

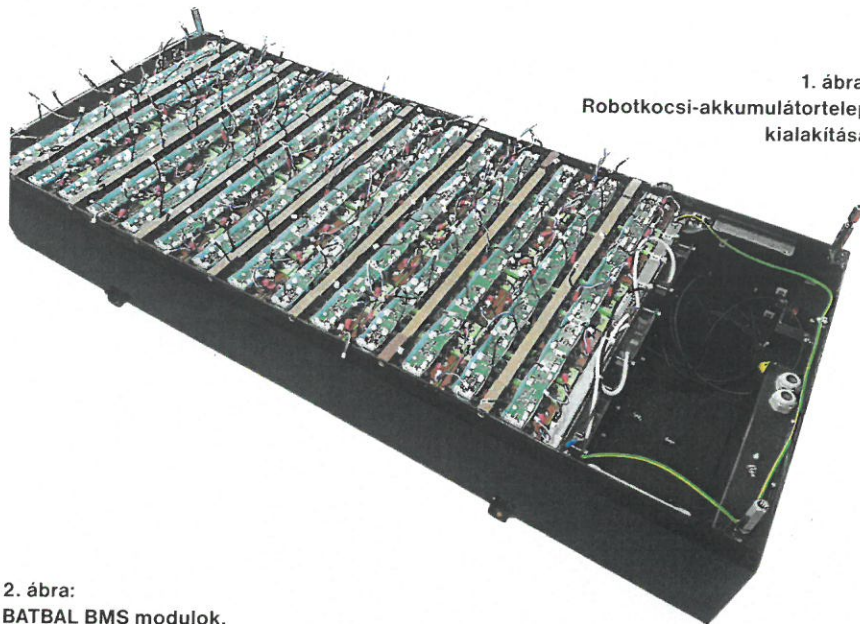
Szállítórobot energiaellátó rendszerének kifejlesztése

MIHÁCSI VIKTOR,
ZACHÁR-HERKÓ GÁBOR

Egy korszerű raktárban az anyagok mozgását robotok végzik. Ezért az elmúlt hónapokban kifejlesztettünk egy raktárban használható, 2 tonna teherbírású szállítórobot energiaellátó egységét. A robot kialakítása olyan, hogy befér az alkalmazott raklapok alá. Azt megemelve képes elszállítani a raklapra helyezett rakományt a raktáron belül egy másik állomásra, illetve az akkumulátortelep lemerülése előtt a robotkocsi automatikusan csatlakozik a dokkoló egységhez az akkumulátortelep feltöltése céljából. A számítógép vezérlésű navigációs rendszerrel több robotkocsi térbeli mozgását is lehet felügyelni egy időben. A berendezés mozgását szervomotorok végzik, amelyeket a meghajtó inverteren keresztül egy 13kWh-s akkumulátortelep lát el energiával. A telep 210 db LiFe PO4 [1] típusú akkumulátorcellát tartalmaz, amelyek névleges feszültsége 3.2V, kapacitása 20Ah. Azért döntöttünk a LiFe PO4 cellák alkalmazása mellett, mert a kis hely miatt ennek az energiasűrűsége és fajlagos tömege megfelelő, teljes töltési-kisütési ciklusa eléri a 2000-t és várható élettartama nagyobb, mint 10 év. Termikus stabilitása kiváló, és nem utolsósorban biztonságos. A visszatöltésre korlátozott idő áll rendelkezésre, viszont ennél a típusú akkumulátornál 0.5C-nek megfelelő töltőáram is alkalmazható, ami teljesíti az üzemi körülmények által támasztott követelményeket (lásd később). Az akkumulátortelep kialakítása az 1. ábrán látható.

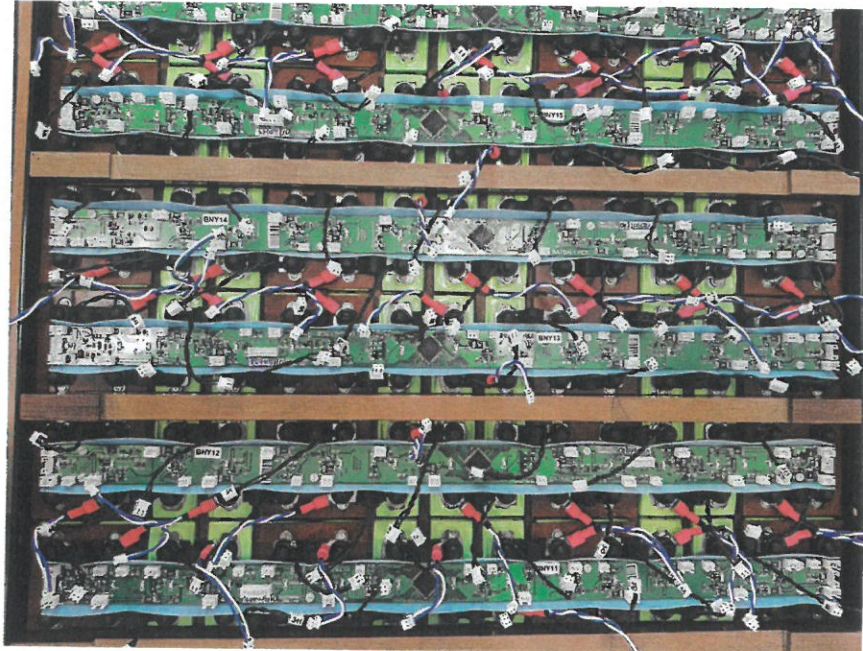
A robotkocsi előzetesen mért teljesítményfelvétele teljes terhelés esetén kb. 1100W. Az akkumulátortelepet 80 százaléig kisütve 10 órás folyamatos működést tesz lehetővé, ami után egy 3 órás töltési ciklusnak kell következnie, amit 0.25C-nek megfelelő töltőárammal végzünk.

Az 1. ábrán látható berendezésben az akkumulátor cellák sorba vannak kapcsolva, így a névleges kapocsfeszültség 672V. A cellák feszültségét és hőmérsékletét a cellákra közvetlenül elhelyezett BATBAL [2] típusú BMS [3] egységek felügyelik. Egy BMS egység 15 db cella monitorozására képes, a teljes akkumulátortelepet összesen 14 db BATBAL



1. ábra:
Robotkocsi-akkumulátortelep
kialakítása

2. ábra:
BATBAL BMS modulok,
alattuk a LiFe PO4 akkumulátorcellák



BMS egység monitorozza folyamatosan. A BATBAL BMS-ek soros porton kommunikálnak a szállító robot felügyeleti egységével. A 2. ábrán látható a BMS modulok kapcsolódása az akkumulátorcellákhoz, végszerelés előtt.

A Texas Instruments bq76PL455A-Q1 típusú integrált áramkörrel megvalósított BATBAL BMS egység (3. ábra) 15 db sorba kapcsolt lítium-ion akkumulátor cella felügyeletét és passzív balanszírozását képes kezelni.

Az egység további jellemzői:

- 8 db analóg mérőbemenet az akkumulátor cellák hőmérsékleteinek érzékeléséhez
- Potenciál leválasztott, differenciál kommunikációs busz a BMS egységek láncolt összekapcsolásához
- TTL szintű soros kommunikációs csatlakozás a felügyeleti egységgel történő kommunikációhoz
- Balanszírozó áramkörök minden egyes akkumulátor cella csatlakozáshoz



3. ábra: BATBAL BMS egység

Tápfeszültség-ellátás és energiatakarékos állapot

A bq76PL455A-Q1 áramkörnek energiafelhasználás szempontjából két állapota lehetséges: be- vagy kikapcsolt. Bekapcsolás kétféle módon lehetséges:

- WAKEUP vonalon keresztül. A felügyeleti egység a kommunikációs lánc legalsó BATBAL egységét ezen a módon kapcsolja be.
- A kommunikációs lánc további BATBAL egységeit a láncban azokat megelőző egység által, a csavart érpáros differenciál kommunikációs vonalon továbbított ébresztőjel kapcsolja be.

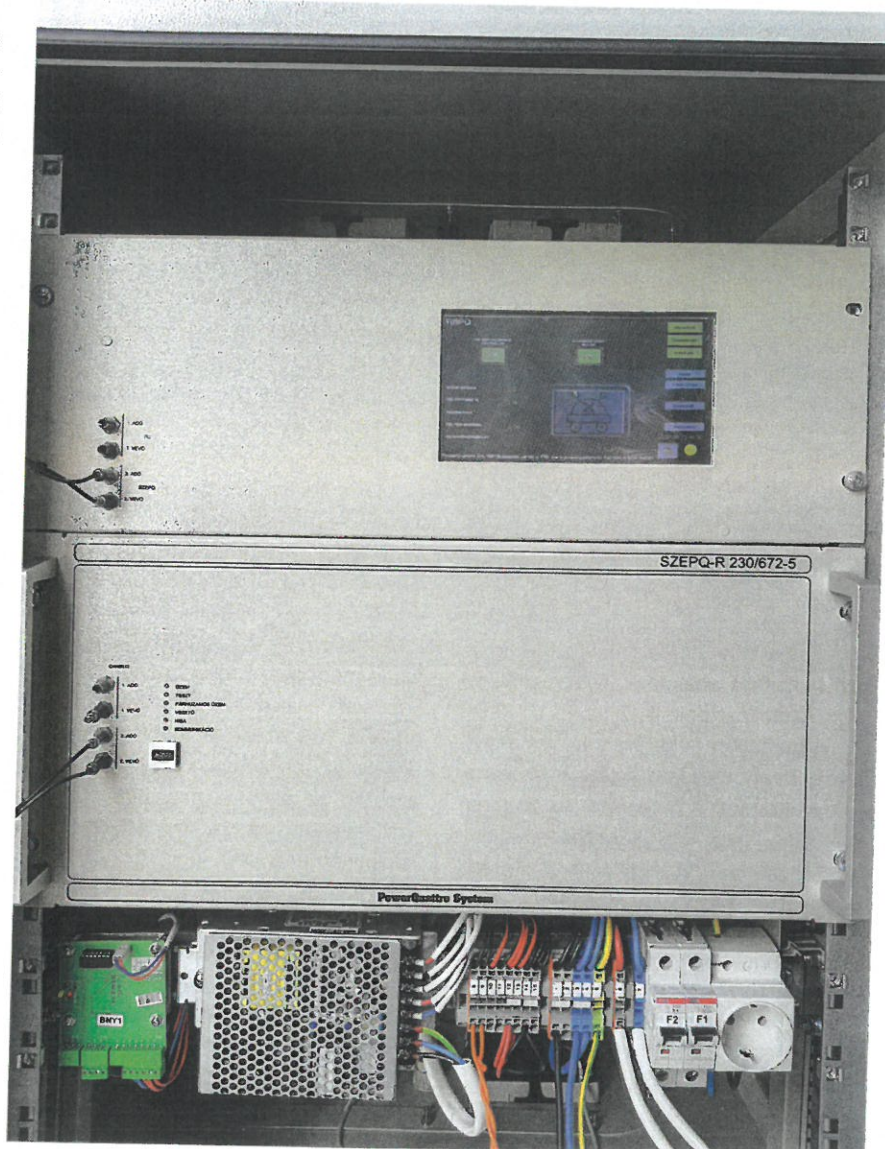
Kikapcsolást a felügyeleti egység tud végrehajtani egy broadcast parancs elküldésével. A parancs hatására mindegyik BATBAL egység POWER_DOWN bitje aktív állapotba kerül az egységek Device Control regiszterében.

A BATBAL egység energiaellátása az általa felügyelt, sorba kapcsolt akkumulátorcellák legnagyobb potenciálú pontjáról történik. A bq76PL455A-Q1 beépített feszültség szabályzó alrendszere egy NPN teljesítménytranzisztort vezérel a saját 5,3V-os tápfeszültsége előállításához, amely meghajtja a VDIG digitális tápvonalat is. Az elkülönített VIO tápvonal, a felügyeleti egység kommunikációs csatlakozóján keresztül kap 5 V tápfeszültséget. A bq76PL455A-Q1 előállít 1,8 V és 2,5 V feszültségeket is. Az 1,8 V belső használatra szolgál, kívülről nem hozzáférhető, a 2,5 V-os feszültséget pedig az integrált 14 bites ADC modul használja referencia feszültségnek.

A szállító robot – a berendezés speciális, lapos kialakítása miatt – külvilággal való kommunikációja korlátozott, ezért ha a berendezés nem a dokkolóegységben tartózkodik, a különféle állapotjelzésekre 3 db nagy fényerejű LED jelzés áll rendelkezésre. A berendezés ezekkel képes jelezni az üzemállapotot, illetve felhívni a figyelmet szervizbeavatkozásra. Amennyiben a robotkocsi a dokkolóegységben tartózkodik az akkumulátortelep töltése céljából, akkor az akkumulátortöltő-szekrényben rendelkezésre áll egy felügyeleti egység 7"-os érintőkijelzővel, amelynek segítségével részletes információ nyerhető az akkumulátortelep állapotáról, illetve elvégezhetőek bizonyos paraméterváltoztatások (pl. feszültségfigyelő küszöbszintek, akkumulátor-áramkorlátozás stb.).

Az akkumulátortelep töltésére egy SZEPC-R 230/672-5 típusú, 230V beemenetű egy fázisú, szigetelt, szinuszos áramfelvételű akkumulátortöltő berendezést használunk, amely 672V névleges kimeneti feszültséggel rendelkezik és 5A töltőáramot képes biztosítani. Az így leadott közel 4kW teljesítménnyel 3,5 óra alatt képes feltölteni a teljesen lemerült akkumulátortelepet. Az 5. ábrán látható az akkumulátortöltő szekrény. Az akkumulátortöltő modul egy speciálisan kialakított dokkolóegységen keresztül, csúszó érintkezőkkel kapcsolódik a robotkocsiban lévő akkumulátortelephez. Az akkumulátortelep felügyelő egység a robotkocsiban van elhelyezve, az akkumulátortöltő és felügyeleti egység az akkumulátortöltő szekrényben. Így szükségessé vált a kommunikációs vonal átvezetése a dokkolóegységen keresztül. Erre a célra vezetékes CAN kommunikációt használtunk.

Amint az erősáramú, illetve kommunikációs kapcsolat létrejött, a telepfelügyelő egység frissíti az információkat az akkumulátortöltő szekrényben elhelyezett felügyeleti számítógépen, és megindul a teleptöltési ciklus. Az akkumulátor és az akkumulátortöltő összekapcsolása különleges odafigyelést igényel, tekintve, hogy 672V egyenfeszültség helytelen kezelése könnyen ivképződéshez, majd tűzhez vezethet. Ezt elkerülendő, az összekapcsolás előtt az akkumulátortöltő modul rászabályoz az akkumulátortelep aktuális feszültségére, majd egy nagyfeszültségű félvezetős (FET [4]) kapcsoló és 4 darab kompakt kivitelű kontaktor – 2 darab a pozitív oldalon, 2 darab a negatív oldalon – összekapcsolja a 2 egységet. Ezután megindul a konstans 5A értékű töltőáram. Miután az akkumulátortelep bármely cellájának feszültsége közelít a feltöltött állapothoz – ez 3,65V-os cellafeszültségnél valósul meg –, elkezdődik



5. ábra: Akkumulátortöltő szekrény

a cellák kiegyenlítése, avagy a balansírozás. A kiegyenlítő áramkör a BATBAL BMS része. A kiegyenlítés célja, hogy amíg egyes cellák még nem töltődtek fel, míg mások már elérték a puffer feszültséget, ez utóbbiak kapcsolófeszültsége a töltés folytatása esetén meghaladná a gyártó által előírt maximumot. Ezért ezekre a cellákra a kiegyenlítő vezérlő egy miniatűr FET kapcsoló segítségével rákapcsol egy sőtölő ellenállást, ezzel átkényszerítve a töltőáram egy részét, hogy ne az adott cellán keresztül haladjon, minél kevésbé emelve annak feszültségét. Az egyes cellák közötti feszültségkülönbség ezzel a módszerrel akár 20–30 mV között tartható. Miután a teljes telep feszültség elérte a kívánt pufferszintet, a robotkocsi felügyeleti egysége lekapcsolja az akkumulátortöltő modult, és a nagyfeszültségű FET kapcsolóval és a kontaktorok segítségével engedélyezi a hajtást a szervomotorokat meghajtó inverter számára. Ezután a robotkocsi leválik a dokkolóegységről és üzembe áll a raktárban, alkalmassá téve a dokkolóegységet egy másik robotkocsi fogadására.

Az üzem alatt a robotkocsi felügyeleti egység folyamatosan monitorozza az akkumulátorteleg kisütési folyamatát a BATBAL BMS egységeken keresztül. Ha bármelyik cella feszültsége elérte a 3V-ot, akkor jelzést küld a robotkocsi vezérlőjének, hogy navigálja az eszközt a dokkolóegység felé az akkumulátorteleg feltöltése céljából.

A tervezés során az akkumulátorteleg védelmét tartottuk legfőbb szempontnak, ezért a legkülönbözőbb védelmeket építettük be a vezérlésbe. A robotkocsi felügyeleti egysége és a fedővédelmi egység az alábbi hibák detektálására és lekezelésére képes az akkumulátorteleg védelme érdekében a BATBAL BMS beépített védelmein felül:

- megszakad a kapcsolat az egyik (vagy több) akkumulátorcella és a BATBAL BMS modul között;
- megszakad a kommunikációs kapcsolat az egyes BATBAL BMS modulok között;
- megszakad a kommunikációs kapcsolat a BATBAL BMS modul és a robotkocsi-felügyelet között;
- az akkumulátorcellákhoz tartozó bármelyik hőmérsékletmérő meghibásodik;
- áramköri hiba miatt megszűnik a robotkocsi felügyeleti egységének tápfeszültsége;

- áramköri hiba miatt megszűnik a fedővédelmi egység tápfeszültsége;
- áramköri hiba miatt megszűnik az akkumulátorteleg feszültségének, illetve áramának mérése;
- a robotkocsi mozgás közben testzárt lesz, az akkumulátorteleg n-edik cellájának feszültsége a robotkocsi számára kapcsolódik;
- akkumulátortöltés közben megszakad a kommunikációs kapcsolat a robotkocsi felügyeleti egysége és az akkumulátortöltő modul között.

A robotkocsi tartalmaz egy fedővédelmi egységet is, mely szintén monitorozza az egyes cellák feszültségét és hőmérsékletét, és hiba esetén függetlenül képes leállítani a jármű mozgását, illetve az akkumulátor töltését, ha a robotkocsi felügyeleti egysége meghibásodna.

A robotkocsin található egy szigetelési ellenállás mérő modul. A felügyeleti egység a szigetelési ellenállás mérő modul segítségével folyamatosan ellenőrzi az esetleges szivárgó áramot, illetve azt, hogy az akkumulátorfeszültség – vagy annak akár töredéke – nem került-e ki a berendezés házára. Ha ez megtörténne, a beépített védelem azonnal bontja az erősáramú kontaktorokat, és jelzést ad az üzemeltető felé a javításra.

Az akkumulátortöltő szekrénybe beépített felügyeleti egység grafikus felületén a következő információk jelennek meg:

Kezelői szinten lehetőség van az adott gyártási számú robotkocsi dokkolt állapotának, illetve az akkumulátor töltési állapotának ellenőrzésére: töltőáram és töltöttségi szint megtekintésére. Ezenkívül az esetleges hibaállapot kiolvasható.

Jelszóval védett gyártói szinten elérhető a teljes naplózás, amely rögzíti az adott gyártási számú robotkocsi összes

eseményét. Beállíthatóak az akkumulátorteleg töltésével, kisütésével kapcsolatos paraméterek. A felügyeleti egység tartalmaz egy ún. töltési naplót is gyártási számonként, itt visszamenőleg nyomon követhető, hogy az adott gyártási számú kocsi mennyi töltést vett fel, és mennyi volt a töltöttsége, amikor levált a dokkolóról. A felügyeleti egység naplózza továbbá az összes cellainformációt az akkumulátortöltés megkezdésekor és befejezésekor. Dokkolt állapot közben lehetőség van az akkumulátorcellák aktuális adatait megtekinteni (pillanatnyi feszültség és hőmérséklet).

Az energiaellátó rendszer mintapéldányait elkészítettük és jelenleg az üzemi tesztelésük folyik.

A cikkben előforduló idegen szavak és rövidítések jelentése

- [1] LiFe PO4: Litium-Vas-Foszfát akkumulátor
- [2] BATBAL: Battery Balancer, akkumulátor cellafeszültség kiegyenlítő áramkör
- [3] BMS: Battery Management System: Akkumulátorteleg felügyeleti rendszer
- [4] FET: Field Effect Transistor: Tervezőlési tranzisztor

Irodalomjegyzék

Texas Instruments. bq76PL455A-Q1 16-Cell EV/HEV Integrated Battery Monitor and Protector

Texas Instruments. bq76PL455EVM and GUI User Guide.

Entwicklung eines Energieversorgungssystems für Lieferroboterwagen

Der Artikel beschreibt die Funktionsweise des Batteriemangements des Lagerroboterwagens. Der Aufbau und die Funktionsweise des Roboterschlittens wird in diesem Beitrag kurz beschrieben. Außerdem werden das Batterielademodul und die zusätzlichen Hard- und Softwareelemente vorgestellt, die die Sicherheit der Batterie während des Lade- und Entladevorgangs der Lithiumbatterie überwachen.

Development of transportation robot trolley's power supply system

The article presents the operation of the battery management of the warehouse robot trolley in details. We briefly describe the structure and operation of the robot carriage. We also introduce the battery charger module and the additional hardware and software elements that monitor the safety of the lithium battery during the whole charging and discharging process.