

# A lítium akkumulátorok veszélyei, avagy hogy ne égessd ki a szemed!

A lítium akkumulátorok könnyűek, nagy kapacitásúak, ezért népszerűek is a készülékek táplálásában. Sajnos sokan esnek abba súlyos a hibába, hogy az elterjedtségét összetévesztik a könnyűséggel, és azt hiszik, hogy a lítium akkumulátorok kezelése gyerekjáték. Nos, nagyon nem az! Ez az írás azt próbálja megvilágítani, milyen veszélyekre kell figyelni az akkuknál. A céloom nem doktori disszertáció a témáról, hanem szeretném a szemeket megvédeni a robbanó akkuk lángjától.

A lítium akkukról az alábbiakat kell tudni:

- Rengeteg féle kémiai összetétellel lehet gyártani lítium akkumulátort. Az egyes verziók jelentősen eltérnek egymástól, mégis összefoglaló néven csak lítium akkuknak becézik mind, és az egyikhez kifejlesztett, akár professzionális töltő egy másik kémiai verziót akár fel is robbanthat a túltöltés miatt!
- A lítium a nátriummal egy főcsoportba tartozó alkálifém; az általános iskolai kémia órán biztos mindenki látta már, micsoda nagy lánggal ég a vízbe dobott nátrium – nos, a lítium még ennél is jobban és intenzívebben ég! Tehát ha robban egy lítium akku, azt még vízzel sem lehet eloltani, sőt, a víz pont „olaj lesz a tűzre”!
- A lítium akkumulátorokban egy nagyon vékony ion-membrán fólia választja el az anódot és a katódot. Ez a fólia mechanikailag nagyon érzékeny, akár magától is képes a fólia átszakadni, és az akku spontán zárlatba megy, robban, akár a vele párhuzamosan kötött akkukat is zárlatba vite és így felrobbantva.
- A robbanása nem túlzás; kb. 2-5 másodpercig intenzív szúrólánggal ég, mint egy rakéta hajtóműve; közben a nem lerögzített akkut akár rakétaként ki is lőheti a szoba sarkába vagy az éghető papírok közé. Utána még 15-30 másodperc, mire az összes műanyag kiég az akku belsejéből. Ennyi idő alatt még egy porral oltót sem lehet lekapni a falról.
- A lítium olvadáspontja nagyon alacsony, mindössze 180 °C, így a legkisebb hőhatásra azonnal olvadékbba megy, és elveszti a mechanikai stabilitását. Egy NiMH akkuban a nikkal 1455 °C-on olvad, így simán kibírja, ha zárlat miatt 100-150 °C fokra felhevül. A lítium akkumulátorok maximális üzemi hőfoka kisütéskor 60 °C, töltéskor 45 °C. E felett ellenőrizhetetlen kémiai reakciók indulnak meg, amik könnyen pukkanással vagy gyulladással járnak.
- A lítium akkumulátorok mélykisütése után szintén olyan kémiai reakciók indulnak meg, ami miatt az akkumulátor instabillá válik, és a következő töltés során egyszerűen felrobban. Ezért biztonsági okokból a mélykisült akkukat csak nagyon óvatosan, nem kigyulladó helyen (pl. egy mély, zománcozott fazékban, amiből nem tud rakétaként távozni) illik tölteni a teljes feltöltődéséig. Utána – ha addig nem robbant fel – talán már nem fog a későbbi töltések során sem.
- A lítium akkumulátorok töltése során 50 mV (0,05V) pontossággal illik tartani a töltési végfeszts, ami nem hobbi-kategória, csak speciális alkatrészekkel érhető el ilyen pontos és hosszú távon stabil feszültség-referencia.
- A lítium akkuk a kínaiak által a legkedveltebben hamisított alkatrészek közé tartoznak, mivel megfelelő műszer nélkül nehezen ellenőrizhető a technikai paraméterek romlása, miközben árban elég jelentős különbség van a high-end és a gagyi között.

Ennyi bevezető után lássuk a konkrétumokat:

Többféle kémiai összetételű lítium akkumulátor is van. A teljesség igénye nélkül az alábbiakat kell(ene) ismerni:

- Lítium-kobalt-oxid,  $\text{LiCoO}_2$ : Ez a legnagyobb energiasűrűségű akkumulátor. Az élettartama elég rövidke, 300 ciklus körüli; az áramterhelhetősége is csekély; főleg mobil-telefonokban és laptopokban használják. Névleges cella-feszültsége 3,7V, ami 3,0V és 4,20 V között változó értéket jelent. Ritkábban (főleg Samsung mobiloknál) lehet 3,8V is, ami 4,35V-os maximális töltőfeszültséget jelent. Átlagos 18650 méretű kapacitása 2400 mAh, a maximum jelenleg olyan 3.300-3.400 mAh lehet.
- Lítium-mangán-oxid,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ : Ez a kémiai összetétel speciális térbeli szerkezettel párosulva bár jóval gyengébb kapacitást tud, mint a fenti, de 50x-es áramot is le tud adni, így főleg nagy teljesítményű kéziszerszámokban, ill. a korai elektromos autókban terjedt el. Névleges cella-feszültsége 3,7V, ami szintén 3,0 – 4,20V tartományt jelent. Átlagos 18650 méretű kapacitása 1.100-1.500 mAh, ennek ellenére akár 20-30 Amperes áramot ki lehet venni egy 18650 méretű cellából!
- Lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid,  $\text{LiNiMnCoO}_2$ : Az előző kettő kémiai összetétel „keverékeként” tudásban, képességben is rokon vonásokat mutat az előző kettővel. Cellafeszültsége csak 3,6V, ami 4,10V-os max. töltési feszültséget jelent. Átlagos 18650 méretű kapacitása 2.000-2.800 mAh; kisütési árama viszont ezzel fordítottan arányos: míg a 2.000 mAh-s akkut akár 20 Amperrel is lehet terhelni, addig a 2.800 mAh kapacitású már „csak” 4-5 Amperrel terhelhető. Ciklusszáma 1.000-1.500 körüli is lehet.
- Lítium-vas-foszfát,  $\text{LiFePO}_4$ : Bár kapacitásban jócskán elmarad három társától, több nagyon jó tulajdonsága is van: egyrészt messze ez a legtöbbször tölthető, akár 2.000 teljes töltési-kisütési ciklust is kibír; másrészt pl. 4 sorba kötött cella kapcsolás-feszültsége 12,8V, ami pontosan megegyezik az ólomakkumulátorokéval, így 1:1-ben berakható egy normál, 6 cellás ólomakkumulátor helyére; annál megbízhatóbb is. Névleges cellafeszültsége 3,2V (néha 3,3V), ami 2,5 – 3,65 V-ig terjedhet a töltöttség függvényében.

Ahogy olvasható is, a 18650 csak egy méret-jelzés; a 18 mm átmérőjű, 65 mm hosszú hengeres cella mérete. De hogy ebben a cellában most 3,6V-os, 3,7V-os vagy akár 3,8V-os akku van-e, azt csak és kizárólag az akkuk feliratából tudjuk megállapítani – már ha van rajta! Ennek megfelelően a töltési végfeszültség is 4,1V, 4,2V vagy 4,35V. Ha most egy 3,7V-os töltővel töltünk egy 3,6V-os akkut, annak a vége igen jó esetben pukkanás lesz. A lítium töltő áramkörök jelentős részének van egy bemenete, amivel lehet választani, hogy az akku 3,6V-os vagy 3,7V-os; a kész töltő-paneleken pl. egy SMD ellenállást kell ki- vagy beforrasztani egy adott helyre. Ha ezt nem ellenőrizzük, az akku pukkanni fog, mert a megengedett +50 mV helyett +100 mV-al kap több feszültséget, mint szabadna!

A pukkanás is kétféle lehet; az olcsóbb akkumulátorok „zacskós” (Pouch Cell) kivitelben készülnek, és kb. úgy néznek ki, mint egy alufóliába csomagolt csokiszület. Az igényesebb kiviteleket prizmatikus cellának hívják, és téglatest alakja van. Ezek az akkuk jellemzően olcsóbb lítium-polimer akkuk, nagyobb kapacitással, és inkább 3,7 (vagy 3,8) V-osak. Mivel a tokozásuk nem merev, túltöltésnél vagy mélykisülésnél felfúvódnak, mint egy lufi. Azonban ha mechanikai sérülés éri őket, vagy a zacskójuk kilyukad, akkor már a beáramló oxigénnel hevesen reagálva kisebb bombaként robbannak fel. Van olyan hazai cég, ahol a spontán (!) bekövetkező robbanások miatt előírás, hogy hűtőben, nulla fok közelében (!), vas lőszertároló ládában (!) tárolhatják csak a még be nem épített (!) akkukat.

Az igényesebb hengeres tokozásnak van egy nagy előnye: a légmentesen záródó tartály kupakja túlnyomás esetén kipattan, és az akkuba épített biztonsági szál megszakad, azaz az akku „áramtalanítja” magát; ez sok esetben megvédi az akkut a további károsodástól. Az eCar akkupakkok esetén sokszor még ez sem elég; az akkumulátorok úgy vannak párhuzamosan kapcsolva, hogy az egyes akkucellák egy-egy vékony kis fémszállal vannak a közös pozitív elektródához kötve, így zárlat esetén, mint egy biztosíték, kiégnek ezek a fémszállak. És ha azt hinné valaki, hogy ez egy ritka dolog, akkor el kell szomorítanom: hazai szakmai berkekből érkező visszajelzések szerint pár éves e-Car akkupakkok bontásakor az akkucellákból akár 3-5% is lehet szakadt, azaz ennyi ment zárlatba pár év alatt.

Ennyi bevezetés után jöjjenek a konkrétumok, mit lehet és mit nem lehet csinálni:

- Ha egy mód van rá, kerülni kell az akkucellák direkt párhuzamosítását, mert rengeteg hibalehetőséget okozhat. Egyrészt ha a párhuzamosan kötött akkucellák közül egy zárlatba megy, akkor a többi párhuzamos tagot is zárlatba viszi. Ez ellen csak az véd, ha az egyes cellák külön-külön biztosítókkal vannak védve, vagy ha az áramkör megengedi, akkor schottky diódákkal közösiük az egyes cellákat. Így ha bármelyik zárlatba megy, a diódája nem engedi, hogy a szomszédos cellák töltése rázúduljon.
- A másik gyakori hiba, hogy pl. párhuzamosan kötött elemtartót használnak, és két, különböző töltöttségű akkut tesznek bele; pl. cserélik őket, és előbb az egyiket cserélik ki frissen töltöttre, míg a másik lemerült benne marad, hogy pl. ne vesszen el az óra állása. Ilyenkor a két akku feszültsége között akár 0,5V is lehet; de elvileg akár 1,2V is. Tekintettel arra, hogy a lítium akkuk belső ellenállása 20 m $\Omega$  nagyságrendű, ezen a fél-egy voltos feszültségen 12-25 Amperes (!) áram indulhat meg. Tekintettel a lítium 180 °C-os olvadáspontjára, alacsony fajhőjére, és a műanyag elválasztó fóliára, ezen áram esetén pár másodperc is elég, hogy az akkucella gyulladásig melegedjen. Ezért csak és kizárólag frissen és teljesen feltöltött akkucellákat szabad párhuzamosítani; a nagyobb biztonság kedvéért előtte egy 1-10  $\Omega$ -os ellenállással kell összekötni őket pár percre, hogy azon keresztül induljanak meg a kiegyenlítő áramok; és csak utána szabad rövidzárral összekötni az azonos polaritású kapcsokat.
- Ugyancsak veszélyes, hogy a lítium akkucellák pozitív kapcsa legtöbbször nem áll ki, sőt láttam olyan cellát is, amelynek mind a két végén volt körbefutó benyomódás, így nagyon könnyű őket fordítva berakni az elemtartóba. Ha két akku fordított polaritással kerül be egy párhuzamosan kötött elemtartóba (pl. az **ÖSSZES** kerékpáros fejlámpa 18650-es dupla elemtartója ilyen), akkor a feszültségük összeadódik, így 8,4V fog a két akku 40 m $\Omega$ -os ellenállására jutni: az eredmény 210 Amperes (!) zárlati áram lesz, és lesz egy igazán szép tűzijáték a fejetek búbján (rosszabb esetben még a kezetekben, pont a szemetek előtt).
- A fentiek ellen is segít, ha pl. régi PC-k AT vagy ATX tápjából kibányászott, dupla schottky diódával van közösítve a két akkucella. Így ha nem egyformán vannak töltve, a diódák csak a jobban feltöltött akkucellát engedik kisülni; fordított beépítés esetén sem lesz baj.
- A párhuzamos kötésnél sokkal jobb a cellák soros kapcsolása, akár 4-6-8-10 cellát is nyugodtan sorba lehet kötni. Azonban ez sem veszélytelen. Előny, hogy míg egy cella esetén nehéz tartani a 4,2V +/- 0,05V-os töltési végfeszültséget, pl. 10 cella esetén már 42V +/- 0,5V-ot kell tartani – és 500 mV-os pontosság könnyűszerrel elérhető, szemben az 50 mV-al. (Sose felejtjük el, nem **most** kell az 50 mV-ot pontosan tartani, amikor az elektronikát összerakjuk, hanem annak még 5–10 év múlva is, hidegben, melegben, fagyban, kánikulában is pontosan 50 mV-nak kell lennie, és ez a nehéz!)

- A legfontosabb tudnivaló a soros kapcsolásnál, hogy az egyes cellákat balanszolni kell, azaz egy áramkörnek figyelnie kell, hogy minden akkucella azonos feszültségen van-e. Ha valamelyiken megemelkedik a feszültség, mert az akkucella kapacitása az öregedés vagy gyártási hiba miatt lecsökken, akkor a töltés végéhez közeledve ennek megugrik a feszültsége. Ha csak 2%-os eltérés van 2 cella kapacitása között, akkor pl. töltéskor az egyik 4,284 V-ra töltődik fel, a másik meg 4,116V-ra. Amelyik 50 mV helyett 84 mV-os túltöltést kap, az robbanni fog. És most gondoljunk bele abba is, hogy egy egyszerű ellenállást is csak 5%-os átlagos tűréssel tudnak legyártani, akkor egy összetett kémiai és mechanikai szerkezetet hogyan lehetne 1% tűréssel legyártani? Adatlap szerint a legtöbb lítium akkucellára 3% kapacitás-tűrés van megadva.
- A balanszolás mellett a másik fontos védelmi lehetőség az integrált védőelektronikás akkucellák használata. Ezekben van egy pici NYÁK, amely figyeli a túltöltést, a mély kisütést, a maximális áramot, néha a hőmérsékletet is, és ha bármelyik túllép egy adott szintet, az akkucella áramkörét megszakítja. Kezdők esetén javaslom, hogy lépjenek túl az ezzel járó minimális anyagi és néha méretbeli többleten, és inkább ilyen, integrált elektronikás akkucellákat használjanak.
- A soros kapcsolás másik buktatója az ún. ívzárlat jelensége. A váltakozó áramú hálózat nagy előnye, hogy másodpercenként 100-szor megszakad az áram, és polaritást is vált, így könnyűszerrel lehet 230VAC-ra relét vagy mágneskapcsolót találni, amely akár 100 ampereket is játszi könnyedséggel megszakít. Egyenáram esetén azonban a bontás pillanatában az érintkezők között ívkiülés lép fel már akár 20-30V felett, ha bizonyos feltételek teljesülnek. Ez az elektromos ív azonban nem szakad meg magától, ahogy az ívhegesztés is gond nélkül működik minden varázslás nélkül. Így nagyon nehéz 30V felett olyan kapcsolót vagy relét találni, amely pl. többkamrás megszakító házzal rendelkezik, és az elektromos ívet felszabdálja 5-10 kis ívre, és így 5-10x 30V-ot (azaz akár 300VDC-t) is meg tudjon szakítani. Tehát aki nagyobb (8-nál több) cellaszámú soros kapcsolást készít akkukból, az alaposan nézze meg az alkalmazni kívánt relék és kapcsolók adatlapját, hogy az a típus 30VDC-t tud kapcsolni, vagy ennél többet is. Nem spórolásból írnak rá ugyanis legtöbbször olyat egy relére, hogy 1A/30VDC, 2A/250VAC. Nagyon komoly konstrukciós okai vannak, miért tud látszólag azonos méretű és típusú relé néha csak 30VDC-t kapcsolni, néha meg 200VDC-t. (Pl. a 200V-os relé a drágább wolfram-bázisú érintkezőket használja, így nem tud katódolt és így szekunder emisszió kialakulni az ív talppontján.)

További fontos információk:

- Egy töltő áramkörnek 3 féle töltési módjának kellene lennie: a mélykisütött (azaz 4.2V esetén 3.0V-nál alacsonyabb feszültségű) akkucellákat  $\frac{1}{10}$  névleges árammal kell elkezdni tölteni, ezt „Trickle” (TC) töltésnek, szivárgó- vagy csepptöltésnek hívják. Ez után kell a konstans áramú (Constant Current, CC) töltésnek következnie, amely az akkura adatlap szerint megadott értékű lehet maximum. Nincs olyan ökölszabály, mint pl. az ólomakkuk esetén a 0,1C, azaz a kapacitásának tizedével történő töltés. Egy eCar-hoz kifejlesztett nagyáramú, LiNiMnCoO<sub>2</sub> összetételű, 2.200 mAh-s akku pl. akár 2A-el is tölthető; az azonos fizikai méretű, de másfélszeres, 3.200 mAh-s akku ezzel szemben nem tölthető másfélszeres árammal, 3A-el, mondván, hogy nagyobb kapacitás => nagyobb töltőáram; az az akku már LiCoO<sub>2</sub> összetételű, így ott a megengedett max. töltőáram csak 1,6A. Végezetül a töltés végén konstans feszültségű (Constant Voltage, CV) töltés következik. Más akkukkal szemben nem lehet ezt a 3 töltési fázist kiváltani egy kisáramú, fix feszültségű töltővel; a CC fázisban pl. korlátok nélkül dől a töltés az akkuba, pillanatok alatt túlmelegítve azt.

- Kisütésnél kellene lennie a tápegységnek egy ún. *UnderVoltage LockOut*, azaz alacsony-feszültségű kizárás funkciójának, ami azt jelenti, hogy tipikusan 3,0V körül a tápegységnek teljesen ki kellene kapcsolódnia, hogy a lítium cellát ne ölje meg. Ha ez 2,7V, az még belefér; ennyit még elvisel talán egy akkucella, max. a kapacitása nagyon le fog csökkenni, de utána töltésnél nem robban. Azonban az olcsó kínai tápegységek – hiába van rájuk írva, hogy lítium akkumulátorhoz valók – valójában a táp-IC alsó működési határáig mennek, jellemzően 2,2 – 2,5V-ig, és itt sem kapcsolnak ki, hanem a kapcsolófokozatuk megáll, és akár több mA-es konstans árammal még tovább meríti a már amúgy is agyonvert akkucellát.
- Ismervén a kínai ipar találékonyosságát a hamisítás terén (átfeliratozott vagy koppintott félvezetők; üres, ún. „dummy” tokok felforrasztása a panelre, hogy az okosabbnak és így drágábbnak tűnjön), csak az a biztos, amit lemértünk! Szóval labortáp és pontos, ill. lehetőleg kalibrált digitális multiméter (nem pedig Tesco-Gazdaságos „Kalimpátor” szintű mutató-műszeres izé) nélkül lehetőleg ne akarjunk lítiumos fejlesztésekbe fogni akkor, amikor közel azonos eredményt érhetünk el NiMH vagy zselés ólomakkukkal is. (A dummy tokokról pár szót: az SMD beültetés és kemencézés tesztelése és beállítása céljából bevett szokás, hogy filléres áron üres IC tokokat gyártanak, és azzal lövik be a megfelelő forrasztási minőséget. Ezeket az üres tokokat bárki beszerezheti, és kedvére színesítheti vele a paneljeit; mintha ott sem lennének, annyira nem csinálnak semmit. Sok esetben a tokot kiforrasztva látni a NYÁK-on a lábakat alul rövidre záró rajzolatot is.)
- Ugyancsak veszélyes dolog, hogy előszeretettel hamisítják magukat a lítium cellákat is. Vannak olyan durva hamisítások, hogy pl. e-cigi fel centi vastag akkuját rakják bele egy 18 mm átmérőjű 18650-es tokba, és eladják, mint 3.000 mAh-s akkut; és ha akár csak 1A-el megpróbáljuk tölteni az amúgy 0,15 – 0,25 A-es töltésre méretezett e-cigi akkut, máris felrobban. A másik gyakori dolog, hogy túlcímkézik az akkut, pl. a 2.000 mAh-s olcsó elektromos robogóba való akkucellára ráírják, hogy 3.500 mAh; ez pont nem fog felrobbanni, mert a 2.000 mAh-s akkut nagyobb árammal lehet tölteni, mint a 3.500 mAh-t. De ha egy 18650-es akkura 3.300 mAh feletti kapacitást írnak, pl. 9.900 mAh-t, akkor pánikszerűen tüntessük el azt a szemetet egy szelektív gyűjtőbe. Ezért itt is jobb a biztonság, új akkucellát – új gyártótól, új kereskedőtől – mindig teszteljünk le egy gyári, mAh-kijelzős töltővel.
- Ha már mindenképpen kínait akarunk: a legtöbb kínai töltőn a kínai TP4056 IC van. Ez egy sima áteresztős töltő egy cellára; ellenállással állítható be a töltőáram 1A-ig. De ha jobban belegondolunk, egy 3,0V-ra lemerült cellát mondjuk 5,2V-ról töltünk 1 A-el, az 2.2W; ezt egy mini SOP8 tokozásnak kellene eldisszipálnia. Nos, ez kb. nagyobb csoda lenne, ha működne, mint kerékpárral eltekerni a Holdig! Persze, ha a cella csak 3.3V-ig van lemerülve, a bejövő táp meg mondjuk csak 4.9 a gagyi, vékony USB vezeték miatt, a töltőáramot meg levesszük 250 mA-re, akkor akár még működhet is...
- Soros kapcsolás esetén észnél kell lenni a cella-szintű töltéssel, mert a töltők negatívja közös az akkukkal. Ha egy 2-4 soros cellából álló kapcsolás esetén a cellákat egyesével töltjük egy ilyen töltővel, vagy 2-4 db töltőpanelt használunk külön-külön USB tápról, akkor megúszhatjuk a balanszer elektronikát. De ha egy USB tápra kötjük a kettőt, a GND-n keresztül az alsó akku máris zárlatba megy!

Készítette: Varsányi Péter, 2017-10-09, Tata

Elérhetőség: [info@varsanyipeter.hu](mailto:info@varsanyipeter.hu), +36-20-942-7232