

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

**JÁRMŰPLATFORM KIFEJLESZTÉSE AUTONÓM
JÁRMŰFUNKCIÓK TESZTELÉSÉHEZ**

TDK dolgozat

Készítette: Fehér Árpád, járműmérnöki (BSc)
Kasza Csaba, járműmérnöki (MSc)

Konzulens: Aradi Szilárd, tanársegéd

2013. november

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Az autonóm jármű projekt, célok, követelmények	4
3. Rendszerarchitektúra.....	7
3.1. Hardverelemek	8
3.1.1. Mikrovezérlők.....	9
3.1.1.1 AT32UC3C2512C	12
3.1.1.2 AT90CAN128	13
3.1.2. Mikrovezérlők köré épített áramköri elemek.....	13
3.1.2.1 LTC1669 – Digitális- Analóg jelátalakító	13
3.1.2.2 LTC1694 – Aktív jelalak javító.....	14
3.1.2.3 MCP2551 – CAN szintillesztő	14
3.1.2.4 MCP2003 – LIN szintillesztő	15
3.1.2.5 MAX232A – RS232 szintillesztő	15
3.1.2.6 LM2576 – Feszültség stabilizátor IC.....	15
3.2. Prototípus rendszer	16
4. Hardver kivitelezés, áramkörtervezés	18
4.1. A központi vezérlő egység tervezése	21
4.1.1. Az AT32UC3C0512C processzor segédáramköre	21
4.1.2. Feszültség szabályozó áramkör.....	23
4.1.3. A CAN szintillesztő áramkör.....	24
4.1.4. LIN szintillesztő áramkör.....	25
4.1.5. Az RS232 szintillesztő áramkör.....	25
4.1.6. A központi vezérlő egység LED-jei és csatlakozói	27
4.1.7. A központi vezérlő egység nyomtatott áramköre	27
4.2. Az aktuátor vezérlő egység tervezése	30
4.2.1. A digitál-analóg átalakító áramköre.....	31
4.2.2. Az aktuátor vezérlő egység LED-jei és csatlakozói.....	32
4.2.3. Az aktuátor vezérlő egység nyomtatott áramköre.....	32
5. Hálózatok, adatkommunikáció.....	34
5.1. Járműipari hálózatok	34
5.1.1. Kialakulásuk.....	34
5.1.2. CAN [2].....	36
5.1.2.1 Felépítés.....	36
5.1.2.2 Protokoll	36
5.1.3. LIN [3]	38
5.1.3.1 Üzenetformák	39
5.1.4. FlexRay [5]	40
5.1.4.1 Kialakítás	40
5.1.4.2 Protokoll	41
6. Összefoglalás, fejlesztési lehetőségek.....	43
7. Irodalomjegyzék.....	44
8. Ábrajegyzék	45

1. BEVEZETÉS

A dolgozat egy autonóm (vezető nélküli) jármű irányításához szükséges elektronikai egységek elkészítésével foglalkozik. A jármű egy hallgatói projekt keretében a Robert Bosch Kft. és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés- és Járműirányítási tanszékének együttműködésében készül. Egy gokart vázra építkezünk, ami a motor kivételével minden szükséges alkatrészt tartalmaz, amire egy járműnek emberi irányítással történő közlekedés során szüksége van. A projekt több részfeladatra osztható fel, mégpedig a belsőégésű motor kiváltására korszerű elektromos hajtás beszerelése, a kormányt és mechanikus fékeket működtető aktuátorok illesztése, illetve a szenzorok megfelelő beépítése és konfigurálása.

Ezen dolgozat témája egy, a szenzorok adatait feldolgozó központi egység fejlesztése, ami irányítási algoritmusokon keresztül képes vezérelni a jármű mozgását, valamint egy aktuátor vezérlő egység létrehozása, ami a központi egység irányító üzeneteit aktuátorspecifikus jelekké alakítja át. Két olyan modul létrehozását tűztük ki célul, melyek megállják a helyüket a modern járműiparban. Mindkét egységben található egy nagy teljesítményű központi feladatokat ellátó mikrovezérlő, illetve az azok köré épített áramköri elemek, melyek egy-egy általunk tervezett nyomtatott áramkörön kapnak helyet. A dolgozatban nagyrészt ezen áramköri tervek és a tervezés lépéseinek bemutatására helyezük a hangsúlyt. A hardveres fejlesztések mellett a dolgozat foglalkozik egy általunk készített prototípus rendszer bemutatásával, kitérve a mikroszámítógépekben futtatandó szoftveres megvalósítások előzetes kérdéseire. A prototípusrendszer egy ún. „deszkamodell” (járműipari szakkifejezéssel: „A-Sample”) amely még nem egy komplett nyomtatott áramkörből, hanem több különálló, szalagkábelekkel, kábellel összekapcsolt részegységből áll. A járművön használt részegységek kommunikációs megoldásai megegyeznek a mai járműiparban elterjedt hálózatokkal. Külön fejezetben ismertetjük ezeket, és részletezzük a beavatkozók vezérléséhez használt jeleket is.

2. AZ AUTONÓM JÁRMŰ PROJEKT, CÉLOK, KÖVETELMÉNYEK

2013 tavaszán vette kezdetét a Robert Bosch Kft. és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés- és Járműirányítási tanszékének közös projektje. Egy olyan jármű felépítését tűztünk ki célunkul, ami egy bemutató keretében a Robert Bosch Kft. sorozatgyártásban kiadott szenzoraival felszerelve, emberi beavatkozás nélkül (autonóm módon) képes zárt pályán haladni.

A projekt kezdeti szakaszában nem állt rendelkezésünkre olyan kerekekkel ellátott szerkezet, amire építkezni tudtunk volna, ezért első lépésként keresnünk kellett egyet a következő megkötések figyelembe vételével. A felszerelni kívánt érzékelők és szenzorok alapvetően autós környezetre készültek, tehát a járművünknek legalább akkorának kellett lennie, mint a jelenleg piacon kapható legkisebb autó, vagy szerkezetileg lehetőséget kellett biztosítani szélesítő-magasító elemek elhelyezésére. Egy könnyen kezelhető, megfelelően irányítható egyszerű szerkezetre volt szükségünk, melyre szimpla átalakításokkal fel tudjuk szerelni az irányításhoz szükséges elemeket.

A lehetőségeinket és a járművel szemben támasztott követelményeket figyelembe véve egy elektromos gokart beszerzése mellett döntöttünk. A piacon elérhető gokartok nagy része belsőégésű motorral rendelkezik, ezért egy motor nélküli, fék és kormány szerkezettel felszerelt gokart vázát választottunk. Így kezdtek körvonalazódni az elvégzendő tervezési és szerelési feladatok.

A jármű kivitelezése egy 10-12 főből álló hallgatói csoport feladata. Két és háromfős csapatokra bontva elkezdődtek a feladatok egymás közti felosztása.

Egy háromfős csoport foglalkozik az érzékelőkkel és a szenzorfüziós lehetőségekkel. Az ő feladatuk a szenzorok megfelelő elhelyezése, beállítása, összehangolása és a szolgáltatott magas szintű információtömegeből algoritmusok segítségével előállítani a számunkra fontos járműállapot-információkat.

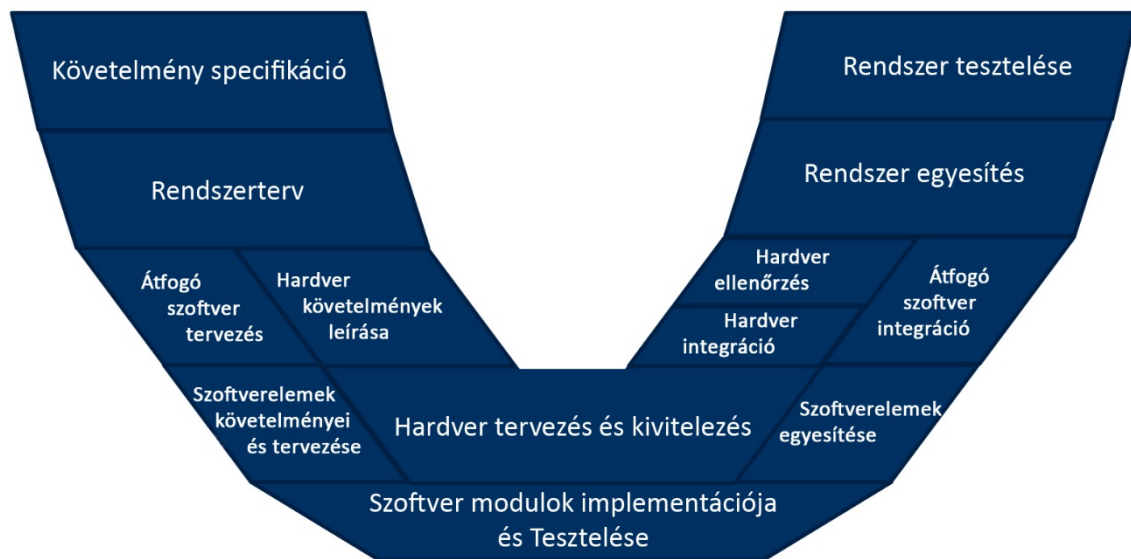
Ugyancsak egy háromfős csapat foglalkozik az aktuátorok kérdéskörével. Ők végzik a hajtást, fékezést és kormányzást megteremtő villanymotorok kiválasztását, illesztését. A motorok méretezéséhez szükség volt erőmérővel lemérni a nyomatékigényt, illetőleg a hajtómotort a lánchajtás fordulatszám módosításához mérten kellett kiválasztani, ahhoz hogy a gokart az elvárt sebességhatárok közt tudjon közlekedni. Feladatuk a nyomatékátvitelt biztosító fogaskerékpár és lánchajtás, valamint a motortartó konzolok tervezése is.

A későbbi fejlesztések és tesztelések során ezek a csoportok szükségszerűen átrendeződnek az aktuális feladatok függvényében.

Ezen dolgozat témája a szenzorok és az aktuátorok közti kapcsolatot megvalósító két egység hardverszintű fejlesztése, melyek központi szerepet vállalnak a jármű helyes működésében. Az érzékelőktől érkező alacsony szintű CAN üzenet halmazból, a magas szintű járműhelyzet, járműkörnyezet információk előállítását az általunk tervezett nagy teljesítményű központi egység fogja végezni. Ezen információk birtokában egy helyes trajektória megtervezése után vezérlő üzeneteket küld az aktuátor vezérlőegységnek, ami az üzeneteket az aktuátorok számára értelmezhető vezérlő jellé alakítja át.

Az autonóm jármű projektben minden elkészült részfeladatot (áramköri tervek, forráskódok, dokumentációk) a komoly járműipari cégekhez hasonló módon egy közös projektszerverre mentettünk illetve oda dolgoztunk.

A fejlesztés lépéseit a V- Modell-t (1. ábra) követve hajtottuk (hajtjuk) végre.



1. ábra: V-modell
Forrás: Saját készítés

Ezt a modellt elsősorban a projektmenedzsment területén használják. Választásunk azért esett erre, mert a BOSCH a V-modellt alkalmazza a projektek tervezésének és kivitelezésének ütemezésére. Emellett, a modell mellett szól az a tény is, hogy az esetleges hibák már a folyamat korai szakaszában felismerhetők, ezáltal kiszűrhetőek. Ennek eredményeképpen a költségek csökkenthetőek. A nevét onnan kapta, hogy a két

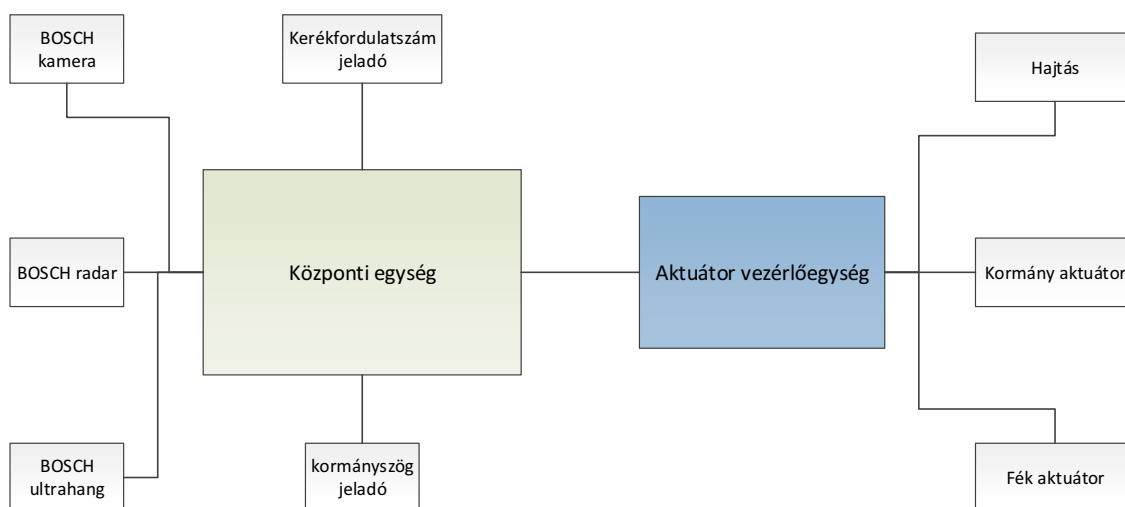
szára egy V betűre hasonlít. A bal oldali a fejlesztési szár, a jobb oldali a tesztelési lépéseket tartalmazza.

Az egy szinten lévő lépések összetartoznak, azaz a tesztelési lépés a fejlesztési során létrejött dokumentumokat használja, vagy a létrejött terméket teszteli.

A dolgozat kizárólag fejlesztéssel foglalkozik és a felépítésében követi a V-modell struktúráját. Legelőször rögzítettük a projekttel szemben támasztott követelményeinket, miszerint leírtuk, hogy egy vezető nélküli járműnek zárt pályán kell haladnia. Ezután a Rendszerarchitektúra fejezetben felvázoljuk a rendszertervet és részletesen taglaljuk a tervezendő egységektől elvárt követelményeket. A dolgozat további részében ismertetjük a megvalósításához szükséges elemeket és végül az Áramkörtervezés fejezetben a konkrét megvalósításról írunk.

3. RENDSZERARCHITEKTÚRA

Az 2. ábra a két vezérlőegység rendszerben elfoglalt helyét szemlélteti. Középen látható a két vezérlő modul, melyek egymással és a körülöttük lévő elemekkel kommunikációs kapcsolatban állnak. Az egységekhez a nevükből adódó, feladatuknak megfelelő perifériák vannak kapcsolva. A központi egység a járműre épített szenzorok adatait feldolgozza, azokat értelmezi, majd a megfelelő irányítási algoritmusok figyelembe vételével küld jeleket az aktuátor vezérlőegységnek, ami ezeket fékerővé, kormányelfordulássá vagy hajtónyomatékká alakítja.



2. ábra: Az egységek rendszerben való elhelyezése

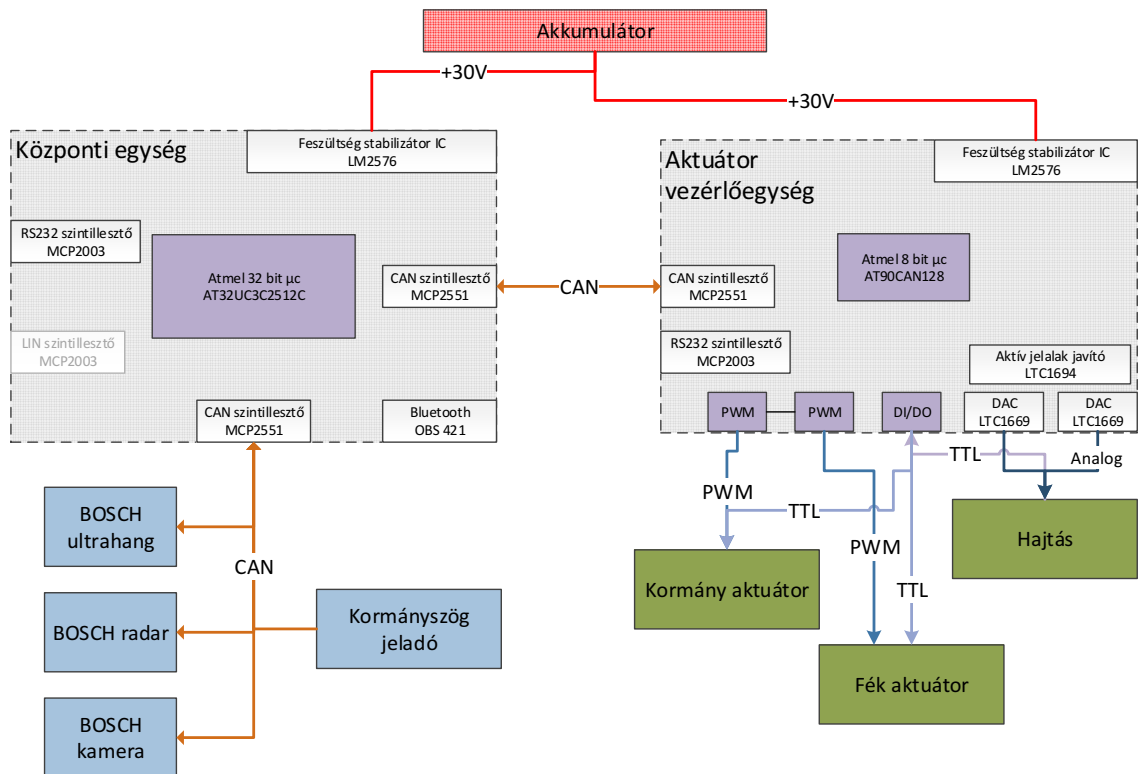
Forrás: Saját készítés

Ezek az elektronikai modulok egy nagy sebességgel is haladni képes vezető nélküli járművet fognak vezérelni, tehát nagyon lényeges, hogy minden esetben megbízható, stabil működést biztosítsanak. A járművet nyílt terepre készítjük, tehát számolnunk kell az ezzel együtt járó hatásokkal, mint a napsütés, felfröccsenő víz, rázkódás, ütések. Az utóbbi kettő a lengéscsillapító rendszer hiánya miatt lehet fontos szempont.

Az áramköri elemeknek stabilitást kell mutatniuk a nagyáramú elektromos beavatkozók nagyfrekvenciás zajaival szemben is. Mindkét vezérlőegység tervezésénél arra törekedtünk, hogy megállják a helyüket a mai járműiparban, és eleget tegyenek a velük szemben támasztott magas követelményeknek.

3.1. Hardverelemek

A központi egység és az aktuátor vezérlőegység, mint két fő elem alkotják az autonóm jármű rendszerének magját. Ezek felelősek az érzékelők és a beavatkozók összehangolásáért. A Hardverelemek fejezet e két egységet fogja bemutatni kitérve azok felépítésére és a szereplő áramköri elemek tulajdonságaira. Mielőtt elkezdenénk az egyes elemek taglalását, felvázolunk egy részletesebb rendszertervet, ami mélyrehatóbb betekintést nyújt a teljes rendszer működésébe és így segít megérteni minden elem szerepét.



3. ábra: A mikroszámítógépek általános felépítése
Forrás: Saját készítés

A fenti ábrán különböző színekkel vannak jelölve az összetartozó funkciókat ellátó egységek. Kékkel az érzékelőket jelöltük, zöld színnel pedig az aktuátorokat. A modulokat összekötő vonalakon lévő nyilaknak is van jelentősége, a kommunikáció irányát jelölik. A vonalak színe és a rájuk írt megnevezések meghatározzák az általa létesített kapcsolat vagy kommunikáció típusát. A két szürke téglalap a két általunk tervezett elektronikai egység, amin belüli blokkok az egységekbe épített áramköri elemek. Középen, lila színnel ábrázoltuk a mikrovezérlőket. A lila színű különálló blokkok a mikrovezérlő részei.

3.1.1. Mikrovezérlők

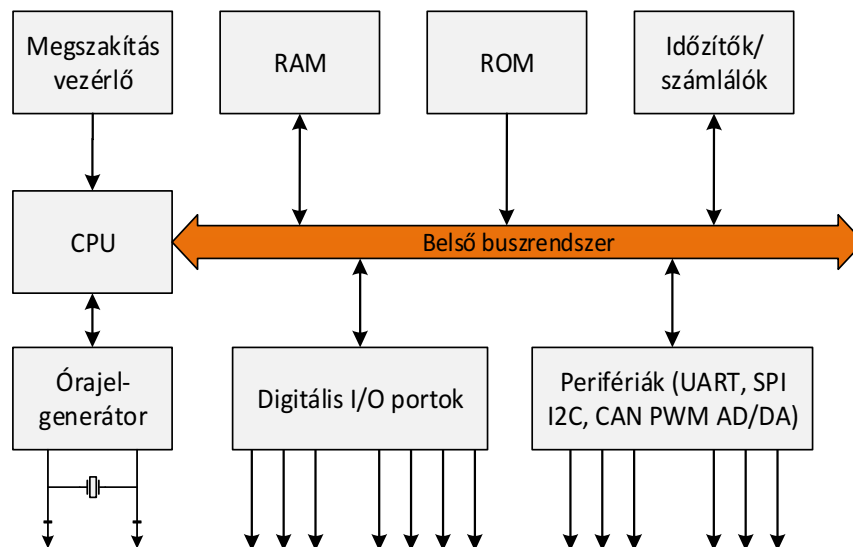
Mindkét általunk tervezett elektronikai egység vezérlését egy-egy nagy teljesítményű mikrovezérlő látja el. Az ezekben lévő, általunk megírt algoritmusok fogják megvalósítani a jármű irányítását, ezért fontosnak tartjuk ezek részletes tárgyalását.

A mikrovezérlők önmagunkban működőképes komplett „számítógépek”. Kiválóan alkalmasak ipari irányítástechnikai, számítástechnikai, távközlési, műszertechnikai és folyamatirányítási feladatok elvégzésére. Napjainkra használatuk számottevő mértékű és az évek múlásával alkalmazási körük is jócskán bővült. Elterjedésüket alapvetően a kis méretüknek, alacsony fogyasztásuknak és a megbízható, gyors működésüknek köszönhetik. A mikrovezérlőket tartalmazó elektronikai egységeket ún. beágyazott rendszereknek hívjuk. Ezek olyan speciális célú egységek, modulok melyeket egy-egy konkrét feladat ellátására terveztek. Járműipari környezetben a beágyazott rendszereket ECU (Electronic Control Unit)-nak - Elektronikai Vezérlőegységnek hívják.

A mikroprocesszorok egyetlen szilícium lapkán kialakított rendkívül kisméretű, integrált számítógépek. Mindent tartalmaznak, ami a működésükhöz szükséges:

- CPU
- RAM
- ROM
- Digitális I/O
- Időzítő / számláló
- Órajelgenerátor

A 4. ábra az általános felépítésüket mutatja. Az egységek minden esetben a PC-khez hasonló belső buszrendszerre felfűzve találhatóak.



4. ábra: A mikroszámítógépek általános felépítése
Forrás: Saját készítés

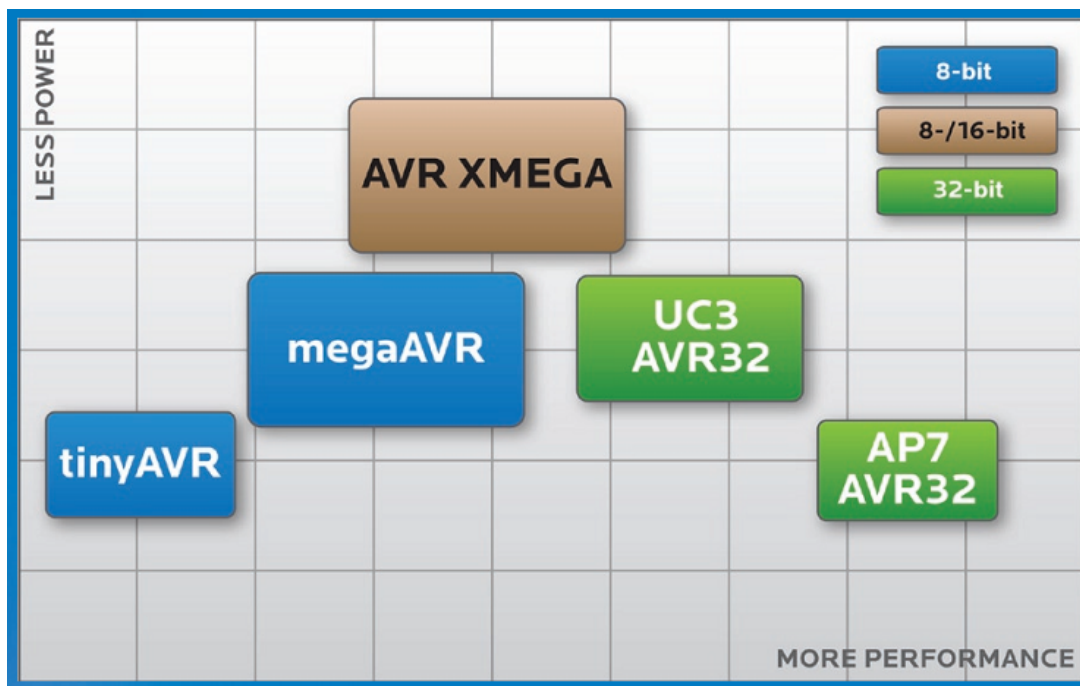
Az ábrán bal oldalt középen látható a mikroszámítógép életében központi szerepet betöltő CPU, ami az egyes utasítások értelmezéséért és végrehajtásáért felelős. A fejlesztő az általa megírt, utasításokat tartalmazó programot a Flash ROM memóriába tölti, amit a CPU innen fog feldolgozni. A RAM memóriában a program futásához szükséges értékek tárolódnak. A feldolgozás ütemszerű ismétlődését egy órajelgenerátor biztosítja. A megszakítás vezérlő egység a CPU-t utasíthatja, hogy ott ahol tart hagyja abba a feldolgozást és kezdjen neki egy a megszakítás típusától függő kódrész végrehajtásának. Amint a CPU végzett a megszakítás feldolgozásával visszatér az eredeti feladatához. Az időzítő/számláló egységgel lehetőségünk van az órajel pontos leosztására, amivel bizonyos periodikusan ismétlődő folyamatokat tudunk pontosan ütemezni. Az egyes perifériák a fajtájuktól függő kommunikációs, vagy egyéb feladatokat láthatnak el.

Mára számos gyártó széles palettán kínálja a mikroprocesszorait. Az egyes típusok különböző, leginkább az alkalmazási területükre jellemző paraméterekkel, perifériákkal rendelkeznek. Így ha egy feladatot mikrovezérlő alkalmazásával tervezünk megoldani, lehetőségünk van az alkalmazási területre legelőnyösebb tulajdonságokkal rendelkezőt választani. Az Atmel mikrovezérlőket tervező és gyártó vállalat a következő kategóriákba sorolja termékeit:

- Autóipari alkalmazás
- Épületautomatizálás
- Háztartási gépek
- Otthoni szórakoztató elektronika
- Ipari automatizálás
- Világítástechnika
- Intelligens energia
- Mobiltelefon elektronika
- PC perifériák

A feladat elkészítésekor az Atmel cég által gyártott termékeket választottunk, mivel az eddigi tanulmányaink során megfelelő mennyiségű tapasztalatot gyűjtöttünk mind a programozásuk, mind a beültetésük területén.

A cég az előzőekben bemutatott kategorizálás mellett teljesítmény szerinti családokba is rangsorolja a jelenleg 504 processzorból álló kínálatukat.



5. ábra: Az Atmel AVR és AVR32 termékcsalád tagjai
 Forrás: *Atmel AVR AVR32 Quick Reference Guide [1]*

Az egyes kategóriák közt lévő különbségek a teljesítmény növekedésével párhuzamosan a programozásuk bonyolultságán is észrevehető. A nagyobb teljesítmény felé haladva a perifériák száma és bonyolultsága drasztikusan nő. Ilyenkor a gyártó a programozó rendelkezésére bocsájt egy függvénytarat, aminek segítségével a perifériákat beállító átláthatatlan számú lényeges regiszter konfigurálása jelentősen könnyebbé válik.

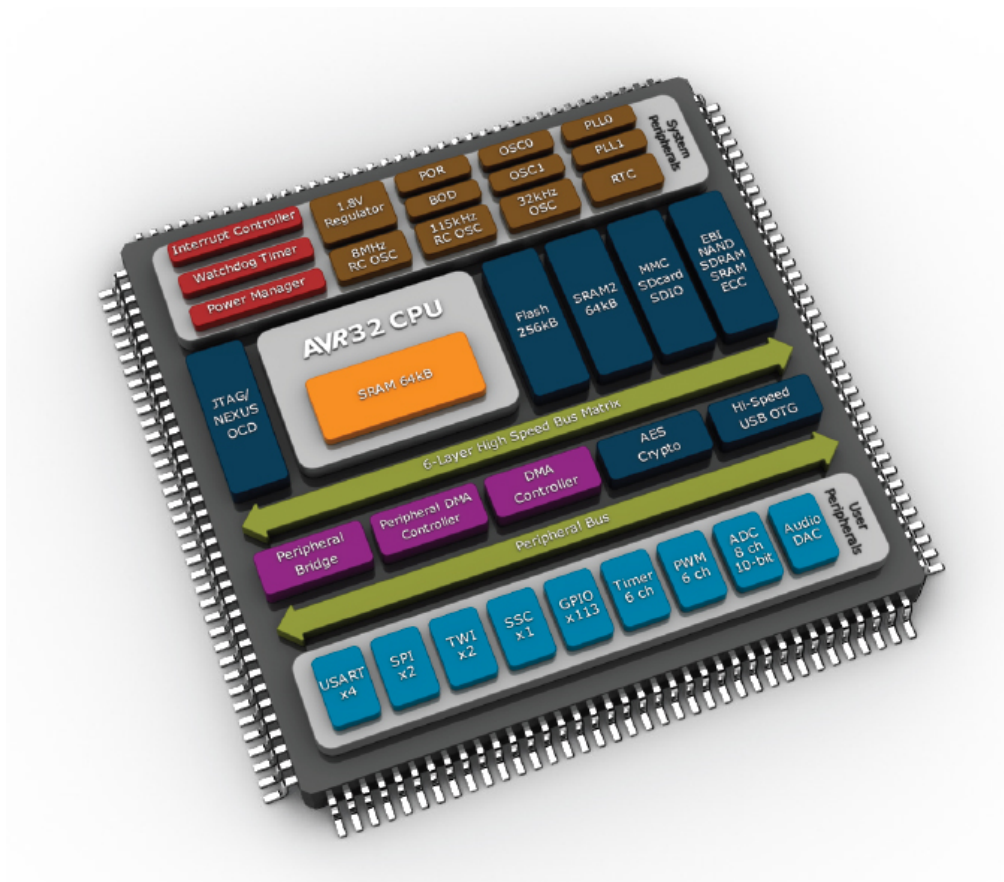
Mindkét egységünkben helyet kapó vezérlő megválasztásakor arra törekedtünk, hogy megfeleljenek, sőt egy kicsit túlteszünk az elvárásokat, de túlméretezésüket szeretnénk volna elkerülni.

A központi egységnek működése során egyszerre sok lényeges műveletet kell végeznie. A szenzoroktól érkező információ tömeget megsűrve egy képet kell kirajzolni magában a gokart körüli környezetről, a pályáról. Ezek alapján meg kell terveznie egy optimális jármű számára követhető trajektóriát. Mindezzel egy időben irányító parancsokat kell küldenie a beavatkozókat irányító egységnek és bluetooth-on állapotinformációkat egy számítógépnek. Erre a feladatra a tökéletes választás egy autóiipari felhasználásra szánt 32 bit-es mikrovezérlő, ami a megfelelő adatfeldolgozási sebességet biztosítva megteremti egy jármű autonóm jellegének alapfeltételeit.

Az aktuátor vezérlő egység feladata, hogy a kapott magas szintű CAN irányító üzeneteket feldolgozza és alacsony szintű, az aktuátorok számára feldolgozható jelekké alakítsa át. Egyszerre három beavatkozó szervet kell vezérelnie a lehető legkisebb hibahatáron belül dolgozva. Nem végez irányító jellegű bonyolult számításokat, ezért elegendő egy teljesítmény alapján felső közép kategóriás, szintén autóiipari felhasználásra szánt mikrokontrollert választani.

3.1.1.1 AT32UC3C2512C

Az Atmel cég AT32UC3C2512C jelzésű mikrovezérlőjét az UC3 család tagjaként a legjobb teljesítmény-fogyasztás arány jellemzi. Magas, akár 66 MHz-es maximális frekvencián képes üzemelni, ami meglehetősen gyorsnak számít az AVR mikrovezérlők körében. A megnevezéséből is adódóan 512 Kbyte Flash memóriával rendelkezik a programok tárolására. Kétsatornás CAN perifériája csatornánként 16 üzenet objektum kezelésére képes.



6. ábra: 32 bites ATMEL mikrovezérlő család elvi felépítése
Forrás: Atmel AVR AVR32 Quick Reference Guide [1]

Rengeteg fejlett perifériával rendelkeznek, amik beállítása a nyolc bit adatszélességű kontrollerekhez hasonló módszerrel a beállító regiszterek nagy száma miatt nehézkes, ezért ajánlott használni a gyártó által kiadott függvényeket, amiknek kizárólag a számunkra fontos paramétereket kell megadnunk.

3.1.1.2 AT90CAN128

Az AT90CAN128 mikrovezérlő egy többek számára jól ismert típus az ATMEGA128-as CAN perifériával kiegészített változata. Korábbi tanulmányaink során számos feladatot megoldottunk használatával.

Fontosabb tulajdonságai:

- 16 MHz maximális működési frekvencia
- SPI, TWI, UART, AC perifériák
- 10 bit felbontású 8 csatornás AD
- 4 Kbyte SRAM, 4Kbyte EEPROM
- 7 PWM csatorna
- két 8 és két 16 bites timer

3.1.2. Mikrovezérlők köré épített áramköri elemek

3.1.2.1 LTC1669 – Digitális- Analóg jelátalakító

A hajtást biztosító BLDC motorvezérlő elektronikáját analóg feszültségjelekkel lehet vezérelni. Ez az elektronika elektromos motorbiciklik potméterként működő gázkarjára van felkészítve, így az általa kiadott feszültség arányos az elérni kívánt fordulatszámmal.

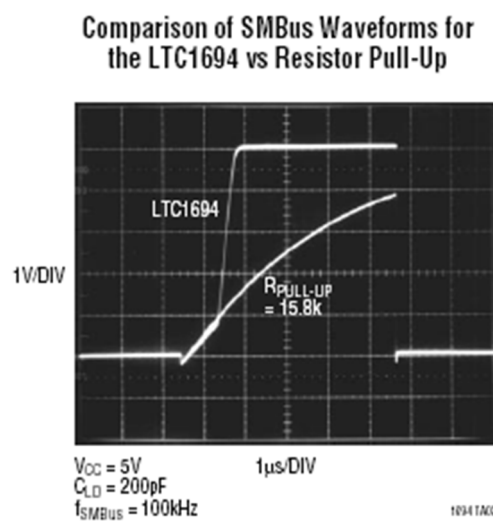
Amennyiben a szoftveres úton szeretnénk vezérelni a hajtó motort, egy olyan modulra van szükségünk, ami egy digitálisan belétáplált számmal arányos feszültség értéket tud előállítani. A Digitális- Analóg jelátalakítók pontosan ezt a célt szolgálják.

Az aktuátor vezérlő egységben két darab LTC1669 DAC (Digital-to-analog converter) kapott helyet. Az egyik a gázadáshoz, a másik pedig a motorral történő elektromos fékezéshez.

Mindkét jelátalakító felbontása 10 bit, tehát 1024 részre tudja bontani a 0-5V-os feszültség tartományt. I²C kommunikációs interfészen keresztül lehet őket elérni, az általunk áramkörileg kialakított és a gyártó által megadott címekkel.

3.1.2.2 LTC1694 – Aktív jelalak javító

A Digitális- Analóg jelátalakítók gyártója kettő vagy kettőnél több egység I²C protokollon történő párhuzamos használata esetén javasolja egy aktív jelalak javító IC alkalmazását, ami a 7. ábrán látható módon gyorsabban végzi el a busz felhúzását, mint egy szabványos felhúzó ellenállás.



7. ábra: Aktív jelalak javító működése

Forrás: Linear Technology: LTC1694 - SMBus/I²C Accelerator [2]

3.1.2.3 MCP2551 – CAN szintillesztő

A központi vezérlőegységnek működése során alkalmasnak kell lennie az érzékelő perifériák által küldött jelek fogadására. Ezek a szenzorok az autóiparban elterjedt 2 vezetékes CAN kommunikációs szabványt alkalmazzák, ahol a logikai 0 és 1 jelet a két vezeték (CANH és CANL) közti feszültség különbsége határozza meg. Mivel a mikrokontroller önmagában 0V alacsony és +5V magas jelszintekkel működik, ezért egy szintillesztő alkalmazására van szükség. A szintillesztő a kontroller (CAN_RX-fogadó, CAN_TX-adatküldő) UART alapú jeleit a CAN differenciális jeleivé alakítja. A szintillesztő másik fontos feladata, hogy a buszon lévő állomások között huzalozott ÉS kapcsolatot hozzon létre. Ennek az ütközések elkerülésében van jelentősége.

3.1.2.4 MCP2003 – LIN szintillesztő

Későbbi fejlesztési célokból az autóiparban ugyancsak elterjedt, kevésbé biztonságkritikus helyeken alkalmazott LIN kommunikációs szabványt használó perifériák kezelésére is fel kívántuk készíteni a vezérlő egységünket. A kontrollerből kijövő kétvezetékes UART alapú (RX-fogadó, TX-adatküldő) vezetékekkel szemben, a LIN-busz egy egyvezetékes, 12V-os jelszintekkel működő adatátviteli hálózat. A kétvezetékes adatátvitel egyvezetékessé való „konvertálását” és az alacsonyabb feszültségből 12V-os jelszintek előállítását a Microchip MCP2003 típusú szintillesztő chipje végzi el. A chip nem rendelkezik memóriával, nincs benne intelligencia, kizárólag hagyományos aktív áramköri elemek alkotják (tranzisztor, műveleti erősítő, komparátor, logikai áramkörök, egyéb elemek).

Az autóipari mikrovezérlők előnye, hogy egyes számításigényes folyamatokat a LIN periféria hardveresen lekezel. Ilyen például az szinkronizálás, eszközazonosítás, adat-visszaérkezés kérdése és az ellenőrzőösszeg vizsgálata.

3.1.2.5 MAX232A – RS232 szintillesztő

A fejlesztés során diagnosztikai célokra hasznos, ha a vezérlő egység képes tetszőleges személyi számítógépnek adatok küldésére. A számítógépeken erre a célra alkalmas kommunikációs szabvány az RS232, ami az USART-hoz hasonlóan RX, TX vezetékeket és földet használ. A jelek szintjei azonban ebben az esetben is különböznek az USART +5V magas és 0V alacsony jelszintjeitől. A PC-k által használt RS232 esetében -12V a logikai magas, azaz 1 jelszint, a logikai alacsony, azaz 0 pedig a +12V. A megfelelő szintillesztés feladatát esetünkben a Maxim MAX232A szintillesztő látja el.

3.1.2.6 LM2576 – Feszültség stabilizátor IC

A mikrovezérlőknek és a kiegészítő áramköri elemeknek a helyes működéshez stabil, zajmentes tápfeszültségre van szükségük. Esetünkben és általában a járműiparban az elektronikai egységeknek jóval nagyobb biztonságot adó feszültség stabilizátor

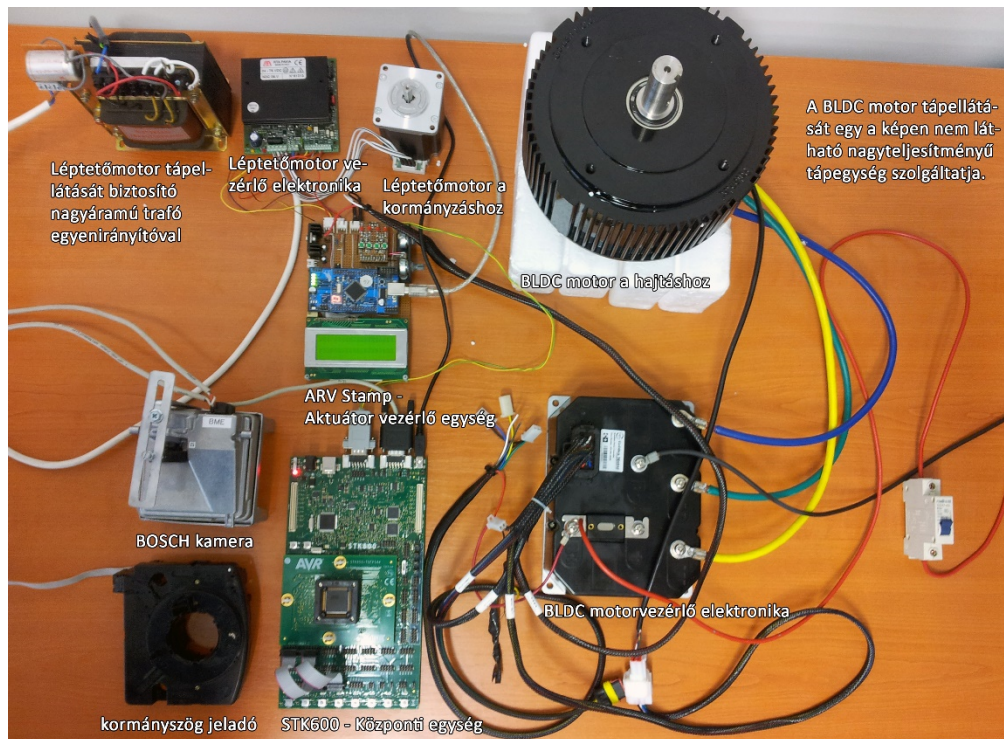
egységre van szükségük, mert egy járműben gyakrabban lépnek fel zavaró tényezők, mint általában.

Az LM 2576 kapcsoló üzemű feszültség stabilizátor IC kifejezetten járműipari alkalmazásokra készült. A bemeneti feszültsége 7-40V-ig terjedhet és egyenletesen biztosítja az 5V kimeneti feszültséget, akár 3A terhelés mellett.

3.2. Prototípus rendszer

A fejlesztések során, miután elméletben meggyőződünk egy adott áramköri elem helyes működéséről és mielőtt azt beültetnénk a nyomtatott áramköri tervekre, szükséges kipróbálni, hogy megfelelően funkcionál e a neki szánt valós környezetben. Miután már a kezünkben tartjuk a legyártott, beforrasztott egységet, egy esetleges utólagos alkatrészcsere igen költséges és kellemetlen lehet.

A teszteléseket fejlesztői kit-eken hajtottuk végre, amiket a ténylegesen a projektben felhasznált szenzorokhoz, aktuátorokhoz kötöttünk.



8. ábra: Prototípusrendszer

Forrás: Saját készítés

Az ábra bal oldalán láthatóak az eddig kipróbált szenzorok (BOSCH MPC1 kamera, kormányelfordulás szenzor) a téglalap alakú Atmel STK 600 fejlesztői kithoz kötve CAN hálózaton keresztül. Az STK 600 fogja betölteni a központi egység szerepét

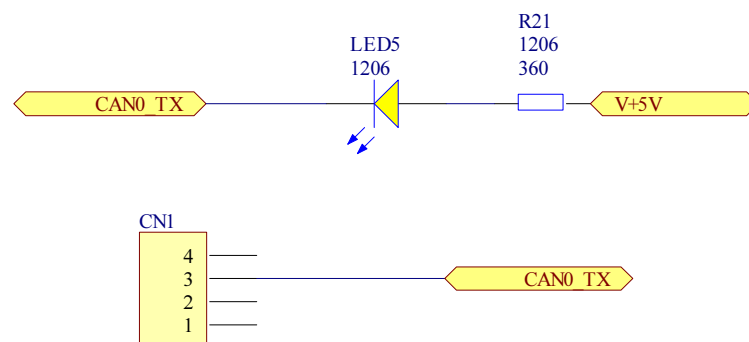
közepén az AT32UC3C2512C nagy teljesítményű mikrovezérlővel. Az aktuátor vezérlő egységként a tesztek során az AVR Stamp nevű board-ot használjuk, aminek a közepén helyezkedik el az AT90CAN128-as mikrokontroller. Az AVR Stamp vezérli a jelenleg beszerzésre került két aktuátort, a hajtás és a kormányzás beavatkozóit. A kisebb villanymotor egy nagy nyomatékú léptetőmotor, ami a hozzá tartozó vezérléssel együtt fogja működtetni a kormány szerkezetet, míg a nagyobb a hajtást megvalósító BLDC motor, amihez szintén tartozik egy nagy áramú vezérlő elektronika.

4. HARDVER KIVITELEZÉS, ÁRAMKÖRTERVEZÉS

Munkánk célja egy autonóm járművezérlő elektronikájának megtervezése volt. A tervezési feladat több kisebb részfeladatra bontható. Ezek sorrendben: a megvalósítandó funkciók meghatározása, az ehhez szükséges fő áramköri elemek (vezérlő kontroller, szintillesztők, stb.) kiválasztása, ezen elemek segédberendezéseit tartalmazó áramkörök megtervezése és végül a kisebb áramkörök integrálása nyomtatott áramkörökön.

A korábbiakban ismertettük a jármű irányításához szükséges feladatokat, a tervezett architektúrát illetve a beépítendő fő áramköri elemeket. A továbbiakban rátérünk az ezen berendezések működését kiszolgáló, illetve kapcsolatát létrehozó nyomtatott áramkörök tervezésének részleteire.

A nyomtatott áramköri tervezésben modern szoftverek támogatták a munkánkat. A tervezés során először a nyomtatott áramkör elvi felépítését reprezentáló kapcsolási rajzokat kellett elkészítenünk. Ezeket az áramköröket felbonthatjuk kisebb, könnyen átlátható részegységekre, amelyek közti fizikai kapcsolatot az áramköri rajzokon portokkal valósítjuk meg. Különböző rajzokon azonos nevű portok közös csomópontokat jelölnek. Erre egyszerűsített példát az alábbi ábrán láthatunk.



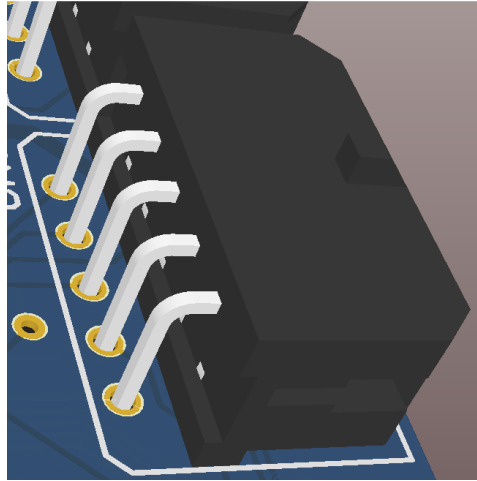
9. ábra: Portok jelölése

Forrás: Saját készítés

A felső rajzon egy LED látható megfelelő előtét ellenállással, az alsó rajzon pedig egy csatlakozó. A kettő közötti kapcsolatot a CAN0_TX nevű sárga hatszög port hozza létre.

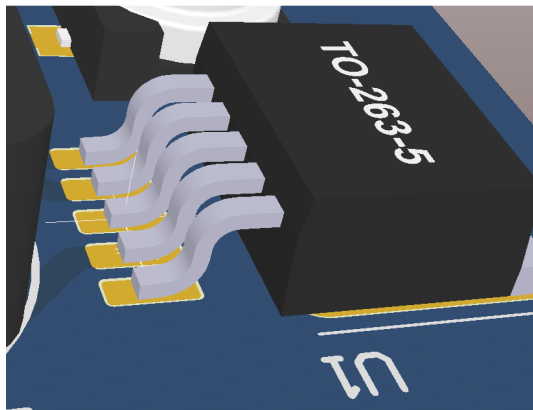
A kapcsolási rajzok megtervezése után az azt felépítő elemekhez (ellenállások, kondenzátorok, stb.) kell megfelelő tokozást választani. A tokozásoknak szerelést

tekintve két főbb típusa létezik. Az egyik típus a furatszerelt tokozás. Ezek lábait az alaplemezen elhelyezett furaton átdugva alulról forrasztják.



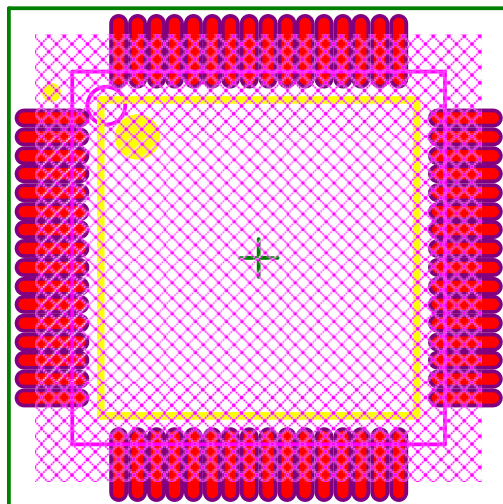
10. ábra: Furatszerelt tokozás
Forrás: Saját készítés

A másik típus a felületen szerelt, ezek kivezetett lábait a szigetelő alaplemez felületén létrehozott vezető szigetekre forrasztják. Előnye, hogy kisebb helyet foglal, a lemezt nem szükséges átlukasztani, így több rétegű áramkörök esetén nem vesz el szabad területet a vezetékektől. Ilyen alkatrészek továbbá igény szerint elhelyezhetők a NYÁK két oldalán egymás alatt is, ha ezt az adott áramkör összetettsége okán megkívánja. A tervezett áramkörünk többségében ilyen alkatrészeket tartalmaz.



11. ábra: Felületszerelt tokozás
Forrás: Saját készítés

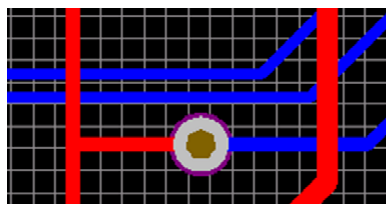
Az alkatrészek tokozásának ismeretével hozzájuk rendelhetünk ún. „footprinteket”, amik az alkatrész szereléséhez szükséges rögzítő furatokat, a forrasztáshoz szükséges vezető szigeteket, a tervezés során segítő alkatrész körvonalakat és a szereléskor elhelyezést segítő jelöléseket tartalmazzák.



12. ábra: TQFP-64 footprint

Forrás: Saját készítés

Következő feladatunk az áramköri elemek méretének ismeretében az alaplemez méreteinek meghatározása volt. Az alaplemez és a footprintek ismeretében ezek után megtervezhető a valós nyomtatott áramkör, aminek során az áramköri elemeket elhelyezzük az alaplemezen, majd a kapcsolási rajzainknak megfelelően vezetékkel kötjük össze a lábaikat. A vezeték elhelyezésekor ügyelni kell arra, hogy azok ne keresztezzék egymást. Amennyiben az áramkört bonyolultságánál fogva nincs lehetőség egy rétegen megvalósítani több rétegű NYÁK-ot kell választanunk. Ekkor az egyes rétegek közti kapcsolatot vezető réteggel bevont furatok, (via) biztosítják. A keresztező vezeték másik rétegekre átvezetve így elkerülhetik egymást. Természetesen a plusz rétegek plusz költséget jelentenek, tehát törekedni kell azok minimalizálására.



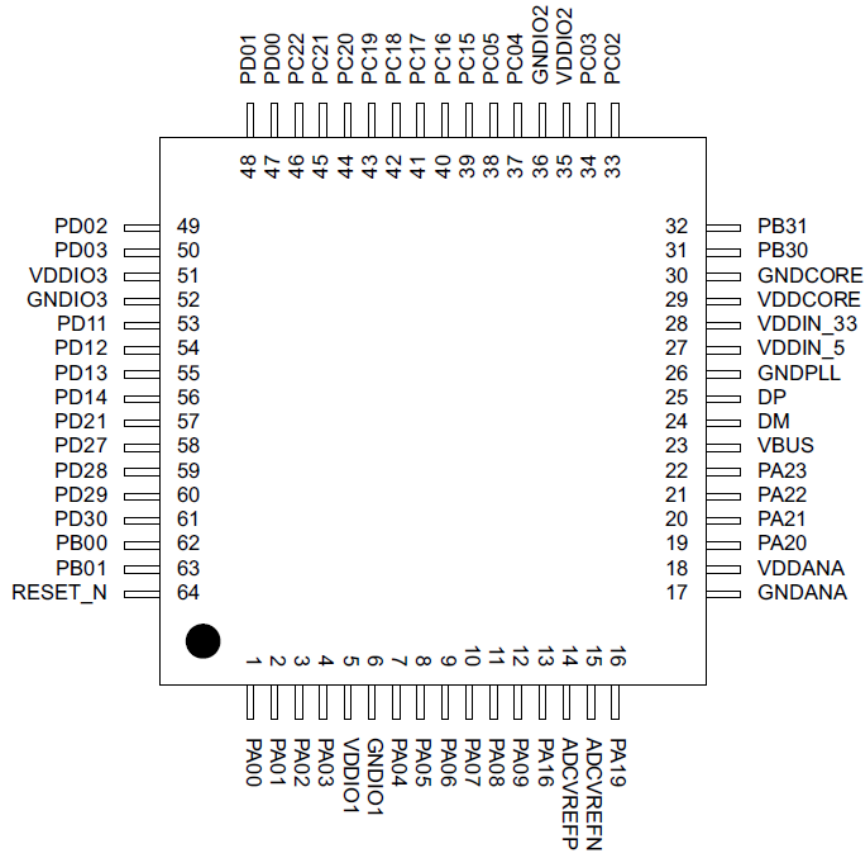
13. ábra: Via

Forrás: Saját készítés

A továbbiakban a központi vezérlő egység és az aktuátor vezérlő egység komponenseinek áramkör tervei kerülnek bemutatásra.

4.1. A központi vezérlő egység tervezése

A központi vezérlő egység legfontosabb eleme az AT32UC3C0512C processzor, aminek a gyártó által meghatározott megfelelő lábaihoz további perifériák csatlakozhatnak. A 64 lábás változat lábkiosztását az ATMEL által kiadott dokumentáció tartalmazza.

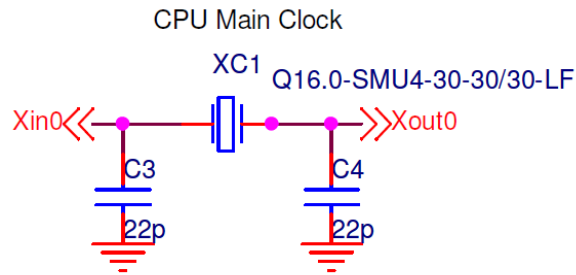


14. ábra: AT32UC3C0512C lábkiosztása
Forrás: Atmel: AT32UC3C Series Complete [3]

4.1.1. Az AT32UC3C0512C processzor segédáramköre

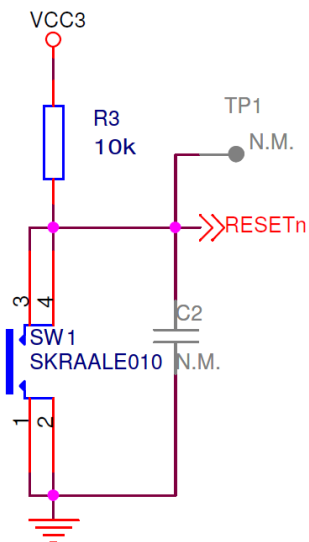
A processzorhoz tartozó, megfelelő működését biztosító áramköri elemeket a gyártó honlapján található, ugyanezzel a processzorral összeállítható AT32UC3C-EK jelű tesztpanel kapcsolási rajz dokumentációja alapján építettük be.

A külső órajelet szolgáltató oszcillátor kristály bekötése az alábbi ábrán látható.



15. ábra: Oszcillátor kristály bekötése
Forrás: Atmel: AT32UC3C-EK Schematics [4]

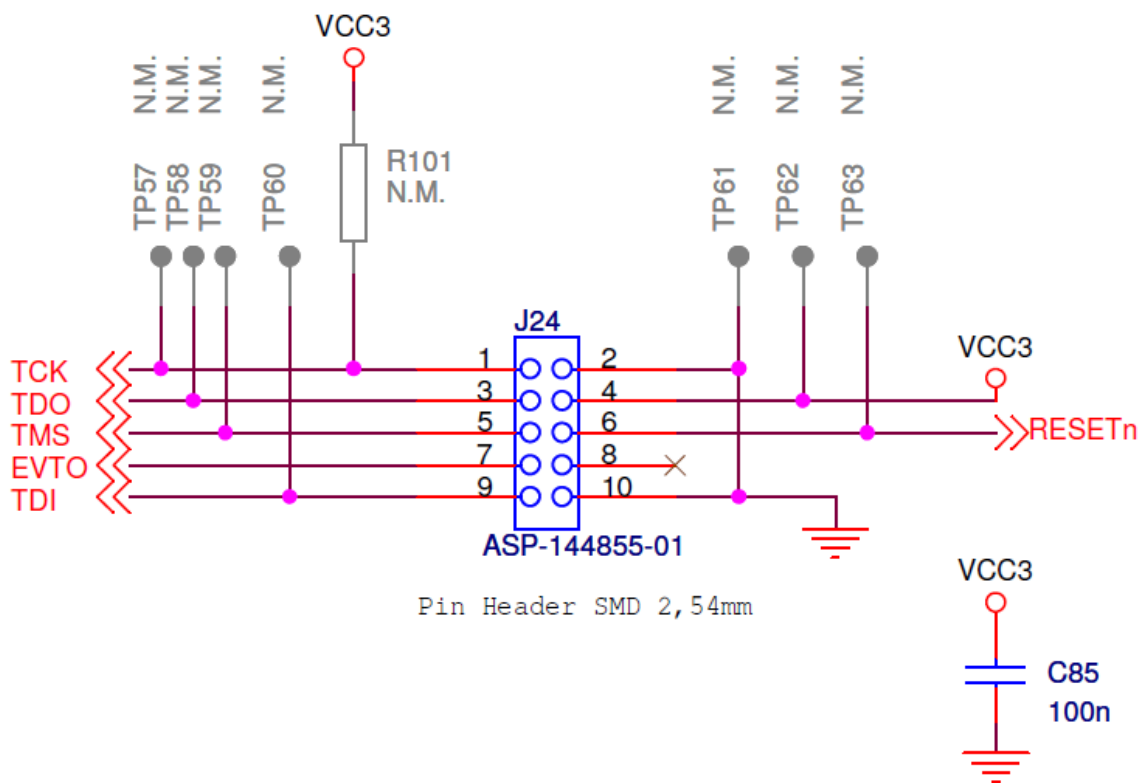
Az Xin0 és Xout0 pontokat rendre a processzor 31-es és 32-es lábaira kell kötni. A reset gomb 64-es lábhoz való kötéséhez csak egy 10kΩ-os sorba kapcsolt ellenállásra van szükség.



16. ábra: Reset kapcsoló bekötése
Forrás: AT32UC3C-EK Schematics [4]

Az ábrákon a N.M. (Not Mounted) rövidítés azt jelenti, hogy a tesztpanelen ezek az elemek nem kerültek elhelyezésre. Ezeket mi nem terveztük be.

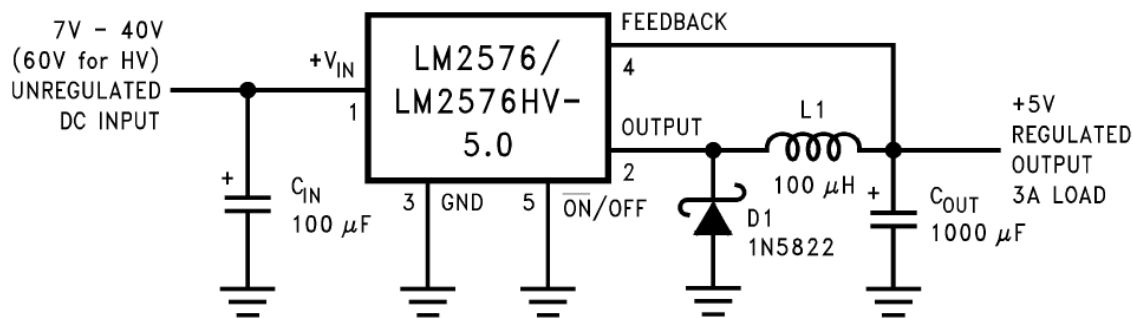
A processzor programozásához szükséges JTAG csatlakozó bekötését mutatja az alábbi ábra, ahol a TCK vezeték az 1-es, a TDO vezeték a 3-mas, a TMS vezeték a 4-es, a TDI vezeték pedig a 2-es lábba kell kötni. Az EVTO vezeték bekötése nem szükséges a JTAG működéséhez, így azt szabadon hagytuk.



17. ábra: JTAG csatlakozó kapcsolása
 Forrás: Atmel: AT32UC3C-EK Schematics [4]

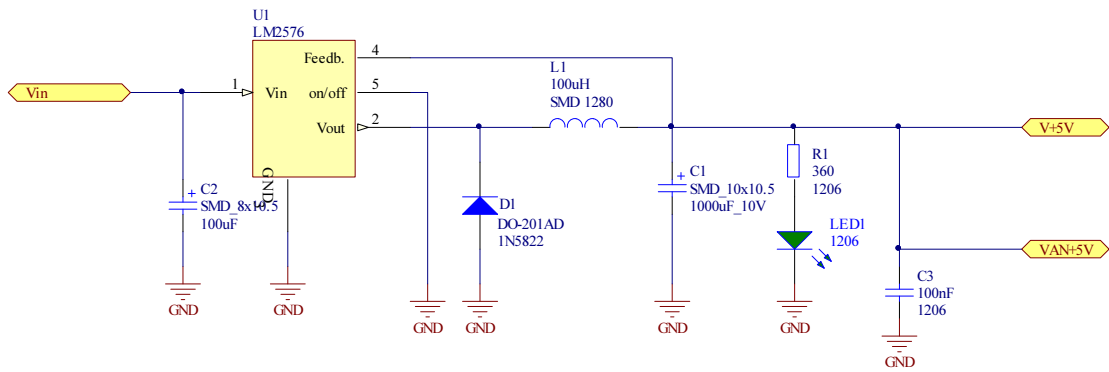
4.1.2. Feszültszabályozó áramkör

A processzor működéséhez szükségünk van a rendelkezésre álló 12V feszültség 5V-ra alakítására. Erre a célra az LM2576 feszültszabályozót választottuk, amelynek dokumentációja tartalmazza a beépítési áramkörét.



18. ábra: LM2576 kapcsolása (dokumentáció)
 Forrás: Texas Instruments: LM2576HV Documentation [5]

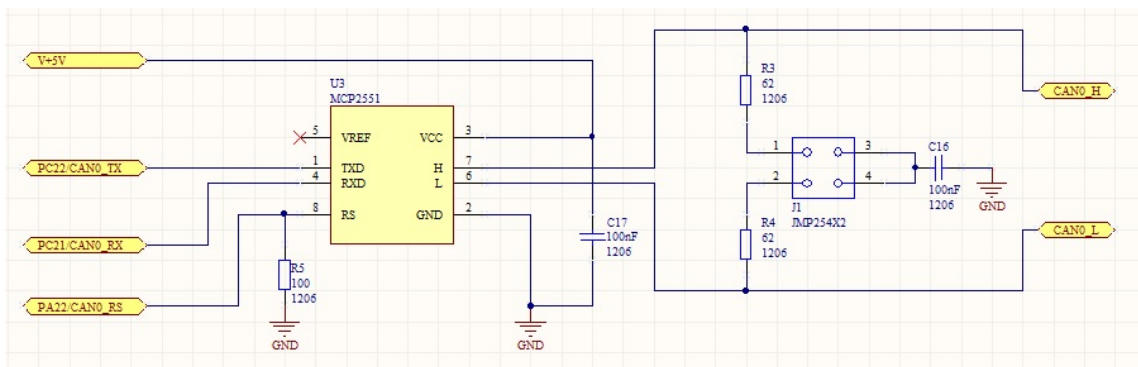
Az egyedüli változtatás egy működést jelző power LED bekötése az 5V-os outputra 360Ω-os előtét ellenállással,



19. ábra: LM2576 tervezett kapcsolási terve
 Forrás: Saját készítés

4.1.3. A CAN szintillesztő áramkör

A központi vezérlőegységen elhelyezésre került két egyforma Microchip MCP2551 CAN szintillesztő, amelyek felépítése az alábbi képen látható

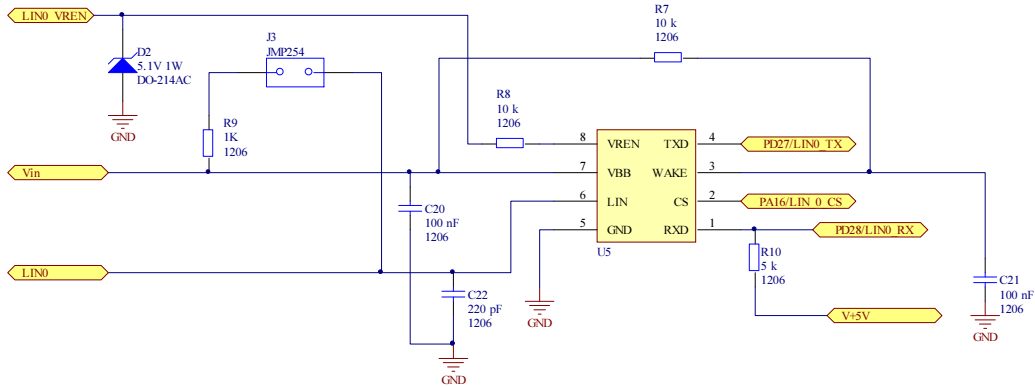


20. ábra: CAN szintillesztő áramkör
 Forrás: Saját készítés

A J1 jelű jumper szolgál a CAN szabványos lezáró ellenállás igény szerinti beiktatására. A TX láb szolgál a processzor által küldeni kívánt adatok fogadására, az RX láb pedig a hálózaton érkezett adatok processzornak továbbítására. Az RS lábára adott feszültséggel lehet a CAN szintillesztő működési módját megválasztani. Amennyiben a láb alacsony jelszintet kap, a szintillesztő készenléti állapotba kerül, magas jelszint esetén pedig átvitelre képes üzemi állapotba. Ezt a szabályozási funkciót a processzor egy-egy választott output lábán vezéreljük

4.1.4. LIN szintillesztő áramkör

A vezérlő áramkörben további bővítési és fejlesztési célokkal helyet kapott Microchip MCP2003 LIN szintillesztő áramköre az alábbi ábrán látható.



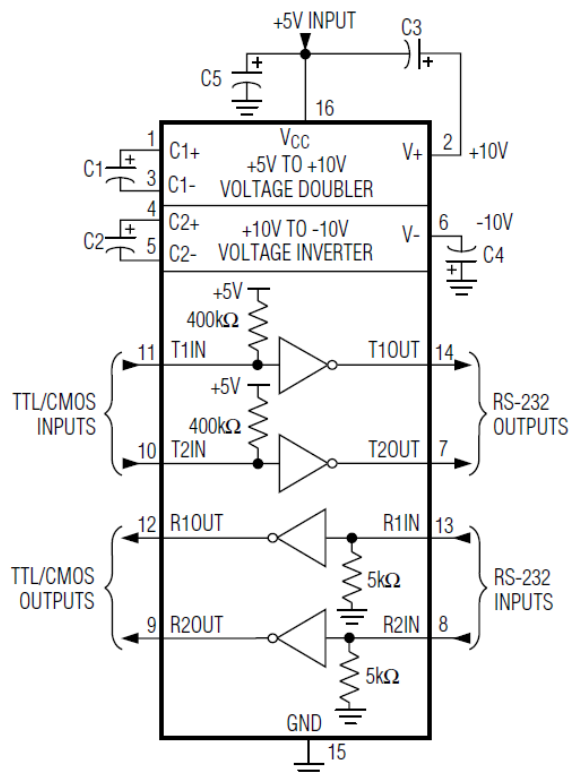
21. ábra: LIN szintillesztő áramkör

Forrás: Saját készítés

A küldött adatokat a szintillesztő a TXD lábán keresztül kapja, a fogadottakat az RXD lábán továbbítja. A LIN lábon valósul meg a szabványos LIN kommunikáció, a működéséhez szükséges 12V-ot a VBB lábán kapja. A WAKE lábán csökkenő feszültség szint változás (falling edge) esetén alvó módból aktív állapotba kerül. Ez esetünkben állandó 5V-ra van kötve, mivel ezt a funkciót nem kívánjuk használni. A processzor egy választott lábára kötött CS (Chip Select) és VREN lábán adott alacsony és magas szintekkel tudjuk a szintillesztő funkcióit megválasztani.

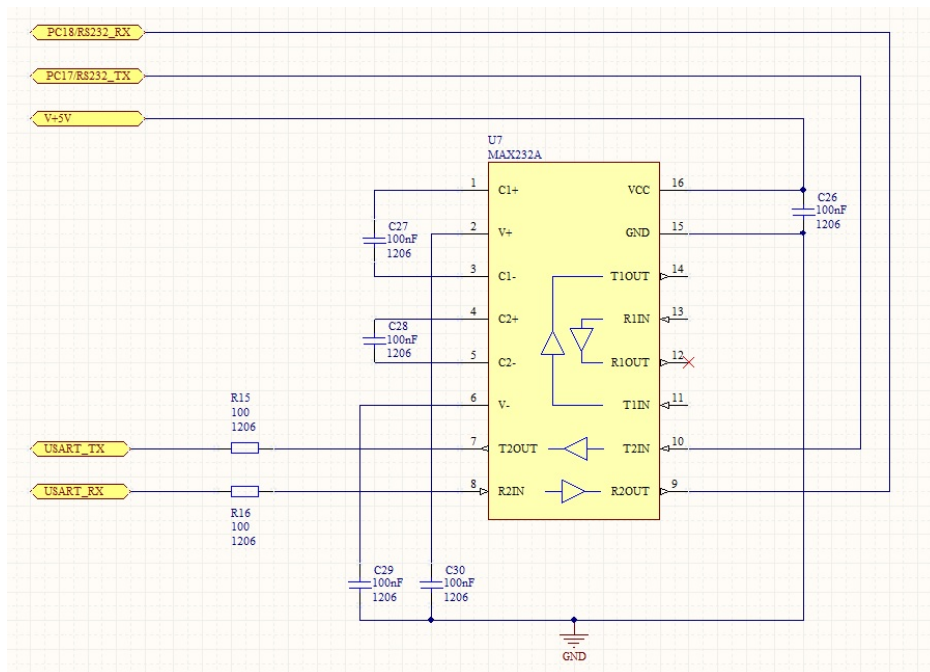
4.1.5. Az RS232 szintillesztő áramkör

Tesztelési és hibakeresési célokból kialakítottunk egy RS-232 csatlakozási lehetőséget is, melyhez egy Maxim MAX232A szintillesztőt használunk. Az illesztő működéséhez szükséges 100nF kapacitású kondenzátorokat és a tápfeszültséget a dokumentációjában leírtaknak megfelelően helyeztük el.



22. ábra: MAX232 szintillesztő lábkiosztása és kondenzátorai
 Forrás: Texas Instruments: MAX232, MAX232I (Rev. L) [6]

Bár a szintillesztő két független RS232 kommunikációs vonal ellátására is képes, mi ezek közül csak a T2 és R2 sávokat használjuk.



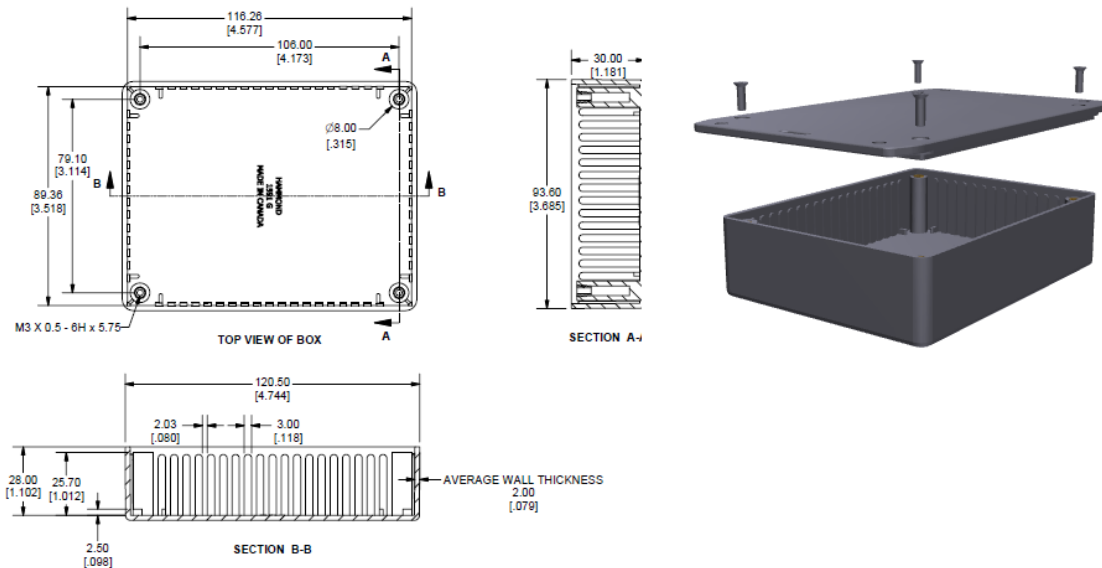
23. ábra: RS232 szintillesztő kapcsolási rajza
 Forrás: Saját készítés

4.1.6. A központi vezérlő egység LED-jei és csatlakozói

A nyomtatott áramkörünkön helyet kapott két 10 pin-es csatlakozó, amikre a bemeneti tápfeszültséget, a szintillesztő áramkörök kommunikációs csatornáit és a processzorunk öt, általános célokra felhasználható. input/output lábát kötöttük. A két említett csatlakozón kívül az utólag felcsavarozható Bluetooth egység kiszolgálására elhelyeztünk még egy 4 pin-es csatlakozót is. A Bluetooth kapcsolatot telemetriai célokra kívánjuk alkalmazni. Elhelyeztünk ezeken kívül még egy-egy LED-et minden szintillesztő be- és kimeneti vezetékére is, amik jelzik, az adott csatorna aktivitását, illetve 4 további LED-et a processzor 4 input/output lábára diagnosztikai és egyéb célokkal.

4.1.7. A központi vezérlő egység nyomtatott áramköre

A tervezés ezen pontján már hozzávetőlegesen ismerjük az elhelyezendő alkatrészek helyigényét, így megválaszthatjuk az áramkört befoglaló védődobozt, illetve az azzal kompatibilis alaplemez méretet. Esetünkben a Hammond által forgalmazott 1591GFL dobozra esett a választás. A doboz méretei: 89.36mm x 116.26mm x 30mm.



24. ábra: Hammond 1591GFL doboz méretei
Forrás: Hammond 1591GFL Documentation [7]

A doboz CAD modellje letölthető a gyártó honlapjáról, aminek segítségével az áramkör alaplemezének alakja megtervezhető, majd átvehető az áramkörtervező programba.

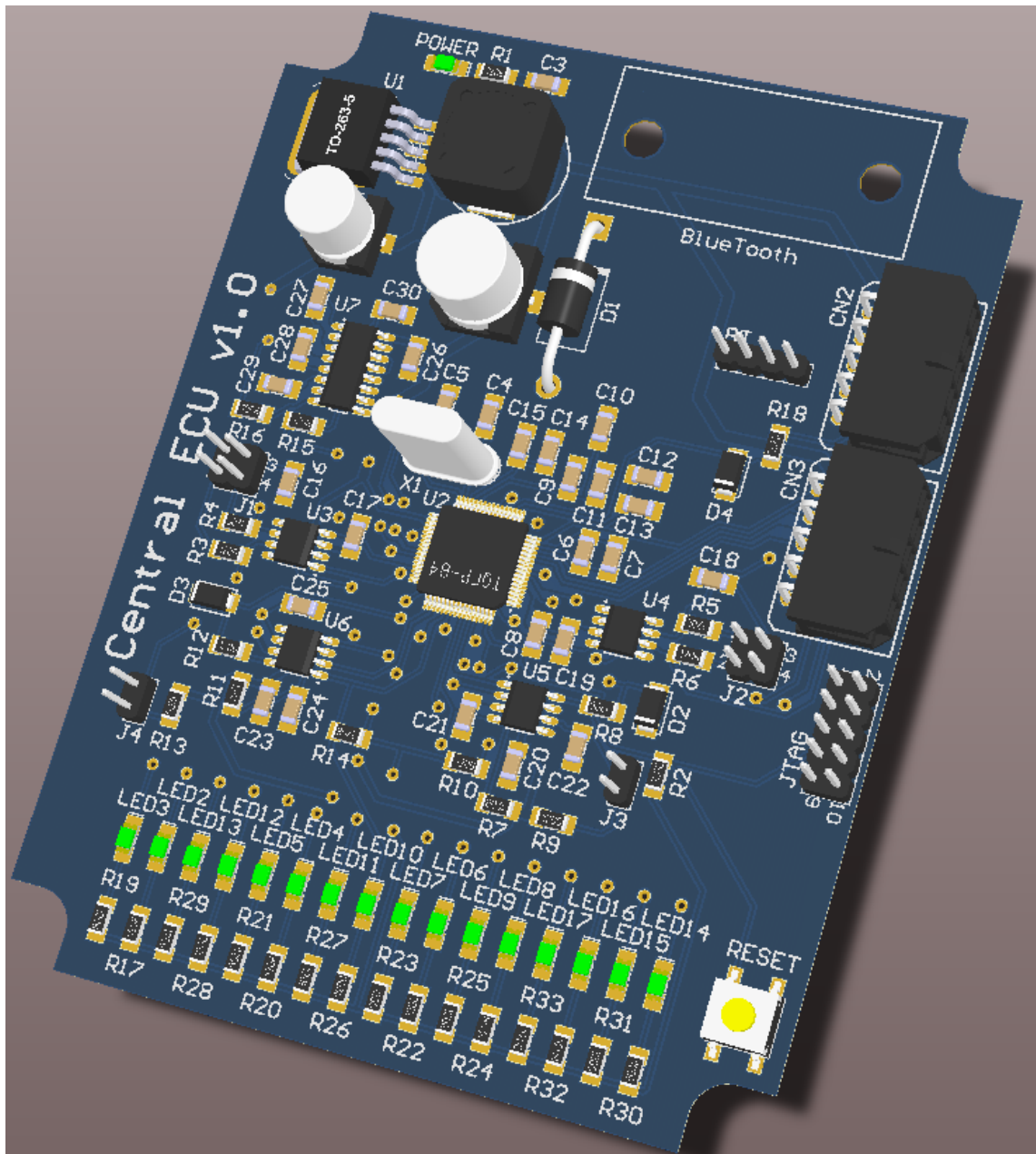
Amennyiben az alaplemez kijelölésre került, végső feladatunk az egyes elemek elhelyezése és a rajzok alapján kijelölt lábaik összekötése. A vezetékek elhelyezésekor két rétegen dolgoztunk, mivel az áramkör bonyolultságánál fogva egy réteg nem lett volna elég, kettőn azonban a feladat relatív egyszerűen megoldható. Az elemek elhelyezésekor néhány rögzített irányelvet leszámítva szabadon dolgozhattunk. Ilyen korlátozások voltak például:

1. A csatlakozók az alaplemez szélén helyezkedjenek el
2. A vezetékszakaszok lehetőség szerint minél rövidebbek legyenek
3. Ne hozzunk létre zárt vezetékurkot
4. Az egyes elemek tápvezetékein elhelyezett szűrőkondenzátorokat a lehető legközelebb helyezzük el az alkatrészhez
5. A legkisebb megengedhető vezeték-vezeték szigetelőköz 0,25mm
6. A legkisebb megengedhető vezeték-forraszelem illetve forraszelem-forraszelem távolság 0,2mm
7. A legkisebb furatátmérő 0,3mm
8. A feszültség szabályozó az áramkör bal felső sarkában legyen
9. A RESET gomb a jobb alsó sarokban legyen
10. A LED-ek (power kivételével) a lemez alján legyenek

Az első feltételnek gyakorlati oka van. Ahhoz, hogy a dobozba szerelt áramkör lemezen lévő csatlakozók hozzáférhetőek legyenek, természetesen a szélére kell rakni azokat. A 2. – 4. feltételek az áramkör optimális működéséhez szükségesek. Az 5. – 7. feltételek az áramkört elkészítő gyártó által lettek megszabva. Az utolsó három kritérium csupán a könnyű átláthatóságot, illetve a két független nyomtatott áramkör (a másik a későbbiekben tárgyalt aktuátor vezérlőegység) közti hasonlóság megteremtését szolgálja.

A vezetékek alapértelmezett vastagsága 0,254mm, a tápellátáshoz tartozó vezetékeket azonban, hogy a terhelést biztosan elbírák, ahol lehet legalább 0,5mm-re vastagítottuk. Az áramkör mindkét rétege egységes földkitöltést kapott. Létrehozásakor arra kell figyelni, hogy az egyes alkatrészeket a földkitöltéshez kapcsoló vezető réteg sose keskenyedjen vezeték vastagság alá.

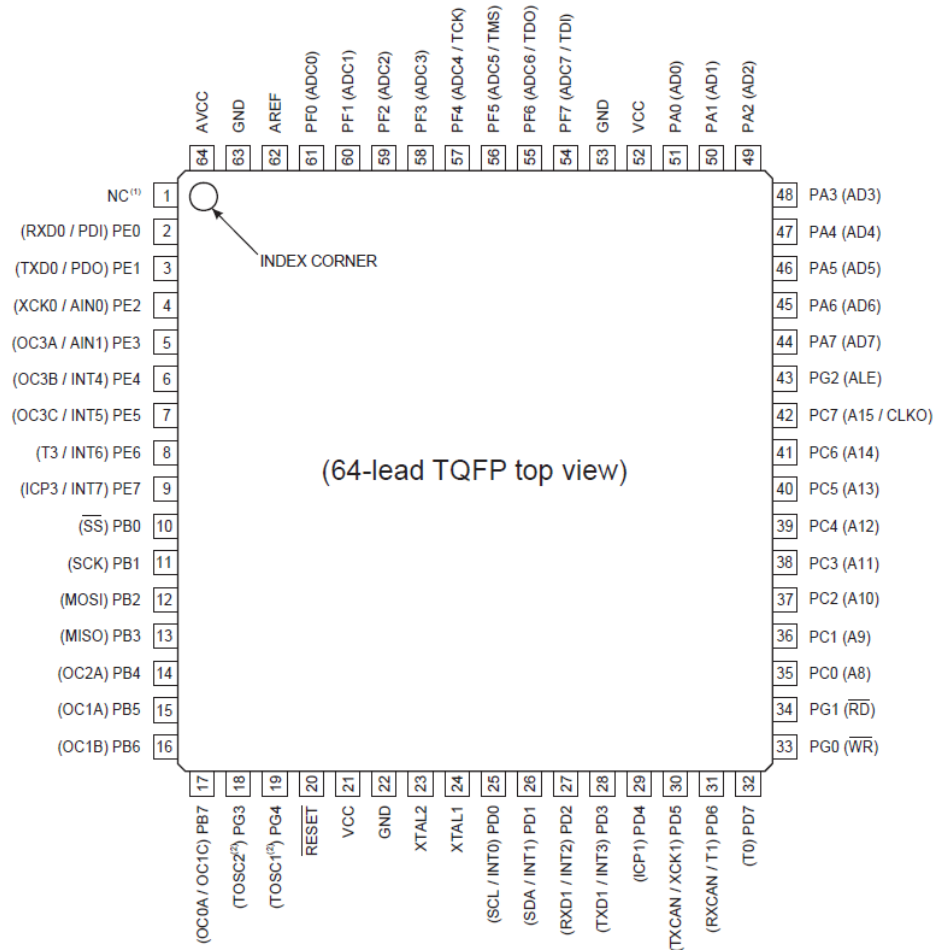
Az elkészült vezérlő egységet az alábbi képen látható modell reprezentálja.



25. ábra: A központi vezérlő egység
Forrás: Saját készítés

4.2. Az aktuátor vezérlő egység tervezése

A tervezett aktuátor vezérlőegység mind felépítésében, mind részegységeiben nagyon hasonló a központi vezérlő egységhez, így ebben a fejezetben inkább a két áramkör közötti különbségeket emeljük ki. A választott processzor ehhez az egységhez a 8 bit-es AT90CAN128 mikroprocesszor, aminek lábkiosztását szemlélteti a következő ábra.

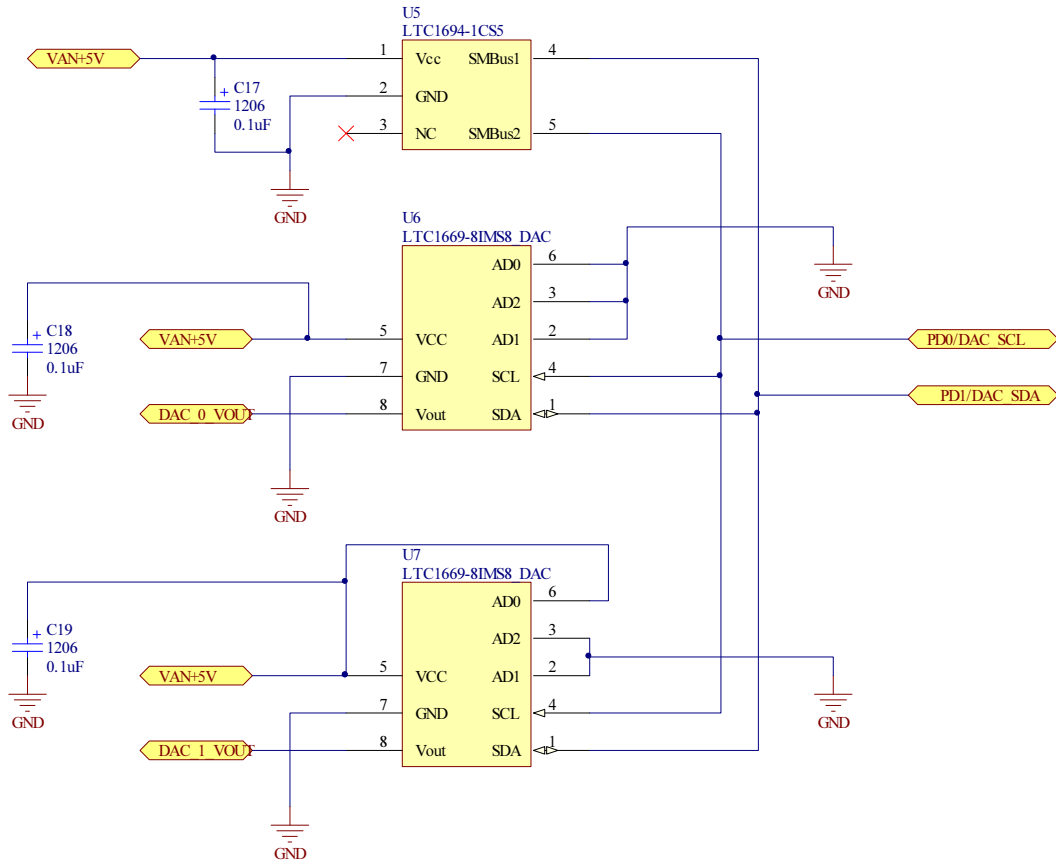


26. ábra: AT90CAN128 lábkiosztása
 Forrás: Atmel: AT90CAN32/64/128 Complete [8]

A nyomtatott áramkörön elhelyezett feszültségszabályozó, JTAG csatlakozó, reset gomb áramköreinek felépítése teljesen azonos a központi vezérlőegységnél bemutatottakkal. Beépítésre került továbbá egy RS-232 és egy CAN szintillesztő, aminek segítségével a központi vezérlőegységgel kommunikálhat, ezek felépítése is azonos a már bemutatottakkal. Jelentős különbség két digitál-analóg átalakító beépítésében, illetve a LED-ek és csatlakozók kiosztásába nyilvánul meg.

4.2.1. A digitál-analóg átalakító áramköre

Az aktuátor vezérlő egység két digitál-analóg konvertert használ az aktuátorok vezérlésére. Az egyik a fék aktuátort irányítja, a másik a gokartot meghajtó elektromos motort. A két átalakító kapcsolási rajza az alábbi ábrán látható.



27. ábra: A DAC kapcsolási rajza
Forrás: Saját készítés

A képen látható LTC1694 jelű elem egy gyorsító segédelem. Ennek köszönhetően a kiadott jel felfutási ideje jelentősen lerövidül.

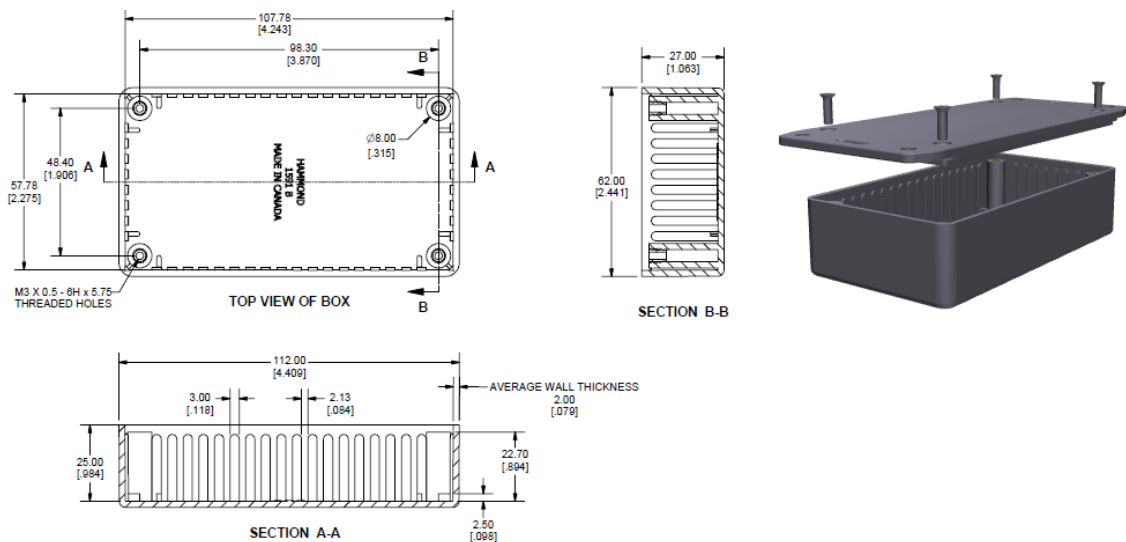
4.2.2. Az aktuátor vezérlő egység LED-jei és csatlakozói

Az aktuátor vezérlőegység is két 10 pinos csatlakozóval érintkezik a jármű további részegységeivel. Ezeken keresztül érkezik a tápfeszültség, történik a CAN és UART kommunikáció, ezeken adjuk ki az analóg, illetve a PWM aktuátor vezérlőjeleket.

A központi vezérlőegységhez hasonlóan itt is helyet kapott egy-egy LED a CAN, illetve UART bejövő és kimenő vezetékeire csatlakozva, azok aktivitását indikálva. Ezeken felül 4 általános input/output lábra kötött LED-et építettünk be.

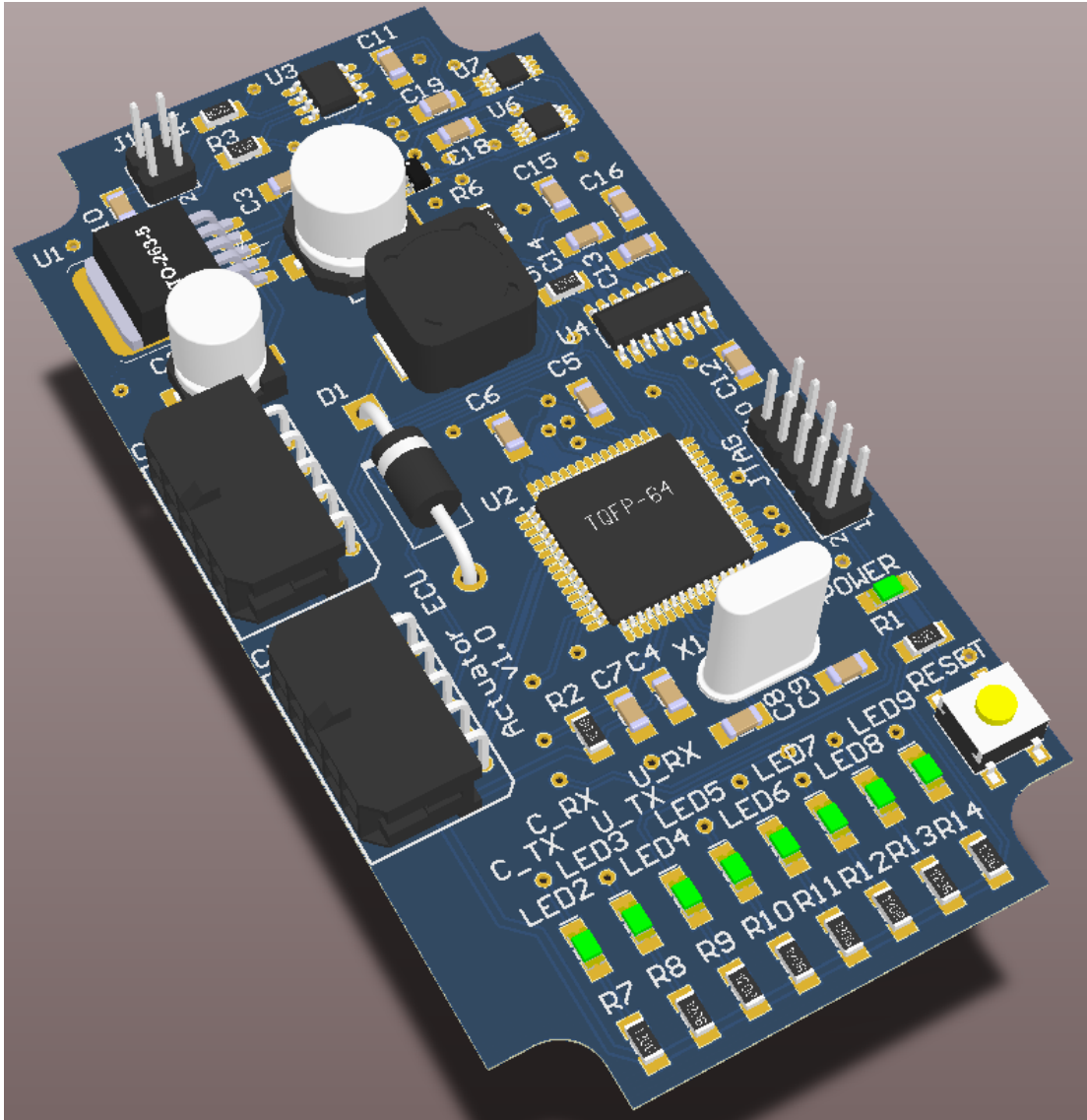
4.2.3. Az aktuátor vezérlő egység nyomtatott áramköre

Az aktuátor vezérlőegység a Hammond 1591BFL típusú dobozában kapott helyet, melynek méretei 57.78mm x 107.78mm x 27mm.



28. ábra: Hammond 1591BFL doboz méretei
Forrás: Hammond 1591BFL Documentation [9]

Az áramkör tervezésénél a központi vezérlő egységnél elmondott megkötések érvényesek, az áramkör jelen esetben is kétrétegű. Az elkészült áramkört bemutató modell az alábbi ábrán látható.



29. ábra: Az aktuátor vezérlő egység
Forrás: Saját készítés

5. HÁLÓZATOK, ADATKOMMUNIKÁCIÓ [10]

5.1. Járműipari hálózatok

Ez a fejezet a járműiparban használatos hálózatokat mutatja be. Külön alfejezetekben térünk ki a három leginkább elterjedt technológiával, a CAN, LIN és a FlexRay hálózatokra. A következő táblázat a tervezés és gyártás részéről legfontosabb szempontok alapján hasonlítja össze őket.

Technológia	LIN	CAN	FlexRay
Sebesség	40 kbit/s	1 Mbit/s	10 Mbit/s
Költségek	\$	\$\$	\$\$\$
Vezetékek száma	1	2	2 vagy 4
Alkalmazási terület	Kényelmi berendezések (motoros tükrök, klímaberendezés, elektromos ülések stb.)	Hajtáslánc (motor, váltó, ABS stb.)	Magas technológiai színvonalú hajtáslánci elemek, biztonsági berendezések („Drive-by-wire”, aktív felfüggesztés, adaptív tempomat)

1. táblázat: Járműipari hálózatok összehasonlítása
Forrás: Saját készítés

Ennek alapján elmondható, hogy a műszakilag és gazdaságilag legoptimálisabb rendszereket a három technológia együttes alkalmazása adja.

5.1.1. Kialakulásuk

A járműelektronika viharos fejlődése az utóbbi évtizedekben egyre több új, elektronikusan támogatott funkció megjelenését eredményezte. A vezérlőkészülékek, valamint az egyéb járműelektronikai berendezések fejlődése a 70-es évek végén kezdődött és a precíz adatfeldolgozáson alapuló végrehajtás nagymértékű javulást eredményezett a gépjármű üzemében. A mai számítógépek struktúrájához hasonló, digitális jeleket feldolgozó mikrovezérlők működési paraméterei a kezdeti mechanikus, majd elektromechanikus rendszerekkel egyáltalán nem, de még a digitálist megelőző analóg, vagy hibrid kialakítású elektronikus vezérlők és szabályozók hatásosságával is

nehezen hasonlítható össze. A digitális rendszerek óriási előnye, hogy nagymennyiségű, jórészt próbapadi mérésekből származó adat tárolására képesek, így kifogástalan vezérlések és szabályozások valósíthatók meg a működő motorok majd minden üzemállapotában, úgy a gyújtás, mint a keverékképzés területén.

Először a korszerű motormenedzsment, majd az aktív és passzív biztonsági elektronika, végül a karosszéria, a komfort és a kommunikáció vezérlői jelentek meg a járművekben. Az elektronikával felszerelt korszerű gépjárművek egyre magabiztosabban teljesítették a szigorodó környezetvédelmi követelményeket, valamint gazdaságosabbá, biztonságosabbá és komfortosabbá váltak.

A gondosan elkészített mikroprocesszoros egységek eleinte csak saját érzékelőikkel és végrehajtóikkal tartottak kapcsolatot. A sokasodó és egymást átfedő funkciók (pl. az automatikus váltóműködés alatti motornyomaték redukálás, vagy ASR és motorvezérlő együttműködés, stb.) megjelenése az autonóm egységek egymással való kommunikációját, azaz egyre több adat és információ cserét igényelt. A biztonsági, komfort és kényelmi (pl. telekommunikációs) berendezések szakadatlan korszerűsítése ezt az igényt tovább fokozta, ezért a digitális vezérlők együttműködése is egyre szorosabbá vált.

A kapcsolatokat fizikailag megvalósító csatlakozók, valamint kábelerek száma törvénytörően növekedett, s ez sok problémát okozott.

A korábban egységesen, de döntően még ma is használatos megoldás az, hogy a villamos és elektronikai egységeket szigetelt kábelerekkel csatlakoztatják egymáshoz, melyeket sablonokban gondos tervek alapján még a beszállítónál kábelkorbácsokká alakítanak és a járműgyártónál ezt szerelik, napról-napra körülményesebben, a karosszéria megfelelő üregeibe.

A nehezen kezelhető, nem csak súlyra, de méterre is tetemes (egy felsőkategóriás luxus járműnél csupán a kábelezés ≈ 100 kg tömegű, míg teljes hossza megközelítheti a 2-2.5 km értéket is) „kábelzsungel” a sok vezetőér és csatlakozó miatt egyre megbízhatatlanabbá válik. Mindezt tetézi, hogy a nagy járműgyártók nem csak egyféle, hanem különböző modellsorozatokat készítenek, melyekhez sokszor több száz féle kábelkialakítást használnak a gyártósorokon. A kábelkötegek előállítás, szerelése, javítása is egyre költségesebb, időigényesebb, s ha mindez még a megbízhatóság csökkenését is eredményezi (csatlakozók kontakthibái, kötészaladások, vezeték

szakadások, vezeték kifáradása, egyéb okok), akkor ez a helyzet, mely a 20-ik század utolsó évtizedeire kialakult, sürgős felülvizsgálatra szorul.

5.1.2. CAN [11]

5.1.2.1 Felépítés

Fizikailag a CAN rendszer egy kétvezetékes buszt jelent, erre csatlakoznak az állomások soros vonalon. A vezeték sodrott érpár, mely lehet árnyékolt vagy árnyékolatlan is. A CAN kontrollert egy adóvevő (transceiver) áramkör illeszti a buszra (a LIN-hez hasonló képpen), mely a controller maximum 5V feszültségű jeleit alakítja át a busz 5, 12, 24V-os jeleire és valósítja meg a megfelelő illesztést.

A busznál lezáró ellenállásokról kell gondoskodni, aminek szabványos értéke $R_L=120\Omega$. Ez a felépítés legfeljebb 1Mbit/s adatátviteli sebességet tesz lehetővé. Az adott rendszer sebességét természetesen korlátozza a busz hossza és a transceiverek késleltetése.

Az átvitel elektromos paramétereit az ISO11898 szabvány írja le részleteiben. A maximális adatátviteli sebességek az alábbi táblázatban láthatók, melyből kiderül, hogy 500 m-en 125 kbit/s sebességre képes a CAN hálózat.

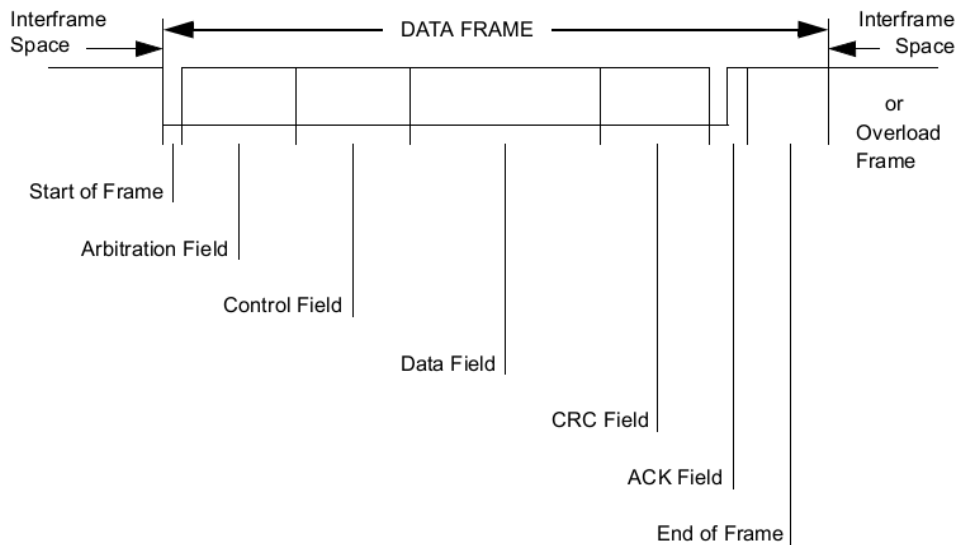
Kábelhossz (m)	Adatátviteli sebesség (kbit/s)
30	1000
100	500
250	250
500	125
1000	62,5

2. táblázat: CAN átviteli sebessége a kábelhossz függvényében

Forrás: Saját készítés

5.1.2.2 Protokoll

A CAN rendszerben alkalmazott üzenetet, mint ahogy a soros adatátvitelknél is szokásos, keretformátumba foglalták. A teljes üzenetet alkotó bitsorozat, az adott kereten belül mezőkre osztott. Az egyes mezőkben elhelyezkedő bitcsoportok protokolláris, hibafelismerő, ill. adatátviteli feladatokat teljesítenek. A CAN üzenetkeret felépítését a 15. ábra szemlélteti.



30. ábra: CAN üzenetkeret

Forrás: BOSCH. CAN Specification, Version 2.0. [Online] 1991.

A buszvonalon alaphelyzetben magas szinten van. Amennyiben valamelyik résztvevő használni kívánja, a SOF (Start of Frame) mezőben alacsony szintre húzza azt, ezzel jelezve kommunikációs szándékát. Ekkor a többi résztvevő elkezd figyelni a vonalat és megkezdődik az órajelek összeszinkronizálása az éppen adó egységgel.

A buszhasználat jogának eldöntésére szolgál az ARBITRATION (döntési) mező. Az itt található bitek értéke határozza meg, hogy kinek van jogosultsága a buszt használni egyidejű kérések esetén. Minél kisebb ez a szám annál nagyobb a prioritás.

A következő CONTROL (ellenőrző) mezőben elhelyezkedő 6 bit egy rendszerkódot és összegkódot tartalmaz, amit a következő adatmezőben lévő bitek képeznek. Az első négy bit utal a következő adatmező kitöltöttségére, ami 0 és 8 bájt között változhat. Az ötödik bitből derül ki, hogy CAN 2.0A vagy CAN 2.0B rendszerről van-e szó. A hatodik bitet nem használjuk, további fejlesztésekre van fenntartva.

A már említett DATA (adat) mező következik az ellenőrző mező után. Az üzenetek hossza nagyban függ a méretétől. Általában 2-4 bájtból áll.

Az adatok után egy CRC (Cyclic Redundancy Check) rész következik, ami az esetleges kommunikációs hibák feltárásához szükséges. Egy 113 információs bitet tartalmazó üzenet esetében öt hibás bit esetéig bármilyen hálózati eszköz felfedezi a hibát. Az üzenetek átlagos hossza 83 bit hosszúságú, ez azt jelenti, hogy a hiba felismerésének valószínűsége ezekben az esetekben nagyobb. Ezek alapján számítható, hogy egy

gépjármű teljes élettartama alatt körülbelül 300 darab a fel nem ismert hibás üzenetek száma. A mező lényegét összefoglalva: az adó a buszra feltett üzenetből, míg a vevők a kapott üzenetből képeznek, szigorúan azonos szabályok alapján, egy a 15 bitből álló vizsgáló (CRC) összeget. Mivel az adó ezt a CRC ellenőrző összeget üzenetében, a most tárgyalt mezőben elküldi, a vevők pedig maguk képzik a beérkezett üzenetből, csupán a kettő összehasonlítása marad hátra. Ha a két összeg nem azonos, akkor a vevő eszköznek hibát kell generálnia.

Amennyiben az üzenet hibátlan, és legalább egy vevő vette az üzenetet akkor az, az ACKNOWLEDGEMENT (nyugtázó) mezőben vissza is jelez az adónak. Ha egy vevőhöz sem jutott el az üzenet, akkor az adó által küldött nyugtázó részt nem módosítja egyetlen vevő sem.

Az üzenet keretformátuma egy üzenet vége mezővel záródik, ami 7 bitet tartalmaz. Ebből ismeri fel a vevő, hogy véget ért az üzenet.

A következő üzenet megkezdéséig az adó egységnek várnia kell az előzőben küldött adatok feldolgozására, vagy legalább az eltárolásukra. A szükséges minimum idő 3 bitidőnyi.

A CAN két előre definiált üzenet is tartalmaz, a túlterheltség és a hibaüzenet.

5.1.3. LIN [12]

A járműipari hálózatok elterjedésével rengeteg UART alapú kommunikációs megoldás és protokoll fejlődött ki egymással párhuzamosan, ám ezek csak speciális esetben, vagy egyáltalán nem voltak egymással kompatibilisek. A szabványosítás iránti igény ezen a területen is hamar felmerült, miután a szabványos soros kommunikáció egyszerűbbé és olcsóbbá teszi a tervezést, a gyártást, és átjárhatóságot biztosít. E célból jött létre a Local Interconnect Network Consortium az Audi, BMW, DaimlerChrysler, Volkswagen és Volvo, mint autóiipari gyártók, illetve a Volcano Technologies és Motorola, mint autóiipari elektronikai gyártók összefogásával.

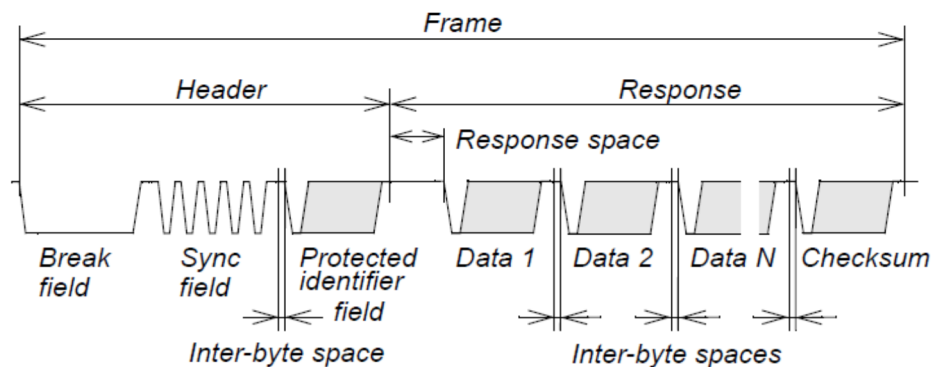
A LIN így egy olyan költséghatékony kommunikációs busz, amely megfelelően használható olyan területeken, ahol nem szükséges a CAN és a FlexRay sávszélessége és sokoldalúsága.

A LIN kommunikáció szabványosított protokoll alapján történik.

Egy LIN hálózat egy "Master" és több "Slave" eszközből állhat. Azt, hogy a csomagok (keretek) mikor kerülnek továbbításra a buszon, a "Master" eszköz dönti el, a kerethez tartozó adatokat pedig a "Slave" eszközök szolgáltatják. "Slave" eszköz a LIN buszon nem kezdeményezhet kommunikációt.

5.1.3.1 Üzenetformák

Ahogy a soros kommunikációknál megszokhattuk egy szabványos LIN üzenet is mezőkből áll és ezek egy keretbe vannak foglalva. A keretet két részre lehet osztani, egy fejlécből és egy válasz mezőből áll.



31. ábra: LIN üzenetkeret

Forrás: LIN Consortium. LIN Specification Package. Revision 2.2A. 2010. Revision 2.2A.

A fejléc a „break” (szünet) lefutó éllel kezdődik. Ezt minden esetben a "Master" generálja. A „break” jel legalább 13 bit hosszúságú és a lezárása felfutó éllel történik. Ezután következik a „sync” „szinkronizációs” mező, ami egy konstans 0x55 byte és az órajelek összehangolására alkalmas. Az ilyen „break-sync” formát egy "Slave" eszköz akkor is tud érzékelni, ha történetesen egy adat mezőre számítana. A „protected identifier” (védett azonosító) mező egy olyan byte, ami két almezőből áll: A keretazonosítóból és a hozzá tartozó paritásból. A keretazonosító 6 bit hosszú, és azt az eszközt azonosítja, aminek az üzenetet szánjuk, vagy amitől üzenetet várunk. A paritás két bitje az azonosító bitjeiből számítható a következő módon:

$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4$$

$$P1 = \neg(ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5)$$

A válasz mezőben találhatóak az adat mezők és az ellenőrzőösszeg. Az adat bájtok száma tetszőleges lehet: az adatmező kettő, négy vagy nyolc bájtot tartalmazhat. Az

ellenőrző összeg a következőképpen adódik: sorban össze kell adni a bájtokat, és amikor nagyobb vagy egyenlő, mint 256, akkor kivonandó belőle 256, majd a végén negálandó.

A LIN busz főbb tulajdonságai a következők:

- Egy "Master", több "Slave" koncepció
- Alacsony költségű UART alapú integrált áramköri megoldás, egyszerű működés
- Kvarc, illetve rezonátor nélküli szinkronizációs lehetőség a "Slave" eszközök esetében
- Determinisztikus jelátvitel előre számítható jelterjedési idővel
- 40 kbit/s sebesség
- Jel érzékelésen alapuló interakció
- Egyszerű újrakonfigurálhatóság
- Szállítási réteg és diagnosztikai támogatás
- 12V-os feszültségi tartomány

5.1.4. FlexRay [13]

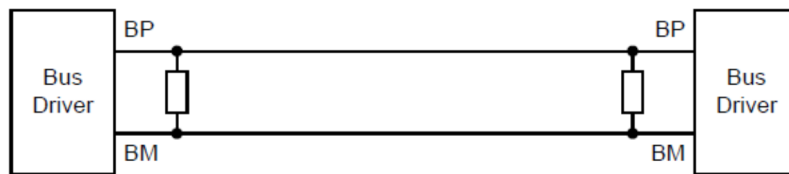
A FlexRayt jelenleg a legmagasabb technológiai színvonalat képviselő rendszerek esetében használják, és még huzamosabb ideig nem fogja teljes mértékben kiszorítani a másik két fontos járműipari kommunikációs technológiát, a CAN-t és a LIN-t. Ennek okai a költségek optimalizálásában és az átállás nehézségében keresendők.

5.1.4.1 Kialakítás

A FlexRay tervezésénél is alapvető szempont volt, hogy alacsony költséggel nyújtson nagy teljesítményű és megbízható adatátvitelt járműipari környezetben. A FlexRay hálózatban árnyékolatlan csavart érpárok kötik össze az egyes csomópontokat. A hálózat lehet egy- vagy kétcsatornás, ami egy vagy két független érpárt jelent. A differenciális adatátvitel biztosítja, hogy az elektromos zaj árnyékolás nélkül se okozzon zavarokat az átvitelben.

A kétcsatornás kivitel használható hibatűrő (fault-tolerant) rendszerek kialakítására, vagy növelhető a sávszélesség a segítségével. A legtöbb elsőgenerációs FlexRay hálózat csak egy csatornát használ, azonban a jövőben várható a kétcsatornás rendszerek fokozottabb elterjedése is.

A FlexRay busz végeit ellenállásokkal le kell zárni (16. ábra), és ezt elég csak a busz végein lévő eszközöknél megtenni. A túl sok lezárás (hasonlóan a lezárás hiányához) hibát okozhat a hálózat működésében. Míg a hálózatok kialakítása változhat, addig a vezeték impedanciája tipikusan 80 és 110 ohm között lehet, és a lezárás is megegyezik ezekkel az impedancia értékekkel.



32. ábra: Lezáró ellenállások egy pont-pont hálózaton

Forrás: FlexRay Communications System Protocol Specification. 2010. Version 3.0.1.

5.1.4.2 Protokoll

A FlexRay protokoll egyedülálló módon egy „idő-triggerelt” protokoll, amely lehetőséget biztosít determinisztikus adatok kiszámítható időn belüli (mikroszekundum pontossággal) fogadására, de emellett a CAN-hez hasonlóan dinamikus, eseményvezérelt adatok kezelésére is képes. FlexRay ezt a hibrid működést, azaz a statikus és dinamikus keretek továbbítását egy előre beállított kommunikációs ciklussal valósítja meg, amely egy előre meghatározott helyet biztosít a statikus és dinamikus adatoknak. Ezt a hálózattal együtt kell konfigurálnia a hálózat tervezőjének. Míg a CAN csomópontoknak csak arra van szükségük a kommunikációhoz, hogy ismerjék a megfelelő átviteli sebességet, addig a FlexRay csomópontoknak ismerniük kell az összes hálózati elem konfigurációját ahhoz, kommunikálni tudjanak.

Mint minden „multi-drop” busz, egyszerre csak egy eszköz küldhet adatot a buszra egy időben, ellenkező esetben az adatok hibásak lesznek. Többféle módszer is létezik ennek kiküszöbölésére. A CAN hálózat például arbitrációs módszert használ, amely prioritás alapján dönti el, hogy mely eszköz küldhet az adott pillanatban. Bár a módszer rugalmas és könnyű bővíteni, ez a technika nem teszi lehetővé a magas adatátviteli sebességet, és nem garantálja az időben történő megérkezését az adatoknak.

FlexRay a több csomópontot az időosztásos többszörös hozzáférés (Time Division Multiple Access: TDMA) módszerével kezeli. Minden FlexRay hálózati eszköz órája szinkronban van egymással, és egy adott időrésben írhatnak a buszra. Mivel ebben a

rendszerben az időzítés konzisztens, így a FlexRay garantálni tudja az adatok determinizmusát a hálózaton. Ez számos előnnyel jár azon rendszerek számára, amelyek működéséhez elengedhetetlen az adok, pontos, valós-idejű időzítése, mint például az összetettebb szabályozásokat megvalósító ECU-k. Beágyazott rendszerekben kialakított hálózatoknál nem elvárás, hogy az egyes eszközök automatikusan felderítsék a hálózatot és megfelelően átkonfigurálják magukat. A jellemző eljárás az, hogy a gyártás során beírásra kerül egy zárt konfiguráció az eszközökbe, amely a termék élelciklusa során már nem változik. Így a konfigurációt a tervezés során ki lehet alakítani, így csökkentve a további fejlesztési költségeket, és növelve a megbízhatóságot.

Egy FlexRay hálózat helyes működéséhez minden csomópont megfelelően be kell konfigurálni. A FlexRay szabvány lehetővé teszi különböző típusú hálózatok használatát, és megengedi a tervezőknek, hogy a bizonyos feltételek mellett, beállítsák a szükséges hálózati sebességet, a determinisztikus és a dinamikus adatmennyiséget, valamint egyéb paramétereket. Minden FlexRay hálózat eltérő lehet, ezért minden egyes eszközt fel kell programozni a megfelelő hálózati paraméterekkel, mielőtt részt vesznek a kommunikációban.

A hálózati konfiguráció megkönnyítése érdekében, kialakításra került egy szabványosított formátum a szükséges paraméterek tárolására és továbbítására Field Bus Exchange Format (FIBEX) néven.

6. ÖSSZEFOGLALÁS, FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Munkánk során eljutottunk a jármű által a jövőben ellátandó feladatok, és az azok végrehajtásához rendelkezésre álló eszközök figyelembe vételével, a vezérlő elektronika központi vezérlő egységeinek megtervezéséig.

A fejlesztés következő lépése a szükséges beavatkozók, szenzorok és a vezérlő egységek elhelyezése a gokarton, mégpedig úgy, hogy minden elem megbízhatóan és biztonságosan el tudja látni feladatát. Az elhelyezést és a rendszer integrálását követően a járművel kapcsolatos főbb hardveres fejlesztések elkészültek. A soron lévő feladat a járművet irányító szoftver fejlesztése, amelynek komplexitása miatt több mérföldkő, azaz részeredmény elérését tűztük ki.

A program fejlesztése során az első cél, hogy a jármű önállóan legyen képes végighaladni egy zárt, akadálymentes pályán, azaz a sávkövetés megvalósítása. Ez lényegében annyit jelent, hogy a jármű képes érzékelni a követendő útvonalat mind felfestett útburkolati jelek, mind az út szélét szegélyező padka formájában, és azok változása szerint képes pályakorrekciók végrehajtására.

A második nagyobb feladat az álló, idegen objektumok kikerülése. Ezen a ponton szeretnénk, ha a jármű felismerné az útjában álló tárgyakat, és megtervezné a kikerüléshez szükséges pályát.

A következő sokkal nehezebb feladat a mozgó objektumok, adott esetben más járművek érzékelése és kikerülése vagy követése a biztonságos követési távolság megtartásával.

További fejlesztési lehetőség a parkolási funkció integrálása, aminek során a járműnek képesnek kell lennie a rendelkezésre álló parkolóhely felismerésére, annak eldöntésére, hogy az elegendően nagy-e a jármű számára, valamint legvégül az oda történő beállásra. Ehhez azonban vélhetően komolyabb mechanikai átalakítás (pl. differenciálmű beépítése) is szükséges lesz.

Amennyiben a jármű a fent felsorolt feladatokat már biztonságosan el tudja végezni, elkezdhető a forgalmi funkciók kifejlesztése, amelyhez szükséges az útjelző táblák képfeldolgozó algoritmusok segítségével való felismerése, valamint a KRESZ szabályainak ismerete.

7. IRODALOMJEGYZÉK

1. **Atmel** AVR AVR32 Quick Reference Guide 2009.
<http://www.atmel.com/images/doc4064.pdf>
2. **Linear Technology**: LTC1694 - SMBus/I²C
<http://www.linear.com/product/LTC1694>
3. **Atmel**: AT32UC3C Series Complete
<http://www.atmel.com/devices/at32uc3c0512c.aspx?tab=documents>
4. **Atmel**: AT32UC3C-EK Schematics
<http://www.atmel.com/tools/UC3C-EK.aspx?tab=documents>
5. **Texas Instruments**: LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER 3A Step-Down Voltage Regulator (Rev. C)
<http://www.ti.com/product/lm2576>
6. **Texas Instruments**: MAX232, MAX232I (Rev. L)
<http://www.ti.com/product/max232>
7. **Hammond** 1591GFL Documentation
<http://www.hammondmfg.com/dwg2b.htm>
8. **Atmel**: AT90CAN 32/64/128 Series Complete
<http://www.atmel.com/devices/AT90CAN128.aspx?tab=documents>
9. **Hammond** 1591BFL Documentation
<http://www.hammondmfg.com/dwg2b.htm>
10. **Fehér Árpád**: Lin-emulátor fejlesztése járműmechatronikai vezérlőegységek környezetállósági tesztelésének támogatásához, TDK dolgozat, TDK konferencia BME, 2012. november
11. **BOSCH**. CAN Specification. Version 2.0. [Online] 1991.
12. **LIN Consortium**. LIN Specification Package. *Revision 2.2A*. 2010. Revision 2.2A.
13. **Consortium, FlexRay**. FlexRay Communications System Protocol Specification. 2010. Version 3.0.1.

8. ÁBRAJEGYZÉK

1.	ábra: V-modell	5
2.	ábra: Az egységek rendszerben való elhelyezése.....	7
3.	ábra: A mikroszámítógépek általános felépítése.....	8
4.	ábra: A mikroszámítógépek általános felépítése.....	9
5.	ábra: Az Atmel AVR és AVR32 termékcsalád tagjai.....	11
6.	ábra: 32 bites ATMEL mikrovezérlő család elvi felépítése.....	12
7.	ábra: Aktív jalalak javító működése.....	14
8.	ábra: Prototípusrendszer	16
9.	ábra: Portok jelölése	18
10.	ábra: Furatszerelt tokozás.....	19
11.	ábra: Felületszerelt tokozás	19
12.	ábra: TQFP-64 footprint.....	20
13.	ábra: Via	20
14.	ábra: AT32UC3C0512C lábkiosztása	21
15.	ábra: Oszcillátor kristály bekötése	22
16.	ábra: Reset kapcsoló bekötése.....	22
17.	ábra: JTAG csatlakozó kapcsolása.....	23
18.	ábra: LM2576 kapcsolása (dokumentáció)	23
19.	ábra: LM2576 tervezett kapcsolási terve	24
20.	ábra: CAN szintillesztő áramkör	24
21.	ábra: LIN szintillesztő áramkör.....	25
22.	ábra: MAX232 szintillesztő lábkiosztása és kondenzátorai.....	26
23.	ábra: RS232 szintillesztő kapcsolási rajza	26
24.	ábra: Hammond 1591GFL doboz méretei.....	27
25.	ábra: A központi vezérlő egység.....	29
26.	ábra: AT90CAN128 lábkiosztása	30
27.	ábra: A DAC kapcsolási rajza	31
28.	ábra: Hammond 1591BFL doboz méretei.....	32
29.	ábra: Az aktuátor vezérlő egység	33
1.	táblázat: Járműipari hálózatok összehasonlítása	34
2.	táblázat: CAN átviteli sebessége a kábelhossz függvényében.....	36
30.	ábra: CAN üzenetkeret.....	37
31.	ábra: LIN üzenetkeret.....	39
32.	ábra: Lezáró ellenállások egy pont-pont hálózaton.....	41