

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar
Tudományos és Művészeti Diákköri Tanács

Pécsi Tudományegyetem
Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar
Villamos hálózatok Tanszék

Az akkumulátor valós kapacitásának vizsgálata

Készítette: Csikós Flórián
Évfolyam: 4.

Belső konzulens: Dr. Kvasznicza Zoltán
Beosztása: egyetemi docens, szakvezető

Külső konzulens: Baráth Balázs
Beosztása: mérnök

Pécs
2024

Absztrakt:

Az elektromos autózás egyre nagyobb teret hódít, így fontos a megfelelő diagnosztikai mérések kifejlesztése, különösképpen a megnövekedett elektromos rendszerre nézve. Az elektromos rendszer legfontosabb része a nagy feszültségű lítium-ion akkumulátor. Az akkumulátor állapotának figyelemmel kísérése alapvető fontosságú a meghibásodások elkerüléséhez és az akkumulátor élettartamának meghosszabbításához, mivel ezek az akkumulátorok idővel degradálódnak a ciklusok számától, az üzemeltetési hőmérséklettől és a töltési szokásoktól függően. Dolgozatomban egy Volkswagen e-Golf lítium-ion akkumulátorának érintésmentes diagnosztikáját és kapacitáscsökkenésének elemzését mutatom be a CAN hálózaton keresztüli adatvétellel. A kidolgozott módszer segítségével az akkumulátor állapotát és teljesítményét megbontás nélkül lehet elemezni, ami hozzájárul a fenntarthatóbb és gazdaságosabb járműhasználathoz. A mérési eljárások során az állapotmutatók (State of Health – SOH és State of Charge – SOC) értékeit elemeztem. Az eredmények a diagnosztikai eszközök használatának optimalizálását és az akkumulátorok jövőbeli karbantartási lehetőségeit is bemutatják.

Kulcsszavak: Lítium-ion akkumulátor, akkumulátor diagnosztika, hibafeltárás, akkumulátor kisütés, kapacitás mérése, CAN hálózat

Abstract:

As electric motoring becomes more and more widespread, it is important to develop appropriate diagnostic measurements, especially for the increased electrical system. The most important part of the electrical system is the high voltage lithium-ion battery. Monitoring battery condition is essential to avoid failures and extend battery life, as these batteries degrade over time depending on the number of cycles, operating temperature and charging habits. In my project, I present the contactless diagnostics of a Volkswagen e-Golf lithium-ion battery and analyze its capacity degradation through data acquisition via the CAN network. The developed method allows to analyze the battery status and performance without disruption, which contributes to a more sustainable and economical vehicle usage. The measurement procedures include the analysis of the values of the state of health (SOH) and state of charge (SOC) indicators. The results will also provide insights into the optimisation of the use of diagnostic tools and future battery maintenance options.

Keywords: lithium-ion battery, battery diagnostics, fault detection, battery discharge, capacity measurement, CAN network

Tartalomjegyzék:

Tartalomjegyzék:.....	4
1. Bevezető	6
1.1. Célkitűzés.....	6
2. Elméleti áttekintés	7
2.1. Akkumulátor	7
2.2. Lítium akkumulátor felépítése	8
2.3. Lítium-ion akkumulátor működése.....	8
2.4. Lítium-ion akkumulátor előnyei	9
2.5. Lítium-ion akkumulátor elhasználódásának jelei	10
3. Az akkumulátor kapacitás meghatározása.....	11
4. Belső ellenállás mérése.....	13
5. Feszültségés és az akkumulátor állapota.....	14
6. CAN hálózat	14
6.1. Jellemzői	14
6.2. Analóg és digitális jelek.....	15
6.3. Fizikai réteg	16
6.4. Üzenetkeret felépítése.....	18
6.5. Arbitráció	19
7. Fedélzeti diagnosztika bemutatása	19
8. EOBD-csatlakozó	21
9. Belső rendszerek felépítése	22
10. A vizsgált autó akkumulátora	23
11. Mérés ismertetése	25
12. CAN Hub bemutatása	25
13. Kvaser Memorator R SemiPro.....	26
14. Utasítás küldése és fogadása CAN hálózatba	27

15.	Kérőkód meghatározása.....	28
16.	Simulink modell felépítése	29
16.1.	Kapott adatok dekódolása	30
17.	Kvaser CanKing.....	32
18.	A mérés menete.....	33
19.	A mérési adatok feldolgozása	36
19.1.	Az egészségi állapot meghatározása SOH.....	36
19.2.	A kisülési és a kezdeti feszültség vizsgálata	37
19.3.	Két mérés azonos töltöttségi szinten való összehasonlítása	40
19.4.	Cella feszültségek és az akkumulátor feszültségének összehasonlítása az első mérésben	41
20.	Összegzés.....	42
	Irodalomjegyzék	44
	Ábrajegyzék	47
	Táblázatjegyzék	49

1. Bevezető

Napjainkban az elektromos közlekedés egyre nagyobb teret hódít, azonban nem kapunk annyi információt autóink komponenseiről, mint a belső égésű társaiknál. A belsőégésű motoros járművekben a motorunk pontos típusa, alkalmazott üzemanyagfajta, esetleg még a szelepek száma is könnyen hozzáférhető. Ezzel szemben elektromos autóknál ezek az adatok nem érhetők el, mint ahogy az sem, hogy egyen vagy váltó áramú villanymotort alkalmaztak a jármű hajtásláncában. Felhasználás szempontjából ennek ismeretére már nincs is szükség, mivel az esetek többségében váltó és egyenárammal is tölthetők, ugyanis az inverterünk a számára megfelelőre alakítja. Autóink a szükséges energiáját az akkumulátorában tárolja el. Fogyasztói szempontból sokkal fontosabb adat az akkumulátorunk töltöttségi szintje (SOC – State of Charge), kapacitása, az akkumulátor kapacitásának állapota a gyártáskori kapacitáshoz képest (SOH – State of Health), valamint az állapota. Utóbbi két adatot nem egyszerű autóinkból kinyerni, pedig fontos információk autóink állapotáról. Ezen adatok meghatározásához mindenképp egy mérést kell végrehajtanunk.

A lítium-ion akkumulátorok öregedése nem előre jelezhető, erősen függ a használatától, működési hőmérséklettől, a töltési és kisütési ciklusoktól, valamint az SOC időbeli alakulásától. Az öregedés jele a belső ellenállásának a növekedése, valamint a kapacitás csökkenése az új állapotához képest. Az öregedés minimálisra csökkentéséért a megfelelő akkumulátor modellek kifejlesztése és használata elengedhetetlen, továbbá szükséges az akkumulátor optimális és biztonságos működéséhez. Az említett adatok BMS (Battery Management System) rendszerbe való integrálása elérhetővé teszi az SOC és az SOH becslését [1].

1.1. Célkitűzés

Szakdolgozatom célja az akkumulátor jelenlegi valós kapacitásának meghatározása a kapott erőforrásokkal, a lehető legpontosabban és leghitelesebben. Munkám során az öregedés hatására bekövetkező kapacitás csökkenését tanulmányoztam. Az akkumulátor állapotára a kapacitásából és a belső ellenállásából a legegyszerűbb következtetni, viszont egyetlen akkumulátormodul paramétereit megmérni az akkumulátorblokkon belül nem egyszerű, sok esetben szétszereléssel jár. Ez a folyamat időigényes és bonyolult, továbbá fontos biztonsági előírásokat is be kell tartani.

Ezért tartottam fontosnak egy szétszerelés és egyéb bonyolult eszközök nélküli mérési módszer kidolgozását, amit a későbbiekben ismertetek.

Amennyiben az akkumulátormodulok hiba diagnosztikáját megbontás nélkül el tudnánk végezni és csak a hibás modulokat cserélnénk, a többit pedig tovább használnánk, az nem csak gazdasági, hanem fenntarthatósági szempontból is megtérülne. Mindezek mellett az akkumulátor megbízhatósága is javul [2].

Összefoglalva a célom egy olyan mérési rendszer kidolgozása és végrehajtása, ahol az akkumulátor paramétereiket a jármű vezérlőjéből (ECU- Engine Control Unit) az OBD csatlakozón keresztül kérjük le a későbbi akkumulátorállapot-becslésére.

2. Elméleti áttekintés

2.1. Akkumulátor

Az akkumulátor feladata a villamos energia vegyi energiában való tárolása. Minden esetben közvetlenül csak egyenáram tárolására alkalmas. Léteznek elsődleges és másodlagos akkumulátorok. Elsődlegesről akkor beszélünk, amikor az akkumulátor nem tölthető újra, mert a kisütési folyamat során a fellépő kémiai lebomlás nem reverzibilis. Ezzel szemben a másodlagosnál ez a folyamat visszafordítható, így fordított áramot kapcsolva rá képes visszanyerni töltését. Több megvalósítás létezik, ezek közül néhányat az alábbi táblázatban összehasonlítottam (2.1. táblázat): [5]

	Feszültség [V]	Energiasűrűség [Wh/kg]	Teljesítmény [W/kg]	Ciklusok [db]	Élettartam [év]
Ólom-sav (Pb-Ac)	2,1	30-40	180	<350	3-20
Nikkel- kadmium (Ni-Cd)	1,2	40-60	150	1500	-
Nikkel- fém-hibrid (Ni-MH)	1,2	30-80	250-1000	1000	-
Nikkel- hidrogén (NiH₂)	1,5	75	-	20000	15+

Alkáli	1,5	85	50	100-1000	<5
Lítium- vasfoszfát Li-FePO₄	3,25	80-120	1400	2000+	
Lítium-ion (Li-ion)	3,6	160	1800	1200	2-3
Lítium- polimer (Li-Po)	3,7	130-200	3000+	500-1000	2-3
Lítium- kén (Li-S)	2	400	-	-	-

2.1. táblázat: Akkumulátorok összehasonlítása
[5]

2.2. Lítium akkumulátor felépítése

A továbbiakban a lítium akkumulátort ismertetem, mivel a mérésekre használt Volkswagen e-golf-ban ilyen típusú akkumulátor van. A lítium-ion akkumulátor vagy lítium akkumulátor lítiumvegyületek alapján működő tárolóeszköz. A lítiumot használhatjuk tiszta vagy kötött formában is. Alapvetően különbséget kell tenni az elsődleges (nem újratölthető) és a másodlagos (újratölthető) lítium-ion cellák között.

Egy cella három fő részből áll, az anód, a katód és az elektrolitfolyadék. Anódként a grafit a legjobb választás, ezzel szemben a katód anyagának meghatározásakor különböző szempontokat kell figyelembe venni, mert hatással van az élettartamra a töltési időre és a teljesítményre. Katódként gyakran vasat, mangánt, kobaltot vagy nikkelt használnak.

Az elektrolitfolyadék is többféle lehet, szerves oldószerből és vezetőképes lítiumsóból áll.

A kapacitása és cellafeszültsége a NiCd akkumulátorokénak kétszerese [6].

2.3. Lítium-ion akkumulátor működése

A lítium-ion akkumulátor méretét a teljesítménye határozza meg. Minden egyes cellának pozitív és negatív elektródája van, azaz anód és katód. Közöttük található az ionvezető elektrolit, ami garantálja a lítium-ionok áramlását az anód és katód között, a töltési vagy kisütési folyamat során.

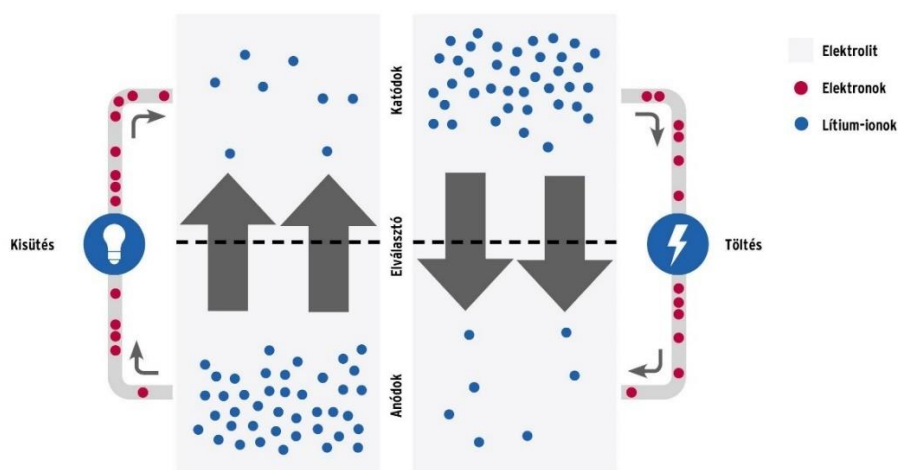
A rövidzárlat megakadályozása érdekében az anód és katód között szükség van egy úgy nevezett elválasztóra. Az anód oldalon lítium-ionok és elektronok szabadulnak fel kisütéskor.

Az elektronok a külső áramkörön átfolyva villamos munkát végeznek. Ezzel egyidejűleg a lítium-ionok a folyadékon és az elválasztón keresztül a katódra áramolnak. Töltéskor ez a folyamat játszódik le fordítva (2.1. ábra).

Felhasználástól függően az akkumulátor anyaga és szerkezete változhat. Az elektrolit lehet egy polimer film molekulaszervezetbe ágyazva, akár csak a lítium-polimer akkumulátoroknál. Előnye, hogy nincs szükség külön elválasztóra, továbbá lapos kialakítást tesz lehetővé. Alkalmazzák laposelemekben, mobiltelefonokban és laptopokban. Hátránya a kis kisülési áram.

Létezik egy megoldás, ahol az elektrolitot egy ionvezető üveggel helyettesítik, ezáltal lehetőség nyílik lítium fém használatára és még nagyobb energiasűrűséget érhetünk el [6].

Előnye, hogy a kimerült cella is képes legalább 3 V-ot szolgáltatni, míg teljesen feltöltött állapotban mintegy 4 V a cellafeszültség. Ezek mellett a súlya is alacsony és kristályok sem képződnek.



2.1. ábra: Lítium-ion akkumulátor működése [6]

2.4. Lítium-ion akkumulátor előnyei

Az e-mobilitásban számos kísérleti akkumulátor létezik, ilyen a szilárd elektrolitos lítiumakkumulátor, a lítium fém, a nátriumion akkumulátor és a lítium-kén akkumulátor.

Közös jellemzőjük, hogy valamelyik paraméterükben messze alul maradnak a jelenleg használatban lévő Li-ion akkumulátorokkal szemben.

- SÚLY ÉS MÉRET

Mivel energiasűrűsége az egyik legnagyobb ezért azonos energiasűrűség mellett a mérete is kisebb társaihoz képest.

- HATÉKONYSÁG

Energiasűrűségük 2,5-szer nagyobb, mint a nikkell-fém-hibrid akkumulátoroknak.

- TARTÓSSÁG

Kapacitása ennek a fajta akkumulátornak is csökken, de 500-1000 töltési ciklus és hosszú élettartam jellemzi.

- ALACSONY ÖNKISÜLÉS

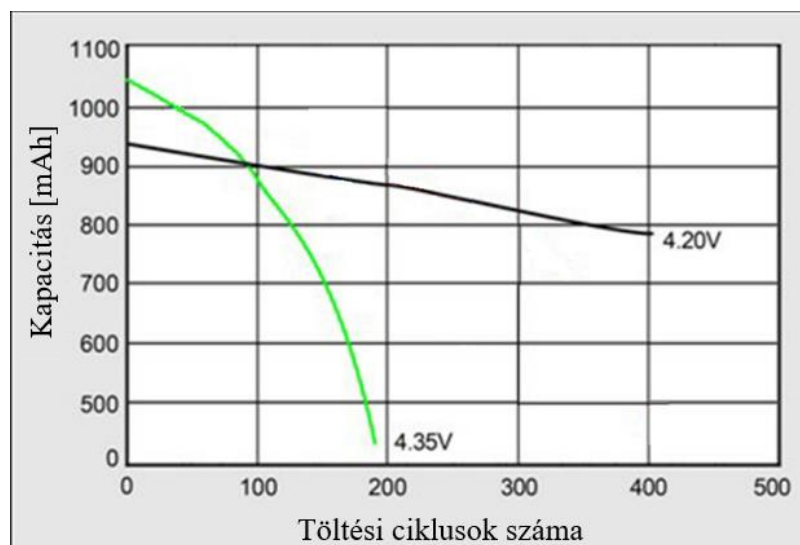
Egy hónap alatt az önkésülése alacsonyabb mint 2%, állandó hőmérsékleten mérve.

- ÚJRATÖLTHETŐ [6]

2.5. Lítium-ion akkumulátor elhasználódásának jelei

A legnagyobb problémát a hibás akkumulátor jelenti, mivel nehéz felismerni. A belső hibák nem mindig láthatók, vagy ha már igen, az késő.

Ilyen jelek lehetnek a zsíros fólia, a sérült vagy a kipúposodó burkolat [6]. A meghibásodás időben való felismerése esetleg javítása létfontosságú, mivel elhanyagolás esetén további hibákat eredményezhet. Hiba jele lehet a szokásosnál gyorsabb merülés vagy a melegedés töltés vagy kisütés közben. A lítium-ion akkumulátorok általános felhasználás közben nem melegednek túl [7].



2.2. ábra: Kapacitás csökkenése töltési ciklusok hatására

[13]

A 2.2. ábrán látható, hogy ha rendszeres 100%-ra töltjük akkumulátorunkat akkor már 200 feltöltés (töltési ciklus) után közel nullára csökken a kapacitása (zöld vonal).

Ezzel szemben, ha nem töltjük fel mindig teljesen, (megközelítőleg 90%-ra) akkor még 400 feltöltés után is a kapacitása csak kb. 20 százalékkal csökken (fekete vonal).

A valóságban a hibás akkumulátor vagy akkumulátor cellát töltés közben vehetjük észre, amikor is a hibás komponens feszültsége eltér a hivatalos adattól. Az előbb említett hibafeltárás csak akkor érvényes, ha az akkumulátor feszültségét közvetlenül mérjük. Más esetben nem mondható biztosra, hogy a cella ment tönkre. A lítium-ion akkumulátor meghibásodásának egy gyakori jele az akkumulátor felpúposodása (2.3.ábra).



2.3. ábra: Felpúposodott akkumulátor
[14]

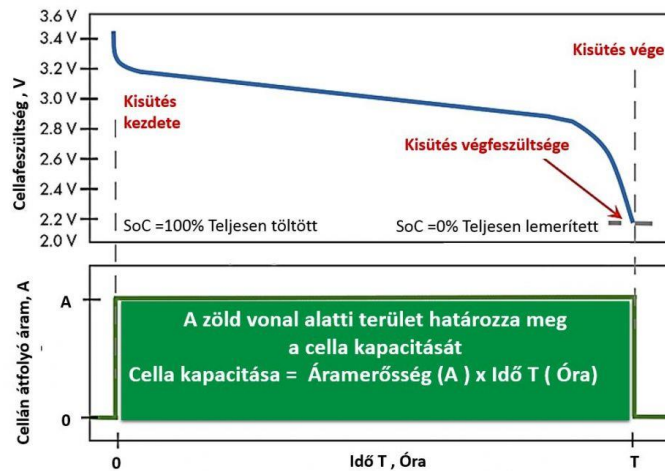
3. Az akkumulátor kapacitás meghatározása

Egy akkumulátornál az elhasználódást két dolog jelzi. Az egyik, amikor a belső ellenállása a duplájára növekszik, valamint, ha a kapacitás lecsökken 80% alá. Utóbbi az SOH (State of Health) érték, amit a teljesítmény csökkenés vagy kapacitás csökkenés ad meg az eredeti értékekhez képest.

Az SOC (State of Charge) értékének és a kapacitás becslése mindig is nehéz feladat volt, főként a LiFePO₄ típusok esetében[3].

Mivel a kapacitás az akkumulátorban tárolható elektromos töltést jelenti ezért mérésére egy bevált módszer az akkumulátor áramának időbeli integrálása egy töltési vagy merítési ciklus alatt (3.1. ábra).

Szabvány szerint a nagy teljesítményű akkumulátorokat 1 C-on kell méríteni.



3.1. ábra: Akkumulátor kisütési diagramja, áram és kapacitás viszonya [15]

Az öregedéshez hozzájárul az üzemi hőmérséklet, a kisülés szintje, az áramsebesség, valamint a feszültség határok betartása a teljes egyenértékű ciklusok vagy a teljes töltés számával szemben [1].

Bemutatok egy kísérletet, ahol lítium-ion cellákat vizsgáltak. Egy-egy cikluson belül figyelték a töltő és a kisütési áramsebességet, a maximális lekapcsolási feszültséget a kisülési mélység függvényében. A tanulmány lényege, hogy a ciklusok száma és az előbb említett zavaró tényezők miként vannak hatással a kapacitásra. Végeredményként rámutattak a ciklusok alakja és a kapacitás csökkenés közötti kapcsolatra, miszerint nem függ egymástól 20-80%-os töltöttségi szint között. Azaz, ha lassabban töltünk hálózati vagy egy 75kw-os gyorstöltőről, az nem hat negatívan az akkumulátorunkra. Ebből kimutatható, hogy az akkumulátor áramsebessége nem befolyásolja a kapacitás csökkenését adott működési feltételek mellett [1][4].

A gyakorlatban a hőmérséklet, az SOC, a feszültség és az áramsebesség a kapacitás vagy a belső ellenállás értéke mellett egyéb paramétereket is befolyásol. Az SOH-ra való következtetés a kapacitás és az ellenállás értékeiből csak akkor hibamentes, ha előre meghatározott referencia értékek mellett végezzük el a mérést [1].

Az akkumulátor cellák kapacitásának és belső ellenállásának meghatározásához szükségünk van egy akkumulátorparaméter azonosító modellre. A bemeneti értékek a hőmérséklet és az akkumulátor áram, a kimeneti értékek pedig a kapacitás és a belső ellenállás [2].

4. Belső ellenállás mérése

Ahhoz, hogy meghatározzuk akkumulátorunk teljesítményét, energiahatékonyágát és hőveszteségét, a belső ellenállás ismerete elengedhetetlen. Mérésére több lehetőségünk van. Megvalósítható áramlépcsős módszerrel, AC módszerekkel, elektrokémiai impedanciaspektroszkóppal és a hőveszteségi módszer alkalmazásával.

Leggyakoribb ellenállás mérési metódus, hogy feszültséget kapcsolnak az eszközre és megméri a keletkező áramot. Az eredmény elemzése egyszerű, feltétele, hogy a mért ellenállásra vonatkozik Ohm törvénye.

Viszont a mérést bonyolulttá teszi, ha az ellenállás nemlineáris, például hőmérséklet hatására változik, vagy egyéb időváltozatos viselkedés tapasztalható. Egy akkumulátor belső ellenállásának mérése bonyolultabb, kifinomult mérési eljárást kell alkalmazni.

A terhelés alatt lévő cella feszültségét az [1] kifejezés írja le.

$$U_{cell}[V] = U_0[V] - \eta_{diff} - \eta_{ch,tr} - I[A] * R_i[ohm] \quad (1)$$

Ahol:

U_0 : a nyitott áramköri feszültség

η_{diff} : a koncentráció polarizáció

$\eta_{ch,tr}$: és a töltésátviteli polarizáció

I : terhelés alatt fellépő áramerősség

R_i : belső ohmos ellenállás [29].

A belső ellenállás számítható a kisülési görbe két végpontján mért áram-feszültség összefüggésből, amit a (2) kifejezés írja le.

$$R_i[ohm] = \frac{U_1[V] - U_2[V]}{I_2[A] - I_1[A]} \quad (2)$$

Ahol:

U_1 : kezdeti feszültség

U_2 : kisülési feszültség

I_2 : kezdeti áramerősség

I_1 : kisülési áramerősség

A feszültség mérése három esetet különböztetünk meg:

- a sejt kisülése során
- a cella újra töltése közben
- áramkimaradás (töltés/kisütés) közben[29]

5. Feszültségesés és az akkumulátor állapota

Akkumulátorunk állapotát a belső ellenállása vagy kapacitása határozza meg, de ha ezek az értékek nem megfelelők akkor meg kell keresnünk az okát. Amennyiben feszültségesést mérünk, akkor egyértelmű akkumulátorunk romlásának az oka.

Feszültségesés keletkezhet:

- nem megfelelő kötés alkalmazása
- oxidálódott kötések
- laza kötések
- vezeték szigetelésének sérülése
- vezeték megtörése
- nem megfelelő vezetékkeresztmetszet

Ezekben az esetekben a feszültségesés eredményezheti villamos ív keletkezése, valamint a melegedés jelensége.

6. CAN hálózat

Ahhoz, hogy a megfelelő adatokat ki tudjuk nyerni autónkból, a CAN (Controller Area Network) hálózat ismerete elengedhetetlen. A számításaimhoz szükséges adatok a jármű kommunikációs hálózatain érkeznek, mivel a jármű is figyeli ezeket az értékeket biztonsági okokból. A legegyszerűbben pedig ezeken a kommunikációs hálózatokon keresztül tudjuk kinyerni az adatokat.

Napjainkban sok jármű tartalmaz elektronikus vezérlőegységet (ECU). Néhány autóban akár 70 ECU is lehet, amelyek a felhasználói igényeket elégítik ki, mint például ablakemelők, multimédiás eszközök vagy akár az ABS. Az eszközök bonyolultsága elengedhetetlenné teszi a kommunikációt közöttük, azonban eleinte a különálló alrendszerek dedikált vonalakon tartották egymással a kapcsolatot. Így minden vezérlő külön vezetékkel kapott az egyes funkciókhoz. Egy érdekes adat, hogy egy mai átlagos autó vezetékeinek hossza 2-2,5 km és 100 kg súlyú is lehet, illetve lehetne. Erre jelentett megoldást a CAN bus kifejlesztése.

6.1. Jellemzői

A rendszer lényege, hogy egy kétvezetékes kommunikációs csatornán helyezkednek el különböző elektronikus vezérlőegységek.

A CAN (Controller Area Network) egy megbízható és hatékony kommunikációs protokoll, amely lehetővé teszi az adatátvitelt az elektronikus vezérlőegységek között. A CAN hálózat jellemzői a következők:

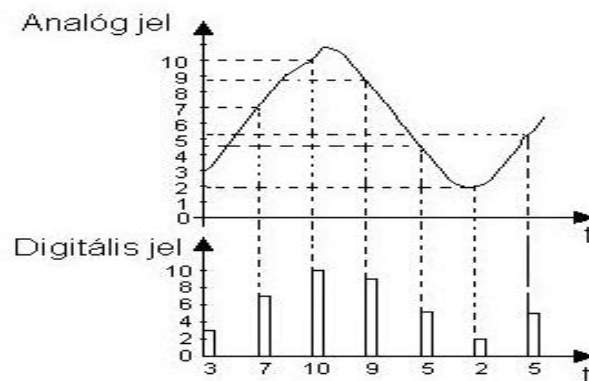
1. Megbízhatóság: A CAN hálózat rendkívül megbízható, mivel képes az adatok hibajavítására és ellenőrzésére.
2. Ellenálló képesség: Alapjaiban nagyon zavarja az elektromágneses interferencia, ezért alkalmaznak 120 Ohm ellenállást, így a CAN hálózatok ellenállóak a külső zavarokkal szemben, amelyek gyakran előfordulnak az autóiipari környezetben.
3. Költséghatékonyság: A CAN hálózatok nagyon költséghatékonyak, mivel a rendszer kis méretű, és a vezetékek és csatlakozók minimális mennyisége szükséges a telepítéshez.
4. Skálázhatóság: A CAN hálózatok skálázhatóak, ami azt jelenti, hogy könnyen hozzá lehet adni új eszközöket vagy vezérlőegységeket a rendszerhez.
5. Multimester üzemmód: A CAN hálózatok multimester üzemmódban működnek, ami azt jelenti, hogy az összes csatlakoztatott eszköz egyenrangú a hálózaton, és képesek üzeneteket küldeni és fogadni egymás között.
6. Alacsony energiafogyasztás: A CAN hálózatok alacsony energiafogyasztással rendelkeznek, ami különösen fontos az autóiipari alkalmazásokban.
7. Nagy adatátviteli sebesség: A CAN hálózatok magas sebességgel képesek adatokat átvinni a vezérlőegységek között, akár 1 Mbit/s sebességgel is [16].

Szám szerint három CAN hálózatot különböztetünk meg járművön belül, ezek a K-CAN (Karosserie-CAN), PT-CAN (Powertrain- CAN) és a D-CAN (Diagnostic-CAN). Mivel CAN-en az autó jelentős adatait továbbítjuk, tagolva van a rendszer, hogy ha az egyik rész meghibásodik – például szakadás van –, a többi rész továbbra is működjön, és az autó hibaüzenetet küld a kommunikációs probléma miatt.

6.2. Analóg és digitális jelek

A CAN hálózaton csak egyeseket és nullákat, azaz digitális jeleket lehet továbbítani. A digitális jel csak bizonyos időpillanatokban változik (5. ábra), és kizárólag meghatározott, diszkrét amplitúdóértékeket vesz fel. Ez egy számokkal reprezentált jel, ahol az információt pontosan definiált értékek hordozzák, amelyek elemi egységekre, kvantumokra vannak bontva [27]. Analóg jeleket csak digitális jelekké alakítva lehet

továbbítani CAN hálózaton. Az analóg jel időben és amplitúdóban folyamatosan változik (6.1. ábra), és egy folytonos időfüggvénnyel írható le. Az ilyen jelek alakításakor és átalakításakor a legfontosabb, hogy az eredeti jel információtartalma ne vesszen el. Különösen nagy jelentőséggel bír a jel felső határfrekvenciája, mert itt zajlanak a leggyorsabb változások, amelyek nyomon követése a legnehezebb [27].



6.1. ábra: Analóg, digitális jel [27]

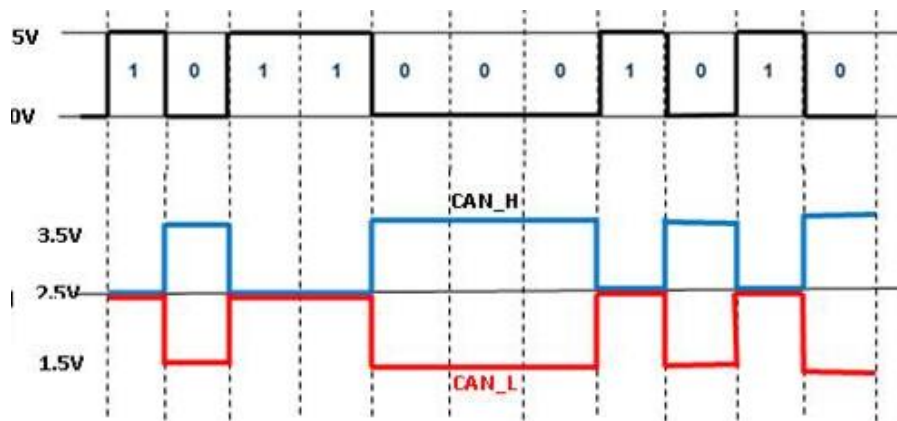
6.3. Fizikai réteg

Felépítése két vezetékből áll: a CAN-HIGH (CAN_H) és a CAN-LOW (CAN_L) vezetékből. Ezek a vezetékek úgynevezett differenciális jeleket küldenek a hálózat mentén.

A differenciális jelküldés azt jelenti, hogy a CAN-H és a CAN-L vezetékek között az üzeneteket két ellentétes feszültség szint használatával továbbítják. A logikai "1" jel az, amikor a CAN-H és a CAN-L vezeték között 0V az eltérés, míg a logikai "0" jel az, amikor a CAN-L és a CAN-H vezeték között 2V a különbség (6.1. táblázat)[10].

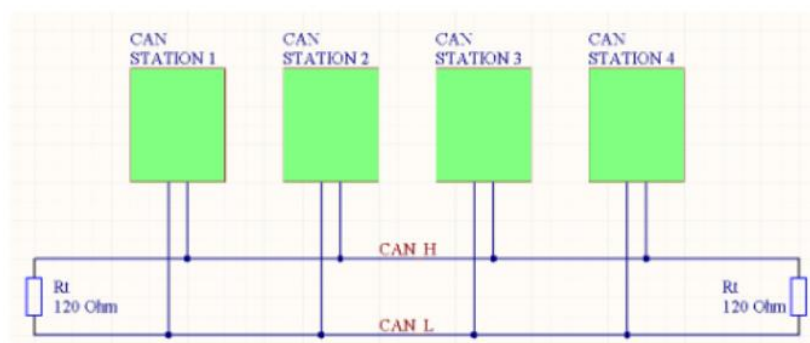
	Bitérték	Feszültségkülönbség	Tűrés
recesszív	1	0V	max. 0,5V
domináns	0	2V	min. 0,9V

6.1. táblázat: Recesszív domináns bit összehasonlítása [10]



6.2. ábra: Recesszív és domináns bithez tartozó jelszintek [17]

A CAN-en dominánsbit esetén CAN_H vonalon 3,5V és CAN_L vonalon 1,5V jelenik meg, míg a recesszív jelszint mindkét vezetéken 2,5V (6.2. ábra). Ha elektromágneses hatás éri a buszt, az a CAN_H és a CAN_L vonalon megjelenik, azonos előjellel. Mivel a két vonal különbsége adja meg a jelszintet, ez a zavarás kiesik [10].



6.3. ábra: Lezáró ellenállás elhelyezkedése [10]

Fontos része még a rendszernek a lezáró ellenállás (6.3. ábra), aminek nagysága a busz hosszától függ. Járművek esetében az ellenállás méretére 120 ohm a szabvány, de gyártósorai vagy egyéb alkalmazásban ez eltérhet a busz hosszának függvényében (6.2. táblázat). Feladata, a reflexió megszüntetése, ami a lezáratlan vezetékek végéről visszaverődő feszültség hullámokat jelent [10].

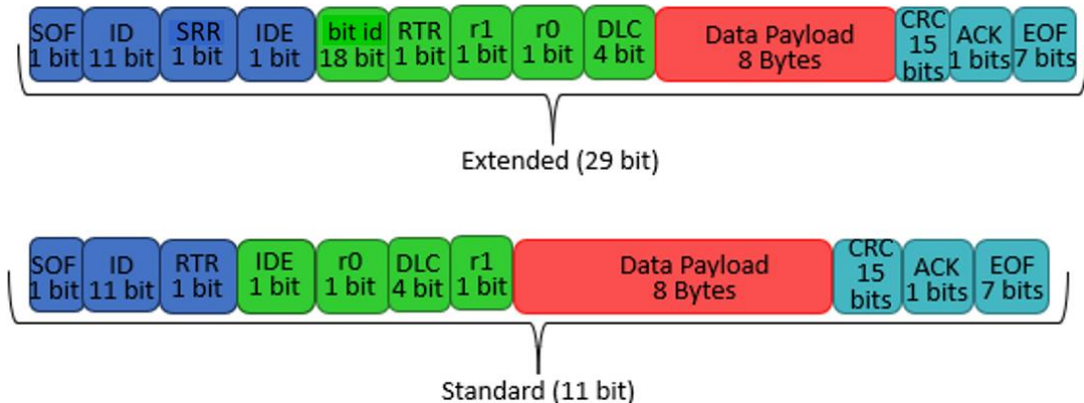
Busz hossz	Lezáró ellenállás	Max adatátviteli sebesség
0-40m	120Ω	1 Mbit/s
40-300m	127Ω	500 Kbit/s
300-600m	150-300Ω	100 Kbit/s

600-1000m	150-300Ω	50 Kbit/s
-----------	----------	-----------

6.2. táblázat: A busz hossz a lezáró ellenállás és az átviteli sebesség viszonya [10]

6.4. Üzenetkeret felépítése

A CAN buszra kerülő üzenetek meghatározott keretben kerülnek továbbításra.



6.4. ábra: Standard ID és Extended ID felépítése [10]

A 6.4. ábra alapján elmondható, hogy a keret a SOF bittel kezdődik. Ez a bit mindig nulla, azaz domináns, ha nem nulla a busz nem veszi figyelembe. Ezután jön az ID, ami az arbitrációt is jelenti, majd az RTR, aminek az értéke határozza meg, hogy adás kérés „1” vagy adat küldést „0” szeretnénk.

A Standard üzenetkeretet az IDE (Identifier Extension) bit különbözteti meg az extendedtől. Ennek értéke a kiterjesztett formátumban 1, míg standard formátumban 0. A CTRL részben kapott még helyet a DLC, ami az üzenetben található adatbájtok számát adja meg.

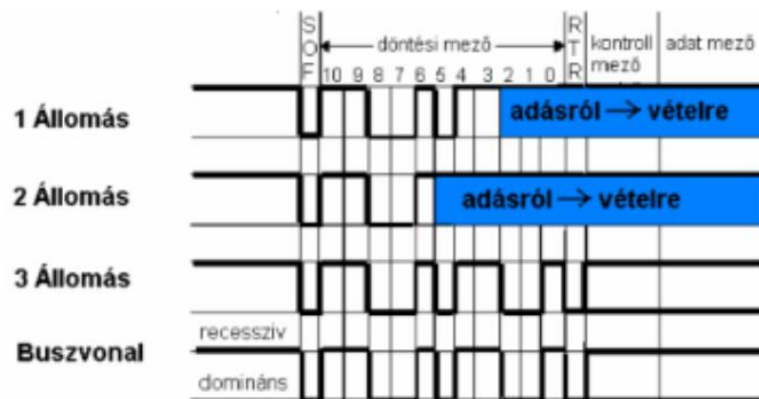
Ezt követi a tényleges üzenet, aminek hossza 8 bájt. Majd jön a CRC, amit matematikai műveletekkel generál az adó az adatbájtokból és ezt célba érkezéskor a vevő visszafejti. Amennyiben a kapott érték nem egyezik meg az adatbájtokkal akkor tudni fogja, hogy az üzenet sérült. Ha helyesnek találja, akkor az ACK bit értékét domináns értékkel írja felül. Azonban, ha recesszív értéket olvas vissza az adó, akkor átvált hibakereső módba. A keretet az EOF bitek zárják le, melynek minden bitjének értéke 1. itt nem érvényes az 5 bitenkénti ellentétes bit beszúrása [10]. Az üzenet után 3bit szünet (intermission= szabad a busz) érkezik.

6.5. Arbitráció

A buszhoz való hozzáférés szabályozva van. Amikor egy busz szabaddá válik, akkor a buszt a magasabb prioritású üzenetet adó kapja meg, az alacsonyabb rangú üzenet várakozik. Ez egy komoly különbség az Ethernethez képest.

Az arbitráció menetét egy egyszerű példával szemléltetném (6.5.ábra). Képzeljünk el egy CAN hálózatot, ami csak három node-ot tartalmaz.

Ők egyből elkezdik az üzenetküldést, amikor a busz szabaddá válik. Miközben küldenek, folyamatosan figyelik, hogy a busz és az általuk adott feszültség egyezik-e. Mert ha nem egyezik akkor valaki „0” -át ad miközben ők „1” -et. Ugye a két bitérték a domináns és a recesszív. Amíg mind a három állomás megegyező bitet küld nem történik semmi, azaz mind adó módban vannak. Az 5. bitnél a második állomás recesszív értéket küld ezért ő elveszti a küldési jogot, mivel van olyan állomás, aki domináns értéket küld. Tehát az 5. bitnél a második állomás átvált vételi módba. Ezt követően a 2. bitnél az első állomás is recesszív értéket küld, így ő is elveszti a küldési jogot, átvált vételi módba. A CAN buszon a dominánsbit fog megjelenni, hiszen ez rendelkezik nagyobb prioritással. Ezzel a módszerrel nem alakul ki ütközés. Annak az állomásnak az értéke kap prioritást amelyiknek kisebb az értéke [10].



6.5. ábra: Arbitráció folyamata
[10]

7. Fedélzeti diagnosztika bemutatása

A fedélzeti diagnosztika ad lehetőséget az ECU-kkal való kommunikációra. A fedélzeti diagnosztika működését és felépítését az OBD I és az OBD II (On-Board Diagnostics) foglalja szabványba.

Az OBD I fedélzeti diagnosztikai rendszer használata 1988 óta kötelező a Kalifornia államban. Az OBD I-et az OBD II (10. ábra) váltotta le 1994-ben, ennek európai megfelelője az EOBD II (European On-Board Diagnostics). A fő különbség a csatlakozó kialakítása (7.1.ábra), mivel az OBD II szabvány teljesítéséhez több vezetékre (pinre) van szükség.



*7.1. ábra: OBD I és OBD II csatlakozó
[23]*

Az OBD I szabvány szerint az emisszió korlátozó és az elektromos irányítórendszert kell ellenőrizni. Ez a rendszer a hibák felismerését írja elő, és a felismerést követően a hiba azonosító kódját az irányítóegység memóriájába menti. A műszerfalán található lámpa (MIL – Malfunction Indicator Light) jelez a jármű üzemeltetőjének a hiba jelenlétéről. A konkrét hiba azonosítása a MIL lámpa villogókódos jelzése vagy soros kiolvasás révén valósulhat meg.

Az OBD II rendszer a fedélzeti állapotfelügyeletet kiterjeszti a korábban nem ellenőrzött rendszerekre is, és multifunkcionálissá teszi. A legfontosabb újdonságok a következők:

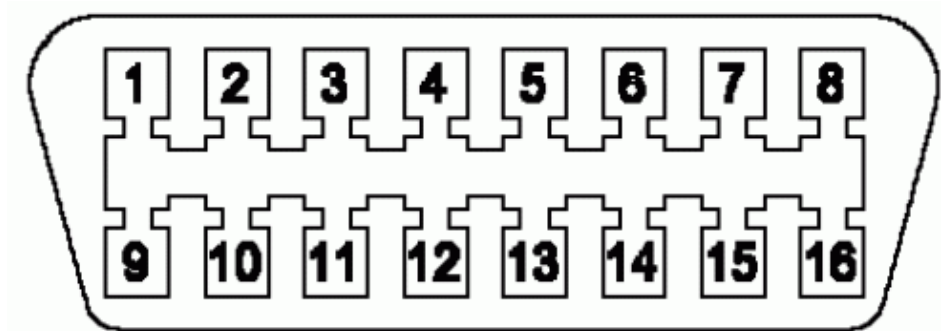
- A MIL lámpa új figyelmeztetési funkciót kap: a lámpa nem csak világít vagy nem világít, hanem impulzus jelzést is adhat.
- Nemcsak a rendszerelemek és funkciók hibás állapotát, hanem a romlás mértékét (állapotszint) is azonosítja.
- Hiba esetén a rendszer rögzíti a környezeti paramétereket (Freeze Frame).
- A hibatároló kiolvasása villogókód helyett, diagnosztikai eszközzel történik [18].

Diagnosztikai eszköz segítségével számos fontos adatot kinyerhetünk elektromos autónkból OBD 2 csatlakozón keresztül.

- Akkumulátor általános állapota (SOH)
- Akkumulátorcellák feszültsége – ez megmutathatja, hogy van-e olyan cella, amely előbb-utóbb cserére szorul
- Akkumulátor pakk hőmérséklete – ez befolyásolja a villámtöltés sebességét
- Valós töltöttség (SOC)
- Töltés paraméterei (teljesítmény, feszültség, áramerősség) [24].

8. EOBD-csatlakozó

Az EOBD csatlakozó fizikai felépítését és lábkiosztását a SAE J1962 JUN92 ajánlás írja le.



8.1. ábra: EOBD csatlakozó lábkiosztása [28]

PIN	Feladat	PIN	Feladat
1	nincs bekötve	9	nincs bekötve
2	adatátvitel SAE J 1850 szerint (busz plusz vezeték)	10	adatátvitel SAE J 1850 szerint (busz mínusz)
3	buszrendszernél VCC csatlakozás	11	buszrendszernél testelés
4	testelés (teljesítmény)	12	buszvezetékek árnyékolása
5	testelés (jel)	13	nincs bekötve
6	nincs bekötve	14	buszrendszernél kétirányú adatvezeték

7	adatátvitel DIN ISO 9141-2 szerint (K-vezeték)	15	adatátvitel DIN ISO 9141-2 szerint (L-vezeték)
8	nincs bekötve	16	akkumulátor plusz

8.1. táblázat: Az EOBD csatlakozó egyes pineinek feladata

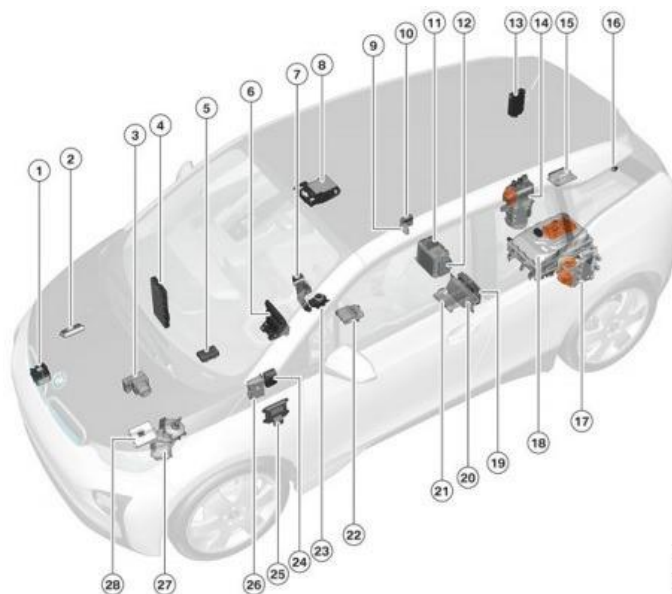
A csatlakozó (8.1.ábra) 1, 6, 8, 9, és 13-as számú pinjeit egyéb fedélzeti irányítóegységekkel történő soros kapcsolat kialakítására használhatják a gyártók. A 3, 11, 12 és 14-es pinek nem az OBD II céljait szolgálja. Ezek a járműben alkalmazott vezérlőegységek közötti kommunikációt biztosító buszhálózat csatlakozási pontjai. Az ilyen csatlakozók felhasználásáról a gyártó vagy az alrendszer elsődleges beszállítója önállóan rendelkezhet. A pinek felhasználási helyét a 8.1.-es táblázatban foglaltam össze.

A szabvány meghatározza, hogy a diagnosztikai csatlakozót hol kell elhelyezni 2004-től a járműben. A vezető ülésből könnyen hozzáférhetőnek kell lennie.

Ideális esetben a csatlakozó a műszerfalon, a kormányoszlop és a jármű középvonala között található [18].

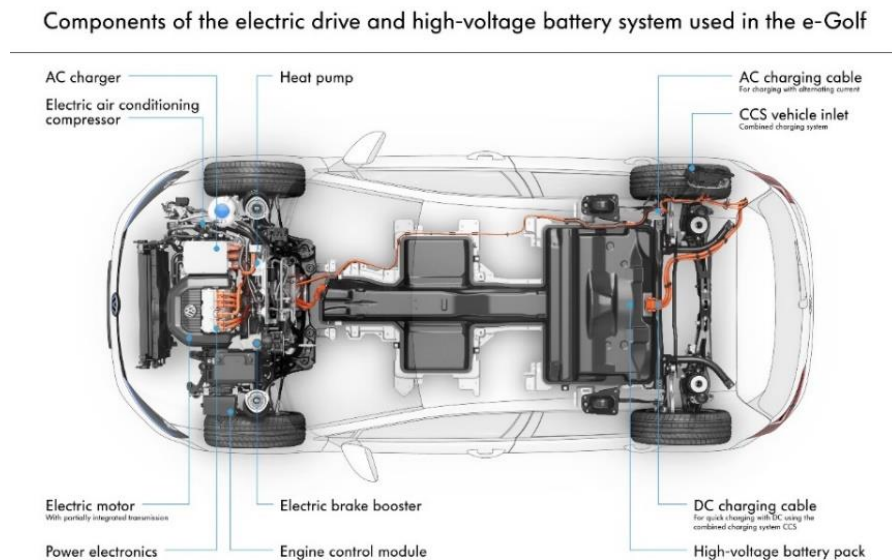
9. Belső rendszerek felépítése

Egy elektromos autó belső elektronika rendszere bonyolult. Az alábbi ábrán látható (9.1. ábra), hogy 28 kis egységből épül fel. A képen nem egy e-golf szerepel, de felépítésben a képen szereplővel megegyező.



9.1. ábra: Elektromos autó vezérlő moduljai [25]

A 28 egység többsége egy-egy számítógép, valamelyikben 3-5 processzor is van. Ezek a számítógépek buszokon kommunikálnak egymással. Autóknál háromfajta buszt különböztetünk meg: a LIN, a CAN és ennek egy alfajtája az OBD busz. A LIN buszt a járművek komfort elektronikájában használjuk, az egyszerűbb kapcsolóelemeket köti össze a központi egységgel. A fontosabb, bonyolultabb modulok CAN-t használnak.

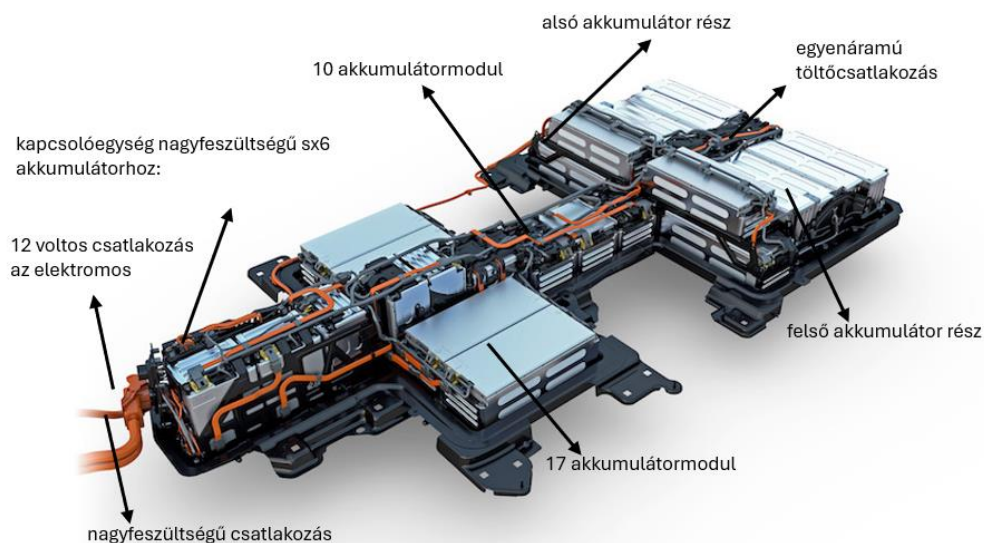


9.2. ábra: Elektromos autó magas teljesítményű egységei
[35]

Járművünk magas feszültségű rendszere (9.2.ábra) a Type 2 csatlakozónál kezdődik töltéskor. A bejövő feszültséget egy AC/DC konverter átalakítja az akkumulátornak megfelelő magas egyenfeszültséggé. A kicsi 12 V-os akkumulátor töltéséhez szükség van egy DC/DC átalakítóra. A kis feszültségű akkumulátorra az egyes számítógép egységek elindulásához és működéséhez van szükség. Továbbá a klímakompresszornak is jobb a kisfeszültség nagy áram, mint a magas feszültség. A nagyfeszültségű rendszer csak akkor van működésben, ha az autó el van „indítva”. Az autó legfontosabb része az AC/DC konverter, ami az akkumulátor egyenáramot alakítja a motor számára felhasználható váltóárammá, de fordított üzemben generátorként is képes működni [25].

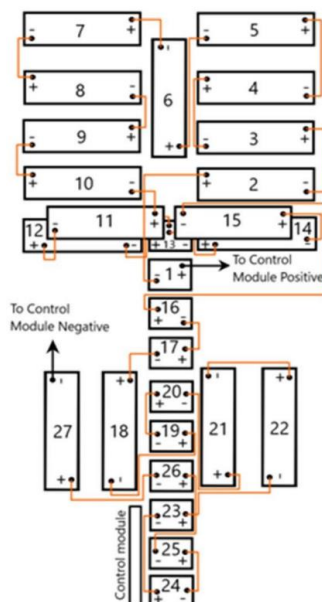
10. A vizsgált autó akkumulátora

Kutatásom alapjául egy 2020-as Volkswagen eGolf szolgál, ami egy 35,8 kWh energiakapacitású lítium-ion akkumulátort használ, ebből 32 kWh [12] a felhasználható. Az akkumulátor elhelyezkedését a 10.1. ábra mutatja be.



10.1. ábra: 2019-es Volkswagen e-golf akkumulátora
[8][9]

17 darab nagy és 10 darab kicsi akkumulátormodulból tevődik össze. A nagy akkumulátormodulban 4, a kicsiben pedig 2 cella van egyenként. Így az akkumulátor 88 darab lítium-ion cellából áll, amelyek sorba vannak kötve, így feszültsége 361 Volt. A kötési sorrend a 10.2. ábrán látható.



10.2. ábra: Az akkumulátor pakkok számozása és kötési sorrendje
[19]

11. Mérés ismertetése

Mérésem kidolgozása alatt az elsődleges célom az akkumulátor cellák paramétereinek azonosítása volt, nagyobb megbontás nélkül.

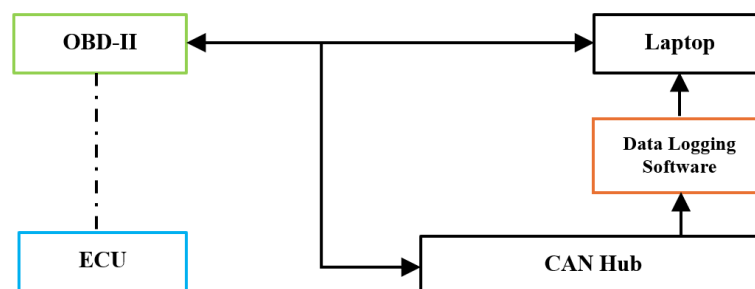
Ehhez a legegyszerűbb módszer a jármű diagnosztikai rendszerén való adatgyűjtés, melyhez rendelkezésre áll egy Bosch KTS típusú diagnosztikai eszköz. Ezzel az eszközzel képesek vagyunk akkumulátor specifikus adatok megfigyelésére. Ilyenek a cellafeszültségek, áramerősség, rendszerfeszültség, hőmérséklet és kapacitás. Ez az eszköz elvárásainknak megfelel, viszont egyszerre csak egy vezérlőt és maximum nyolc adatot tudunk megfigyelni. A vizsgálat során, azonban szükségünk van mind a 88 cellafeszültségre, a teljes rendszerfeszültségre, az akkumulátor pillanatnyi áramerősségére, töltöttségi szintre (SOC) és a hőmérsékletre.

A probléma megoldására olyan megoldást alkalmaztam, ahol CAN-en keresztül nyertem ki a szükséges adatokat.

Ehhez szükségem volt:

- CAN mérőrendszer
 - CAN hub egy 120 ohm-os lezáró ellenállással
- laptopon a szükséges szoftverek
 - Matlab Simulink/
 - Kvaser Memorator R SemiPro
 - CANdb++

A 11.1. ábra bemutatja az általam használt mérési rendszert, amit a továbbiakban részletesen ismertetek.

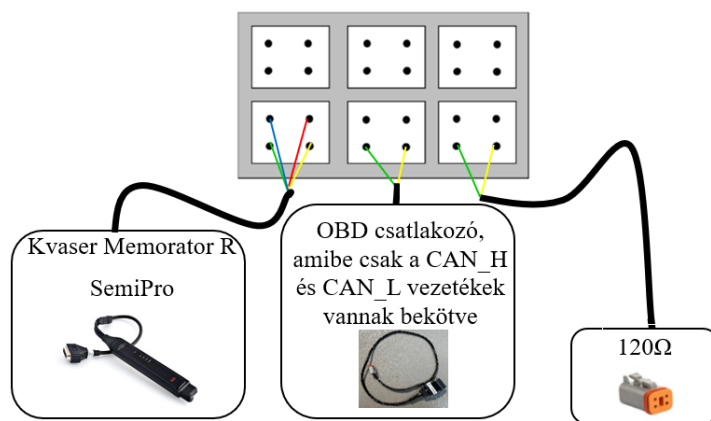


11.1. ábra: Mérési telemetria
[saját forrás]

12. CAN Hub bemutatása

CAN Hub-ra akkor van szükségünk, ha eszközöket szeretnénk hozzá adni a CAN hálózathoz, például diagnosztika céljából. Egyéb esetben ilyenkor a kábelezés is kihívást

jelent és idő igényes, valamit zavaroktól sem védett. Ezzel szemben a CAN Hub egyszerű és gyors csatlakoztatást biztosít és biztosak lehetünk benne, hogy a CAN busz kábelezése az elvárásoknak megfelelően van tervezve és megfelelően fog működni (12.1. ábra). Mindezek mellett robusztusságot biztosít az esetleges rázkódásoktól és ütődésektől, de hosszú távú megoldásként könnyen rögzíthető is.



12.1. ábra: CAN hub-ba csatlakoztatott eszközök
[saját forrás]

13. Kvaser Memorator R SemiPro

A Kvaser Memorator R SemiPro (13.1. ábra) egy két csatornás CAN USB interfész, ami nagyban hozzájárul az egyszerű és gyors adatgyűjtéshez CAN hálózaton keresztül. Mivel a használati helye a járművekben van és itt folyamatos erőhatások, rázkódások, esetleg ütődések érik, ezért fontos a strapabíróság. A stabil és megbízható működés érdekében a Kvaser az SD-kártyát a PCB-re forrasztotta, továbbá galvanikus szigetelés és alumínium ház teszi teljessé a biztonságot.

Lehet USB kapcsolaton keresztül a laptopunkra menteni az adatokat, de a készülék önálló módban is képes SD kártyára menteni. Utóbbi esetben PC-re van szükségünk az adatátviteli sebességek, triggerfeltételek és szűrők konfigurálásához a Kvaser Memorator Tools szoftverben.



*13.1. ábra: Kvaser Memorator R SemiPro
[11]*

Használatához szükségünk van CanKing szoftver, ami egy CAN-busz-monitor és általános célú diagnosztikai eszköz. A CAN üzenetek könnyen elküldhetők, és a célmodulra gyakorolt megfelelő hatás megfigyelhető [11].

14. Utasítás küldése és fogadása CAN hálózatba

Ahhoz, hogy tudjunk utasítást küldeni a vezérlőknek CAN-en keresztül, Matlab Simulinkre, valamint az előbb bemutatott CAN Hub-ra és egy általam készített OBD csatlakozóra (14.1. ábra), amiben csak a CAN_H a 2-es pinre és a CAN_L a 10-es pinre vannak bekötve.



*14.1. ábra: Egyedileg készített EOBD csatlakozó
[saját forrás]*

A kérészkódot OBD-II porton keresztül küldjük. Simulink használatával tetszőleges mennyiségű adatot és vezérlőt tudunk figyelni, előnye, hogy ki tudjuk váltani vele a diagnosztikai eszközt. A diagnosztika eszköznek a mérés során a kérészkódok meghatározásában van szerepe. A használt diagnosztikai eszköznek (Bosch KTS) a minatvételezése 10Hz míg ezzel a modellel ez 100Hz-re bővül. Ezzel a módszerrel előre meg kell határozni a mérendő adatok számát, melyik vezérlőtől szeretnénk ezt kérni és milyen sorrendben. Az alkalmazott struktúra alapján egy lekérdezésre egy választ kapunk az autótól.

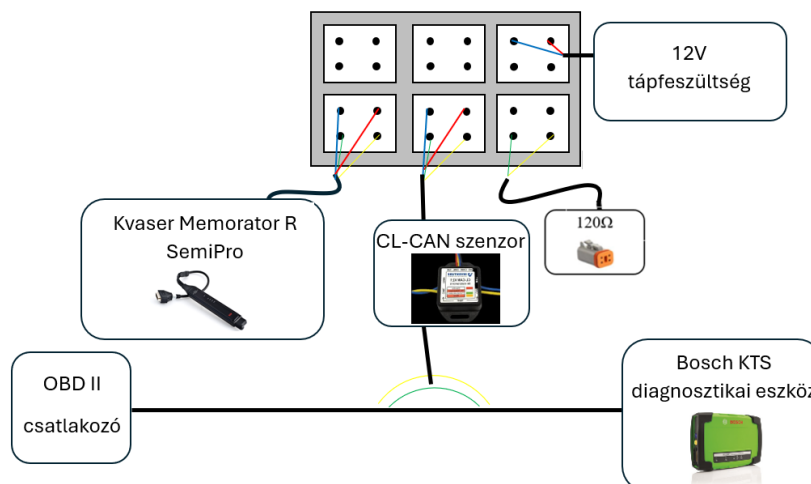
15. Kérészkód meghatározása

Ahhoz, hogy megfelelő adatot tudjunk lekérni szükségünk van a kérészkódra, ami alapján pontosan tudja a rendszer az általunk kért információt, majd küldi az értéket.

A kérészkód meghatározásához szükségem volt:

- CL-CAN szenzor
- diagnosztika (Bosch KTS)

CL-CAN szenzor feladata a CAN Low és CAN High vezetékeken futó feszültség változások érzékelése. Előnye, hogy érintésmentes mérést tesz lehetővé, mint egy lakatfogó.



*15.1. ábra: A mérési eszközök összekapcsolása
[saját forrás]*

Telemetriai rendszerhez kapcsolva (15.1. ábra) tudjuk vizsgálni a hálózaton futó kommunikációt, azonosítóra, bitekre és bájtokra bontva [8]. Csak a kommunikáció folyamatának megismerésekor van rá szükség mivel csak figyelni tudjuk vele az adatokat.

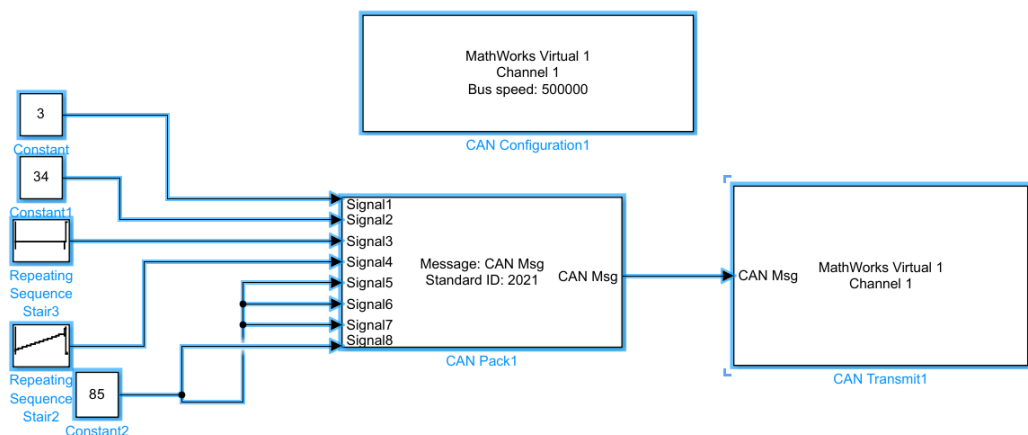
ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
7E5	8	03	22	1E	40	55	55	55	55
7ED	8	05	62	1E	40	0B	09	AA	AA

15.2. ábra: A kéréskód és a válasz üzenet felépítése [8]

Az azonosítás a D1 és D2-es bájtokon történik, az érték megadása pedig a D3 és D4-es bájton. Az akkumulátor vezérlőjéből az adatokat a 7E5 azonosítójú (ID) kéréskóddal tudjuk kérni. Választ pedig a 7ED azonosító alatt kapunk a vezérlőegységtől. Az akkumulátor vezérlő üzenetei 8 bájt hosszúak. Az azonosítókat a 15.2. ábra mutatja be, minden értéket hexadecimális alakban adtunk meg.

16. Simulink modell felépítése

A szükséges kéréskódok küldését a legegyszerűbben Matlab Simulink modell segítségével tudjuk a jármű hálózatra küldeni. A diagnosztikai modell simulinkben készítettem, ami 9 blokkból tevődik össze (16.1. ábra):



16.1. ábra: Simulink modell [saját forrás]

- CAN Pack

Feladata az adatok betáplálása CAN üzenetbe, meghatározott időközönként.[9] Ehhez szükséges adnunk egy ID-t, ami a 21.ábrán található ID decimális alakban (HEX 7E5=DEC 2021). A hosszát 8 bájtra állítjuk mivel ilyen hosszú az üzenetünk. Figyelni kell, hogy az egyes bájtok kezdő bitjei növekvő sorrendben legyenek

(0;8;16;24;32;40;48;56). Továbbá az adat bevitelt is manuálisra kell állítani. Ez a blokk felel az adatok CAN üzenetkeretbe való átalakításáért[30].

- Konstans

Értéke DEC 3 és a CAN Pack signal1-re csatlakozik. Értékét a 21. ábra határozza meg.

- Konstans1

Értéke DEC 34 és a CAN Pack signal2-re csatlakozik.

- Repeating Sequence Stair

Ebből a blokkból 2-t szükséges alkalmaznunk, mivel 2 signal-nak is hasonló elrendezésű üzenetkeretet szükséges küldenünk (Signal3 és Signal4). Ennek a blokknak feladata, hogy a kimeneti értékek vektora paraméterrel megadott lépcsősorot adjon ki és ismételje meg. Fontos a megfelelő sebességet választanunk, mivel, ha gyorsabban halad, az interfész nem hajlandó válaszolni, és a kapcsolat megszakadhat[30].

- Konstans2

Értéke DEC 85 és az utolsó 4 signalnak ad egy értéket, melyre azért van szükség, hogy a maradék 4x8 byte adatot feltöltsük, ellenben az autó nem fogadja a kérőkódot.

- CAN Transmit

Ez a blokk továbbítja a CAN Pack által elkészített üzenetet a CAN hálózatba, Kvaser Virtual eszköz segítségével. Egyszer egy üzenetet tud továbbítani meghatározott időközönként[30].

- CAN Configuration

A CAN konfigurációs blokk beállítja a paramétereket egy CAN-eszközhöz, amely üzenetek küldésére és fogadására szolgál [9]. A buszsebességet 500 kB/s-ra állítjuk[30].

16.1. Kapott adatok dekódolása

A kapott adatok dekódolásához egy úgy nevezett DBC fájlt kell készíteni. Ennek elkészítésére a Vector CANdb++ egy megfelelő alkalmazás. A CANdb++ főként a járműipari fejlesztésben, tesztelésben és diagnosztikában gyakori. Az alábbiakban bemutatom, hogyan épül fel a DBC adatbázisom.

Először az üzenetek és jelek megadása előtt meg kell vizsgálni azok szerkezetét és a bennük levő jeleket. Ezeken felül a jelek felépítését, a startbitet, hosszúságát, bájtrendfajtaját, factort (szorzó tényező) és offsetet (eltolás).

Két fajta bájtrend létezik a Motorola és az Intel. A Motorola egy olyan sorrend, amelyben először a legjelentősebb bájt, az Intelnél pedig legkisebb jelentőségű bájt kerül tárolásra [21].

A DBC adatbázis két fő része a „Signals” (jelek) és a „Messages” (üzenetek). Az üzenetek a jelekből épülnek fel, az üzenetek pedig a buszon keresztül továbbíthatók.

A jelek definiálásakor meg kell adnunk a kezdőbitet, ami alapján a program tudni fogja hol kell várni az adott információt (üzeneten belül hol van a pozíciója).

Name	Message	Multiplexing/Group	Sta...	Le...	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	Minimum	Maximum	Unit	Value Table
cella_1	M0	azonosito_ertek = 0x1E40	40	16	Motorola	Unsigned	0	0.001	1	1	66.535	V	<none>

*16.2. ábra: Cella adatok a DBC fájlban belül
[saját forrás]*

A fenti képen látható, hogy a cella feszültség adatok mind a 40-es bittől kezdve helyezkednek el az üzeneten belül. Igaz ez mind a 88 cellára és a 27 hőmérséklet jeladóra, csak azoknak 32 a kezdőbitje. Viszont egy Startbit alatt nem tudunk két értéket figyelni egyszerre ebben programban, erre jelent megoldást a multiplexelés.

A multiplexelés első lépése a multiplexor megadása, mely egy változó, ami alapján az adott értéket pontosan meg tudja határozni.

A gyakorlatban az értékek a kérés sorrendjében folyamatosan érkeznek és minden egyes érték után a multiplexor is egyel változik. A multiplexor felveszi például az 1E40 azonosító értéket (16.2. ábra). Ez az azonosító alapján pontosan meg tudja határozni, hogy akkor a multiplexelt érték a cella1. Ez után a multiplexor ugrik a következő értékre, ami az 1E41. Minden azonosító egy értékhez van párosítva (16.3. ábra), amit az adatbázis elkészítésekor kellett megcsinálnom. A multiplexor mindig egyesével ugrik előre és ha kap egy értéket azt az azonosító alapján hozzá rendeli az adott signalhoz.

Name	Message	Multiplexing/Group
azonosit...	M0	Multiplexor
akkumul...	M0	azonosito_ertek = 0xB
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EAE
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EB7
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EB8
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EB9
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EBA
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EBB
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EBC
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x1EBD
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x7425
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x7426
homerse...	M0	azonosito_ertek = 0x7427

*16.3. ábra: Multiplexelés sorrendje
[saját forrás]*

Fontos megemlíteni, hogy CAN-en nem a valós érték érkezik, hanem ún. nyers adat. Az értékek kiszámítását az alábbi képlet írja le:

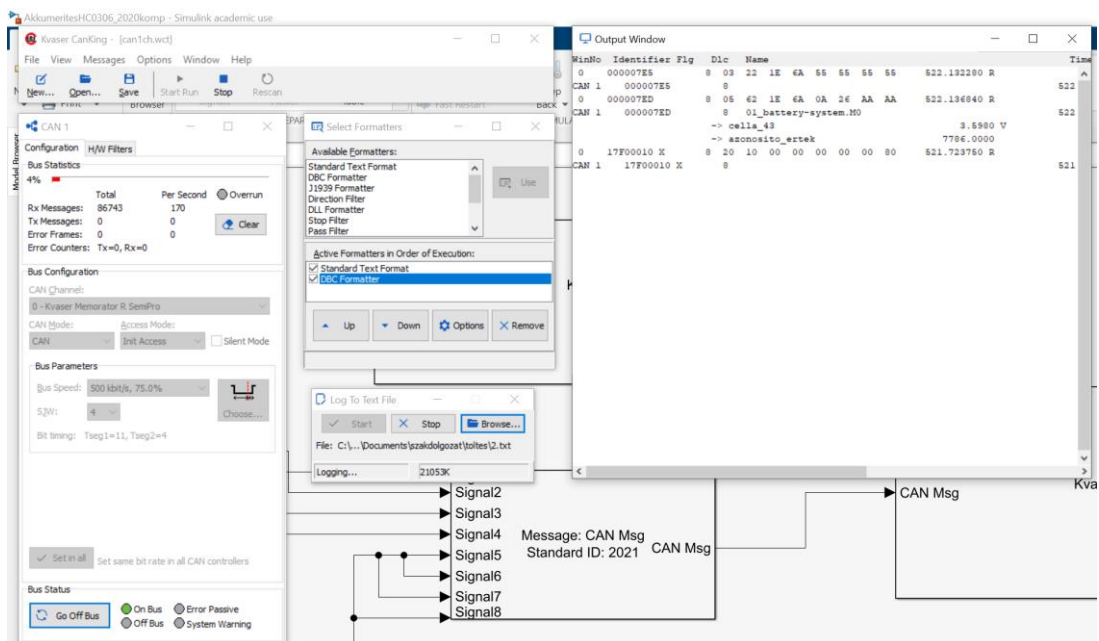
$$\text{Érték} = \text{DEC szám} * \text{Factor} + \text{Offset}$$

A CANdb++ használata nagyban megkönnyíti a CAN hálózatok fejlesztését és karbantartását, mivel pontosan definiálja az adatkommunikációt a jármű különböző elektronikus vezérlőegységei között [20][22].

A dekódolásunk validálásához szükségünk van a diagnosztikai eszközünkre, hogy a dekódoló fájlunk kiértékelt adatai és a diagnosztika eszköz adatai között van-e eltérés.

17. Kvaser CanKing

A CanKing egy CAN-busz figyelő és általános célú diagnosztikai szoftver, amely különösen hasznos az interaktív fejlesztési folyamatok során. A CAN üzenetek könnyen elküldhetők, és a célmodulra gyakorolt megfelelő hatás megfigyelhető (17.1. ábra) [31].



17.1. ábra: Kvaser CanKing alkalmazás felépítése
[saját forrás]

Nem feltétlen lenne szükségünk erre a szoftverre, mivel Matlabban is lenne lehetőség a fieglyelt adatok dekódolására, csak akkor két külön csatornán kéne dolgoznunk, az egyiket küldjük a kérés kódokat a másikon figyeljük és kiértékeljük a kapott értékeket. A memorator erre képes is lenne, de bonyolult lenne a mérési rendszer felépítése. Egyszerűbb, ha egy csatornát használunk a matlabban a kérés kódok küldésére, ez helyettesíti diagnosztikai eszközünket és egy másik szoftvert használunk az adatok dekódolására, ami az én esetemben a Kvaser CanKing. A cankingben könnyedén be lehet illeszteni a dekodoló dbc fájlt.

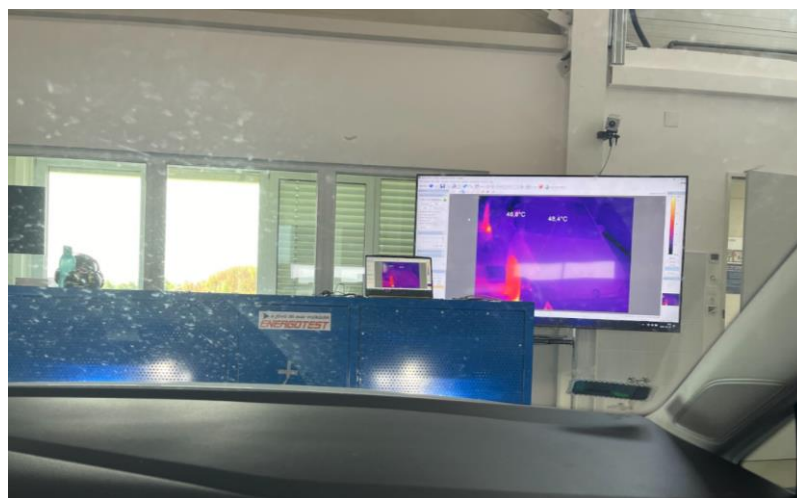
18. A mérés menete

A vizsgálat két fő mérésből tevődik össze. Az első mérés a vizsgált autó mérése, aminek futásteljesítménye 23010 km volt a méréskor. A mérés az autó 100%-ra töltésével kezdődik. Ezután következik a mérítés, miközben az előzőleg ismerttetett mérési telemetriát használom és a mérés teljes ideje alatt txt fájlban rögzítem (logolom) az adatokat, a későbbi feldolgozás érdekében (18.1. ábra).



*18.1. ábra: Mérési rendszer működés közben
[saját forrás]*

A merítést görgős fékpadon végeztük el, ahol terhelés alá tudjuk helyezni a hajtásláncot. Ennek köszönhetően a mérés során a jármű hőmérsékletváltozásait figyelemmel tudtam kísérni (18.2. ábra). a gumiabroncs és az egyéb komponensek túl melegedése, illetve terhelése miatt, a terhelést dinamikusan változtattuk a mérés folyamán. A könnyebb adatfeldolgozás érdekében a teljes merítés visszatöltés nélkül (Regeneratív fék használata nélkül) futott le.



*18.2. ábra: Hőmérséklet figyelése a mérés alatt
[saját forrás]*

Mivel ez az autó vezetés támogató rendszerekkel van felszerelve, ezért annak hullámaait speciális elnyelő szivaccsal árnyékoltam le (18.3. ábra).



*18.3. ábra: Radar hullámok árnyékolása
[saját forrás]*

A második mérés egy úgynevezett referencia mérés. A mérést a ZalaZONE Járműipari teszt pályán végeztük el (18.4. ábra), valós körülmények között, figyelve az akkumulátor paramétereit. Mivel külső helyszínen történt a mérítés nem tudtuk 100%-ról 0%-ra méríteni autónk akkumulátorát, mivel a helyszínre ki kellett mennünk, majd onnét vissza is kellett jönnünk. Referencia mérésnél a fő szempont az volt, hogy pontos képet kapjunk akkumulátorunk viselkedéséről valós környezetben. Azért volt szükséges egy másik autóval ezt elvégezni, mert így, ha eltérés van a két mérítési görbe között, pontosan látjuk hol kell keresni a hibát. Ezzel szemben, ha a két mérést egy autóval végezzük a hiba keresés lényegesen nehezebb lenne.

A két autó futásteljesítménye közel azonos, a két akkumulátor eltérő öregedése csak a felhasználás jellegéből eredhet.



*18.4. ábra A vizsgált autók
[saját forrás]*

19. A mérési adatok feldolgozása

19.1. Az egészségi állapot meghatározása SOH

Az egészségi állapot meghatározásához a jelenlegi kapacitást kell meghatározni.

A fékpadon történő merítés alkalmával az akkumulátor hasznos kapacitását egyértelműen meg tudtuk határozni. Arra a kapacitásra vagyunk kíváncsiak, amit ténylegesen fel tudunk használni az akkumulátorunkból, nem a teljes kapacitására.

$$C = p * t = I * U * t$$

Ahol:

t=eltelt idő [h]

I=a merítés alatti átlagos áramerősség [A]

U=a merítés alatti átlagos feszültség [V]

Ezt kiszámítva:

$$C = 101.3031066 \text{ A} * 321.5247 \text{ V} * 0.982257497 \text{ h} = 31993,55 \text{ W}$$

Az egészségi állapot a jelenlegi kapacitás és a nominális kapacitás hányadosának százalékos értéke.

$$SOH = \frac{C}{C_n} * 100 = \frac{31.9935519 \text{ Kw}}{32 \text{ Kw}} * 100 = 99,98\%$$

Ez a kimagasló eredmény első sorban köszönhető az alacsony futás teljesítménynek, valamint az optimális felhasználásnak. Ezalatt azt értem, hogy két fázisú 16A-es töltővel volt töltve, mindig garázsban volt tárolva és nem sűrűn volt autópályán használva. Az optimális felhasználás hiánya vezethetett arra, hogy a másik autónak mérhetően rosszabb volt az akkumulátora.

A valós környezetben történő merítés esetében a hasznos kapacitásra és egészségi állapotra csak következtetni tudunk, mivel a merítés nem teljes töltöttségtől a megállásig tartott.

Ez alapján az eredmények a következők:

$$C_0 = 49.28090531 \text{ A} * 321.472054851444 \text{ V} * 1.454124956 \text{ h} = 23036.87848 \text{ W}$$

C_0 = elhasznált energia

$$C = \frac{C_0}{\Delta SOC} * 100 = \frac{23,03687848 \text{ Kw}}{72,8} * 100 = 31.64409341 \text{ Kw}$$

$$SOH = \frac{C}{C_n} * 100 = \frac{31.64409341 \text{ Kw}}{32 \text{ Kw}} * 100 = 98,89\%$$

Ezek az eredmények viszont nem hitelesek mert az akkumulátor teljes kapacitásának közelítő értékét kapjuk meg. Ahhoz, hogy ki tudjuk számítani a ténylegesen felhasználható kapacitást, tudnunk kell az akkumulátor kihasználtságát. A Volkswagen e-golf BMS-e úgy működik, hogy az akkumulátor romlásával egyenesen arányosan használja ki az akkulátor teljes kapacitását, hogy a kezdeti kapacitást próbálja tartani. Kezdetben a teljes SOC töltöttség körülbelül 95% és amikor az autó lemerül akkor még 8% marad az akkumulátorunkban, később ez az intervallum tágul ki. Az én esetemben ennél az autónál nem állt módomban ezeket az adatokat megmérni, de mivel, ha 100 %-os kihasználtsággal számoltam még úgylis elmaradtak az értékek az első autó mérésétől ezért annál biztos, hogy rosszabb az akkumulátora. Ebből kiindulva annak az autónak az adatait használtam fel, hogy egy a valósághoz közelebbi eredményt kapjak.

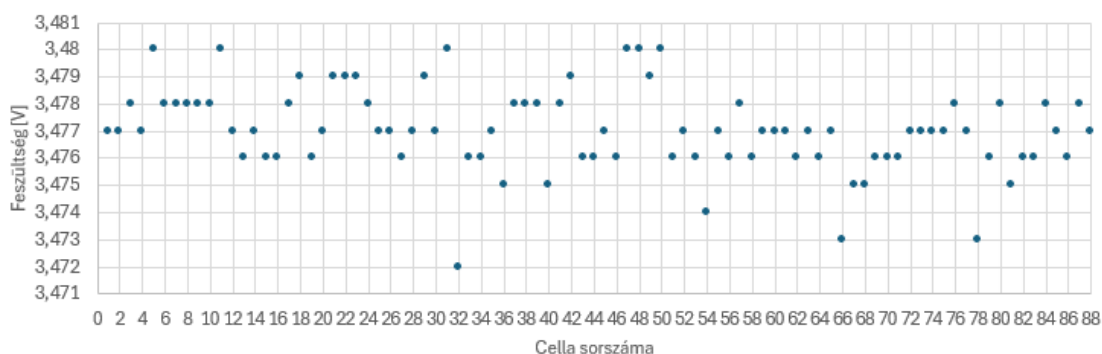
$$C_{közelítő} = \frac{C_0}{\Delta SOC} * = \frac{23,03687848 \text{ Kw}}{72,8} * 89,6 = 28,35310769 \text{ Kw}$$

$$SOH = \frac{C}{C_n} * 100 = \frac{31.64409341 \text{ Kw}}{32 \text{ Kw}} * 100 = 88,6 \%$$

Ezek az adatok csak tájékoztató jellegűek, ezért nem használom fel a referencia mérésem ezen adatait, hanem csak a görbék jellegét figyelem.

19.2. A kisülési és a kezdeti feszültség vizsgálata

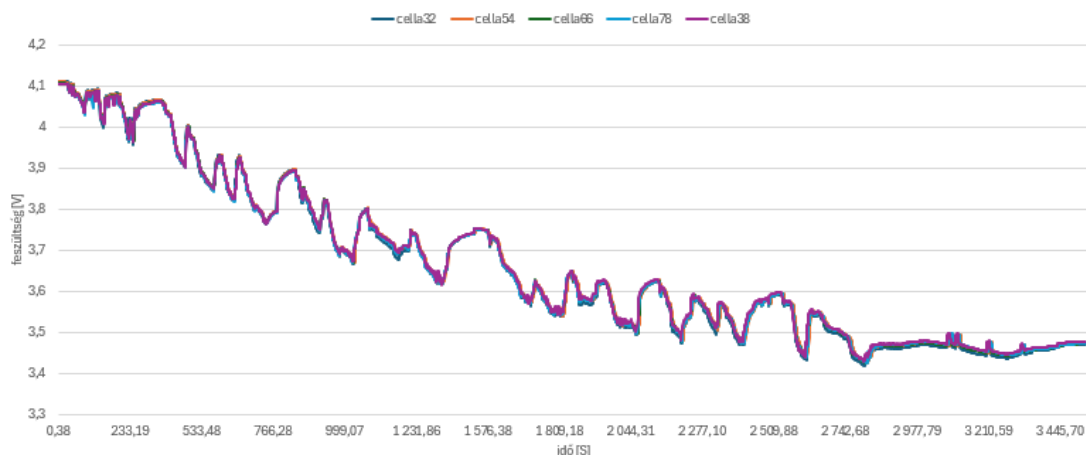
Az előbbieken a számításaim bizonyították, hogy az első méréshez használt autónk akkumulátora szinte tökéletes állapotban van. Nézzük meg közelebbről az egyes cellák kisülési (19.1. ábra) és kezdeti feszültségeit (19.3. ábra).



19.1. ábra: Cellák kisülési feszültségei
[saját forrás]

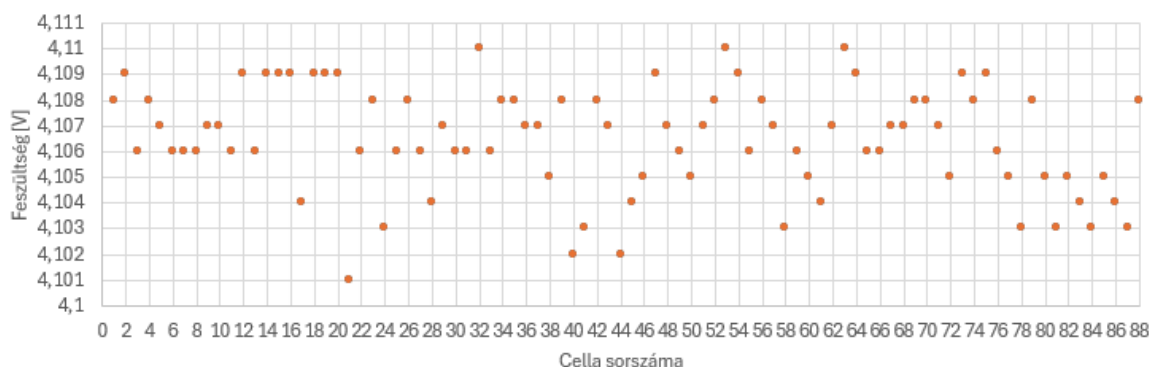
A 19.1. ábra alapján csak század Voltok az eltérések a kisülési feszültségek között, ilyen kicsi eltérésnél nem lenne indokolt a további vizsgálat.

A továbbiakban a négy legalacsonyabb értéket (32,54,66,78. cella) megvizsgálom, a problémák kiszűrése érdekében (19.2. ábra).



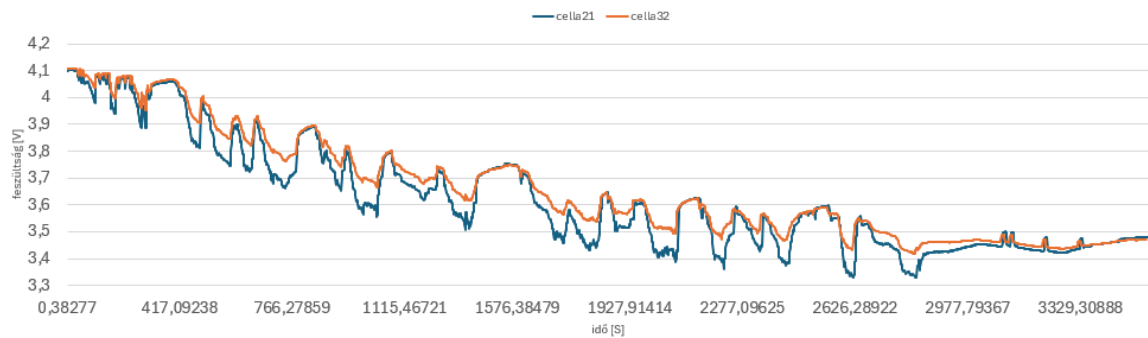
19.2. ábra: 32,54,66,78. cella összehasonlítása
[saját forrás]

A 19.1. ábra alapján a 38. cella egészséges, ezért ezt egy bázis értéként tüntettem fel. Jól látható, hogy problémára utaló kiugrás nem látható. A cellák feszültsége időnként nagyobb kilengéseket mutat (pl. meredek esések és emelkedések), ami az akkumulátor dinamikus terheléséből következik.



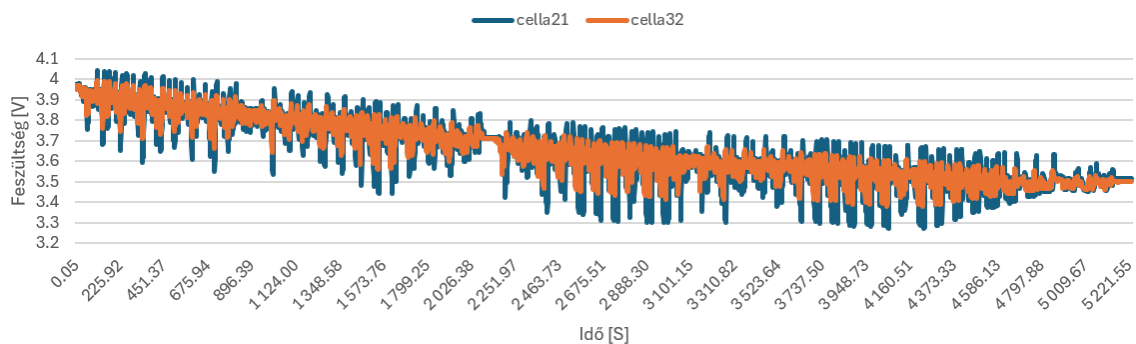
19.3. ábra: Cellák kezdeti feszültségei
[saját forrás]

A 19.1. és 19.3-as ábrát összehasonlítva megfigyelhetjük, hogy míg a 32-es cella kezdeti feszültsége a legmagasabb és kisülési feszültsége a legalacsonyabb. Ezzel szemben a 21-es cella kezdeti feszültsége alacsony, de kisülési feszültsége a magasabbak között van. Ez alapján 21-es cella kapacitása alacsonyabb a 32-es celláénál.



*19.4. ábra: 21-32-es cella összehasonlítása
[saját forrás]*

A 19.4. ábra bizonyítja, hogy a 21-es cella valóban rosszabb állapotban van, mint a 32-es cella. A 21-es cella esetében az ingadozások nagyobb mértékűek, ami arra utalhat, hogy ez a cella instabilabb, vagy nagyobb terhelést kap. Feszültsége alacsonyabb a legtöbb időpontban, ami azt jelezheti, hogy nagyobb terhelés alatt áll és ezért gyorsabban merül.



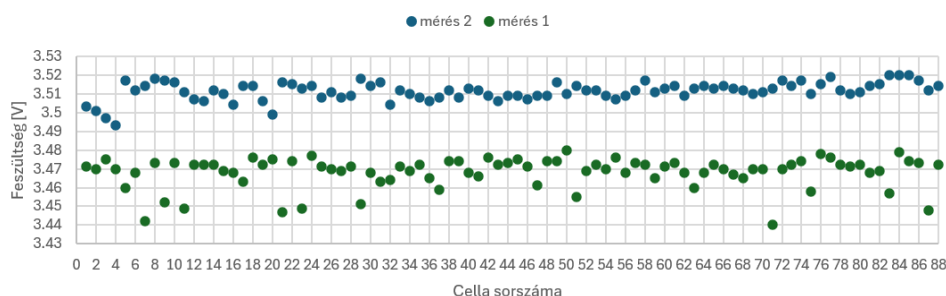
*19.5. ábra: 21-32-es cella összehasonlítása a referenciamérésből
[saját forrás]*

A 19.5. ábrán látható, hogy ez a különbség ugyanúgy megjelenik a másik autó mérésében is, tehát ez a jelenség típusspecifikus.

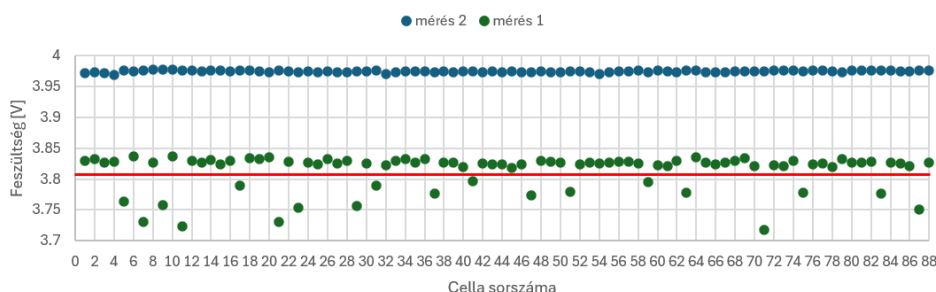
Ebben az esetben a nagyobb terhelés összefügg az akkumulátorcella a hőmérsékletével.

A hőmérséklet jelentős hatással van az akkumulátor teljesítményére. Magasabb hőmérséklet növeli az akkumulátor belső ellenállását, ami nagyobb terhelést eredményez. Egy adott cella melegebb lehet, ha nem megfelelő a hűtés vagy ha egy belső hiba miatt túlmelegedik. Ez fokozhatja a cella terhelését, gyorsítva annak elhasználódását.

19.3. Két mérés azonos töltöttségi szinten való összehasonlítása



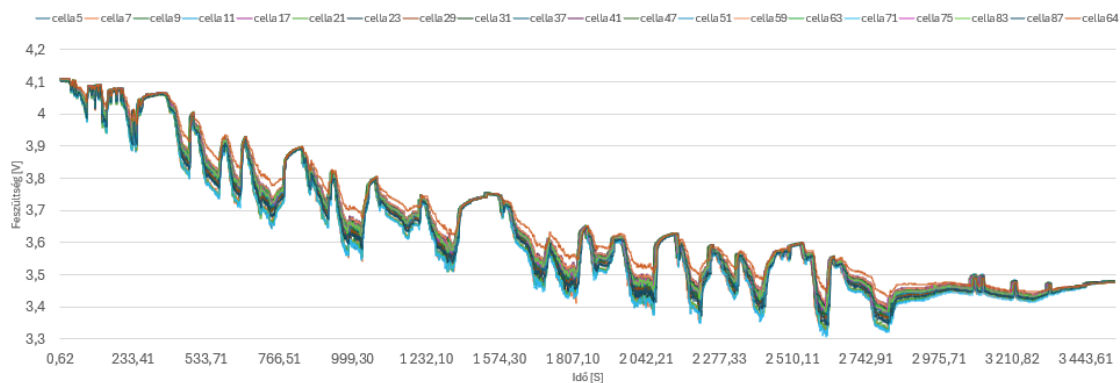
19.6. ábra: Cella feszültségek 10,8%-on [saját forrás]



19.7. ábra: Cella feszültségek 83,6%-on [saját forrás]

A 19.6. ábrán a második mérés befejezésekor, míg a 19.7. ábrán a mérés kezdetekor felvett cellafeszültségeket láthatjuk. Mindkét esetben közös, hogy a referencia mérés kezdetekor és befejezésekor az akkumulátor már nem volt terhelés alatt. Ezzel szemben az első mérés mind két esetben terhelésen volt az akkumulátor, mert nem ezeken az SOC értékeken kezdődött és fejeződött be a mérés. Ezzel magyarázhatóak a diagramon látható feszültség különbségek a két mérés között.

A 19.7. ábra mérés 1 része jól megmutatja, hogy melyik cellák a rosszabb állapotúak. A 19.4. ábra alapján kerestem több, a 21-es cellához hasonló viselkedésű cellát és eredményként a piros vonal alatti cellákat kaptam. Ez azt jelenti, hogy nem érdemes a kisülési és feltöltött feszültséget figyelni, mert a BMS kiegyenlíti feszültségeiket. Ha már egyik cella elérte a feltöltött állapotot, akkor nem tölti tovább és ha az egyik lemerült, akkor nem meríti tovább. Ha a terhelés közben figyeljük meg a feszültségeket az pontos, szemmel jól látható képet ad, hogy mely cellákban lehet hiba.



19.8. ábra: Rosszabb értékű cellák összehasonlítása
[saját forrás]

A 19.8. ábra megmutatja, hogy romlanak a cellák állapotai a piros vonaltól távolodva. A 64. cella a 17.7. ábra alapján a legjobb állapotú és ez a 19.8. ábrán is látható.

A piros vonal alatti celláknak nagyobb a belső ellenállásuk, valószínűleg azért, mert akkumulátor modulon belül középen helyezkednek el és ezért magasabb hőmérsékletnek vannak kitéve. A magasabb hőmérséklet nagyobb belső ellenállást és ezáltal nagyobb terhelést is eredményez az adott cellára. A későbbiekben valószínűleg ezek a cellák fognak a leghamarabb tönkre menni, a magasabb igénybevétel miatt.

19.4. Cella feszültségek és az akkumulátor feszültségének összehasonlítása az első mérésben

A belső veszteségek miatt például a belső ellenállás vagy a mérési pontatlanság miatt a teljes akkumulátor feszültsége kicsit alacsonyabb lehet, mint a cellák elméleti összege.

A mérés alatt a cellák feszültségét egyenként és az egész akkumulátor modul feszültségét is lekértük a veszteségek megfigyelése érdekében.

A mérés kezdetekor az akkumulátor feszültsége a cellák feszültségét összegezve 361,368V, a mért adat pedig 361V arra utalhat, hogy van egy minimális veszteség a rendszerben. Ez a különbség (0,368 Volt) elenyésző, de azt jelezheti, hogy a cellák feszültségei közötti összeg és az akkumulátor kapcsain mért feszültség nem teljesen azonos.

Ezzel szemben a lemerült akkumulátor esetében a különbség kisebb (0,225 Volt), pedig a belső ellenállás a hőmérséklet növekedése miatt valószínűleg nagyobb. A cellák feszültségét összegezve 305,975V és a mért adat pedig 305,75V.

Amikor az akkumulátor felmelegszik, a belső ellenállása növekszik, ami nagyobb feszültségesést eredményezne.

Az, hogy a különbség mégis kisebb, arra utalhat, hogy a meleg akkumulátor esetében a feszültségkülönbséget valamilyen más folyamat kompenzálja.

Az, hogy a különbség lemerült állapotban kisebb, nem feltétlenül mond ellent a megnövekedett belső ellenállásnak. Inkább azt mutathatja, hogy a lemerült és meleg akkumulátor feszültségviselkedése összetett, és több tényező is befolyásolja.

20. Összegzés

A lítium-ion akkumulátorok állapotának pontos és érintésmentes diagnosztikája alapvetően hozzájárul az elektromos járművek hatékony üzemeltetéséhez és fenntarthatóságához. A Volkswagen e-Golf vizsgálata során kialakított mérési módszer lehetőséget nyújt arra, hogy az akkumulátor teljesítménycsökkenését, az elhasználódás jeleit időben felismerjük. A CAN hálózaton keresztüli adatgyűjtés és a telemetriai rendszerek alkalmazása hatékony eszközként szolgáltak a vizsgált autó akkumulátorának teljesítményadatainak rögzítésére és elemzésére.

Dolgozatom eredményeként sikeresen végrehajtottam az e-Golf akkumulátorának diagnosztizálását, valamint részletesen megismertem jelen autó nagyfeszültségű rendszerének működési sajátosságait. A bemutatott eljárás eredményeként egyértelmű, hogy a fékpadon való mérés eredményesebb volt. A fékpadon tetszőleges terhelést tudunk szimulálni, ezáltal a mérési időt minimálisra lehet csökkenteni. A mérési adatok sokkal átláthatóbbak, mivel regeneratív fékezés nélkül fut le a mérés és így a visszatöltéskor keletkező áramok nem zavarják a mérési diagramot.

A jövőben szeretnék nagyobb futásteljesítményű e-Golf-okat vizsgálni, hogy jobban megérthessük a hosszú távú használat során fellépő kapacitáscsökkenést és belső ellenállásváltozásokat. További kutatásokat lehetne végezni különböző töltési és merítési ciklusok hatásairól, melyek segíthetik az akkumulátorok élettartamának optimalizálását. Az így szerzett tudás hozzájárulhat az elektromos járművek akkumulátor moduljainak megbízható monitorozásához és a hibás modulok időben történő cseréjéhez, ami mind gazdasági, mind fenntarthatósági szempontból előnyös.

Köszönet nyilvánítás

Köszönöm Dr. Kvasznicza Zoltán témavezetőmnek (konzulensemnek) a szakdolgozat során adott hasznos ötleteit és jó tanácsait. Hálával tartozom Baráth Balázs külső konzulensemnek, aki a dolgozat megírásához tanácsaival, odafigyelésével járult hozzá. Köszönöm a ZalaZone Ipari Parknak, hogy duális képzésem révén lehetőséget adott, hogy a Zalaegerszegi Innovációs Parknál végezzem el kutatásomat.

Irodalomjegyzék

- [1] S. Barcellona, L. Codecasa, S. Colnago, C. Laurano, L. Piegari, and S. Toscani, "A technique for separating the impact of cycle aging and temperature on Li-ion battery capacity," *J Energy Storage*, vol. 91, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.112087.
- [2] F. C. S. L. Z. H. Y. T. J. T. Xiaoyu Lia, "Battery parameter identification method of a battery module based on a multi-physical measurement system," *J Energy Storage*, Nov. 2023, Accessed: Sep. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X23036150>
- [3] J. Z. W. G. Y. S. C. J. Y. Z. Zhicheng Zhu, "Estimation methods for the state of charge and capacity in various states of health of LiFePO₄ batteries," *J Energy Storage*, 2024.
- [4] S. S. Choi and H. S. Lim, "Factors that affect cycle-life and possible degradation mechanisms of a Li-ion cell based on LiCoO₂," *J Power Sources*, 2002.
- [5] G. Marin-Garcia, G. Vazquez-Guzman, J. M. Sosa, A. R. Lopez, P. R. Martinez-Rodriguez, and D. Langarica, "Battery Types and Electrical Models: A Review," in *2020 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2020. doi: 10.1109/ROPEC50909.2020.9258711.
- [6] DENIOS, "Lítium-ion akkumulátor - működése, veszélyei, tárolása és szállítása," DENIOS. Accessed: Aug. 26, 2024. [Online]. Available: https://www.denios.hu/szakertelem/litium-ion-akkumulator-tanacsado?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwx-CyBhAqEiwAeOcTdXJnstyxIP-j2_iNRqw22sAlNaNRvtuV1Z_i0MJQkCdgWHbYZJ5BRoCrrEQAvD_BwE
- [7] CT, "Hogyan állapítható meg, hogy a lítium-ion akkumulátor rossz?," Lithium Battery Tech. Accessed: Aug. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.lithiumbatterytech.com/hu/how-to-tell-if-a-lithium-ion-battery-is-bad/>
- [8] S. Gergő, Ö. Péter, K.-S. Szabolcs, and L. István, "E-Golf nagyfeszültségű akkumulátor rendszerének érintésmentes vizsgálati lehetősége E-Golf high voltage battery system contactless investigation opportunities," *„Mobilitás és környezet - Jövőformáló járműipari kutatások” konferencia*, 2022.
- [9] Autophorie, "VW e-Golf Facelift Fahrbericht: 300 Kilometer elektrisch unterwegs," Autophorie.de. Accessed: Jul. 24, 2024. [Online]. Available: <https://autophorie.de/2017/08/22/test-vw-e-golf-facelift/>

- [10] Somlyai László, “CANBUSZ ÁLTALÁNOS ISMERTETŐ,” *Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar*, 2009.
- [11] KVASER, “KVASER MEMORATOR R SEMIPRO,” 2021. [Online]. Available: www.kvaser.com/downloads
- [12] Electric Vehicle Database, “Volkswagen e-Golf,” Electric Vehicle Database. Accessed: Jul. 04, 2024. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1087/Volkswagen-e-Golf>
- [13] MUZIX Audio, “Amit a lítium akkumulátorról tudni érdemes,” MUZIX Audio. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: https://www.muzix.hu/akkumulator_jellemzoi
- [14] Bognár András, “Felfűvódó akkumulátorok az Apple készülékekben,” APPSolute. Accessed: Jun. 28, 2024. [Online]. Available: <https://appsolute.hu/2013/03/felfuvodo-akkumulatorok-az-apple-keszulekekben/>
- [15] Dr. Kovács István, “Li-ion akkumulátorok tesztelése modern módszerekkel,” LABORNITE Kft. Accessed: Jul. 05, 2024. [Online]. Available: <https://ec-labor.hu/li-ion-akkumulatorok-tesztelese/>
- [16] Scherer Balázs, dr. Tóth Csaba, and Bosch -Beágyazott Rendszerek Laboratórium, “Autóipari kommunikációs hálózatok vizsgálata,” 2016.
- [17] Őri Péter, “Ha az autó beszélni tudna (2. rész) – A CAN-kommunikáció,” Autószektor. Accessed: Jul. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.autoszektor.hu/hu/content/ha-az-auto-beszelni-tudna-2-resz-can-kommunikacio>
- [18] Dr. Lakatos István, *Fedélzeti diagnosztika (OBD, EOBD)*. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008.
- [19] L. Merkle, M. Pöthig, and F. Schmid, “Estimate e-golf battery state using diagnostic data and a digital twin,” *Batteries*, vol. 7, no. 1, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/batteries7010015.
- [20] Martin Falch, “CAN DBC File Explained - A Simple Intro [+Editor Playground],” 2022. Accessed: Jul. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.csselectronics.com/pages/can-dbc-file-database-intro>
- [21] Oracle, “Byte Ordering,” Oracle Linux 6 Porting Guide. Accessed: Sep. 06, 2024. [Online]. Available: <https://docs.oracle.com/en/operating-systems/oracle-linux/6/porting/ch03s04.html>
- [22] H. Gschwind, “Extended Signal Multiplexing in DBC Databases,” *VECTOR*, Apr. 2019, [Online]. Available: www.vector.com

- [23] OBD2, “Why do you need an OBD2 scanner today?,” OBD2 Australia. Accessed: Sep. 03, 2024. [Online]. Available: <https://obd2australia.com.au/why-do-you-need-an-obd2-scanner-today/>
- [24] Barczy Veronika, “Hogyan lehet elektromos autót diagnosztizálni? HÁT OBD OLVASÓVAL!,” b-evmobil. Accessed: Sep. 04, 2024. [Online]. Available: <https://b-evmobil.hu/blog/hogyan-lehet-autot-diagnosztizalni-hat-obd-olvasoval/>
- [25] Varsányi Péter, “Hogy épül fel egy elektromos autó?,” Villanyautósok. Accessed: Sep. 05, 2024. [Online]. Available: <https://villanyautosok.hu/2018/02/22/hogy-epul-fel-egy-elektromos-auto/>
- [26] Vezess, “Mire jó a villanyautó és mire nem?,” Vezess. Accessed: Sep. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.vezess.hu/magazin/2020/10/20/elektromos-auto-villanyauto-taxi-elektromos-szemelyszallitas/>
- [27] Pszota József, “Analóg és digitális jel,” Centroszet Szakképzés-szervezési Nonprofit Kft. Accessed: Sep. 06, 2024. [Online]. Available: https://centroszet.hu/tananyag/digit_aramkorok/22_analg_s_digitlis_jel.html
- [28] Doze, “Autódiagnosztika: alapok,” *Logout*, Jan. 2013, Accessed: Sep. 06, 2024. [Online]. Available: https://logout.hu/cikk/autodiagnosztikai_alapok/fedelzeti_diagnosztikai_rendszerek_leirasa.html
- [29] X. Wei, B. Zhu, and W. Xu, “Internal Resistance Identification in Vehicle Power Lithium-Ion Battery and Application in Lifetime Evaluation,” in *2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, IEEE, 2009, pp. 388–392. doi: 10.1109/ICMTMA.2009.468.
- [30] Mathlab, “Vehicle Network Toolbox.” Accessed: Oct. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/vnt/ug/.html>
- [31] Kvaser, “Kvaser’s CanKing - Free Bus Monitor Software,” Kvaser. Accessed: Sep. 11, 2024. [Online]. Available: <https://kvaser.com/canking/>

Ábrajegyzék

2.1. ábra: Lítium-ion akkumulátor működése.....	9
2.2. ábra: Kapacitás csökkenése töltési ciklusok hatására	10
2.3. ábra: Felpúposodott akkumulátor	11
3.1. ábra: Akkumulátor kisütési diagramja, áram és kapacitás viszonya.....	12
6.1. ábra: Analóg, digitális jel	16
6.2. ábra: Recesszív és domináns bithez tartozó jelszintek	17
6.3. ábra: Lezáró ellenállás elhelyezkedése	17
6.4. ábra: Standard ID és Extended ID felépítése	18
6.5. ábra: Arbitráció folyamata	19
7.1. ábra: OBD I és OBD II csatlakozó	20
8.1. ábra: EOBD csatlakozó lábkiosztása	21
9.1. ábra: Elektromos autó vezérlő moduljai	22
9.2. ábra: Elektromos autó magas teljesítményű egységei	23
10.1. ábra: 2019-es Volkswagen e-golf akkumulátora.....	24
10.2. ábra: Az akkumulátor pakkok számozása és kötési sorrendje	24
11.1. ábra: Mérési telemetria.....	25
12.1. ábra: CAN hub-ba csatlakoztatott eszközök	26
13.1. ábra: Kvaser Memorator R SemiPro.....	27
14.1. ábra: Egyedileg készített EOBD csatlakozó	27
15.1. ábra: A mérési eszközök összekapcsolása	28
15.2. ábra: A kérés kód és a válasz üzenet felépítése	29
16.1. ábra: Simulink modell.....	29
16.2. ábra: Cella adatok a DBC fájlban belül	31
16.3. ábra: Multiplexelés sorrendje.....	32
17.1. ábra: Kvaser CanKing alkalmazás felépítése.....	33
18.1. ábra: Mérési rendszer működés közben.....	34
18.2. ábra: Hőmérséklet figyelése a mérés alatt	34
18.3. ábra: Radar hullámok árnyékolása.....	35
18.4. ábra A vizsgált autók.....	35
19.1. ábra: Cellák kisülési feszültségei	37

19.2. ábra: 32,54,66,78. cella összehasonlítása	38
19.3. ábra: Cellák kezdeti feszültségei.....	38
19.4. ábra: 21-32-es cella összehasonlítása	39
19.5. ábra: 21-32-es cella összehasonlítása a referenciamérésből	39
19.6. ábra: Cella feszültségek 10,8%-on.....	40
19.7. ábra: Cella feszültségek 83,6%-on.....	40
19.8. ábra: Rosszabb értékű cellák összehasonlítása	41

Táblázatjegyzék

2.1. táblázat: Akkumulátorok összehasonlítása	8
6.1. táblázat: Recesszív domináns bit összehasonlítása.....	16
6.2. táblázat: A busz hossz a lezáró ellenállás és az átviteli sebesség viszonya	18
8.1. táblázat: Az EOBD csatlakozó egyes pineinek feladata	22

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Csikós Flórián (név)

nyilatkozom, hogy ez a dolgozat saját munkám terméke, a felhasznált irodalmat a tudományterületnek megfelelő módon kezeltem, az erre vonatkozó jogszabályokat betartottam.

Az elektronikusan benyújtott szakdolgozat tartalmában és formájában is megegyezik.

Az elkészült diplomamunkámban található eredményeket az egyetem saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Pécs, 2024.04.05.



Hallgató aláírása