

Aktív töltéskiegyenlítő lítiumion akkumulátorokhoz

Az utóbbi időkben egyre többet hallani az átmenetileg terjedőben lévő hibrid, illetve a végső célt idéző tisztán villamos hajtású gépjárműfejlesztésekről. Az Infineon rendszerfejlesztő mérnökcsoportja olyan villamos hajtású kísérleti járművet fejlesztett ki (lásd: címkép), mely nagyfeszültségű Li-ion akkuegységgel működik és elektronikája mindkét hajtásialakítás üzemeltetésére alkalmas. Az akkublokkok energiamenedzselésére használt új típusú intelligens rendszerük, ellentétben a hagyományos és energiapazarló eljárásokkal, gyakorlatilag veszteségmentes energiakiegyenlítést valósít meg az egyedi Li-ion cellák között, úgy a töltési, mint a kisütési fázisban.



Mint ismeretes, a hagyományos, illetve a javított kivétel (kalciumos, zselés stb.) ólomakkumulátor elsősorban kedvezőtlen tömeg/energia-tároló képesség hányadosa miatt alkalmatlan, ugyanakkor a kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező NiCd akku pedig „memória effektusa” következtében használhatatlan gépkocsik villamos hajtásához. Az említett effektussal rendelkező akkumulátorok feltöltését ugyanis, csak teljes kisütésük után lehet megkezdeni, különben kapacitásuk rohamos csökkenésével számolhatunk. Mivel az említett feltétel üzemelő gépjárműben nem teljesíthető, az akkutípus sem alkalmazható.

A kísérleti hibrid járművekben, a korábban említett okok miatt jó ideje a Nikkel-Metall-Hydríd

(NiMH) típusú akkumulátorokat alkalmazzák, de a gépkocsiipar már régóta szorgalmazza az azonos tömeg mellett kb. háromszor nagyobb energiataroló képességgel rendelkező Li-ion akkumulátorok mielőbbi „csatasorba” állítását. A folyamatosan fejlesztett Li-ion akkumulátorok előnyei a csekély önkisülés és hosszú élettartam mellett a gyorsöltési lehetőség is, felhasználásuk tehát – megfelelő óvintézkedések mellett – feltétlenül indokolt. Nem hallgatható azonban el, hogy a gépjárműhajtásoknál egyébként sikerrel alkalmazható nanofoszfát típusú Li-ion akkumulátorok, túl vagy alultöltött állapotukban könnyen meghibásodnak, ezért az energiamenedzselést nemcsak az akkublokkokra, hanem az egyes cellákra is ki kell terjeszteni.

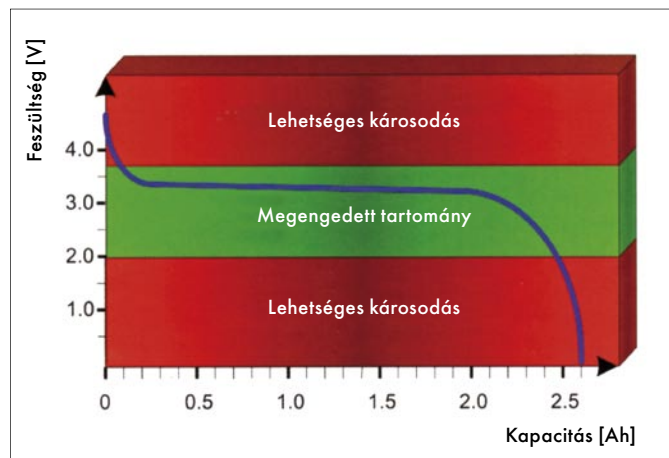
Úgy a hibrid, mint a tisztán villamos hajtású gépjárművekben viszonylag magas feszültségű (összességében akár 450 V-ot szolgáltató) akkuegységeket alkalmaznak. Az egységek blokkokból, ezek pedig különböző számú párhuzamosan és sorosan kapcsolt egyedi cellákból állnak. Li-ion akkumulátorok esetében 3,3–3,6 V névleges

cellafeszültséggel számolva, a mindenkori blokkfeszültség a sorosan kapcsolt cellák számából könnyedén megállapítható.

A meglehetősen magas, néhányszor 100 V-os eredő feszültség biztosításához célszerűnek látszott olyan egységblokkok kifejlesztése, melyben 3 párhuzamosan és 12 sorosan kapcsolt cella (jelölése: 3 P 12 S), tehát összesen 36 cella helyezkedik el. Ezek a blokkok névlegesen ~42–45 V feszültséget szolgáltatnak, némi nosztalgiával adózva a 42 V-os hálózat emlékének. A komplett akkuegység kapocsfeszültségének – a mindenkori töltöttségi foktól függő – változása miatt egy DC-DC átalakító szükséges a villamos hajtás stabil feszültségű ellátásához. Az átalakító megfelelő működéséhez már 150–300 V tartományba eső feszültség is elegendő, mely érték 5–8 sorosan kapcsolt Li-ion akkublokkal könnyen elérhető. A rövid bevezető után célszerű visszatérni a Li-ion akkucellák említett nagyfokú töltésérzékenységére és ennek kezelésére. Az 1. ábrán láthatjuk egy nanofoszfát típusú Li-ion cella kisütési diagramját.

Mint az ábrából kitűnik, a pillanatnyi cellafeszültség nem lépheti túl a megengedett tartomány felső értékét (3,6 V), de nem is eshet a teljes kisütést jelző alsó érték (2 V) alá.

Látható, hogy az engedélyezett tartomány elhagyásakor a kérdéses cellafeszültség változásának meredeksége, ezzel együtt a károsodás rizikófaktora is megnő. A megengedett tartomány tartós elhagyásakor ugyanis a cellában olyan vissza nem fordítható (irreverzibilis) kémiai folyamatok



1. ábra

játszódnak le, melyek először az önkisülési folyamat felgyorsulását, majd a cella idő előtti tönkremenetelét okozzák.

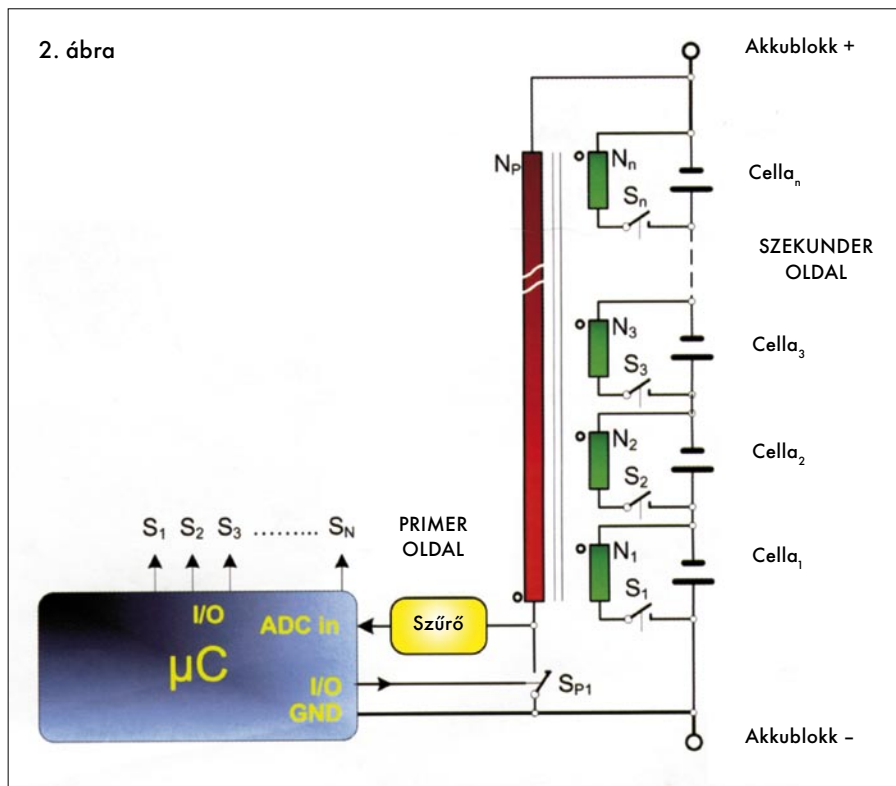
Li-ion akkuegységek használata esetén tehát, az alkalmazott töltésmenedzselő rendszernek nemcsak az akkublokkok, hanem az egyedi cellák pillanatnyi feszültségét is folyamatosan kell mérni, illetve ellenőrizni. Alapesetben az engedélyezett tartomány felső értékének túllépésekor a töltési folyamat, míg az alsó határértéknél kisebb feszültség esetén a kisülési folyamat azonnali megszakítására volna szükség, hogy a későbbi károsodást megelőzhessük.

Mivel a jelzett beavatkozások egy üzemelő járműnél túlzottan drasztikusnak – gyakorlatilag kivitelezhetetlennek tűnnek, a fejlesztők különféle megoldásokat keresnek a probléma orvoslására.

A „legegyszerűbb”, ám félolдалasnak tűnő megoldás, a túltöltés (azaz a cellafeszültség 3,6 V fölé emelkedését) képes meggátolni, mégpedig úgy, hogy a túltöltött cellát vagy cellákat egy vezérelt kapcsolóval összekötött ellenálláson keresztül addig süti ki, míg feszültségük a kívánt szintre nem csökken. A kisütő áram értéke – a káros túlmelegedés elkerülése érdekében – mintegy 100 mA nagyságú, ezért a „klasszikus, passzív töltéskiegyenlítés” néven emlegetett megoldás órákkal megnöveli a töltési időt, miközben a túlzott kisütés ellen – ezért félolдалas – védelmet nem tud nyújtani. A túltöltött cellákból kivett energiával gyakorlatilag a környezetet fűtjük, ezért az eljárás kifejezetten energiapazarló.

Az említett hátrányok kiküszöbölésére az Infineon és a Vogt Electronik Componens GmbH fejlesztési csoportjai olyan közös megoldást dolgoztak ki, amivel a túltöltött cellák energiátöbbletét képesek az alultöltöttekbe

2. ábra

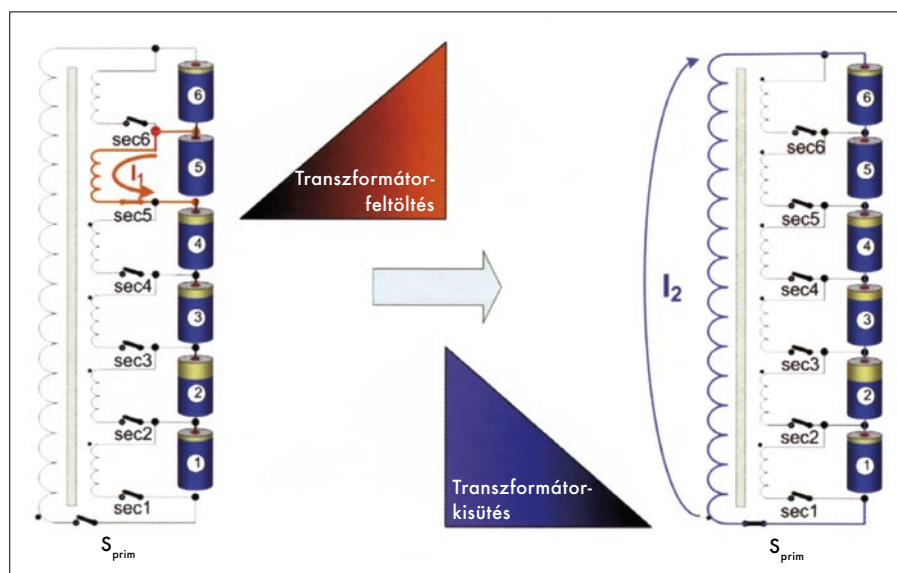


úgy „áthelyezni”, hogy a művelet közben szinte nincs energiavesztés. A továbbiakban a „dinamikus töltéskiegyenlítésnek” nevezett megoldás működését ismertetjük. Alapvetően leszögezhető, hogy energiaátvitelhez valamilyen közbenső energiátárolóra van szükség. Energiátárolóként vagy kondenzátor (villamos energia tárolására), vagy induktívitas (mágneses energia tárolására) alkalmazható. Kondenzátor alkalmazása esetén több probléma jelentkezik (a töltő és kisütő áramértékek

korlátozása, a potenciálértékek változása stb.), ezért az említett fejlesztőcsoport az induktív tárolót részesítette előnyben, mégpedig egy transzformátor formájában. A különleges kialakítású ferritmagos transzformátoron az egyetlen primer tekercs mellett annyi szekunder tekercs található, amennyi a sorosan kapcsolt cellák száma. A szekunder tekercsek, egy központi processzor által vezérelt kapcsolórendszeren keresztül, egyenként kapcsolhatók a cellakapcsokra, és ezzel a megoldással úgy a feszültségmérés, mint az energia kivétele és visszatáplálása – gyakorlatilag idő- és energiavesztés nélkül – oldható meg.

A 2. ábra a rendszer főbb egységeinek kapcsolási vázlatát mutatja.

A működés leírását kezdjük a cellafeszültség mérésének ismertetésével. A cellafeszültségek mérése úgy valósítható meg, hogy a mikrokontroller (µC) sorban zárja az egyes akkucellákat az energiátároló transzformátor szekunder tekercsétől elválasztó kapcsolókat. Az első cella körének zárásakor (S1) a szekunder tekercsben pontosan akkora feszültség indukálódik, mint a cella pillanatnyi feszültsége (Lenz törvénye!). Ez a feszültség áttevődik a menetarány függvényében a nyitott primertekercsre és előkezelés után (blokkfeszültség-leválasztás, szűrés) a processzor analóg-digitál átalakítójának bemenetére (ADCin) jut, majd átalakítás után egy tárolóba kerül. Mivel a vezérelt (S1) kapcsoló zárása nagyon rövid ideig tart (~4µs), a transzformátorban felhal-



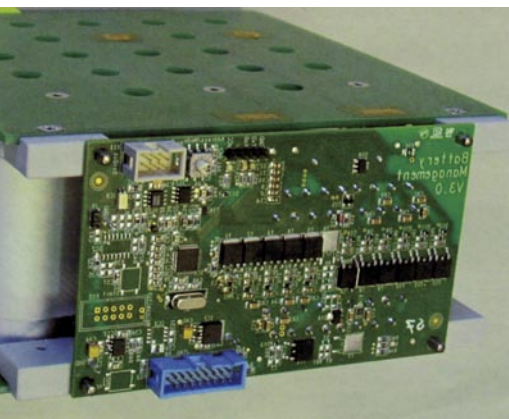
3. ábra

mozódó energia is rendkívül csekély. S1 újbóli megnyitásával egyidejűleg záródik a primer oldali kapcsoló (Sp1), így a felhalmozott csekély energia semvész el, hanem a teljes akkublokkba veszteségmentesen visszatöltődik. A leírt feszültségmérési procedúrát minden cellánál megismétlik, és a művelet végén az eltárolt értékeket átlagolják. Ez az átlagérték képezi azt az összehasonlítási alapot, melyhez az egyes cellaértékek viszonyíthatók.

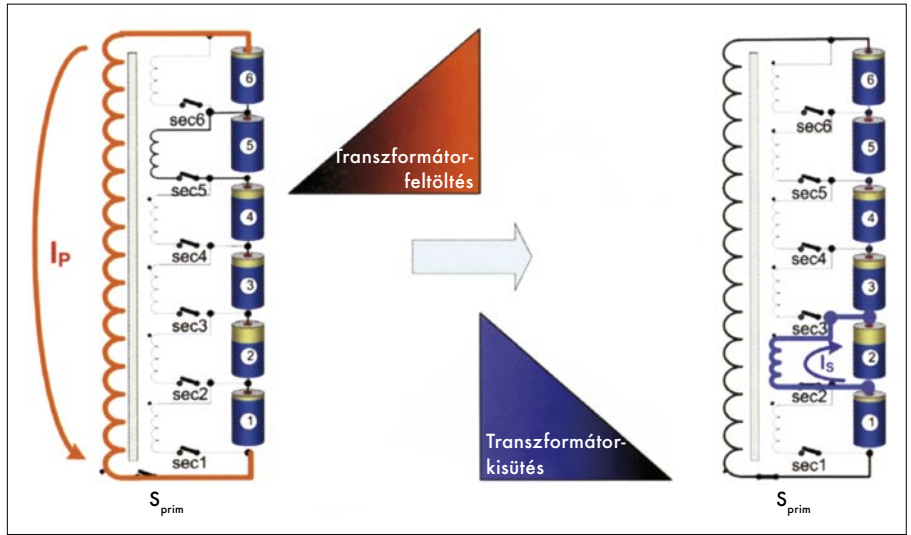
Miután az eltárolt cellafeszültség-értékek továbbra is rendelkezésre állnak, könnyedén kiválaszthatók azok a cellák, melyek feszültsége az átlagtól felfelé vagy lefelé egy előre meghatározott értékkel eltér, és az eredmények birtokában kezdődhet a cellák közti energiakülönbségek dinamikus kiegyenlítése. Célszerű előre megjegyezni, hogy a kifejlesztett rendszerben a dinamikus töltés kiegyenlítés minden olyan cella esetében megvalósul, amelyek a számolt átlagtól bármelyik irányban eltér, hiszen csak így akadályozható meg a káros túltöltés, illetve mélykiszítés.

Először megvizsgáljuk az akkublokkban talált legeltöltöttebb cella energiakiegyenlítésének (Top-Balancing) folyamatát. A 3. ábrán, a művelet lényegéhez tartozó vázlatos áramköri részletek láthatók.

Tételezzük fel, hogy a feszültségmérés eredményeként az átlagtól felső irányban az 5-ös számú cella feszültsége (azaz energiaszintje) tér el a legjobban. A procedúra kezdetén az 5-ös számú szekunder tekercs kapcsolóját (sec5) a központi mikrokontroller zárja és a tekercsen (induktivitás!) lineárisan növekvő áram felépíti a mágneses teret. Mivel a transzformátor által képviselt induktivitás fix érték, így sec5 zárvarratási idejétől függ a cellából kivett energia. A transzformátor feltöltésének folyamata (Transformer Charge) a sec5 nyitáskor ér véget. A nyitással azonos időben a primer tekercs Sp1 kapcsolón keresztül a teljes akkublokkra kapcsolódik, és a benne felhalmozott energia áttöltődik (Transformer Discharge)



5. ábra



4. ábra

a blokk összes cellájába. Az eljárás előnyeiközül kiemeljük, hogy a leírt energiacsere közel veszteségmentesen zajlik, miközben a töltési folyamat is zavartalan.

A töltés kiegyenlítés ellenkező irányú folyamat, amikor egy alultöltött cella energianövelését kell megoldani (Bottom-Balancing) a 4. ábra mutatja.

Feltételezve, hogy a feszültségmérési procedúra után kapott átlagértékhez viszonyítva a 2-es számú cella feszültsége, ezzel együtt töltöttsége is minimális, tehát az adott cellába plusztöltést kell juttatni. A mikrokontroller (μC) most a kapcsolókat fordított sorrendben vezérli. Első lépésként zárja a Sp1 kapcsolót, ezzel a primer tekercset a teljes akkublokkra rákapcsolja (Transformer Charge), hogy a transzformátor feltöltődjön. A lineárisan növekvő áram (I_p) felépíti a mágneses teret (a tér energiatartalma a kapcsoló zárási idejétől függ!), majd a Sp1 megszakításával egyidejűleg záródik a 2-es számú szekunder tekercs sec2 kapcsolója. A transzformátorban felhalmozott mágneses energia, létrehozva az I_s töltőáramot (Transformer Discharge) - gyakorlatilag ismét veszteségmentesen - a 2-es számú cellába áramlik. A leírt folyamat ciklusideje $T_p = 40 \mu s$ (ez 25 kHz frekvenciájú jel), amibe két aktív áttöltési folyamat, valamint egy szünetidő fér bele. Azért, hogy az impulzustöltési folyamatok alatt minél kisebb hallható zaj (pattogás) keletkezzen, a transzformátorrezonancia frekvenciáját is a még hallható tartomány felső határa, azaz 20 kHz fölé hangolják. A dinamikus töltés kiegyenlítés hatásosan meggátolja bármelyik cella teljes kiszülését (ezáltal gyors tönkremenetelét!) és a tapasztalatok alapján, a folyamatos üzem az utolsó cella megengedett határig történő kiszüléséig fenntartható.

A működési leírásból látható, hogy az eljárás gyakorlatilag veszteségmentes töltéscserét és hosszú akkucella-élettartamot biztosít, ami a Li-ion akkumulátorok előnyös tulajdonságait figyelembe véve, gyors elterjedésükhöz vezethet.

A kísérleti jármű dinamikus töltéscseréjét megvalósító rendszer „lelke” a 28 kivezetéssel rendelkező (12 soros cellával rendelkező akkublokk ellátásához) és a töltődést megakadályozó légréssel ellátott ferritmagos transzformátor, valamint a folyamatokat vezérlő Infineon gyártmányú XC886CM 8-bites mikrokontroller. Az említett kapcsolókat ugyancsak Infineon gyártmányú OptiMOS-3 típusú MosFet tranzisztorok realizálják, melyek extrém alacsony vezetési ellenállással rendelkeznek, ezért a rajtuk létrejövő hőveszteség minimális. Gyakorlati tapasztalatok alapján, bár a töltés kiegyenlítő áramok akár az 5 A értéket is elérhetik, a veszteségi teljesítmény mindössze 2 W körül mozog, ezért további energiaveszteséget okozó külön hűtésre sincs szükség.

A megvalósított 36 cellás (12 X 3) blokkal egybeépített energiamenedzselő rendszer kivitelét az 5. ábrán tanulmányozhatjuk. A helyi dinamikus töltés kiegyenlítő és akkumenedzselő rendszer CAN-busszal csatlakozik a központi energiefelügyelethez, mely a kapott adatok birtokában dönt az egyéb fogyasztók használatának engedélyezéséről vagy tiltásáról. Összefoglalásként megállapítható, hogy az Infineon és a Vogt Electronik Componens GmbH közös fejlesztésű dinamikus töltés kiegyenlítő rendszere meggyorsíthatja a korábban fenntartásokkal emlegetett Li-ion akkumulátorok széles körű elterjedését úgy a hibrid, mint a tisztán villamos hajtású járművekben.

Csúri György

Forrás: ATZ elektronik 2008/02