

## Optimális akkumulátorrendszer fejlesztése villamos hajtású járművek részére

Körös Péter<sup>2</sup> – Szakállas Gábor<sup>2</sup> – Székely János Ádám<sup>3</sup> – Szeli Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> egyetemi tanársegéd, <sup>2</sup> tanszéki mérnök, <sup>3</sup> BSc hallgató,

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutató Központ, 9026. Győr, Egyetem tér 1.

Abstract: Napjainkban egyre növekvő számban fordulnak elő a közúti forgalomban az elektromos hajtású járművek. Jelenleg ezek a közlekedési eszközök korlátozott hatótávolsággal és akkumulátor élettartammal rendelkeznek, amely jellemzők javítása érdekében komoly fejlesztések folynak világszerte. A cikkben egy olyan Li-Ion technológiára épülő akkumulátorrendszer fejlesztését mutatjuk be, amely elektromos városi járművek számára nyújt optimális megoldást méretben, hatékonyságban, modularitásban és biztonságos működésben egyaránt.

### 1. BEVEZETÉS

Napjaink közlekedésében nagy gondot jelent az a jelenség, hogy a magántulajdonban lévő járművek kihasználtsága nem megfelelő. Tanulmányok rámutatnak arra, hogy az átlagos megtett távolság, amit egy munkába és onnan haza igyekvő személy naponta megtesz, az nem több mint 10-12 km. Ez a távolság munkaszüneti napokban 32 km/nap-ra növekszik. Egy Magyarországon értékesített személygépkocsi éves futása kb. 12000 km. Ha a Magyarországon forgalomban lévő járművek átlagos CO<sub>2</sub> kibocsátásával számolunk (156 g/km), akkor egy személygépkocsi 1872 kg CO<sub>2</sub>-t bocsát ki évente. A magyarországi mutatók között azonban azt is észrevehetjük, hogy az utasszám/gépjármű adat jobb, mint az Európai Unió átlag: 1,4 fő/személygépkocsi. Az utóbbi mutató annak is köszönhető, hogy az egy főre vetített személygépkocsi ellátottság rosszabb, mint az EU-ban. Ezeket az adatokat figyelembe véve ésszerűnek tűnik olyan járművek fejlesztése és üzembe helyezése, melyek képesek kielégíteni a hétköznapi használat igényeit, mindezt úgy, hogy a környezetet minél kevésbé terheljék.

### 2. FEJLESZTÉSI SZEMPONTOK

Célunk tehát egy olyan 1-2 főt szállítani képes villamos meghajtású gépjármű energiaszükségleteit ellátó akkumulátorrendszer fejlesztése, amely kb. 20 km-es hatótávolságot biztosít. Ez a hétköznapi használat igényeit kielégítve alternatívát nyújtana a nagy hatótávolságú, belsőégésű motorral meghajtott járművekkel szemben. Az elektromos járművek további előnye az lehet, hogy a mára már kiépült infrastruktúrát tudná hasznosítani a holt időkben is (töltés 230V-os hálózatról munkaidőben, illetve otthon).

A villamos meghajtású járművek energiaforrásaként jelenleg a lítium-ion akkumulátorok adják az egyetlen a gyakorlatban is alkalmazható akkumulátorrendszer alapját. Ez a típus nyújtja a legnagyobb tárolható energia mennyiséget azonos térfogaton a különböző akkumulátorfajtákat vizsgálva.

1. táblázat - Akkumulátortípusok energiasűrűsége

Akkumulátortípus	Energiasűrűség tömeg / térfogat szerint	
Ólomsavas akkumulátor	36 Wh/kg	0.11 Wh/cm <sup>3</sup>
Nikkel-metálhidrid akkumulátor	65 Wh/kg	0.15 Wh/cm <sup>3</sup>
Lítium-ion akkumulátor	170 Wh/kg	0.23 Wh/cm <sup>3</sup>

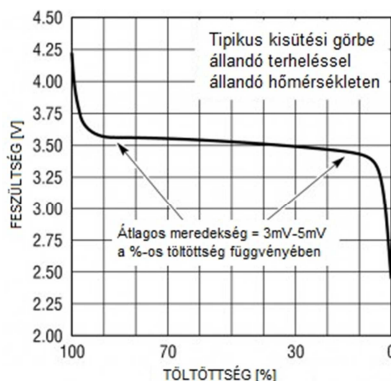
Az akkumulátorrendszernek több, szigorú biztonsági funkciót is el kell látnia az energiaszolgáltatás mellett. A lítium-ion akkumulátorcsalád közös jellemzője az, hogy a maximális feszültség felett tűz- és robbanásveszélyes, míg a minimális feszültség alá merülő cellák jelentős élettartam csökkenést, vagy végleges károsodást szenvednek el.

A rendszerrel szemben támasztott követelmények:

- Feszültség és hőmérséklet mérése cellánként
- Teljes akkumulátorrendszer áram- és feszültségértékének mérése
- Védelmi funkciók (maximális, illetve minimum feszültségkorlátok túllépése esetén kikapcsolás)
- Integrált töltő áramkör
- Cellafeszültség kiegyenlítés töltéskor
- CAN kommunikáció a jármű informatikai rendszerével

### 3. A RENDSZER MŰKÖDÉSE

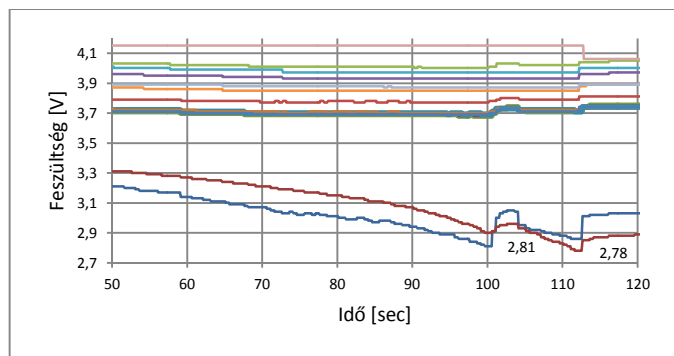
Az SOC (State Of Charge) állapot kijelzésére a másodrendű akkumulátormodellt kívánjuk majd felhasználni az adott jármű központi vezérlőegységében vagy az előre meghatározott cellákból felépülő akkumulátorrendszer programjában. A modell előnye az, hogy kis relatív hibával képes meghatározni az aktuális töltöttségi állapotot. Hátránya viszont az, hogy nagy számításigényű illetve a modell pontos paramétereit mérések alapján lehet meghatározni, így a kiépített akkumulátorrendszereknél mindig újra kell vizsgálni az adott jellemzőket.



1. ábra: Li-Ion cella tipikus kisütési görbéje

A rendszer a nagy pontosságú és felbontású Szigma-Delta átalakítók segítségével végez méréseket az akkumulátor cellák feszültség értékeiről, amelynek segítségével könnyebben meghatározhatóak az akkumulátor jellemző paramétere, valamint növelhető az akkumulátor cellák élettartama.

A rögzített adatok alapján lehetőség nyílik az egyes cellák állapotára következtetni, és szükség esetén csak a hibás cellák cseréjét végrehajtani. A 2. ábrán láthatjuk, hogy két cella kapacitáscsökkenés következtében nagyobb mértékben merül, mint a többi. A teljes akkumulátorrendszer viszont védelmi okok miatt lekapcsol, így nem nyerhető ki a névleges energiamennyiség.



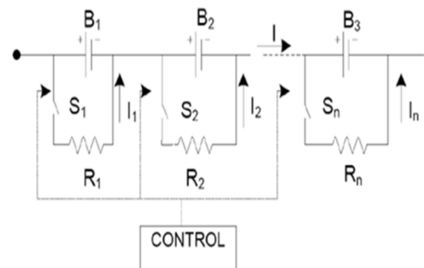
2. ábra: Li-Ion akkumulátorcsomag feszültség szintjei 12 db cella esetén

Sorosan kapcsolt cellák töltésekor semmi nem garantálja, hogy az akkumulátor cellákra azonos töltőfeszültség jusson. Még két új akkumulátor cella belső ellenállása sem egyforma, ezért előfordulhat, hogy az egyikre alacsonyabb, míg a másikra magasabb töltőfeszültség jut azonos töltőáram mellett. Ez a folyamat öngerjesztő és mindkét cella idő előtti meghibásodásához vezet. Az alultöltött cella a kialakuló szulfátréteg miatt fokozatosan elveszti a kapacitását, a másik pedig a rendszeres túltöltés okozta kiszáradás, majd a bekövetkező cellazárlat miatt megy tönkre.

Ez a nem kívánt jelenség kiküszöbölhető töltéskiegyenlítő rendszerrel, melynek lényege, hogy plusz töltést áramoltatunk az alacsonyabb feszültségű cellákba, valamint töltést veszünk ki a magasabb töltöttséggel rendelkező cellákból.

A folyamat kétféleképpen valósítható meg. Az egyik változat, amikor cellából cellába áramoltatjuk a töltéseket, a másik, amikor az akkumulátorcsomag és az egyes cellák között valósítjuk meg a kiegyenlítést.

A kiegyenlítési metódusokat is két csoportra oszthatjuk. Passzív kiegyenlítésnek nevezzük, amikor a töltéstöbbletet ellenállásokon keresztül hővé alakítjuk, így hozva azonos feszültségszintre az akkumulátor cellákat (3. ábra). A másik módszer az aktív töltéskiegyenlítés, amely töltéskiegyenlítésre energiatároló egységet használ, ami a cellák között ingáztatja az energiát kiegyenlítés céljából.



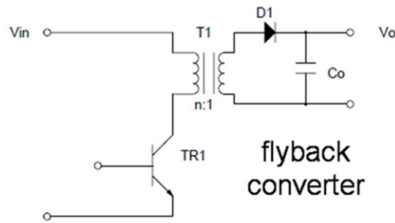
3. ábra: Passzív cellakiegyenlítés

Az aktív cellakiegyenlítést számos elrendezés segítségével valósíthatjuk meg. Ilyenek például:

- Buck-Boost konverter
- CUK konverter
- Flyback konverter
- Full-Bridge konverter
- Quasi-Resonant konverter

Minden kapcsolásnak megvan az előnye és hátránya is, továbbá lényeges különbségek mutatkoznak a bekerülési költségeikben. Az általunk fejlesztett rendszerben a Flyback kapcsolás került alkalmazásra (4. ábra), mely az egész akkumulátor csomagból áramoltatja a töltéseket a szükséges cellákba. A mi esetünkben ez csomagonként 12 db akkumulátor cellát jelent, azaz 12 db Flyback konverter került kialakításra egy rendszeren belül. A módszer előnye,

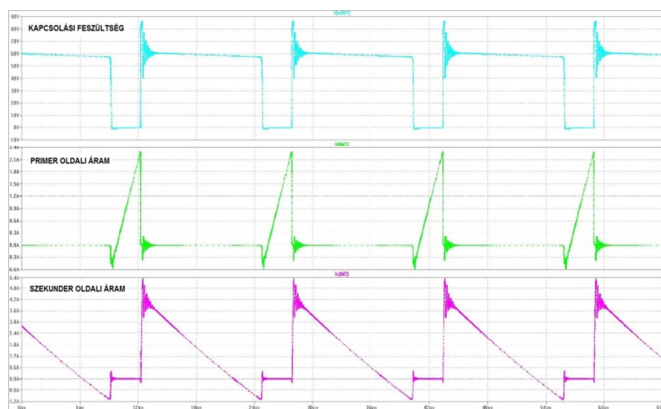
hogy egy cellába történő töltés transzformáció hatásfoka közel megegyezik a konverter működési hatásfokával. A cellából cellába való töltésátadás lényegesen rosszabb hatásfokkal történik, amennyiben több cellán keresztül jutunk el a kívánt cellához.



4. ábra: Flyback topológia

A Flyback kapcsolással megvalósított konverter veszteségeinek nagy részét a kimeneti dióda és a transzformátor veszteségei határozzák meg, mely alacsony feszültség és relatíve nagy áram mellett nem túl kedvezőek. A mi esetünkben ez az érték cellafeszültségtől függően 76-85% között adódik. További fejlesztési lehetőség a kimeneti dióda helyettesítése MOSFET típusú kapcsolóelemmel, mely az összhatalásfok emelkedését segíti elő 5-8%-kal.

A konvertert áramszabályozott módban vezéreljük feszültség határolással, így biztosítva a töltési karakterisztikát a Li-Ion cellák számára. A vezérlő egység primer oldali visszacsatolással rendelkezik, vagyis a primer oldali feszültség jelalakokból számítva állítja be a konverter kitöltési tényezőjét, egyúttal ellátva a védelmi funkciót az esetleges szekunder oldali szakadás esetén. Az 5. ábrán láthatjuk a konverter kapcsolási jelalakjait. Megfigyelhető, hogy a vezérlés az úgynevezett "boundary" módban történik, azaz a folyamatos és a szaggatott vezérlés határán. Más szavakkal, amint az összes energia átáramlott a kimenet felé, a kapcsoló elem azonnal újra bekapcsol, így a transzformátornak nincs holtideje. A kapcsoló elem kikapcsolásakor jelentkező lengések a tekercs szórt induktivitásából adódnak



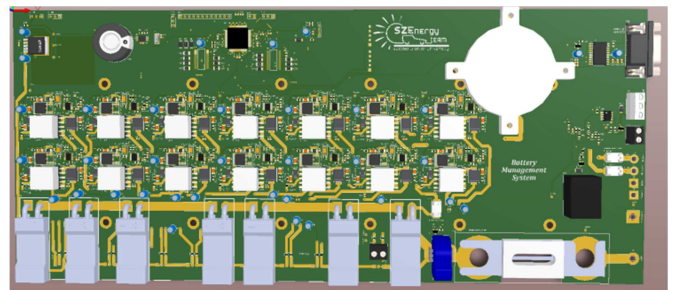
5. ábra:  $U_{DS}$  primer oldali feszültség

Az akkumulátor felügyeleti rendszernek a cellakegyenlítés csak egy részét képezi. A fejlesztett egység rendelkezik cellamonitorozó, védelmi és kommunikációs funkciókkal egyetlen rendszerbe integrálva.

A cellamonitorozást egy erre a célra fejlesztett integrált áramkör végzi, amely adatokat továbbít a processzornak és így képes a kapott adatok alapján döntéseket hozni a vezérlés tekintetében, valamint felhasználja azokat az akkumulátor cellák jellemző paramétereinek a számolásához (töltöttségi állapot, üresjárás feszültség, belső ellenállás).

A hőmérséklet mérését 12 db I<sup>2</sup>C buszon kommunikáló hőmérséklet szenzor végzi, amelyeket közvetlenül a cellákra tudunk felhelyezni. A rendszer képes továbbá kétirányú árammérésre 0,1%-os pontossággal.

Az izolált CAN kommunikációs interfész kialakítása, valamint a speciálisan kialakított cellamonitorozó és cellakegyenlítő áramkör lehetővé teszi, hogy több rendszert kapcsoljunk össze sorosan, növelve így a rendszerek összefeszültségét, továbbá megtartva a biztonságos kommunikációt a rendszerek és a jármű vezérlőegységei között. Az elkészített akkumulátor felügyeleti rendszer modellje látható a 6. ábrán.



6. ábra: Akkumulátor felügyeleti rendszer 3D modellje

#### 4. ÖSSZEGZÉS

Az elkészült prototípus tesztelés alatt áll. Az általunk megvalósítani kívánt funkciók működnek, de további optimalizálást igényelnek. Jelenleg a tesztüzem során mért adatok kiértékelésével foglalkozunk, valamint az SOC kijelzéshez szükséges akkumulátor mérésekkel foglalkozunk, amely funkciót a későbbiekben be szeretnénk építeni a rendszerünkbe.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012: Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

#### REFERENCIÁK

Michael Kultgen: Managing high-voltage lithium-ion batteries in HEVs, Linear Corp., 2009.

Jim Drew: Active Cell Balancer Extends Run Time and Lifetime of Large Series-Connected Battery Stacks, Linear Corp., 2013.

Dynamo Effect: Észszerű közlekedés, 2013.  
<http://www.dynamoeffect.org>