

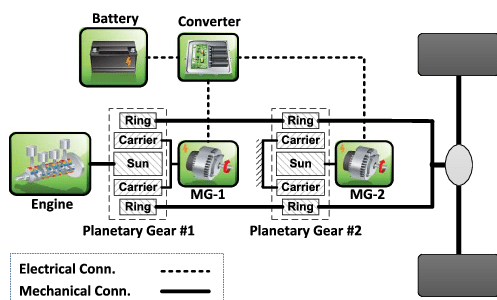
Toyota Prius Inverter

Valahol végtelenül megtisztelő, amikor középiskolai tanárok keresnek meg kér(d)ésekkel az elektromos autókkal kapcsolatban. Van ugyanis itthon pár középiskola, ahol már elkezdték tanítani a diákokat az elektromos autók javítására – és valljuk be, azért teljesen más világ egy elektromos autó, mint egy átlagos autó elektromos rendszere a generátorral és a gerjesztés-szabályzóval, meg a többi huszonéves technikával. Ezúton is bátorítok mindenkit, hogy ha oktatásról van szó, ne legyen rest megkeresni: tőlem nagyon távol áll az anyagiasság is, és a szakmai féltékenység is! A mélyen tisztelt egykori középiskolai tanárimért már nem sokat tehetek a köztünk lévő hatalmas különbség miatt: *Dominó Csaba* szakma-tanár úrból az iskolaigazgatóság után már kancellár lett, míg legendás magyartanárom, *Dr. Mohácsy Károly* már 11 éve nincs közöttünk. Neki köszönhetem, hogy pocsék helyesírásomból eljutottam oda, hogy nyilvános cikkeket merek írni – és bizony büntudatom is van, amikor kicsit trágárabba sikerül néhány megfogalmazásom. Biztos kapnék tőle a fejemre miatta...

Az egyik iskolától konkrétan azzal kerestek meg, hogy a tananyag részévé tennék a *Toyota Prius* (2009-2015) inverterét, annak javítását. Teszik ezt *Toyota*-specifikus „gyári” iskolaként, és azért is, mert a *Toyota* deklaráltan támogatja az általa gyártott elektronikák szakszerű belső (!) javítását azzal, hogy inverter-alkatrészeket is árul a javításhoz. Jöjjön hát a *Toyota G9200-47140* cikkszámú inverterének kicsit szakmaibb, kicsit konkrétabb szétszedése:

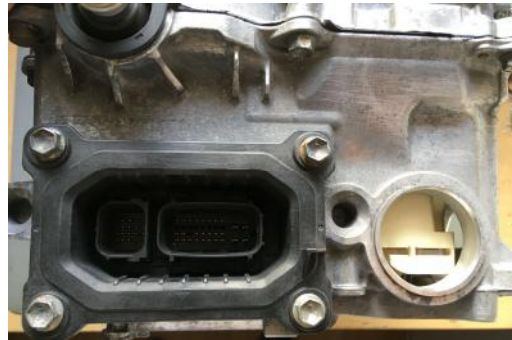


Anélkül, hogy ismerném a *Toyota Prius*-t, már ennyi fotóból sejtem, mi micsoda lehet. A jobb oldali képen látunk egy emeletet, ami külön cikkszámot is kapott, *G9201-47051* számon, és arra csatlakozik egy vastag kábel, ami csak a +12V lehet – tehát ez egy DC/DC konverter. A kábel eltávolítása egy makacs patent miatt eléggé küzdelmes volt, bár talán nem is volt szükséges. A kerek lyuk az ún. HVIL csatlakozó, és a vastag sínek miatt valószínűleg az akku csatlakoztatására szolgál, míg a két ovális lyuk egy-egy motorra megy a kettős inverterről. A *Toyota Prius* ugyanis hasonló elvi motor-konstrukcióval rendelkezik, mint az *Opel Ampera*:



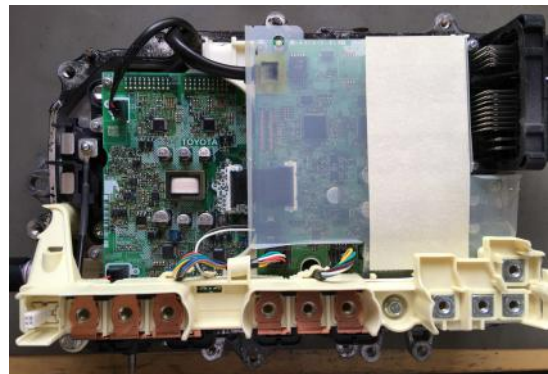
Ahogy az *Opel Ampera*-ban is, itt is két külön hajtómotor van, egy nagyobb/erősebb és egy kisebb. Ezeket egy összetett bolygókerekes lassító áttételből és kuplung-szerkezetből álló mechanika tudja egymás után kapcsolni, vagy összekötni a belsőégésű motor tengelyével, és ezzel különféle üzemmódokat tud létrehozni. Mivel írásaimban csak az elektronikákkal foglalkozok, erről nem is mondanék sokkal többet.

Az inverter oldalán van egy másik, kisebb kör alakú nyílás. Ide egy kisebb méretű biztosítékon át csatlakozik az akkufeszültség, így ez az ún. *Auxiliary* egységre mehet, gondolom a klímakompresszor lehet az. Ami kapásból feltűnik, az a mélyen ülő rendszer-csatlakozók, és annak a csavarozható fedele. Elsőnek ezt kell kiszedni, majd az inverter oldalán található két műanyag lapot is el kell távolítani, hogy az alatta lévő 5 db csavarkötéses kapcsolatot bontani tudjuk. Ezt követően az ún. „inverter ház kondenzátorral” nevű fedelet egyben le lehet emelni az inverterről.

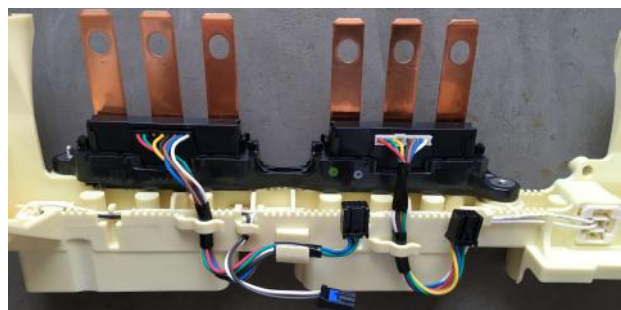
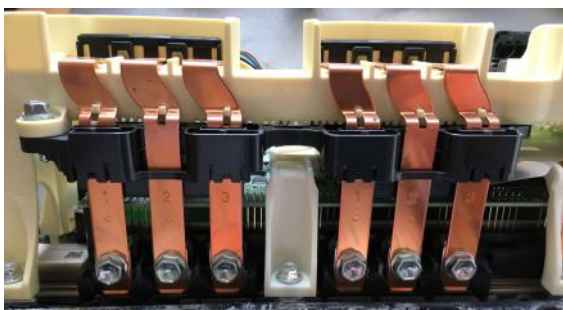


A kondenzátor egység meglehetősen szokatlan módon rengeteg kivezetéssel rendelkezik, ennek az az oka, hogy 3 független kondenzátort tartalmaz: a legnagyobb egység $888 \mu\text{F} / 750 \text{ VDC}$, a közepes $315 \mu\text{F} / 470 \text{ VDC}$, míg a legkisebb a fura $0,562 \mu\text{F} / 860 \text{ VDC}$ paraméterekkel bír a kondi fedelén található adattábla szerint. Ez utóbbi egy rezonáns kör tagja lesz, hiszen semmi más nem indokolja egy ilyen fura kapacitás-érték alkalmazását. A fotón az is jól látszik, miért kellett a két oldalsó műanyag ablakot is leszedni, és az 5 csavart a fedél leszedése előtt kicsavarni.

A fedél eltávolítása után ezt látjuk az inverter belsejében: alul 4 csavar tart egy kivezető síneket tartalmazó hidat; a két legfelső csavar csak az ún. áramváltókat rögzíti. Alatta a takarófólia alatt van az „MG vezérlő számítógép” nevű modul, ami az inverter lelke, egy kétprocesszoros vezérlőegység. Az alatt már az IGBT hidakat meghajtó vezérlőpanel látható, aminek a magyar megnevezése elég idióta: „teljesítmény modul intelligens tranzisztor készlet” – ezeket az idióta elnevezéseket amúgy a Toyota hivatalos szerviz-leírásából olvasom ki...



A kivezető sínekről is lőttem pár fotót, még összeszerelt ill. leszedett állapotban:



Jól látható, hogy a két áramszensor elektronikája szándékosan és feltűnően eltérő: az egyik fehér, a másik fekete csatlakozós, és a rögzítő csavarjuk is egy osztást el vannak tolva. Ennek az az oka, hogy a két motor eltérő teljesítményű, így eltérő érzékenységű áramváltókat kell a sínekre rakni. Spórolási okból csak két fázis árama van mérve, hiszen a harmadik számolható.



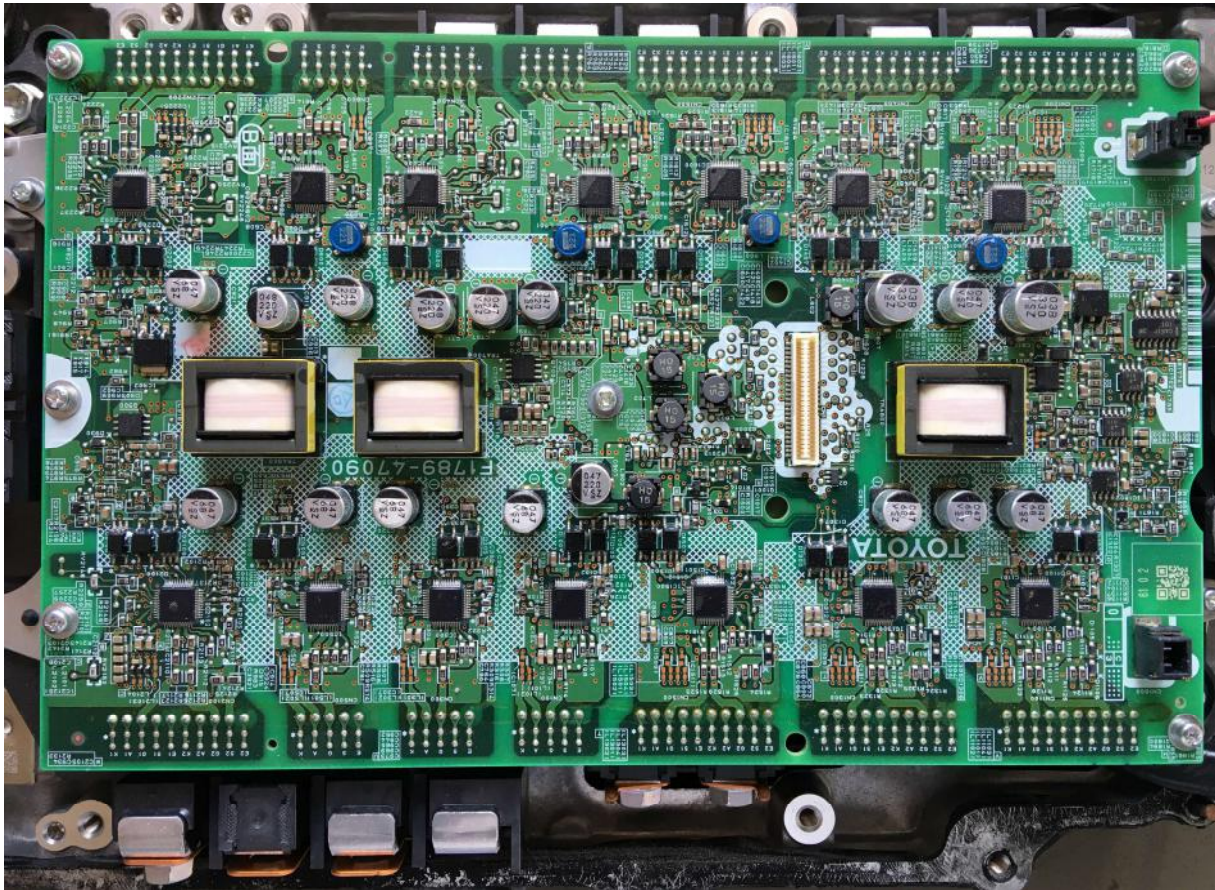
Az egyik áramszenzort kiszedtem a fotózáshoz: szokatlan módon nem egy, hanem két Hall-elem van benne mind a két fázishoz; ezek a NYÁK lemezen lévő lyukakban látszanak, és a panel túloldalára vannak forrasztva. A mágneses tér pedig az ún. *hiperszil* (vékony fémszalag feltekercselve és felvágva) vasmagok hornyaiban alakul ki. A két $\mu PC4570$ típusú, alacsony zajú, dupla műveleti erősítő pedig csak arra szolgál, hogy a kimenő jel erősebb, zavarvédettebb legyen.

A kivezetések leszerelése, és az elválasztó lemez eltávolítása után a vezérlő panelt látjuk:



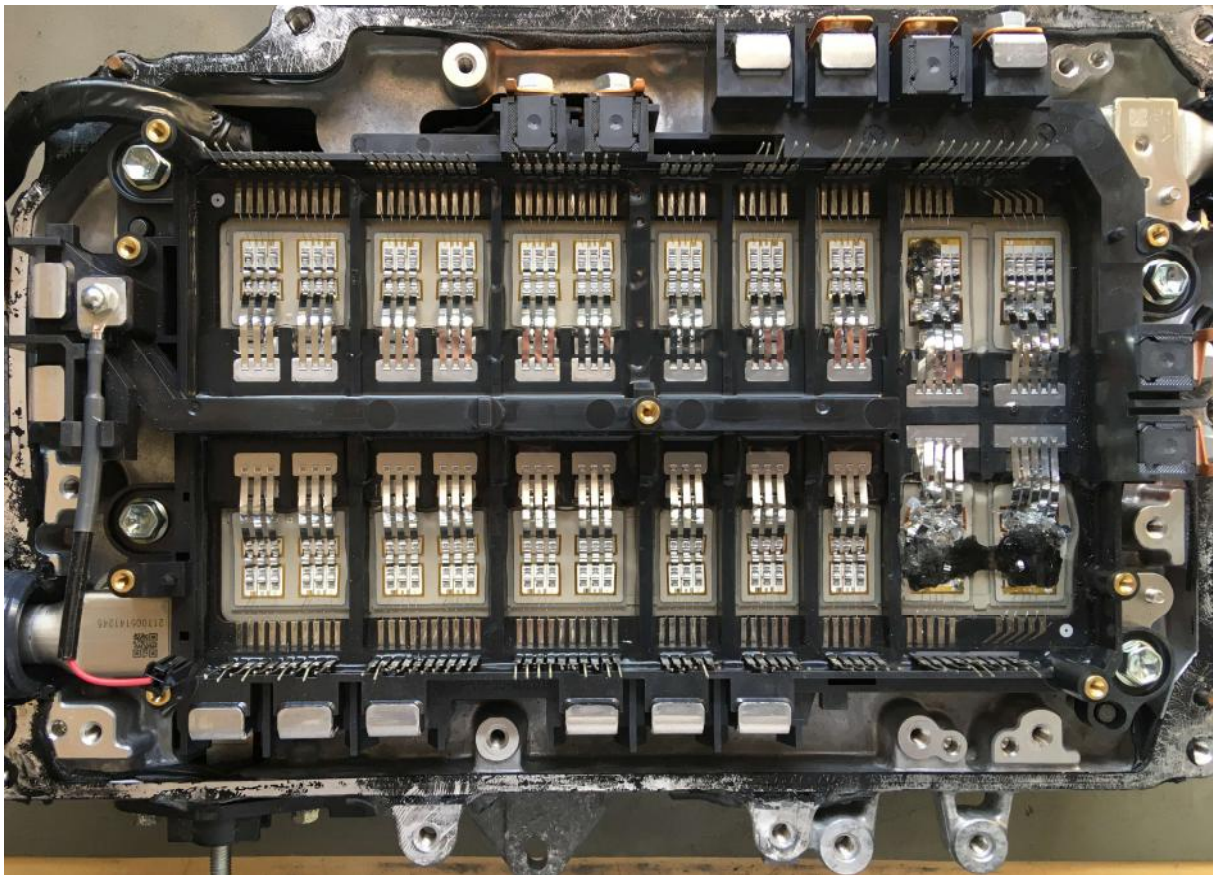
Sajnos a távol-keleti (japán) elektronikák nagyon nehezen fejthetők vissza, mert sok olyan alkatrészt használnak, amiről adatlap nincsen, vagy ha van is valami, az is japán nyelvű. Így pl. hirtelen semmit sem találtam a *NEC 76F0080GC* típusú processzorról, amiből kettő is van; vagy a *4M27 / SE874 / D G* típusszám nekem még annyit se mond, hogy melyik a típusszám, és melyik a gyártókód/gyártási idő. Abból azonban, hogy körbe van véve tápegységekkel, alig van bekötve pár lába, és abból is több FET-ek Gate lábára megy, nem kétséges, hogy egy több kapcsolóüzemű tápegységet vezérlő speciális (akár egyedi) tápvezérlő IC-ről van szó. A panel túloldalán is alig találni alkatrészt, két körbe-lábas (TQFP) vezérlőt leszámítva; ennek meglelt az adatlapja is: *TAMAGAWA AU6802N1* típusszám alatt két *Resolver To Digital* konvertert tartalmaz a panel. Ezek magyarra fordítva a motorok forgás-érzékelőinek jeleit fogadják. Kiad egy vezérlő szinuszos jelet, amit erősítés után rávezetnek egy forgó tekercsre, majd két álló tekercsen veszik a szinuszjelet. Az ún. SIN és COS tekercseken lévő szinuszjel amplitúdója az eredeti gerjesztő jelhez képest megadja a motor tengelyének elfordulását, mégpedig nagyon pontosan: a fenti chip akár 10-12 bitnyi, azaz 1/1024 vagy 1/4096 fordulatot tud érzékelni – ez fokokba átszámítva 0,0879°!

Miután a processzor panelt is eltávolítottuk, már magát az „*intelligens tranzisztor készlet*” nevű egységet látjuk. Ilyenkor azért szívesen leápolnám a fordítót egy fa testápolóval (gy. k.: baseball-ütővel), merthogy az *IGBT*-ben az I betű az nem *intelligens*-et jelent, hanem *Isolated Gate Bipolar Transistor*-t, azaz szigetelt kaput, magyarul FET-bemenetű hagyományos tranzisztort. Nem tudom, mi más intelligencia lehetne egy driver panelben, merthogy ez az; a processzor paneltől megkapja a külön kapcsoló jeleket, és esetleg visszaküld egy vagy több hibajelet, pl. hogy telítési tartományban van a félvezető (zárlat érzékelés), vagy túlmelegedést érzékel. Sőt, igazából már az optocsatolók elhelyezkedése is árulkodó: minden meghajtó chip fele van egy gyors, 5 lábú opto (az a kapcsoló jel), és egy lassú, 4 lábú opto (az a hibajel).



A fotót azért raktam be ekkorában, mert voltak olyan kedvesek a *Toyotá*-nál, hogy még az IGBT lábait is feliratozták: az A: anód, K: katód, G: gate, E: emitter, S: sense (áramérzékelő láb). A panelen általam beazonosíthatatlan DF047 típusjelzésű IGBT meghajtók vannak, ezek egyedi *Toyota* alkatrésznek tűnnek. A számuk is árulkodik: 7 felső, és 7 alsó oldali meghajtás van a panelen. A 3 db transzformátor is árulkodik, ezek szerint 3 teljesen független inverter áramkört tartalmaz ez a panel. Az optocsatolók alsó és felső sora közötti áramkörök csak ezen tápegységek kiegészítő alkatrészei, FET meghajtók, FET-ek, a panel túloldalán meg diódák sora. Mivel leszedni kb. esélytelen a panelt, annyi beforrasztott lába van, ezért barbár módon csípőfogóval végigvágтам. (Megjegyzem gyorsan, hogy lehetne oda csatlakozót forrasztani a kivezetések helyett, a kivezetések széles csonkjaira meg lehetne tűskesorokat forrasztani, így egy dugaszolható, és akár üzem közben is tesztelhető tesztpanelt lehetne belőle csinálni.)

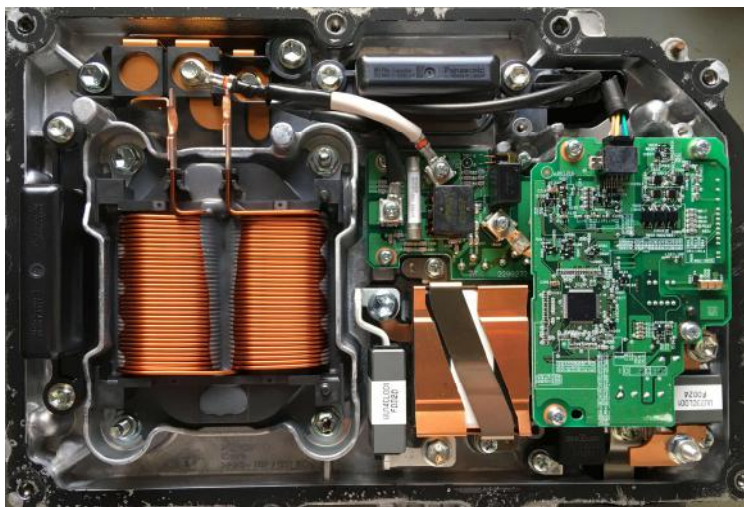




Azt hiszem, a fotón már mindenki látja, mi a baj: a jobb oldali IGBT-k igencsak odaégtek! Mivel ez most egy iskolai projekt, nem ragadunk le a katasztrófa-turizmus szintjén, hanem folytatjuk az inverter részletes analizését. Bal oldalt látunk 3 db dupla IGBT-t fent és lent. Ez az erősebb hajtómotorhoz tartozó háromfázisú IGBT híd részei. Minden kapcsolóelem egy IGBT-ből és egy, a középvonalhoz közelebbi, keskenyebb, gyors szabadonfutó diódából áll, és ezek vannak kettesével közösítve. Összesen tehát 12 db IGBT, és 12 db dióda csatlakozik a hibrid bal alsó sarkán látható 3 db kimenetre. Tőle jobbra ugyanúgy 3 db, de ezúttal simpla IGBT-t látunk fent és lent; ezek az alul, középen látható 3 db csavar-tuskóra csatlakoznak. Az alsó- és felső oldali IGBT-k között – ez a fotón sajnos annyira nem jön ki – egy magasított gerinc fut végig a fotó bal oldalán lévő két csavar-tuskóra, ahol bejön a közös nagyfeszültség a nagyobbik és kisebbik háromfázisú hídra. A csavartuskó felett egy hőérzékelő is van, ami a réz sín hőfokát méri, és ezzel közvetett módon az IGBT-k hőfokát is, elvégre a réz nem csak az elektromosságot, hanem a hőt is jól vezeti. Megjegyzem, nagyon szokatlan ez az indirekt hőmérséklet-mérés; a hibrideken általános, hogy a chipek mellett helyeznek el egy vagy több, akár 6 vagy 12 db hőellenállást, de itt egyet sem látok. Látok viszont a felső oldal közepén két csavar-tuskót. Most kicsit előre szaladok, de a DC/DC oldalán van az oda csatlakozó kondi; itt egy 0,582 μ F-os zavarssűrő kondenzátor van, hogy minél közelebb legyen az IGBT-khez:



És igen, eljött végre a pillanat, hogy a füstös végéről is ejtsék pár szót! A *Toyota* hibrid autói nagyon korai fejlesztések, még nem a ma elterjedt *lítium-ion*t, hanem egy korábbi akku generációt, a *NiMH* (*nikkel-metálhidrid*) akkukat használja. Bár energia-sűrűségben és egyéb paramétereiben annyira nem rosszak, van egy roppant rossz tulajdonságuk: szó szerint beléjük kell nyomni az áramot töltéskor! Míg a lítium akkuk általában 2.8-4.2V-ot adnak le kisütéskor és ugyanennyit kérnek töltéskor is, a *NiMH* akkuk 0.8÷1.2V-ot adnak le, de töltéskor 1.4÷1.6 voltal kell őket tölteni; ez csaknem a duplája a kisütéskori cellafeszültségnek. Emiatt kell egy ún. Step-Up fokozat az inverterbe, hogy a fékezés kori visszatáplálás során megduplázza a motorról lejövő feszültséget. 20-40% pluszt egyéb trükkökkel is elő lehetne állítani, de dupla feszültséget már nem. Ezért ahogy a korábban általam szétszedett és bemutatott *Toyota Lexus* inverterben, úgy ebben is megtaláljuk ezt az induktivitásból és IGBT félhídból álló kapcsolást – mégpedig fele részben a DC/DC modulban. Nincs mese, most kicsit ugrálni fogok, és arról is lövök már egy fotót:



A fotó bal oldalán láthatunk egy hatalmas nagy induktivitást, hővezető műgyantával az alu öntvénybe ragasztva. Ez egy 215 μH induktivitású, ki tudja, hány száz amperes induktivitás: a fotón nem látható módon ugyanis ez nem vékony rézdrótból, hanem élére állított réz sínből (!) van megtekercselve ilyen látványos, esztétikus módon. És ha már itt tartunk, a fotó tetején vízszintesen szerelve látható az előző oldalon említett 0,582 μF -os zavarssűrő kondenzátor is.

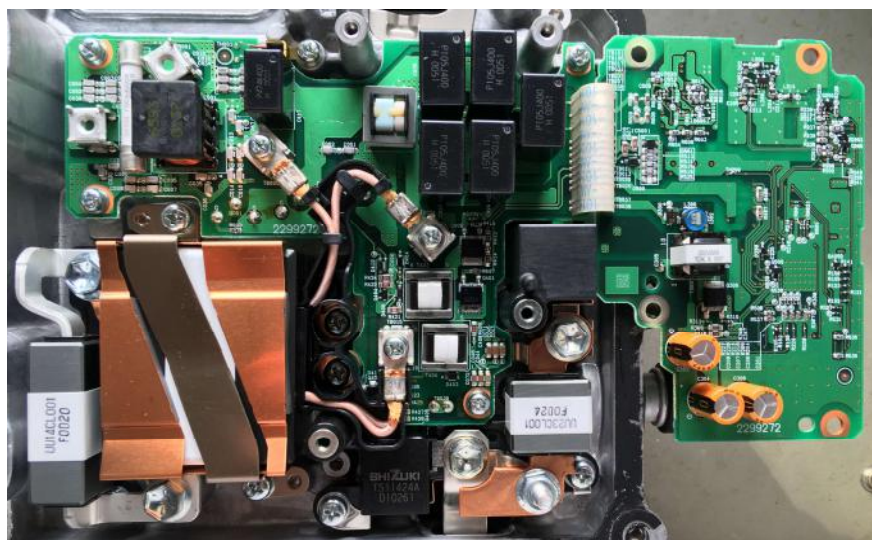
Visszatérve az IGBT hibridre, annak égett részére, itt egy félhíd van, azaz egy alsó és felső oldali IGBT-ből álló kapcsolás; mindkettő két félvezetőből áll, és ha megnézzük a bondolást (a chipet bekötő fémszalagokat), nem is 3, hanem 5 bondoló szalaggal vannak bekötve. Így ezek ketten kb. 3x akkora áramot tudnak, mint a kisebbik háromfázisú IGBT híd, vagy 1,5x akkorát, mint a nagyobbik. A jobb felső sarokban lévő négyes csavar-tuskó sorból a két jobb oldali megy az induktivitásra, ezek az IGBT-k ezekre csatlakoznak – és ennek is van egy saját zavarssűrő kondenzátora, ami az IGBT hibrid jobb oldalán látható, a fenti DC/DC-t ábrázoló képen meg bal oldalt függőlegesen helyezkedik el. Kapacitása-feszültsége 0,8 μF / 900VDC.

Így már minden klappol! Az IGBT hibridben láttunk 2 db háromfázisú és egy ún. félhidat, azaz 3+3+1 kapcsolóelem van – és 7 db meghajtó chip volt a driver panelen fent is, és lent is; összesen 14 kapcsoló, 14 meghajtó. Hogy a „félhíd” miért nem „egyfázisú híd”, ha a 3 félhíd meg „háromfázisú híd”? Nos, egyszerűen fogalmazva az egyfázisú hidakban ugye a nullát és a fázist is szokták kapcsolni, tehát valójában kettő darab félhídból áll; más szavakkal teljes hídnak is nevezik emiatt. Így aztán oda kell figyelni, mert 1 / 2 / 3 db félhídről beszélünk...

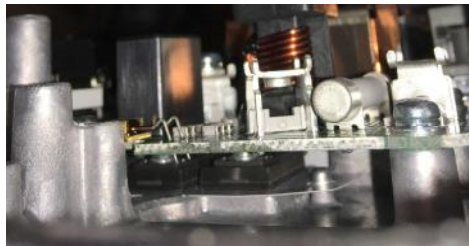
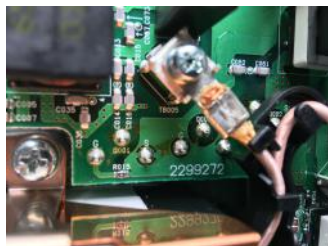
No, miután kiveséztük a „teljesítmény modul intelligens tranzisztor készlet” nevű egyetlen alkatrészt, jöjjön a feketeleves: drága! Nem kicsit, nagyon... Először is egyben tartalmaz 7 db félhidat, így bármelyik meghibásodik, egyben kell cserélni, nem lehet csak a rossz félhidat vagy akár a háromfázisú hidat külön cserélni. Másodszor van ezer lába (na jó, helyesbíték: 110 db forrasztott lába van, megszámláltam), így leszedni sem lehet róla a meghajtó panelt; ami amúgy is tele van beazonosíthatatlan és beszerezhetetlen alkatrészekkel. Tehát egy hiba esetén ezt az egész hibridet kell cserélni egyben – a cikkszáma 04899-47021, az ára meg 280 eFt nettó. Kettőszáznolcvanezer. És mi megy tönkre egy inverterben? A hibrid mindig! Az tartalmazza az összes ún. aktív elemet. Most erre mit mondjak? Egy *BMW I3* vagy egy *Volvo V60 PHEV* kereskedelemben külön kapható, szabványos IGBT hibridet tartalmaz. Bontottan néha egész olcsón lehet kapni, mert felhasználják frekvenciaváltókban, liftekben is. Egy *Opel Ampera* ellenben két, újonnan már nem beszerezhető hibridet tartalmaz, de egy rossz inverter mindig tartalmaz egy jó IGBT modult is, így két rosszból össze lehet rakni egy jót. A *Toyota* ezzel a komplett hibriddel eléggé magasra tette a szervizköltséget, de legalább javítható. Az igazi horror a *Mercedes S250-S400*-as hibridje, amihez a *Mercedes* külön nem árul IGBT hibridet (Szét se szedd az inverterüket, mert infarktust kapnak még a gondolatától is!), a gyári új inverter meg 2,5-3,5 millióba kerül. Szóval ott egy ilyen kis kormolódás kb. azonnali GTK, gazdasági totálkár. Szóval ennél még mindig jobb 280 eFt-ért valami. (Plusz a csere munkadíj és az inverter kiszerezés-beszerezés, plusz garancia-vállalás, plusz ÁFA, SZJA, stb...) No, kimorogtam magam; inkább mutatom a legutolsó szintet, a hibrid és az alu doboz fenekét:



A jobb oldali képen látható, hogy a „filléres” hibridhez még a vízűtés is jár, ami a másik oldalával hűti a *Step-Up* induktivitását, és a DC/DC konverter áramkörét. És ha már szóba került az is, most már arról is szölgünk pár szót – feleslegesen! Két éve javítok ugyanis eCar modulokat, de hibás DC/DC elvétve került hozzám. Nagyon ritkán mennek tönkre...



Az előző oldalon lehetett látni a DC/DC vezérlőpaneljét, amin egy TQFP tokos *SC1012P* az egyetlen lényeges alkatrész – és amelyről szintén semmit sem lehet tudni. Ennyire belterjes a japán elektronika! Ezt a panelt kifordítva se sokkal több látszik. A bal felső sarokban lévő két csavartuskón bejön a nagyfesz, némi filterelés után pedig egy rezonáns konverterre jut; ezt a kép közepén, fent lévő 5 db fekete, minőségi kondenzátor árulja el – mint ahogy a trafónak is 3 (jobban megnézve 4) primer kivezetése is van, azaz van benne rezonáns tekercs is. Ennek elméleti boncolgatásába nem mennék bele, lényegtelennek érzem; a lényeg annyi, hogy az ún. rezonáns konverterek bonyolultabbak, nehezebben szabályozhatók, drágábbak, cserébe jobb a hatásfokuk és kevésbé melegszenek, mint a hagyományos, ún. *hard-switching* konverterek.



A 3 db kapcsolóelemet (ezek is IGBT-k, csak nem hibridként, hanem diszkrét alkatrész formájában vannak beépítve) a NYÁK alatt találjuk; a panelen a 3 db G / S (Gate / Source) betű árulja el a helyüket. A harmadikat a vezeték sajnos pont takarja, csak a forrszeme látszik. Illetve oldalról benézve látjuk is, hogy „bennszülött” lett, azaz felcsavarozták, utána lettek a lábai beforrasztva, tehát könnyen már nem lehet szétszedni, ezért sem erőlködtem vele.

A konverzió végén kijövő 12VAC két ferrites zavarászűrő-fojtón halad át, a ~100A-es áram miatt vastag síneken; ezeken van a fehér cetli *UUxxCL001* felirattal. Az egyenirányítást az alul közepén lévő fekete, *SHIZUKI TS11424A* feliratú, megtalálhatatlan adatlapú dióda végzi. A kapcsolás utolsó eleme egy fekete, felirat nélküli kocka a kép közepén, csavarhellyel, ami csak egy 50 μ F-os impulzus kondenzátor, ami a kapcsolási tranzienseket hivatott kisimítani. Hát ennyi mindössze egy DC/DC konverter.

Egyetlen egy apró alkatrész maradt már csak hátra: a *Discharge* ellenállás, ami az inverterbe beépített 3+2 db nagyfeszültségű kondenzátor kisütését végzi – állandó jelleggel! Nem fárasztották magukat azzal, hogy egy külön kapcsolóval kapcsolják, ha leállt az inverter működése. Mivel ebből láttam már szakadtat is, ésszel nyúlunk az inverterbe, mert rázás élményben lehet részünk...



Ez volt a „házi feladat” a tanár úrnak, remélem hasznát tudja venni az oktatás során! A leendő fiatal konkurenciáimnak meg csak azt üzenem, hogy üdvözlöm őket a fedélzeten!

Verzió: 1.00, 2019-11-01, Tata

Varsányi Péter E.V.

Tel: +36-20-942-7232

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

Email: info@varsanyipeter.hu