

Villámtöltés – gyorstöltés – normál töltés

*Merni vagy nem merni: az itt a kérdés.
Akkor nemesb-e az akku, ha tűri
Gyorstöltés minden nyugét s nyilait;
Vagy ha kiáll a villámtöltés ellen,
S EVSÉ-t ragadva lassan tölt neki?*

Remélem *Shakespeare* kedvelői elnézik nekem, hogy milyen gonosz átköltést csináltam a Mester legismertebb művéből, de annyira adta magát... *Hamlet*-hez hasonlóan én is folyton vívodom, hogy tűrjem-e a hozzá nem értő, önjelölt zsenik *Facebook*-on osztogatott alaptalan okosságait a villámtöltésről, vagy álljak ki az igazam mellett, és próbáljam érthetően leírni ezt a meglehetősen komplex és bonyolult témakört? Nekik helyzeti előnyük van: a hülyeséghez nem kell ész, nem kell szaktudás: elég néhány jól irányzott kijelentés a megcáfolhatatlanság illúziójához. Mint a viccbeli biológia-professzor, aki betanít egy bolhát, hogy egy hangos „*Ugorj!*” parancs hallatára ugorjon egyet. Ekkor levágja a bolha egyik lábát, de a bolha ugrik a parancsra. Szépen sorban megismétli ezt a bolha összes lábával, míg végül a bolha lábak híján nem ugrik, hiába is kiált rá hangosan, hogy „*Ugorj!*”. Erre előszedi a jegyzetfüzetét, és beírja a legújabb felfedezését: „*Ha a bolha összes lábát levágjuk, akkor megsüketül!*”

Az akkumulátorok viselkedése külön tudomány, amelyet nem lehet egzakt, minden esetben igaz axiómákkal leírni. Nincs ilyen vagy olyan szabály, ami minden körülmény közepette jó és vitathatatlan. Ezért van az, hogy ahány szakembert kérdeznek meg, mindenki mást mond a villámtöltésről, a melegedésről. Én jelen írásomban a gyakorlati tapasztalataimat írom le, és a fizikát-elektrotechnikát hívom segítségül. A 2000-es évektől kezdve egy magyar feltaláló és csapata akkumulátor-gyorstöltési technikákat kezdett el fejleszteni, akkor még jellemzően az ólomakkumulátorok töltésére, és egy évtizedes fejlesztés után eljutottak oda, hogy egy átlagos 12V/7Ah zselés akkumulátort 10-15 perc alatt fel tudtak tölteni az akkura előírt kb. 5-10 óras töltési idő helyett. Ebben én csak al-al-vállalkozóként vettem részt: elektronikákat terveztem az akkumulátorok töltésére-mérésére, ami még nem jogosít fel arra, hogy a találmány minden részletéről írjak. De kb. az ezredforduló óta igen sokat foglalkoztam az akkumulátorokkal én is, különös tekintettel a villámtöltés műszaki aspektusaival, hiszen egy jóbarátom révén elég közelről volt szerencsém nem publikus információkat szerezni a kutatásról, így elmondhatok pár kevésbé ismert dolgot az akkumulátorokról – mindezt lehetőleg közérthetően.

Az első és legfontosabb dolog, hogy az akkuk viselkedése nagyon jól modellezhető, ha kondenzátorból és ellenállásból álló összetett hálózatként tekintünk rá. Mivel olvasóim zöme nem villamosmérnök, egy végletekig leegyszerűsített ellenállás-kondenzátor hálózattal fogom az akkumulátort helyettesíteni, hogy számítással bebizonyítsak vagy megcáfoljak állításokat. A kondenzátorok töltéstároló alkatrészek, kb. mint egy tartály, amibe elektronok folynak bele; és minél több benne az elektron, annál magasabb a vízszint, azaz a feszültség. Az ellenállás meg a beáramló cső szűkülete, ami lassítja az elektronok áramlását, és közben meleget termel. Mintha csak vízköves lenne a cső: ahogy öregszik az akkumulátor, egyre több benne a vízkő, és így a cső is egyre szűkül, egyre nehezebben tudja átvezetni a vizet, ami a rozsdás, vízköves cső lyukacskaín kispriccel, és veszteséggé elfolyik. Valahogy így kell elképzelni egy lítium akkumulátort is több év után. És én most szépen el fogom magyarázni, hogy mi történik, ha ezt a rozsdásodó csövű víztartályt elkezdem slaggal lassan vagy gyorsan feltölteni. Hogy ne csak üres elméleti frázisok legyenek, párhuzamosan viszem a matematikát és a vízszelést is.

De hogy a szakember olvasóimat se ölje meg az unalom, legyen egy kis tétje a dolognak, és számoljunk igazi adatokkal! A forrás pedig mi is lehetne autentikusabb, mint a *Tesla* első autója, a tűzpiros *Roadster*, amely jelenleg épp a *Mars* bolygó pályáját keresztezi. Tudvalevő, hogy réges-régen, egy messzi galaxisban a *Tesla* csak egy feltörekvő startup cég volt, akik kb. csak az elektronikához és informatikához értettek, az akkumulátorokhoz nem. Így hát akkuk terén a *Panasonic* céget keresték meg, akkortájt azok gyártották a legjobb paraméterű 18650-es cellákat. 2008-ban ezzel, az *NCR18650*-es cellával szerelték a *Roadster*-t, majd 2009 végén a *Panasonic* bejelentette az új, nagyobb kapacitású akkucellájukat, az *NCR18650A*-t. Link:

< <https://news.panasonic.com/global/press/data/en091218-2/en091218-2.html> >

Több se kellett a *Teslának*: 2010 nyarán megtekintették a *Panasonic* gyárát, majd a látottak hatására eldöntötték, hogy a jövőben ez a cella lesz az alapja az elektromos autóknak. Link:

< <https://www.tesla.com/blog/panasonic-presents-first-electric-vehicle-battery-tesla> >

Ez az új *NCR18650A* cella lett az összes későbbi *Tesla* autó akkumulátorának az ősanija, amiből az összes többi újabb akkut később kifejlesztették. Mivel nem hiszem, hogy a *Teslánál* a rendelkezésemre bocsátanak majd tízéves akkumulátor-kutatásuk legfrissebb gyümölcsét, én ennek az ősi szülőanyának fogom az adatait alapul venni az elméleti számításaimban. Legyen gondolatban egy saját villámtölthető elektromos kisautóm 22 kWh-nyi ilyen akkuval; mivel a PHEV-ekben kb. 12-16 kWh van, az újabb BEV-ekben 20-40 kWh, gondoltam legyen a kettő között. A sorosan kötött cellák száma marad 96, mint az igazi eCar-ok többségében. Erről az *NCR18650A*-ról elképesztően nehéz rendes specifikációt szerezni, mert valamiért eltüntették a netről. Egyoldalú adatlap ugyan van róla, bár a hozzám hasonló pitbullok azért megtalálják az eredeti, 15 oldalas speckóját is. Ebből megtudhatjuk, hogy az akku 3,1 Ah-s, és van egy nagyon-nagyon fontos adata: a belső ellenállása újkorában 48 mΩ. Ez kulcsfontosságú lesz az elkövetkező számításokban. Ezt a gondolatban megépített kisautómat fogom tölteni 3,3 kW-os normál töltővel, 22 kW-os DC gyorsöltővel, és 66 kW-os villámtöltővel, azaz 0,15C-vel, 1C-vel és 3C-vel. (C-vel az akkukapacitást jelölik, és pl. a 3C azt jelenti, hogy 3x-os árammal töltök, mint az akku Ah-ban mért kapacitása, azaz 3,1 Ah-s akku esetén $3 \cdot 3,1 = 9,3$ Amperrel.)

Mi történik, ha a kisautómat elkezdem tölteni normál töltővel? A 0,15C az 0,465A-es töltőáramot jelent; az akkunk kapcsaira max. 4,2V juthat, mert ennek az akkunak ez a megengedett végfeszültsége. Erről a BMS gondoskodik, hogy ne is tudjon ennél több rájutni; de erről majd később. Szóval akkunk belső ellenállásán esik $0,465A \cdot 48m\Omega = 22,3$ mV; ez a rozsdás csövön kispriccelő „vízvesztés”, ami ebben az esetben 10mW-al melegíti az akkut. Ez kb. nulla, ettől az akku még langymeleg sem lesz. Az akkuba a maradék jut, egy óra alatt $4,2V \cdot 0,46A = 1,95Wh$ helyett $[(4,2 - 22mV) \cdot 0,46Ah]$, azaz 1,94Wh. A különbség elhanyagolható, 0,01Wh.

Most töltsük az akkut gyorsöltéssel, 1C-vel. Ilyenkor 3,1A-el töltök, a 48mΩ-os fix belső ellenálláson már ~150 mV esik, a hővesztés is már 461 mW, ami langyosítja az akkut. Így ide már illik egy kis hűtés; vizes példánkban már kezd tócsává összeállni a rozsdás csövön át kispriccelő víz. Az akkuba egy óra alatt 13Wh helyett már csak 12,56Wh töltődik, a vesztés 0,46 Wh. Még rosszabb a helyzet villámtöltés esetén, amikor már 3C-vel, 9,3A-el töltök, mert ez esetben már majdnem fél volt (446mV) esik az akku belső ellenállásán, az akku izzad már a 4,15W-os hővesztés miatt. És hogy ez miért lett ennyi? Mert ahogy nő az áram, nő a belső ellenálláson eső feszültség is; a teljesítmény pedig a ennek és az áramnak a szorzata, azaz itt az áram négyzetesen szerepel: matematikailag így néz ki: $P = I^2 \cdot R_b$. Ezt a négyzetes tagot jól jegyezzük meg, mert ez nagyon fontos lesz a későbbiekben! Szóval akkunkba a villámtöltés minden órája alatt így csak 35Wh $\{[4,2V - (9,3A \cdot 48m\Omega)] \cdot 9,3A\}$ töltés megy a töltő által belenyomott 39Wh helyett, a 4,1Wh vesztésünk pedig egy hatalmas vödör víz, ami szépen kispriccelt a rozsdás csövön, miközben örült nagy nyomással próbáltuk a tartályunkat tölteni.

Szóval a példánkban a gyorsöltés 6,6-szeres töltőárama a veszteséget nem 6,6-szeresre, hanem négyzetesen, 44-szeresére növelte. A villámöltés 20-szoros árama még borzasztóbb, a veszteség 400-szoros lett; 4,1Wh a 0,01Wh helyett. (Mivel sok tizedes eredmények jönnek ki, a könnyebb olvashatóság miatt kerekíték, de az Excelben rettentően pontosan számolok.) A gyors- és villámöltés ezek szerint nagyon nem éri meg; nem csak hogy elpancsoljuk a drága (jelenleg ingyenes) villanyt, de még az akkut is örületesen felfűtjük. Sokan hangoztatják, hogy a melegedés megöli az akkut, ez viszont abszolút hibás állítás! Egy kémiai reakció sebessége függ a hőmérséklettől, az iránya azonban nem; nem lesz a hidrogénből és oxigénből akkor se széndioxid, ha 10.000 °C-on zajlik le a reakció. Az akkukban márpedig sima kémiai reakciók vannak, azok akkor is úgy zajlanak le, ha hideg, ha meleg az akku. A lítium ráadásul nagyon reakció-képes, a levegő oxigénjével igen hevesen reagál, így az összes lítium akku tökéletesen hermetikusan le van zárva; abba se ki-, se be semmi nem mehet. Márpedig van benne grafit a negatív elektródon, $LiMnCoO_2$ vagy $LiCoNiAlO_2$ a pozitív elektródon, az elektrolit pedig ennél a régi *Panasonic* cellánál a $C_3H_4O_3$, $C_5H_{10}O_3$ és $LiPF_6$ keveréke. Nem vagyok kémikus, de szerintem egyik anyag sem bomlik 60 °C alatt. Akkor mégis miért vannak olyan gyakorlati tapasztalatok, hogy az akkuk tönkremennek a sok gyors- és villámöltésről? Nos, a válasz az most ütni fog:

Nem mennek tönkre! Csak elmásznak egymástól.

Eddig egyetlen celláról beszéltem: mi történik, ha lassú, gyors- vagy villámöltéssel töltöm. Azonban egy eCar akkumulátorban nem egy cella van, hanem 88-100 cella van sorba kötve, és ezeket egyszerre, azonos árammal töltjük, mivel a sorba kötés miatt nem tud más árammal töltődni, mint az összes többi szomszédja. Már gyárilag is van 3% eltérés az akkuk kapacitása és belső ellenállása terén; ezt a specifikációk pontosan megadják. Általános tapasztalat, hogy az olcsóbb akkuk paraméterei jobban szórnak, ezért nehezebb velük dolgozni, ha több cella is van egy akkumulátorban. A *Tesla* nem attól nagy, hogy tud akkut meg autót gyártani, hanem a teljesen robotizált gyártás miatt az új, 2170-es akkui bámulatosan egyformák; a *Model 3* BMS-ének balanszólo árama mA-es nagyságrend, így azok a szakemberek, akik tényleg jól értenek az akkumulátorokhoz, tátott szájjal nézték ezeket az adatokat. Én nem fogom tudni az érzést átadni Nektek, inkább megmutatom, mi történik akkor, amikor az akkuk paraméterei nem egyformák; pl. mert már 5-8 évesek. A leggyorsabban az akkuk belső ellenállása változik meg, ráadásul sunyin; iszonyú nehéz mérni. Nem tudod ugyanis, mi az az energia rész, amit az akku vesz fel feltöltődésként, és mi az, amit a belső ellenállás disszipál el. Vízszerező nyelven egy öreg, rozsdás tartályról nem tudod ránézésre megmondani, hogy mennyire lyukas a vízcsöve, és ha beleöntesz majd száz liter vizet, abból mennyi spriccel ki, és mennyi megy a tartályba. De a matematika itt is segít. Játszunk el a gondolattal, hogy az én kisautóm már elég öreg, és a belső ellenállásai az akkucelláknak elmásztak egymástól; az egyiknek 10%-al lett több, míg egy másiknak 20% vagy 30%-al. Hogy néz ki most a matek?

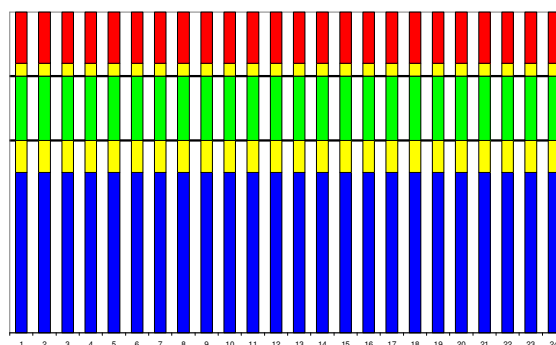
Töltőáram:	Belső ellenállás megnövekedése az öregedés hatására:							
	0%		+10%		+20%		+30%	
	Akku töltése [Wh]:	Akku töltése [Wh]:	Változás:	Akku töltése [Wh]:	Változás:	Akku töltése [Wh]:	Változás:	
Normál, 0,15C	1,94	1,94	-0,1%	1,94	-0,1%	1,94	-0,2%	
Gyors, 1C	12,56	12,51	-0,4%	12,47	-0,7%	12,42	-1,1%	
Villám, 3C	34,91	34,49	-1,2%	34,08	-2,4%	33,66	-3,6%	

Látható, hogy a belső ellenállás 30%-os növekedése (ami teljesen normális egy öreg cella esetében) 3,6%-al csökkenti az akkuba jutó energiát, mert ennyivel nő meg az eldisszipálódó veszteség; míg a szomszédos cella, ami esetleg csak 20%-ot öregedett, 1,2%-al többet kapott.

Hogy hol számít ez az 1,2%? Kb. sehol. – Ja de, mégis: ha legközelebb is villámtöltöd az akkut, ez az apró 1,2% különbség újra és újra hozzáadódik. 10 egymást követő villámtöltés után az 1,012 tizedik hatványa a matematika kérlelhetetlen szabályai szerint már 12,6%-os eltérést fog okozni. Magyarra lefordítva ha Neked van 100 víztartályod rozsdás, spriccelő csövekkel, és Te slaggal gyorsan mindegyiket telenyomod vízzel, oda se figyelve, mekkora a vízszint, akkor első körben lesz 1,2 cm eltérés, de a 10. körben már 12,6 cm. Az már szemmel is jól látható lesz, hogy az egyik koma demizsonjából a törpék már kiittak pár kupica pálinkát, és a haverod igencsak pipa lesz Rád, hogy miért kap kevesebbet a jófajta pálinkádból, mint a szomszéd Pista bácsi...

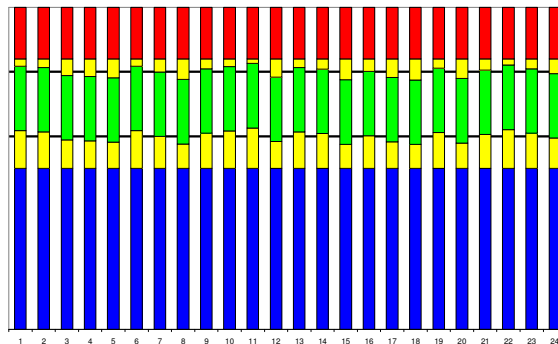
Tehát még egyszer: nem az akkucellák töltéstároló képessége romlik el a melegtől, a nagy áramtól, és nem a Sorosista-villámtöltő-világösszeesküvés próbálja meg a drága autód akkuját tönkretenni, hogy jövőre újat kelljen vened, hanem egyszerűen minden cellában más lesz a töltöttség szintje. Hogy ez miért baj? Nos, bírjátok még? Mert én szívesen elmondom ezt is...

Az akkunak van egy felső határ-feszültsége, ami felett kigyulladnak; most had ne írjam le ennek a kémiáját, mert tuti megverték. Van egy alsó érték is, ahol nem gyulladnak ki, hanem megszűnik az a potenciál-gát, ami megakadályozza az aktív lítium elektrokémiai oxidációját, és az akkumulátornak a töltéstároló képessége romlik le, akár egészen a nulláig, és a cellából lítium-oxid tartalmú téglá lesz, amiből max. tyúkólat lehet építeni, nem akkut. Ha ez a kémiai oxidáció nem teljes, akkor meg lesz egy fele-harmada kapacitású akkud, amit ha megküldesz gyorstöltővel vagy villámtöltővel, akkor a kapacitásához képest hatalmas áramtól fog felforni és kigyulladni. Tehát az akkukat felügyelő BMS egyik legeslegfontosabb feladata, hogy bármi áron, de az alsó és a felső határ között kell tartani az akkuk töltöttségét, azaz feszültségét. A helyzetet bonyolítja, hogy az akkunak van alul-felül egy biztonsági sávja is, amit a gyártók azért raknak bele, hogy az akku kevésbé öregedjen; ha ugyanis egy rugót mindig maximálisan megfeszítünk és összenyomunk, gyorsabban tönkremegy, mint ha csak ésszel, közepesen van széthúzva és összenyomva. Szóval nehéz pontos adatokat megadni, mert a gyártók ezeket jobban titkolják, mint a központi páncélszekrényük számkódját. Onnan csak a készpénzt lehet ellopni, a tudással viszont a piacukat is... Szóval megpróbálom most grafikusán ábrázolni, mi a gond, de konkrét értékek nélkül, és erősen eltorzítva, hogy jobban látszódjon.

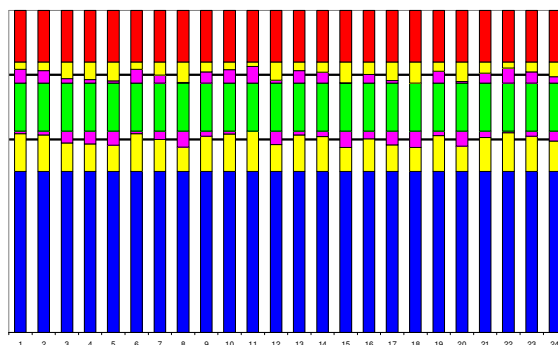


Legyen ez a fantázia-autóm akkujának a negyede, 24 cellával. A felső piros zóna az, ahol az akku figyelmeztetés nélkül kigyullad a túltöltés miatt, ezért van alatta egy biztonsági zóna sárgával. Utána jön a zöld zóna, ahol az akku dolgozik; ezt sütjük ki és töltjük fel. Alatta egy újabb biztonsági zóna van, ez általában nagyobb, mint a felső: az akkuk korai öregedése ellen van ekkorára véve, mivel az alsóbb tartományban több folyamat is az akkuk ellen hatna, de ez most nem témája írásomnak. Alatta a kék zóna, ahol az akku „megfagy”, azaz a kapacitását végleg elveszti. Itt simán, szó nélkül tönkremegy; tűz ebből akkor lesz, ha megpróbálja valaki erővel feltölteni. Mert innen már nincsen visszaút...

Mi történik, ha egymás után 10x is villám-töltöm az autómat? A zöld zónák egymáshoz képest elmozdulnak, mivel más lesz az akkuk alaptöltése, így bár közel azonos mennyiségű töltés fog beléjük menni, mégis egymáshoz képest el lesznek csúszva:



Látható, hogy az akkuk zöld sávja még a sárgán belül van, tehát egyik cella sem gyullad ki, és nem is „fagy meg”, azaz megy tönkre végérvényesen, de van két vízszintes vonal is, ami a BMS határa. Az nem engedi sem a vonal fölé a zöld zónát, sem a vonal alá. Hogy is tehetné? Ha pl. a 11. cella kapna még egy kis töltést, az a cella kigyulladna, mert a zöld már beleérne a pirosba. Mit csinál ehelyett? Ahogy sülnék ki a cellák, amint az első zöld bemegy az alsó vonal alá, az autót letiltja, nem engedi tovább menni. Töltéskor viszont a amint az első cella a felső vonalat eléri, letiltja a töltést, és nem engedi tovább tölteni, nehogy kigyulladjon. Így bár minden cellán azonos méretű a zöld zóna, ebből egy jelentős részt nem enged használni; ezt rózsaszínnel jelölöm:



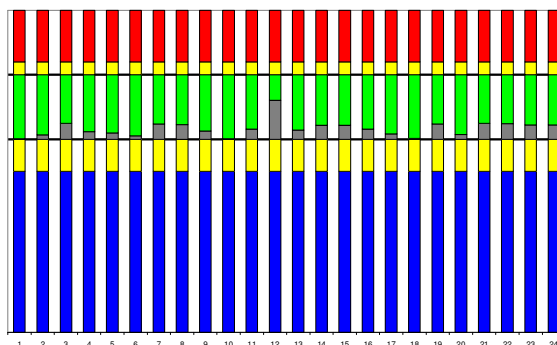
Látható, hogy a kiautózható zöld zóna alig a háromnegyedére esett vissza, mert kisütéskor, azaz az autózásakor ahogy a zöld csíkok csúsznak lefelé, a 11. cella fogja elsőnek elérni az alsó vonalat, ahol a BMS megjeleníti a teknősbékát, majd megálljt parancsol az autónak. Töltésnél azonban a 18. cella lesz a hunyó, mert ahogy a töltésnél csúsznak felfelé a zöld cellák, az fog elsőnek találkozni a felső vonallal. És már ránézésre látjuk, hogy rengeteg rózsaszínnel jelölt energia tudna még kijönni az akkuból, de mégsem tudjuk kiszedni. Mi van ilyenkor?

Az van, hogy a gyors- és villámtöltések után javasolt normál töltéssel tölteni az akkukat. A BMS ugyanis nem csak tilt, hanem kiegyenlítést is végez, és mivel látja, hogy az akkucellák el vannak csúszva, ellen-kompenzál. Azaz töltéskor a 18. cellából kiszedi a töltés egy kis részét, és „elégeti”, elmelengeti a semmibe egy ún. balanszer ellenállással. Így az lassabban töltődik, mint a többi, és idővel a többi utol tudja érni. Ugyanezt teszi az összes töltöttebb cella esetében is, csak azokat nem folyamatosan, hanem kisebb megszakítással lassítja, pl. a 8-as és 20-as cellákat. Autózásakor viszont az a baj, hogy más cellákban túl sok töltés marad elhasználatlanul – pl. a 11-es cella kegyetlenül túl van töltve – így azokat meg elkezd kisütni.

Mivel a BMS-ben lévő elektronika amúgy is melegszik, és elektronika létére vízzel nem lehet hűteni, a BMS nem tud akármekkora hibát kiszedni. Általában úgy állítják be, hogy 1% körüli eltéréseket tudjon kiszedni. Így 12%-nyi eltérés kiszedéséhez egy tucat lassú töltés kell, mire 1%-os lépcsőkben lefaragja az elmászásokat.

Tehát a folyamatosan gyors- vagy villámtöltőn lógó autónál törvényszerű, hogy idővel ill. az öregedés hatására egyre gyorsuló tempóban elmászások következnek be, de ezek megfelelő számú normál töltéssel kiszedhetők. Ezek nem járnak az akkumulátor végleges károsodásával sem: az akkumulátor bármennyi időt eltölthet ilyen elhangolódott állapotban. Tehát egy nyári kirándulásnál nem kell normál töltőt keresni, max. számolni kell arra, hogy az egy-két hetes nyaralás végére már nem 100 km-t megy az autó egy feltöltés után, hanem csak 90 vagy 80 km-t. De hazaérve, pár hétig rendesen töltve vissza fog jönni az eredeti 100 km-es hatótáv.

Teljesen más az az eset, amikor valaki behoz egy elektromos autót, ami vagy a hajóúton merül le teljesen, néhány cellájával belelógva a kék zónába; vagy esetleg gyártási hiba vagy BMS hiba miatt egyik cellája adja meg magát. Ez esetben az adott cella zöld része megy össze, és azzal már semmit sem lehet csinálni a cellacserén kívül. Igen, van ilyen, kb. az autók 1%-nál, a cellák 1%-a kinyiffanhat. Ilyenkor hiába töltjük normál töltéssel, a hatótáv sohasem fog visszajönni. Ez valahogy így fog kinézni a diagramomban:



Itt a BMS hiába dolgozott, mint a kisangyal, mert fel van húzva minden cella a maximális feszültségre, ahogy kell, de a 12. cella tönkrement, ahogy az összes többi is károsodott kicsit. Itt most a szürke a tönkrement, lítium-oxiddá korrodálódott akkumulátor-kapacitást mutatja. Ez az autó stabilan fogja hozni a mondjuk 40 km-es hatótávot, töltéstől függetlenül, miközben a hasonló korú társai 100 km-t is megtesznek.

Most így visszaolvastva a tucatnyiszor átdolgozott írásomat, örömmel konstatalem, hogy az összes kondenzátoros-ellenállásos kapcsolási rajzot sikerült kiírtanom belőle, aminek örülök; de már nem írom át az elejét, mert sohasem leszek vele készen. Összefoglalom inkább pár egyszerű mondatba a lényeget:

1. A gyors- és villámtöltés többlet melegedéssel jár, de az akkunak elvileg nem árthat.
2. A melegedés nem teszi tönkre az akkumulátort végleg, csak csökkenti a képességeit.
3. A gyors- és villámtöltés időlegesen okozhat látszólagos kapacitás-csökkenést, ami jól érezhető átmeneti hatótáv-csökkenésként könnyen észrevehető az öreg akkumulátornál.
4. Ez az ideiglenes hatótáv-csökkenés többszöri normál töltéssel helyrejön; nem kell extra lassú, 6A-es töltés sem ehhez, hiszen a négyzetes veszteségi tag miatt exponenciális az eltérés; egy 6A-es töltés során a BMS nem fog „sokkal jobban” kiegyenlíteni, hanem kb. hasonlóan, mint a 16A-es normál töltésnél. Van változás, de nem jelentős.

Végezetül még egy fontos gondolat; talán ha én írom le, többen megjegyzik: a gyors- és villámtöltés két fázisú: az elején egy állandó áramú töltéssel dolgozik a rendszer, ez a CC, azaz *Constans Current* fázis. Ilyenkor az akku feszültsége alacsony szintről növekszik, vele együtt a töltőteljesítmény is növekszik. Kb. 80-85%-nál eléri a maximumát, és a töltés átvált az állandó feszültségű, CV, azaz *Constans Voltage* fázisba. Ilyenkor a töltőteljesítmény elég hirtelen töréssel elkezd csökkenni. Ebben a CV tartományban senkinek sem jó a villámtöltőt tovább használni:

- A villámtöltő a névleges teljesítményének csak töredékét adja le ilyenkor,
- Az akkumulátornak sem előnyös, hogy a kiegyenlítési fázisban nagy árammal töltik,
- A CV szakasz végén az akkumulátor a maximális mértékben melegszik és tűzforró.

Tehát akinél ez technikailag megoldható, jobban jár, ha átmegy egy kisebb töltőre, vagy a töltést otthon fejezi be normál töltéssel, esetleg a gyorsöltés/hazaérkezés után vár egy picit az akkuk lehűlésére.

Végszónak még ideírok valamit: a *Tesla* már 8-10 éve fejleszti az akkuját, ahogy a BMS rendszerek mögött is van már vagy 10-20 évnyi tapasztalat. Egy ekkora témáról lehetetlen 6-7 oldalban közérthetően úgy írni, hogy minden részletet alaposan kifejtsek. Igyekeztem olyan dolgokról írni, ami érthető és alapjaiban igaz is; de az is biztos, hogy bármelyik mondatomba bele lehet kötni egy jól irányzott „*ha...*” kezdetű mondattal. És én csak egy botcsinálta akkubuzi vagyok, nem szakember; nem terveztem még egyetlen akkumulátort sem. Szóval amit én majd ezért még kapni fogok... ☹

Verzió: 1.00, 2018-07-24, Tata

Varsányi Péter E.V.
Tel: +36-20-942-7232
Web: <http://varsanyipeter.hu/>
Email: info@varsanyipeter.hu