

Tesla Large Rear Drive Unit, avagy szétszedni csak gondosan, szépen...

Mondhatnám, hogy a mai Tesla *SuperCharger* avató-ünnepség adja az apropót mai cikkem megírásához, vagy esetleg a kínai *GigaFactory-3* megnyitása az oka. Bár rettenetesen örülök neki, hogy a „kedvencem” ilyen jól hasít, de a cikket igazából az *e-Cars.hu* oldalán pont 10 napja megjelent videó inspirálta, ahol pár főemlős kőbaltával „szétszedett” egy *Tesla* motort, „*What’s Inside?*” néven. A videó tényleg nagyon látványos, bármely barbár-szakos anarchista felizgul tőle – de a világ értelmesebb kisebbsége ilyenkor csak annyit mond, hogy na neeee...

Szóval akkor most megmutatom én is, hogyan szedek szét egy *Large Rear Drive Unit*-ot, merthogy ez a becses neve; magyarul hátsó integrált motor-inverter egységnek kellene írnom. Kétféle kivitel van belőle (normál/sport), ezek csak a teljesítményükben térnek el. (Van egy kisebb verzió is, a *Small Rear Drive Unit*, de az máshogy néz ki.) Az egység közepén a lassító áttétel és a differenciálmű van, ennek egyik oldalán a hajtómotor, míg a másik oldalán az inverter, amely hajtja a villanymotort, ill. a fékezéskor visszatáplál. Szemben az összes többi elektromos autóval, ahol általában külön egység az inverter és a motor, itt két vastag kábel az összes kapcsolat az autóval, meg egy vékonyabb adatátviteli kábel, ami nem csak költség-oldalról, hanem az elektromágneses kisugárzás szempontjából is a lehető legjobb megoldás.

A fotókat illetően már most elnézést kérek, mert ha szokásos „fény felé tartom fél kézzel és közben lefotózom” dolog itt is működne, akkor nem az eszemért, hanem a *Schwarzenegger*-t megszegyenítő bicepszemért kedvelnétek: ez az egység ugyanis potom 250 kg, így örültem, hogy egyedül (!) ki- és be tudtam pakolni az autómba. Szóval az első fotón a motor oldali vége látható, meg néhány betontömb, hogy az inverter oldali végét ne nyomja szét a 250 kiló.



A bal felső lyukon át a hűtőfolyadék távozik, alatta a forgórész hűtőegysége és a forgás-szenzor csatlakozója látható. Az alul kanyargó alumínium cső (amit a videóban szereplő csimpánz egy laza mozdulattal összetör) pedig az elektronikától hozza át a hűtővizet. Leszedve ezeket láthatjuk: egy mágneses jeladót, a forgás-szenzor fogazott kerekét és a motor cső alakú tengelyét. Az első meglepi meg is van: a villanymotoroknak ugyanis tömör tengelye szokott lenni! A magyarázat az, hogy a *Model S* motorja állandó mágneses forgórészű, amit emiatt hűteni kell.





A neodímium állandó mágnesek egyik jellemző tulajdonsága, hogy a lemágneseződési hőmérsékletük – tudományos nevén a *Curie-hőmérséklet*-ük nagyon alacsony, alig ~ 180 °C, így a forgórészt folyamatosan hűteni kell. Ha ugyanis ezt a hőfokot egy pillanatra is túllépi a motor forgórésze, menthetetlenül ócskavassá válik. Hogy a víz ténylegesen végig menjen a csőben, egy mélyre benyúló cső viszi be a hűtővizet.

Tovább én nem szedtem szét a motor oldalt, egyszerűen azért, mert nincs rajta mit nézni: egy hengeres test forog egy armatúrának nevezett állórészben. Ha a motor cső-tengelyének csapágái elengedik a hűtővizet, az a motorba kerül, és elég gyorsan tönkreteszik a tekercsét. Ez kb. javíthatatlan; már csak azért is, mert a motor alu palástja végig hozzá van hegesztve a lassító áttétel alumínium-öntvény házához. Szóval szekerce ide, kőbalta oda, erről fotóm sem lesz. Ellenben a hajtóművet könnyű szétszedni, hiszen alig pár csavar tartja csak össze:



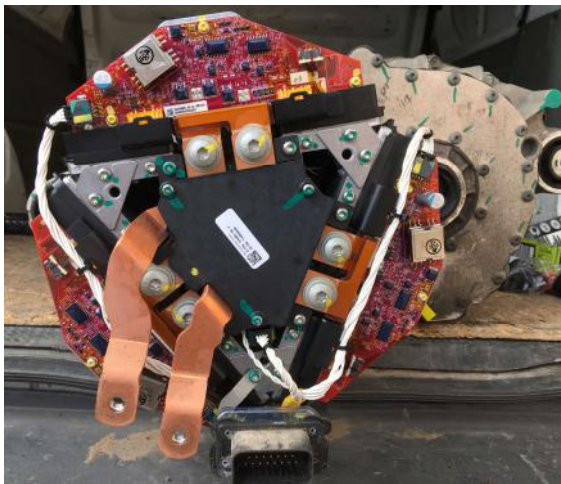
A fotón fejtetőn van a motor, mivel a jobb felső irányban kiálló háromfázisú elektromos csatlakozást csak úgy lehetett kikötni, hogy feje tetejére állítottam. Hálából a fent lévő, de így alulra kerülő olaj-szellőző csavaron keresztül komolyan környezet-károsította gázos udvarom a kifolyt hajtómű-olaj maradék. Lehetetlen ugyanis kiengedni belőle az összeset az oldalt lévő leeresztő csavaron át. A nagy fogaskerék a differenciálműhöz tartozik, ezt egy fekete műa. lap választja el az olajteknő aljától, hogy a fogaskerék ne keverje fel az olaj-iszapot. A lap alatt van egy fémből készült szűrő-cső, ezen át szívja be az olajat a fekete műanyag fogaskerékkel hajtott olajszivattyú, és kis csőcsonkokkal egyenesen a fogaskerekre spricceli.



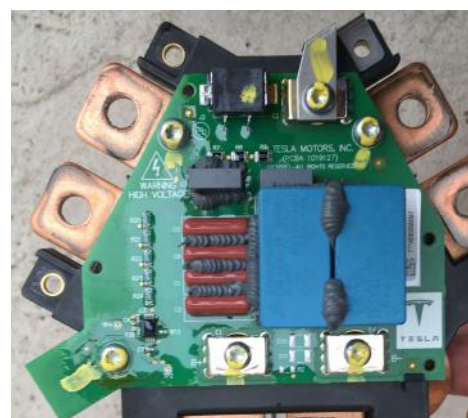
A középső fogaskerék (a két másikkal) a lassító áttétel maga, amelyről rengeteg agymenést lehet olvasni a neten, így egy kicsit helyretenném a dolgokat:

A villanymotorok már nagyon alacsony fordulatszámnál is hatalmas nyomatékot adnak, ellentétben a belsőégésű motorokkal. De mivel a teljesítmény a fordulatszám és a nyomaték szorzata, érdemes a villanymotort nagy fordulaton járni, ezért kell egyetlen lassító áttétel. A kétfokozatú „sebességváltónak” sok értelme nincsen utcai autóknál, hiszen be lehet löni egy olyan áttételt, ami a $0 \div 130$ km/h tartományban jól kezelhető veszteségeket okoz. Alacsony fordulaton ugyanis a rézvesztés dominál, hiszen folyamatosan folyó nagy áram miatt a tekercsekben, hogy a nyomatékot adó mágneses erővonalak fennmaradjanak. Ez a tekercs belső ellenállásán veszteségeket okoz, amit kompenzálni lehet azzal, hogy több érrel és/vagy vastagabb vezetékkel tekercselik meg a motort. Nagy fordulatszámnál ellenben a vasvesztés dominál, hiszen a vaslemezeket másodpercenként sokkal többször kell átmágnesezni, ami az ún. hiszterézis-vesztés (és a vaslemezben kialakuló örvényáramok) miatt egyre növekvő veszteséget jelent. Ez alacsony hiszterézisű, minőségi lemezeléssel és vékonyabb lemezekből összeállított tekercs-tesztel csökkenthető. Ha a motort jól méretezték, a kettő összege széles fordulatszám-tartományban közel állandó és elfogadható mértékű. Természetesen, ha az a cél, hogy alacsony fordulaton is nagy legyen a teljesítmény, mert egy sportkocsiról van szó, akkor már ekkor is jól fel kell pörgetni a motort, viszont így 2-300 km/h-nál a vasvesztés már az egekben lenne, így oda célszerű lehet berakni egy kétfokozatú sebességváltót. A *Teslánál*, ami egy utcai autó, ez abszolút nem indokolt; így is nyerő helyen áll a fogasztást illetően.

Megfordítva a motort, és lekapva róla a búrát, az invertert látjuk. Elsőre inkább tűnt valami idegen civilizáció termékének a szokatlan háromszögletű kialakítás miatt, bár lehet, hogy csak nekem volt ilyen hülye gondolatom tőle:

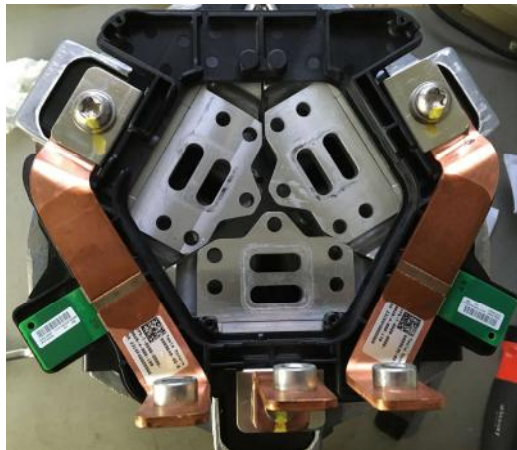


A videón kalapáccsal és csavarhúzóval bohóckodó kreténeknek már a véglap is feladta a leckét: a fotón ugyan nem látható, de egy csavart lehetetlen kiszedni, mert az erős réz sín pont felette megy el. Szó szerint felsírtam a videó láttán, amikor letépte a véglapot, én meg tudtam, hogy az a csavar ill. a fül most szakadt ki a helyéről. Nem árurolom el, hogyan kell szétszedni, mert az első kb. lehetetlen is: egy alkatrészt ki kell cserélni, mielőtt az ember nekiáll a kiserelésnek! Ha sikeresen leműtötte a réz síneket, egy EMI/EMC szűrőt talál alatta, meg egy feszültség-figyelőt. Ez az egész egység nagyon trükkös szerelésű, a teljes szétszedéshez párszor át kell forgatni. Ha pedig benézünk a helyére, eléggé látványos a kép:





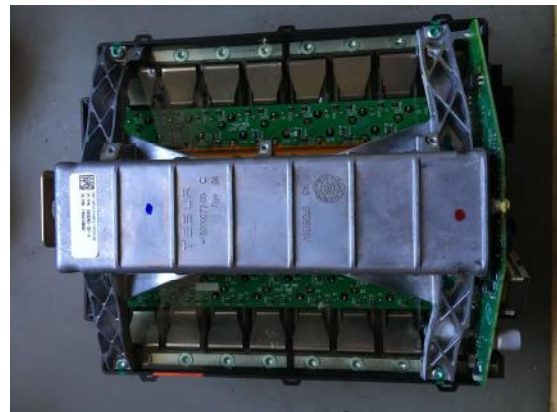
Megmondom őszintén, az első inverter szétszedésem engem is jól megizzasztott, mert nem látszott, mi fog mit. Trükkös ugyanis nagyon... A videón újfent cibálta az invertert a majom, végül letépte a motorról, mert a három fázis áramkivezető lemezének csavarja alaposan el van dugva valahova. ☺ Én szerencsére egészben le tudtam szedni elsőre is. Így néz ki szakszerűen leszedve (meg egy kicsit tovább bontva, hogy ne legyek túl hosszú):



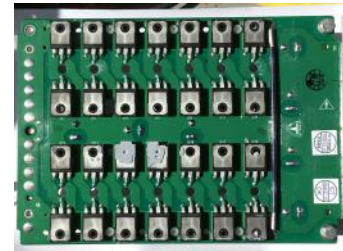
A 3x2 ovális furat a hűtővíz be- és kimenete a 3 független modulnak. A jobb és bal oldalon futó hosszabb réz sínek közepén pedig sönt-ellenállás csíkot látunk, ami lézeres hegesztéssel van a sínekhez hegesztve. A túloldalon rögtön felette van a mérőáramkör is, ami a hőfokát is méri. Ezt látjuk 4 és 8 óra irányában, zöld színnel kiállni. Végezetül 2 és 10 óra irányában van az a két csavar, amit az a majom simán letépett. Mennyivel egyszerűbb így kicsavarni, nem?

Magát a modult nagyon nehéz úgy fotózni, hogy lássuk, mi van benne. Konkrétan minden oldalról takarva van a lényeg:

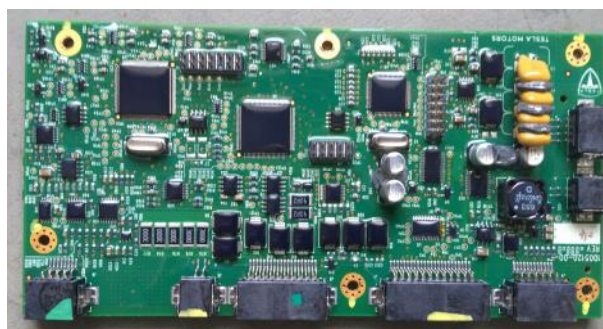
Fent egy „H” alakú alumínium tartó van, ami a gerincében tartalmazza az inverterek 400 μ F-os V_{bus} kondenzátorát; összesen 3 ilyen van benne, ami a 403V-os maximális feszültség esetén ~100 Joule energiát tárol. Ez úgy egy kispuska lőszer ereje: ha ez a képedbe robban a tesztelés közben, garantáltan kiviszi ez is a szemedet, ahogy az is. Alatta vannak a félvezetők 4 sorban, soronként 8-8 db; ebből a kondenzátor takarása miatt csak 8-8 látható, az ún. alsó oldaliak.



Mivel még nem bontottam szét egyet sem (mert egy sem volt még rossz), a *Tesla Roadster* végfokozatát mutatom meg, már ott is ugyanezt az elvet használták. Sima, kereskedelemben kapható félvezetőkből van összeállítva, max. annyi a trükk benne, hogy már nem a NYÁK lemezek vékony fóliáját használja áramvezető réteggként, hanem egy vékony galvánbevonatos rézlemez feszül a NYÁK felett, és ehhez vannak hegesztve a drain és source lábak.



A lényeg a merőlegesen álló, közel háromszögletű panelen van, ez az ún. *Gate Driver*. A kicsi panelnek legalább a fele a tápegységek sokasága, a 12V-on kívül további 5 tápfeszít állít elő a fényes kockával. A két soklábú IC a gate meghajtó, amit természetesen további FET-ek erősítenek, hogy az eredetileg 1 db félvezető meghajtására tervezett *gate driver* IC-vel végül 16 db párhuzamos félvezetőt tudjanak meghajtani. És ami szerintem a legszemetebb benne, az a rengeteg légyiszok méretű zenner dióda, amiktől agybajt kapok a visszarajzolás során. Nem mintha nagyon egyszerű menet lenne: a *Tesla* elektronikai (ahogy a fotón is jól látható) vastagon nyakon vannak öntve védőlakkal. Nem annyira a víz elleni védelem miatt, hiszen a csatlakozók védtelenek; inkább a magamfajta ellen védekeznek vele – közepes sikerrel. Kb. egy hónapomba került, mire találtam egy olyan oldószert, ami oldani ugyan nem tudja, de a polimer-vázat széthasogatja, így korpa módjára le lehet kapirgálni egy karctüvel. Aztán újabb fürdő 6-8 óráig, hogy felázzon az alatta lévő réteg is és újabb adag kapirgálás jön. Végül azért meglett a kapcsolási rajza, és ha javítani kínszenvedés is, diagnosztizálni már nagyon biztosan tudom, hogy melyik modul a hibás – és mivel hárman vannak, akár cserélhetők külön-külön is. Ellenben a processzor panelből csak egy van, és azt bizony még nem fejtettem vissza teljes mértékben:



Ahogy alul és jobb oldalt látható, elég rendezettség van az inverteren belül. A 24 pólusú, legnagyobb csatlakozóról vannak vezelve a *Gate Driver* panelek; a mellette balra lévő picit kisebbik megy az inverter végén lévő csatlakozóra, magára az autóra. Aztán a jobb szélén lévő megy az áramszenzorokra, a többi pedig a különféle hőfok-szenzorokhoz tartozik: van kettő a motor tekercselésében, három a félvezetők hőfokát méri, egy a bejövő, egy meg az elmenő hűtővizet. Végezetül még egy kis panel van elrejtve az inverterben, középpütt:



Ez az aprócska panel az ún. *Discharge* áramkör; ez süti ki az összesen 1200 μF -nyi kapacitást leálláskor, vagy üzemzavar esetén. A rugók alatt két ellenállás van TO247-es tokozással; maga a kapcsolóelem fent van a panelen.

Ha a *Tesla* nem védené ilyen kőkemény polimerizálódott szilikon lakkal az elektronikáit, élvezet lenne javítani! Nincsenek benne speciális, beszerezhetetlen alkatrészek, semmitmondó típuszámok, mint pl. egy *Bosch* elektronikában. Így első körben – amíg az oldószeres mókát tőkélyre nem fejlesztem – egyelőre csak diagnosztizálni tudom őket. Nagyon nem mindegy ugyanis, hogy motorhiba esetén ~1,5 millióért komplett hajtóművet cserélnek, vagy ~750 eFt-ért csak invertert vagy motort, vagy ha épp van bontott inverter (van), akkor elég csak modult kicserélni benne. És most kicsit hazabeszélek meg reklámozok, amikor a garanciaidőn túli javításra figyelmetekbe ajánlom **Zambelly Györgyöt**. (<https://teslavarazslo.hu/>) Neki ezúton köszönöm, hogy az általa kisserelt, javíthatatlan *Tesla* roncsokat eddig is felajánlotta nekem bontásra és tanulmányozásra. Természetesen üzleti okokból nem mindenből lesz cikk, de csak rátok vigyázok: aki kíváncsi, hamar megöregszik! 😊

Verzió: 1.00, 2019-10-28, Tata

Varsányi Péter E.V.

Tel: +36-20-942-7232

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

Email: info@varsanyipeter.hu