

Városi elektromos kis autóban alkalmazott lítium-ion akkumulátorok töltés kiegyenlítő és felügyeleti rendszerének fejlesztése

Kocsis Szürke Szabolcs*, Somogyi Huba*, Szakállas Gábor**, Szelei Zoltán***

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

**Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék, 9026. Győr, Egyetem tér 1.

***Széchenyi István Egyetem, Automatizálási tanszék, 9026. Győr, Egyetem tér 1.

Abstract:

A cikk a győri Széchenyi István Egyetemen működő Járműipari Kutató Központ által fejlesztett városi elektromos moped autóban alkalmazott nagy kapacitású Li-ion akkumulátorok felügyeleti rendszerével foglalkozik. A járműben elhelyezett akkumulátorok kétirányú aktív cellakiegyenlítővel rendelkeznek, amely segítségével hosszabb élettartamot és nagyobb használható kapacitást érhetünk el, továbbá növelni tudjuk a hatótávolságot és csökkenteni az akkumulátor csomag méretét. Ismertetjük a rendszer felépítését, a különböző szerkezeti egységek tervezésének a menetét, továbbá a sorba kapcsolt akkumulátor csomagok közötti kiegyenlítés lehetőségét, valamint a járműben való alkalmazhatóságát.

1. BEVEZETÉS

A nagy energiasűrűségű Li-ion akkumulátorok biztonsági és élettartam növelő okok miatt megkövetelik az akkumulátor felügyeleti rendszer (Battery Management System - BMS) alkalmazását. Ezen elektronikai egységek mérik az akkumulátor villamos és hőmérsékleti jellemzőit és szükség esetén beavatkoznak a rendszer működésébe. Az általunk fejlesztett akkumulátor felügyeleti rendszer 48V-os egységeként lehetővé teszi a nagyobb feszültségű akkumulátor csomagok kialakítását, valamint ezen egységeken belül és az egységek között magas hatásfokú cellakiegyenlítő teljesítményelektronika és optimalizált kiegyenlítő algoritmus használatát.

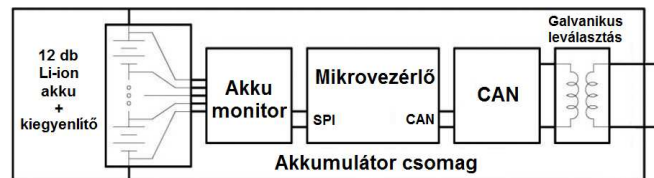
2. BMS RENDSZER SZEREPE

Az elektromos járművekben található akkumulátor rendszerekben általában egymással sorba kötött lítium-ion cellákkal találkozhatunk, amelyek egymáshoz képest eltérő mértékben töltődnek, illetve merülnek. Egy ilyen felügyeleti rendszerrel ellátott akkumulátor csomag esetében az előre meghatározott maximális és minimális cella töltöttségi szintek, esetünkben ezek feszültség értékek, elérésekor a töltési és kisütési folyamat véget ér. Az elvileg feltöltött cellák töltöttségi szintjét ellenőrizve azonban azt tapasztaljuk, hogy csak az egyiket sikerült a kívánt feszültség szintre hoznunk, a többiek ennél kisebb értéken vannak. A kimerített cellák esetében pedig pont fordított lesz a helyzet, vagyis egyetlen cella érte el a minimális feszültség szintet, a többiek magasabb értéken vannak. Az akkumulátor csomagot tehát nem sikerült töltéskor a megengedett maximális, kisütéskor pedig a megengedett minimális töltöttségi szintre feltölteni, illetve

meríteni. Az eddigieket figyelembe véve azt a következtetést vonhatjuk le, hogy maximális hatékonyság elérése érdekében az összes cella együttes töltésén kívül az egyes cellák közötti különbségek kiegyenlítésére is szükség van.

3. BMS RENDSZER TERVEZÉSE

A tervezett felügyeleti és kiegyenlítő rendszer felépítése:



1. ábra A felügyeleti rendszer felépítése

Az akkumulátor csomagunk 12 db lítium-ion cellából épül fel, amelyeket sorosan kötöttünk össze. Minden egyes cella egy kiegyenlítő áramkörhöz csatlakozik, amely működése a későbbiekben részletesen is bemutatásra kerül. Ez az áramkör 12 db konvertert vezérel, amelyek a cellák közötti töltés áramoltatását biztosítják. Az egyes cellák töltöttségi szintjét és hőmérsékletét egy monitorozó áramkör segítségével mérjük, amely mind a 12 db cellát egyszerre képes figyelni. A mérési adatok feldolgozására, a vezérlési és biztonsági funkciók ellátására, valamint a járművel történő kommunikáció megteremtésére egy mikrovezérlő került beépítésre. A nyomtatott áramkörtől lapon belül a kommunikáció SPI buszon keresztül valósul meg a cellakiegyenlítő, cellamonitorozó és a mikrovezérlő között, a jármű központi egységével pedig CAN buszon keresztül alakítottuk ki a kapcsolatot. Ennek érdekében egy galvanikusan leválasztott CAN interfész került beépítésre.

4. A KIEGYENLÍTŐ RENDSZER KIALAKÍTÁSA

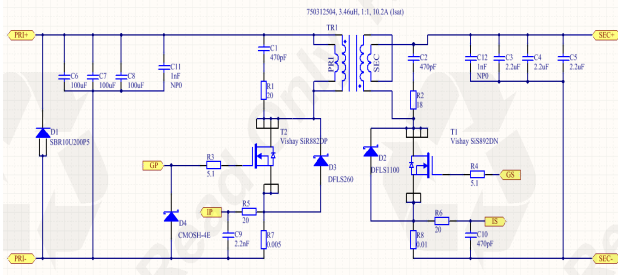
4.1. Tervezési megfontolások

A cellák közötti hatékony energiáttranszfer megoldására az úgynevezett aktív kiegyenlítési metódust választottuk. A kialakítás lényege, hogy a többlettöltéssel rendelkező akkumulátor cellákból a töltést a többi cellába áramoltatjuk. A töltésátadás történhet cellából cellába, valamint cellából az akkumulátor csomag egészébe.

Mivel minden energiáttranszfer veszteségekkel jár, amelynek mértékét az alkalmazott módszer hatásfoka határozza meg, így különböző cellaszámok mellett más-más kialakításra van szükség. Nagyobb cellaszám esetén a cellából cellába történő töltés áramoltatás nem célravezető. Amennyiben több cellán keresztül jutunk el a kívánt akkumulátor celláig, úgy a veszteségeink többszöröződhetnek. Ilyen esetekben közvetlenül az akkumulátor csomagba, valamint akkumulátor csomagból történő töltés lehet a megfelelő választás.

A mi esetünkben egy akkumulátor csomag 12 db sorba kötött lítium-ion cellából áll. Egy cella névleges feszültsége 3.7V, tehát az akkumulátor csomag feszültsége 44.4V-ra adódik. Ahhoz, hogy a rendszerünk költségeit csökkenteni tudjuk, valamint megoldjuk a kétirányú töltésáramoltatást, olyan konvertert kellett kialakítanunk, amely ki- és bemeneti oldalai tetszőlegesen megválaszthatóak, valamint irányonként megvalósítják a feszültségnövelési, illetve feszültségcsökkentési funkciókat. Ennek megfelelően választásunk a flyback típusú konverterekre esett.

A rendszerünkben 12 db konverter került kialakításra, mindegyik egymástól független egységet alkot, de közös vezérlőegységgel. A vezérlő az R7 és R8 ellenállások segítségével folyamatosan méri a tekercsekben folyó áramot, így megvalósítva a bemeneti oldal vezérlését, valamint a kimeneti oldal szinkron egyenirányítását (2. ábra).



2. ábra Kiegyenlítő konverter kapcsolási rajza

4.2. Alkatrészek méretezése

Az alkatrészek méretezésénél a következő paramétereket kellett figyelembe venni:

- $U_{pri}=3.7V$
- $U_{sec}=44.4V$
- $P=16W$

Ennek megfelelően a flyback topológia kimeneti feszültségére felírható:

$$U_{sec} = \frac{N_2}{N_1} * \frac{D}{1-D} * U_{pri} \quad (1)$$

ahol

- N_2/N_1 a transzformátor áttétele
- D a kitöltési tényező

A kapcsolási frekvenciát a következő egyenletekkel határozhatjuk meg:

$$f_{kisütési} = \frac{S}{S+N_2/N_1} * \frac{U_{cella}}{L_{pri} * I_{pri}} \quad (2)$$

$$f_{töltési} = \frac{S}{S+N_2/N_1} * \frac{U_{cella}}{L_{pri} * I_{sec} * N_2/N_1} \quad (3)$$

ahol

- S a sorba kapcsolt cellák száma

Figyelembe véve a vezérlő egység műszaki paramétereit, amely erősen lekorlátozza a kapcsoló tranzisztorok bekapcsolási idejének a maximumát, valamint a kereskedelmi forgalomban kapható transzformátorunkat, az áttételt $\frac{N_2}{N_1} = 2$ -re határoztuk meg. A transzformátorunk szaturációs árama 10A, így az I_{pri} nem haladhatja meg ezt az értéket. A szekunder oldal csúcsárama a 16W teljesítmény miatt ennél jóval kisebb lesz.

Meghatározhatjuk az egyes oldalakra a töltési és kisütési áramokat, amelyeket a következőképpen számolunk:

- kisütési áramok:

$$I_{pri} = \frac{I_{pri}}{2} * \frac{S}{S+N_2/N_1} \quad (4)$$

$$I_{sec} = \frac{I_{pri}}{2} * \frac{1}{S+N_2/N_1} * \eta_{kisütési} \quad (5)$$

- töltési áramok:

$$I_{pri} = \frac{I_{sec}}{2} * \frac{S * N_2/N_1}{S+N_2/N_1} * \eta_{töltési} \quad (6)$$

$$I_{sec} = \frac{I_{sec}}{2} * \frac{N_2/N_1}{S+N_2/N_1} \quad (7)$$

A kapcsoló tranzisztorok méretezésénél figyelembe kell venni a nyitóirányú letörési feszültséget, amely felírható:

- primer oldal:

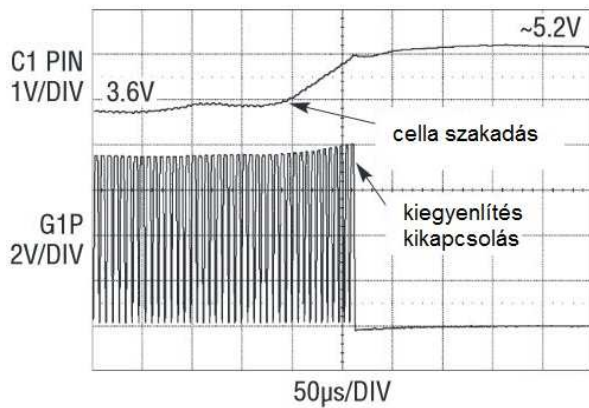
$$U_{DS \text{ letörési}} > U_{cella} + \frac{U_{pakk} + U_{dióda}}{N_2/N_1} \quad (8)$$

- szekunder oldal:

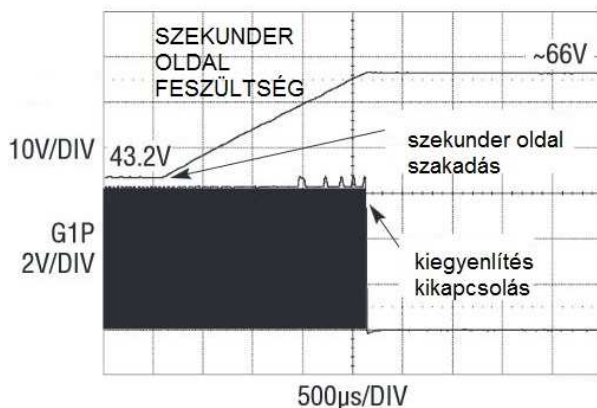
$$U_{DS \text{ letörési}} > U_{pakk} + \frac{N_2}{N_1} * (U_{cella} + U_{dióda}) \quad (9)$$

4.3. Megvalósított védelmek

A megépített rendszer számos védelemmel rendelkezik. A vezérlő automatikusan lekapcsolja a kiegyenlítést, amint a IC tokhőmérséklete meghaladja a megengedett értéket. Képesek vagyunk detektálni mind a rövidzárát, mind a szakadást a primer és szekunder oldali csatlakozásoknál (3. és 4. ábra). Korlátozni tudjuk a tranzisztorok maximális bekapcsolási idejét az esetleges mérő ellenállások tönkremeneteléből adódó áram túlfutások miatt.



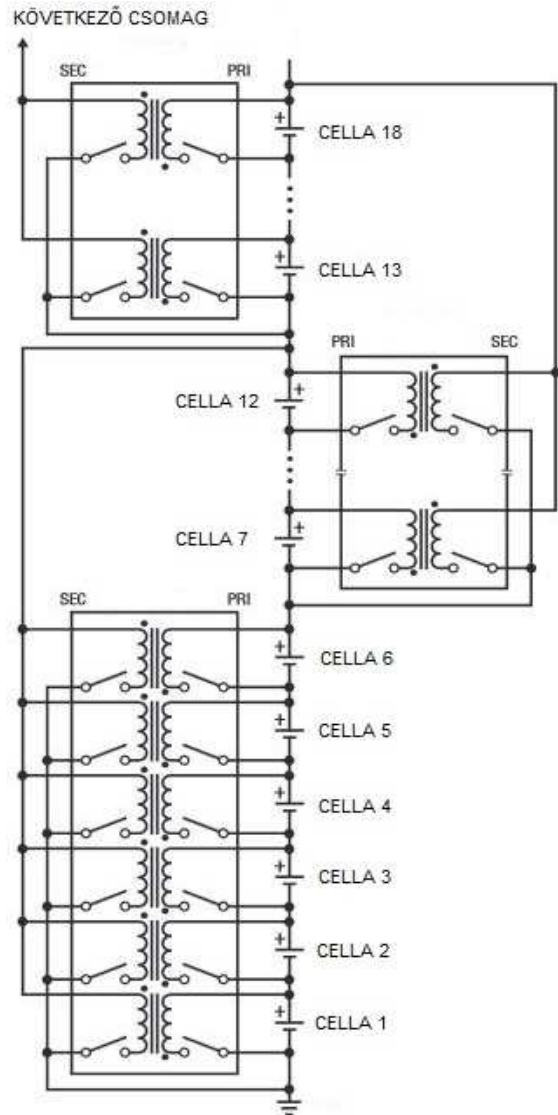
3. ábra Primer oldali vezetékszakadás védelem



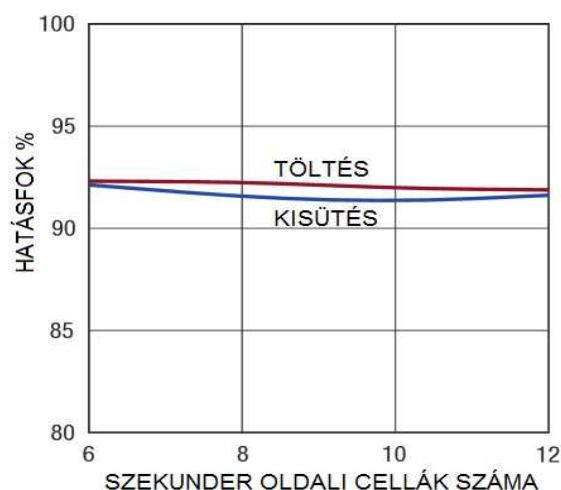
4. ábra Szekunder oldali vezetékszakadás védelem

4.4 Akkumulátor csomagok közötti töltés kiegyenlítés

A kialakított rendszerben két részre osztjuk az akkumulátor csomagot. Mindkét rész 6 db sorba kötött akkumulátor cellát tartalmaz. Az alsó 6 db cella szekunder oldali kivezetése ugyanazon akkumulátor csomag egészére (12 cella), míg a felső csomag szekunder oldali kivezetései az alsó 6 cella pozitív felére, illetve a következő akkumulátor csomag alsó 6 cellájának pozitív kivezetésére csatlakoznak. Így megoldott az akkumulátor csomagok közötti töltés kiegyenlítés (5. ábra). Lehetőségünk van csökkenteni a szekunder oldali feszültséget a szekunder oldalra csatlakozó akkumulátor cellák számának csökkentésével, azonban figyelembe kell venni az ezzel járó kiegyenlítési hatásváltozást (6. ábra).



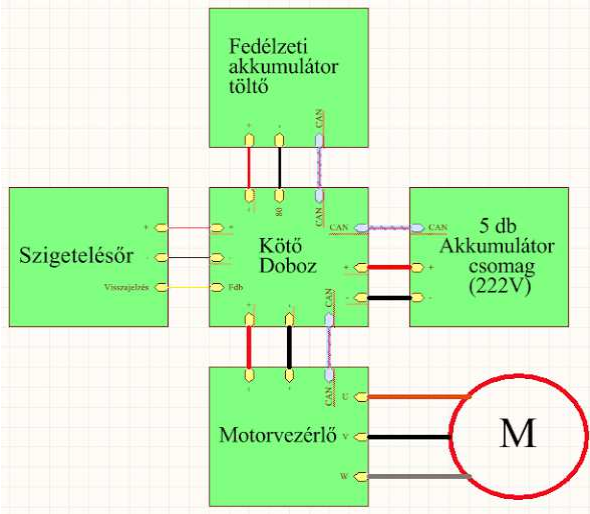
5. ábra Csomagok közötti töltés kiegyenlítés



6. ábra Töltés kiegyenlítés hatásfoka a szekunder oldalra csatlakozó cellák számának függvényében

5. AZ AKKUMULÁTOR CSOMAGOK JÁRMŰBE ÉPÍTÉSE

A jármű erősáramú felépítésének blokk vázlata:



7. ábra Erősáramú blokk vázlat

Az akkumulátorok fém dobozban vannak elhelyezve (8.ábra) a felügyeleti rendszerrel együtt, így egy váratlanul keletkező akkumulátor meghibásodás (kigyulladás) sem okoz károsodást a jármű egyéb részében.



8. ábra Akkumulátor doboz

A moped autó jelenlegi állapotában 5db BMS-el ellátott akkumulátor csomaggal rendelkezik, amely pakkonként 6db

Turnigy 7.4V-os, 12.8Ah-ás akkumulátort tartalmaznak. A teljes rendszer névleges feszültsége így 222V.

Az ábrán a beépített akkumulátor pakkok láthatók:



9. ábra Akkumulátorok bekötése

6. ÖSSZEGZÉS

A cikkben bemutatott felügyeleti rendszer sikeresen beépítésre került a Járműipari Kutató Központ által fejlesztett elektromos moped autóba. A járműben elhelyezett felügyeleti rendszer üzemem közbeni működése az eddigiekben teljesítette az elvártakat, viszont még a tesztelési folyamatok zajlanak. Az innen származó teszteredményeink a későbbi kutatásokban fognak megjelenni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

1. „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.”
2. „A kutatás a TÁMOP-4.2.2.A/2-11/1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Jon Munson: Reliable Li-Ion Battery Monitoring System for Hybrid/Electric Vehicles, Automotive Electronics, www.automotive-electronics.co.uk/current.asp
- [2] Michael Kultgen, Jon Munson: Battery Management System Optimizes Li-Ion Run Time and Lifetime, Linear Technology Magazine, 2009
- [3] Linear Technology Documentation Center, <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/33001fa.pdf>