és félvezető mismatch tervezési kihívások
	kiolvasó modul	Erősítő elkészítése, ahol választ kell adni az a-Si:H tervezési kihívásokra
	OPTICAL ISSUES	
Egyéb tanulmányok	Estimate Image Contrast	Diffúz fény szimulációs vagy teszt vizsgálata
	Minőségre tervezni módszerek kikutatása	Új optikai tervezői metódusok felfedezése

4. „Line” vagy vonali szenzor működésének általános vizsgálata

„High Level Design” koncepcióját alkalmazva érdemes meghatározni a vonali vagy „line” szenzor általános működését. Egy általános modell felállításának az lehet a célja, hogy új ötleteket generáljon, esélyt adjon azok kifejlesztésére, vagy akár létező hardver modul leegyszerűsítését is elvégezhessek. Alacsonyabb szinten kezelt problémák, mint például a fizikai (layout) tervezés során elvégezendő „parasitic extraction”, vagy a rendszer finomhangolása az általános modell kialakításánál még nem annyira fontosak. Viszont a rendszer egészét befolyásoló, már ismert jelenségeket ezzel a tervezési elgondolással még ebben a tervezési fázisban számításba lehet venni. Az ujjlenyomat érzékelő működésének általánosítása végeredményben a tervezői szabadság lehetőségét nyújtja az alacsonyabb szintű funkciók jobb meghatározásához.



Ábra 1: Sorérzékelő tömb általános működése

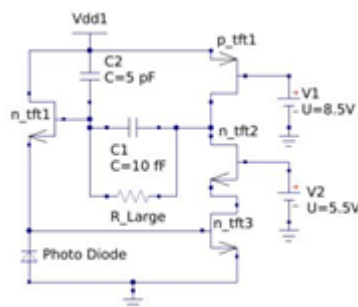
A szenzor működésének állapot diagramja az 1. ábrán látható. Az ábra négy jól megkülönböztethető állapotot mutat, „Finger On Sensor”, „Line Image Accepted”, és „Full Image Composed” elnevezésekkel. „Finger On” állapot detektálja az ujjlenyomat jelenlétét és ezzel az olvasó soronként elkezd beszkenyelni az ujjlenyomatot. „Line Image Accepted” határozza meg, hogy az egy soros kép megfelelő minőségű vagy az egész ujjlenyomat képet újra kell szkennelni. „Image Read” jelzi, ha egy képsor sikeresen be lett olvasva. Amennyiben elegendő számú, azonosításra alkalmas, ujjlenyomat jellemző beolvasásra került, a „Full Image Composed” állapotnak megfelelő jel aktív lesz. Ez az állapot vagy egy új sor olvasását kezdeményezi vagy befejezi az ujjlenyomat olvasás folyamatát.

5. Ujjbegy sebességét figyelembe vevő tervezés

Vonali szenzor (line szenzor) egy mozgó ujj képrészleteit gyűjti és a háttérben összeállítja egyetlen képpé. Ezzel szemben a 2D felületű szenzorok állóképet készítenek. Az ujjbegy mozgásán alapuló line szenzorok tervezésének egyik nehézsége a mozgásból adódik. Túl gyors mozgásnál a felvételtől hiányozhatnak képsorok, míg a lassú mozgásnál a képfelvételek elnyújtott képet mutatnak. Ha ideális sebesség környezetében mozog az ujj, akkor is létrejöhetnek nagyobb sebesség változások az ujjbegy erőteljesebb nyomása vagy a bőrfelület állapota miatt.

6. A Pixel Áramkör

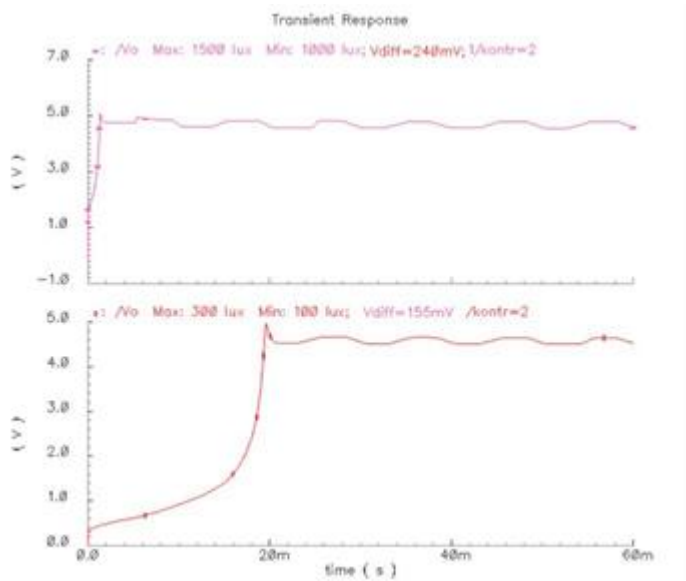
A pixel áramkör a fotodiódával a 2. ábrán látható. Ez a neuromorf áramkör működésében hasonlít a gerincesek szemében megtalálható fotoreceptor neuronhoz [14]. Az áramkör működése a következő: Az érzékelő beállítja az érzékenységet a környezeti megvilágítás figyelembevételével. Amikor az ujjbegyet az érzékelőre helyezzük, akkor a környezeti megvilágítást a bőrfelületről visszatükröződő fény mennyiség és az LCD belső strukturális kialakítása meghatározza. Ezt a környezeti megvilágítást az érzékelő adoptálja egy hosszú idejű erősítési tényezővel. A szenzor operációs pontja így kialakul a fodorszálak csúcsai és völgyei intenzitásainak környékén, azaz azokra érzékenyvé válik. Ujjbegy mozgásra vagyis hirtelen intenzitás változtatására, amit a bőrredők csúcsainak és völgyeinek váltakozása okoz (csúcs → völgy vagy völgy → csúcs), a kimenet is változik. Az áramkör a kimenetén négyzetöghöz hasonló jeleket produkál visszaadva ezzel az ujjlenyomatok kontraszt változásait. Mikor a kimenet magasabb feszültség értékre megy fel, jelzi a bőrredő csúcsát, mikor alacsonyabbra változik jelzi a bőrfodor völgyét. A kimeneti jel tekinthető logikai nullának a völgyeknél és logikai egynek a csúcsokon. A széles dinamikájú áramkör lehetővé teszi alacsonyabb környezeti megvilágításban a szenzor érzékenységét.



Ábra 2: Fotodiódás pixeláramkör

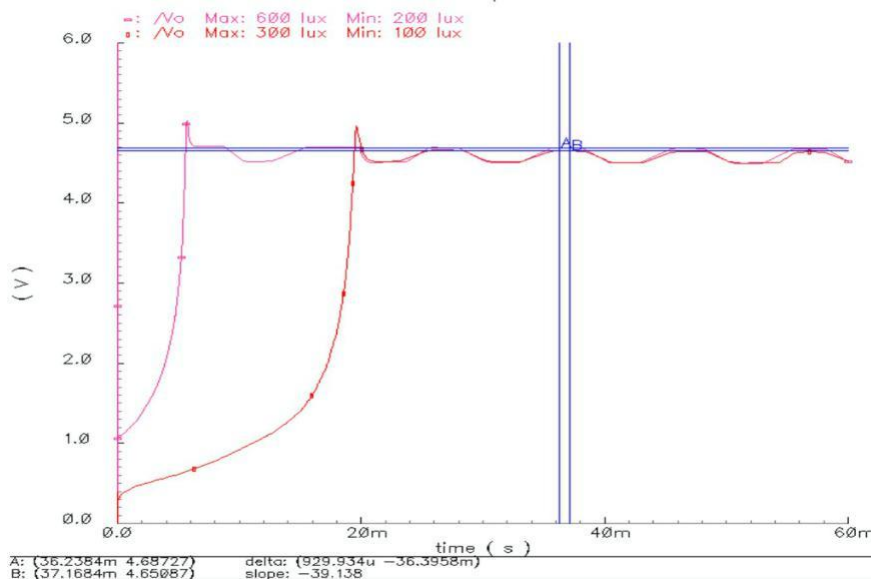
7. Áramköri szimulációs eredmények

Az áramkör szimulációs eredménye a 3. ábrán látható. A szimulációnál két különböző intenzitással megvilágított környezetet feltételezünk. Egy magas és egy alacsony megvilágítás mellett vizsgáljuk az áramkör működését. Minkét esetben a kontraszt megegyezik. Ennek értéke kettő, ami ujjlenyomatképeknél normális érték. Az ábrán látható maximum és minimum értékek rendre megfelelnek az ujjlenyomatot alkotó redők csúcsainak és völgyeinek miközben az ujjbegy mozog. Az áramkör modellezése a TFT tranzisztorok mellett kiterjedt a fotószenzorra is. Analóg modell segítségével a szenzor bemenetét lux egységben lehet megadni. A két szimulációt összehasonlítva megfigyelhető, hogy a nagy környezeti megvilágítás különbség ellenére (felső és alsó szimulációs ábrák), ugyanazon kontraszt változás mellett hasonlóan nagyok a kimeneti változások: 240mV és 155 mV feszültségek. Szintén látható, hogy az ujjbegy térfrekvenciás mintázatát időben változó jelalak írja le. Az eredményből látszik, hogy a kimenet változása a bemenet mintegy tízed részének változására is megkülönbözteti a kontrasztos képet.



Ábra 3: Kimeneti jelválasz szimulációs vizsgálata két teljesen különböző megvilágítási környezetben (0,1 szeres)

A következő 4. ábrán mutatott szimuláció célja, hogy megvizsgáljuk a pixelek áramkörei milyen mértékben csökkentik a mismatch-ből adódó szórást. Pixelenként egyforma méretű fotodiódákat és áramköri elemeket feltételezve a két a szimulációs görbe alig eltérő kimeneteket produkál, majdnem fedik egymást. A mismatch szimulálásához itt kétszer akkora bemenetet állítottunk elő egyenlő nagyságú kontraszt mellett, ahol az áramkörök kimenetének egymáshoz viszonyított különbsége kicsi eltérést mutat: csupán 1mV feszültséget.



Ábra 4: Alacsony megvilágítási környezetben vizsgált mismatch-ből származó alacsony 1 mV kiemeneti feszültségesés szimulációja

8. Konklúzió

Erre a technológiára jellemző, hogy a képolvasó érzékelő tömbök pixelenként általában tartalmaznak egy fotóérzékelőt és kis méretű kapcsoló és reszet tranzisztorokat. Mások kutató munkái nagyobb érzékenységű, új fotoreceptorok kialakítását célozzák meg a gyártási folyamat megváltoztatása mellett. Ez utóbbi megoldás viszont drágíthatja az LCD képernyők előállítását. Talán ezért is lehetséges, hogy ilyen áramkörök a kereskedelemben még nem jelentek meg.

Úgy gondoljuk, hogy a képolvasó érzékelők javítására irányuló kutatások erre a technológiára hardveres ujjlenyomat képfeldolgozással még nem történtek. Ezen tanulmány próbálja ezt a kutatási hiányt betölteni, ami a technológiából adódó jel-zaj arányt javítja és az ujjlenyomat képfeldolgozását is megoldja egyben.

Referenciák

- [1]. L. COETZEE and E. BOTHA, “Fingerprint Recognition in Low Quality Images,” in *Pattern Recognition Journal*, Volume 26, Issue 10, Elsevier, October 1993, Pages 1441-146
- [2]. D. Maltoni, D. Maio A. K. Jain S. Prabhakar, “Handbook of Fingerprint Recognition”, Second Edition, page 143-154
- [3]. S. Bae Y. Ling W Lin H Zho, “Optical Fingerprint Sensor Based on a-Si:H TFT Technology”, 2018
- [4]. Liao, Y. H., Chang, C., Lin, C. H., You, J. Y. & Lin, “Flat panel fingerprint optical sensor using TFT technology”, *IEEE Sensors*, 2015
- [5]. K. Rosan and G. Brunst, A-Si:H “Image Sensors: Some Aspects of Physics and Performance”, *Materials Research Society Symposium Proceedings*, Vol.70, pp.683-688, 1986
- [6]. S.D. Brotherton, “Introduction to Thin Film Transistors” pp. 141-182, 2013
- [7]. IAFIS Image Quality Specification, Appendix F, January 29, 1999
- [8]. A. Alessandroni, R. Cappelli, M. Ferrara, and D. Maltoni, “Definition of Fingerprint Scanner Image Quality Specifications by Operational Quality”, 2008
- [9]. Cappelli, R., Ferrara, M., Maltoni, ”On the Operational Quality of Fingerprint Scanners. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* (to appear)
- [10]. Xia X. and O’Gorman L.,”Innovations in Fingerprint Capture Devices,” *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp 361-369, 2003
- [11]. Norman B. Nill, “Test Procedures For Verifying Image Quality Requirements For Personal Identity Verification (PIV) Single Finger Capture Devices”, 2006
- [12]. Sweep sensors in timely order:
http://pagesperso-range.fr/fingerchip/biometrics/types/fingerprint_sweep.htm
- [13]. TFT optical Sensors:
[http://pagesperso-orange.fr/fingerchip/biometrics/types/fingerprint_sensors -
_physics.htm#optic_TFT](http://pagesperso-orange.fr/fingerchip/biometrics/types/fingerprint_sensors_-_physics.htm#optic_TFT)
- [14]. Y. Qi, A. Li, Y. Xu, K. Wang, “Amorphous silicon 3-D one-transistor active pixel sensor enabling large area imaging”, *Society of Information Display*, 2021
- [15]. T. Delbrück & C.A. Mead, “Analog VLSI Phototransduction by Continuous-time, Adaptive, Logarithmic Photoreceptor Circuits,” *Memo No. 30*, April 2, 1996, California, Institution of Technology Computation and Neural System Program

Lokális hálózatok tranziensének vizsgálata és felismerése mesterséges intelligenciával Local networks transient measurement and recognition with Artificial Intelligent

Kohancz Ádám¹ Kozma Dávid Márk², Deli Tamás³

¹Műszertехnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17. , Magyarország], kadam1265@gmail.com

²Műszertехnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17. , Magyarország], kozmadavidmark@gmail.com

³Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaság Tudományi Egyetem [1111 Budapest, Egy József utca 18. , Magyarország], delitamas@edu.bme.hu

Absztrakt: Napjainkban jellemző az élet minden aspektusában való optimalizációs szándék, ebbe beletartozik az otthonunk energia felhasználási hatékonyságának növelése is. A cikkben bemutatunk erre a problémára egy megoldást, melyet a mért eredmények alapján mesterséges intelligencia segítségével dolgoztunk fel.

A dolgozatban ismertetünk mérési eredményeket az elektromechanikus és elektromágneses tranziensekre. Perezentálunk egy speciális visszacsatolt neurális háló általi klasszifikációt, mellyel azonosítani tudjuk a hálózaton lévő aktív fogyasztókat.

Az írás végén bemutatjuk a megoldás felhasználhatóságának határait és kitekintést nyújtunk további megvalósítási módszerek felé.

Kulcsszavak :Tarnziensmérés helyi hálózaton, Mesterséges intelligencia, Háztartások energia felhasználásának csökkentése

Abstract: Nowadays it is typical to optimize all aspects of life that includes increasing the energy efficiency of our home. In the article, we introduce a solution to this problem which was processed with the help of artificial intelligent based on the measurement results.

We describe the measurement results for the electromechanical and electromagnetic transient in the paper. We present a special recurrent neural network classification to identify the active devices on the local electrical system.

At the end of the article, we submit limits of applicability of the solution, and we provide an overview of further realisation methods.

Keywords: Transient measurement on local networks, Artificial Intelligent, Home power consumption reduction

1. Bevezetés, avagy honnan indult a projekt

Manapság egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk a zöld gondolkodásra és életvitelre. Villamosipari szempontból a zöld gondolkodás egyik legfontosabb területe a fogyasztás optimalizálása. Az iparban valóságos verseny alakult ki, hogy minél több feladatot tudjon egy adott készülék minél kisebb energiafelhasználás mellett ellátni. A másik fontos területe a modern világunknak az információ. Az információt nagyon sokféle módon lehet felhasználni, az első gondolatra visszakanyarodva például felhasználhatjuk a gyűjtött információkat a fogyasztás optimalizálásának érdekében egy adott készülékben, vagy javaslatokat tehetünk a fogyasztás alapján bizonyos eszközök modernizációjára vagy cseréjére.

A mi ötletünk ebből a két területből tevődik össze. Az optimalizálás és az információ. Minden háztartásban egyre több elektromos eszközt használunk az életünk megkönnyítése és a magunk szórakoztatása érdekében. Az elektromos eszközök mennyiségének növekedése fogyasztásnövekedéshez vezet, ami a fogyasztó pénztárcájának nem kedvező, de emellett még földünket is károsítja a túlzott energiafelhasználás. Ezekben a problémákban lehet a fogyasztó számára segítséget nyújtani az információ felhasználásának segítségével.

Minden elektromos eszköz, amely a hálózatra csatlakozik, önálló, az eszközre jellemző „lábnyommal” rendelkezik. Miből is tevődik össze ez a „lábnyom”? Az első és talán az átlag felhasználó számára is a legszembe tűnőbb paramétere egy eszköznek a fogyasztása. A hálózaton a legtöbb elektromos eszköz eltérő fogyasztással rendelkezik. A második fontos jellemző szintén a fogyasztáshoz tartozik, ez a felvett áramnak a jelalakja. Ez azért fontos mert eszközönként nagyon különböző áram jelalakok léteznek, például egy mosógép motorja ingadozva veszi föl az áramot annak függvényében, hogy a ruha hogyan kavarg benne, egy egyszerű kapcsolóüzemű tápegység pedig a klasszikus elméleti áram jelalakjára ráülteti a kapcsolófrekvenciát is eltérő mértékben, még akkor is, ha a tápegység rendelkezik bemeneti szűréssel. A harmadik jellemző a feszültség a hálózaton, az előbb említett kapcsolóüzemű eszközök például képesek adott esetben nagymértékű zajt ültetni a hálózatra, ami szintén egyedi azonosítója lehet egy-egy eszköznek. Végül de nem utolsó sorban a tranzien jelenségek is mind áram és mind feszültség tartományban sokat elárulhatnak egy eszközről, és akár annak műszaki állapotáról is.

Ezek alapján egy hálózatról és az arra kapcsolódó eszközökről nagyon sok információt ki lehet deríteni egy eszközzel, ami áramot és feszültséget mér a háztartás betáplálási pontján. Ezzel a sok információval viszont egy ember nem sokat tud kezdeni önmagától, itt jön képbe a mesterséges intelligencia, amely ezeket az információkat megkapja és ezek alapján tanulja meg, hogy melyik eszköznek mi is a „lábnyoma” a hálózaton. Miután a neurális hálózat meg tudja különböztetni az éppen bekapcsolt eszközöket, rögtön hozzájuk is lehet rendelni a fogyasztásukat mert fogyasztás alapján könnyű szétválogatni darabszámban a bekapcsolt eszközöket.

Rövid bevezetés után felmerül a kérdés, hogy miért is jó a felhasználó számára hogyha egy eszköz adatokat gyűjt a hálózatról? Azért jó, mert így pontos eszközökre lebontott elektromos fogyasztási statisztikákat tud csinálni a hálózatról anélkül, hogy minden eszközt külön okos hosszabbítóba csatlakoztatná, vagy folyamatosan külön-külön méregetné az eszközeinek fogyasztását. Pontos percekre lebontott statisztikát kaphat, hogy melyik eszközt mennyit használta, ez mennyi energiafelhasználást jelentett és akár az adott valutára lebontva ez mennyibe kerül neki. Javaslatokat tehetünk akár bizonyos eszközök cserélésére, korszerűsítésére egy webes felületen keresztül akár felhasználóra szabott megtérülési számítással is.

Egy olyan eszközt és hozzá tartozó szoftveres környezetet tervezünk, amely képes az előbb említett mérésekre, valamint képes a felhasználó számára átláthatóbbá tenni a háztartáson belüli villamosenergia fogyasztást és segíteni a környezettudatosabb fogyasztásban és gazdaságosabb eszközhasználatban.

2. Tranziensek, zajok vizsgálata a hálózaton

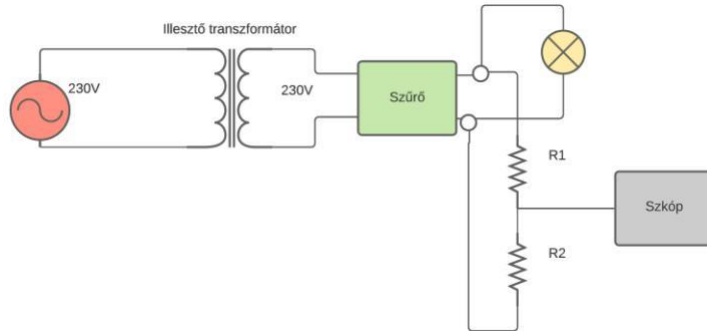
Mielőtt a zajokat, tranzienseket megtudnánk különböztetni egymástól előtte meg kell mérni őket és meg kell ismerni a jelalakjukat, amire majd a mesterséges intelligenciát betanítjuk. A tanításhoz nagy mennyiségű mintát kell rögzíteni, hogy pontos legyen a modell.

A méréseket több körben végeztük el és különböző tranzienseket rögzítettünk a hálózaton. Annak érdekében, hogy megtudjuk határozni mit is érdemes mérni. Végeztünk méréseket feszültség, áram frekvencia és idő tartományra is.

2.1 A jelalakok vizsgálata a hálózaton

A mérés során szeretnénk volna meg állapítani, hogy milyen mérőáramkört tervezzünk és azt is, hogy mi alapján lenne érdemes a betanítást végezni (feszültség vagy áram jelalak alapján és frekvencia vagy az időtartomány hordoz több információt.)

A méréshez egy mű hálózatot hoztunk létre, hogy a villamos energia hálózattól függetlenül tudjunk méréseket végezni. A mérés előlépéseként összeállítottuk a mérő kört majd oszcilloszkóp segítségével megmértük az aktuális feszültség és áram zajsztintjét, hogy tudjunk kompenzálni vele, majd bekapcsoltuk az izzót és felvettük az áram és feszültség jelalakokat.



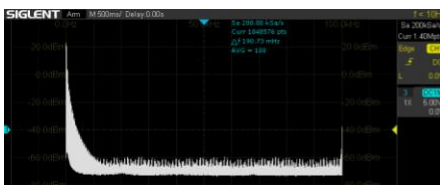
Ábra 1
Mérési elrendezés



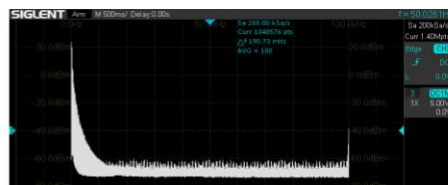
Ábra 2
Kompakt fénycső Áram-idő jelalak



Ábra 3
LED lámpa Áram-idő jelalak



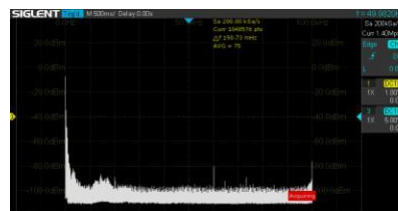
Ábra 4
Kompakt fénycső Áram-frekvenciatartomány



Ábra 5
LED lámpa Áram-frekvenciatartomány



Ábra 6
Kompakt fénycső Feszültség-frekvenciatartomány



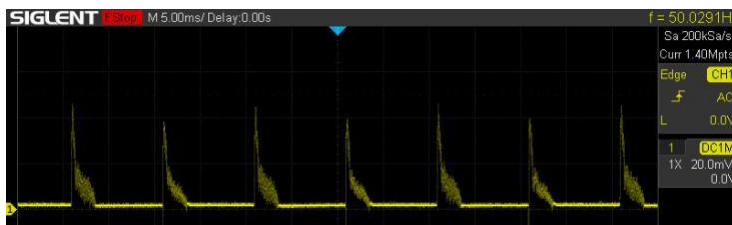
Ábra 7
LED lámpa Feszültség-frekvenciatartomány

A mérés során azt tapasztaltuk, hogy a betanításhoz legjobban használható jelalak az idő áram jelalak, mert ezen mérés során még két hasonló elven működő eszköz is könnyedén megkülönböztethető egymástól. A mérési eredményekből az is megállapítható, hogy ha az áram idő jelalakját szeretnénk felhasználni akkor a mérést nyugodtan sáv korlátozhatjuk, 10-20 KHz-re. A feszültség idő és frekvencia tartománybeli jelalakok, nem igen használhatóak, hiszen időben egy torzult szinuszjelről beszélünk, míg frekvencia tartomány esetén megjelenik az a probléma, hogy az izzók melegedésének hatására a frekvencia összetevői a jelnek megváltoznak, egymáshoz képest eltolódnak.

2.2 A betanításhoz szükséges minták mérése

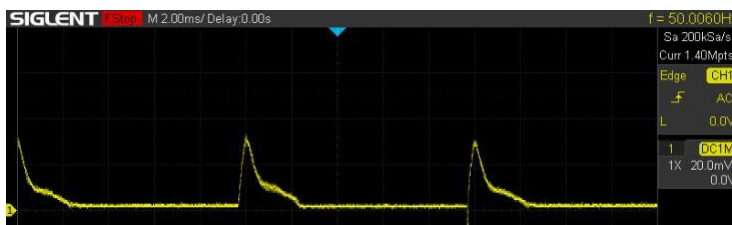
A mesterséges intelligencia betanításához nagy mennyiségű mintára van szükségünk ezért külön erre a célra kifejlesztett mérőkört is készítettünk, amit majd a végleges eszközbe is implementálni fogunk.

A mérés során továbbra is mérjük mind az áramot, mind a feszültséget, hogy ebből teljesítményt is tudjunk számolni. A mérőkör annyiban módosult, az előzőhöz képest, hogy az áram és a feszültség jeleknek levágtuk a negatív komponensét, hogy a mérést egy A/D átalakító segítségével eltudjuk végezni a későbbiekben, de a mérést továbbra is oszcilloszkóp segítségével végeztük el. Egy rövid mérőprogram is megírásra került annak érdekében, hogy gyorsan és könnyedén tudjuk a mérést elvégezni. A mérés során négy eszköz jelalakját vizsgáltuk, egy porszivót, egy LED lámpát, egy hagyományos izzót és egy kompakt fénycövet.



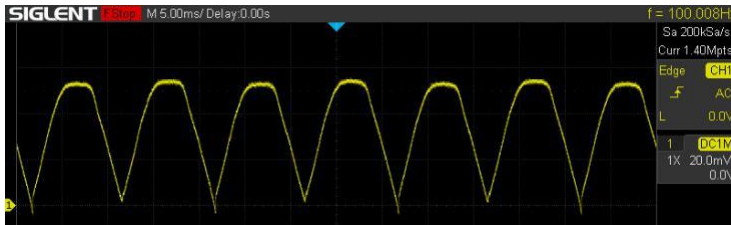
Ábra 8

Kompakt Fénycső

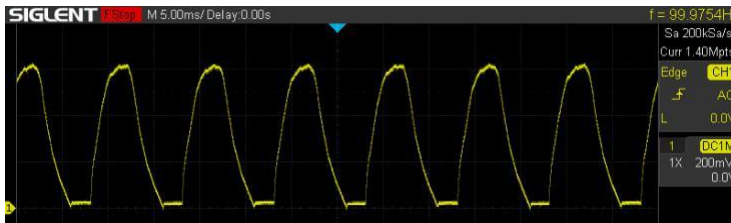


Ábra 9

LED lámpa



Ábra 10
Hagyományos



Ábra 11
Porszívó

A mérés sikeres volt mert a betanítás a mért eredmények alapján elvégezhető volt.

3. Mesterséges intelligencia fejlesztése, tesztelése és optimalizációja

A feladatot többféleképpen is meg lehetett közelíteni. Detektálhatjuk az időtartománybeli, illetve a frekvenciatartománybeli különbségeket a különböző tranziens jelenségek között. Ezekben belül is vehetjük az áram, illetve a feszültség időtartománybeli vagy spektrális képét. Mivel egyszerűbb feldolgozási módszernek tartottuk az időtartománybeli feldolgozást, ezért a dolgozat keretein belül ezzel foglalkoztunk. Végeztünk vizsgálatot spektrális különbségeket megvalósító neurális hálóval, ám ezt a hálózatot nem tartottuk jó modellnek, így időtartományban végeztünk betanításokat. Mivel a neurális háló modellünk, mellyel frekvenciatartományban vizsgáltunk nem konvolúciós neurális hálózat volt, ezért nem vetjük el annak lehetőségét, hogy frekvenciatartományban jobb eredményre juthatnánk. A spektrális képek neurális hálóval való klasszifikációja egy következő módszer melyet érdemes volna vizsgálni. Időtartománybeli betanításokat az áram tranziens jelenségeivel végeztünk, ennek okai a neurális hálózat pontosságából adódó megfontolásokból következtek.

3.1 Időtartománybeli klasszifikáció

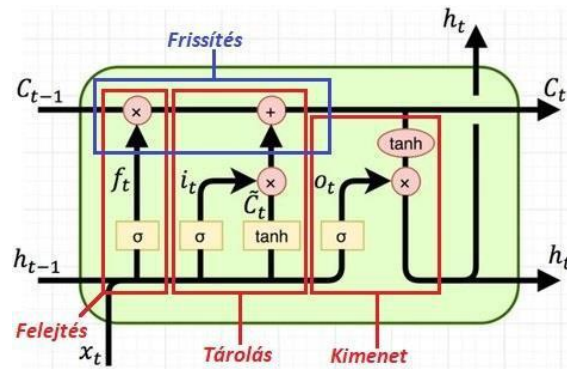
Az alapkoncepció a következő: Amennyiben teljesítményváltozást észlelünk, elkezdjük minta vételezni az áramerősséget egy bizonyos ideig. Ezzel egy szekvenciális adathalmazt, sorvektort kapunk. Ezek az azonos hosszúságú sorvektorok tartalmazzák a tranzienst, melyek feltételezéseink szerint elég karakterisztikusak, hogy különböző eszközök tranzienst jelenségeit meg tudjuk különböztetni egymástól.

A nyers adatokon különböző transzformációkat végezve, igyekszünk kiemelni a jel egyes tulajdonságait, melyek jól korrelálnak az egyes csoportokkal, illetve elhatárolják ezeket más csoportoktól. Ezeket a tulajdonságokat normális eloszlás szerint standardizáljuk, majd betápláljuk a neurális hálózat bemeneteire.

Mivel ismerjük a mért eredményeink csoportjait, ezért egy címkézett adathalmazunk van, így supervised learning metodikát használunk.

3.1.1 LSTM és biLSTM rétegek működése

A neurális hálózatok elterjedésének oka a jó függvényközelítési képesség [2]. Jelen időszakban az LSTM visszacsatolt neurális háló rétegek uralják az időtartománybeli feldolgozás méretes szegmensét az ARMA és az ARIMA rendszerek mellett [1][7]. Az egyszerű felépítésű RNN, illetve egy sokkal bonyolultabb struktúrájú GRU több betanításbeli problémával rendelkezik, ahol is nem általánosítható a betanítás konvergenciája az elszálló és a nullához tartó gradiens miatt. A lent látható struktúrájú LSTM cella kialakításából adódóan a hibafüggvény súlyok szerinti deriváltja nem fog nullához tartani, illetve elszállni, valamint a gradiens haladásának ez az elrendezés előnyös, mivel a Back Propagation Through Time (BPTT) során, egyszerűbb mátrixszorzásokkal frissíthetőek a súlyok [4].



Ábra 12

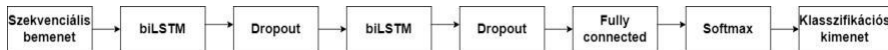
LSTM cella struktúrája [3]

Ez a kialakítás több megkülönböztethető logikai komponens kombinációja, melyek a felejtés, tárolás, frissítés és a kimenet előállításával illelhetőek. A kimenet (h_t) felelthet meg a rövid idejű időbeli függőségek tárolójának, míg a belső állapot egy hosszabb idejű memóriát képvisel (C_t).

BiLSTM réteget használva, kiaknázzuk a teljes sorvektor megléteből fakadó lehetőségeket. A sorvektoron két irányból végig haladva a neurális hálóval több információt nyerhetünk, mint ha ezt csak egy irányban tennénk, ezért használtunk ilyen réteget.

3.1.2 Neurális hálózat rétegei

Az alábbi neurális hálózat rétegstruktúrája érte el a legjobb pontosságot a betanítás során.

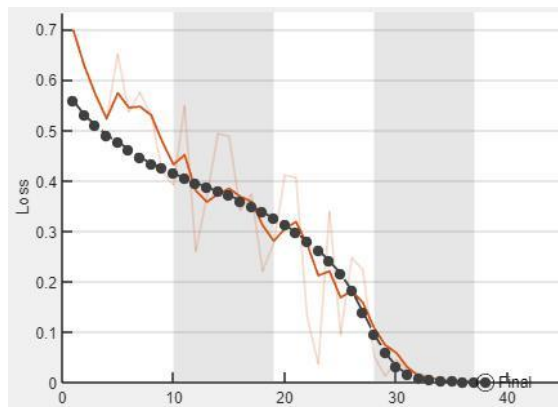


Ábra 13

Neurális hálózat rétegei

3.1.3 Betanítás folyamata

Az alábbi ábrán megfigyelhető a betanítási görbe, ahol is a narancssárga színnel a betanító adatokon vett, illetve a fekete pontokkal jelölt helyeken a validációs adatokon vett klasszifikációs hiba abszolút értéke látható.



Ábra 14

Betanítási görbe

Megfigyelhető, hogy a hiba konvergál 0-hoz. A pontosság ezen esetben három eszköz klasszifikációjánál valóban tendál a 100%-os pontossághoz, ennek okai a kevés betanító adat és a kis számú csoport.

3.1.4 Tesztelés és optimalizálás

Az optimalizálás során a nyers adat különböző transzformációit és normalizációs technikáit, illetve az LSTM réteg szélességét állítottuk a legjobb pontosságot szem előtt tartva.

3.2 Alternatív megoldások

A megoldásunk csoportszerinti és dinamikabeli behatároltságából következik, hogy érdemes más megoldási módszereket is közelebről megvizsgálni.

3.2.1 Konvolúciós neurális hálózat frekvenciatartományban

Adaptív modulációnál létező megoldás, hogy a rádiós csatorna minőségét a jelszint spektrális képeivel kívánják prediktálni [5]. Ez a klasszifikációs módszer, mely szintén szekvenciális adatokon dolgozik, validálja ezen irány relevanciáját. Ettől függetlenül intuitív a frekvenciatartománybeli vizsgálat, ezt a tranziensek spektrogramjai is alátámasztják.

3.2.2 Klaszterezés időtartományban

Egy nagyságrendbeli lépés a megoldás dinamika tartományában a klaszterezés. Az irodalomkutatás során láttunk erre példát [6], ahol is a világ 3 nagyobb városában a mobilkommunikáció terheltségi szintjeit mérő számok időbeli mintái alapján csoportosították a város különböző pontjait. Tehát a város egy bizonyos pontján egy hét hosszú intervallumban (672 minta) 5 különböző terheltséggel korreláló mennyiséget figyelünk (SMS, hívás, Request, UL adat, DL adat), így egy 3360 dimenziójú vektoron végzett K-means klaszterezéssel (K=6) meg tudjuk különböztetni az időbeli terheltség függvényei alapján, hogy mely csoportba tartozik az adott térség.

Ezt a megoldást tekintjük a legjobb továbblépési lehetőségnek, mivel nem kell az egyes adatok címkéit ismernünk (unsupervised learning), hanem a klaszterező algoritmus magától megtalálja az egyes adatok közötti összefüggéseket és próbálkozik ezeket a csoportokat minél jobban elhatárolni egymástól, illetve a csoport tagjait minél közelebbi pontba hozni.

4. Konklúzió

A cikk keretein belül bizonyítottuk, hogy időtartománybeli klasszifikáció lehetséges háztartások tranziensének vizsgálatára. Tovább lépésként szeretnénk más mesterséges intelligencia koncepcióval próbálkozni mint például a K-means klaszterezés. Kutatásunk során sikeresen megvizsgáltuk, megismertünk különböző eszközök tranziensét.

Reméljük, hogy jelen cikk kellő információval szolgál azoknak a szakembereknek akik energetikai területen szeretnének mesterséges intelligenciát használni.

Források

- [1]. Goodfellow, Y. Bengio és A. Courville, Deep Learning. MIT Press, 2016, <http://www.deeplearningbook.org>
- [2]. M. T. Hagan, H. B. Demuth, M. H. Beale és O. De Jesús, Neural network design, 2nd edition. s.L: Martin T. Hagan, 2014, 1 old., isbn: 978-0-9717321-1-7
- [3]. W. Feng, N. Guan, Y. Li, X. Zhang és Z. Luo, “Audio visual speech recognition with multimodal recurrent neural networks”, 2017. máj. doi:10.1109/IJCNN.2017.7965918
- [4]. A. Amini. (2021. máj.). “MIT 6.S191 Introduction to Deep Learning”. English <http://introtodeeplearning.com/>, MIT, cím: <http://introtodeeplearning.com/>.
- [5]. S. Kojima, K. Maruta és C.-J. Ahn, “High-precision SNR Estimation by CNN using PSD Image for Adaptive Modulation and Coding”, 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring), 2020, 1–5. old. doi:10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9129413. learning series sor. Cambridge, MA: MIT Press, 2012, 1067 old., isbn:978-0-262-01802-9
- [6]. Sebastian Grauwin, , Stanislav Sobolevsky , Simon Moritz , István Góodor, Carlo Ratti, Towards a comparative science of cities: using mobile traffic records in New York, London and Hong Kong, <https://arxiv.org/pdf/1406.4400.pdf>
- [7]. K. P. Murphy, Machine learning: a probabilistic perspective, Adaptive computation and machine learning series sor. Cambridge, MA: MIT Press, 2012, 1067 old., isbn:978-0-262-01802-9

LoRaWAN hálózat stabilitás vizsgálata különböző környezeti viszonyok mellett LoRaWAN networks stability test under different environmental conditions

Kozma Dávid Márk¹, Kohanecz Ádám², Borsos Döníz³

¹Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország], kozmadavidmark@gmail.com

²Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország], kadam1265@gmail.com

³Biztonságtudományi Doktori Iskola, Óbudai Egyetem [1034 Budapest, Bécsi út 96/b, Budapest Magyarország], Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország], borsos.doniz@uni-bouda.hu

Absztrakt: A LoRaWAN az első magánszemélyek által is használható, nagy hatótávolságú, nagymegbízhatóságú vezeték nélküli kommunikáció. [1] A kutatásunk fő célja a LoRaWAN kommunikáció maximális hatótávolságának meghatározása különböző jelterjedési viszonyok mellett. A tanulmányunkban ismertetünk korábbi eredményeket is, amiket kiindulási alapnak tekintettünk a méréseink során. Kitérünk az általunk készített tesztekre és azok gyakorlati hasznosítására is. A méréseket különböző helyeken és környezeti viszonyok mellett végeztünk. A dolgozat ismerteti vízben, beépített területen és erdős helyszíneken végzett mérések körülményeit, azok eredményeit és kiértékelésüket.

Kulcsszavak: LoRaWAN; IoT; stabilitásvizsgálat; átjáró, kommunikáció

Abstract: The LoRaWAN is the first long-range, high trustable wireless communication for the commercial users. [1]. The purpose of our research is to determine the maximum range of LoRaWAN communication under different signal propagation conditions. In our study, we present previous result which we considered as a starting point in our measurements. We also submit the test results and their practical application. The measurements were prepared in different places under different environmental conditions. The paper describes the conditions of measurements in water, built-up areas and forest sites, their results, and their evaluation.

Keywords: LoRaWAN; IoT; stability test; gateway; communication

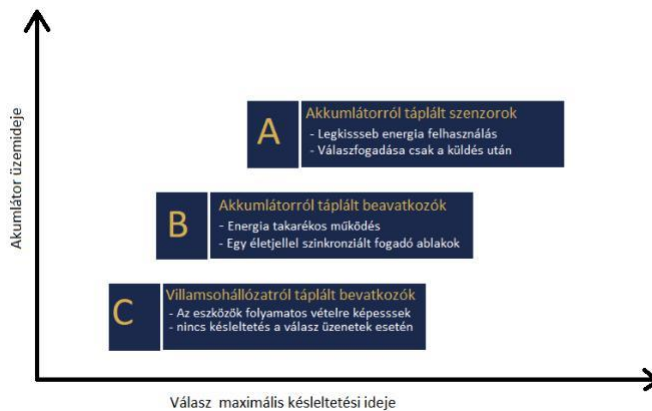
1. Bevezetés

Napjainkban egyre több területen használunk IoT (Internet of Things) technológiát. A chipgyártók arra fókuszálnak, hogy minél alacsonyabb energiafelhasználás mellett, minél nagyobb ható távolságokat legyenek képesek elérni a különböző IoT-s modulokkal. Ezeket számos különböző ipari, gazdasági területen tudjuk hasznosítani, mint például a mezőgazdaságban, logisztikában, távorvoslásban és az áruszállításban, de természetesen ezek folyamatosan bővülnek.[2]

A leggyakrabban alkalmazott technológiai csoport, az LPWAN. Napjainkra egyre több ilyen új kommunikációs protokoll jelenik meg, ide tartozik, az általunk vizsgálni kívánt LoRaWAN technológia is.

LoRAWAN technológia a LoRa Alliance társaság gondozása alatt áll. Ez a szervezet felügyeli és fejleszti a LoRaWAN-nal kapcsolatos szabványokat, amik a hálózati és adatkapcsolati rétegre vonatkoznak. A LoRa modulációs technológia a Semtech cég fejlesztésén alapul.

A LoRaWAN technológia csillag a csillagban architektúrát valósít meg, ami azt jelenti, hogy egy átjáróhoz több eszköz tud csatlakozni és egy eszköz több átjáróhoz is tud csatlakozni. A specifikáció három eszköz osztályt különböztet meg A, B, és C osztályt. A különböző osztályok különböző válasszidőkkel dolgoznak. Mi A osztályú eszközökkel végeztünk mérést, ami azt jelenti, hogy a küldés után nyílik két fogadó ablak, és csak is ebben az időben tud fogadni az eszközünk adatot a server felől.



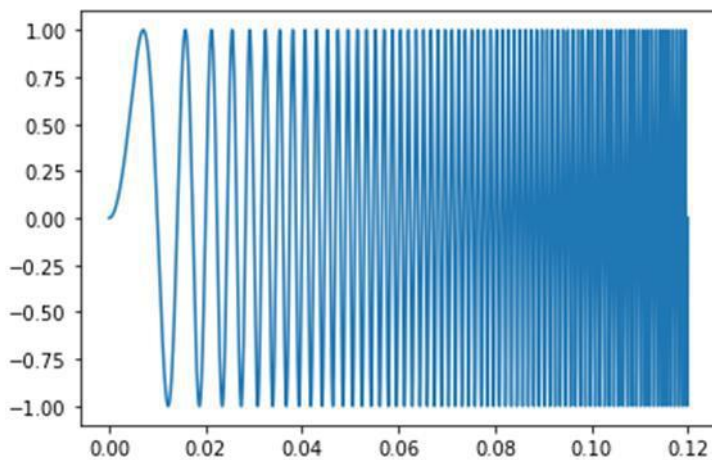
Ábra 1
Végberendezés osztályok

A LoRAWAN-t Magyarországon a 868 MHz-es ISM sávban lehet használni, 125 KHz és 250KHz sávszélességgel és 0,1-1%-os kitöltési időkkal.

2. LoRa, mint modulációs technológia

A LoRa egy különleges modulációs eljárás, amit a Semtech cég fejlesztett ki. A technológia a szórt spektrumú modulációra épül, amit az irodalom úgy is ismer, mint LFM (Lineáris frekvenciamoduláció).

Az LFM eredtileg radarok hatótávolságának növelésére lett kifejlesztve. Az alap gondolat az, hogy nem az impulzus hosszát vagy nagyságát növelik meg, hanem a sáv szélességét változtatják meg, azaz valamilyen szubmodulációs technológiát alkalmaznak, ami során kompressziós eljárások közé tartozik az LFM moduláció is. A moduláció alapelve az, hogy a megadott sáv szélességen belül lineárisan változik a frekvencia, ha eléri a sáv szélesség határát, akkor visszaugrik a kezdő frekvenciára (lásd: 2-es ábra). Előnye, hogy megfelelő vételi szűrő esetén szinte érzéketlen a Doppler-eltolásra, ami az áru szállításban és mozgó eszközök esetén hasznos tulajdonság. [3]

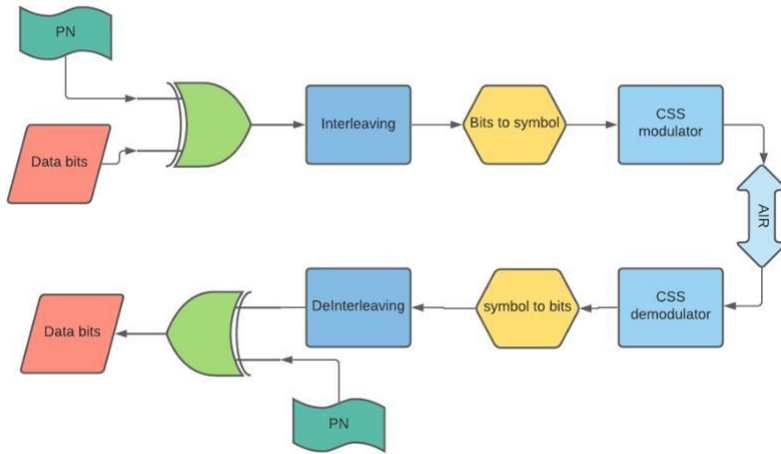


Ábra 2
LFM (Chirp)

A LoRa moduláció esetén három paramétert fontos beállítani. A sáv szélességet (B), a Spreading Factor-t (SF) ami meghatározza, hogy egy szimbólum hány bitnek felel meg, és a kódolási rátát (CR), ami a hasznos bitek és az ellenőrző bitek arányát mutatja meg. [3]

A LoRa moduláció és de moduláció a 3 ábrán látható. Első lépésként az adatot (Data bits) egy pszeudo számmal (PN) kizáró- vagy kapcsolatba hozzuk, majd ezen adaton egy hiba kódolást alkalmazunk (Interleaving / Deinterleaving). Az így előkészített adatsort szimbólumokká alakítjuk, majd szórt spektrumú modulátorral továbbítjuk a vevő felé. A LoRa moduláció által küldött szimbólumok dekódolására

használható egy FFT algoritmus, amivel könnyen korrelációba hozhatóak a vett szimbólumok a bitekkel. [3][4][5][6]



Ábra 3

LoRa moduláció – de moduláció

A Lora kommunikáció úgy biztosítja a megfelelő szimbólum azonosítást, hogy minden egyes kommunikáció elején küld szinkronizáló karaktereket és ezután következik az adat. [4][5][6]

3. Mérések és eredmények

3.1 Mérések elméleti háttere

Az elektromágneses hullámok különböző módokon terjedhetnek a levegőben. Lehetséges közvetlen rálátással (Line of Sight) vagy nem közvetlen rálátással (Non-LOS). A második esetben a jelek refrakciót, diffrakciót és reflexiót szenvednek és így jutnak el a vevőhöz. Viszont, ha az elektromágneses hullám valamilyen törést szenved, akkor veszít energiájából, és nem jut el olyan messzire. [7]

Egy távközlő rendszer tervezésekor fontos paraméter az energiamérleg (link budget) meghatározása. Mert megadja, hogy az adott vevő érzékenysége és jel-út csillapítás mellett mekkorának kell lennie a minimum az adó teljesítményének, hogy a kommunikáció még megfelelően működjön. [7] [8]

$$\text{Link Budget (dBm)} = \text{TX power (dBm)} - \text{Rx sensitivity (dBm)} \quad (1)$$

Fontos kiszámítani, hogy mekkora a jel út csillapítása (Free Space Path Loss), hiszen ez alapján kell megnövelni, vagy a vevő érzékenységet, vagy az adó teljesítményét, annak érdekében, hogy jobb legyen a vételünk. A legegyszerűbben a következő képlettel tudjuk meghatározni: [8]:

$$FSPL (dBm) = 20\log(d) + 20\log(f) - 147,55 \quad (2)$$

d: A távolság az adó és a vevő között.

f: az a frekvencia, amin kommunikálunk

A vétel szempontjából még fontos meghatározni a vevő érzékenységet, ami a LoRa kommunikáció beállításainak függvényében változhat, és a következő képlettel lehet meghatározni [8]:

$$Rx \text{ sensitivity (dBm)} = -174 + 10\log(BW) + SNR \text{ limit(dB)} + Noise \text{ Figure(dB)} \quad (3)$$

174: Hőmérsékleti zaj 1 Hz-es sáv szélesség esetén szobahőmérsékleten

BW: a csatorna sáv szélessége

SNR limit: SF-től függő zajérzékenysége a vevőnek

Noise figure: A fizikai eszköz okozta csillapítási tényező

A mérések értelmezéséhez még két fogalmat szükséges tisztázni:

Az RSSI (Received Signal Strength Indication) értéket, ami megmutatja, hogy mekkora a vett jel jelerőssége. [9]

Az SNR érték, ami a jel-zaj arányát mutatja meg. [10]

A jelenleg elért maximális hatótávolság LoRa eszközzel 832km, ami közel van ahhoz a távolsághoz, amire elméletileg a kommunikáció maximálisan képes (~850 km). A rekordot 2020.04.16.-án állította be Thomas Telkamp. A kísérlet során egy héliummal töltött léggömbre szerelte fel az eszközt, ami egészen 38 km-es magasságig emelkedett fel, ahol elérte ezt az igen nagy távolságot. [11]



Ábra 4

Legnagyobb távolság LoRaWAN-nal

3.2 Átjárók összehasonlítása

Az első elvégzett mérésünk, különböző átjárók összehasonlításából állt, főleg beépített területen, a mérés célja az volt, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható eszközök közül hármat összehasonlítsunk ezek érzékenysége és jel/zaj viszonya alapján. Az átjárókat beépített területen egy 4 emeletes ház 2. emeletén helyeztük el, a két beltéri átjárót az egyik utcára néző ablakban, a kültérit pedig a ház túloldalán lévő erkélyre helyeztük ki, ami a belső udvarra néz, egy 10dBi nyereségű collinear antennával. A méréshez egy Micromite GPS nyomkövetőt használtunk, amellyel járkáltunk körbe a lakótelepen és a közeli erdőben.

A méréshez használt átjárók és paramétereik:

Tracknet TBGW100

- Beltéri gateway
- Antenna: belső PCB antenna
- Maximum vételi érzékenység: -140 dB, SF12



Tracknet

Kerlink Wirnet™ iFemtoCell

- Beltéri gateway
- Antenna: LoRa® swivel antenna, 3 dBi
- Maximum vételi érzékenység: -140 dB, SF12



Ábra 6
Kerlink

Mikrotik wAP + R11e-LR8 LoRa Gateway modul

- Kültéri gateway
- Antenna: Collinear antenna, 10 dBi
- Maximum vételi érzékenység: -137 dB, SF12



Mikrotik

Kétféle ábrázolási módot használtunk a mérési eredmények szemléltetéséhez, az egyik egy hő térkép, aminek színe a vett jelerősségtől és a vett jelek sűrűségétől függött, a másik ábrázolás, amit használtunk, az egy grafikon, ahol a vett csomagok jelerősségét és jel/zaj arányát jelenítettük meg a távolság függvényében átjárónként más színnel.

Hőterképek a vett jelerőségekről egy beltéri (Mikrotik) és a kültéri (Tracknet) gateway-ről, a következő ábrákon kerülnek illusztrálásra.



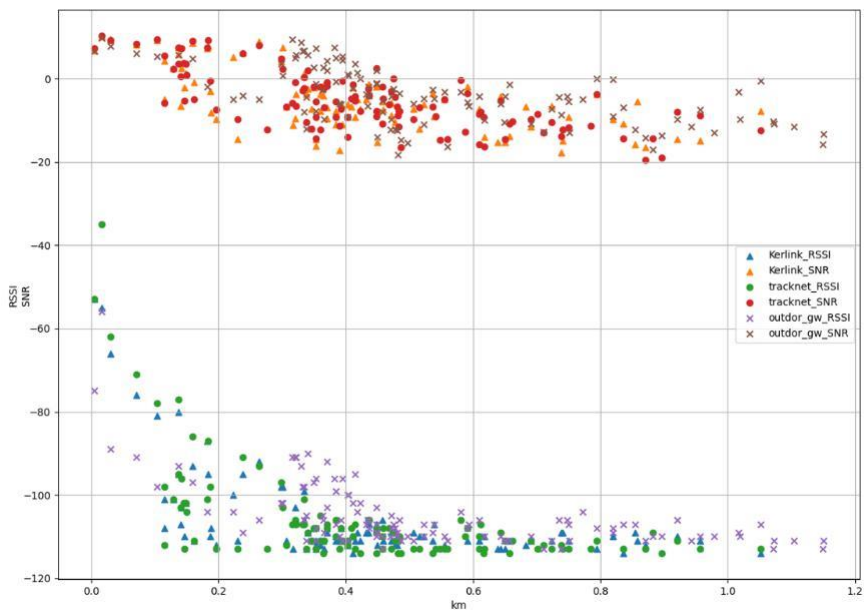
Ábra 8
Mikrotik Gateway RSSI hőterkép



Ábra 9
Tracknet Gateway RSSI hőterkép

Jól látható a két ábrából, hogy a kültéri gateway lefedettsége az erdő irányába nagyobb, mert az ahhoz van közelebb a beltéri gateway lefedettsége meg az ellenkező irányba. A hőterképek jól szemléltetik, hogy a LoRa technológia előnyeit, mert lakott területen is közel 1km sugarú lefedettséget lehet elérni úgy, hogy a gateway-ek közvetlen közelében a telepítési magasságunknál magasabb épületek találhatóak, ezért a megvalósult összeköttetések túlnyomó része vagy a vasbetonon keresztüli jelterjedéssel vagy reflexióval jöhetett létre.

Ábrázolás távolság függvényében:



Ábra 10
Vett csomagok átjárónkénti ábrázolása a távolság függvényében

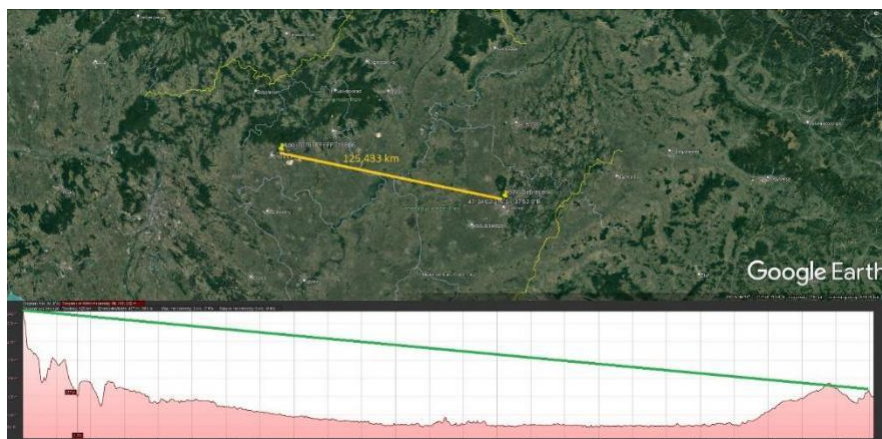
A fenti ábrán jól látható, hogy a kültéri gateway (Mikrotik) átlagosan nagyobb jelerősséggel és jobb jel-zaj viszonytal tudta venni a csomagokat annak ellenére, hogy az egy belső udvarra nézett, ez a nagy nyereségű kültéri collinear antennának köszönhető.

A mérés konklúziója az, hogy beépített területen is megfelelően használható lefedettséget lehet elérni a LoRa technológia segítségével, ellentétben szinte bármely más ismert vezeték nélküli (nem cellás) technológiával.

3.3 LoRaWAN kiépített hálózaton való vizsgálata

A saját teszhálózatunkon kívül, a méréseinkhez használtunk az Antenna Hungária magyarországi LoRaWAN hálózatát is. Ennek a mérésnek az volt a célja, hogy vizsgálhassuk a jelek terjedését nyílt terepen és keressük a legnagyobb elérhető távolságot normál üzem mellett.

A mérésekhez két GPS nyomkövetőt használtunk, amiket autóval vittünk magunkkal az országban. A mérések során rögzítettük adatbázisban az összes vett csomagot és a vételhez tartozó összes átjáró metaadatait. A mérések végeztével egy általunk írt programmal kerestük meg és számoltuk ki a legnagyobb áthidalat távolságot és a hozzá tartozó vételi adatokat.



Ábra 11

A legnagyobb áthidalat távolság térképen megjelenítve, valamint a két pont közötti domborzat

A fenti ábrán a legnagyobb áthidalat távolság látható a méréseink során, ami 125km volt. Az összeköttetést SF10BW125-ös beállítással sikerült -115dB jelerősség és -17dB jel/zaj viszony mellett elérni, ami azt jelenti, hogy ennél még nagyobb távolságú összeköttetéseket is meg lehetne valósítani a datarate további változtatásával a LoRa szabvány alapján.

Ez a mérés jól bizonyítja, hogy a LoRa technológia közel egyenes rálátás esetén még kis adóteljesítmény mellett, is több 10km áthidalására képes, így használható nagyobb területeken, például nagygazdaságokban a termőföldek monitorozására is a technológia minimális létesítési és üzemeltetési költségei mellett.

3.4 LoRa kommunikáció zavarhatósága

A LoRa kommunikáció robusztus kialakítású, és még zaj tartomány alatt is képes venni a küldött csomagokat, de természetesen ennek is van határa. Jelen mérési pontban azt szeretnénk volna vizsgálni, hogy a kommunikáció mennyire zavarható egyszerű eszközökkel, amik könnyen beszerezhetőek.

A méréshez két ping-pong (két végberendezés közötti oda-vissza kommunikáció LoRa-val) módba állított STM32 alapú LoRa fejlesztőkészletet használtunk. A zavaró jelet egy szoftverrádió szolgáltat, bocsájtotta ki. A két végeszköz kimeneti teljesítményét minimálisra csökkentettük és egy csillapító tagot (10dBm) is helyeztünk az antenna portájára, ezzel tudtuk azt szimulálni, mintha nagyobb távolság lenne a két eszköz között. Miután elő készítettük a mérést elhelyeztük az egyik eszközt megközelítőleg 1,5m-es távolságra a zavarforrástól. A másikat pedig elkezdtük távolítani a vevő eszköztől egészen 10-12 m-ig, ahonnan már nem tudott megfelelően csomagot fogadni.

A mérés során azt tapasztaltuk, hogy SF7, 125BW és a fenti beállítások mellett az eszköz 41 csomagból már csak 20-at tudott fogadni, amiből arra tudunk következtetni, hogy a zavarás megfelelő volt.

A mérésből megállapítható, hogy sikerült elérni, hogy a kommunikáció ne működjön 100%-os adatátviteli aránnyal, de a LoRa kialakításából adódóan, még így is a csomagok nagy része továbbításra került. A mérésünk részben sikeresnek tekinthető, de a továbbiakban más típusú zavar jelet is célszerű kipróbálni a kommunikáció zavarhatóságát.

4. Konklúzió

A tervezett méréseinket sikeresen el tudtuk végezni, és az elvárható eredményeket kaptuk. Elmondható, hogy a LoRaWAN, alkalmas nagy kommunikációs távolságok áthidalására és elfogadhatóan működik zajos környezetben és ellenáll a zavaró hatásnak.

A későbbiekben tervezünk további méréseket is, ami által jobban vizsgálhatjuk a LoRaWAN sajátosságait. Reméljük jelen cikk hasznos információkkal szolgál azoknak, akik LoRaWAN-nal dolgoznak vagy most ismerkednek a kommunikációval.

Források

- [1]. LoRaWAN What is it?
<https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>
 (2021.10.01)
- [2]. John Walko: IIoT, IoT Adoption Seen on Fast Trajectory Path, EE|Times Europe, 2021 November, 10. oldal
- [3]. Semtech, „AN1200.22 LoRa Modulation Basics,” 02 05 2015. [Online]. Available:
<https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R0000001OJu/xvKUc5w9yjG1q5Pb2IIkpolW54YYqGb.frOZ7HQBcRc>. [Hozzáférés dátuma: 10 11 2021]
- [4]. *The AMAZING trick that LoRa uses to Modulate Information (with Matlab code)*. [Performance]. Visual Electric, 2021.
- [5]. Joachim Tapparel, Orion Afisiadis, Paul Mayoraz, Alexios Balatsoukas-Stimming és Andreas Burg, „An Open-Source Lora Physical Layer prototype on GNU Radio,” in *IEEE 21st SPAWC*, 2020.
- [6]. Alexander Marquet, Nicolas Montavont és Georgius Z. Papadopoulos, „Towards an SDR implementation of Lora: Reverse-engineering, demodulation strategies and assesment over Rayleigh channel,” in *Computer Communications*, Elsevier, ScienceDirect, 2020, pp. 596-605.
- [7]. L. Balázs, Elektromágneses hullámterjedés szimuláció plugin készítése QGIS szoftverhez, Győr: Széchenyi István Egyetem, 2020.
- [8]. Johan Stokking, *Everything you need to know about LoRaWAN in 60 minutes*. [Performance]. The Things Industries.
- [9]. „Received signal strength indication,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication. [Hozzáférés dátuma: 09 11 2021].
- [10]. „Jel-zaj viszony,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Jel-zaj_viszony. [Hozzáférés dátuma: 09 11 2021].
- [11]. T. Network, „LoRa World Record Broken: 832km/517mi using 25mW,” 21 04 2020. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/article/lorawan-world-record-broken-twice-in-single-experiment-1>. [Hozzáférés dátuma: 09 11 2021].

Metró szerelvények moduláris felépítésű klíma inverterei

Várhelyi Nándor, PowerQuattro Zrt. - H-1161 Budapest, János u. 175.

Telefon: (+36) 1 405-5400 - Fax: (+36) 1 405-4008

E-mail: pqinfo@powerquattro.hu

Bevezetés

A cikkben egy olyan, metró szerelvények klíma berendezéseinek munkavezetékéről történő táplálását biztosító, moduláris felépítésű klíma inverter működését mutatom be, amelyet a BKV Zrt. számára fejlesztettünk.

A berendezésnek biztosítani kell a munkavezeték egyenfeszültségéből a klímakompresszor váltakozó feszültségű háromfázisú motorjának a táplálását.

A kifejlesztett klíma inverterben modern kapcsolás technikát, korszerű félvezetőket és digitális vezérlést alkalmazunk azzal a céllal, hogy az energiaátalakítás hatásfoka és a megbízhatósága minél nagyobb legyen.

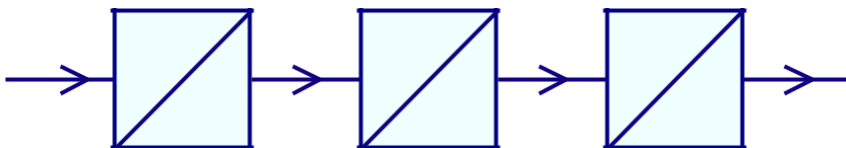
Egy metró kocsiba 2 db klímaberendezés, valamint az őket egyenként tápláló 12kVA-es névleges teljesítményű klíma inverter kerül beépítésre.

Működés

Az 1. ábrán a JIPQ825/3x460-12 típusú, 12kVA-es DC/AC-átalakító blokkvázlata látható.

A feszültségemelő fokozat bemenetére kerül a munkavezeték egyenfeszültsége, amelyet a feszültségemelő (BOOSTER) fokozat 1400V-os DC feszültségre emel szabályozottan.

Erre a viszonylag magas feszültségre két ok miatt van szükség. Az egyik, hogy a betáplálási feszültség tartományt rendkívül ki lehet szélesíteni. A másik okról a későbbiekben ejtek szót.



5. ábra: JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés felépítésének blokkvázlata

A berendezés megengedett bemeneti feszültségtartománya 580V-1240V DC, amely tartományon belül a klímainverter tudja táplálni a klímaberendezést.

A feszültségemelő (BOOSTER) fokozat szabályozása gondoskodik arról, hogy a közbensőkori egyenfeszültség, vagyis az 1400V, egy állandó érték legyen úgy, hogy közben a bemenő áram szinuszos jelalakú és a bemeneti feszültséggel fázisban lévő maradjon. Tulajdonképpen ez a szinuszos áramfelvétel szóhasználat esetünkben nem pontos, mert a szabályozó nem szinuszos áramot, hanem a feszültség pillanatnyi jelalakjával megegyező jelalakú áramot biztosít. Más szóval ez azt jelenti, hogy a klíma inverter a munkavezeték felől nézve egy rezisztív terhelést fog jelenteni. Ez kedvező, mind a hálózatszennyezés, mind a szabályozás stabilitása szempontjából.

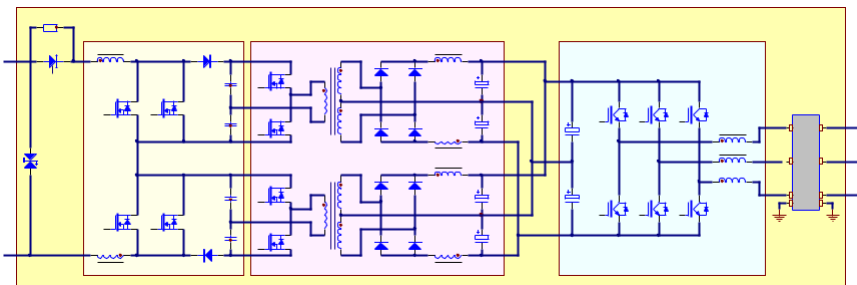
A második fokozat egy vezérelt, galvanikus leválasztást biztosító, transzformátoros DC/DC-átalakító (KONVERTER) amely az 1400V-os egyenfeszültségből 700V-os egyenfeszültséget állít elő. A KONVERTER szabályozása a DC feszültséget tartja egy előírt állandó értéken, úgy, hogy a DC kör árama ne haladjon meg egy abszolút korlátot.

A 3. fokozat egy háromfázisú félhídból kialakított invertert tartalmaz. A kimeneti feszültsége egy rádiófrekvenciás szűrőn keresztül a klímakompresszor motorjára kerül.

A háromfázisú inverter feszültségét U/f vezérléssel állítjuk elő. Alapvető jellemzője az, hogy az inverter kimeneti feszültségének és frekvenciájának vezérlése egyidejűleg, az U/f arány konstans értéken való tartása mellett valósul meg. Mindezt a háromfázisú PARK-vektorok segítségével oldjuk meg. A d irányú feszültséget állandóan tartva biztosítjuk az állandó fluxust és nyomatékot, míg a q irányú feszültséget futtatjuk fel az U/f hányadosnak megfelelően.

A JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés (2. ábra) tulajdonképpen egy változtatható frekvenciájú háromfázisú inverter, amely egy külső vezérlő jel parancsára felfuttatja a kimenetére kapcsolt klímakompresszor asszinkron motorjának a fordulatszámát.

Mindhárom fokozat vezérlése egy Texas gyártmányú, TMS320F2806 típusú, 100MHz-es, CMOS DSP-n alapuló saját fejlesztésű vezérlő kártyán fut.



2. ábra: A JIPQ825/3x460-12 típusú klímakompresszor motort tápláló berendezés főáramköri kapcsolási rajza

A tápegység bemenetén egy túlfeszültség levezető található, mely a munkavezeték tranziens túlfeszültségeitől hivatott megvédeni az alkalmazott félvezetőket. A CB1, CB2, CB3, CB4 kondenzátorok feltöltését a bemeneten látható R1 ellenállás biztosítja. A felsővezetékre történő feltöltődés után kapcsol be a T1-es tirisztor kapcsoló. Ezután indítjuk el a feszültségemelő, BOOSTER fokozatot. A fokozatban alkalmazott TB1-TB2 és TB3-TB4 párhuzamosan kapcsolt szilícium-karbid (SiC) félvezetők kapcsolási frekvenciája 10kHz. Az érdekesség, hogy ezen FET-ek vezérlése egymáshoz képest 180 fokkal el van tolva. Így a bemeneti induktivitások (LB1, LB2) már 20kHz-es áram hullámosságot korlátoznak. Vagyis a munkavezetékéből felvett áram felharmonikus tartalma jelentősen csökken. Megjegyezzük, hogy a félvezetők kapcsolási veszteségét csak a 10kHz-es működési frekvenciával kell számolni! A létrehozott 1400V-os egyenfeszültség a CB1, CB2, CB3 és CB4-es kondenzátorokon arányosan oszlik el, vagyis 350V-ot (kis szórással) lehet mérni rajtuk. A párhuzamosan kapcsolt szilícium-karbid FET-ekre a alacsonyabb bemeneti feszültség tartományban fellépő nagyobb áramok miatt van szükség.

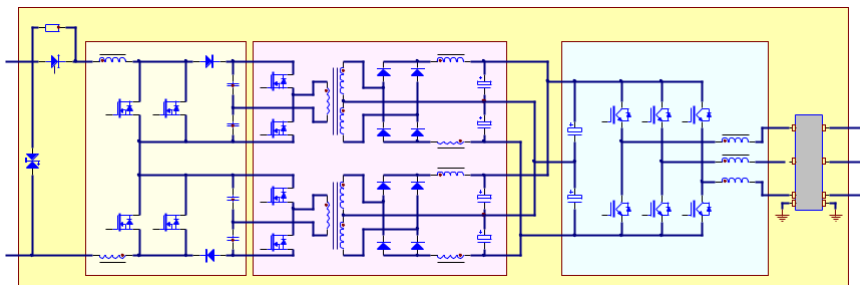
A KONVERTER fokozat bemeneti oldala gyakorlatilag két sorba kapcsolt félhídát tartalmaz a BOOSTER kimeneti kondenzátoraival együtt. A TK1, TK2, TK3 és TK4 ugyancsak szilícium-karbid FET-ek működési frekvenciája már 20kHz. Tehát a TR1 és TR2 transzformátorok primer oldalára 20kHz-es $\pm 350\text{V}$ -os négyzögfeszültség kapcsolódik. A szekunder oldalakon ugyancsak szilícium-karbid félvezetőkkel felépített egyenirányító Greatz-hidakat alkalmaztunk, melyek kimeneteire LK1 és LK2 induktivitások és CK1, CK2, CK3 és CK4 szűrőkondenzátorok kerültek.

Itt térnék vissza az előzőekben megemlített 1400V-os BOOSTER feszültség indoklására, a teljesítmény félvezetők kapcsolásakor létrejövő túlfeszültségek az alkalmazott transzformátorok villamos jellemzőitől jelentősen függenek. Ahhoz, hogy biztosítsuk a legjobb csatolást a primer és szekunder tekercsek között, a transzformátor primer és szekunder menetszámai megegyeznek. Az inverter fokozatnak szükséges a 700V-os egyenfeszültségű betáplálás, mert ebből a feszültségből lehet torzítás mentesen kialakítani a kimeneti szinuszos feszültséget. Ezért a transzformátor méretezése a szekunder oldal felől történt. Vagyis meghatároztuk, hogy a transzformátor szekunder feszültsége $\pm 350\text{V}$, az 1:1-es transzformátor áttétel miatt a primer feszültség is $\pm 350\text{V}$. Így a CB1, CB2, CB3 és CBS4 kondenzátorok feszültségösszege 1400V. Ezt a feszültséget kell biztosítani a BOOSTER fokozatnak.

A galvanikus leválasztást biztosító transzformátorok egyik érdekessége, hogy az alkalmazott vasmag VITROPERM 500F típusú nanokristályos anyag, amelyben az alkalmazott 20kHz-es frekvencián a kisebb vasvesztés miatt nagyobb indukció engedhető meg a hagyományos ferritmagokhoz képest. Ezért csökkenthető a felhasznált rézhuzal menetszáma, vagyis a mennyisége. A transzformátor elkészítésénél szigetelt elemi szálak sodratából (Litze huzal) kialakított huzalt alkalmaztunk. A menetszámok csökkentése és az elemi szálak kisebb skin hatásának következtében és az alkalmazott vas anyag miatt a transzformátor veszteségét és méretét a minimumra lehetett csökkenteni.

A KONVERTER fokozat gyakorlatilag két egyforma részre bontható, a primer, bemeneti oldalak sorba vannak kötve, míg a szekunderek kimenete párhuzamosan. Az egyes konverterek teljesítménye 6kW, az összteljesítményük 12kW.

A feszültségemelő és galvanikus leválasztó fokozatokban alkalmazott 1200V-os szilícium-karbid félvezetők alkalmazásával növelhető a berendezés hatásfoka, mivel ezeknél a félvezetőknél a hagyományos szilícium alapú IGBT-k és MOSFET-ekhez képest jelentősen kisebb a kapcsolási és a vezetési veszteség.



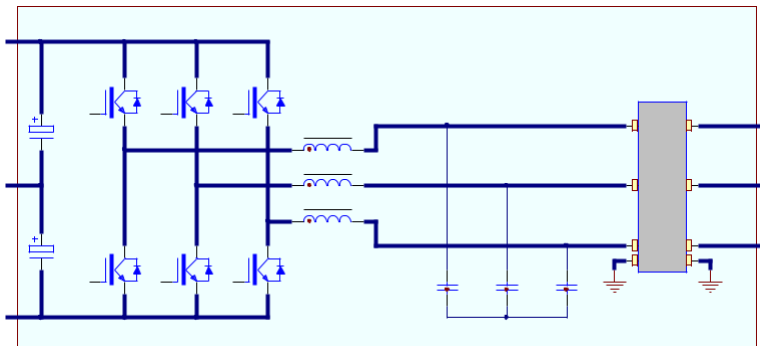
3. ábra: JTPQ600-800/700-9 típusú DC/DC-átalakító

A berendezés moduláris felépítésű, de a teljesítmény átalakító fokozatok nem BOOSTER, KONVERTER és INVERTER modulként lettek kiépítve, hanem gyakorlatilag kettő majdnem egyforma 6kW-os JTPQ600-800/700-9 típusú DC/DC-átalakítóból (3., 4. ábra) és egy INVERTER fokozatból. Ezzel az egyszerűbb gyárthatóság (szinte csak két féle modult kell gyártani), jobb alkatrész elhelyezhetőség és veszteségi hő elosztás biztosítható. A kis különbség a DC/DC fokozatok között csak a bemeneti induktivitások és booster diódák elhelyezésében van.



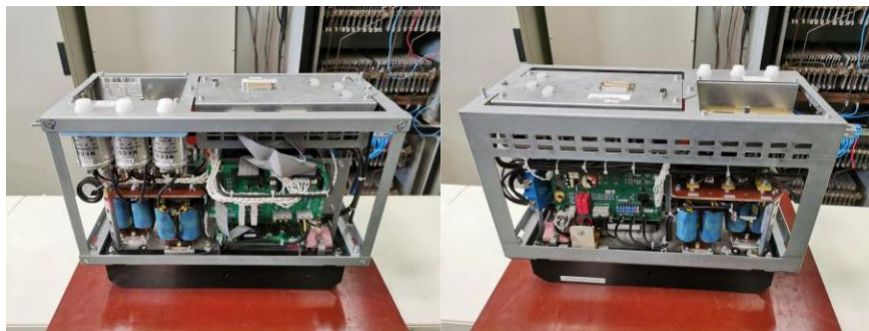
4. ábra: JTPQ600-800/700-9 típusú modul elől és hátul nézete

Az INVERTER fokozat (5., 6. ábra) bemenetén található két sorba kötött kondenzátor (C9 és C10). Ezek biztosítják a háromfázisú inverterben alkalmazott Mitsubishi gyártmányú intelligens power modul működése közben igényelt felharmonikus áramot. Az IGBT-k kapcsolási frekvenciája ugyancsak 10kHz. Intelligens modul beépítésére azért került sor, mert egyszerű és helytakarékos, mivel a modul tartalmazza az IGBT-eket, azok meghajtó áramköreit, valamint a túláram- és túlmelegedés elleni védelmi áramköröket. Az inverter ezen körülmények között 12kVA-es teljesítményre alkalmas, rövidzárlat ellen védett kimenettel.



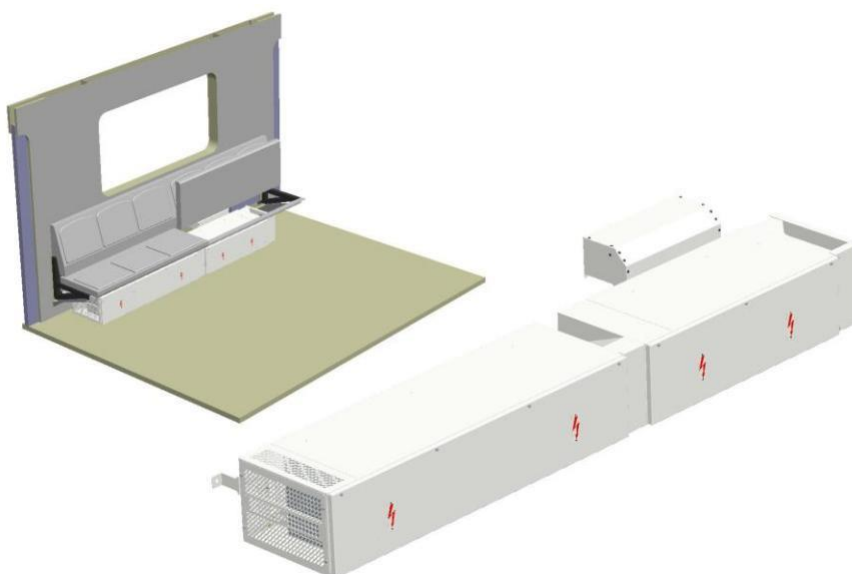
5. ábra JNFIPQ700/3x460-12/50 típusú modul

A félhidak kimenetein szűrő induktivitás és kondenzátor található, amelyek révén a kimeneten alacsony torzítású szinuszos feszültség jelenik meg a klíma kompresszor motor részére. A berendezés kimenetére egy rádiófrekvenciás zavarcsűrő egység került beépítésre.



6. ábra: JNFIPQ700/3x460-12/50 típusú modul elől és hátul nézete

A 7. ábrán a metró utasülések alá telepíthető berendezést láthatjuk. A tervek szerint szerelvényenként kettő 12kVA-es JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés kerül beépítésre.



7. ábra: Konstruktív elképzelés a JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés metró szerelvénybe történő beépítésére

A berendezés hűtéséről beépített ventilátor gondoskodik. A berendezés hűtéséhez szükséges levegőt a hűtött utastérből szívja, majd a felmelegedett levegőt a kocsi oldalán kivezeti. Az utastérből való levegő áramoltatásnak van egy másik pozitív hozadéka is. Elősegíti az utastér levegő cseréjét, melyre szigorú előírás van.

A 8. ábrán az összeszerelt klíma inverter látható lenyitott ajtókkal, ahol az egyes modulok elhelyezése látható.



8. ábra: JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés végmérése

Összefoglalás

A kifejlesztett JIPQ825/3x460-12 típusú klíma inverter típusvizsgálatai megtörténtek és bizonyították, hogy elértük a kitűzött célokat. A berendezés kiválóan vizsgázott. A klíma inverter további előnye, hogy a moduláris felépítésből adódóan a BOOSTER-KONVERTER és INVERTER részegységek a helyszínen cserélhetőek. Meghibásodás esetén csak a hibás részegység cseréje szükséges, ezzel könnyítve meg a szervizelhetőséget.

Nyomás szenzorok kalibrálása és kalibrálási nehézségei – Pressure measuring sensors calibrating and calibration difficulties

Kozma Dávid Márk¹, Sándor Tamás²

¹Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem
[1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország],
kozmadavidmark@gmail.com

²Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem
[1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország],
sandor.tamas@uni-obuda.hu

Absztrakt: Napjainkban nagyon sok területen használnak nyomásmérő szenzorokat, amelyeket adott időközönként kalibrálni kell. Jelenleg a piacon nincs nagy választék ilyen eszközökből, és általában csak egyetlen egy típus kalibrálására alkalmasak az adott berendezések. A cikkben ismertetni fogok egy olyan általam kidolgozott rendszert, ami alkalmas különböző típusú nyomásmérő szenzorok kalibrálására, ezzel a piac számára széleskörű alkalmazást kínálva. A leírásban bemutatom a piacon fellelhető eszközöket és ezek felhasználhatóságát. Továbbá ismertetem az általam megvalósított nyomáskalibráló rendszert. A cikk végén kitérek az eszközöm felhasználhatóságának határaitra.

Kulcsszavak :Automatizálás, Nyomásszenzor kalibráció, Kalibráció

Abstract: Nowadays pressure measuring sensors are used in many areas and need to be calibrated from time to time. There is currently not large scale of such calibration devices on the market, and they are usually only suitable for calibrating a single type. In the article I will describe a system that I have developed that is suitable for calibrating various pressure measuring sensors, offering a wide range of applications for the market.

In the paper I present the devices that is on the market and their usability. After that I submit the pressure calibration system that I implemented. At the end of the article, I submit limits of applicability of my devices.

Keywords: Automation, Pressure sensor calibration, Calibration

Bevezetés

Napjainkban sok nyomásmérő szenzort használnak a különböző iparágakban a kalibrációjuk nehézkes és bonyolult, de szükséges, ha joghatással járó méréseket végeznek vele.

A kalibrálási folyamatok egyszerűsítésére fejlesztettem ki eszközümet, ami eredetileg egy a levegő minőség ellenőrző rendszer belső nyomásmérő szenzorainak kalibrálásához készült, de használható más szenzorok kalibrálására is, amit a továbbiakban mutatok be.

Az első fejezetben ismertetem a nyomásmérő szenzorokra vonatkozó általános kalibrálási eljárást és a jelenleg hatályos szabványokat, amik a fejlesztés alapját képezték. A második részben kitérek a piacon kapható eszközökre, és miért is fontos egy új eszköz létrehozása. Azt követően bemutatom a saját fejlesztésű eszközümet és bevizsgálását. Végül összefoglalom a kutatásom eredményeit.

1. Nyomásmérő szenzorok kalibrálása és vonatkozó szabványok

Az eszközüm tervezéséhez és specifikálásához három fontosabb szabványt kellett megismernem, mellyek pontosan leírják, hogyan történik a szenzor kalibrálása és milyen problémák merülhetnek fel mérés és kalibrálás közben.

Az MSZ EN 472:2002 szakszótár amiben pontosan definiálásra kerülnek a különböző nyomásmérő szenzor típusok, az őket felépítő elemek, valamint a méréshez szükséges fogalmak.[1]

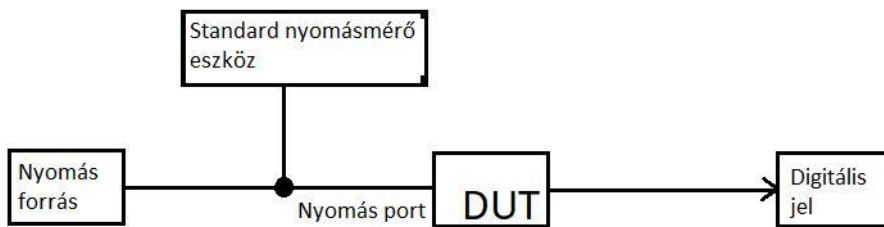
MSZ EN 837-3:1998 a membrános és szelencés nyomásmérők méreteit, követelményeit és általános leírását tartalmazza. Pontosán ismertetésre kerül benne az is, hogy milyen osztályok vannak ezen szenzortípusok esetén és milyen hibái lehetnek, ha nem a kívánt tartományon működtetik őket.[2]

A kutatásom során a harmadik tanulmányozott szabvány az MSZ EN IEC 62828-2:2018 amiben pontosan ismertetésre kerül, hogyan is kell kalibrálni az ipari távadós nyomásmérő szenzorokat. Leírásra kerülnek benne a különböző kompenzációs mérési eljárások is, amikkel javítani lehet a kalibrálás pontosságát. [3]

1.1 Kalibrálás folyamata

A kalibrálás folyamatát az MSZ EN IEC 62828-2:2018 írja le a legpontosabban, de nem részletezi, hogy a nyomás előállítása mivel történik.

A kalibrálás megkezdése előtt, **szükséges tudni, a szükséges mérési tartományt**, amin belül a vizsgálandó szenzornak dolgoznia kell. Miután meghatározásra került a tartomány, **fell kell venni a mérési pontokat amiknél a szenzort ellenőrizni szükséges**. A szabvány szerint leglább öt mérési pontot kell felvenni úgy, hogy tartalmazzon a tartomány határai közelében is értéket (Ha lehetséges akkor határértéket kell megválasztani, de ha nem, akkor a közvetlen közelében($\pm 10\%$) legyen).[3] A mérési pontok meghatározása után kezdődhet a **mérés, első lépésként beállítjuk a legkisebb nyomás értéket**. A beállítás után egy kis időt várunk, majd **feljegyezzük a mért értékeket és beállítjuk az új mérési pontot lehetőleg úgy, hogy ne lendüljünk túl rajta**, mert ez kalibrációs hibát okoz. Ezt a folyamatot megismételjük minden mérési pontra.[3]



Ábra 1
Nyomásmérő kalibrálási elrendezése

A levegő nyomását mérő eszközök esetén a nyomás forrást gyakran egy precíziós fecskendővel helyettesítik. A hátránya ennek a megoldásnak, hogy hosszadalmas és lassú a különböző mérési pontok előállítás, és nehéz tartani a kívánt nyomás értéket, kis nyomás tartomány esetén.

A mérés kiértékelése azonos elven történik mint minden más kalibrálás esetén is (A beállított nyomás értékből kivonjuk a mért nyomás értéket és megkapjuk az eltérést).

A teljes tartományra számított mérési hiba meghatározása: [3]

$$TPE = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 + D^2}; \quad (1)$$

A: pontosság,

B: hőmérsékleti hiba,

C: null és tartományhiba,

D: hosszú távú stabilitás

1.2 Kalibrálás nehézségei

Egy szenzor kalibrálása során a mérésből, vagy az eljárás hibájából adódóan több probléma merülhet fel, amiket kompenzálni kell. Az MSZ EN IEC 62828-2:2018 szabvány ezekre is pontosan kitér.

A leggyakrabban előforduló hiba amivel szinte minden mérés során találkozhatunk az a **hiszterézis hiba**. Természetesen ez a hiba a nyomásmérő szenzoroknál is jelentkezik. A mérés végrehajtása során, ezért kell mindig a legkisebb mérési pont felől a legnagyobb felé haladni és kerülni a túllövést. [3]

Amikor nyomásmérő szenzorokat kalibrálunk **figyelni kell** arra is hogy a **referencia hőmérséklettől (20°C-tól) ne térjünk el jobban mint ±2%**, mert ebben az esetben a szenzor nem a kívánt értéket fogja mutatni. [2][3] Ha mégis eltérünk a referencia nyomástól akkor az alábbi képlettel lehet korrigálni a mérés eredményét: [2]

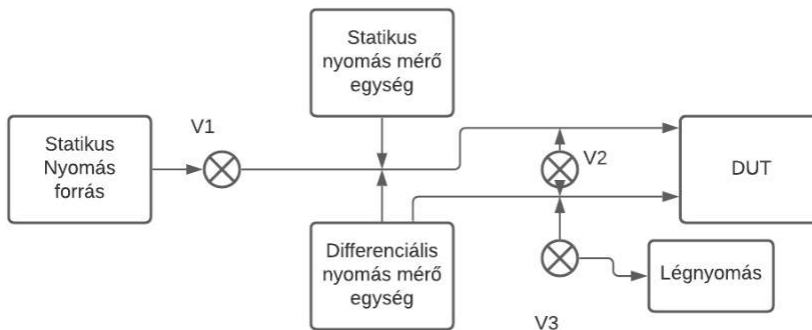
$$\pm 0,06 \cdot (t_2 - t_1) - \text{Szelenács nyomásmérők esetén} \quad (2)$$

$$\pm 0,08 \cdot (t_2 - t_1) - \text{Membrános nyomásmérők esetén} \quad (3)$$

t_2 : az aktuális hőmérséklet

t_1 : referencia hőmérséklet (20°C)

A **differentiál nyomásmérő szenzorok kalibrálásakor jelentős problémát okoz a külső légnyomás hatása**. Ezért bizonyos esetekben fontos lehet ennek a meghatározása. Az MSZ EN IEC 62828-2:2018 szabvány pontosan bemutatja ennek a folyamatát. A 2. ábrán a légnyomás hatásának meghatározásához ajánlott mérési elrendezése látható. [3]



Ábra 2

Légnyomás hatásának meghatározása

2. Piacon kapható eszközök és új eszköz szükségessége

A piacon nem nagy a választék a különböző típusú nyomásmérő szenzort kalibráló eszközök között. Hat nagyobb cég eszközei között vizsgálgódtam, de azt tapasztaltam, hogy a vizsgált eszközök **nagyrészen csak a nyomás érték pontos vissza mérésére képesek és nem tudnak refferencia nyomást előállítani.**

Tudtam, hogy a mérést, kalibrációt csak abban az esetben lehet egyszerűsíteni, ha a kalibráló rendszer nem csak a nyomás érték visszamérésére alkalmas, hanem a kívánt nyomást is előállítja. Ennek a kritériumnak már csak három cég termékei feleltek meg a FLUKE-é, a Beamex-é és a Wikai-é.



Ábra 3
Fluke 729



Ábra 4
Wikai CPC6050

A FLUKE a termékei mellé egy pumpás tartályos rendszert biztosít, amivel könnyedén elő lehet állítani a kívánt nyomást. Ezzel szemben a Beamex és a Wikai termékei már sokkal jobbak, mert ők a kívánt nyomás értéket DC pumpával állítják elő, de ennek a hátránya, hogy a szabályzást nagyon bonyolult létrehozni és nehéz a kis differenciál nyomás előállítását.

Légszennyeztség mérők kalibrálása során, szembesültünk vele, hogy hiába van a piacon több fajta kalibráló eszköz nem tudnak refferencia nyomást előállítani, ezért gondoltam egy új nyomásmérő szenzort kalibráló rendszer létrehozására.

3. Nyomásmérő szenzort kalibráló rendszer

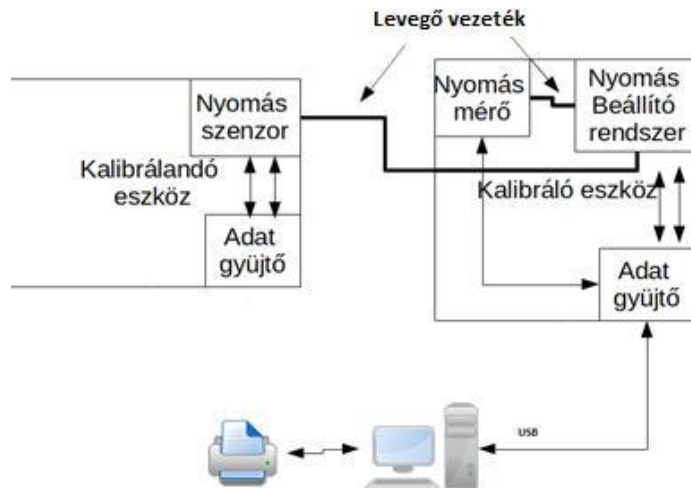
3.1 Specifikáció

A cél egy olyan eszköz létrehozása ami alkalmas különböző Légszennyezetség mérő berendezésekben található nyomásmérő szenzorok kalibrálásához. A kalibrálást úgy végiz el, hogy nincs szükség külső mérő műszerre, mert helyettesíti a nyomás forrást és a standard nyomás mérő eszközt is.

Az eszköz képes differenciál és abszolút nyomásmérő szenzor kalibrálására, a mérésekhez szükséges etalont az eszköz belső szenzorai szolgáltatják. A mérési tartomány differenciál nyomásmérő szenzor kalibrálása esetén 0-20mBar, abszolút nyomásmérő szenzor kalibrálása esetén 400 -1400 mBar. A rendszertől **elvárt kalibrálási pontosság $\pm 2\%$.**

Az eszközhöz **szükséges egy számítógépes program melynek segítségével könnyebben lehet vezérelni a mérést** és a mérés végén **mérési jegyzőkönyvet készít.**

3.2 Az eszköz felépítése és működése



Ábra 5
Eszköz felépítése

A rendszer logikailag két főbb egységre bontható fel. Az adatgyűjtő egységre és a mérést végző egységre, ami áll a nyomás mérőből és a nyomás beállító rendszerből.

Az adatgyűjtő rendszer feladata a felhasználóval és a számítógéppel való kapcsolattartás. A mérést vezérlő rendszer feladata a nyomás érték beállítása és a nyomásértékek vissza mérése.

A nyomásbeállítása a rendszerben egy fecskendő és három szelep segítségével történik. A kívánt nyomás előállítását a fecskendő dugatyujának léptető motorral történő mozgatásával és a megfelelő szelepek nyitásával, vagy zárásával érjük el. A szelepek beépítése azért volt fontos, hogy szükség esetén a levegőből plussz levegőt lehessen a rendszerbe injektálni, vagy eltávolítani.

Az eszközben a normál működésen kívül kialakításra került egy szerviz menü is aminek segítségével az eszköz különböző beállításaihoz és kálibrációjához lehet hozzá férni.

Az eszköz működése egyszerű, bekapcsolás után egy öntesztel, majd egy vezérlési mód választással (Manuális / számítógépes) indul, ezután a kezelő kiválaszthatja a mérés típusát (Abszolút / Differenciális). A mérés típus megadása után következik a kívánt nyomás érték beállítása, majd ezután elindul a mérés.

3.3 Az eszköz bevizsgálása és tesztelése

3.3.1 A tesztelése során tapasztalt problémák

Az eszközt több tesztelésnek is alávettem annak érdekében, hogy meggyőződjek arról, hogy megfelelően működik és használható kalibrálásra. Ezek során különböző megoldandó problémák merültek fel, ezek közül a három legfontosabbat emelném ki.

Első nehézség, ami megnehezítette a rendszer megfelelő működését, a fecskendő mozgatásának hatására jelentkező gyors nyomás érték változások. A probléma megoldásához be kellett vezetnem egy toleranciasávot amin belül a motor mozgatását megállítom és tartom a beállított értéket. Ezt a sávot 1%-ra választottam mert a szenzor teljes tartományú hibája is 1%.

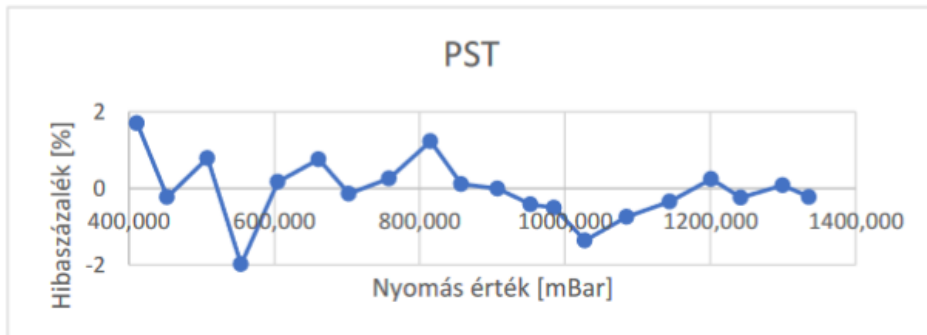
Gondot jelentet a határnyomás értékek beállítása is (400 mBar és 1400 mBar) ez több dologból származott. Az egyik ok a szivárgás, amit a tömítéssel és a szelepek nyitási és zárási idejének megfelelő beállításával tudtam korrigálni. A levegő beszívásból és kifújásból is származott probléma, mert amikor a fecskendőt megtöltöttem újra levegővel, akkor légnyomáson került be a levegő a rendszerbe és amikor rá engedtem a nyomás szenzorra, akkor a beállított nyomás érték módosult a légnyomás irányába. Ezt a problémát csak a csőhöz megnövelésével tudtam megoldani, hiszen így csökkent az a levegő mennyiség ami légnyomáson került be a rendszerbe.

A harmadik nagyobb problémát a kis differenciális nyomás érték beállítása okozta. A 0 mBar és 0,75 mBar közötti értékeket nem lehetett beállítani a kívánt tűrésen belül. A probléma oka a szenzor kvantálási hibája volt, ami jóval nagyobb mint az adatlapban szereplő teljes tartományra megadott hiba ami $\pm 1\%$ -a. Ezt a hibát csak úgy tudom javítani, ha kicserélem a szenzort egy pontosabb szenzorra.

3.3.2. Az eszköz bevizsgálása

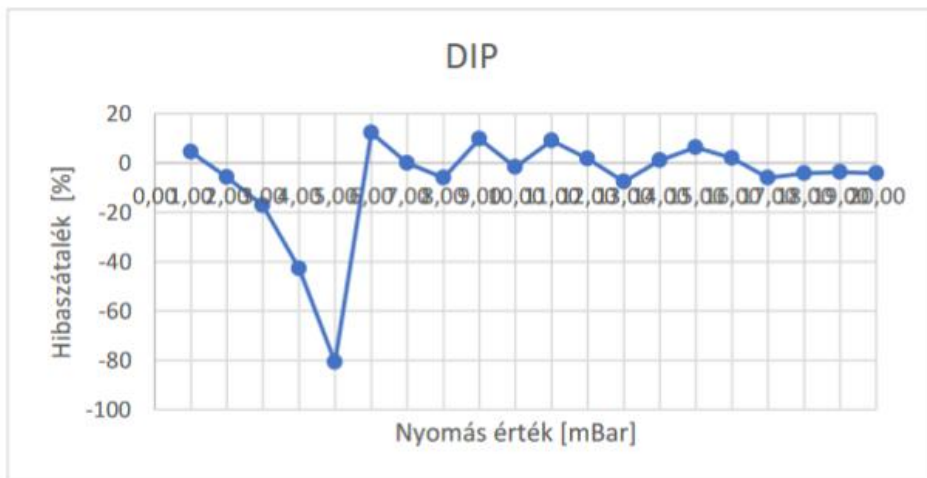
Az eszközt mielőtt használatba vennék fontos a szenzorok bevizsgálása és annak bizonyítása, hogy a mérés megfelelő.

A mérés alapját az MSZ EN IEC 62828-2:2018 szabvány képezte.



Ábra 6

Abszolút nyomásmérő szenzornyomás mérési eredmény



Ábra 7

Differenciál nyomásmérő szenzor mérési eredménye

A mérési eredmények alapján elmondható, hogy az eszköz működő képes és használható, de még a differenciál nyomásmérő szenzort be kell szabályozni. A mérés során azt tapasztaltam, hogy az eszközön a nyomás értékek nagyon gyorsan változtak ezért szükséges a jelenlegi átlagolási idő növelése és ezért a szabályozás időállandókat is módosítani kell.

4. Összefoglalás

A kutatásom során megismertem a kalibrálás folyamatát és a közben felmerülő hibákat. A **hiszterézis hibát**, a **hőmérséklet hibát** ami növelheti vagy csökkentheti a gáz nyomását attól függően milyen irányban térünk el a referencia nyomástól. A **légnomás hatását** a differenciál nyomás mérésére, amit egy komplexebb mérési elrendezéssel meg lehet mérni.

Az előzőekben bemutatott új eszközüm képes referencia nyomás előállítására és annak vissza mérésére is. Az eszköz elkészült és a kívánt paraméterek mellett használható. A tesztelés során további olyan hibákat fedeztem fel, ami befolyásolják a nyomás ellőállítását. Ilyen az **érték gyors változása**, ami egy tollerancia sáv bevezetézssel és átlagolással csökkenthető. A **kis és nagy nyomás értékek** beállítása, amit a beszívott, kifújt levegő okozott. A harmadik befolyásoló tényező **a szenzorok kvantálási hibája**.

Remélem cikkem felkeltette a szakemberek érdeklődését, kutatási anyagom és mérőeszközüm használható lesz számukra a további mérések során.

Köszönöm a támogatást és az ötletet Sándor Tamásnak.

Források:

- [1]. MSZ EN 472:2002
- [2]. MSZ EN 837-3:1998
- [3]. MSZ EN IEC 62828-2:2018

Az önvezető autók elfogadásában alul értékelt tényezők

Zilahy Dalma

Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola,

1034 Budapest, Bécsi út 96/b,

Magyarország

zilahy.dalma@gmail.com

Abstrakt: Az automatizált járműelfogadás a közúti biztonság javítása, a forgalmi torlódások csökkentése, a környezetszennyezés, és számos magasabb szintű cél megvalósításához szükséges. A mai napig keveset tudunk azokról a tényezőkről, melyek valóban befolyásolják a járművezetők elfogadását vagy elutasítását az önvezető technológiával kapcsolatban. Az elfogadás kritikus fontosságú az önvezető járművek széles körű elterjedése szempontjából. Jelen cikk azon tényezők bemutatására fókuszál, melyek hatását eddig alul értékelték az önvezető autók elfogadásában.

Kulcsszavak: automatizált járműelfogadás, közúti biztonság javítása, forgalmi torlódások csökkentése, környezetszennyezés.

1. Bevezetés

Az automatizált járműelfogadás a közúti biztonság javítása, a forgalmi torlódások csökkentése, a környezetszennyezés, és számos magasabb szintű cél megvalósításához szükséges. A mai napig keveset tudunk azokról a tényezőkről, melyek valóban befolyásolják a járművezetők elfogadását vagy elutasítását az önvezető technológiával kapcsolatban. Az 5. generációs vezeték nélküli hálózat gazdasági és technológiai fejlesztései tovább árnyalják az innovációkkal kapcsolatos bizalom mértékét. Az elfogadás kritikus fontosságú az önvezető járművek széles körű elterjedése szempontjából. Jelen cikk azon tényezők bemutatására fókuszál, melyek hatását eddig alul értékelték az önvezető autók elfogadásában. Az elfogadással kapcsolatban született elméletek, az énhatékonyság megélését, a tömegtájékoztatást, az információhoz való hozzáférés módját, és a társadalmi környezet hatását alulbecsülik. Az önvezető autók hatékony üzemeltetésének megélésén át, a társadalmi normarendszer személyre gyakorolt hatásán keresztül, és a megfelelő tömegkommunikációs csatornák által növelhetjük az önvezető autók széleskörű használatát.

Az önvezető autók használatbavételének szándéka mögött húzódozó humánspecifikus tényezők vizsgálata több modell alapjává vált. Igen nagy jelentőséggel bír a jövőben, hogy ki, mikor, miért, és milyen okból venné igénybe az önvezető technológiát. Tekintettel arra, hogy az eddigi vizsgálatokban szereplőknek jelenleg minimális a személyes tapasztalatuk önvezetéssel kapcsolatban, így az eredmények főleg azon válaszok eredményeire támaszkodnak, melyeket elképzelt vagy éppen aktuálisan gondol a válaszadó.

2. Az elfogadással kapcsolatos modellek

A Technológiai Elfogadási Modell alapján a használati szándékot az “észlelt hasznosság” és a “használat egyszerűsége” befolyásolja leginkább. A hasznosság kérdése összetett, ami hasznos a társadalomnak, gazdaságnak, a környezetvédelemnek, az nem feltétlenül hasznos a minden felhasználónak, azaz jelen életében nem feltétlenül térül meg. A hasznosság ebben az értelemben egyénekenként változik.

A “használat egyszerűsége” már jobban körülhatárolható technikai szempontból. Minél egyszerűbben hozzá lehet férni egy önvezető autóhoz, applikációs segítségével, és minél egyszerűbb a működtetése, annál vonzóbb a felhasználó számára. Azonban e tekintetben nem szabad elfeledkeznünk a generációs és infrastruktúrális különbségekről sem.

Ezen felül számos olyan változót tartanak még számon a kutatások – bizalom, észlelt biztonsági kockázat, személyiség tényezők, társadalmi normák – melyek befolyásolják a használatba vételi szándékot.

Az Automatizált járműelfogadás modellje, azt a mentális folyamatot összegzi 4 lépcsőben, melyen a legtöbb felhasználó végig megy. Az automatizált járműelfogadás (MAWA modell) 4 szintű modelljének első szintjén a kedvező, illetve kedvezőtlen attitűdök foglalnak helyet, vagyis azon viszonyulás, magatartás, szellemi beállítottság, ahogyan az önvezetés kérdéséhez állunk.

A második szint a döntés fázisa, ahol megszületik a választás az önvezető autók elfogadásáról vagy elutasításáról.

A harmadik szinten a gyakorlatba való átültetés zajlik, azaz személyes tapasztalatot szerzünk, majd a negyedik szinten, a modell alapján 7 elfogadási osztály szempontjait mérlegeljük.

Mikro szinten főleg szociodemográfia, személyiségbeli, és utazási magatartásra vonatkozó változókat tesznek. Mezo szinten az AV-k egyénre gyakorolt változóit sorolják fel, melyek eszköztartomány specifikus, normatív és affektív tényezőkből állnak.

Külön osztályba sorolják mezo szinten az AV-nak kitett és már személyes tapasztalattal bírókat, a jármű tartomány-specifikus jellemzőit – teljesítmény, biztonság, hatékonyság, szolgáltatás – és elkülönítik a szimbólikus jelentőséggel, és erkölcsi értékekkel bíró tényezőket. Összesen 28 elfogadási tényezőt rendez 7 osztályba a modell.

Már ez alapján is érzékelhető, hogy mennyire nehéz bejósolni végül, hogy kinél és milyen szempontok alapján dől el az önvezető autók használata.

Az önvezetés elfogadása szempontjából és az eddigi modellek alapján alul értékelt tényezők közé sorolhatók az önértékelés, a tömmegekommunikációs- és innovációs hatások, illetve az információkhoz való hozzáférés módja [1, 2].

3. Társas kapcsolatok, szubjektív normák, kulturális miliók hatása

Az egyén viselkedési szándékát számos tényező befolyásolja. Bandura Szociális Kognitív Elmélete szerint a közvetlen fizikai környezetet, a társas kapcsolatok, a kulturális miliók, a társadalmi normákat és értékeket, illetve a társak befolyása meghatározza azt, hogyan gondolkodunk a világról és önmagunkról [3-5].

Egy 2016-os kutatásban idealizált és valósághű ábrázolások elolvasása után vizsgálták az önvezető autók elfogadását. A 24 tételből álló teszt felvétele előtt véletlenszerűen rövid történeteket olvastattak a résztvevőkkel, amelyek reális vagy idealista leírást tartalmaztak egy barátjuk tapasztalatairól az önvezető autó használatának első hónapjában.

Az idealizált ábrázolás olvasása az önvezető autók nagyobb elfogadottságát eredményezte. Felmerül a kérdés ezután, hogy az önvezetés elfogadtatásának mi is a leghatékonyabb módja: elnyerni egy jó barát tapasztalati úton szerzett bizalmát vagy szakfolyóiratokban népszerűsíteni az autók növekvő hatótávolságát, illetve a vezetést segítő funkciók bővülését.

Vajon a következő generáció milyen alapon és milyen tények figyelembevételével választja majd az önvezetést, és a mostani sofőröket milyen szempontok vezérlik leginkább az önvezetés elfogadásában.

4. A közösségi media közvetett hatása

A Szociális Kognitív Elmélet alapján a környezeti hatások közül az egyik legmeghatározóbb tényező a media. Az önértékelésre az énhatékonyságérzés és a szubjektív normák hatnak leginkább; a viselkedésre a technológia iránti bizalom és az önvezető járművek használatának szándéka hat leginkább.

A technológia iránti bizalmat, és a járműhasználatot ma leginkább a tömegmédia befolyásolja. A tömegmédia adásokat, filmeket, videojátékokat, hangfelvételt, sokszorosítást, internetet blogokat, RSS -hírcsatornákat, podcastokat, mobil médiát és a nyomtatott sajtót foglalja magában [12].

Fraedrich és Lenz 2016-os kutatásában a válaszadók 57% -a állítja, hogy általában érdeklőket az autonóm vezetés témája, és 78% -a elsősorban tömegtájékoztatás útján szerez információt a témával kapcsolatban [7]. A közösségi media – pl. Facebook, Twitter vagy Wechat befolyásolja a lakosság önvezető autók üzemeltetésére való hajlandóságát.

Kohl és munkatársai 642 033 tweet elemzés alapján megállapították, hogy a kommunikációs stratégiákat újra kell gondolni az előnyök és hátrányok torzítása miatt. Az előnyök túlbecslése helytelen használathoz, majd csalódáshoz, míg a kockázatok túlbecslése ellenálláshoz vezet. Azt találták, hogy az emberek elfogadóbbak, miután már használták a prototípusokat, azonban a megnövekedett biztonsági funkciók a kontrollvesztés élményét eredményezték [11].

A fogyasztók önvezető autókkal kapcsolatos felfogásában és a viselkedés ingadozásában a tömegmádia által sugárzott pozitív vagy negatív elfogultság nagy szerepet játszik.

Az új, feltörekvő technológia esetében nincs személyes tapasztalat, így a média nagyobb szerepet kap a termékvásárlási preferenciában.

A tömegtájékoztató jelentősen befolyásolja a fogyasztók önvezető autókba vetett bizalmát is és elősegíti az innovatív technológiák megértését. A média kulcsszerepet játszik az új termékek bizonytalanságának csökkentésében azáltal, hogy érthető formában nyújt információkat (Benjamin, 2012) Ellenkező esetben a fogyasztók kételkedni fognak abban, hogy el tudják-e sajátítani az önvezető autók használatát.

Mások véleménye - család, barátok, kollégák stb – is befolyásolja a fogyasztó viselkedését. A szubjektív normák határozott és pozitív hatást gyakorolnak az észlelt hasznosságra, a használathoz való hozzáállásra.

5. A szociális media, a szubjektív normák és az éhatékonyság egymásra gyakorolt hatása

A szubjektív normák megváltoztatják az értékelést és hatással vannak viselkedésre, és ez megváltoztathatja a termék iránti bizalmukat [13].

A tömegtájékoztató hatással van a szubjektív normákra. A normák hitek, mások viselkedéséről és annak értékeléséről, mely hatást gyakorol ítéletalkotásunkra és vélekedésünkre.

A tömegtájékoztató szintén hatással van az éhatékonyságra. Az éhatékonyság [3] úgy határozható meg, mint az egyén hiedelmei arra vonatkozóan, hogy képes olyan teljesítményt nyújtani, ami befolyással van az életét meghatározó eseményekre. A magas éhatékonyságérzéssel bíró személyek, a bonyolult, összetett feladatokat kihívásként kezelik, míg az alacsony éhatékonyság érzés inkább egy elekerülő attitűdhez vezet. Az éhatékonyság érzés számos forrásból táplálkozik, a legfontosabb a gyakorlati tapasztalat, azonban más helyettesítő tapasztalás, tanulás útján is kialakulhat. Amennyiben más, hozzánk hasonló személyek példáját látva, a kitartó munka eredményeként tapasztalt siker vagy kudarc által a mi személyes éhatékonyságérzésünk is növekedhet vagy csökkenhet.

Ezáltal tehát, ha a tömegkommunikáció az önvezető autók használatát pozitívan festi le, és erről a felhasználó ítélete és értékelése is pozitív, akkor képes a viselkedésre hatást gyakorolni. A viselkedést az éhatékonyság érzése erősítheti meg, az a gyakorlati személyes vagy mások által megélt pozitív tapasztalat, hogy képes hatékonyan használni a személy az önvezető autót és ebbéli tapasztalatai során nem vall kudarcot.

Egy önvezető sikló utasainak benyomásait vizsgálták EUREF (Europäisches Energieforum) berlin-schönebergi kampuszán egy interjúvizsgálatban 30 felhasználó által. A kutatás alátámasztotta, hogy a résztvevőknek idealizált elvárásaik voltak az automatizált sikló technológiai képességeivel kapcsolatban, amit a média is elősegíthetett.

A válaszadók 20%-a jelezte, hogy egy külső irányító terem felügyeletének vagy a fedélzeten tartózkodó utaskísérő jelenlétének jobban örülne, mint a felügyelet nélküli automatizálásnak.

Egy amerikai kutatás szerint a férfiak nagyobb hajlandóságot mutattak a vezetés irányításának átadására. A nők és a nagyobb lelkiismeretesség összefüggésbe hozható az AV-vel kapcsolatos nagyobb aggodalommal, míg az AV-ról való előzetes tudás segíti az önvezetéssel kapcsolatos aggodalom csökkentését.

Az érzelmi stabilitás és a tapasztalatokra való nyitottság pozitív előrejelzői voltak az AV elfogadására való hajlandóságnak, míg a lelkiismeretesség negatív előrejelző volt.

Az extroverzió pedig negatív kapcsolatban állt a vezetés irányításának átadására való hajlandósággal. [6-9]

A szubjektív normák határozott és pozitív hatást gyakorolnak az észlelt hasznosságra, a használathoz való hozzáállásra [10-12]. A szubjektív normák megváltoztatják az értékelést és hatással vannak viselkedésre, és ez megváltoztathatja a termék iránti bizalmat [13-18]. A család, a barátok, a kollégák véleménye befolyásolja a fogyasztó véleményét. A tömegtájékoztatás, a szubjektív normák, és az énhatékonyság együttes hatást gyakorol a felhasználó bizalmára, és a viselkedési szándékára. A facebook-on, twitter-en, chat-en és más közösségi médián keresztül érkező információ, illetve a társas hatások és annak megélése, hogy képesek vagyunk az önevezető autók használatát kihívásként kezelni, azaz megélni azt hogy hatással vagyunk az életünk egy meghatározó eseményére együttesen befolyásolják az AV-k jövőbeli felhasználását [19-29].

6. Jövőbeli célkitűzések

Az eddigi kutatások alapján, a jövőbeli felhasználó prototípusa kevésbé lelkiismeretes, introvertált férfi, aki előzetes tudással bír az AV-kal kapcsolatban. A közösségi média útján tájékozódik (pl. Facebook, Twitter, WeChat), és úgy véli egyszerű az önevezető járművek használata. Érzelmileg stabil, nyitott az új tapasztalatokra, már több családtagja, barátja, kollégája is hasznosnak tartja vagy használja az önevezető járműveket és előzetesen idealizált történeteket hallott az önevezető járművekről [30-37].

7. Összefoglalás

A tanulmány azon tényezők bemutatására fókuszál, melyek hatását eddig alul értékelték az önevezető autók elfogadásában. A jövőben az önevezető autók népszerűsíteni kívánó cégeknek a közösségi médián keresztül minél érthetőbb és egyszerűbb módon kell leírni az önevezést. Főleg a Facebook-on, Twitteren, Chat-en, YouTube-on keresztül kell információt közölni. Az önevezést az érzelmi stabilitáshoz és nyitottság vonásához kell kapcsolni. A nők számára lehetővé kell tenni a körültekintést, és meg kell értetni velük a vezetés átadásával járó előnyöket. A járművek ellenőrizhetőségét is kommunikálni kell. Az énhatékonyság növelése érdekében át kell élnie a felhasználónak a használat egyszerűségét, és meg kell értenie miért hasznos az életében. A használatot közösségi élményhez, közösségéhez kell kötni a szociális normák hatása miatt, és nyílt napok, tesztpályák, próbautak által lehetővé kell tenni a személyes tapasztalatszerzést.

Irodalomjegyzék

- [1] Abraham, H., C. Lee, S. Brady, C. Fitzgerald, B. Mehler, B. Reimer, and J. F. Coughlin. 2017. Autonomous Vehicles and Alternatives to Driving: Trust, Preferences, and Effects of Age. In Proceedings of the Transportation Research Board 96th Annual Meeting (TRB '17), Washington DC.
- [2] Ajzen, I., and M. Fishbein. 2005. The Influence of Attitudes on Behavior. In The Handbook of Attitudes, edited by D. Albarracín, B. T. Johnson and M. P. Zanna, 173–222, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [3] Bandura, A., 2005. The evolution of social cognitv theory. In Great minds in management 9-35. Oxford: Oxford University Press.
- [4] Charlie, H., Politis, I., Amanatidis, T., and Sarkar. S., 2019. Assessing Public Perception of Self-Driving Cars: the Autonomous Vehicle Acceptance Model. In 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '19), March 17–20, 2019, Marina del Ray, CA, USA. ACM, New York, NY, USA, 11 pages. <https://doi.org/10.1145/3301275.3302268>
- [5] Cho, Y., J. Park, and E. S. Jung. 2017. Technology Acceptance Modeling Based on User Experience for Autonomous Vehicles. In Journal of Ergonomics Society Korea 36: 87–108.
- [6] Dua, H., Zhua, G., Zheng, J., 2020. Why travelers trust and accept self-driving cars: An empirical study. In Travel Behaviour and Society 22 (2021) 1–9.
- [7] Fraedrick, E., Lenz, B., 2016. „Societal and individual acceptance of autonomous driving: opportunities, barriers and policy recommendations. Transp. Res. Part A: Policy Practice 77, 167-181.
- [8] Hudson, J., M. Orviska, and J. Hunady. 2019. People’s Attitudes to Autonomous Vehicles. In Transportation Research Part A: Policy & Practice 121: 164–176.
- [9] Hohenberger, C., Spörrle, M., and Welpel, I., M., 2016. How and why do men and women differ in their willingness to use automated cars? The influence of emotions across different age groups. In Transportation Research Part A 94 (2016) 374-385.
- [10] Kim, K.S., Yoo-Lee, E., Joanna Sin, S. C., 2011. Social media as infromation source: undergraduates’ use and evaluation behavior. Proc. Am. Soc. Inform. Sci. Technol. 48 (1), 1-3.
- [11] Kohl, C., M. Knigge, G. Baader, M. Böhm, and H. Krcmar. 2018. Anticipating Acceptance of Emerging Technologies Using Twitter: The Case of Self-Driving Cars. In Journal or Business Economics 88 (5): 317–642.
- [12] Manohar, U., 2011. Different types of mass media. Buzzle.com.
- [13] McKnight, D.H., Choudhury, V., Kacmar, C., 2002. Developing and validating trust measures for e-commerce: an integrative typology. Inform. Syst. Res. 13 (3), 334-359.
- [14] Nees, M. A. 2016. Acceptance of Self-Driving Cars: An Examination of Idealized Versus Realistic Portrayals with a Self-Driving Car Acceptance Scale. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 60 (1): 1449–1453.
- [15] Nordhoff, S., Kyriakidis, M., Arem, B., and Happee, R., 2019. A multi-level model on automated vehicle acceptance (MAVA). In The Theoretical Issues in Ergonomics Science, 20:6, 682-710.

- [16] Nordhoff, S., J. De Winter, R. Madigan, N. Merat, B. Van Arem, and R. Happee. 2018. User Acceptance of Automated Shuttles in Berlin-Schöneberg: A Questionnaire Study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior* 58: 843–854.
- [17] Payre, W., J. Cestac, and P. Delhomme. 2014. Intention to Use a Fully Automated Car: Attitudes and a Priori Acceptability. In *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior* 27: 252–263.
- [18] Steg, L., C. Vlek, and G. Slotegraaf. 2001. Instrumental-Reasoned and Symbolic-Affective Motives for Using a Motor Car. In *Transportation Research Part F* 4 (3): 151–169.
- [19] Gyula Mester, Sensor Based Control of Autonomous Wheeled Mobile Robots, *The Ipsi BgD Transactions on Internet Research, TIR*, Vol. 6, Issue 2, pp. 29-34, 2010.
- [20] Gyula Mester, Backstepping Control for Hexa-Rotor Microcopter, *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering*, Vol. 8, Issue 3, ISSN 2067–3809 Faculty of Engineering Hunedoara, pp. 121-125, 2015.
- [21] Gyula Mester, Modeling of Autonomous Hexa-Rotor Microcopter, *Proceedings of the IIIrd International Conference and Workshop Mechatronics in Practice and Education (MechEdu 2015)*, pp. 88-91, 2015.
- [22] Gyula Mester, New Trends in Scientometrics, *Proceedings of the 33rd International Scientific Conference Science in Practice*, pp. 22-27, 2015.
- [23] Aleksandar Rodic, Gyula Mester, Control of a Quadrotor Flight, *Proceedings of the ICIST Conference*, pp. 61-66, 2013.
- [24] Gyula Mester, Aleksandar Rodic, Navigation of an Autonomous Outdoor Quadrotor Helicopter, *Proceedings of the 2nd International Conference on Internet Society Technology and Management (ICIST)*, pp. 259-262, 2012.
- [25] Aleksandar Rodic, Gyula Mester, Ambientally Aware Bi-Functional Ground-Aerial Robot-Sensor Networked System for Remote Environmental Surveillance and Monitoring Tasks, *Proceedings of the 55th ETRAN Conference, Section Robotics*, Vol. RO2 5, pp. 1-4, 2012.
- [26] Josip Kasac, Vladimir Milic, Josip Stepanic, Gyula Mester, A Computational Approach to Parameter Identification of Spatially Distributed Nonlinear Systems with Unknown Initial Conditions, *2014 IEEE Symposium on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space (RiSS)*, pp. 1-7, Publisher IEEE, 2014.
- [27] Gyula Mester, Metode naučne metrike i rangiranja naučnih rezultata, *Proceedings of 57th ETRAN Conference*, pp. RO3, pp. 5.1-3, 2013.
- [28] Attila Albini, Gyula Mester, László B. Iantovics, Unified Aspect Search Algorithm, *Interdisciplinary Description of Complex Systems, INDECS*, Vol. 17, Issue 1-A, pp. 20-25, Publisher: Hrvatsko interdisciplinarno društvo, 2019.
- [29] Gyula Mester, The Evaluation of the Impact Factor of the Journal *Acta Polytechnica Hungarica*, *Proceedings of the TREND Conference*, pp. 70-73, 2011.
- [30] Gyula Mester, Felsőoktatási világranglisták 2011, *Proceedings of the Conference Informatika a felsőoktatásban*, pp. 269-277, Debrecen, Hungary, 2011.
- [31] Gyula Mester, Univerziteti regiona na Šangajskoj rang listi univerziteta u svetu 2012, *Zborni radova XIX Skupa Trendovi razvoja*, pp. 1-5, 2013.
- [32] Jelena Pisarov, Gyula Mester, Programming the mBot Robot in School, *Proceedings of the International Conference & Workshop Mechatronics in Practice and Education (MechEdu 2019)*, ISBN 978-86-918815-5-9, pp. 45-48, Subotica Tech - College of Applied Sciences, Subotica, Serbia, 12.12.2019.

- [33] Jelena Pisarov and Gyula Mester, The Impact of 5G Technology on Life in the 21st Century, IPSI BGD Transactions on Advanced Research (TAR), Vol. 16, No. 2, pp. 11-14, ISSN 1820-4511, July 2020.
- [34] Gyula Mester, Jelena Pisarov and Dalma Zilahy, Magyarországi robotikai kutatók ranglistája, XXXV. Jubileumi Kandó Konferencia 2019 (JKK2019), ISBN 978-963-449-163-7, pp. 224-233, University Óbuda, Budapest, Hungary, November 14-15, 2019.
- [35] Gyula Mester, Jelena Pisarov and Endre Németh, Óbudai Egyetem rangsorolása a Webometrics 2019-es ranglistákon, XXXV. Jubileumi Kandó Konferencia 2019 (JKK2019), ISBN 978-963-449-163-7, pp. 234-240, Óbuda University, Budapest, Hungary, November 14-15, 2019.
- [36] Gyula Mester, Aleksandar Rodic, Modeling and Navigation of an Autonomous Quad-Rotor Helicopter, E-society Journal: Research and Applications, Vol. 3, No. 1, pp. 45-53, 2012.
- [37] Bautista César, Human Perception inside of a Self-Driving Robotic Car, IPSI Transactions on Advanced Research, Vol. 17, No. 2, pp. 50-56, ISSN 1820 – 4511, July 2021.

Automatikus kártevő azonosítás és számlálás

Braun Ferenc, Molnár Zsolt

Óbudai Egyetem, Budapest, 1034. Bécsi út 96/B,
braun.ferenc@kvk.uni-obuda.hu, molnar.zsolt@kvk.uni-obuda.hu

Abstrakt: Az integrált kártevő-szabályozás célja a megfelelő, egyedi növényvédelmi stratégia kidolgozása minden rendelkezésre álló paraméter ismeretével. Ez azt jelenti, csak akkor juttatunk a környezetbe biokémiai szert, amikor tényleg szükséges, és csak olyat, ami a jelen lévő, valamint a várhatóan megjelenő kártevőkre van hatással. A jó stratégia kidolgozásához számos adatra van szükség, többek között a kártevők sűrűségének meghatározására. Az általunk megtervezett rendszer célja, hogy biztosítson egy olyan mobil, kültéri berendezést, amely képes a rovarkártevők, elsősorban a molyfélék sűrűségének detektálására és ezen adatok vezetékek nélküli továbbítására, valamint későbbi megjelenítésére. A cikkben bemutatott rendszer tehát segítheti a gyümölcsösök integrált kártevő-szabályozási eljárásának tervezési szakaszát, és hatékonyságának ellenőrzését azzal, hogy folyamatosan képes adatokat szolgáltatni a kártevő-sűrűség alakulásáról, minimális emberi beavatkozás mellett. Az általunk tervezett rendszer nagymértékben hozzájárulhat a terméshozam növeléséhez és jelentős mértékben támogathatja az agrármérnöki tevékenységet.

Kulcsszavak: integrált növényvédelem, kártevő sűrűség, mesterséges intelligencia, gépi látás, neurális hálózat

1. A probléma ismertetése

A növénytermesztési folyamatok során a művelt terület erőforrásként jelenik meg az ember és a kártevők számára egyaránt. Kimondható az az összefüggés, hogy minél nagyobb a termelési felület, annál valószínűbb az élősködők megjelenése. A kártevők képesek akár a terményt vagy rosszabb esetben a terményt adó növényt teljesen tönkre tenni. A termelésben elvárt a magas hozam és minőség, amely nagyban függ a megfelelő szintű és módszerű kártevők elleni védekezéstől. A védekezéshez a gyakorlatban legtöbbször kémiai védekezést alkalmaznak, azonban a vegyszerek nemcsak a kártevők ellen hatnak, hanem a talajban lévő hasznos élőlényekre, a terményre és végső soron az emberre is. Beláthatjuk, hogy a kemikáliák használatának komoly következményei lehetnek, ezért a kezeléseket nem lehet „találomra” végezni, hanem tudatosan, következetesen kell tervezni. A tervezést segíti a kártevők sűrűségének becslése, valamint a különböző kártevő fajok megjelenésének detektálása. Ez a módszer része az úgynevezett integrált kártevő-szabályozási eljárásnak.

Az integrált kártevő-szabályozás célja a megfelelő egyedi növényvédelmi stratégia kidolgozása minden rendelkezésre álló paraméter ismeretével. [1] Ez azt jelenti, hogy csak akkor és csakis akkor juttatunk a környezetbe biokémiai szert, amikor tényleg szükséges és csak olyat, ami a jelen lévő, valamint az esetleg megjelenő kártevőkre van

hatással. A jó stratégia kidolgozásához számos adatra van szükség, többek között a folyamatosan mért kártevő-sűrűsége. Az általunk tervezett rendszer nagymértékben hozzájárulhat az agrármérnökök tervezési tevékenységének sikerességéhez, mert pontos információt képes folyamatosan szolgáltatni, minimális emberi beavatkozás mellett.

2. A kártevő azonosító és számláló rendszer kialakítása

Az általunk kifejlesztett rendszer lehetséges megoldásainak feltérképezése előtt kutatásokat végeztünk a meglévő, gyakorlatban is alkalmazott módszerek tekintetében, valamint konzultáltunk a Szent István Egyetem Kertészettudományi Karának kutatóival. Megtudtuk, hogy a jelenlegi, gazdaságosan és nagy megbízhatósággal használható módszer a „ragadós lapok” használata. Ezek mellett a lemezek mellett az adott rovarfajra specifikus feromonnal töltött tartály van elhelyezve, ami 100-300 méterről, esetenként több kilométerről odavonzza az állatokat. A lemez ragadós bevonata csapdába ejti a rovarokat, amelyek számát és azonosítását (faj azonosítás) emberi erővel kell elvégezni. Ez a módszer bár azonosítás és számlálás szempontjából igen megbízható, de gyakori kijárást igényel a vizsgált területre, valamint ritka ellenőrzésnél nem ad kellő információt a kártevő-sűrűség időbeli változásáról.

2.1 A követelmények

A rendszerünkkel szemben támasztott követelmények egy része adott volt a fentiek alapján:

- alkalmazzuk a bevált rovargyűjtő rendszert (rovarokat vonzó ragadós lap)
- érzük el a jelenlegi, emberi munkát igénylő azonosítás és számlálás megbízhatóságát és pontosságát
- legyen minimális emberi munka szükséglete a folyamatnak, azaz automatizáljuk a tevékenység minél nagyobb részét, elsősorban az azonosítást és a számlálást
- a rendszer legyen olyan, hogy képes legyen az igényeknek megfelelő felbontással adatot szolgáltatni a kártevő-sűrűségről

A további követelmények az előző követelmények teljesítéséhez szükségesek, vagy azokból következnek, illetve egyéb, pl. kényelmi célokat szolgálnak, esetenként pedig a továbbfejleszhetőség lehetőségét adják meg:

- szabadban való üzemeltethetőség tavasztól ősziig, minimum IP55, de inkább IP65 védettség. Üzemi hőmérséklet tartomány: -10...50 °C, vagy tágabb
- hálózathoz nem kötött tápellátás
- nagy hatótávolságú vezeték nélküli kapcsolat a központ felé
- helyben történő kártevő azonosítás és számlálás távfelügyelet lehetőségével

- működési zavar, gyűjtőlap-elhasználódás, illetve rongálási vagy eltulajdonítási esemény érzékelése és jelzése
- környezet-érzékelők (hőmérséklet, relatív páratartalom, talajnedvesség, stb.) integrálása vagy csatlakoztathatósága
- közeli, nagysebességű vezeték nélküli kapcsolat (karbantartás, adatok kinyerése)
- alacsony költség mind a rendszer elemei, mind a rendszer üzemeltetése tekintetében
- a kihelyezett egységeknél alacsony tömeg, kis méret
- az adatfogadó, adatfeldolgozó és megjelenítő (szerver):
 - biztosítson kétirányú kommunikációt a kültéri egységgel
 - tárolja visszakövethetően a beérkező nyers, és a már feldolgozott adatokat
 - legyen képes menedzselni egy több kültéri egységgel üzemelő komplex rendszert

2.2 A rendszerterv

2.2.1 Áttekintő rendszerterv és a funkciók elosztása

A fenti követelmények alapján elkészítettük az áttekintő rendszertervet, amelyet az alábbi ábra szemléltet.



1. ábra - Az automatikus kártevő azonosító és számláló eszköz áttekintő rendszerterve

A rendszerterv két fő eleme a kültéri rovargyűjtő és számláló berendezés, valamint az adat fogadó, feldolgozó és megjelenítő szerver. A két fő elem között a kapcsolat a középben szimbolikusan jelzett vezeték nélküli kapcsolaton keresztül jön létre.

A két fő egység feladatait a következőképpen határoztuk meg:

- kültéri rovargyűjtő és számláló berendezés
 - rovarok faj szerinti szelektálása (kombináltan kémiai és biológiai úton, valamint digitális képfeldolgozáson alapuló megoldásokkal)
 - kártevők számlálása (digitális képfeldolgozáson alapuló módszerekkel)
 - környezeti jellemzők mérése
 - eszköz helyének meghatározása, leesés-detektálás
 - fényképek készítése, továbbítása
 - helyi konfiguráló felület biztosítása vezeték nélküli kapcsolattal
- adat fogadó, feldolgozó és megjelenítő szerver
 - kültéri egységek nyilvántartása, monitorozása, helyének megjelenítése
 - beérkező adatok adatbázisban való tárolása
 - fényképek megjelenítése, azonosítási vagy számlálási hibák korrekciójának lehetősége
 - statisztikák, grafikonok, stb. készítése, döntéstámogatás

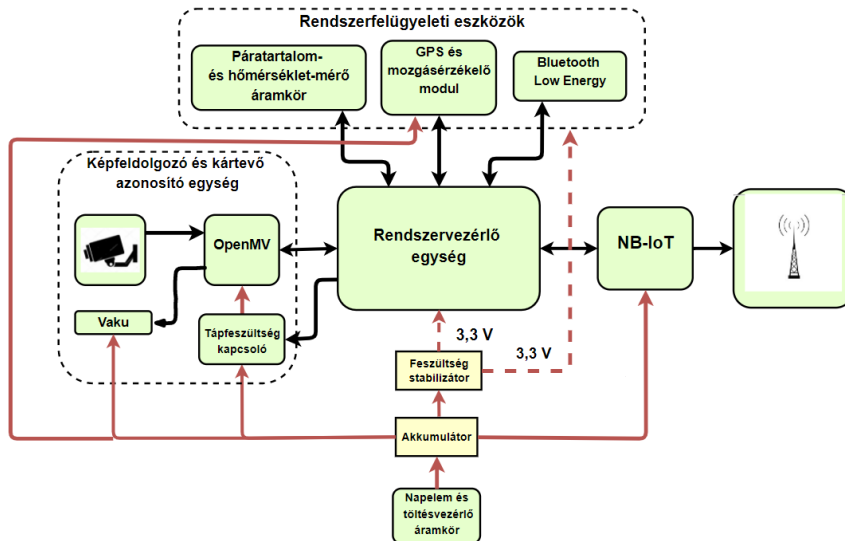
A hangsúlyt elsősorban a kültéri egység kifejlesztésére fektettük, a szerver oldal funkciót csak olyan mértékben dolgoztuk ki, amely a teszteléshez, az ellenőrzéshez, és alapszintű működtetéshez (tesztüzem) megfelelő.

2.2.2 A kültéri egység rendszerterve

A kültéri egység rendszertervének kialakítása előtt sort kerítettünk a lehetséges megoldások felderítésére és összehasonlítására, jelen cikkben többnyire csak a végeredményt ismertetjük. Igyekeztünk olcsó, megbízható, hardver és szoftver oldalról is jól támogatott eszközöket választani. Ahol lehetett, ott korábban bevált, hosszú ideje megfelelően üzemelő részegységeket, megoldásokat „emeltünk át” más projektekből. A 2. ábra mutatja a kialakított rendszertervet.

A kültéri egység főbb részegységei:

- képfeldolgozó és kártevő azonosító egység
- rendszervezérlő egység
- NB-IoT kommunikációs egység
- rendszerfelügyeleti eszközök egysége
- tápenergia-ellátás elemei



2. ábra – A kültéri rovargyűjtő és számláló egység rendszerterve

2.3 Az adat fogadó, feldolgozó és megjelenítő szerver vázlatos rendszerterve

A korábbiakban említettük, hogy ez a részt egyelőre csak olyan szinten dolgoztuk ki, amely alig mutat túl azon a szinten, amely csak a rendszer működőképességének igazolására alkalmas. A felépítést vázlatpontokban ismertetjük, illetve az elemek közötti kapcsolatot és az elemek feladatát definiáljuk röviden. Főbb elemek:

- a szerver adatbázisa (MySQL)
 - regisztrált eszközök azonosítóinak tárolása
 - a regisztrált eszközökhöz rendelt adatbázisban a fogadott adatok tárolása (időbélyeg, kártevők száma, rendszerfelügyeleti adatok, a rovargyűjtő lap képe...)
- adatfogadó háttér szolgáltatás, amely egy webcímen kialakított MQTT szerverhez való csatlakozást biztosítja, és ellenőrzi a beérkező adatok integritását
- weboldal, amely a grafikus megjelenítést és bizonyos szintű távoli diagnosztikát és konfigurálást tesz lehetővé (térképen megjelenített eszköz-pozíció, legutóbbi kép, detektált kártevő szám, rendszerfelügyeleti adatok)

A rendszerterv további kidolgozása szükséges, amelyet meg is kell majd valósítani. A rendszertervet a felhasználók igényei szerint fogjuk továbbfejleszteni.

3. A kültéri egység főbb elemeinek kiválasztása, és a kültéri egység megtervezése

3.1 A kültéri egység főbb elemeinek kiválasztása

A képfeldolgozó és kártevő azonosító egység fő eleme egy nagy számítási kapacitású ARM mikrokontrollerrel egybeépített, optikával ellátott kamera modul, amely kiegészítő egységeket is tartalmaz. A modul típusa OpenMV M7. Az energiahatékonyság érdekében a modult kapcsolható tápfeszültségről látjuk el energiával, valamint az éjszakai, vagy rossz fényviszonyok közötti felvétel készítést egy vaku egységgel tettük lehetővé. Az OpenMV M7 szoftver támogatottsága igen jó (saját fejlesztőkörnyezet, célfüggvények, példák, stb.), ez is indokoltá teszi a használatát. A készülék fizikai kialakítása miatt fontos, hogy a kamera optikája a szabványos, 105 x 148 mm-es gyűjtőlap teljes befogásához minimum 104 mm-re kell, hogy legyen a laptól [2].

A rendszervezérlő céljára bármilyen közepes számítási teljesítményű mikrovezérlő megfelelő, a feladata a többi egység működésének összehangolása, a kapcsolatok megteremtése (interfész funkció). Megoldhattuk volna a rendszer vezérlését az OpenMV modullal is, de a külön rendszervezérlő lehetővé teszi, hogy a nagyobb fogyasztású egységeket (köztük az OpenMV modult) minél hatékonyabban menedzseljük, így az akkumulátorban tárolt energiát magasabb hatékonysággal használjuk fel. A rendszervezérlőként egy Microchip gyártmányú 16 bites mikrovezérlőt használtunk (PIC24FJ128GA202).

A szerver felé a kommunikációt NB-IoT-vel oldottuk meg. Az NB-IoT mellett több más nagy hatótávolságú, alacsony fogyasztású kommunikáció elemzése és összehasonlítása után döntöttünk. Felmerült még a LoRaWAN és a Sigfox alkalmazásának lehetősége is. Bár a LoRaWAN és a Sigfox előnye, hogy a hálózat létrehozása után az üzemeltetésen kívül egyéb költség nem merül fel (pl. forgalmi díj), de az országban (Magyarország) jelenleg nem kielégítő a lefedettség. Természetesen saját rendszert (pl. LoRaWAN átjárókkal, szerverekkel) lehet létrehozni, de ez a rendszer költségeit jelentősen megnövelné. A LoRaWAN és a Sigfox nagy hátránya az ISM sáv használata. A Sigfox napi adatmennyiség-átviteli korlátja kb. 1,6 kB [3], a LoRa kapcsolat pedig adatátviteli sebesség és sávkihasználási korlát miatt nem megfelelő [4], ugyanis időnként (főleg a tesztidőszakban) fényképek átvitelét is meg szeretnénk oldani. Hazánkban mindhárom nagy szolgáltató biztosít NB-IoT hálózatot, így az összesített területi lefedettség 90% felett van. Az adatátviteli sebesség felfelé 150 kbit/s [5], ami a mai viszonyok között nem túl magas, de a kínákozó megoldások között messze a legjobb. A napi forgalmazható adatmennyiség előfizetés-függő, de megfelelő előfizetéssel napi több nagyfelbontású fénykép és egyéb adat is probléma nélkül felküldhető.

A rendszerfelügyeleti eszközök egysége tartalmazza a környezeti jellemzőket (hőmérséklet, páratartalom) mérő elemeket (Si7006), az eszköz telepítési helyének, és eltulajdonítás esetén az aktuális pozíciójának meghatározására alkalmas GPS vevőt (L80R), a leesés detektálhatóságát biztosító gyorsulásérzékelőt (L3GD20H), valamint a kis hatótávolságú vezeték nélküli kommunikációs modult (RN4871). Utóbbi alkalmas

arra, hogy a készülék elmozdítása, készülékházának megbontása nélkül diagnosztizálni és konfigurálni lehessen a kültéri egységet, illetve az elkészült képek helyben (rövid idő alatt) letölthetőek legyenek. A vezeték nélküli kommunikációra az alacsony fogyasztás és a nagy adatátviteli sebesség miatt a Bluetooth Low Energy-t választottuk. A későbbiekben elkészíthető mobiltelefonos, vagy tabletes alkalmazás, amellyel terepi körülmények között is könnyen kezelheti a felhasználó a kültéri egységet.

A tápenergiát alapvetően egy akkumulátor szolgáltatja. Ebből állítunk elő stabil tápfeszültséget az azt igénylő részegységek számára, illetve használjuk közvetlenül az akkumulátort a nagyobb energiaigényű elemek számára. Az akkumulátor ésszerű méretének és tömegének meghatározása során arra jutottunk, hogy az így biztosítható kapacitás nem elegendő egy teljes szezonon át az üzemeltetéshez. A megújuló energiák közül a napenergia hasznosítása mellett döntöttünk, így a készülék házában elhelyezett napelemekből egy hatékony töltő áramkör (SPV1040) tölti vissza a készülék által elhasznált energiát.

3.2 A kültéri egység megtervezése

A kültéri egység fizikai kialakítását elsősorban a rovargyűjtő lap mérete, a kamera optikájának jellemzői és a szabadtéri környezetben való tartós üzemeltetés befolyásolták. Figyelembe kellett venni a készülék méret- és tömeg-korlátait is, hiszen egy gyümölcsfa magasan elhelyezkedő ágai már nem minden esetben terhelhetőek kielégítően. Nem csak a tömeggel kell számolni, hiszen egy erős szél esetén az ágra ható erők a jelentősen nagyobbak lehetnek, mint amire az egység tömege alapján számítanánk.

A készülék egyetlen nyomtatott áramköri lapján az összes elektronikai elem helyet kapott, a kameramodult is beleértve. Ez a gyártásnál előnyt jelent, hiszen a gyártási és az összeszerelési költségeket is ésszerű értéken tartja. A nyomtatott áramkör befoglaló mérete 103 x 73 mm lett, a beültetett magassága kevesebb, mint 30 mm.

A kültéri egység számára egy 3D nyomtatott készülékházat terveztünk, amely megfelelő rögzíthetőség mellett biztosítja a nyomtatott áramkör és az akkumulátor védelmét a környezeti hatások ellen, lehetővé teszi a rovargyűjtő lapok könnyű cserélhetőségét és természetesen a lap könnyű megközelíthetőségét a rovarok számára, valamint a tetején elfér a napelem.

4. A kültéri egység szoftverének és firmware-ének kialakítása

A fejlesztés ezen része két beágyazott rendszer programjának megtervezését és implementálását jelenti:

- a képfeldolgozó egységre a felvétel készítését és tárolását, a kártevők azonosítását és a rendszervezérlő felé való adattovábbítást kell megvalósítani, néhány apróbb funkcióval kiegészítve
- a rendszervezérlőnek kommunikálnia kell az összes perifériával, kiemelten a képfeldolgozó egységgel és a nagytávolságú kommunikációs egységgel. Ez az egység felel az energiamenedzselésért is

4.1 A képfeldolgozó egység programja

A teljes programból az elkészített kép elemzését emeljük ki, a többi rész jelentősége ehhez képest elhanyagolható. Természetesen a program inicializálással indul (UART, PWM modul (vaku funkció), képérzékelő szenzor paraméterezése). Ezután a rendszervezérlő kezdeményezésére a gyűjtőlap megvilágítása és a kép elkészítése következik, majd a megvilágítást kikapcsoljuk.

A program érdemi, „érdekes” része most következik. A gyűjtőlapra ragadt, különféle helyzetű és fajtájú rovarok azonosítását és számlálását kell elvégeznie a programnak. Ez a feladat nem triviális. A rovarok amellet, hogy különböző fajtájúak lehetnek, különböző helyzetben (behúzott szárny, kiterített szárny, oldalra fordult helyzet, egymást fedő rovarok...) lehetnek, és előfordulhatnak egyéb szennyeződések is (pl. levéldarab, szírom, por, stb.). Ezt szemlélteti a

3. ábra.

Erre az azonosítási feladatra kiválóan használható a napjainkban egyre nagyobb szerephez jutó mesterséges intelligencia. Alkalmazásával a digitalizált képen alakzatok, objektumok meglehetősen pontosan detektálhatók. Felhasználása során gépi tanulás folyamatával létesítünk mesterséges idegi hálókat hasonlóan, mint az emberi tanulás folyamán. A hálózat hatékonyságát a tanító minták minősége, darabszáma és a tanítás folyamatok száma határozza meg [6]. Képfeldolgozási feladatok megoldására elsősorban konvolúciós neurális hálózatokat használnak előszeretettel. Mi is ezt az utat választottuk.



3. ábra – Ragadós lap rovarokkal [7]

A kép elkészítése után tehát a detektálás következik. A detektálás mindig egy, a kártevő legnagyobb lehetséges méretéhez megválasztott területen belül történik (ROI – range of interest). Ha ebben a területben talál a mesterséges intelligencia kártevőt, akkor a számlálót növeli eggyel. A vizsgált terület (ROI) léptetése vertikális és horizontális irányba is átfedéssel történik, míg a teljes felület vizsgálatát el nem végezzük. Az azonosítás a mesterséges intelligencia által kiszámolt valószínűség alapján történik, ami megadja, hogy az esetlegesen detektált objektum milyen valószínűséggel a meghatározott fajtájú kártevő. Jelen fejlesztési állapotban az elfogadási küszöb 85%-os valószínűség, de ez a tesztüzem során várhatóan módosulni fog.

A neurális hálózat tanításáról nem esett szó. Ezt a nagy számítási igény miatt egy megfelelő számítási teljesítményű eszközön (PC, célszámítógép...) kell elvégezni tanító képek segítségével. A kísérleti rendszerünket kb. 200 kép alapján, kb. 7 óra alatt tanítottuk meg egy fajta kártevő felismerésére.

Amikor ez a keresési/felismerési folyamat a végére ért, akkor a képet JPG formátumban az egyéb adatokkal együtt SD kártyára mentjük.

4.2 A rendszervezrlő programja

Itt is inicializálással kezdünk (portok, interfészek, csatlakoztatott perifériák...). Ezután megvárjuk az első érvényes GPS pozíciót, majd a GPS modul alvásba küldjük az energiatakarékosság miatt. Ugyanígy alvásba kerül a gyorsulásérzékelő is, és megszakítással ébreszti a processzort, ha eseményt érzékel. A rendszervezrlő processzor is alvásba megy, és a képkészítések közötti idő lejártakor ébred csak fel. A képfeldolgozó egység indítása és a kép elkészítése és kielemezése után megtörténik az összes küldendő adat csomaggá alakítása, és az NB-IoT modulon keresztül kiküldjük a szerver felé. Ezután a rendszer ismét energiatakarékos üzemmódba kerül.

Külön kiemeltük, hogy az energiatakarékosság milyen fontos a folyamatos, hosszú időtartamú üzem miatt. A számítások mellett méréssel is meggyőződünk arról, hogy az

akkumulátor tudja-e majd működtetni a készüléket hónapokon keresztül. A 4. ábra egy teljes működési ciklus áramfelvételét mutatja.



4. ábra – Egy üzemsiklus áramfelvételének időfüggvénye

Az ábra függőleges léptéke 100 mA/DIV, vízszintes léptéke 5 s/DIV. Az egyes pontok a következő működési fázisokat jelölik:

1. a rendszervezérlő és a GPS modul ébredése
2. képfeldolgozó egység bekapcsolása (utána az első túske a vaku villanása, a második túske a kép analízálása)
3. adatküldés
4. kiegészítő műveletek
5. képfeldolgozó egység kikapcsolása
6. a rendszervezérlő altatása.

A számítást nem részletezve egy működési ciklus akkumulátor kapacitás-igénye kb. 2,8 mAh. (Ez az érték a tervezés korábbi fázisában számítással meghatározott értéknél kb. 25 %-kal kevesebbre adódott.)

5. Összegzés, további teendők, fejlesztések

A kítűzött feladatra sikerült kialakítanunk egy olyan rendszert, amelynek minden eleme tesztelhető, ezzel a működőképessége igazolható. A rendszer elemei azonban különböző mértékű továbbfejlesztést, kidolgozást igényelnek.

A kültéri egység elektronikai szempontból elkészült ugyan, de optimalizálni kell a gyárthatósági és anyagi szempontokat figyelembe véve. Jelen állapotban ez a rendszer legfejlettebb eleme. Firmware/szoftver szempontból szintén igen jó a helyzet, majdnem minden funkció tesztelhető, a körütekintő munka miatt rendes üzemi körülmények között is működtethető tartósan a készülék. A mesterséges intelligencia tanítása további feladat, ehhez nagyobb számú minta, több idő, és szakértői közreműködés szükséges (hibás detektálások kiszűrése kártevő szakértő által). A helyi (Bluetooth kapcsolaton keresztül) menedzsment leprogramozása (és részben megtervezése) még hátra van, valamint az eltulajdonítás detektálását is meg kell még valósítani.

A szerveroldali szolgáltatások jelentős fejlesztése szükséges, de itt is elértük azt a szintet, ami a teszteléshez elegendő. A továbbfejlesztést informatikus szakemberre érdemes bízni, és a leendő felhasználókkal egyeztetni kell az igényeket. A jelenlegi állapot megfelelő a továbblépéshez, jó támpontot ad a további ötletek, igények definiálásához. A döntéstámogatási funkciók kialakítása szintén szakemberek közreműködését igényli majd.

A közeli menedzsmenthez meg kell tervezni és valósítani a mobil alkalmazást, amivel telefonon vagy tableten (esetleg laptopon) keresztül a helyszínen végezhetnek lekérdezéseket és konfigurálhatják a készüléket a leendő felhasználók.

Terveink szerint 2022 tavaszán egy néhány készülékből álló kisebb rendszert valamelyik hazai agráriparral is foglalkozó egyetem mintagazdaságában, vagy egy működő gazdaságban üzemi tesztnek is alá tudjuk vetni. Az eredmények alapján tökéletesíthető lesz majd a rendszer.

Hivatkozások

- [1] Dr. Sallai-Harcza Marietta (2018): Az integrált növényvédelem fontossága ültetvényekben
<https://agroforum.hu/szakcikkek/novenyvedelem-szakcikkek/az-integralt-novenyvedelem-fontossaga-ultetvenyekben-gyakorlati-peldak/>
 Utolsó megtekintés: 2020.03.14.
- [2] OpenMV M7 ismertető adatlapja
<https://openmv.io/collections/cams/products/openmv-cam-m7>
 Utolsó megtekintés: 2020.06.26
- [3] Sigfox: Sigfox technology
<https://www.sigfox.com/en/what-sigfox/technology>
 Utolsó megtekintés: 2021.05.30.
- [4] Paul (2018): What is LoRaWAN?
<https://www.alliot.co.uk/what-is-lorawan/>
 Utolsó megtekintés: 2020.03.28
- [5] Quectel: Quectel BC95-G Multi-band NB-IoT Module with Ultra-low Power Consumption
<https://www.quectel.com/product/lpwa-bc95-g-nb-iot>
 Utolsó megtekintés: 2021.05.22.
- [6] Md. Zahangir Alom (2019): A State-of-the-Art Survey on Deep Learning Theory and Architectures
https://www.researchgate.net/figure/The-overall-architecture-of-the-Convolutional-Neural-Network-CNN-includes-an-input_fig4_331540139
 Utolsó megtekintés: 2021.07.15.
- [7] <https://www.trifolio-m.de/en/pest-insects/fungus-gnats/>
 Kép letöltési dátuma: 2021.09.05.

Analysis of Grid Connected Hybrid Inverter powered by solar paver panels

Marcell, Szente*; **Roland, Bálint;** **Attila, Fodor**

University of Pannonia, Egyetem str. 10., Veszprém, H-8200, Hungary,

*szentemarc@gmail.com

Abstract: Renewable energy has become the competitive solution for the depletion of conventional energy sources. However wind and solar energy are especially dependent on fluctuating weather and day-night cycles. To lessen these variabilities battery energy storage systems can provide a widespread solution. During the application of battery energy storage systems the main issue is to optimally determine the size of the battery for balancing between the energetic advantage and cost efficiency. This paper provides an overall view on measuring the efficiency and parameters of a hybrid system and calculating the necessary battery bank. This paper investigates the potential of using battery energy storage systems with PV system in low-voltage microgrid application.

Keywords: photovoltaic energy, renewable, energy storage systems, hybrid inverter

1. Introduction

There are different types of microgrid and island mode solution for renewable energy sources (RES):

- in some power systems electricity is generated by wind, solar energy, biomass, microhydro, etc [1], [2], [3] and [4];
- some power plants (PP) consist different types of energy storage, example: lithium-ion and lead-acid battery [5], [6], [7], [8] and [9].

In paper [8] a multiobjective optimization method is proposed to visualize the trade-offs between different objective functions.

Some paper proposed management of hybrid microgrid, the aim of management is to reduce multiple conversion, example in [5].

The goal of the study is to give a picture in detail on measuring the parameters and efficiency of one hybrid inverter.

2. Experimental

During the experiments the photovoltaic DC (Direct Current) voltage was provided by a power supply instead of PV (Photovoltaic) panels, because its adjustability made it easier to measure the parameters at different power points.

The investigated system has several operating states. On Figure 1 the conventional solar system can be seen.

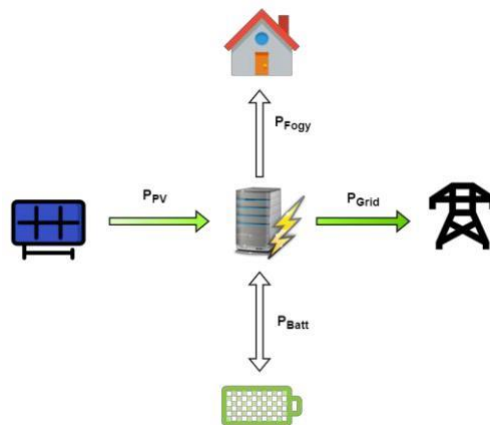


Figure 1
Energy flow during PV supply

In this case the inverter directly feeds the energy to the network. On Figure 2 the produced energy is stored locally, in this case the hybrid inverter charges the batteries with its built in unit. This solution prevents the necessity of expanding the existing electrical network.

Several studies highlighted that battery energy storage systems can make extra profit from buying energy off-peak rate and selling it at peak periods. Figure 3 shows this energy flow direction.

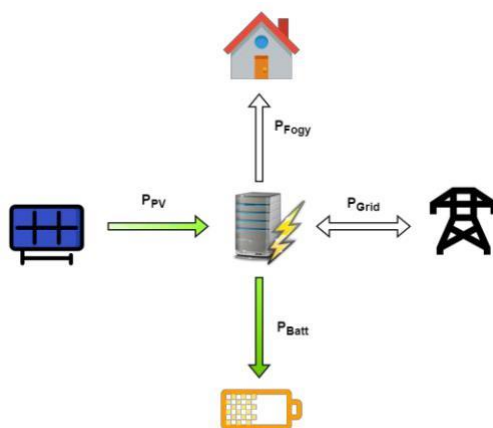


Figure 2

Energy flow during PV supply and charging battery

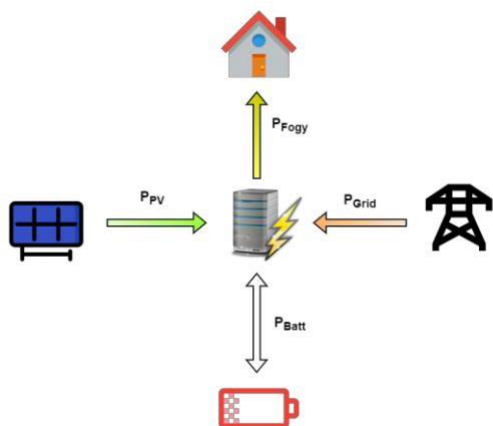


Figure 3

Energy flow during public load supply and charging battery

During the charging and main supply shown on Figure 1 - Figure 3, the values of the terminals of the hybrid inverter were measured with both AC (Alternating Current) and DC loads. These allow the system to be modelled more accurately.

3. Results and Analysis

The previously described model system was tested with 10 constant solar production values from 0 W to 225 W. Though the maximum DC input power of the hybrid inverter can be as high as 750 W, the goal of the investigation is to measure the efficiency at lower production caused by unfavorable weather conditions.

In the efficiency calculations the supplementation of solar production was provided by the public network, while the power absorbed was represented by the AC load. Due to its high state of charge, the 200 Ah battery bank also appeared as an energy supply during the operation of the system.

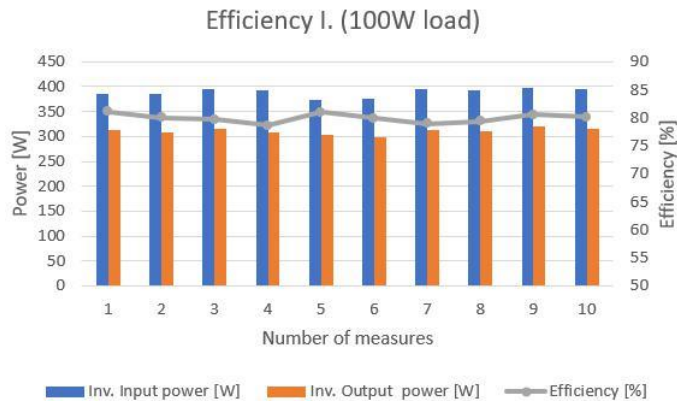


Figure 4

Efficiency at different production and constant 100 W load

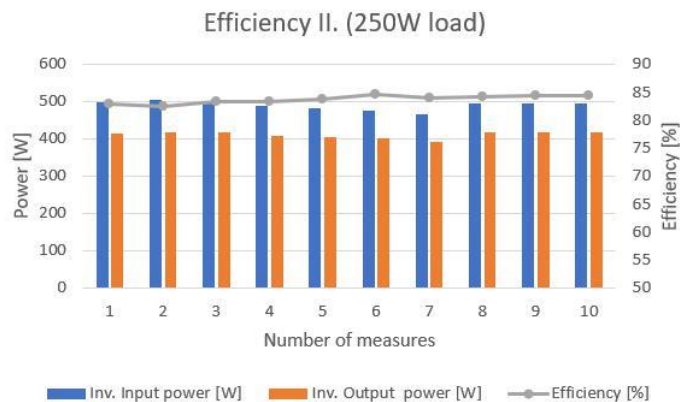


Figure 5

Efficiency at different production and constant 250 W load

The measurements were performed with both a 100 W (Figure 4) and a 250 W (Figure 5) load. According to the results, as the extent of load is increased, the efficiency of the inverter under test also increases. With 100 W load (20% of nominal AC load) the efficiency is in between 75 – 80%. When the load is increased to 250 W (50% of the nominal load), the efficiency of the inverter is constantly around 85%. Based on these measurements, it can be stated that the rate of the load has a greater impact on the inverter's efficiency than the proportion of power supplied to the system from photovoltaic production.

4. Discussion

The inverter system equipped with a power supply can only model the production of preset photovoltaic values. Although the real production is not constant, it varies in every moment depending on the current weather conditions and shading. For this reason the power supply was not appropriate to simulate these changes, so it was replaced by solar pavement panels. A total of 15 pieces Platío Solar 20 W solar pavers were connected into one string to provide photovoltaic power to the system.

The losses of the system under study are composed of several parts. There is a loss on the cables connecting the solar cells to each other and to the inverter. This form of dissipation can be reduced by increasing the cross section. In addition, the efficiency of the system is impaired by DC-DC and DC-AC conversion and loss of battery charge.

Based on the measurement of the system under real conditions, the average efficiency can be determined, which forms the basis for later calculations and modelling. To perform this, it is worth examining the energy conditions of the inverter over a longer period of time. Figure 6 illustrates the efficiency of the system averaged every 5 minutes from 7:15 AM to 4:10 PM. The daily average production is 68.7%.

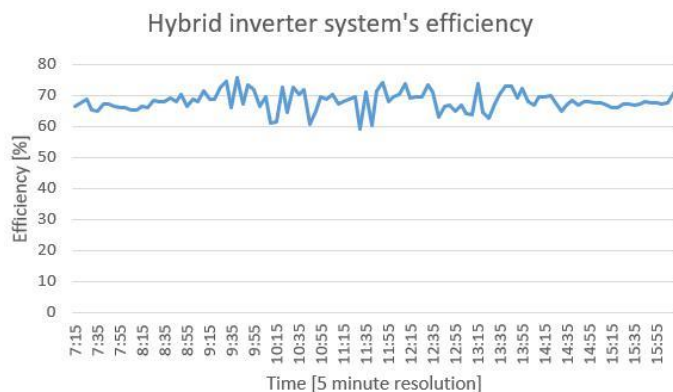


Figure 6
Daily efficiency averaged in 5 minutes

4.1 Pre-calculations for simulation

The purpose of this part of the article is to present a design algorithm for island mode systems that can be applied to any given consumer profile using the determined average system efficiency. During island operation, local energy demand is primarily supplied by the solar system, while the battery bank feeds back energy only in the event of a production deficit. Based on the specified consumer profile, the system calculates the number of panels to be installed and the battery capacity.

In the case of solar cells, the applicable type is scaled to pre-defined Platío Solar solar pavement. To determine the number of panels, an annual reference production of a 1 kW solar cell at an angle of 0° is required (P_a), which was calculated in the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) system. By Knowing the daily consumption (E), the number of required solar cells (n_{panel}) can be calculated.

When sizing island-powered systems, it is recommended to take into account the number of cloudy reserve days (D), on which we assume near-zero solar production. During this period, the battery must provide power to the consumer. The most commonly used value of backup time in the literature is usually 2-3 days. The maximum discharge capacity (DoD, Depth of Discharge) as well as the daily energy consumption (E) also affect the sizing of the battery.

The calculated battery capacity (C) in this form is measured in Wh, so the system voltage should be selected based on this, as higher voltage batteries have a voltage level of 24 V or 48 V.

4.2 Simulation of operation in MATLAB

While the program is running, the calculations are performed for an entire day with a resolution of 5 minutes. Instantaneous solar production is calculated from 5-minute resolution weather data that can be read from an external file. In addition to the irradiation and temperature values, the consumer profile is also loaded, so the required battery capacity and the number of solar cells can be calculated.

The simulation consists of 188 steps as it calculates the output of the solar system, the state of charge of the battery, and the instantaneous excess or deficit of energy 12 times an hour for a day. If the battery charge drops below 20%, the system throws an error message, after which it is possible to reconfigure the initial parameters.

The program monitors the difference between the current production and consumption during the run, then charges or immerses the battery after a condition test, taking into account the previously average efficiency.

For the calculations, the system models the operation of a consumer that consumes 200 W during the day (6 AM–6 PM), while operating at night (6 PM–6 AM) in energy saving mode, in which case it consumes 100 W. In terms of the nature of the consumption profile, this corresponds to the consumption of a smart urban information board. The highest production values can be measured in summer, in which case the battery will have a higher state of charge after daytime charging and then after evening immersion than at the beginning of the day. Besides supplying the consumer, significant solar production is available, Figure 7. The state of charge (SoC) is the ratio of the available capacity and the maximum possible charge that can be stored. Fully charged battery's SoC is 1, while in fully discharged case it equals to 0.

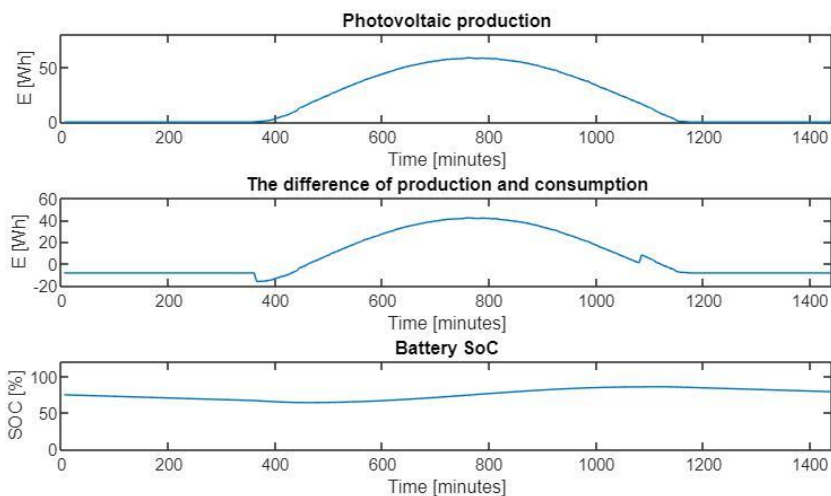


Figure 7

Summer production, initial SoC = 0.75

Figure 8 illustrates a slightly different operation. By the end of the day, the battery is in the discharge phase again, its charge status drops from the initial 100% to 70%.

Until the start of solar production, the consumer gets the energy from the battery, and then in the case of increasing production, the charging process starts, however, the difference between solar production and consumption is much smaller than in summer time in sunny weather. Although there was power supply to the system, the battery charge level was lower than at the beginning of the day. Therefore, it is necessary to use a constant number of spare days (D) as this prolongs the discharge process, thus giving the system time to charge the battery in case of favourable weather conditions.

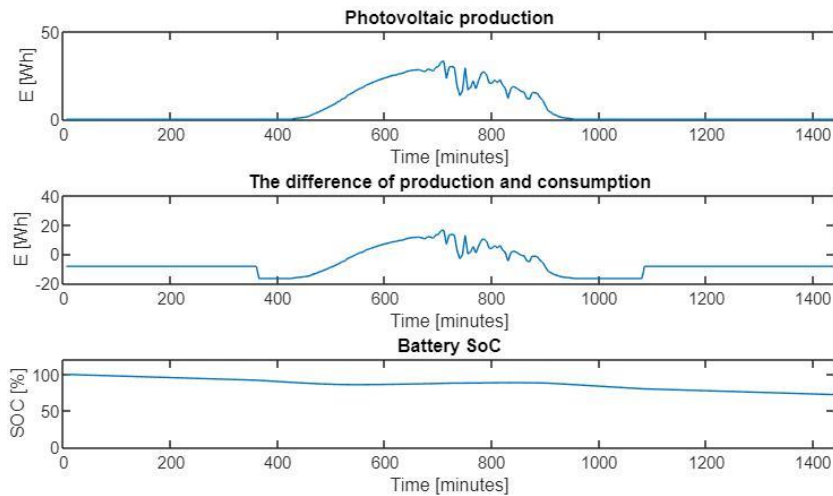


Figure 8

Fall production, initial SoC = 1.00

4.3 Partial shadow effect on production

By applying island-based systems using solar pavers, it is important to mention the role of the shading effect on production. If the amount of irradiation is uneven, it will affect the performance of the panel. In the case of panels connected in series, this phenomenon is weighted, the principle of the weakest link applies. The panel with the least radiation also degrades the performance of the other panels. If less current can pass through one panel, it will limit the current in the other panels too. This phenomenon leads to increase in the panel's temperature which results a deterioration in the efficiency of the panels when the string is asymmetrically shaded.

4.4 Increasing production efficiency

There are several ways to maximize the energy produced with island mode solar systems. The most cost-effective solution is to carefully inspect the installation site in advance. In such cases, periodic and permanent shadow factors must be taken into account, and the optimal solar cell allocation and stringing must be sought with these in mind. For inverters with multiple MPPTs (Max Power Point Tracking), multiple strings can be created without the need for additional equipment. This is useful because it reduces the chaining of panels to a string that are exposed to very different irradiations during production. Purchasing inverters with multiple MPPTs does not necessarily mean higher costs, as only multi-point inverters are available at higher power.

In the recent years, so-called microinverters, also known as power optimizers have become more and more common. Their use is justified in places where a partial shadow effect may occur on the solar string. The power optimizer is connected in parallel to one or a few solar panels, and then the resulting structures are connected in series. As a result, the partial shadow effect can be eliminated, and each optimizer can extract maximum power from the connected solar panel.

Conclusion

In the case of hybrid inverter and island systems, it is especially important to ensure efficient operation, which requires accurate sizing of the following factors:

- sizing the inverter,
- battery bank capacity,
- designing the panel layout by taking into account the possible shading factors.

The created designing calculator can be successfully applied at the designing of island mode systems. It can be further developed to be able to calculate the appropriate parameters based on the weather data of an entire year.

Acknowledgement

The research was supported by 2018-1.1.2-KFI-2018-00193 project “Innovation for energy and electrical industry at CoreCommSI Ltd and NRG Services Ltd (Greenverter)”.

References

- [1]. Engin, M.: Sizing and simulation of PV-wind hybrid power system, *International Journal of Photoenergy*, 2013 2013
- [2]. Hernandez-Vidal, R., Renaudineau, H., Kouro, S.: Sub-module photovoltaic microinverter with cascaded flybacks and unfolding H-bridge inverter, in *2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) (IEEE)*, 1035–1040
- [3]. Alboteanu, I.L., Ivanov, S., Manolea, G.: Modelling and simulation of a stand-alone photovoltaic system, *Faculty for Electromechanical, Environment and Industrial Informatics Engineering, University of Craiova*, 2008 107
- [4]. Sabri, Y., Zein, H.S., Yusuf, E.: Optimal Cost Valuation for Renewable Power Plants Using PSO in Rural Area., *International Journal on Electrical Engineering & Informatics*, 2015 7(4)
- [5]. Dali, M., Belhadj, J., Roboam, X.: Hybrid solarwind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: control and energy management–experimental investigation, *Energy*, 2010 35(6), 2587–2595
- [6]. Suyanto, H., Hafidz, M., Alvianingsih, G.: Transient Stability Analysis of a Hybrid Grid-Connected Battery-PV in Baubau Power System, in *2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE) (IEEE)*, 27–30
- [7]. Jang, M., Agelidis, V.G.: A minimum power processing-stage fuel-cell energy system based on a boost-inverter with a bidirectional backup battery storage, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2010 26(5), 1568–1577
- [8]. Tant, J., Geth, F., Six, D., Tant, P., Driesen, J.: Multiobjective battery storage to improve PV integration in residential distribution grids, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2012 4(1), 182–191
- [9]. Celik, A., Muneer, T., Clarke, P.: Optimal sizing and life cycle assessment of residential photovoltaic energy systems with battery storage, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2008 16(1), 69–85

Balancing capacitively split DC link of three-level inverters

László, Stranyóczy

Department of Automation and Applied Informatics
Budapest University of Technology and Economics
Magyar tudósok krt. 2. Budapest, 1117

stranyoczky.laszlo@edu.bme.hu

Abstract: Nowadays, electric vehicles are playing an increasingly important role in transport. In everyday life, this is most evident in passenger cars, but at the same time, there are huge advances in freight transport and aviation. In order to maintain this developing trend, developers are striving to achieve the highest possible power density and maximum efficiency. With this increased efficiency comes longer driving range, thus electric car industry could take a bigger slice of the urban commuter traffic. Due to this trend, the use of multilevel, mainly three-level inverters has become widespread. The main advantage of a three-level inverter over the simpler two-level inverter is that it has a lower output current ripple, thus reducing switching losses and electronic noises. Capacitively split DC link topologies include NPC (Neutral Point Clamped) and T-type topologies.

Introduction

Since the batteries used in vehicles have a single output voltage level, it is necessary to use DC link capacitors to divide the voltage for the application of these inverters. Voltage imbalances of the DC link capacitors can even lead to damage semiconductors. An economical solution to this problem can be provided in software by using modulation techniques that balance the voltage of the capacitors. This paper describes voltage balancing techniques that can be applied to the above-mentioned topologies. The selection of the methods is based partly on literature and partly on new individual ideas. The problems encountered at the different operation points and their solutions are discussed. The viability of the solutions is verified by computer simulation.

There are different solutions to ensure the desired three-phase voltage at the outlets of a three-level inverter. One common alternative is the space vector approach, where a voltage vector is assigned to each switching state, and then a modulation algorithm generates the required rotating voltage space vector as a weighted sum of several space vectors. In the case of a three-level inverter, three voltage levels can be switched in three phases, so a total of $3^3 = 27$ switching states can be distinguished. Figure 1 illustrates the length and direction of the vectors corresponding to the 27 switching states. The total hexagon can be split into six triangles since it is sufficient to determine the weighting of the vectors of a PWM cycle for one triangle and then proceed in the same way for the others. [1]–[3]

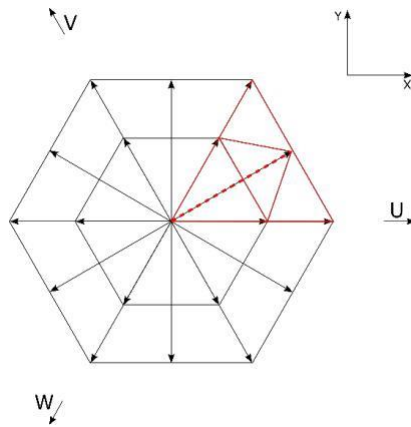


Figure 1
Space vectors of a three-level inverter

The short vectors can be reached with different switching states, for example $\left[\frac{+U_{DC}}{2}; 0; 0\right]$ and $\left[0; \frac{-U_{DC}}{2}; \frac{-U_{DC}}{2}\right]$ switches produce the same space vector. Since these vectors modify the midpoint voltage in different directions, it is possible to balance the voltage of the DC capacitors by appropriately weighting the two vectors within the PWM cycle. In the literature, different solutions are proposed for the splitting of the plane defined by space vectors. A triangle can be divided into four (Figure 1 red lines) [4] or six (Figure 1 dashed red line) [5] sectors. The two midpoint voltage-varying vectors are weighted according to the sector in which the resultant vector is situated.

The use of a carrier signal is another method of controlling a three-level inverter. In this case the output voltage levels, and thus the control signals of the semiconductors, can be determined by comparing the reference voltage signals with two triangular carrier signals (Figure 7). By shifting these reference signals up or down, the power from the positive and negative rails can be controlled and therefore the midpoint voltage also can be controlled. [6]

The paper presents the architectures, advantages, disadvantages and switching states of various three-level inverter topologies in chapter 2. Chapter 3 discusses the model-based implementation of the NPC topology, while chapter 4 describes the symmetrical modulation method of voltage balancing.

Topologies

NPC

The NPC (Neutral Point Clamped) topology consists of ten semiconductors per bridge: 4 switching elements (usually IGBTs), 4 diodes connected in parallel, and 2 clamping diodes. The input of the module is the voltage of a battery, which is split by the module capacitively in order to provide three voltage levels: positive, negative and the midpoint voltage ($+\frac{U_{DC}}{2}$, N , $-\frac{U_{DC}}{2}$). The output is the three-phase (U, V, W) sine voltage system. [7]

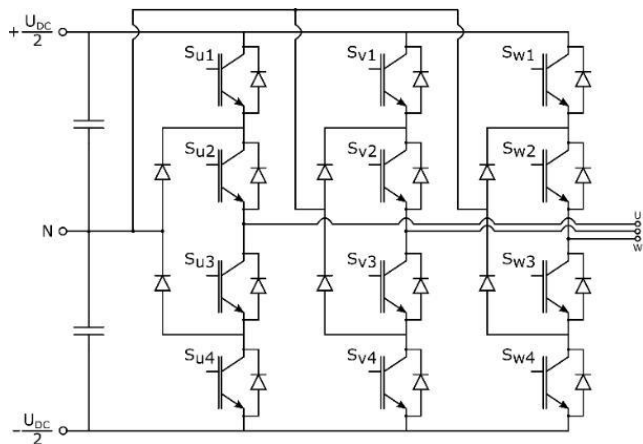


Figure 2
NPC inverter

In the NPC topology, all three voltage levels are switched to the output through two semiconductors, so diodes and IGBTs must handle only the half of the DC voltage, so switching loss and current ripple are both low.

T-type

In comparison with the NPC, the t-type contains only 8 semiconductors per bridge: 4 IGBTs and 4 diodes. Since the current flows through only one semiconductor when the half-voltages are switched, the conduction loss is lower than the NPC's. A disadvantage of the topology is that it cannot be built from simple two-level bridge modules because emitter pins of S2 and S3 are connected.

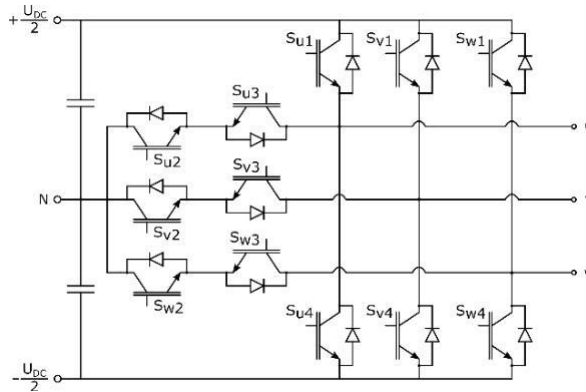


Figure 3
T-type inverter

In case of the T-type, S1 and S4 must be able to withstand the full DC voltage, as they are used to switch the $+\frac{U_{DC}}{2}$ or the $-\frac{U_{DC}}{2}$ voltage to the output. The midpoint voltage is switched to the output via S2 and S3, so they must handle only the half of the DC voltage. [7]

Simulation model of NPC

The purpose of the model is to study the behaviour of the midpoint voltage. Since the load is not relevant, only the output voltages are calculated, and the measured feedback current is replaced by a three-phase sine wave generator. Thus, the current, voltage and phase angle values can be specified in the MATLAB script.

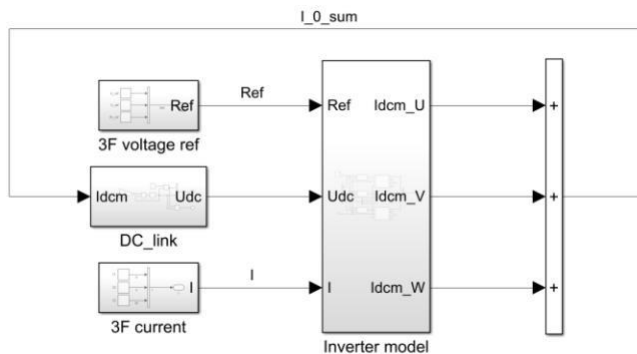


Figure 4
Model of the NPC inverter and its environment

DC link

The DC link is modelled from a simplified circuit with only one capacitor between the zero potential and the midpoint rail. In this case, the current of the midpoint rail is equal to the current of the capacitor, so Equation 1 can be used to calculate the voltage of the capacitor, which is equal to the midpoint voltage.

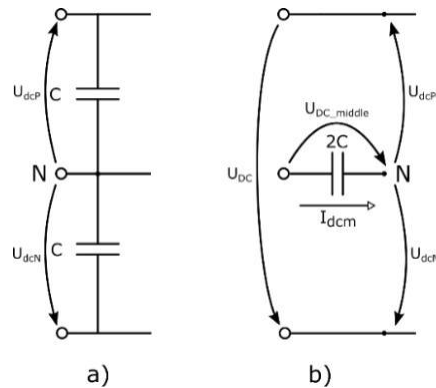


Figure 5

DC link model: a) Original, b) Simplified

$$U_c(t) = U_c(0) + \frac{1}{C} \cdot \int_0^t I_c(t') dt' \quad (1)$$

Inverter model

The input of the model is the DC voltages, the reference voltages, and the phase currents. Based on these signals, the block determines the inverter output voltages and the midpoint current. In the PWM_UVW block, the reference voltages are divided by either the positive or the negative DC rail voltage, depending on their sign, to produce the duty cycle. The duty cycle is then compared to the 10 kHz triangle carrier signals to produce PWM signals.

Based on the PWM signals, the control signals of the switching elements can be generated, so S1 and S2 are on for the positive half voltage, S3 and S4 for the negative half voltage, and S2 and S3 for the medium voltage. In order to make the model as realistic as possible, a switch-on dead time is applied. Since semiconductors have turn-on and turn-off delays, a bridge short-circuit can easily occur without dead time. Logical gates are used in the VoltageCalc blocks to determine the output voltages of the inverter. When the output voltage is equal to the midpoint voltage, the midpoint current is equal to the phase current, in all other cases it is zero. Following this logic, the sum of the mid-point currents in the three phases can be determined, so the DC link capacitor voltage can also be calculated.

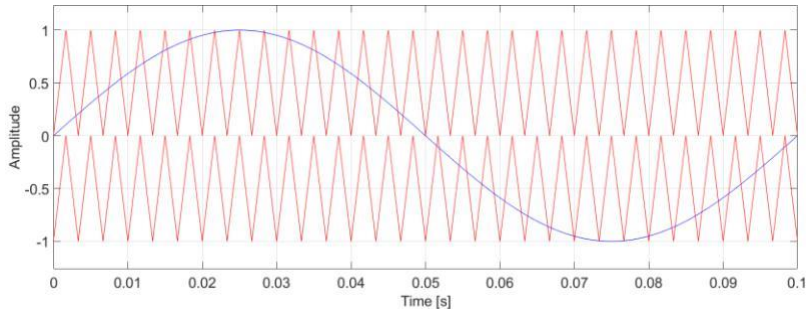


Figure 7
PWM generation

Midpoint voltage balance of the NPC

By running the model presented in the previous chapter, it can be seen that the inverter's midpoint voltage is unstable (Figure 8). The simulation was run based on the parameters in the table below.

Table 1
Operating point parameters

f_{sw}	10kHz	switching frequency
f	50Hz	Fundamental frequency
U_{dc}	800V	DC voltage
\hat{U}_{ref}	100V	peak value of the voltage ref.
\hat{i}	200A	peak value of the current ref.
φ	0	phase shift
C_{DClink}	10mF	DC link capacitor
t_{DT}	200ns	deadtime

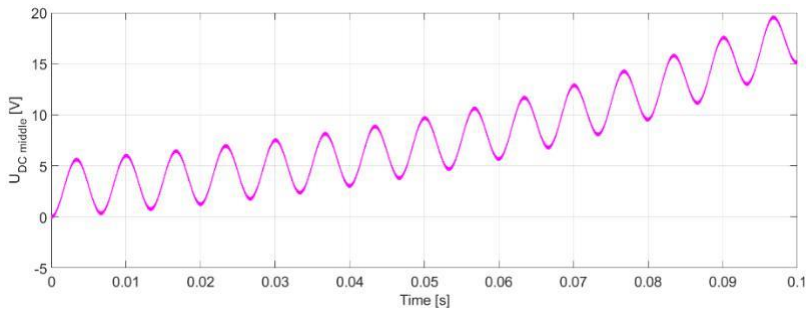


Figure 8
Midpoint voltage without balance

The reason of the instability is that the reference voltages are divided by the positive or the negative rail voltage when the duty cycles are generated, so at positive power flow (motor mode) a positive feedback is generated in the control loop.

Symmetrical modulation

The maximum line voltage of a three-phase inverter is equal to the DC voltage, and the maximum phase voltage is equal to $\frac{U_{DC}}{\sqrt{3}}$. However, with a simple sinusoidal modulation, only the half of the DC voltage can be reached as phase voltage, because the duty cycles are limited between 1 and -1. In order to use the maximum voltage that can be physically reached, different modulation techniques are used. One of these solutions is symmetrical modulation, where the difference between the most positive phase voltage and the positive rail voltage must be equal to the difference between the most negative voltage and the negative rail voltage. To achieve this, the reference voltage must be shifted by a U_0 voltage, which can be calculated from Formula 2, where U_{DCP} is the positive rail voltage, U_{dcN} is the negative rail voltage, U_{max} is the maximum phase voltage at that moment and U_{min} is the minimum phase voltage. Rearranging the formula gives Formula 3.

$$U_{dcP} - (U_{max} + U_0) = (U_{min} + U_0) - U_{dcN} \quad (2)$$

$$U_0 = \frac{1}{2} \cdot (U_{DCP} + U_{dcN} - U_{max} - U_{min}) \quad (3)$$

Motor mode

The direction of the energy at the working point described above is positive, which is motor mode for an electric machine. By applying symmetrical modulation to this operating point, the obtained voltage reference and midpoint voltage charts are shown in Figure 9. It can be noticed that the DC midpoint voltage ripple is reduced, and the system stabilizes. This is explained by the fact that when symmetrical modulation is applied, the duty cycles are shifted to the middle of the available voltage range.

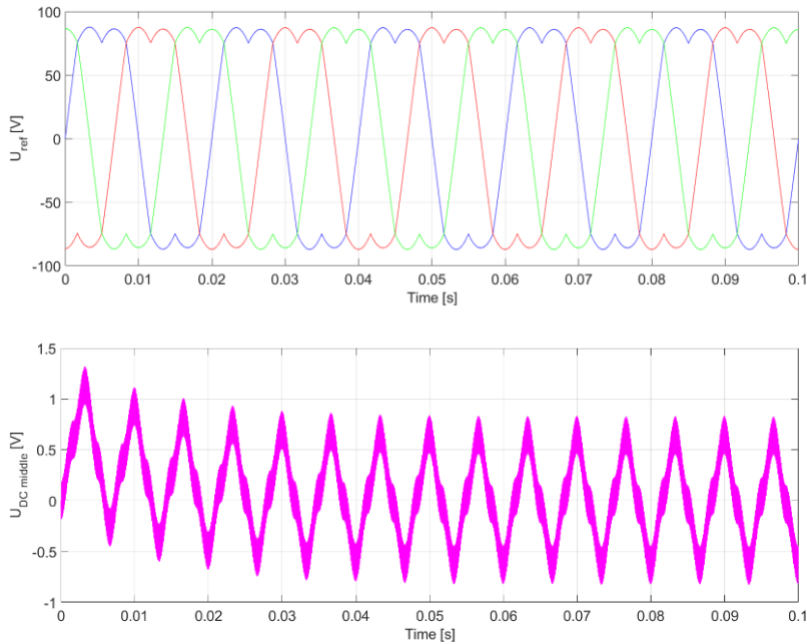


Figure 9

Voltage references and the midpoint voltage, using symmetrical modulation

Generator mode

Based on the previous chapter, it is predictable that in generator mode, the use of symmetrical modulation increases the instability. By changing the phase shift to $\frac{(2 \cdot \pi)}{3}$, the direction of the power is reversed. Running the simulation in this way gives the midpoint voltage shown in Figure 10. It is clearly visible that symmetrical modulation is not sufficient to achieve stability, therefore a proportional controller is also required in the model. Thus, the reference voltages are shifted also by an error signal multiplied by a proportional factor, where the error signal is the deviation of the midpoint voltage from zero. The sign of the proportional factor is negative in generator mode. [8]

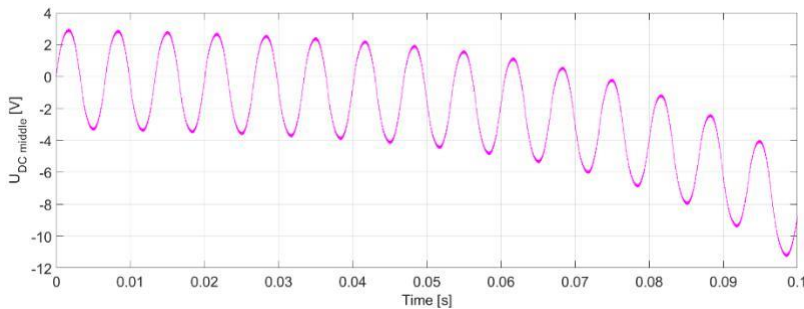


Figure 10

Midpoint voltage in generator mode, using symmetrical modulation

Which proportional factor is required to eliminate instability in generator mode? The principle of the investigation is to calculate the average value of the midpoint voltage for an ε imbalance error. For this error, regulating the average value to zero gives exactly the limit of stability, so using a controller with a higher value than the calculated will stabilize the system.

Since the midpoint voltage oscillates with three times of the fundamental frequency, it is sufficient to make the calculation for one third of the period time. To do this, the midpoint current must be integrated in several steps. I have chosen the $\left[\frac{1}{6}\pi; \frac{5}{6}\pi\right]$ section where the first phase voltage is the most positive (Figure 11)

First the time functions of the voltages must be determined to define the time function of the midpoint current. The obtained time functions are divided by the voltage of the positive or negative rail, depending on the sign, to calculate the time functions of the duty cycles. To ensure that the signs are correctly considered, the calculation was done in 8 steps. (Figure 11)

Using the time functions of the phase currents, the midpoint current can be determined from Formula 4, where $d(t)$ is the time function of the duty cycle and $I(t)$ is the time function of the phase current.

$$I_0(t) = (1 - d(t)) \cdot I(t) \quad (4)$$

The time function of the voltage of the 1 marked section in the figure is expressed by the Formula 5 and the time function of the phase current is given by the Formula 6, where I_{amp} is the current amplitude and φ is the phase shift of the current. By expressing the duty cycle and then rearranging the equations according to Formula 4, the time function of the midpoint current is obtained (Formula 7). In a similar way, the time function of the midpoint current can be determined for the other sections.

$$U_{amp} \cdot \sin(w \cdot t) + \frac{U_{amp}}{2} \left(\sin(w \cdot t) + \sin\left(w \cdot t - \frac{2}{3}\pi\right) \right) + (U_{dcP} + U_{dcN}) \cdot \left(\frac{1}{2} + P\right) \quad (5)$$

$$I_{amp} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (6)$$

$$\left(1 - \left(\frac{U_{amp}}{2 \cdot U_{dcP}} \cdot \left(\sin(\omega \cdot t) - \sin\left(\omega \cdot t - \frac{2}{3}\pi\right)\right)\right) + \frac{U_{dcP} + U_{dcN}}{2 \cdot U_{dcP}} + \frac{P \cdot (U_{dcP} + U_{dcN})}{U_{dcP}}\right) \cdot I_{amp} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (7)$$

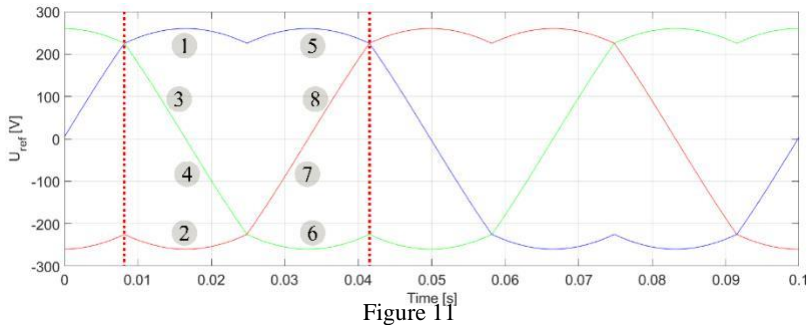


Figure 11
The investigated one-third period

To determine the limits of the integrations, the zero-crossing location of the sign changing sections should be calculated. Then the sum of the integrals can be expressed symbolically by using the MATLAB Symbolic toolbox. By equalizing this sum to 0, the P proportional factor can be determined which, in absolute value, will produce the smallest change in the midpoint voltage. With the parameters described above, the proportional factor $P = -0.4061$ is the appropriate choice. The negative sign is caused by the generator mode, in motor mode a positive result is obtained.

The calculation above gives the proportional factor for the stability limit state. The upper chart of the Figure 12 clearly shows that with the calculated factor, the midpoint voltage stabilizes, but the average value is not zero. However, when the proportional factor is larger in absolute value than the calculated one. ($P = -1$), the average value of the midpoint voltage clearly approaches zero.

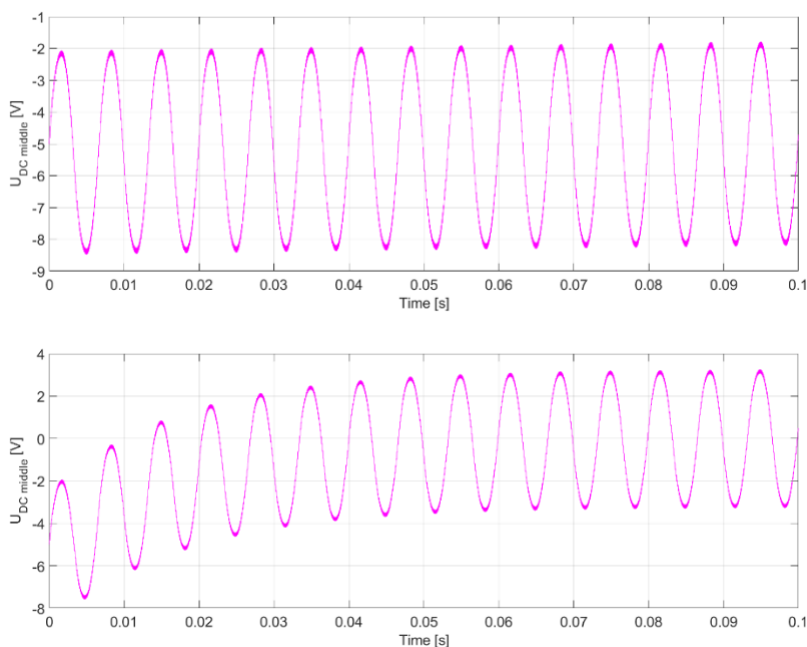


Figure 12

Midpoint voltage in generator mode with the calculated proportional factor (top), with factor higher in absolute value than the calculated one (bottom)

Conclusion

Based on the results of this paper, it can be concluded that symmetric modulation is sufficient to stabilize the midpoint voltage in motor mode. However, in generator mode, the use of a proportional controller is also necessary. These solutions can only be used if the sign of the power can be determined. Balancing in reactive operating points and further reduction of the ripple of the midpoint voltage are further improvement tasks.

References

- [1] S. Halasz and I. Varjasi, “Voltage Spectra of Three-Level Inverters with Three-Phase Modulation,” 2006. doi: 10.1109/IPEMC.2006.4778072.
- [2] S. Halasz and I. Varjasi, “Small vector PWM strategies of three-level inverters,” 2004. doi: 10.1109/ISIE.2004.1571996.
- [3] S. Halasz and I. Varjasi, “Analysis of three phase PWM strategies of three-level inverters.” doi: 10.1109/SPEEDAM.2006.1649978.
- [4] Mr. S. Dasam and Dr. B. Sankerram, “Modeling of Dc Link Capacitor Voltage Balance in 3-Level Inverter Using Space Vector Modulation Technique,” *Global Journal of researches in engineering Electrical and electronics engineering*, vol. 12, no. 5, 2012.
- [5] Y. Lai, Y.-K. Chou, and S.-Y. Pai, “Simple PWM Technique of Capacitor Voltage Balance for Three-Level Inverter with DC-link Voltage Sensor Only,” 2007. doi: 10.1109/IECON.2007.4460351.
- [6] M. Swamy, K. Anuradha, and B. G. Babu, “DC level stabilization in Neutral Point Clamped multilevel inverters,” Dec. 2015. doi: 10.1109/PCCCTSG.2015.7503907.
- [7] S. Ingo, “Semikron Application Note AN-1101.” Oct. 12, 2015.
- [8] H. Kitidet and Y. Kumsuwan, “A CB-SVPWM control strategy for neutral-poin voltage balancing in three-level NPC inverters,” Nov. 2017. doi: 10.1109/TENCON.2017.8228144.

Derivation of the Permanent Magnet Synchronous Machine Model

step by step from the three phase model to the d-q model

András, Hadur; Károly, Veszprémi

Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Department of Power Engineering, Building V1. III.-IV. floor, 18. Egry J. u., 1111 Budapest, Hungary

Abstract: In education we often use simplifications and analogies during the presentation of a specific topic, but this has the disadvantage of the oversimplification of the reality. In long terms it can cause a gap between the course materials and the scientific publications that can hold back the early phases of student researches. To eliminate this, I created a – step by step complicated – model structure in Matlab/Simulink [1] that illustratively and transparently demonstrates the operating principles of the cylindrical and the salient pole synchronous machines [2]. It presents the detailed structure of the three phase model [3], the alpha-beta model [4] and the d-q model [5] and also helps to understand the drive control functions [6] belonging to the models. My goal is to help the students to join the researches of this topic as early as they can without reading hundreds of pages of scientific literature.

Keywords: PMSM; modelling; Matlab/Simulink; Three Phase Model, Alpha-Beta Model, d-q Model

1. Modelling the PMSM in different reference frames

1.1 Motivation

The Matlab/Simulink environment already has built in models for the PMSM in different toolboxes, which are making extra costs for projects to buy and use them. Some compatibility problems can occur with these blocks between different software versions which makes them difficult to use. Another case is when a blockset behaves differently in comparison to the physical model. Testing new control algorithms gave the demand to build the PMSM in all three reference frames.

1.2. Reference coordinate system

The simulation was build up by using the first coordinate-system at [11] for both the cylindrical and the Salient Pole Permanent Magnet Synchronous Motors: Beta is leading to the Alpha (90° before Alpha) and q is leading d. (The angular position “phi” in equations is denoted as “theta” in simulink model.)

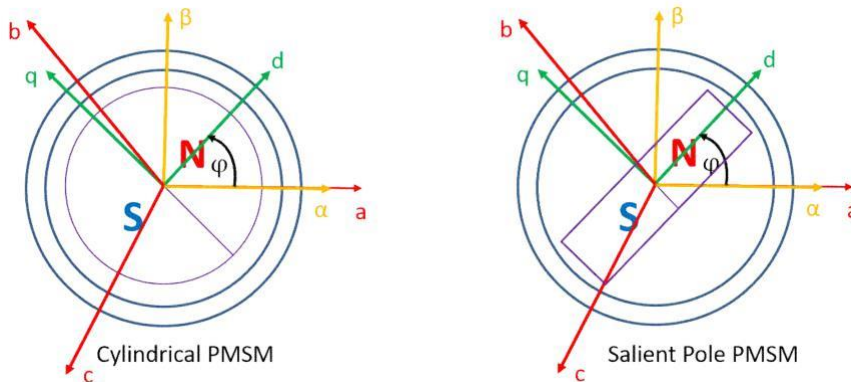


Figure 1
Cylindrical and Salient pole PMSM with reference frame coordinata-systems

1.3 Motor equations

1.3.1. Three phase reference frame, Cylindrical PMSM

The three phase reference frame is the best model to simulate asymmetry of the system, for example a short circuit between two turns in a phase winding or manufacturing discrepancies of the winding connections.

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_a & 0 & 0 \\ 0 & L_b & 0 \\ 0 & 0 & L_c \end{bmatrix} * \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \omega \Psi_m \begin{bmatrix} \sin(\varphi) \\ \sin(\varphi - 2\pi/3) \\ \sin(\varphi + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

To build up the Simulink model, the equations for each phases have to be solved for the derivative of the currents, because in this case, one integrator is enough to create the phase current outputs.

The expression below is for phase a, but based on Equation 1, for phase b and c can also be derived easily.

$$i_a = \frac{1}{L_a} \int (U_a - R_a i_a + \omega_e \Psi_m \sin(\varphi)) dt \quad (2)$$

The figure below shows the Simulink implementation of the integral formula for all the three phases and an additional torque producing part.

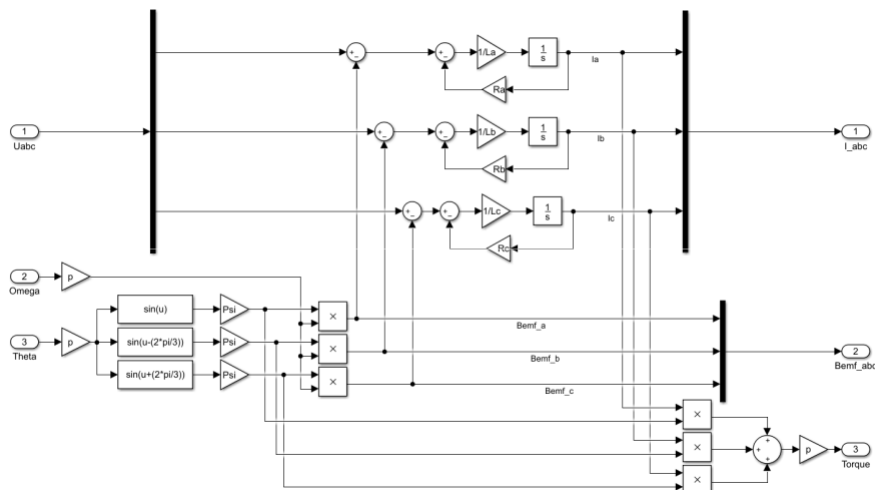


Figure 2

The electrical part of the three phase cylindrical PMSM model in three phase reference frame.

1.3.2 Three phase reference frame, Salient Pole PMSM

To consider the magnetic anisotropy of the Salient Pole Motor, the d and q directional inductance were introduced. In d-q reference frame, it can be easily imagined, but in three phase frame, the anisotropy has to be considered as a constant and a variable part of the phase inductances can be expressed with d and q directional components in function of the rotor angular position [3][4]

$$L_a = \frac{L_d + L_q}{2} - \frac{L_d - L_q}{2} \cos(2\varphi) \quad (3)$$

$$L_b = \frac{L_d + L_q}{2} - \frac{L_d - L_q}{2} \cos(2\varphi + 2\pi/3) \quad (4)$$

$$L_c = \frac{L_d + L_q}{2} - \frac{L_d - L_q}{2} \cos(2\varphi - 2\pi/3) \quad (5)$$

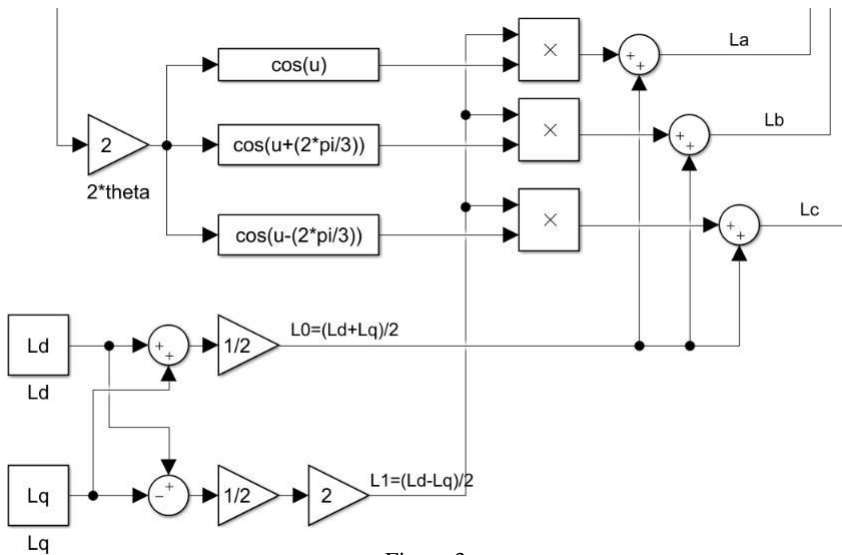


Figure 3

Implementation of the constant and variable inductances with dq components for phase inductances

Adding the expressed constant and variable inductances to the cylindrical model, the simplified three phase model of the Salient Pole Motor is complete:

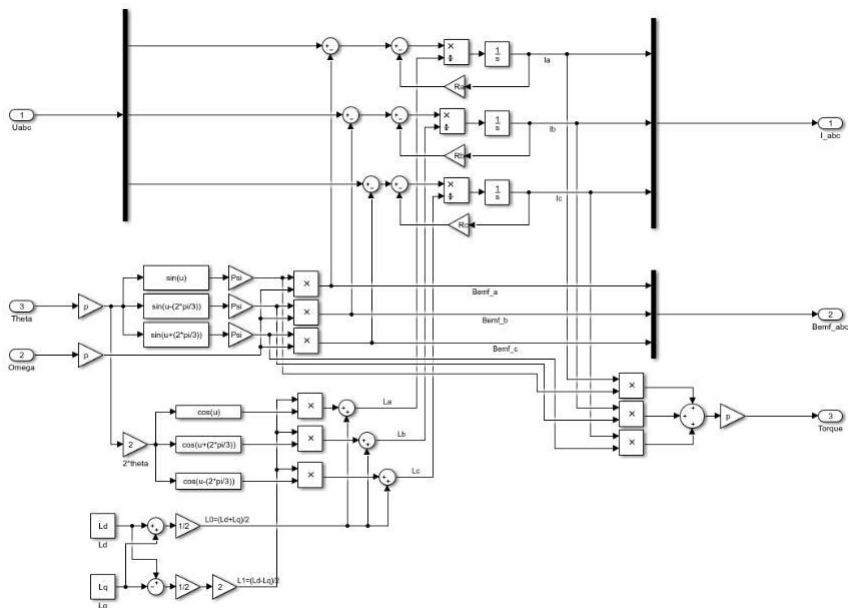


Figure 4

Implementation of the Salient Pole PMSM in three phase reference frame

1.3.3 Alpha-Beta reference frame, Cylindrical PMSM

The stationary cartesian coordinate system, so called Alpha-Beta reference frame gives an equal description of the physical system like the three phase reference frame, it is created using the Clarke transformation [8][10].

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 \\ 0 & L_s \end{bmatrix} * \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + \omega \Psi_m \begin{bmatrix} -\sin(\varphi) \\ +\cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad (6)$$

From the voltage equations, it is possible to express the derivatives of the current components, to integrate:

$$i_\alpha = \frac{1}{L_\alpha} \int (U_\alpha - R_\alpha i_\alpha + \omega_e \Psi_m \sin(\varphi)) dt \quad (7)$$

$$i_\beta = \frac{1}{L_\beta} \int (U_\beta - R_\beta i_\beta - \omega_e \Psi_m \cos(\varphi)) dt \quad (8)$$

Based on this two equations, the model can be easily implemented in Simulink, the equations are extended with the torque producing part.

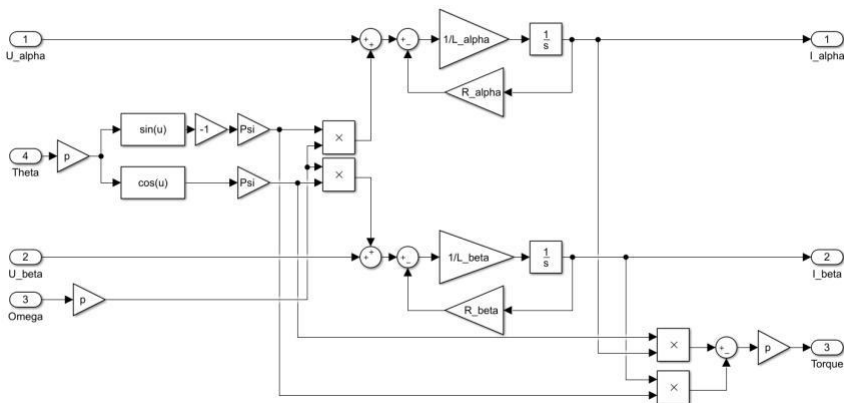


Figure 5

The electrical part of Cylindrical PMSM model in Alpha-Beta reference frame.

1.3.4 Alpha-Beta reference frame, Salient Pole PMSM

Modelling the magnetic anisotropy in Alpha-Beta reference frame is more difficult than in three phase or d-q frame, due to the additional component in the resistance and inductance matrices resulted from the flux derivatives [4].

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_\alpha - 2\omega L_{\alpha\beta} & \omega(L_\alpha - L_\beta) \\ \omega(L_\alpha - L_\beta) & R_\alpha + 2\omega L_{\alpha\beta} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_\alpha & L_{\alpha\beta} \\ L_{\alpha\beta} & L_\beta \end{bmatrix} * \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + \omega \Psi_m \begin{bmatrix} -\sin(\varphi) \\ +\cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad (9)$$

The components of the inductance matrix (also used in the resistance matrix) can be expressed with the d-q components:

$$L_\alpha = \frac{L_d + L_q}{2} + \frac{L_d - L_q}{2} \cos(2\varphi) \quad (20)$$

$$L_\beta = \frac{L_d + L_q}{2} - \frac{L_d - L_q}{2} \cos(2\varphi) \quad (31)$$

$$L_{\alpha\beta} = \frac{L_d - L_q}{2} \sin(2\varphi) \quad (42)$$

In Simulink, the usage of “From” and “Goto” blocks for the inductance components can increase the transparency of the model, otherwise the high number of signal wires hide the main blocks:

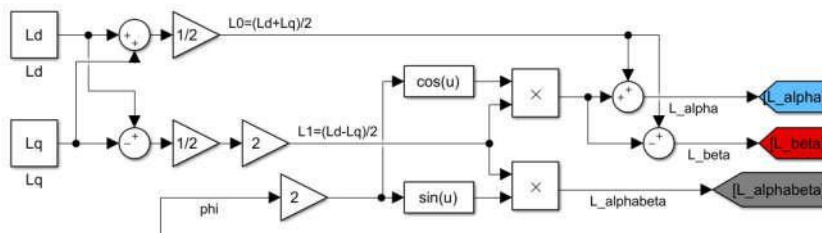


Figure 6

Implementation of constant and variable inductances with d-q components for Alpha-Beta components

With the expression of inductances, the voltage equations can be easily transformed to the integral formula of the current components:

$$i_\alpha = \frac{1}{L_\alpha} \int (U_\alpha - R_\alpha i_\alpha + \omega_e \Psi_m \sin(\varphi) + 2\omega_e L_{\alpha\beta} i_\alpha - \omega_e L_\alpha i_\beta + \omega_e L_\beta i_\beta - L_{\alpha\beta} \frac{di_\beta}{dt}) dt \quad (53)$$

$$i_\beta = \frac{1}{L_\beta} \int (U_\beta - R_\beta i_\beta - \omega_e \Psi_m \cos(\varphi) - 2\omega_e L_{\alpha\beta} i_\alpha - \omega_e L_\beta i_\alpha + \omega_e L_\alpha i_\alpha - L_{\alpha\beta} \frac{di_\alpha}{dt}) dt \quad (64)$$

Based on the expressed inductance components and the current equations, an implementation can be made:

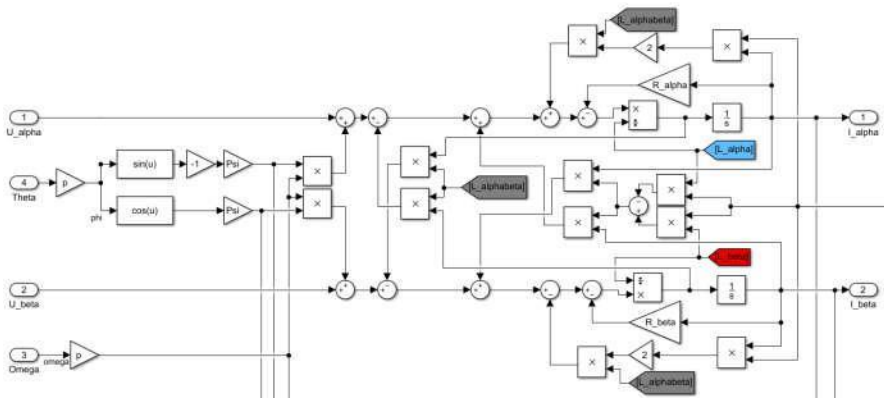


Figure 7

The electrical part of Salient Pole PMSM in Alpha-Beta reference frame.

1.3.5 d-q reference frame, Cylindrical PMSM

The usage of the d-q reference frame, so called synchronously rotating reference frame gives a simple model of the PMSM, the clearest understanding of the separated torque producing (i_q) and the magnetizing (i_d) current components.[6]

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_q \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{bmatrix} * \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \omega \Psi_m \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (75)$$

Expressing the current components gives the integral formula which contains less components than the Alpha-Beta model due to the synchronously rotating coordinate-system:

$$i_{sd} = \frac{1}{L_s} \int (U_d - R_s i_{sd} + \omega_e L_s i_{sq}) dt \quad (86)$$

$$i_{sq} = \frac{1}{L_s} \int (U_q - R_s i_{sq} - \omega_e L_s i_{sd} - \omega_e \Psi_m) dt \quad (97)$$

Implementation in Simulink:

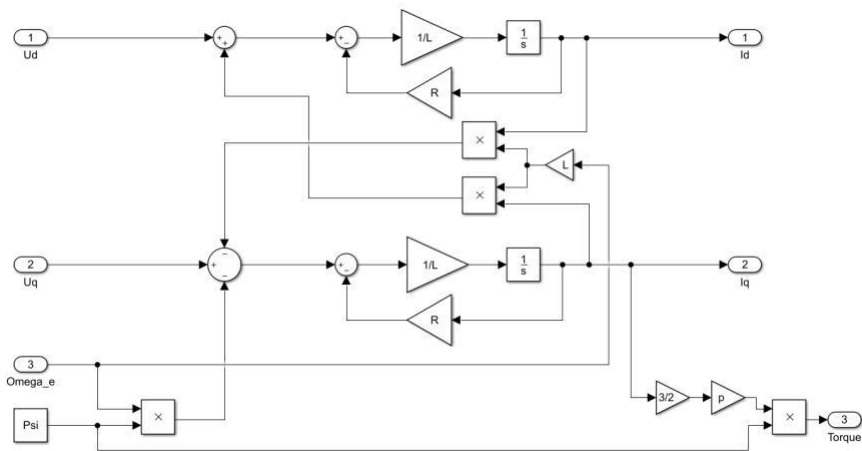


Figure 8

The electrical part of Cylindrical PMSM in d-q reference frame

Note: The “s” index in the equations notes the similar resistance and inductance values of the Cylindrical PMSM, it is not mentioned in the Simulink model, used for differentiate the voltage equations of the cylindrical model from the salient pole model.[7]

1.3.6 d-q reference frame, Salient Pole PMSM

The synchronously rotating frame is directly oriented to the magnetic main direction, that is the main reason of the simple equations of the Salient Pole PMSM in d-q frame [2][3]:

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & -\omega L_s \\ \omega L_s & R_s \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 \\ 0 & L_s \end{bmatrix} * \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \omega \Psi_m \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (108)$$

Expressing the currents:

$$i_d = \frac{1}{L_d} \int (U_d - R_d i_d + \omega_e L_q i_q) dt \quad (119)$$

$$i_q = \frac{1}{L_q} \int (U_q - R_q i_q - \omega_e L_d i_d - \omega_e \Psi_m) dt \quad (20)$$

The implementation of the equations in Simulink only differs in a multiplication at the feedback part, and the torque calculation [9]:

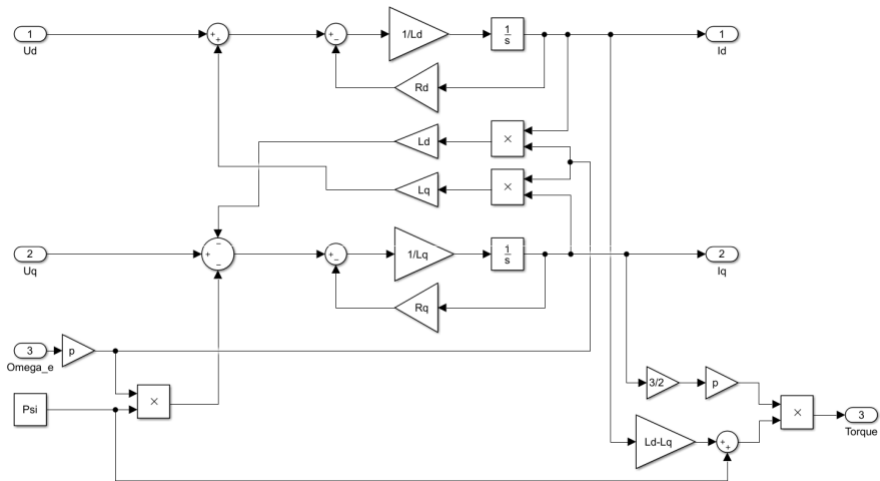


Figure 9

The electrical part of Salient Pole PMSM in d-q reference frame

1.4 Mechanical model

The mechanical equations of a motor is based on the equations of a rotating mass (J , moment of inertia) with a friction component (FF), here the dynamical torque is the difference of the electrically produced and the load torque:

$$T_d = T_e - T_l = J * \frac{d\omega}{dt} + FF * \omega \quad (212)$$

This can be also transformed to the integral formula:

$$\omega = \frac{1}{J} \int (T_d - FF * \omega) dt \quad (22)$$

$$\varphi = \int (\omega) dt \quad (23)$$

These equations are implemented to the mechanical model of the motor. Note, the equation “phi” is mentioned as “theta” in Simulink due to easily differ it from “psi” in the electrical models. The angular position information is used in the control blocks as a feedback. Due to the integration its value can infinitely increase, to limit this, an externally triggered integrator is added to the model. With this solution the angular position value will stay between 0 and 2π .

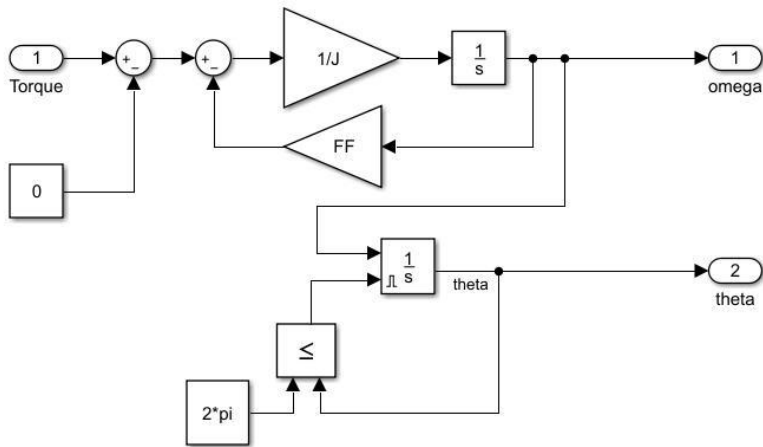


Figure 10
Mechanical model of the motor (a rotating mass)

1.5 Control model

The current controller can be implemented in d-q reference frame, and fitted to the other reference frames by Clarke-Park and its inverse transformations, and also can be implemented in the similar reference frame with the motor model.

1.5.1 Solution I. similar control model in d-q reference frame

In the first solution, we implement the current controller in d-q reference frame based on Equation 18:

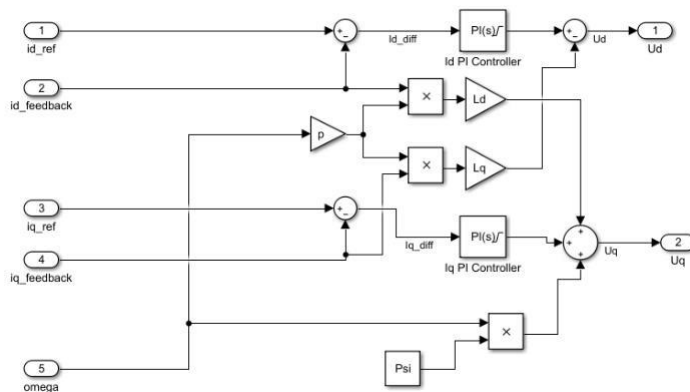


Figure 11
Current controller in d-q reference frame

And a simple speed PI controller:

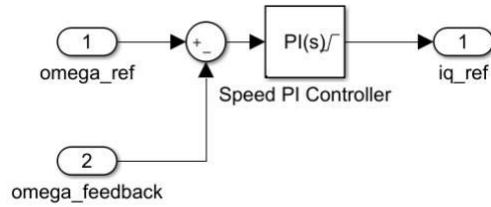


Figure 12
Speed controller

In this case, voltages were transformed to three phase and Alpha-Beta reference frame and currents were transformed back to d-q frame:

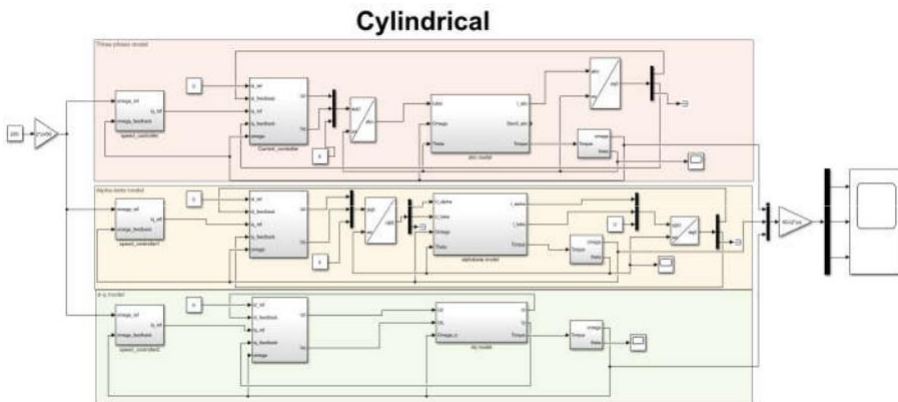


Figure 13
Combined model, containing three reference frame models of Cylindrical PMSM

1.5.2 Solution II. control in similar reference frame with the motor model

In the second solution, current controllers were implemented in Three Phase and Alpha-Beta reference frames, speed controller is similar to Figure 12 model.

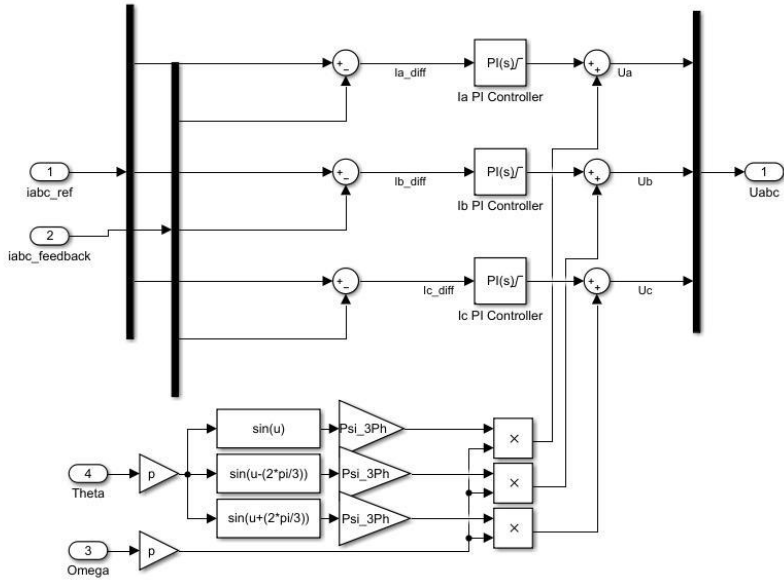


Figure 14
Current controller in Three Phase reference frame

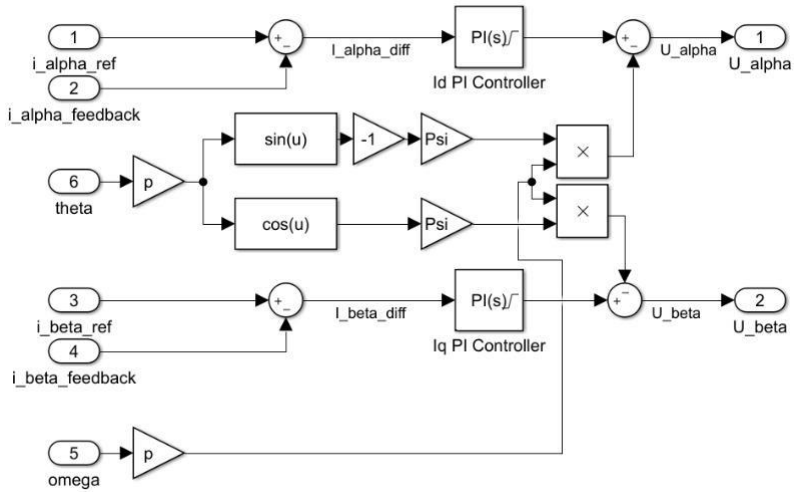


Figure 15
Current controller in Alpha-Beta reference frame

In this case, voltage and current signals of the controllers are fitting with the motor models, only i_q torque producing current reference signals have to be transformed to the d-q reference frame.

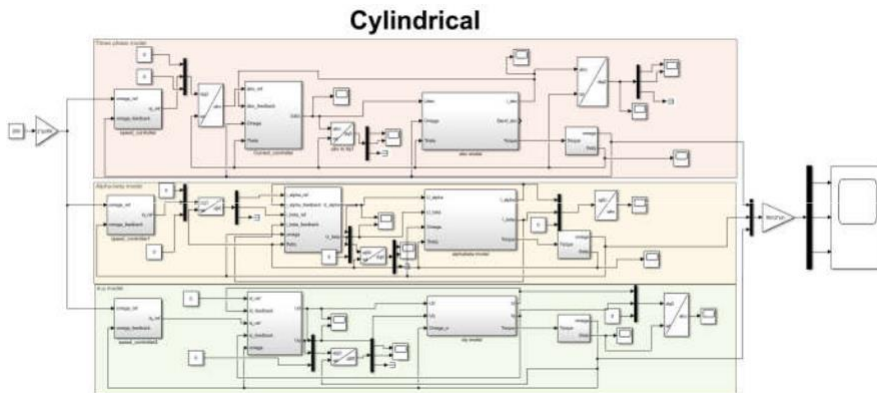


Figure 16

Current controller in Three Phase, Alpha-beta and d-q reference frames

2. Comparison of the models

As it was visible from Figure 13 and 16, a common scope were connected to the three different reference frames to make a comparison easily. The rotational speed was plotted in RPM values, the reference value were 200 RPM:

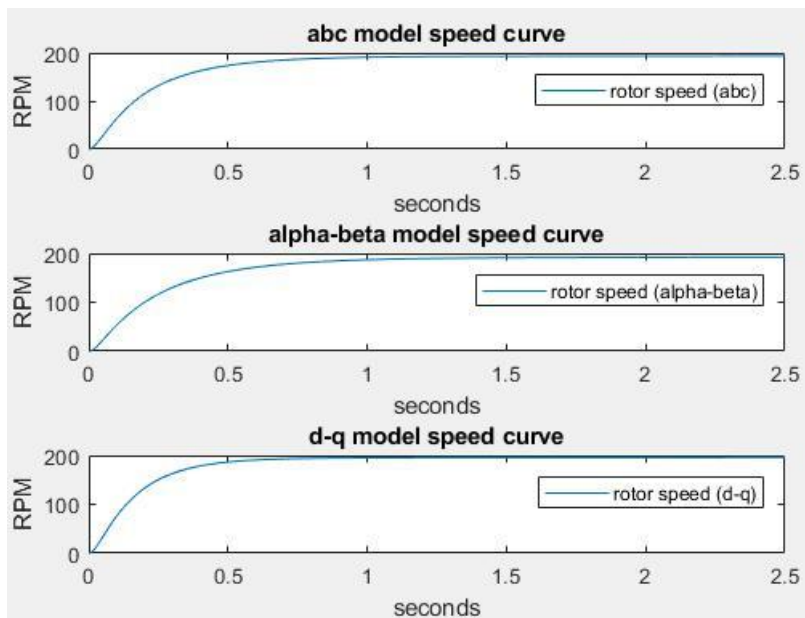


Figure 17

Comparison of the models in three different reference frames

The curves are running simultaneously, following the reference signal with a similar shape. Note: the curves are similar in both Cylindrical and Salient pole case with the same dataset at $L_d=L_q$ case.

3. Conclusions

Due to the fitting curves, the implementation of the PMSM model in different frames were successful in this level for the Cylindrical and the Salient Pole PMSM. The models can be replaced with each other for specific goals for example simulating asymmetry or for sensorless solutions. But for remark, there are still weak points of the model, it does not handle the leakages and the zero order components. In case of the Three Phase model, an extension is needed to handle the antisymmetrical part of the impedance matrices.

References

- [1] <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>
- [2] (Mechanical Engineering Marcel Dekker) Ramu Krishnan - Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives -CRC Press (2009)
- [3] Detailed Analysis of Torque Ripple in High Frequency Signal Injection based Sensor less PMSM Drives, Ravikumar Setty .A*, Kishore Chatterjee
- [4] Extending mathematical model of permanent magnet synchronous motors in alpha-beta coordinate system for EKF, L. Vesely*, D. Zamecnik**
- [5] Frede Blaabjerg - Control of Power Electronic Converters and Systems. Volume 1-Academic Press (2018)
- [6] Hajtácsszabályozások - Schmidt István, Veszprémi Károly, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamos Energetika Tanszék
- [7] Simulation Model Development of Electric Motor and Controller - Wang Han Master's thesis in Systems, Control and Mechatronics
- [8] Mathematical Modelling and Predictive Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Drives - Květoslav Belda
- [9] Modeling and Simulation of Permanent Magnet Synchronous Motor using MATLAB - Ram N. Hajare and Archana G. Thosar
- [10] Modeling of Surface-Mounted PMSM in Different Frames of Reference - Dr. Osama Mohamed Arafa

Solar system with electric vehicle charging capabilities

Róbert, Istók

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar,
Villamosenergetikai Intézet,
1034 Budapest, Bécsi út, Magyarország,
istok.robert@kvk.uni-obuda.hu

Abstract: Increasing of the electric cars number determine an increasing of electric vehicle charger number too. The number of chargers in Hungary in under 2500 pcs. At Óbuda University was builded a solar system with electric vehicle charging capabilities. The system contains storage capabilities too. One of the biggest advantage of the system is that the used batteries are second hand electric vehicle batteries. The batteries are coming from a Nissan Leaf car. The components of the system are connected to the internet. This fact offer the possibility to have not only historical data acces but real time information from the system.

Keywords: electric vehicle charger; solar panels; solar inverter; battery management system; Lithium Ion battery;

1. Introduction

In 2020 the market share of electrical vehicles in Hungary was 4,7%, and electric car charging points per 100km of road was 0.6 [1]. In figure 1. should be seen the evolution of annual registration of plug-in and electric passenger cars in Europe [2]. This increasing of electrical cars number require an increasing of the chargers too. In figure 2 is presented the increasing number of electrical vehicle chargers in Hungary.

At Óbuda University was built an experimental solar system with energy storage and electrical vehicles charging capabilities. The capacity of the solar system is 7kW. This system offer the charging possibility for two cars in the same time. The maximum current of the chargers is 32A. The chargers offer the possibility to control the output power through the internet. This is an important feature in case if we want to charge the EV only with energy produced by solar system.



Figure 1 Annual registration of plug-in electric passenger cars in Europe[2]

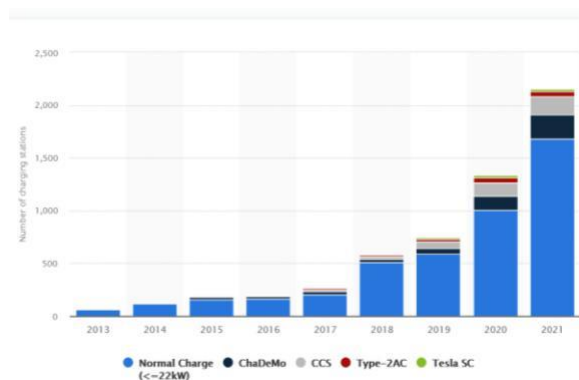


Figure 2 Increasing of number of electric vehicle charging stations in Hungary [3]

2. Solar electric vehicle charger system description

In figure 3 is presented the schematic draw of the solar system with electric vehicle chargers and storage capacities.

The system contains the next parts:

- solar panels
- solar inverter
- battery managements system BMS
- lithium ion batteries
- electric vehicle charger

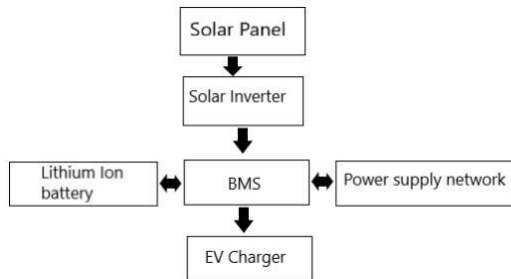


Figure 3 Schematic representation of solar EV chargers

2.1 Solar panels

For this project was used SoliTek glass-glass 320Wp solar panels. This type of solar panels are more advantages compare to glass-foil solar panels: it is damp proof , it has 30 years product and 87% efficiency waranty.

2.2 Solar inverter

The voltage conversion is done by Fronius Symo 8.2 kW solar inverter. The inverter is situated as close as possible to the solar panels to reduce the losses. The connection to the internet of the solar inverter give the possibility to have a real time overview on the solar energy production. In figure 4 should be seen the some online information from the solar inverter. It present the produced power and the momentary power of the system, and the daily energy production. There is a prediction of energy production for the next day too, and the daily weather.

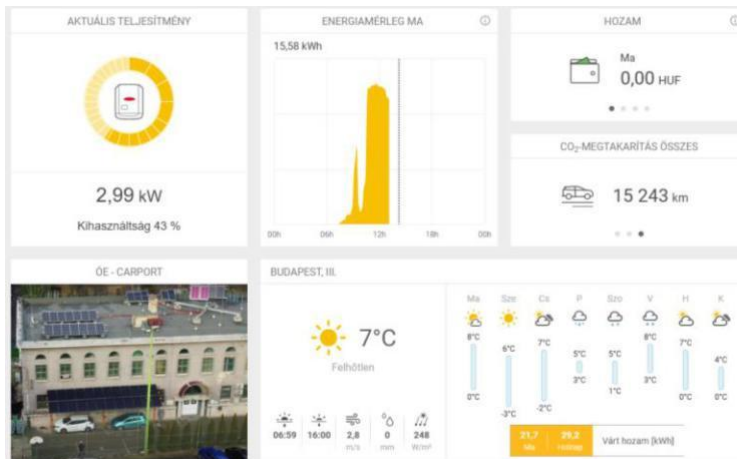


Figure 4 Online information from solar inverter

2.3 Battery management system BMS

The role of BMS is done by Victron Quattro Inverter & Charger, as the name suggests, this device is a combination of an inverter and a charger. The BMS interconnects the batteries, the solar system, the power supply grid and the electrical vehicle chargers too. This interconnection is presented in figure 5.

The figure 5 presents not only the interconnection of the BMS but the real-time status and energy production/absorption of all system. In this case, the solar system produces 2597W, the batteries absorb 75W, the chargers have a 57W consumption, and the rest of energy is sent to the power supply network. Because on this day there was not any electric vehicle connected to the chargers in the historical data, the energy production and consumption are in balance, and the battery capacity is at 100%.

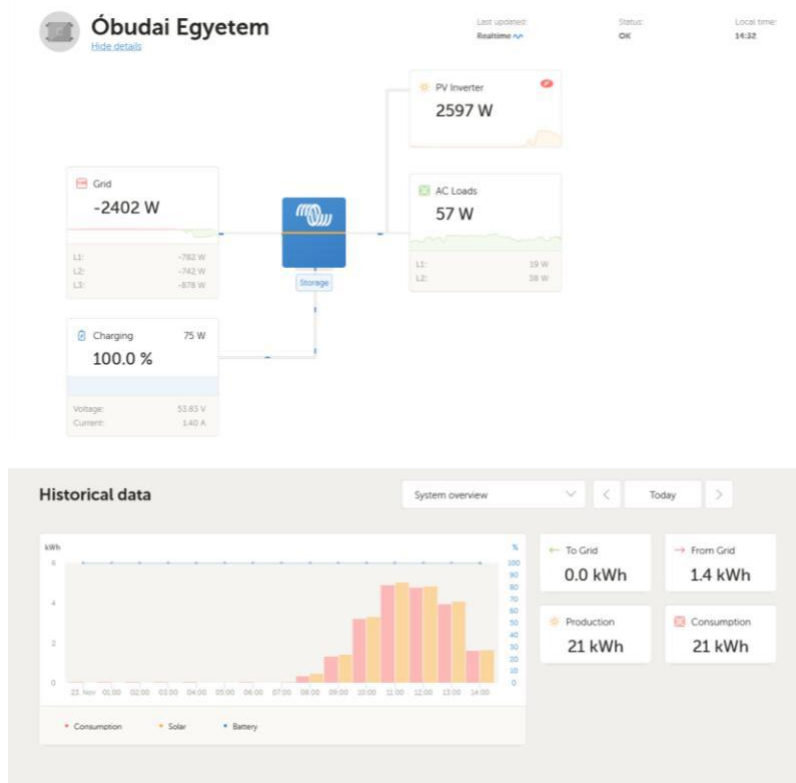


Figure 5 Interconnection and real-time information of BMS

2.4 Lithium ion batteries

One of the biggest advantage of this system is that for charging capacities are used 2nd life Nissan Leaf bateries. The batteries are coming from a first generation Nissan Leaf. The capacity of the batteries were enough only for 100 km compare to 200km (on JC08 mode) [4]

2.5 Electric vehicle charger

For chargers were used Wallbox Copper SB Smart Chargers. The system contains two chargers, which are connected to the internet. in figure 6 and 7 are presented the energy supplied by the chargers.

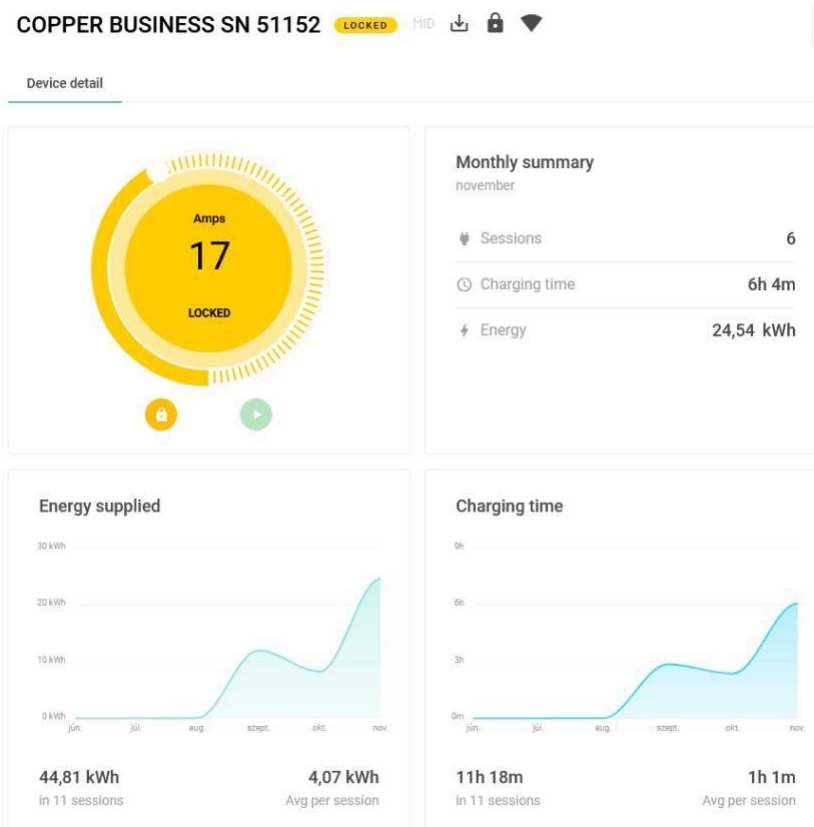


Figure 6 Energy supplied by the 51152 charger

The pictures give us information about the energy supplied by every charger and the charging time of its.

One of the most important feature of the system is that the output current of the chargers should be modified trough web page of the chargers. The maximum output current is 32A.

If the charging of the electric vehicle is done with maximum output power 7kW and the energy produced by solar system is lower than 7kW, then the rest of the power is take from the power system network. If the output power from chargers is reduced till level of the solar system production, then the electric vehicle is chargin only with green energy.

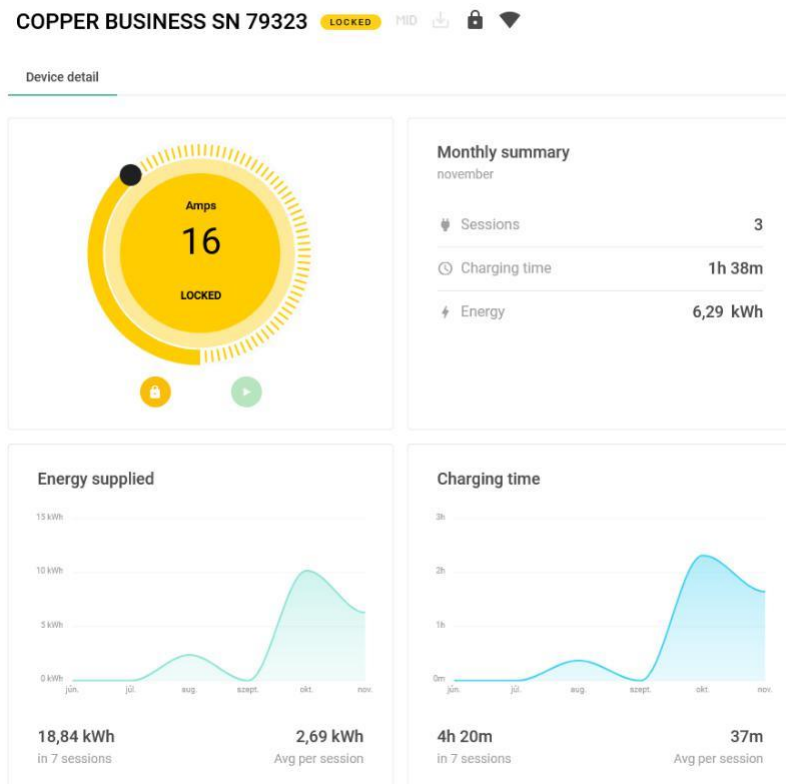


Figure 7 Energy supplied by the 79323 charger

In figure 8 is presented the total energy used for electric car charging. In total was used 63,65kWh for charging. In figure 9 is presented the total energy produced by solar system from middle on april. The system working from middle of aprril. The total energy production of the system is 7,18MWh. In this year June was the month with the best energy production 1294kWh.

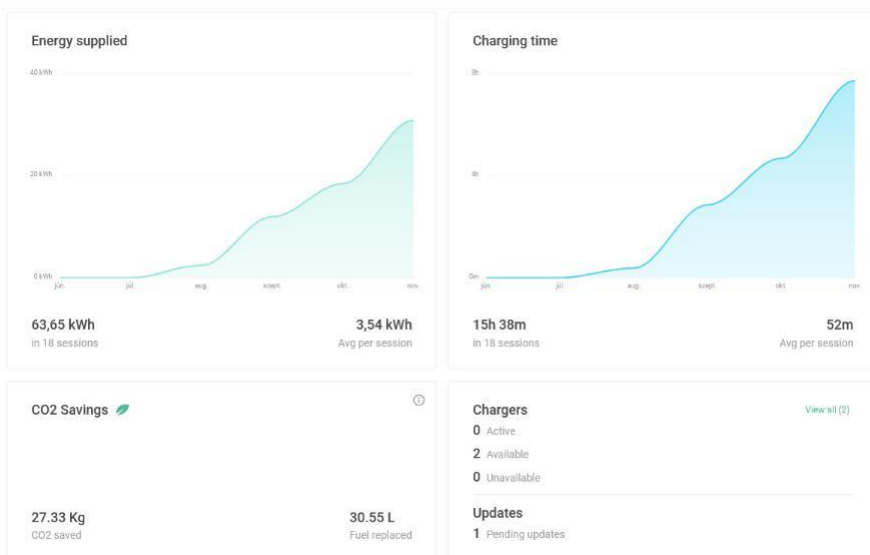


Figure 8 Total energy used for electric car charging

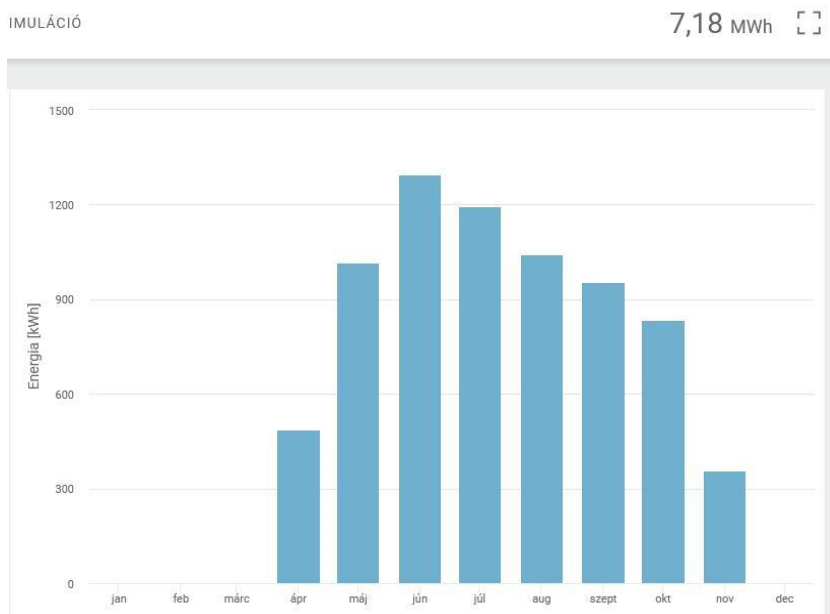


Figure 9 Total energy produced by solar system

Conclusions

The solar system with electric vehicle chargers capabilities builded at Óbuda University contains four parts: solar panels with solar inverter, battery managements system, lithium ion battery, electric vehicle chargers. It is a fully green concept, not just because of the solar panels, or because it is charging electric vehicles, but most importantly, because it is giving a 2nd life to electric vehicle batteries of which very soon we will have a huge amount, coming back from the automotive market and ready to be utilized for green energy storage [5], [6].

Acknowledgement

This work was supported by European Institute of Innovation and Technology (EIT) Urban Mobility, Premium Napelem kft and Fronius Hungary Kft.

References

- [1] [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicles_in_Europe#/media/File:Annual_PEV_registrations_Europe_from_2011_2019.png
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicles_in_Europe#/media/File:Annual_PEV_registrations_Europe_from_2011_2019.png
- [3] <https://www.statista.com/statistics/933078/number-of-electric-vehicle-charging-stations-in-hungary/>
- [4] <https://global.nissannews.com/en/releases/101203-01-e>
- [5] D. Benedetti, J. Agnelli, A. Gagliardi, P. Dini and S. Saponara, "*Design of an Off-Grid Photovoltaic Carport for a Full Electric Vehicle Recharging,*" 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160655.
- [6] Péter Kádár, Róbert Istók, Levente Reizer "*Solar Carport*" 19th International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'21), Almeria Spain July 2021 ISSN 2172-038, Volume No. 19, September 2021

Traffic Sign Detection Using Convolutional Neural Networks

Milán, Kriston; Döníz, Borsos

Óbudai Egyetem, Tavaszmező utca 15, 1084, Budapest, Hungary,
kmilan@stud.uni-obuda.hu, borsos.doniz@ui-obuda.hu

Abstrakt: In recent years, safety and driver assistance systems in vehicles have rapidly improved. Based on these results, my goal was to create a homemade solution for traffic sign recognition that is capable of real-time image processing and detects and classifies traffic signs in its environment, as accurately as possible. Considering my limited resources, not every single traffic sign is processed, only six of them were chosen but naturally, my solution would be scalable for every single sign. Based on my research, every single car manufacturing company uses the same Convolutional Neural Network-based approach but these solutions are not open-source. Firstly, in my presentation and study, there will be a short theoretical introduction. After this summary, I will elaborate on object detection as a wider area and the input data structure will be presented. The system's biggest flaws and the hardships caused by my hardware will be also covered in the study. In the end, the system's final efficiency will be evaluated and will be tested in a real-time environment using pre-recorded videos.

1. Introduction

The goal of this project was to create a system which is capable of detecting traffic signs in various conditions in real time. Considering the limited resources and time that I had, I decided not to involve every single sign in my solution, instead I choose randomly (but from the most common ones) six signs to detect. In the last couple of decades implementations involving artificial intelligence became widespread in numerous engineering fields. That is why after failing with "traditional" approaches I decided to create a system which is based on Deep Learning, hence Convolutional Neural Networks. The six signs which are detected are:

- No entry;
- No waiting;
- No stopping;
- Yield;
- Stop;
- Pedestrian crossing.

Naturally every other signs could be detected in the same manner as these signs that I choose. Every single data-oriented solution's biggest challenge is to create a data structure that is adequate for the task at hand. This is especially true for smaller projects without extensive manpower and financial resources. Another common hardship is the lack of proper hardware equipment, I had to overcome both issues in this project.

2. Object Detection, Environment

The problem can mostly be interpreted as an Object Detection task. During Object Detection we want to locate object in question with a Bounding Box and also classify it with the correct label and give a corresponding probability number to that class.

The solution I choose is a Transfer Learning approach, which means that I reuse a pretrained model's weights which was trained on a much larger dataset (COCO dataset) and just train the last layers with my significantly smaller own dataset. First I needed to set up the proper environment for the learning process, for that I was using the following tools:

- Tensorflow GPU 2.6.0 - Python API;
- Cuda Toolkit 11.2.2;
- CuDNN 8.1.1.33.

The hardware on which the learning process was carried out had the following most important parameters:

- GPU - NVIDIA GEFORCE GTX 960M - 2GB RAM;
- 8GB RAM;
- Intel(R) Core(TM) i5-6300HQ CPU - 2.30GHz

Tensorflow now offers various pre-trained models in Tensorflow Model-Zoo from which everybody can freely choose the most fitting for their application.

3. Data structure

The single most important aspect of every single Machine Learning project is the data that we feed the network. For my application I have collected all the input pictures with my Xiaomi Mi 10 Lite smartphone. I had to consider several aspects during data collection. Every single input picture has to have a 1:1 aspect ratio, therefore it is advisable to take pictures with this aspect ratio because even though we can resize any picture to that aspect ratio, the features of our object might be distorted in the process. This restriction is necessary because the Network expects pictures only in this exact ratio. It is also important to keep up the balance with the number of instances between the classes, otherwise a class might get under- or overrepresented. I solved this issue by keeping track of every single classes' instance number by collecting them to different folders. Multiple representation on a single picture might lead to smaller imbalances, but most pictures contained 1 or 2 objects therefore in the end the imbalance was negligible. While I was collecting these pictures I also tried to make these pictures from various angles, distances, lightning conditions and so on, to make my dataset as diverse as possible even before augmenting it. The final structure of my dataset looked like this before augmentation:



Figure 1: Data Structure

This instance number unfortunately is way too few to actually start the learning process therefore I experimented with various data augmentation techniques. These are also provided by the Tensorflow API, we don't have to manually apply every single technique therefore we can try them with different setups. The final techniques that I choose were the following:

1. Random_adjust_saturation
2. Random_adjust_contrast
3. Random_add_Gaussian_patch
4. Random_padding
5. Random_horizontal_flip

With these procedures I could enlarge my dataset by the factor of 5, 5.5.

For labeling my images I was using the free-source LabelImg program which provides different labeling formats, and is also capable of adding difficult and truncated attribute to the label. For my application I had to use the Pascal VOC format which stores every important detail about the label in an XML format. Unfortunately this application is not capable of handling EXIF files, therefore I had to rotate all of my input pictures because the orientation data could not be loaded. During the process of labeling we have to make sure we do not add labeling noise to the system which might occur when we create a bounding box with too much background or if we do not include some part of the object in question. The Pascal VOC specification [3] advises that in case of "too small" object it is better not the label it as true positive even though we might introduce false negatives with this approach. This is decided intuitively by the person labeling and might bias the final performance therefore later it would be advisable to evaluate the effect of this phenomenon with various labeling thresholds.

4. Training

For the training process I was using the Object Detection API's scripts with with few alterations. The training script in it's original form is not capable of monitoring the validation loss nor the Precision and Recall curves. That is why I decided to alter the script so that I would capable of monitoring all these parameters. In the beginning I did not change any hyperparameters for the model, started with the custom values. Since with these values I could not achieve adequate Precision and Recall scores I started tuning these parameters, most importantly the learning rate, but I was also experimenting with different optimizing algorithms both adaptive and time-based solutions. For training-time plots and evaluation I was using Tensorboard. Equipped with these tools I was able to notice possible indications for overfitting, inadequate learning rate and so on. Every time I noted such and indicator, I stopped the training and re-started the process with updates hyperparameters. It would possible to speed up this process with multiple GPUs so that I can train the model with various parameters and only kill of those that are certain not to converge into the right direction anymore. The model I was using in almost every single instance was the SSD Mobilenet V2, to be exact the one that was trained on 640x640 pictures. This model offers a fair balance between speed and power, tensorflow states that it is capable of running inference in 39 ms (that's naturally hardware dependent) and achieved 28.2 mAP

on the COCO dataset respectively. I was experimenting with different models from the Model Zoo but none of them achieved better performance in precision and the boost in speed was barely noticeable. This might have happened because I had not been tuning these models as accurately as the SSD-Mobilenet one. Therefore it might be reasonable to revisit these with spending more time on fine-tuning. The batch size I was using during training was only 4, because above the size 5, I was not able to start the learning process because I ran out of memory since my GPU only has 2GB. I would be able to increase this batch size if I resized the images before feeding into the system. Unfortunately I labeled all the images in their original, 3000x3000 size, so the model has to load in these high resolution pictures into the memory before resizing them, so another possible improvement would be re-labeling every picture in 640x640 resolution and using a bigger batch size.

The evaluation metrics that I followed were the COCO metrics since the pre-trained model was also evaluated with these parameters.

5. Testing

The evaluation procedures are already aiming to monitor our model's performance, but I have been testing it in various conditions. I was running inference on single pictures, to visually confirm the results. Moreover I was calculating precision and recall values for the test set and because the model is expected to run in real time, I was using short self-recorded and resized videos in various lighting and weather conditions. My best trained solution was able to achieve 0.81 mAP and 0.85 mAR, considering how small the data structure and how weak my hardware environment is, this performance is acceptable. The highest FPS I was able to run the model with, was 12.1 and the average frame rate was between 9 and 10. It is important to mention that this solution struggles with smaller objects as every one-step detector. As for the large and medium objects, the performance was around 85-90 % or even higher, but as for smaller objects, it dropped to around 60% resulting in an overall performance around 80%. For this reason I would like to experiment in the future with YOLO-based architecture since some papers [13] indicate that these models perform better on small objects. During this project objects smaller than 32x32 pixel were treated as small objects, but that is also a threshold value which could be chosen differently.

Model	Learning Rate	Time-based change	Optimization	Step	mAP(0.5:0.95)	mAR(0.5:0.95)	F1 score
my_ssd_2	0.07999999821186066		Momentum	7000	0.717	0.78	0.75
my_ssd_3	0.05	Manual-step		10000	0.726	0.79	0.76
my_ssd_5	0.01		Adam	20000	0.723	0.77	0.78
my_ssd_8	0.08	cosinus csökkenés + warmup		15000	0.81	0.846	0.83
my_ssd_7	0.07999999821186066	cosinus csökkenés + warmup		20000	0.75	0.79	0.77

Figure 2: Evaluated models

On figure 2 the list of the most successful training results can be seen. As I mentioned before, I was testing a lot of different combinations of hyperparameters, I am not showing every result from every training process. One possible solution for the smaller objects' detection is that we limit the distance from which our system is surely capable of detecting. This exact distance is yet to be determined, as it requires further testing.



Figure 3: Testing on single image

Figure 3 shows an instance where the bigger sign in the foreground is easily detected, but the ones in the background with small size (and partially truncated), are not. Both during testing on single pictures and on videos the initial result indicated by the evaluation numbers were confirmed, the model named `my_ssd_8` performed the best in these tests. It was also noticeable (as expected) that models with higher mAP were less likely to detect false positives, and the ones with higher mAR more easily (from further, sooner) detected true positives.

6. Conclusion, further improvements

Considering the limited data and computing capacity I had I conclude the system to be adequate. Naturally there is still plenty of room to improve just considering the precision and recall values. This could be done by enlarging our dataset, more fine-tuning and possibly introduce distributed learning (learning on multiple GPUs) to be able to run training with more diverse parameters. I would not only like to improve my precision and recall values, but also expand my testing environment. I want to create an environment which is more similar to the real surroundings, for example using a dashboard camera instead of smartphone recorded videos. As I mentioned before another possible solution for improvement is switching model architecture to YOLO which might perform better on smaller objects. The easiest but most expensive way for better performance would be switching to better hardware because it would enable me to hasten the learning process. It would be also possible to use the TensorRT software development kit, which is capable of cutting the inference time in half with different optimizations resulting in possible double frame rate.

References

- [1] Aurélien Géron: Hands-on Machine Learning with Sickit-Learn, Keras & Tensorflow, Sebastopol, 2019
- [2] Introduction to Artificial Intelligence: Prof. Bojana Dalbelo Basic
- [3] Mark Everingham, Luc Van Gool, Christopher K.I Williams John Winn, Andrew Zissermann: The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge
- [4] Johnathan Hui: mAP (mean Average Precision) for Object Detection, 2018.03.07, <https://jonathan-hui.medium.com/map-mean-average-precision-for-object-detection-45c121a31173>
- [5] Mohamed Elgendy: Deep Learning for Vision Systems, New York, 2020
- [6] Vincent Dumoulin and Francesco Visin: A guide to convolution arithmetic for deep learning, 2018 January 12
- [7] Andrew G., Howard Menglong, Zhu Bo Chen, Dmitry Kalenichenko, Weijun Wang, Tobias Weyand, Marco Andreetto, Hartwig Adam: MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications, 2017 April 17., <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf>
- [8] Matthijs Hollemans: MobileNet version 2, 2018 April 22, <https://machinethink.net/blog/mobilenet-v2>
- [9] Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg: SSD: Single Shot MultiBox Detector, 2016
- [10] Mark Sandler, Andrew Howard, Menglong Zhu, Andrey Zhmoginov, Liang-Chieh Chen: MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks, 2019 March 21, <https://arxiv.org/pdf/1801.04381.pdf>
- [11] Sebastian Ruder: Transfer Learning - Machine Learning's Next Frontier, 2017. March 27, <https://ruder.io/transfer-learning/index.html#fnref6:1>
- [12] Memory usage and computational considerations:
<http://imatge-upc.github.io/telecombcn-2016-dlcv/slides/D2L1-memory.pdf>
- [13] Nhat-Duy Nguyen, Tien Do , Thanh Duc Ngo, Duy-Dinh LeAn: Evaluation of Deep Learning Methods for Small Object Detection, 2020. April 27., Journal of Electrical and Computer Engineering
- [14] Ángel Morera, Ángel Sánchez, A. Belén Moreno, Ángel D. Sappa, José F. Vélez: SSD vs. YOLO for Detection of Outdoor Urban Advertising Panels under Multiple Variabilities, 2020. August 15.
- [15] Jonathan Dekhtiar, Bixia Zheng , Shashank Verma , Chetan Tekur: Leveraging TensorFlow-TensorRT integration for Low latency Inference, 2021. January 28.