

Bolloré BlueCar akku, avagy a szilárdtest akkumulátor.

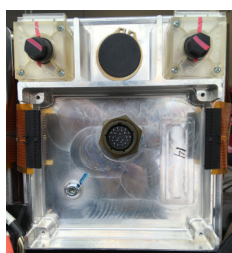
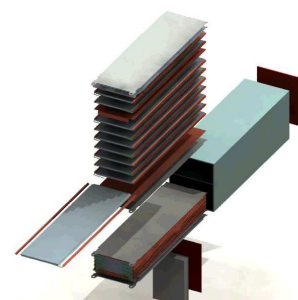
Az akkuk világa olyan hatalmas, hogy bár 20+ éve foglalkozom az akkumulátorokkal, még nekem is lehet újat mondani. A *Bolloré* akkuja is ilyen volt: egy FB fórum-kommentben írtak először lítium-polimer eCar akkumulátorról, én meg kiakadtam, hogy lehet valaki olyan őrült, hogy lítium-polimer akkut rak egy autóba? Aztán utána is olvastam, hogy két év alatt 25 ilyen akkus autó is kigyulladt. De akkor még nekem sem esett le, hogy a *lítium-metál-polimer* és a *lítium-polimer* akku nem egy és ugyanaz: az előbbi ugyanis az első – és ez idáig az egyetlen – szilárdtest akkumulátor; a második meg a főleg a drónok könnyű, olcsó, nagyáramú, és igen tűzveszélyes akkuja.

A *Bolloré BlueCar*-ról csak röviden írnék, mert ez a téma önmaga megtölthetne egy egész cikket. Ez egy 2005/2008-ban a franciáktól indult történet, mely során terveztek egy egyszerű és olcsó városi elektromos kisautót, amellyel 2011 végén Párizsban elindult *AutoLib* néven az első elektromos autó-megosztós hálózat. Igazi francia szokás szerint egy csomó cég dolgozott össze, az olasz *Pininfarina* cég tervezte az autót, de az információs anyagok között vagy két tucat céget találtam, akik az autómegosztás informatikai háttérétől kezdve a biztosításig, a töltőhálózattól a távfelügyeletig leosztották egymás közt a lapokat. És mivel az ötlet bevált, az autók elterjedtek több ország több városában is, így lett *BlueLy* (Lyon), *BlueClub* (Bordeaux), *BlueCity* (London), *BlueLA* (Los Angeles), *BlueSG* (Singapore) is. Aztán ahogy az akkuk és az autók kezdtek egyre jobban elöregedni, ill. a szolgáltatás színvonala (főleg a megosztott autók tisztasága miatt) kezdett romlani, a projekt egyre kevésbé térült meg, így lezárták az egész autó-megosztósdit és az összes autót eladták. És mivel ez volt az első komoly volumenű elektromos autós flotta (összesen kb. 8.000 *BlueCar* készült), rengeteg tanulmány foglalkozik az autómegosztás gyakorlati tapasztalataival. Persze amilyen zakkant vagyok, engem ez az egész mind hidegen hagy... Engem csak az autó belseje érdekel, abból is csak az akku. A többivel ugyanis nem nagyon volt probléma. Az akkuról ellenben sokat tudok írni, merthogy ez a múlt, a jelen, de a jövő is: a *Volkswagen* is a szilárdtest akkun dolgozik; a *Mercedes-Benz* új elektromos buszaiban, az *e-Citaro*-ban pedig ugyanez az LMP akkumulátor fog dolgozni, ami már tucat éven át bizonyított Párizs utcáin. Így a *ZEBRA* akkukkal ellentétben érdemes is, és kell is vele foglalkozni. Az első dolog annak megértése, mi is az a szilárdtest akkumulátor? Vagy inkább mi nem az?

A mai akkumulátorok szinte mind ugyanolyan recept szerint készülnek: végy egy tiszta réz és alumínium fóliát. Az egyiket vond be szénnel / korommal, a másikat meg az oldószerben eloszlatott aktív anyaggal (NCM, NCA, LMO, LCO), aztán szárítsd meg a bevonatot. Majd a kettő közötti érintkezést meggátolandó közöttük valamilyen szeparátor anyaggal (üvegszövet, perforált műanyag fólia, porózus Al_2O_3 kerámia) tekercseld fel egy tűskére (hengeres cella 18650/2170/4680), vagy lapos magra, majd tedd egy fémdobozba a tekercset (ez utóbbi lesz a prizmatikus cella). Vagy csak simán helyezd egymásra a lapokat, és tedd egy zacskóba az egész köteget; ez lesz a zacskós cella. Végül, mint a savanyú uborkát a befőttes üvegben, öntsd fel az elektrolittal, és már készen is van az akkud! Ennek két hátránya van: egyrészt az oldószer drága, az elpárologtatása és visszanyerése meg rendkívül energia-igényes, hiszen fel kell melegítened, hogy elgőzölgjön, majd a gőzt le kell csapatnod egy hideg felületen, hogy ne pazarold a drága anyagot. Ez ellen nagyon jó a *Tesla* által bevezetett szilárd elektrolitos (*solid electrolyte*) gyártási technika, amely nem oldószerrel oldja meg az aktív anyag felvitelét, hanem por alakban – de ez még nem a szilárdtest akku. Sajnos a cikkírók is keverik rendesen.

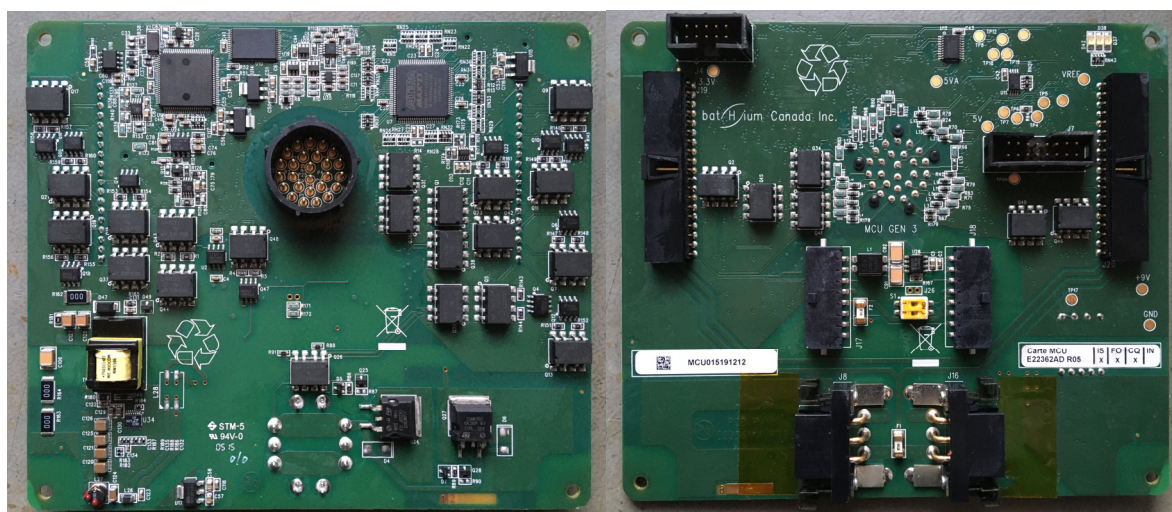
Az igazi szilárdtest akkuk attól mások, hogy nincs bennük alakváltozásra képes szeparátor-elektrolit páros, hanem a „felitatott” folyékony elektrolit valójában csak egy fólia. A gyártása sokkal egyszerűbb így, mert egy fóliát könnyű állandó vastagságra gyártani; nem kell hosszú, meleg alagútban utaztatni, míg az oldószerben szuszpendált anyag egyenletesen elterül és egy homogén réteget képez. Szóval ahogy mondom, úgy is képzelj el: két fólia-fröccsöntő gépbe beletöltöd az aktív anyagot meg az elektrolit-komplexet, és ahogy kinyomja őket fóliaként, már tekerseled is fel őket egybe egy alufóliával és egy lítium fóliával egyetemben. Így alakul ki a 4 réteg fóliából álló *lítium-metál-polimer* szilárdtest akku, az LMP. És igen, jól olvastad: a drága és nehéz rézfóliát kihagyták a történetből, merthogy a hagyományos lítium akkuknál a réz egyszerre jó áramvezető, ill. az aktív anyag hordozója is. Itt viszont mivel fólia ez a rész, bőven elég a képlékeny lítium fólia is kivezetésnek. Egy dologra kell csak ügyelni: a lítium kivezetést nem viheted ki akkun kívülre, mert azonnal kigyullad az oxigéntől!

Ezért aztán a *Bolloré* LMP akkuja sem cellákból áll, hanem egész modulokból: egy-egy modulba 20 cellányi fólia-réteget halmoznak egymásra, majd ezeket teljesen hermetikusan lezárják. Az alaptest egy extrudált alumínium zártszelvény, ebbe van becsúsztatva a pakk két kötegben; a középső elválasztó lemez a tűzgátlásra szolgál, hogy ha egy cella kigyullad, csak 10 cella kapjon lángra, ne rögtön hűsz. A zártszelvény mindkét vége le van zárva hermetikusan, a BMS-nek meg ki van vezetve a 20 cella 20+1 kisáramú kapcsa egy kör alakú csatlakozón. A nagyáramú kapcsok meg felette vannak.



A kör alakú csatlakozó felett van egy másik fekete kör is, az a tűzablak a dobozon. Egy hermetikusan lezárt modul ugyanis nagyszerű csőbomba lenne, ha kigyulladna belül. Ezért belülről egy gumi O gyűrűvel letömített módon kapott egy műanyag dugót, amit kívül *seeger-gyűrű* tart a helyén. Okos módon az alumínium fedél kapott kétoldalt felöntött vállakat, hogy ha itt elkezdni okádni a lítium-gőzt, ne zárja rövidre a mellette lévő pozitív és negatív kapcsot. Szóval óvatosan azzal a dugóval...

Érdekességként megjegyzem, hogy találkoztam olyan „reklámmal” is a neten, ahol extra különleges tulajdonságként említik meg a teljes vízállóságot. Ötletes – cellák valóban azok, de az akku nem! Ez pedig a BMS panelek két oldala, miután úsztak egyet az oldószerben:



Már amikor megláttam a sok DIP8-as tokot, az sanda gyanúm támadt, hogy ez fájni fog... Be is igazolódott! A panelen van egy *Infineon* processzor, 128 kB RAM (?), de ami végképp meglepő, hogy BMS chip egy deka sincs! Ellenben van rajta egy *Altera MAX-II CPLD*, ami annyira nem illik ide, hogy arra nincsenek szavaim. Aztán némi matekkal ezt is megfejtem: a DIP8-as tokok felesben VO1263 és LH1522 típusú analóg opto-relék. Az előbbi kisebb áramú kapcsolóként FDS3992 típusú dupla 100V-os, 4,5A-es MOSFET-et kapcsol, a másik meg 100Ω-os ellenállásokat a cellákra. Összesen 26 db ilyen iker-opto-relé van a panelen DIP8-as tokok formájában, ami 52 db LED-et jelent. És a CPLD körül is pontosan 13 db 4x220Ω-os ellenállás-háló van, ami szintén 52 db. Anélkül, hogy egyet is mértem volna, csupán a számok megmondták, hogy működik: a 20 LMP cellát az LH1522-es iker opto-relék balanszolja a 100Ω-os ellenállások rákapcsolásával, a maradék VO1263/FDS3992 párosok pedig a fűtést kapcsolják a két oldalon. Ezek LED-jeit pedig a CPLD-ben megvalósított „I/O bővítő” hajtja meg az 52 db 220Ω-os ellenállással. Ha azt mondom, hogy ez fapados, ösöreg, elavult, gagyi, akkor most nagyon finoman fogalmaztam. Hogy mást ne mondjak, adatlap szerint 9 mA-es az árama minden egyes LED-nek, azaz ez az 52 db LED ha egyszerre bekapcsol, akkor fél amper megeszik egy ilyen BMS panel. Csak úgy referenciaként, egy mai, modern BMS teljes árama processzorostól, BMS chipestől 10÷16 mA, vagy még annyi sincs! Ez meg úgy 50x ennyit zabál a gagyi optorelés megoldásával. És ez, ha jobban megnézik, már a 3. generációs kivitel (MCU GEN 3 a panel közepén). Mentségükre szóljon, 72V-ra talán nincs is BMS chip, de semeddig nem tartott volna felrakni kettőt, ha már úgyis 2 külön pakkban van a 20 cella.

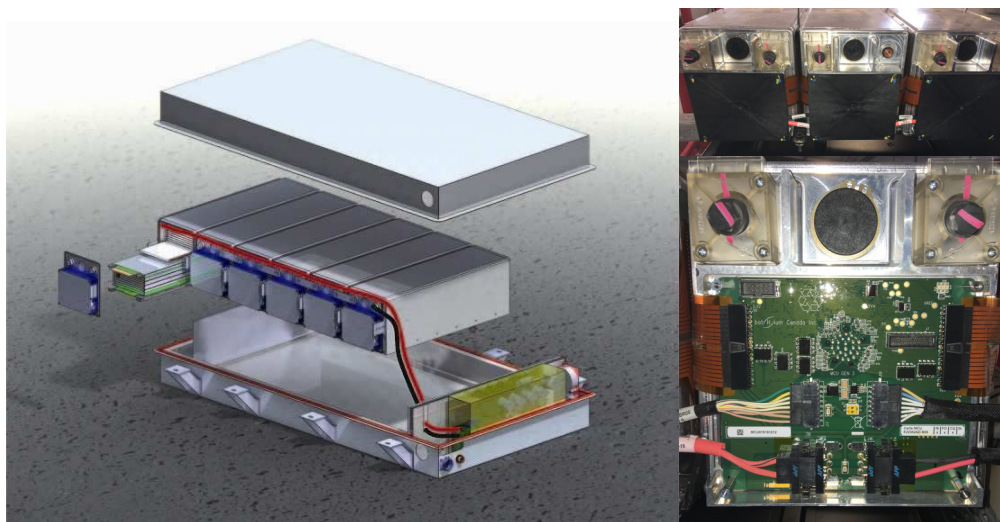
Az előbb megemlítettem a fűtést... Nos igen, ezzel még adós vagyok! Az LMP akkuknak, meg úgy általában a szilárdtest akkuknak van egy hatalmas nagy hátránya: mivel az áramot vezető ionok nem folyadék fázisban vannak, hanem fóliába vannak ágyazva, ezért lomhák. Nem kicsit, nagyon! Míg a sima lítium akkumulátorok 60 °C felett kigyulladhatnak (töltéskor már a 45 °C is magas nekik), addig az LMP akkuknak 80 °C az üzemi hőmérsékletük, így a cellákat fűteni kell éjjel-nappal, töltéskor is és kisütéskor is. Persze lekapcsolható a fűtésük, ekkor ugyanúgy „belefagy” a töltés, mint a *ZEBRA* akkuknál, és akár -25 °C-ig is lehűlhet az akku a károsodása nélkül. A fűtést az akku két oldalára ragasztott kacsakaringós vonalvezetésű ellenállás-fóliával oldja meg, de egyszerre nem kapcsolhatja be mindegyiket, mert túl nagy lenne az áram. Ezért van rengeteg VO1263/FDS3992 páros a panelen, mert hol az egyik, hol a másik fűtőszálát kapcsolja be. A hőmérsékletet pedig egyetlen ponton, a fekete vezeték végén méri, a modul oldalának közepén. És ugye ez a fűtőlap a modul mindkét oldalán ott van.



Mindjárt elhanyagolható lesz a BMS energia-pazarlása is: hol számít az a fél amper BMS-enként, ha csak az akku saját hő-tartása is óránként 1%-ot (!) eszik le az akku teljes, 30 kWh-s kapacitásából? 4 nap alatt nullára merül az akkuja! Viszont nagy előny, hogy nem kell külön hűtés és fűtés, hanem elegendő egy vastag, kb. 4-5 centis hőszigetelés az akku házába, és így egyszerre alkalmas az akku a jeges Skandináviába, vagy a forró Egyenlítőre.

Végére hagytam a „csemeget”, hogy mégis milyen akku ez a szilárdtest-akku? Mert az, hogy „szilárdtest”, csak a gyártási technológiáját határozza meg, ahogy a „szilárd elektrolitos” is csak ezt takarja – a kémia ettől lehetne még bármi! Nos kérem, a cellafeszültségek mindent elárulnak: a névleges feszültség 3.2V, a maximális töltési feszültség meg 3.6V. Bingó, ez egy kutya közönséges LFP, LiFePO_4 , vagy ismertebb nevén vasfoszfát akku! Az akkuban lezajló kémiai reakció az alábbi: $\text{LiFePO}_4 \leftrightarrow \text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + x \text{Li} + x \text{e}^-$ Kétség sem férhet hozzá, hiszen a cellák névleges feszültsége ~64V ($20 \times 3,2\text{V}$), a teljes pakk a 6 modullal max. 432V-ra tölthető fel. Tehát a *Mercedes-Benz* „két év múlva”^{©®} a kutya közönséges (ha úgy tetszik, a „kínai”) vasfoszfát akkuval fogja szerelni a legmodernebb *e-Citaro* buszait. (Zárójelben azért elmondom, hogy a *Volkswagen* a *QuantumScape* által fejlesztett szilárdtest akkuja a jelenlegi ismereteim szerint már NMC kémiás lesz, tehát nem a szilárdtest akku az elavult, hanem csak a *Bolloré*-féle verzió. De ez utóbbi már vagy 12 éve kapható, míg a VW vergődését elnézve meg esélyes, hogy a VW verziója majd akkor készül el működőre, amikor a fúziós reaktor is.)

Persze még egy csavar van a történetben: a *Bolloré* szilárdtest akkuja nem csak hogy nem alkalmas villámtöltésre, hanem az autóban van még egy brutális méretű superkapacitás is az áramcsúcsok kiszolgálására! Erről még nincs képem, az majd a *Bolloré* inverteréről szóló cikk főszereplője lesz. Ami már most látszik belőle, az az akku oldalán lévő BMS modul közepén lévő brutális, 500 Wattos (!!!) lágyindító ellenállás, ami ezt a hatalmas kondenzátort feltölti. De mielőtt tovább szaladnánk, még pár kép az akku teljes szerkezetéről:

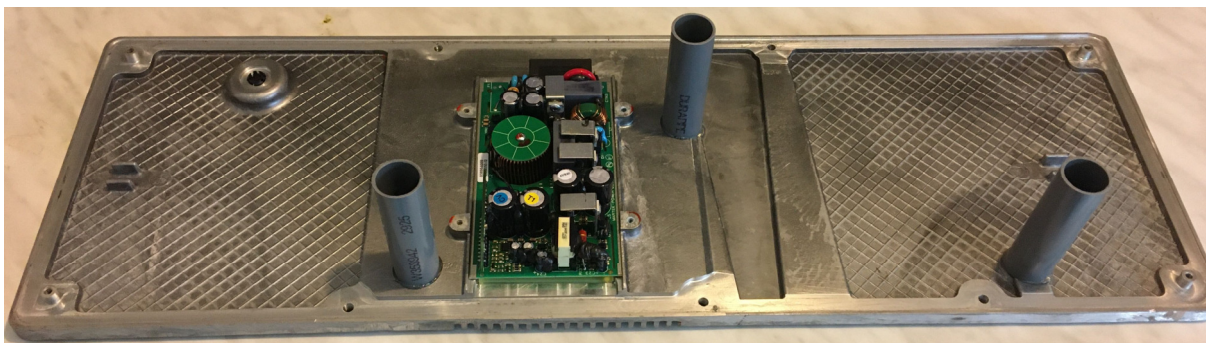


Ahogy látható, a hat modul egymáshoz szegecselve egy blokkot képez, amit ráadásul mm-re pontosan legyártott vezetékek kötnek össze: a felső fekete a BMS adatkábele, az alsó piros meg a fűtés nagyfeszültségű, nagyáramú kábele. És ez így együtt bele van ejtve egy teknőbe, szintén fél centi pontosan. Élvezetes dolog kiemelni ezt a 150 (200?) kg-os pakkot, rá is ment pár hét az első kiszedésére. A modulok amúgy kezdetben 5 kWh-sak voltak, összesen 30 kWh kapacitással; több későbbi információs anyag azonban már határozottan 7 kWh-s modulokról ír. A Mercedes-Benz féle akkuról szerencsére találtam anyagot, az alapján az már 120 helyett 180 cellás (6 helyett 9 modulos), 600V-os és 63 kWh egy pakk, de már készül a 70 kWh-s is.

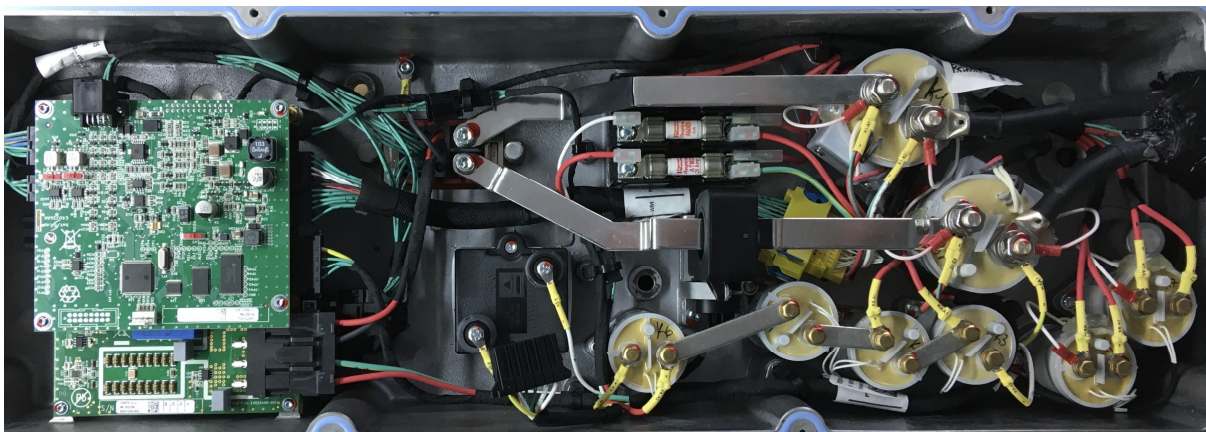
Az akku házának felénk eső oldalán újabb érdekesség van: két nagyfeszültségű biztosíték (fehér kerámia) és két ún. pyro-patron (vagy pyro-biztosíték) van. Ez egy kék-fekete műanyag házba szerelt, 5 Ft-os méretű robbanó-töltetet tartalmaz, ami egy műanyag késsel eltép egy kigyengített réz sínt. 12V-os akkuk karambol esetén történő áramtalanítására használják, szintén oda kell rá figyelni, mert ha rossz sorrendben csatlakoztatja az ember a vezetékeket, akkor egy pukkanás keretében kimegy rögtön kettő ilyen patron.



A kép bal oldalán láthatjuk egy csatlakozó hátoldalát, ez vezet át minden jelet a BMU-ra, ami egy hatalmas öntött alumínium szekrény az akku oldalán. Mindössze három nagy csavar tartja, amelyek már-már röhejes módon a fedőlapra ragasztott villanszerelő műanyag csőben mozognak. Komolyan, egy otthoni barkácsolót megdicsérnék, ha így oldaná meg a csavarok beesés elleni védelmét, de ezt egy szériagyártású autóban oldották meg így? A fedél közepén amúgy egy eléggé beazonosíthatatlan működésű tápegység vagy áramszabályzó van, ami a modulok fűtéséért felel, és melynek ez a fedél egyúttal a hűtőbordája is.

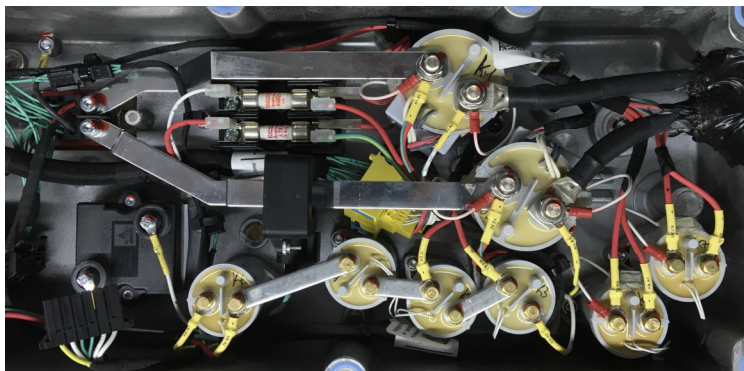


És jön a BMU, amely szintén nem nyerte el nálam az „Év elektronikája 2021” díjat:



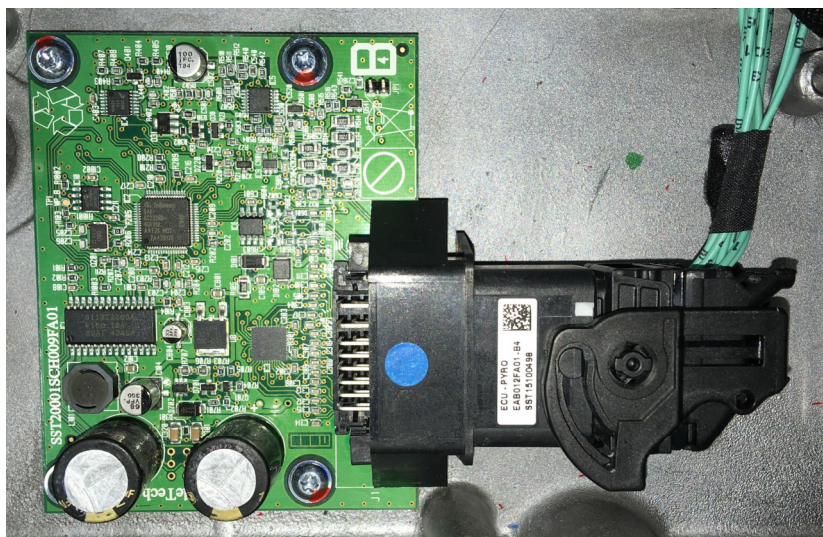
Igazi „franciás”, a *Renault Zoe*-ból már megismert házibarkács szint. Olyan szépségeket találni benne, mint a jobb felső sarokban odataknyolt fekete sziló-gümeccs, a nagyáramú csati víz elleni szigetelésére. De ha a vezetékeket megnézzitek, van egy vastag zöld-sárga, ami nem földelés, és a többi mind piros: a +430V, a negatív, a fűtés köre, az Aux kimenetek, stb.

Nem volt mese, visszarájzoltam az egészet, mert meg kellett értenem a működését. Rég izzasztott meg ennyire valami, pedig csak 8 kontaktor: 2 nagy és 6 kicsi. Eleve, mi a jó b*dsz@rnak bele ennyi? Összesen nincs benne 3 független áramkör sem. Kinagyítom ide csak a kontaktorokat, feltűnik valami? (Tovább olvasni nem ér!)

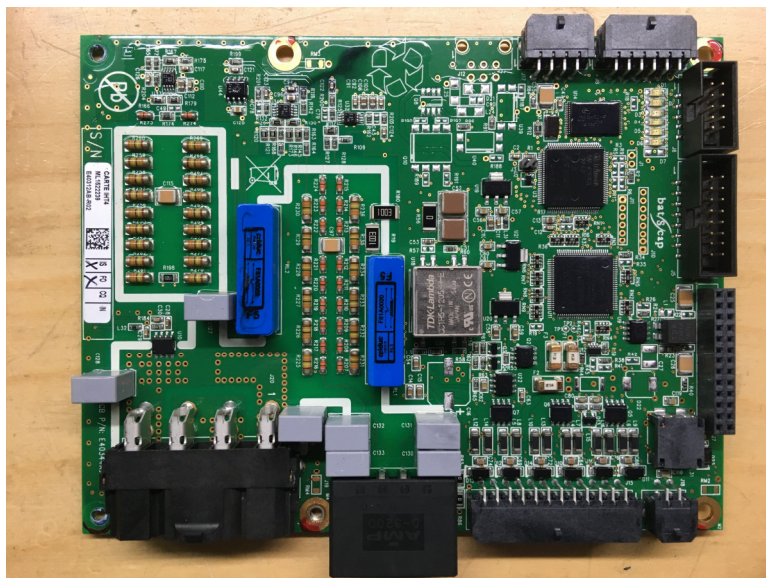


Nos, a bal alsó 4 kontaktor szó szerint sorba van kötve 3 db vaskos sínnel, míg a két végére cérvékony vezetékek futnak. A biztosítékai sem nagyobbak, 2 db 25A-es mellett egy 5A-es van a dobozban. Az ehhez képest 100A-eket kapcsoló alsó kontaktor-sor meg kb. egy relés ÉS kapcsolat. Egy 2x2 mm-es logikai kapuval meg lehetett volna oldani, hogy csak akkor kapcsolódjon be a kontaktorok végén lévő fűtés, amikor mind a négy vezérlőjel aktív, de úgy látszik, a *Bolloré* tervezői relé-mániásak voltak: a BMS-ben található 6*52 elektronikus relé után még ide is kellett 8; ill. még van kettő az egyik panelen is. 322 relével (!) tuti világelső ez az elektronika – és ez még csak az akkumulátor!!! ☺

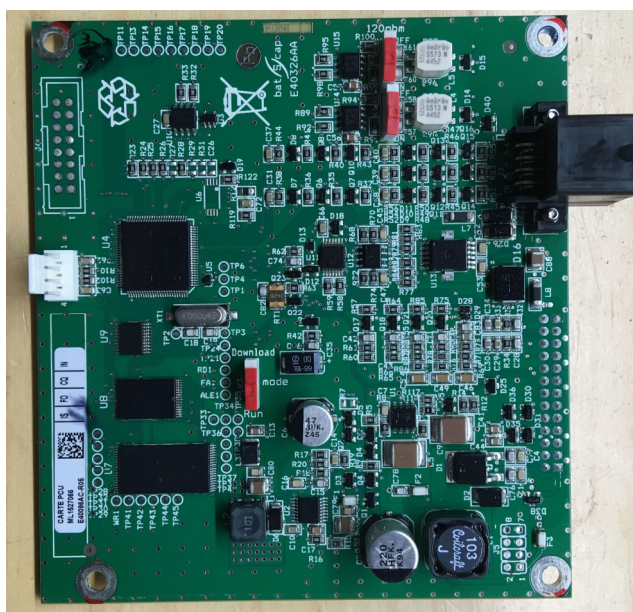
A másik szépség a pyro-patronok körül van. Eleve már nem sok értelme volt egymás mellé tenni kettőt; pláne olyan közel, hogy egy beleejtett csavar vagy egy kis ütközés következtében elszenvedett deformáció rögtön zárlatot csinál az akku pozitív és negatív kapcsa között, ami ellen ráadásul nem is véd a pyro. A *Tesla Model 3/Y* esetében egy kiköpött ugyanilyen pyro a két fél-akku kellős közepén van, és egymagában többet ér, mint itt a kettő. De ami még ennél is cukibb, hogy a BMU legaljára beraktak egy „kész” *ECU-PYRO* nevű vezérlőpanelt, és vele szemben annak a *Mercedes*-ben lévő vízhatlanul tömített csatlakozóját is. Tehát van a kopasz panel, utána jön egy vízhatlan csatlakozó, gumitömítéssel, mindennel, ahogy kell egy esőben-párában ázó motortérben, majd jönnek ki belőle a vezetékek újra kopaszra. Sírva röhögtem, hogy lehet ennyire összetákolt egy megoldás? Minek kellett akkor bele a gumitömítés?



Szerencsére ez a panel van legalul, amit jótékonyan takar az IHT4 nevű panel. Ez végzi a fűtőáramkör árammérését (alul bal szélső csati), az akkufeszültség mérését (alul középső csati, felette a két kék relével), illetve a túltényesztett mennyiségű kontaktorok meghajtását.



Végezetül legfelül van a PCU vezérlő, amely először megtévesztett az egy darab, LEM áramszenzorra menő csatlakozójával, de aztán szétszedésnél kiderült, hogy egy tűkesorral az ITH4 pannellel is komoly kapcsolata van. Ez valójában a *Coulomb-integrátor*, azaz a maradék töltést és a megtehető hatótávot számoló panel. A panelen a fő CAN buszon kívül még egy diagnosztikai CAN busz is van, ahogy vélhetően az inverteren is van egy, mert az OBD-II csatlakozón legalább 3 CAN buszt találtam. És igen, az alatta lévő ITH4 panelen is van egy CAN, meg az ECU-PYRO-n is van egy CAN, de ezek szerencsére mind a fő CAN buszon át kommunikálnak, amin a 6 db BMS is. Szóval ez az egy akku a két CAN buszon át 9 db külön mikroprocesszorral beszélget, és akkor még ott az autó fedélzeti töltője, invertere, DC/DC-je, és a teljes infotainment rendszere. Nem akarok marhaságot mondani, de az egyik tájékoztató anyagban mintha azt olvastam volna, hogy 3 (három) SIM kártya van az autóban, külön-külön hozzáféréssel a bérleti rendszerhez, a telematikához (hol jár az autó) és a távdiagnosztikához.



Azt hiszem, első körben elmondtam, ami eszembe jutott róla, bár van már két hónapja is, hogy aktívan boncolgattam a drágát. A fő nehézség ezzel az akkuval az, hogy ennek a gyári diagnosztikai szoftvere végtelenül le van butítva: bár kiolvas minden adatot, szépen rögtön le is titkosítja őket és eltárolja, majd egy zöld „OK” vagy egy piros „BAD” hibaüzenet az összes információ, amit kiad magáról. Így ne is reménykedjek hibakódban, DTC-ben. Ahhoz vissza kellene fejteni a két CAN busz kommunikációját, az összesen 9+1 processzorét, ami sajnos sok idő és ebből adódóan nem lesz olcsó sem. Szóval itt egyelőre megállt a történet: marad a jó öreg próbálgatásos – cserélgetős diagnosztika.

Verzió: 1.00, 2021-01-17, Tata

Varsányi Péter E.V.

Tel: +36-20-942-7232

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

Email: info@varsanyipeter.hu