

Akkumulátor diagnosztikai szoftver fejlesztése

Development of battery diagnostic software

Kecskeméti István^a

^aJárműipari Kutatóközpont
kecskemeti.istvan@ga.sze.hu

Absztrakt: A 60-as évektől kezdődően egyre több hordozható eszköz vesz körül minket, melyek mind tartalmaznak egy energiatároló elemet. Azóta az akkumulátor technológia hosszú utat járt be, megjelentek több különböző kémiai összetételű cellák, amelyek már nagyobb energiasűrűséggel rendelkeznek. Az e-mobilitás térnyerésével ugrásszerűen megnőtt az új típusú lítium cellák iránt a kereslet. Az elektromos autók napi használata során az egyik legfontosabb kérdés a cellák töltöttségének az állapota és a hatótáv. Ennek a kiszámítására többféle módszer is létezik, ezek közül a Coulomb számlálás (Coulomb Counting) és nyitott áramköri feszültség (továbbiakban: OCV) módszerét valósítom meg. Egy diagnosztikai és teszt szoftvert állítok össze LabVIEW környezetben, amely architektúrájából adódóan könnyen illeszthető bármilyen akkumulátor felügyeleti rendszerhez.

Kulcsszavak: akkumulátor, töltöttségi állapot, LabVIEW

Abstract: Since the 1960s, we have been surrounded by more and more portable devices, all of which contain an energy storage battery. Since then, battery technology has come a long way, with the emergence of cells with different chemical compositions and higher energy density. With the rise of e-mobility, the demand for new types of lithium cells has skyrocketed. One of the most important issues in the daily use of electric cars is the state of charge of the cells and their range. There are several methods to calculate this, among them I implement the Coulomb counting and open circuit voltage method. I am building a diagnostic and test software in LabVIEW environment, which due to its architecture can be easily adapted to any battery monitoring system.

Keywords: battery, state of charge, LabVIEW

Bevezetés

A technológia fejlődésével egyre nagyobb igény merült fel a hordozható eszközök használata iránt. Az évek során több új technológia is megjelent, ezek közül lítium cellák terjedtek el legjobban, nagy energiasűrűségük és kémiai stabilitásuk miatt [1]. Manapság már körül vesznek minket a lítium cellák, a szórakoztató eszközökben, telefonokban, laptopokban mind ilyen típusú akkumulátorok vannak beépítve. Kedvező tulajdonságaik miatt az autóipar is előnybe részesíti a lítium technológiát, az elektromosautók akár több ezer ilyen cellát is tartalmazhatnak. Az aktuális töltöttségi állapot (továbbiakban: SOC) megadja, mekkora kapacitás van még a cellákban, mielőtt azok lemerülnének. Ennek az értéknek a meghatározása azonban nem olyan egyszerű, több tényező is befolyásolja, mint például: hőmérséklet [2], cellák állapota, felhasználás módja. Többféle módszer is létezik, melyek pontosságukban és számítási bonyolultságukban különböznek.

A továbbiakban egy akkumulátor tesztelő rendszerhez készített mérő és diagnosztikai szoftvert mutatok be, melyek segítségével kontrollált módon lehet lítium akkumulátorokat mérni és vizsgálni. Bemutatom a felhasznált hardverek felépítését majd a szoftver különböző részeit.

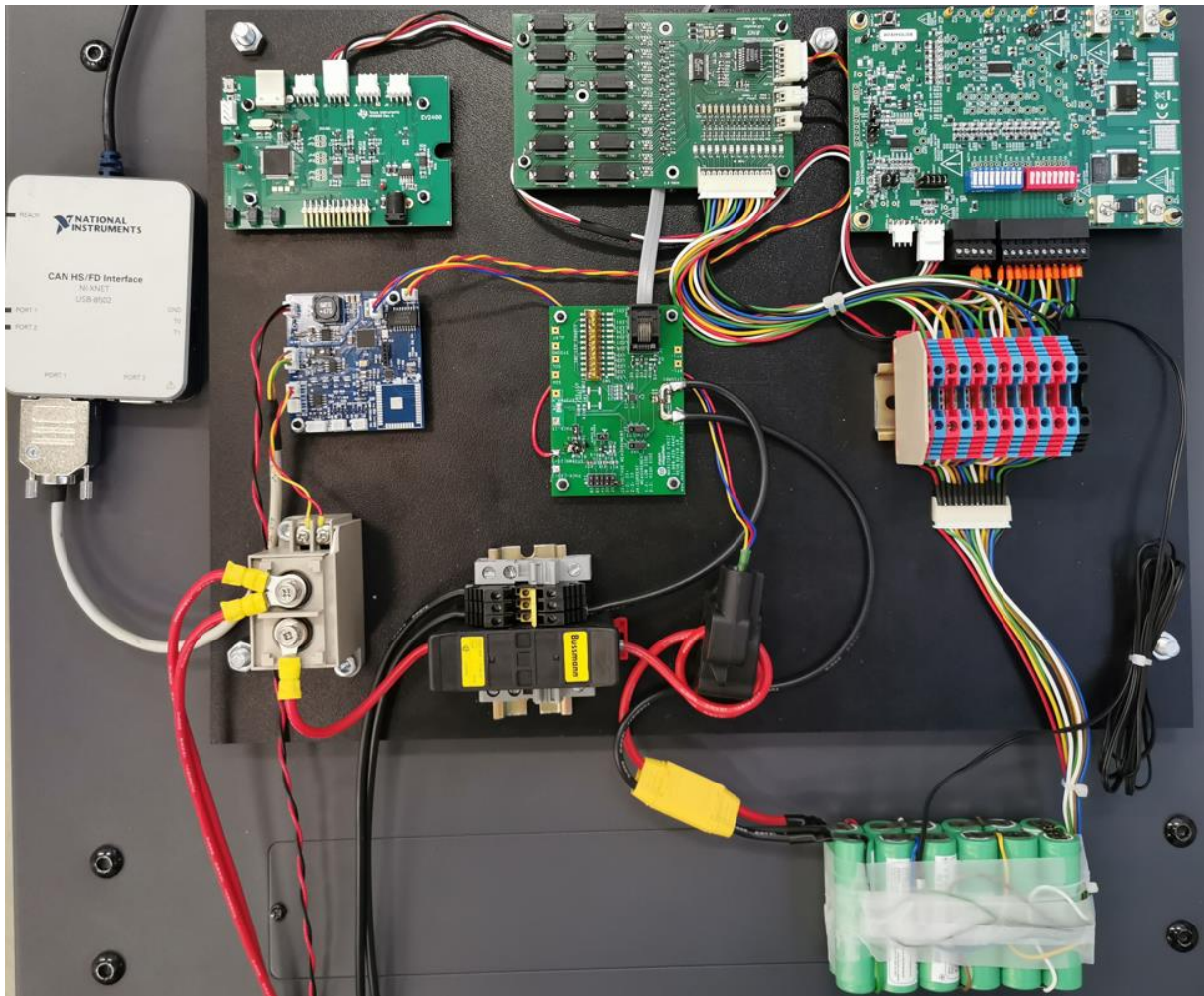
Akkumulátor mérő rendszer

A dolgozat készítése során egy már korábban összerakott mérőrendszert használtam fel (lásd *I. ábra*), amely azzal a céllal készült el, hogy különböző típusú cellákat és akkumulátorokat lehessen töltési és kisütési vizsgálatok alá vetni. A teljes összeállítás biztosítja a cellák túláram elleni védelmét és az izolációt, emellett a paraméterek méréséhez több megfigyelő rendszer lett beépítve. A mérőműszerek mind elérhetőek távvezérléssel, ezáltal automatizált módon lehet őket működtetni.

A jelenlegi összeállítással maximum 12 sorba kötött cella mérése lehetséges. Lítium cellák esetén ez névlegesen 44,4V-ot, maximum 50,4V-ot jelent, ezek alapján lettek méretezve az alkatrészek. Leválasztáshoz egy Omron G9EA-1-B biztonsági relé lett beépítve, amely maximum 60A áramterhelést képes elviselni. A relé után egy 20A olvadóbiztosíték van beszerelve, amely rövidzárlat elleni védelmet biztosítja. Ettől a ponttól kezdve vannak bekötve a mérőrendszerek.

Az akkumulátorból ki és befolyó áramot egy LEM DHAB S/25 típusú Hall árammérő szenzor segítségével dolgozza fel az akkumulátor felügyeleti (továbbiakban: BMS) rendszer. Az eszköz

két csatornával rendelkezik, egy 200A-es és egy 25A-sel, analóg kimenetét a BMS-nek kell feldolgoznia.



1. ábra: Akkumulátor tesztelő környezet

Beépített BMS rendszer

A mérési összeállítás tartalmaz egy egyedi BMS rendszert. Elosztott topológiájának köszönhetően két eszköz van beépítve, egy vezérlő áramkör (a 1. ábra bal oldalán középen), és egy monitorozó áramkör [3].

A monitorozó, vagyis alegység feladata a cellák feszültségeinek és a hőmérséklet mérése, valamint a kiegyenlítés. Az áramkör fő eleme egy LTC6804 AFE, amely a korábban említett feladatokat teljes mértékben ellátja. Az adatkommunikáció a vezérlő egységgel isoSPI vonalon keresztül történik meg.

A vezérlő áramkör felelős a védelmi funkciók ellátásáért, és az adatok továbbításáért. Az adatkommunikáció a felső szintű rendszerrel CAN hálózaton [4] történik. Az üzenetek struktúrája és adattartalma az autóiipari formáknak megfelelően lett kialakítva.

Mérőműszerek

A cellák vizsgálatához szükség van ciklikus terhelés és töltés vizsgálatokra. Erre a célra a piacon kaphatók olyan berendezések, amelyek képesek ezeket a folyamatokat kontrollált módon futtatni, miközben a mérőrendszer adatokat gyűjt.

A kisütéses tesztekhez egy elektronikus műterhelés lett beépítve, amely az Elektro Automatika gyártó EA EL-9750-25 típusú eszköze (lásd 2. ábra felül). Ez a berendezés akár 750V akkumulátor feszültség mellett is képes 25A terhelést rákapcsolni a cellákra, ezért alkalmas a jelenlegi 48V-os akkumulátor csomag mérésére.

A cellák töltéséhez egy szintén Elektro Automatika által gyártott EA PSI 9500-10 típusú tápegység lett felhasználva, amely 10A-es töltőáramot képes biztosítani. Mindkét eszközhöz több fajta interfész kártyát lehet illeszteni, melyek segítségével a mérések automatizálhatóak.



2. ábra: Ciklikus mérésekhez használt műterhelés és tápegység

Diagnosztikai szoftver

A megadott specifikációnak megfelelően több párhuzamos folyamat futtatása szükséges, amelyek eltérő frekvencián működnek. A felhasználó interakciói által a folyamatok több állapotba is kerülhetnek, melyek között meg kell határozni a kapcsolatokat. A párhuzamos ciklusok egymás közt folyamatosan adatokat osztanak meg, amelyet adatvesztés nélkül kell végrehajtani. A gépigény csökkentéséhez a folyamatok csak akkor szabad, hogy fussanak, amikor a felhasználó utasítást ad rá.

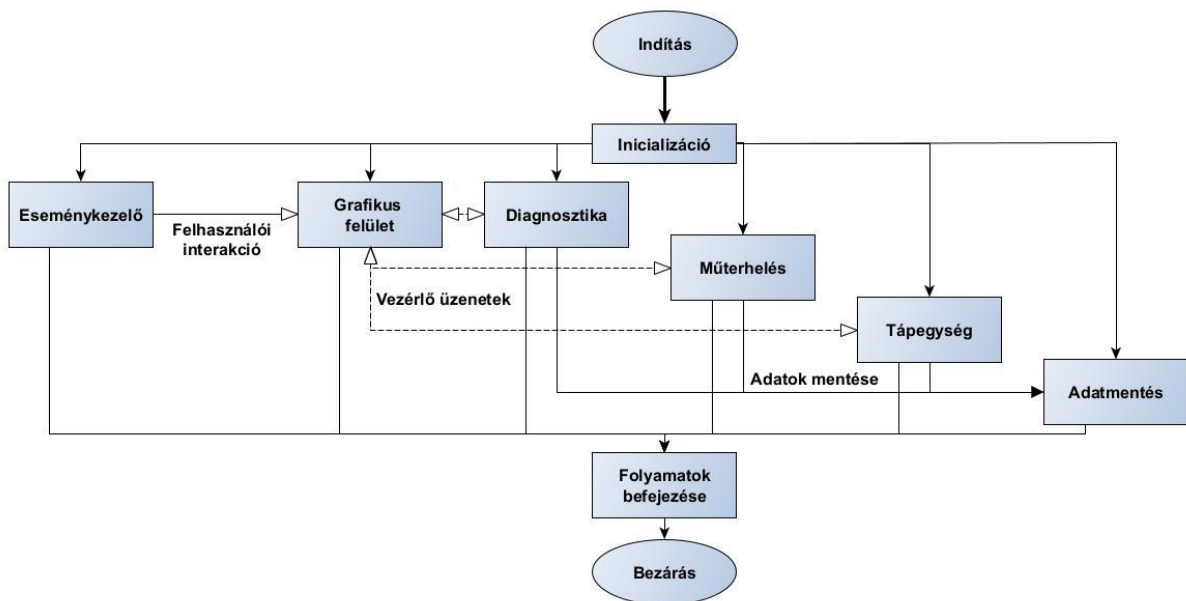
A korábban felsorolt szempontoknak megfelelően a Queued Message Handler (továbbiakban: QHM) architektúra a legalkalmasabb kiindulási pontként. A QHM az esemény vezérelt és producer/consumer sablont kombinálja. A különböző folyamatok és az esemény vezérlő ciklus üzenetek formájában kommunikálnak egymással. Annyi csatornát kell létrehozni, amennyi párhuzamos folyamat fut egymás mellett, egy csatornára több forrásból is jöhet utasítás, de mindig egy folyamat hajtja végre a feladatot. Az üzenetek tartalmazzák a végrehajtandó feladat nevét és csatolható mellé bármilyen adat is. A folyamatokon belül egy állapot gép dönti el, hogy egy beérkezett üzenet hatására milyen feladatokat kell végrehajtani.

Az eseményvezérlő ciklus (angolul: Event Handler Loop, továbbiakban: EHL) feladata a felhasználó által megadott utasítások továbbítása a folyamatok felé. Az események elsődleges kiváltó oka a bemenetek értékének változása.

A sablonnak megfelelően öt különböző folyamatot különítettem el:

- Grafikus kezelőfelület (UI),
- Akkumulátor diagnosztika (Diagnostics),
- Kisütéses mérések műterheléssel (Load),
- Cellák töltése tápegységgel (Charger),
- Mért és számolt adatok mentése (Logging).

A szoftver felépítése a 3. ábra látható.



3. ábra: Queued Message Handler architektúra implementációja

Minden folyamat egy üzenetkezelő ciklusból áll (angolul: Message Handler Loop, továbbiakban: MHL), amely a folyamat állapotait, és a lefuttatandó kódot tartalmazza. Annyi állapotot kell létrehozni ahány különböző üzenet van, ha egy olyan érkezik be az MHL-be, amely nincs definiálva, a folyamat hibát jelent és leáll. A beérkezett üzenetek egy Case struktúra szerint vannak szétválogatva, amelyhez egyszerűen lehet újakat adni. Az üzenetek közti adatátvitel egy shift regiszter segítségével történik, amelyben a folyamathoz tartozó adatok klaszterbe vannak rendezve.

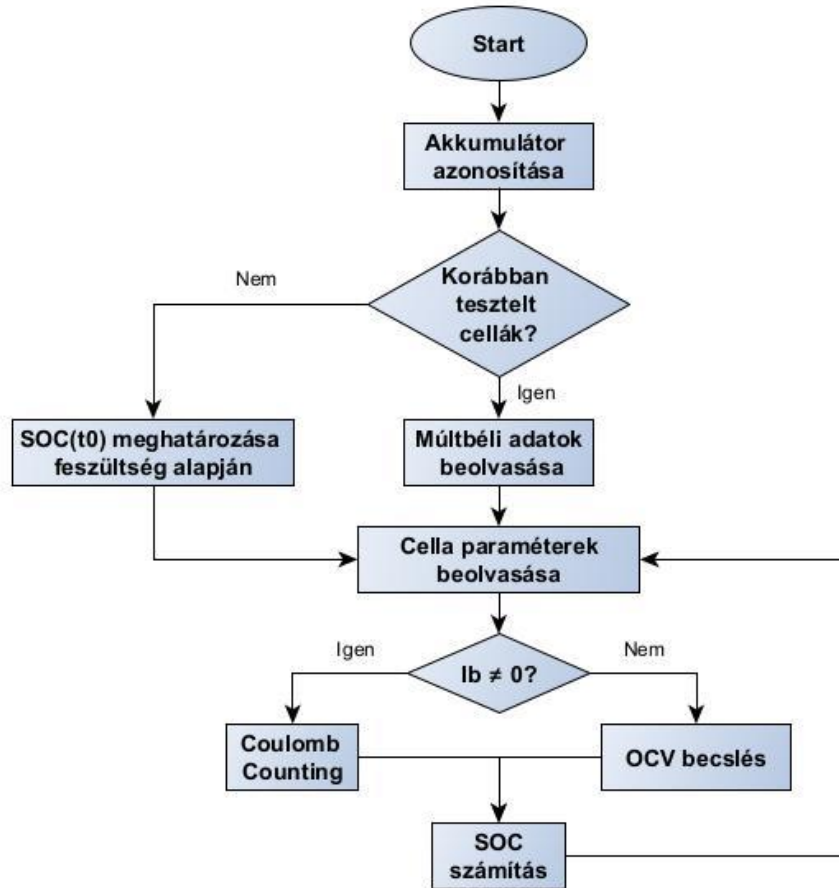
Ha egy folyamat megköveteli több lépés egymás után való lefutását, a lépések küldhetnek üzenetet a saját csatornájukra, így azok biztos egymás után futnak le. Ha egy feladatot folyamatosan futtatni kell, mindig önmagát fogja meghívni, akár időzítéssel is. Ilyenkor a többi üzenetet prioritással kell küldeni, hogy azok biztos lefussanak, így a végrehajtásban nem lesz késleltetés.

Diagnosztika, SOC becslés

A csatlakoztatott akkumulátorok diagnosztikájához a BMS által mért adatokra van szükség, ezért a szoftver indulása után a CAN interfész azonnal elindul és feldolgozza a bejövő adatokat. A cellákról összesen több mint 50 különböző adatot küld el a BMS, ezekből a program további paramétereket számol ki, hogy a felhasználó pontosabb képet kapjon a cellák állapotáról.

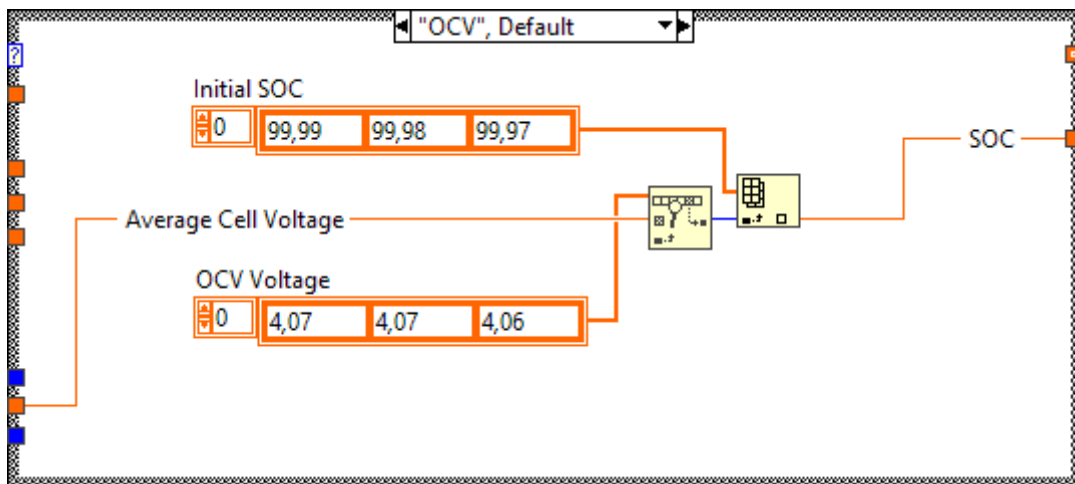
A teljes projekt szempontjából az egyik legfontosabb funkciója a szoftvernek a csatlakoztatott cellák SOC értékének a becslése [5]. A különböző módszerek csak a BMS adataiból dolgoznak, ezért a számítás a Diagnosztika folyamat egyik része. Elsődlegesen a Coulomb Counting és OCV módszer lett implementálva a kódba, azonban úgy lett kialakítva a blokkdiagramm, hogy az új módszereket könnyen lehessen később beilleszteni.

A korábban említett két módszer alapján elkészítettem egy olyan algoritmust, amely kihasználja az előnyeiket bizonyos szituációkban. Az OCV alapú becslés leginkább terheletlen állapotban ad pontos SOC értéket, feltéve, hogy a cellák a relaxációs időn átestek. A Coulomb Counting dinamikus terhelés mellett számolja a kivett kapacitás nagyságát. Egy állapotgép segítségével a szoftver felismeri melyik módszert érdemes az adott pillanatban használni. A becslés folyamata a 4. ábra látható.



4. ábra: SOC számítás folyamatábrája

Az OCV becsléshez szükséges a cellák feszültség – SOC karakterisztikája, sajnos ez nem volt elérhető a teszt akkumulátorhoz ezért a görbét mérésrel kellett meghatároznom. A kapott értékek alapján két adattömböt töltöttem fel, egyik az SOC másik a feszültség értéke. Bemenetként a cellák átlag feszültségét vettem alapul, amely alapján a program megkeresi az adott értékhez tartozó SOC értéket, amit megad a kimeneten (lásd 5. ábra).



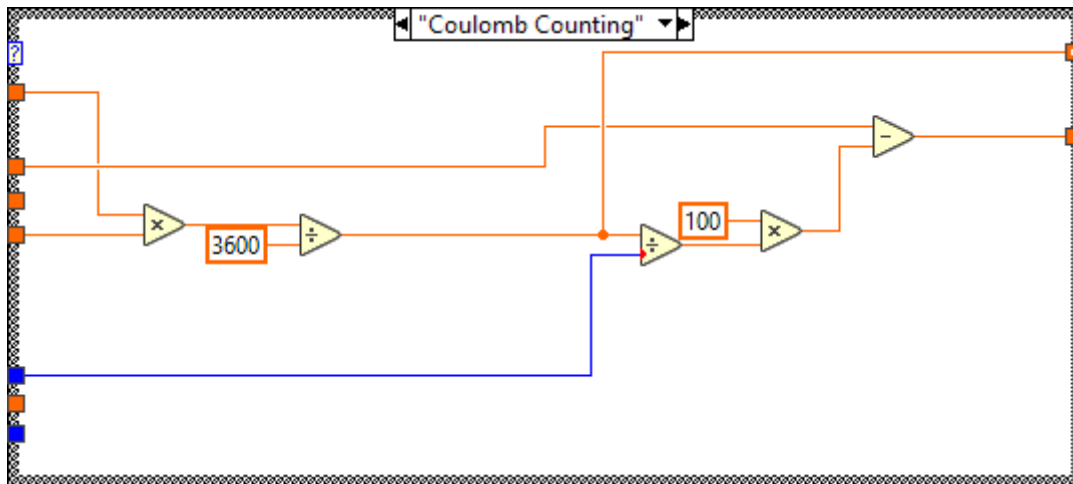
5. ábra: OCV becslés megvalósítása

A Coulomb Counting módszere az akkumulátorból ki vagy befolyó áram mérésén alapszik. A terhelő áram időbeli integrálját kell elosztani a névleges kapacitással, azonban ezt egyszerűbben is meg lehet valósítani úgy, hogy az aktuális áram és eltelt idő alapján kiszámoljuk a kivett kapacitás nagyságát (1), majd ezt elosztva a névleges értékkel megkapjuk az adott intervallum alatt megváltozott SOC értéket, amelyet kivonunk az előző ciklusban kiszámolt értékből (2). A LabVIEW-ban megvalósított kód a 6. ábra látható.

$$C_{\text{aktuális}} = I_{\text{aktuális}} \cdot t_{\text{ciklusidő}}, \quad (1)$$

$$SOC(t_n) = SOC(t_{n-1}) - SOC(t_n), \quad (2)$$

ahol C a kapacitást, I az áramot, t az időt, SOC(t) pedig az aktuális töltöttségi állapotot jelenti.



6. ábra: Coulomb Counting becslés megvalósítása.

Akkumulátorok mérése

A szoftver fejlesztése során a csatlakoztatott eszközök folyamatosan tesztelésre, kerültek, így amikor a program különböző elemei (CAN kommunikáció, diagnosztika, töltés/kisütés) együtt is működtek, elkezdtem különböző méréseket elvégezni, amelyek az akkumulátor felméréséhez szükségesek. A mérések során nem csak a diagnosztikai szoftver által mentett adatokat használtam fel, hanem a mérőrendszerbe bekötött kettő fejlesztői panel méréseit is, majd összehasonlítottam őket.

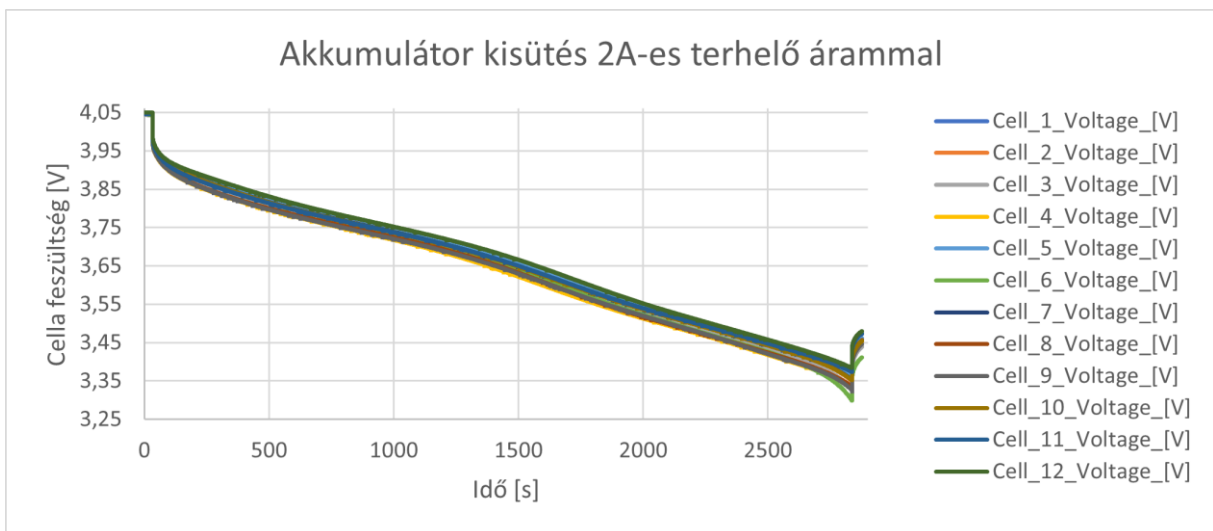
A mérések során egy egyedi készítésű akkumulátor csomagot használtam fel, amely tizenkét darab 18650-es lítium-ion cellából áll össze. A cellák 12S1P elrendezésben vannak összekötve ponthegeesztett sínek segítségével, mindegyik el van látva egy mérőszállal is. A csomag névleges kapacitása 2600mAh és maximum 10A terhelést visel el.

Kisütéses tesztek

A kisütéses tesztek során a diagnosztikai szoftver felhasználásával csatlakoztam rá a műterhelésre, majd indítottam el a méréseket. A paraméterezés során konstans áram szabályzást állítottam be, majd Level A és Level A/B módban hajtottam végre a kisütést.

A cellák minden esetben teljesen feltöltött állapotban voltak a mérések elején. Az SOC érték a kezdetben OCV becsléssel lett meghatározva, majd a terhelő áram rákapcsolása után a Coulomb Counting módszerrel. A mérést több kisütő árammal is elvégeztem: 1A, 2A és 5A.

A 7. ábra látható a különböző cellafeszültségek alakulása két amperes terhelés mellett. Bebizonyosodott, hogy nincs két ugyanolyan cella, ez az eltérő feszültség görbéken is jól látszódik.



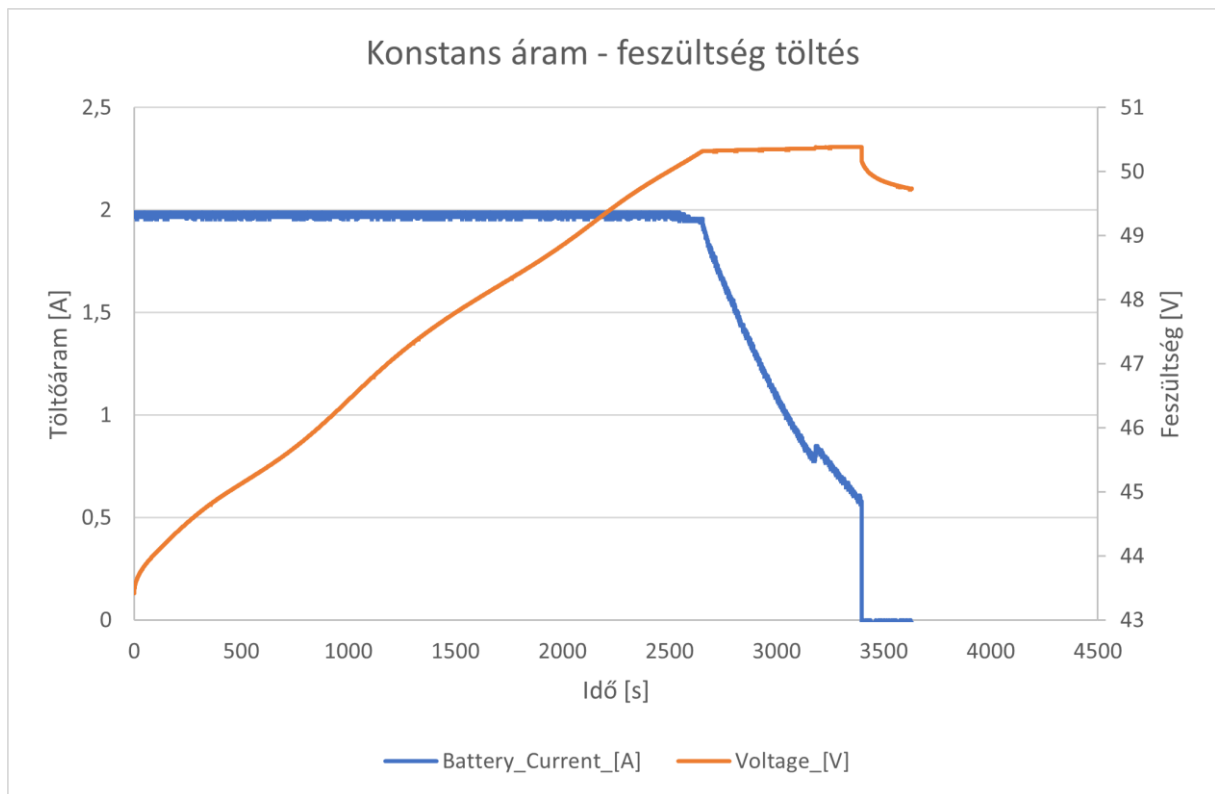
7. ábra: Terhelés 2A nagyságú árammal.

A mérést a legtöbb esetben a BMS védelmi funkciója állította le, ugyanis az egyik cella elérte az alsó feszültséghatárt, ilyenkor a relé kontakt oldásra kerül és áram nem folyik tovább.

Cellák töltése

A merítéses tesztek után a cellákat fel kellett tölteni, ehhez a nagy teljesítményű tápegységet használtam fel. Hasonlóan a műterheléshez, először csatlakoztam az eszközhöz soros porton keresztül, majd feltöltöttem a paramétereket. A töltést konstans áram-feszültség módszerrel futtattam le, maximum 1C-s töltő árammal.

A 8. ábra látható egy töltés folyamat. Ebben az esetben az áramkorlátot 2A-ra állítottam be, míg a feszültséget 50,4V-ra, így a cellák körülbelül 4,15V feszültség szintet érnek el a folyamat végére.



8. ábra: Cellák töltése.

A teljes procedura kettő részre osztható fel. Az első szakaszban a tápegység CC módban üzemel, az akkumulátor feszültsége folyamatosan nő a kezdeti 43.5V értékről. A felső feszültség határnál történik az átváltás CV módra, mivel ha továbbra is nagy árammal folytatódna a töltés, a cellán belül gázfejlődés alakulna ki. A második szakaszban a feszültség marad a beállított értéken, míg az áram exponenciálisan csökken. Az áram változásának jellege miatt a folyamat hosszú ideig elnyúlik, ezért egy bizonyos érték alatt a töltés le lett állítva.

Töltés közben a BMS *Charge On* vezérlő bit bekapcsolásra kerül, ilyenkor a túlmerítés elleni védelem ki van iktatva, hogy a lemerült cellákat fel lehessen tölteni. Fokozottan ügyelni kell

arra, hogy ebben az állapotban a cellák túlmerítésének veszélye állhat fenn, ezért kisütés közben ki kell kapcsolni ezt a bitet. A túltöltés és hőmérséklet elleni védelem továbbra is üzemel.

Összefoglalás

A projekt keretein belül sikeresen fejlesztettem egy olyan szoftvert, amely képes akkumulátorok tesztelésére és vizsgálatára az adott mérőkörnyezetben. A szoftver architektúrája lehetővé teszi új hardver és funkciók beillesztését úgy, hogy azt csak kis mértékben kell módosítani. A program segítségével méréseket is elvégeztem, egyik ilyen az OCV becsléshez szükséges karakterisztika meghatározása. A továbbiakban új SOC becslő módszereket szeretnék implementálni majd összehasonlítani őket.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] B. Scrosati, „History of lithium batteries”, *J Solid State Electrochem*, köt. 15, sz. 7, o. 1623–1630, júl. 2011, doi: 10.1007/s10008-011-1386-8.
- [2] S. Ma és mtsai., „Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review”, *Progress in Natural Science: Materials International*, köt. 28, sz. 6, o. 653–666, dec. 2018, doi: 10.1016/j.pnsc.2018.11.002.
- [3] M. Lelie és mtsai., „Battery Management System Hardware Concepts: An Overview”, *Applied Sciences*, köt. 8, sz. 4, Art. sz. 4, ápr. 2018, doi: 10.3390/app8040534.
- [4] S. Corrigan, „Introduction to the Controller Area Network (CAN)”, o. 17.
- [5] M. Murnane, „A Closer Look at State Of Charge (SOC) and State Of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries”, o. 8.