

Fisker Karma akkumulátor, avagy egy bolond százat csinál.

Az akkumulátor téma nagy kedvence az eCar felhasználóinak és fikázóinak, ami persze érthető: mindenkinek van legalább egy döglődő mobiltelefonja vagy egy tönkrement motoros csavarhúzója, így ennek kapcsán feljogosítva érzi magát, hogy mint az akku-téma szakértője, minden akkus témához feltétlen hozzászóljon. Én pedig bármennyire is igyekszem úriember módjára viselkedni hüen ahhoz, hogy ifjúkoromban többször is végigolvastam szüleim több ezer kötetes szépirodalmi gyűjteményét, ilyen akku-szakértőktől pár félmondat is elég, hogy kijöjjön belőlem a 40.000 éve élt ük-ük-ükapám vére, aki pálmalevelekből szőtt ágyékkötőjét is elhagyva rontott rá a csorda betolakodójára, hogy kedvenc bunkósbotjával pár szakszerűen megejtett koponyaalapi törés útján rendezze a megingott hatalmi viszonyokat. Még szerencse, hogy a XXI. században pár bunkó mondat is elég, hogy a „szakértők” kicsit visszább vegyék az agyarakat. Bár mai írásom alapvetően a *Fisker Karma* akkumulátoráról szólna, reagálnom kell a *FaceBook* akku-szakértői versenyének eheti abszolút győztesének mondatára, amely akkora egzotikus gyöngyszem, hogy szó szerint kell idéznem: „*Nekem egy akkuguru azt mondta, hogy karbantartásként időnként 3-as ciklusokban totál le kell meríteni (teknősbékáig!), majd feltölteni 3 különböző töltési módon. És ezt a ciklust 2-3x megcsinálni - ezzel regenerálódik az akksi.*” És tudjátok, mi a vicc? Hogy még igaza is van ebben-abban, csak épp erősen keveri a szezont a fazonnal. Szóval mielőtt egy lépést is tennék a *Fisker Karma* hibás akkumulátora irányába, felfrissíteném olvasóim memóriáját egy kis történelmi áttekintéssel. Akkumulátor alatt ugyanis minden korban mást értettek:

- 1901-ben szabadalmaztatta a híres *Thomas Alva Edison* a vas-nikkel, vagy más néven *lúgos akkumulátort*. Az 1940-es évekig használták, még a korai elektromos autókban is, egészen a nikkel-kadmium akkuk szélesebb körű elterjedéséig – kivéve nálunk, ahol ex-szovjet elvtársaink extra magas minőségű vasúti személyvagonjaiban a mai napig ott loccog ez az amúgy kb. elpusztíthatatlan, 50 (néha 100) évig is működő akkufajta.
- Ennél is öregebb a *savas ólomakkumulátor*, amelyet bár már 1859-ben felfedeztek, de alig 3-5 éves élettartama miatt sokáig csak másodhegedűs volt; a belsőégésű motorok nagy áramfelvételű indítómotorja indította csak be a karrierjét, hogy egészen a 2000-es évekig ez legyen az „akkumulátor”. A 2000-es évektől kezdve felváltotta a *zselés*, vagy *gél-akku* (AGM) kivitel, amely jobb műszaki paramétereivel és karbantartás-mentes kialakításával jobban megfelelt korunk „dobd el és vegyél másikat” hozzáállásának.
- Szintén már évszázados múltja van az 1899-ben felfedezett *nikkel-kadmium* (NiCd) akkunak, mely reneszánszát főleg 1950 után élte, és csak utódja, a *nikkel-metál-hidrid* akku (NiMH) tudta kiszorítani, miután az 1967-es felfedezését követően az 1980-as évekre már árban és minőségben is vastagon megverte öreg elődjét. Érdekességként meg kell említenem, hogy az akkutípus autóiipari gyártásának jogait egy olajtársaság vette meg, és szándékosan ott tett keresztbe az autóiipari felhasználásának, ahol tudott. Akit érdekel, olvassa el erről ezt a nagyon jó cikket a *TotalCar.hu*-n: <https://totalcar.hu/belsőseg/2017/08/29/ezert-kesett-a-villanyauto-masfel-evtizedet/>

Most tessék felébredni, mert jön a lényeg a lítium akkumulátorokkal, amit nem győzők kb. százszor is leírni, hogy csak egy gyűjtőfogalom, és nem egy fajta akkumulátort takar. Ezeket mind 1991 után (!) fedezték fel, a napjainkban is úgy szaporodnak a különféle lítium akkuk, mint erdőben, őszi eső után az ízletes vargányák. Mire ezt a mondatot leírtam, lett 3 új típus...

Volt már több korábbi írásom, ahol kémiai összetétel szerint összeszedtem a fontosabb lítium akku típusokat vegyjellel, tulajdonságokkal, de amennyire tudom, a rossz kisgyerekeket ijesztgetik azzal, hogy ha nem alszanak el este nyolckor, akkor felolvasnak belőle nekik egy-egy bekezdést... Szóval én most nem kínoznék senkit, hanem nagyon főbb vonalakban csak a három fő nemzetségről beszélnék röviden, és most gyakorlati oldalról írnék róluk, kerülve az elméleti ömlengést...

- **Lítium-polimer** akkuk: ezeket az olcsó, zacskós (pouch) akkumulátorokat előszeretettel használják olyan helyen, ahol nagy áramokat kell viszonylag rövid idő alatt leadni, pl. a mobiltelefonokban vagy a manapság divatos drónokban. Szintén sok fajtájuk van, de az közös mindegyikben, hogy élettartamuk nagyon rövid; egy, max. másfél év, ezért sem találkozunk velük elektromos autókban. Rendkívül nagy áramuk miatt hajlamosak a robbanásra is, ezért pl. a drón akkumulátorokat közepes feszültség szintre lemerítve kell tárolni, hogy minél kevésbé legyen hajlamos a spontán robbanásra.
- **Lítium-ion** akkuk: moderáltabb tulajdonságaik vannak, azaz mindenből egy icipicivel gyengébb: szokásos névleges feszültsége 3.6V a lítium-polimer akkuk 3.7V-jával, ill. a LiPoHV akkuk 3.8V-jával szemben. Áramleadó képességük is kisebb. Ellenben van egy nagy előnyük: sokkal-sokkal üzembiztosabbak, spontán robbanásra nem hajlamos; sőt, sokszor még azt is kibírják, ha szeggel átütik vagy fejszével kettécsapják. További előnye, hogy élettartama is 3-5-szerese a lítium-polimernek. Ezen jó tulajdonsága miatt szinte kizárólag csak ezt alkalmazzák Európában és az USA-ban az elektromos autók gyártására. Az USA-ban a hengeres kivitel terjedt el, Ázsiában és Európában inkább az olcsóbb zacskós kivitel kedvelik.
- **Lítium-vasfoszfát** akkuk: nagyon régi lítium akku típus, aminek van egy nagyon extra jó tulajdonsága: olcsó... Sőt, nagyon olcsó! Cserébe nehéz is, hiszen sok vas van benne. Szintén jó tulajdonsága, hogy élettartama messze a leghosszabb, még a lítium-ionra is ráver 2-3x. Mondanom sem kell, Kínában nagyon szeretik gyártani, részint az ára miatt is, részint pedig mert a gyártásához nem kell semmi drága, különleges anyag: némi só (lítium), vas, meg egy kis műtrágya-alapanyag (foszfor). És Kínában még nincsenek az emberek elszállva, hogy autó címszó alatt úrrakétát akarjanak 3G-s gyorsulással; náluk már az is fantasztikus, ha valakinek saját autója lehet. Szóval a *BYD*, Kína legnagyobb autógyára elég nagy arányban támaszkodik a vasfoszfát akkukra, ezért mostani cikkem melegen ajánlom mindenkinek, akit érdekelnek a kínai autók. Ja, kivitelben nagy sárga kocka a szokásos megjelenése 10-ből 9-szer, ezért is gyűjtöttem majdnem magamra a *Fisker Karma* akkuját, de erről majd később; névleges feszültsége ugyanis ennek az akkunak a legalacsonyabb, mindössze 3.2V. Olcsósága és robusztussága miatt nálunk főleg golfkocsi-, targonca- és kishajó-akkuk formájában találkozunk velük, jellemzően hatalmas, 100-400Ah-s méretben.

No, ez a „lájtos” verzió már túlélhető volt? Bár viszketnek az ujjbegyeim, hogy leírjak egy-két szakmai mondatot is, de küzdök ellene erősen... Igazából ezt is csak azért kellett leírnom, hogy a következőkben leírtakat érthetővé tegyem: jelenlegi írásom ugyanis az akkumulátorok tipikus hibáiról fog szólni! Nagyon-nagyon régóta akarok már erről cikket írni, de bármennyit is küzdöttem, alig találtam itthon rossz, bontható akkumulátort. Összesen kb. tíz itthon cserélt akkuról van tudomásom, és mivel ezek az autók még garanciálisak voltak, ki az a bolond, aki nem élne egy ingyenes akkucserével? Ahol meg nem volt már garancia, ott szinte csak a BMS volt hibás, vagy épp eleresztette a hűtővizet egy hibás csőcsatlakozás. Így nagy örömmre szolgál, hogy kaptam két hibás *Fisker Karma* akkumodult, így az eddigi *Smart ForTwo*-s roncs akkum után újabb autóakkut tudtam tanulmányozni műszeres mérésekkel. (Korábban is rengeteg döglött akkut méricskéltem már, de azok főleg laptop akkuk voltak, ami más világ.)

Hogy lássuk, miről is beszélünk pontosan, jöjjön előbb a *Fisker Karma* gyors leírása: ez egy különleges, luxus hibrid sportkocsi benzinmotorral és három (3!!!) villanymotorral. A márkának nagyon nem tett jót a 2002-es *Sandy hurrikán*, ami kb. telibe kapta a *Fisker Karma* raktárát, 30 millió dolláros kárt okozva a cégnek, ami ettől (is) csődbe ment. Ma itthon kb. 10-12 autóról lehet tudni, melyek lassan, de biztosan amortizálódnak: se a véletlenszerű motorletiltások, se az akkumulátorok szétesése nem segíti a túlélésüket. Akkumulátora „T” alakú az ellenség megtévesztésére, de belül valójában csak a középvoalban vannak akkucellák, a „T” alapjának egyik felében a BCM modul lapul a kontaktorokkal, a másik felében meg hagytak egy jó tágas kis helyet pl. a drogok elrejtéséhez. ☺ Így néz ki az akkupakkja:



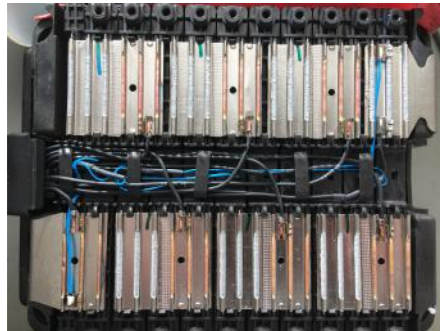
Mint látható, 2x7 fekete kocka fekszik két sorban, kockánként kettő fémpánttal összefogva, majd az akku elején van a 15. kocka, álló helyzetben. Ezek a modulok. Az akkupakk kapott egy vízűtést, ami közepén fut végig a két sor fekvő akku között, és eléggé vicc kategória: a fekete modulokban lévő akkucellák kettesével kaptak egyetlen, max. fél milliméter vastag alu elválasztó és hővezető lapot, aminek végei L alakban kihajtva ráfekszenek a vízűtésre egy narancssárga hővezető gumin át. Az alsó sor még kb. hagyján: a felső felüket hűti a vízűtés, és a légáramlás is arrafele segíti a meleg terjedését; de a felső sornak az alul lévő hűtése nem hinném, hogy túl hatékony ilyen vékony hővezető lemezekkel, amelyekben természetesen nincs hűtővíz-áramlás, szemben pl. az *Opel Ampera* hasonló, de fejlettebb konstrukciójával.



A képen látható módon van fent két csavarhely, ahogy a képen nem látható módon a túlfelén is van kettő. Mivel 4 csatlakozás egy akkunak pont kétszer annyi, mint kéne, ebből kettő semmit sem csinál, nincs is bekötve. Pár akku esetében egy vastag áthidaló sínnel össze van kötve a két, azonos oldali csatlakozás, hogy jobban „kézre essen” a kivezetés, de alapvetően így is van egy nagy bibi: a BMS paneleknek (amit most az A123 feliratos fedél miatt nem látunk, csak a csatlakozóját) egy oldalra kell esniük, ezért hogy az akkucellákat sorba lehessen kötni, van belőlük „jobbos” és „balos” kivitel. Teljesen azonos kinézettel az egyiknek a plusz kivezetése, a másik kiköpött ikertesónak meg a negatív kivezetése csatlakozik ugyanarra a csavartuskóra. Mindössze egy aprócska, lemezbe lézerezett + / - jelzés segít, hogy ne csináljunk bekötéskor tűzijátékot!



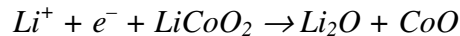
Ahogy már írtam, vékony alu-hűtőlemezek választják el a cellákat, ezért első találkozásnk alkalmával rögtön félre-diagnosztizáltam az egészet: a 12 hűtőlemez alapján 6x2 akkucellát sejtettem, amit a kapocsfeszültség is igazolt. Még akkor sem gyanakodtam, amikor leszedve az első hibás cella tetejét, megláttam, hogy nem kettő, hanem három cella van párhuzamosan kötve benne:



Rutinosa rá akartam tenni a töltőmre, hogy feltöltsem teljesen a kapacitás-méréshez, be is állítottam a 6*4.1V-ot, aztán amikor a BMS-t kötöttem volna be, valahogy nem stimmelt a drótok száma. Jobban megnéztem az akkut, és elképedve vettem észre, hogy ebben nem 6, hanem szokatlan mód 7 cella van sorba kötve, azaz 7S3P a bekötése, 21 cellával. Kezdeztem újra az előkészületeket, mert a 7 cellás BMS ritka, mint a fehér holló; de nálam minden van, még öslény koponya is, szóval ez nem fog ki rajtam. Már indítanám a töltést a 7*4.1V-al, mert az idő pénz, a kíváncsiságom meg kínzó, de aztán győz a józan ész meg az óvatosság, és előbb az adatokat akarom leellenőrizni. Azt az infót kaptam ugyanis, hogy ez a cella ugyanaz, mint az *Opel Amperában* lévő. Gyors ellenőrzés, nem stimmelnek a mm-ben mért méretek! Na, itt már kezdtem ideges lenni; szerencsére gyorsan sikert érek el, mert a cella gyártója, az *A123* cég még ma is él; mi több, még árulja is ezt az akkucellát, ami ebben van. Nem csak hogy árulja, de adatlap is van róla, sőt, 71 oldalas alkalmazási útmutató is! Óh, kéj és mámor, most úsztam meg egy hatalmas lakástüzet: ez az akkumulátor ugyanis nem egy *lítium-ion*, hanem *lítium-vasfoszfát* akkumulátor – zacskós, „pouch” kivitelben!

Lassan mondom, hogy biztosan leessen a poén: egy luxus sportkocsiba nem a maximális teljesítményt nyújtó lítium-ion akkukat építették be, hanem a jóval gyengébb és nehezebb, de olcsóbb vasfoszfát akkukat. Mégpedig 15S(7S3P) konfigurációban 315 db-ot, melynek a névleges feszültsége 346,5 Volt, ami majdnem ugyanaz, mintha lítium-ion akkuból lenne az eredetileg tévesen képzelt 15*6 db; ezért sem szúrtam ki eddig. És ha én ezt elkezdem 7*4.1V-al tölteni a megengedett maximális 7*3.6V helyett, negyedórán belül lángol minden! Így se úsztam meg az izgalmakat, mert miután az egyik akkumulátor mindössze 24 mV-os cella eltéréseket mutatott, automatikusan „hibátlanak” gondoltam, és elindítottam az óvatos töltést az adatlap szerint megengedett 3*20A, azaz 60A helyett mindössze 5A-el, és elmentem egy gyors kétbetűs kitérőre, de visszatéréskor már 4.1V fogadott az egyik cellán. Úgy leizzadtam egy pillanat alatt, mint egy maratoni futó a célban, amikor rájön, hogy a regisztrációs kártyája az indulási helyen maradt, és most futhat vissza érte. Szerencsére megúsztam, a cella nem robbant fel – én annál inkább a méregtől és az idegességtől... Szóval kezdjük csak el nyomozni, mi a franc van itt, mert 50 mV-nál kisebb (esetünkben 24 mV-os) cellafeszültség-eltérés alatt „elvileg” nem szabadna hibásnak lennie a celláknak – vagy mégis? Már csak azért is érdekes a kérdés, mert az ikertesóján 226 mV-os cella-feszültség eltérést mértem, ami meg egyértelműen rossz. (Azért kaptam rögtön kettőt, mert az egyik „jobb”, a másik meg „balos”). Miben tér el a két hiba? Ilyenkor eltelik egy hét is; én lázasan agyalok, számolgotok, adatlapozok, méricskélek, és próbálok úgy tenni, mintha nem lennék segghülye a lítium akkukhoz; pedig így, 3 bakival egymás után úgy érzem magam, mint aki ma kezdte. Aztán a következő megállapítást tettem:

Háromféle lehetséges akku-meghibásodással állunk szemben. Az elsőt ezek közül egyszerű kapacitás-vesztésnek lehetne nevezni. Ilyen legfőképp akkor következik be, ha egy akkucella mélymerülésbe kerül, azaz lítium-ion cella esetén 2.5V alá csökken a feszültsége. Ilyenkor megszűnik az az ún. potenciál-gát, ami megakadályozza a cellában lévő lítium elektrokémiai korrózióját, és az akku lítium tartalma elkezd oxidálódni. Mivel ez a kobalttal függ össze az alábbi reakció mentén, ez csak a lítium-ion és lítium-polimer akkukat érinti, a *Fisker Karma* vasfoszfát akkujait nem; ezért is bírják sokkal jobban a vasfoszfát akkuk a mélykisütést:



Ó, bocsánat; megígértem, hogy nem fárasztok senkit képletekkel. ☺ Ilyet tapasztaltam a *Smart ForTwo* lítium-ion akkumulátorában, ahol a 93 cellából 21 túlélte a mélymerülést, mert kapott időközben egy negyed akkut érintő rátöltést. 69 cella tökéletes lítium-oxid téglává vált, mert teljesen oxiddá ment benne a lítium, a maradék 3 cella pedig – melyek 2.2 – 2.7V közötti kapocsfeszültséggel vártak – az 50Ah-s kapacitásának jelentős részét elvesztve, 36 – 40Ah körüli kapacitásra álltak be. Ellenben ezt stabilan, minden látható károsodás nélkül tudták.

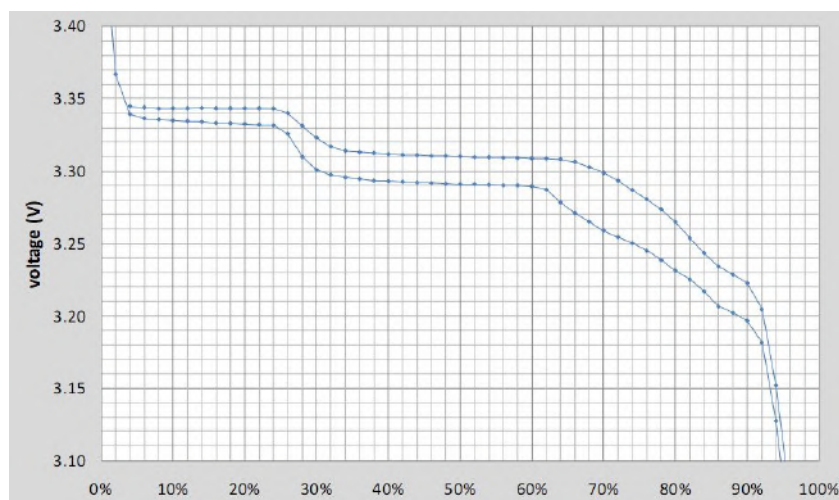
Hogy rájőjjek, mi lőtte a *Fisker Karma* akkuját, kénytelen voltam cellánként, egyesével feltölteni és kisütni (majd újra visszatölteni) a cellákat. Mondanom sem kell, ez nem egy gyors folyamat: egy töltés-kisütés-visszatöltés egy nap; 7 cella van egy modulban, ez egy hét. A méréseim szerint a tripla akkucellák 54.06 – 54.40Ah között szórtak, kivéve az egyiket, ami 37.58Ah-s lett. Viszont ha elosztom hárommal a kapacitást, ill. az utóbbit kettővel, már azonos értéket kapok: 18.0–18.1 Ah/cella. Tehát itt az történt, hogy az egyik cella teljesen elszállt, közel nulla lett a kapacitása, miközben két szomszédja meg ép és sértetlen; tehát nem merülhetett le, nem mélykisülés nyírta ki. Egyszerűen fogta magát és megpusztult, kilyukadt, átment az örök akkutelepre az idők végezetéig. A másik akkumodulban dettó ugyanez történt, de rögtön két cellával, mégis a nagyobb arányú meghibásodás ellenére ez majdnem tökéletes cellafeszültségeket mutatott. Én meg elkezdtem egyben tölteni, gondolván, hogy hibátlan...

A mérések azt mutatták, hogy abban a modulban, amiben csak egy cella ment tönkre, az ún. töltési végfeszültség elérésekor az áram csak nem akart nullára esni, hanem kb. 400 mA-es áramot folyamatosan felvett az akkumulátor. Mintha a 3., hibás cella kis mértékben, de zárlatos lenne. Ellenben abban a modulban, amelyikben két cella is tönkrement, ott úgy ment tönkre, hogy ténylegesen megszakadtak a cellák, és az áramfelvétel egészen a 0 mA-ig ment le, ahogy azt tennie is kell. A *Fisker Karma* BMS panelje 8 db 91 Ω-os ellenállásával 290 mA árammal képes balanszolni, de még ez sem volt képes ellensúlyozni a részben zárlatos cella kb. 400mA-es saját merülését: hiába húzta le a másik hat cellát 290 mA-el, hogy kompenzálja a cellafeszültségek eltérését, az eltérés mégis egyre nagyobb lett idővel, így végül 226 mV-os cellafeszültség-eltéréssel került ide hozzám. Ellenben az, amelyikben két cella is megszakadt (lehetséges, hogy csak a cellába épített biztosítékok mentek ki), mivel nem csináltak semmi hibaáramot, a BMS gond nélkül kihúzta nullára, így a 24 mV-os mért eltéréssel első blikkre hibátlanak tűnt. Egészen addig, míg egy relatíve kis árammal, az adatlapban ajánlott érték 1/12-ed részével el nem kezdtem tölteni.

A FaceBook nagy tárháza a különféle megalapozatlan bölcsesleteknek, így ott olvastam pl. azt a logikai következtetést, hogy ha egy akkuban 75 mV eltérés van a cellák között, akkor az autó mondjuk 200 km-t tud megtenni egy töltéssel. Ellenben ha 150 mV eltérés van, akkor a dupla eltéréshez feleannyi, azaz 100 km-es hatótáv tartozik. Szegény íróasztalom; körmeim nyoma immár örökre rajta marad ekkora ökörségtől... Ezzel szemben az alábbiakat lehet nagy biztonsággal kijelenteni:

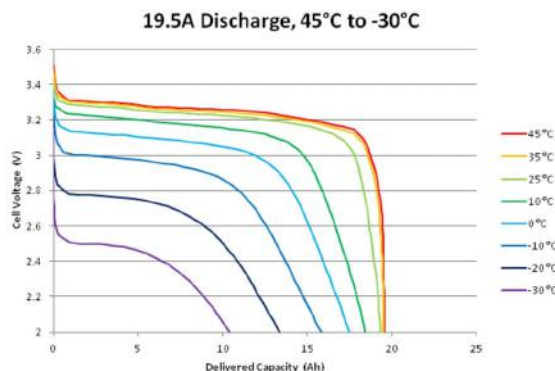
A *Nissan LEAF* és az *Opel Ampera* Gen2-es akkuval két párhuzamos cellával dolgozik, így ha bármelyik akkucella meghal benne, akkor a hatótávja rögtön a felére esik le. Ellenben pl. a régebbi, Gen1-es akkus *Opel Amperák*, ill. a *Fisker Karma* is, ahol 3 cella dolgozik, csupán a hatótáv harmada veszik el hirtelen, ha az egyik cella megszakad benne. Végezetül a *Smart ForTwo* az igazán nagy vesztes, mert ott egyetlen cella van, nincs párhuzamos kötés; ha ezek bármelyike is meghal, az autó ott ragad, ahol van. És ahol vesztes van, ott nyertesnek is kell lennie: ez pedig a *Tesla Model X/S*, ahol 74 (vagy 86) cella van párhuzamosan kötve, így bármelyik cella kiesése a hatótávot észrevehetően mértékben, alig 2%-al csökkenti csak.

És hogy mit jelent a *LeafSpy* programban kijelzett cellafeszültség-eltérés? Nos, leginkább semmit! A BMS dolga az, hogy a cellákat a teljes feltöltéskor egy szintre hozza. Nem célja, hogy végig, minden pillanatban azonosak legyenek a cellafeszültségek, ergó már értelmetlen dolog azt nézegetni, hogy a cellafeszültségek hogyan alakulnak félig lemerítve, pláne nem az autózás közben. Ugyancsak nincs értelme azt nézegetni, hogy lemerült állapotban mennyi az eltérés. A lítium akkumulátorok cellafeszültsége ugyanis eszméletlenül lapos kisütés közben; pl. a *Fisker Karma* akkujainak a gyári diagramja ez:



Tessék szépen megnézni a függőleges oszlopon a 3.30V-os névleges feszültséghez milyen értékek tartoznak a vízszintes oszlopon lévő töltöttségi százalékoknál: az alsó vonalat 30%-nál metszi, a felső vonalat meg 70%-nál. Azaz ha több cellán azonos, 3.30V-ot mérünk, akkor az akár 40%-os töltöttségbeli eltérést is jelenthet! Sőt, tovább megyek: ha a 3 cellából egy már halott, akkor egészen addig nem vesszük észre a cellafeszültségek figyelésével, amíg a két élő cella el nem érte a 70%-os szintet; igaz, onnantól hirtelen, felgyorsulva fog a cella merülni a többi cellához képest másfél-szeres kisütőáram miatt. Ezért van az, hogy tényleges cellahiba esetén kb. 50%-os hatótávig a „tippelőóra” kb. eredeti hatótávot ír, aztán történik „valami”, és hirtelen kettésével kezd el visszaszámolni, így végül a várt hatótáv 2/3-ad részénél az autó teknőccel megáll. *Nissan LEAF* esetén, ahol két cella van párhuzamosan, ott ez még előbb is elkezdődhet, már 35%-nál, hogy 50%-nál le is álljon – a cella-matek nekem ezt mutatja.

A fenti diagramnál nagyon kihangsúlyozták, hogy ez csak 23°C-ra érvényes; merthogy minden lítium akkumulátor nagyon érzékeny a hőmérsékletre. Ennek nagyon egyszerű az oka: a hőmérséklet a fizika jelen állása szerint az atomok, molekulák „rezgési sebessége”; ahogy nő a hőmérséklet, annál jobban rezegnek, egyre könnyebben képesek kémiai reakcióba lépni. Így míg az elektronikákra melegekedéskor az egyre rosszabb működés jellemző a visszarámok és a szivárgó áramok növekedése miatt, az akkuk ellenben egyre jobban érzik magukat. Hogy mennyire, arról beszéljen megint az adatlap ide vonatkozó rajza:



Ugyanaz az akkucella pl. 25%-os töltöttségénél, a vízszintes 5Ah kapacitásnál 3.3V és 2.5V közötti értéket mutat -30°C és $+45^{\circ}\text{C}$ között. Ez 800 (!) mV, nem 50 mV. Ja és igen: jön a tél, vele az olyan bölcseletek, hogy majd jóóól megfagynak az elektromos autók akkujai, mert a mobiltelefonoké is meg szokott... Ha nem a 7. oldalnál tartanék, írnék erről is még sokat, de most inkább lépünk tovább annyi megjegyzéssel, hogy kb. -30°C -ig semmi gond nem lesz.

Szóval miért nem számít annyira a cellafeszültségek eltérése? Mert az adódhat sok tényező egymásra hatásából. Az első és legfontosabb, hogy még egy ellenállást sem tudnak pontosan legyártani, pedig az csak két fémkupakból áll, meg közte egy áramot rosszul vezető anyagból; mégis rémes egyszerűsége ellenére 5%-os tűréssel tudják legyártani. Akkor egy akkut, amiben kb. focipálya méretű réz- és alumínium fólia van feltekercselve, hogyan tudnának pontosan azonos kapacitásúra legyártani? Aztán ha már szóba került az ellenállások tűrése: hiába is van a BMS-ekben válogatott, 1%-os ellenállás mindenhol, 4.2V-os max. cellafeszültségnél már az az 1% is 42 mV-ot jelent. Aztán ott van a hőmérsékleti eloszlás; minden doboznak van nyolc sarka minimum, melyek ún. geometriai hőhídként jobban hűlnek, hiszen 3 oldalról a levegő hűti őket; míg egy középen elhelyezkedő cella hat oldalról van fűtve a szomszédai által; már ez is eredményezhet eltérést. Az akkuk adatlapja meg annyit kér csak, hogy 50 mV pontosan tartsuk a töltési végfeszültséget. Ha ehhez most elmondom azt, hogy a tápfeszültségekre $\pm 10\%$ -ot írnak, azaz a leggyakoribb 5V-os tápegység esetén ± 500 mV-ot, akkor lehet igazán látni, hogy a megadott 50 mV meglehetősen szűk, és sok esetben akár össze sem jön. Ezért se kell bepánikolni egy 70 – 100 mV-os eltéréstől – még akkor se, ha a márkatársnak pl. 10 – 15 mV van. És mint az én kis híján tüzzel végződő kalandom is mutatja, még a 24 mV-os difi is jelenthet nagyon súlyos akkuhibát, holott az álmoskönyvek alapján emellett nyugodtan kellett volna aludnom.

Úgyhogy leírom még egyszer: minden akkumulátor annyit ér, amennyit el lehet vele menni a lemerüléséig. Teljesen lényegtelen a SOH, DOH, UKK, MUK, FUK és ki tudja milyen 3 betűs százalék értéke, amiknek ráadásul sehol sincs leírva a számítási metódusa, ellenben akár 100% fölé is fel lehet tornászni pár trükkel. Ahogy azt is gyorsan leírom, hogy a különféle kis OBDII programok által kijelzett amperóra (Ah) értékek is a sacc-per-kb. módszerével vannak lemérve. Amikor ugyanis sorba kötnek ~ 100 akkucellát, ugyanaz az áram megy át mindegyik cellán, ergó mind azonos Ah-értéket fog mutatni.

Ez az „amper-óra” dolog talán kicsit misztikusnak tűnhet, ezért külön is írok róla. Amikor egy víztartálynak a kapacitását literben lemérik, teljesen mindegy, hogy lassan vagy gyorsan folyik ki belőle a víz: ha a tartály csak 50 literes, akkor 50 liter folyik ki belőle így is, úgy is. Az akkuknál ez nem teljesen így van, pl. egy ólomakkumulátornál megkülönböztetünk órás, 5 órás, 10 órás és 20 órás kisütéshez tartozó Ah-kapacitást; ez utóbbi lesz a legnagyobb értékű, hiszen van ideje az eltárolt töltésnek szépen lassan kicsordogálni az akkuból. De persze ezt írják rá az akkumulátorra, és meglepődnek az emberek, miért merül ilyen gyorsan az akku...

Az eCar-ok lítium akkujja ellenben olyan hatalmas impulzus áramokra és teljesítményekre van méretezve, hogy kb. tök mindegy neki, hogy 5, 10 vagy 20A-el sütöm ki. Persze 20A-el kisütve kb. negyedannyi ideig bírja. Ezért mérik egységesen Ah-ban az akku kapacitását, ami a ténylegesen kivehető energia mennyisége. Mivel az Ah értékkel nehéz számolni, hiszen mindennek Wattban van megadva a fogyasztása, ezért az Ah értéket megszorozzák egy „névleges feszültséggel”, ami az akku adatlapjában van megadva. Ez a feszültség kb. sehonnan sem jön, igazából egy elméleti érték, amolyan váltószám az Ah és a Wh között, bár az is igaz, hogy kisütés közben az akku ezen érték körül van a leghosszabb ideig. Szóval a *Fisker Karma* esetében ez a névleges érték vagy váltószám adatlap szerint 3.3V. Így jön ki, hogy egy modulban van 7*3.3V feszültségű, 3*20Ah-s akkucella; összeszorozva a kettőt 1.386 Wh, azaz ~1,4 kWh egy modul. És mivel 15 ilyen modul van, így jön ki a 20,8 kWh akkukapacitás az egész akkura.

Hogy egy akku tényleg jó-e, azt úgy lehet ellenőrizni, hogy megnézzük, kijön-e az akkuból ez a 20,8 kWh; ehhez elektronikus terheléseket használunk, amely állandó áramú terhelést ad az akkunak, és akkor csak össze kell szorozni a terhelőáramot az órákban lemért idővel. Ha az akku hibás, és vannak benne rossz cellák is, akkor ezt nem lehet megtenni az egész akkura, hanem cellánként kell ezt elvégezni. De mivel a cellák masszívan össze vannak hegesztve, és nem lehet őket szétszedni, áramkörileg független töltő-kisütő modulokkal kell az egyes cellák kapacitását lemérni. Magyarul egyetlen fekete akkumodulhoz 7 db mérőáramkör kell, hogy egy nap alatt le lehessen mérni az akkut. Egy egész akkupakkhoz meg 105 db. Nyilvánvaló, hogy egy autószerveznek se ~100 áramkörös mérőrendszere nincs, sem pedig egy egész napja, hogy korrektül lemérjen egy akkumulátort. Akkor mit tudnak csinálni kb. egy-két óra alatt?

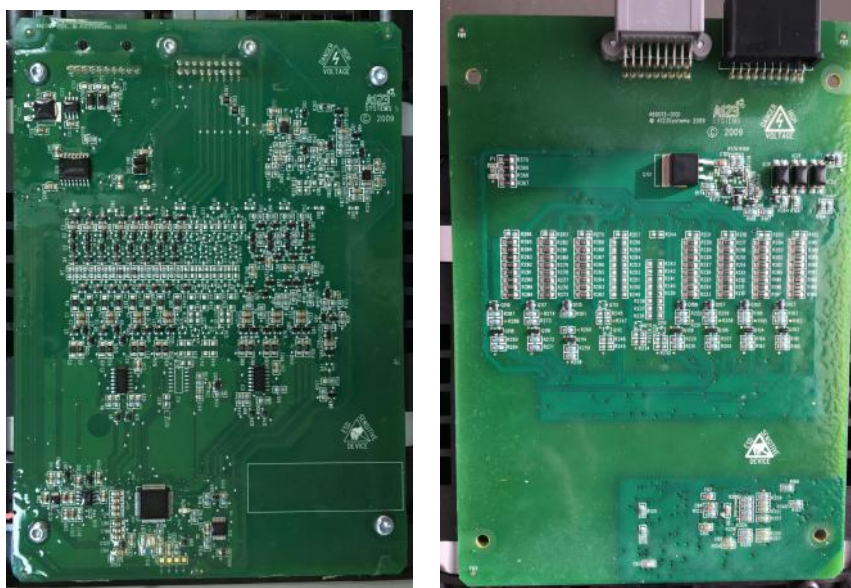
Nos, egy gyári szoftverrel egyszerre bekapcsolják minden cellára a BMS kisütő áramkörét. Ez a *Fisker Karma* esetében meglepően sokkal, kb. 290 mA-el tudja kisütetni az adott cellát. Ez az áram a 3*20 Ah-s cellákat 206,9 óra alatt, azaz 8 és fél nap alatt (!) tudná lemeríteni, hogy egy pontos adatot kapjanak az akkucellák kapacitására. Nyilvánvaló, hogy erre nincs idő, így kb. egy óráig vagy kettőig futtatják ezt, és ha valami orbitális nagy akku-hiba van, akkor az 1-2%-os merítéssel talán észre tudják ezt venni. *Opel Ampera* vagy *Nissan LEAF* esetén a BMS kevesebb, mint 100 mA-el süt ki, mivel a lítium-ion cellák sokkal kevésbé hajlamosak az elmászásra, így ott nem 8 napig tartana egy teljes kisütés, hanem akár két hétig is. Szóval nem kell hanyatt esni a szervizek akku-bemérő tudományától se. Csodára ők se képesek, csak egy becslésre: kinyomtatnak egy papírt szép számokkal, a kuncsaft örül, a szerviz meg pénz lát...

Szóval egy korrekt akku-kimérés az közel sem a *LeafSpy* által kiírt becsült marhaságokkal történik, de még nem is a gyári szervizek szupertitkos programjaival, hanem úgy, hogy az akkut cellánként feltöltjük az ún. „töltési végfeszültség”-ig, egészen addig, amíg a „cut-off” áram alá nem esik a felvett töltőáram. Utána műterheléssel terhelve, konstans árammal addig merítjük, míg el nem érjük a „kisütési végfeszültséget”. Akkor kapunk egy hiteles és pontos Ah kapacitást. A BMS-ek sem a cellafeszültségből dolgoznak, hanem minden akkupakkban van egy ~200-400A-es árammérő, ez az ún. *Coulomb-integrátor* lelke, és az méri az akkuba befolyó és onnan elfolyó áramokat, amiket a BMS kis mértékben korrigál akkor, amikor az akkuk a cella-kiegyenlítés után eléri a töltési végfeszültségüket. És a tényleges megtehető táv, a „tippelő óra” ezen mérés alapján lesz kijelvezve. De kisütéskor, amikor egy hibás cella miatt a feszültség hirtelen leesik, újra korrigálja a *Coulomb-integrátor* adatait, ezúttal lefelé.

És ezért sem lehet csak úgy akkumulátor kapacitást növelni, más típusú cellákat berakni, mert a rendszerbe be van táplálva, hány Ah az akku kapacitása. Ha mégis megteesszük, rossz esetben az fog történni, hogy amint elértük az eredeti akkukapacitást, az autó kidobja a teknőc jelet és megáll; jó esetben nyafogva bár, de tovább megy valameddig – de jó nem lesz, az tuti!

Látható, hogy ez az egész rendszer a sorba és párhuzamosan kötött cellákkal, a BMS-el, a *Coulomb-integrátor*-ral egy nagyon összetett rendszert jelent, rengeteg becsült adattal. Így sok helyen, sokféle módon el tud romlani. Lehet cellahiba, ami zacskós celláknál legtöbbször teljes kapacitás-vesztés a felgázosodás miatt. Lehet BMS hiba, hogy nem működik valamelyik cella kisütő áramköre. Lehet mérési hiba, hogy a BMS valamelyik feszültség-bemenete hibás. Lehet a cellafeszültségek eltérése minimális, miközben súlyos akkuhibák vannak. De lehet a fordítottja is, amikor a cellafeszültségek úgy szórnak, hogy frászt kap az ember, az autó meg csak megy, megy, mintha meg se akarna állni. Ezért írom le újra és újra: csak a megtehető táv számít!

Ha már ennyit papoltam a BMS-ről, és a *Fisker Karma* lenne a téma, jöjjön a BMS fotója:



Éles szeműek észrevehetik, hogy a panelen nem 7, hanem 9 cellának lenne a vezérlése, de két cella-áramkörnél teljesen ki van hagyva az alkatrészek beültetése. Ugyancsak érdekes, hogy a modul házában és a fedélben is van még egy plusz csatlakozónak egy üres hely. És magában a „T” alakú akkuban is lenne még bőven hely 1-2 további akkucellának. Szóval szerintem eredetileg nagyobb akkuval lett az autó tervezve, mint amivel végül piacra került.

És hogy maga a központi akku-vezérlőt, a *Battery Control Module*-t is bemutassam:



Sajnos a BCM modul kb. javíthatatlan, mivel vastagon, de tényleg nagyon vastagon ki van öntve műgyantával; ráadásul nagyon sok fontos alkatrész a fekete csatlakozó alatti részben van elrejtve. És hogy még tovább fokozzam az izgalmakat, a töltőcsatlakozóból érkező *Proximity* és *Control Pilot* jelek is ide érkeznek be, nem pedig a fedélzeti töltőbe. Szóval az egyik autó immár lassan egy éve egy helyben parkol, mert ahogy más sem, én sem értem, mi a hasfájása. Pedig nagyon szeretnék rájönni...

Köszönöm a figyelmet a türelmes olvasóimnak!

Verzió: 1.01, 2018-11-12, Tata

Varsányi Péter E.V.

Tel: +36-20-942-7232

Web: <http://varsanyipeter.hu/>

Email: info@varsanyipeter.hu

P.s: Lemaradt, hogy miért marhaság az elején idézett mondat. Nos, mert pont nem a lítium akkura igaz, hanem a másik háromra: a NiCd akkukra volt jellemző a memória-effektus, ezért kellett őket mindig nullára lemeríteni, és onnan feltölteni. A NiMH akkukra meg az ellustulás volt a jellemző; azaz lassú árammal töltve olyan nagyobb ion-kristályok alakultak ki az akkun belül, hogy lecsökkent az áramleadó képessége; míg ha gyorsan volt feltöltve, apró kristályok alakultak ki, amelyek összesítve nagyobb felülettel, és így nagyobb áramleadó képességgel is bírtak, mint a kevesebb nagy kristály. Végezetül a savas ólomakkumulátorokra volt jellemző a szulfátosodás, amikor az elektródákat vékony, szigetelő szulfát-réteg vonta be, ami ellen azt lehetett tenni, hogy az akkut többször, pl. háromszor egymás után le kellett meríteni, majd újra fel kellett tölteni; ettől berepedezett és pikkelyként lepotyogott az akku aljára a szulfátos réteg. Szóval akku-szakértőnk olyan jó tanácsot osztogatott, ami egyben pont nem igaz egyik akkura se, a különféle lítium akkukra pláne nem: se memória-effektusa nincs, se ellustulásra nem hajlamos, szulfátot meg még nyomokban sem tartalmaz. És ezek a bolondok osztják az észt a *FaceBook* fórumain, és hozzák a frászt szegény márkatársakra, akik bedőlnek a kamu, de hihető áltudományos dumáknak, és elhiszik, hogy egy hibás akkus autót sóztak rájuk...

P.s.2: Mint megtudtam – mert a jó pap is holtig tanul, én meg ráadásul rossz ateista vagyok – a vasfoszfát akkuk szerencsére jól bírják a túltöltést, így nem mázlim volt, hanem „ez ilyen”...