



SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITAS SCIENTIARUM SZEGEDIENSIS
MÉRNÖKI KAR

***SÚLYPONT VEZÉRELT ELEKTROMOS GÖRDESZKA
MEGTERVEZÉSE ÉS KIVITELEZÉSE***

TDK-dolgozat

Kónya Szabolcs Levente

IV. évfolyamos mechatronikai mérnök

hallgató

Témavezető:

Kóczi Dávid

Tanársegéd

SZEGED

2022

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	2
1. AZ EGYENSÚLY VEZÉRELT JÁRMŰVEK BEMUTATÁSA	3
1.1 Egyensúly vezérelt járművek főbb típusai	3
1.2 Egyensúly vezérlés alkalmazási körei	5
1.3 Egyensúly vezérelt járművek műszaki megoldásainak előnyei és hátrányai	6
2. ELEKTROMOS HAJTÁSOK	7
2.1 Az elektromos hajtások működési elvének bemutatása	8
2.2 Az elektromos hajtások jellemzői.....	10
2.2.1 Elektromos hajtások csoportosítása.....	10
2.2.2 Fordulatszám-nyomaték sík	11
2.3 Villamos motorok fajtái	12
2.3.1 Elektrosztatikus motorok.....	13
2.3.2 Piezomotorok	14
2.3.3 Elektromágneses motorok	14
2.4 Egyenáramú elektromágneses motorok fő típusai	15
2.4.1 Egyenáramú kefé motor (BDC)	15
2.4.2 Egyenáramú kefe nélküli motor (BLDC)	17
2.4.3 BDC és BLDC motorok összehasonlítása.....	20
2.5 elektromos hajtások felhasználási területei.....	21
3. SÚLYPONT VEZÉRELT ELEKTROMOS GÖRDESZKA MEGTERVEZÉSE	22
3.1 Kritériumok meghatározása.....	23
3.2 Megfelelő alkotóelemek kiválasztása	24
3.2.1 Alap deszka	24
3.2.2 Motor.....	25
3.2.3 Motorvezérlő	27
3.2.4 Akkumulátor és töltő	29
3.2.5 Súlymérés megvalósítása.....	30
3.2.6 Mikrovezérlő	31
3.2.7 Erőátvitel a motor tengelyéről a kerekre	31
3.2.8 3D összeállítás.....	32
3.3 Vezérlő program működésének meghatározása	35
3.4 Kapcsolás tervezés	36
4. KIVITELEZÉS MENETE	36
4.1 Mechanikai összeállítás	37
4.2 Elektronikai összeállítás	40
4.3 Programozás-tesztelés-mérés-módosítás	41
5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS JAVASLATTÉTEL.....	48
IRODALOMJEGYZÉK.....	50
ÁBRAJEGYZÉK	51
MELLÉKLETEK.....	54

BEVEZETÉS

A dolgozatom célja egy olyan elektromos gördeszka megtervezésének és megvalósításának bemutatása, amely eltér a kereskedelmi forgalomban kapható társaitól. Távirányító helyett súlypont vezérléssel valósítom meg az irányítást.

A témaválasztásom oka, hogy tanulmányaim során mindvégig szerettem a mechatronika, mint tudomány adta lehetőségeket, és ezt szeretném ötvözni az egyik kedvenc sportommal a gördeszkázással. Fontosnak tartottam, hogy valami újat alkossak, ami különleges és egyedülálló.

Munkámhoz időtervet készítettem és mindvégig hobbiként tekintettem rá, amelyhez szívesen ültem le dolgozni, mely munka során a sok megoldandó feladat, gondolkodás és szerelés egyre jobban inspirált. A kitűzött időintervallumokat igyekeztem tartani, így biztosítva volt az elkészülés időbeli pontossága.

A dolgozatom első fejezetében összefoglalom az egyensúly vezérelt járművek főbb típusait, alkalmazási területeit, azok műszaki megoldásainak előnyeit és hátrányait. A második részben pedig bemutatom az elektromos hajtások működési elvét, kialakítási formáit és felhasználási területeit. A harmadik fejezetben a tervezés egyes részeit mutatom be, beleértve a 3D tervezés fázisait, az alkatrészek kiválasztását, valamint kitérek az elektronikai és programozási feladatokra is. A negyedik fejezetben részletezem a súlypont vezérelt elektromos gördeszka kivitelezésének menetét, a megvalósítás közben fellépő esetleges problémákat és azok megoldásait mutatom be. Az ötödik fejezetben értékelő összefoglalást készítek, és javaslatokat teszek az egyes módosításokra, fejlesztésekre.

Dolgozatomban arra törekszem, hogy lényegre törően bemutassam és igazoljam a koncepció működését, hogy meg lehet valósítani egy súlypont vezérelt elektromos gördeszkát.

1. AZ EGYENSÚLY VEZÉRELT JÁRMŰVEK BEMUTATÁSA

Az első fejezetben célom az általános információk bemutatása a súlypont vezérelt járművekkel kapcsolatban. Bemutatom az egyensúly vezérelt járművek főbb típusait, alkalmazási területeit, valamint műszaki megoldásuk és megvalósításuk előnyeit és hátrányait.

1.1 Egyensúly vezérelt járművek főbb típusai

A legelső utcai körülmények között is helytálló egyensúly vezérelt jármű Dean Kamen nevéhez fűződik. Találmánya 1999-óta szerepel a nyilvántartásban és 2001-ben került piacra *Segway* néven (1. ábra).



1. ábra: Segway i2 SE (www.segway.com, 2022)

A Segway működésének titka a benne lévő szenzorokban rejlik. Üzem közben a járművet a kerekeket hajtó elektromos motorok tartják függőleges helyzetben és egyensúlyban. Az egyensúly megtartását és az irányítást a motorokon keresztül két beépített számítógép végzi, amelyek giroszkópok és dőlésérzékelő szenzorok segítségével másodpercenként több mint százszor korrigálják a pozíciót. Az eszköz a testsúly előre, illetve hátra helyezésével (gyorsítás, lassítás), valamint a kormány jobbra és balra döntésével (kanyarodás) irányítható. A Segway két elektromos DC motorjával 20 km/h maximális sebesség elérésére volt képes. Számos további fejlesztés és termék fűződik a fent említett gyártóhoz, amelyek meghatározóak és páratlanok ebben a témakörben. (www.science.howstuffworks.com, 2022)

A következő kettő eszköz legalább annyira híres és elterjedt, mint a fent említett jármű. Mind a kettő Shane Chen találmánya. Az egyik jármű a **Hoverboard** amely 2011-ben került feltalálásra, majd 2013-óta elérhető a piacon (2. ábra).



2. ábra: Hoverboard (www.cpsc.gov, 2022)

Működése és mechanizmusa egyszerű, a Segwayhez nagyon hasonló. A legfőbb különbség, hogy nem tartozik hozzá kormány, valamint kettő különálló egymáshoz képest elfordulásra képes platformon áll a felhasználó. (www.wired.co.uk, 2022)

A másik jármű, amely Shane Chen nevéhez köthető a 2009-ben megalkotott önegyensúlyozó egykerekű, először Solowheel néven terjedt el az ötlet, majd **Ninebot** néven került piacra.



3. ábra: Ninebot One S2 (www.segway.com, 2022)

A Ninebot különlegessége, hogy a 3. ábrán látható módon egyetlen meghajtott kerékkel rendelkezik, az irányítás elve a gyorsítás és lassítás terén megegyezik, a fent említett járművekével, a kanyarodás viszont az egész eszköz oldalirányú döntésével valósul meg. (www.oregonlive.com, 2022)

Végül a negyedik típusú eszköz melyet ide sorolnék a 2007-ben Ben Smither által kitalált, később Kyle Doerksen vállalkozása által megvalósított és elterjedt **Onewheel** elnevezésű jármű, amely a snowboardozás érzését hivatott átadni, természetesen hó nélküli körülmények között (4. ábra). (www.fallman.tech, 2022)



4. ábra: Onewheel Pint (www.onewheel.com, 2022)

1.2 Egyensúly vezérlés alkalmazási körei

Az egyensúly vezérelt járművek számos helyen és módon felhasználhatók. A Segway-t elterjedten használják különféle munkákhoz, például járőri, biztonságiőri feladatok ellátásához. Mindegyikre igaz, hogy alkalmas közlekedésre, de a Segway-t egyszerűsége és biztonságos vezérlése miatt mozgássérültek mobilitásának növelésére is használják. A turizmusban is megtalálhatók az előző pontban felsorolt eszközök. Közkezdvelten alkalmazzák őket városnéző csoportos túrákon. A Ninebot-ot és a Hoverboard-ot főleg szabadidős tevékenységként, szórakoztató céllal veszik igénybe, mintsem a közlekedés effektív megvalósításaként. A Onewheel pedig főleg sportolási célra használatos, extrémebb túrákra, könnyű terepen is megállja a helyét. (www.segway.com, 2022)

Az egyensúly vezérlés a járműveken kívül is megjelent a szórakoztató elektronikai cikkek között videójáték formájában is. A Nintendo Wii szériához tartozék egy Balance Board nevű fizikai kiegészítő felület, amelyre felállva a felhasználó a súlypontja változtatásával irányíthatja a különböző játékok menetét, közben mindvégig kihívást jelent az egyensúly megtartása. Ez eltér a súlypont vezérlés alapvető feladatától, hogy az eszköz minden körülmény között igyekezzen megőrizni a felhasználó egyensúlyi helyzetét, ezzel megvalósítva az irányítás. (www.playdome.hu, 2022)

1.3 Egyensúly vezérelt járművek műszaki megoldásainak előnyei és hátrányai

A Segway mikor először piacra került, hatalmas újdonságnak számított és nagy áttörést jelentett az elektromos járművek körében. A giroszkóppal megvalósított önegyensúlyozó mechanizmusának nagy előnye az egyszerű használat, ugyanis nincs szükség gázkarra, a test döntésével gyorsítható és lassítható. Az eszköz főleg az új felhasználóknak nagyon különleges irányítási érzést ad. A kormányzás egy egyszerű dőlés érzékelő szenzorral működik, amely közvetlenül a kormányoszlop jobbra-balra történő dőlését érzékeli. A kormány nagy előnye, hogy a felhasználó stabilitását és irányítási készségét nagyban javítja azzal, hogy a gép és a személy alkotta együttes rendszer közös súlypontjának szintjén is valósul meg fizikai kapcsolat. A kormányoszlop csak oldalirányú elmozdulásra képes, így menetiránnyal párhuzamos támaszt és tartást biztosít az eszköz használójának, ezzel biztonságérzetet nyújtva és könnyítve a kezelést. Ennek következtében a vezetőnek nincs szüksége komoly egyensúlyi készségekre, a gép egyensúlyoz helyette. Az eszköz hátrányának mondható a viszonylag alacsony végsebessége és magas ára. 20km/óra végsebesség a kétezres évek legelején egy nagyon drágának számító új, modern készüléktől nem volt jelentős. Ez a sebesség korabeli kerékpárokkal és motorokkal jóval olcsóbban felülmúlható volt, így nem jelentette azonnal a közlekedés effektív módját. A lítium technológiájú akkumulátorok alkalmazásának köszönhetően 40km-es hatótávra volt képes az első Segway. A 20km/óra csúcsebesség és a duplaszámítógépes giroszkópos vezérlés nagyon biztonságossá tette az eszköz használatát. Az egymás mellett elhelyezkedő kétkerekes felépítés előnye, hogy egyszerűsíti a szerkezet felépítését, könnyíti az össztömeget és alacsonyabb súrlódás következtében hatékonyabban tud működni a többkerekes járművekkel szemben. (www.slate.com, 2022)

A Hoverboard mondhatni a Segway kormány nélküli változata. Kettő kerék kettő motorral történő egymástól mechanikailag független meghajtása biztosítja a mozgását. Irányítása giroszkópokkal és gyorsulásmérő szenzorokkal történik, az előre hátra menet a Segwaynél megismert módon vezérelhető, a jobbra balra történő kanyarodás esetleges helyben megfordulás a felhasználó két lábfejének eltérő, esetlegesen ellenkező irányba döntésével valósítható meg. Ennek a konfigurációnak előnye, hogy kormány híján kisebb tömegű. A Segwaynél alkalmazott nagyméretű fix állólap helyett a dönthető kis állólapok miatt fizikai méretei is jelentősen kisebbek. Így nagyobb mobilitással rendelkezik, valamint könnyebb kézben szállítani, mint kormányos társát. Hátránya, hogy szerkezetileg bonyolultabb, valamint több szenzort igényel a két lábunk dőlésének külön történő érzékelése miatt.

Ami előnye az lehet hátrány is, ugyanis a kormány hiánya nagyobb szabadságérzetet nyújt, holott jelentősen nehezíti az irányítást, és csökkent a biztonságérzetet, melynek megtartása érdekében csak kis sebességre képes. (www.ihover.hu, 2022)

Shane Chen egykerekűje előrelépést jelentett kétkerekű társaihoz képest. A karosszéria alatt szintén gyorsulásmérő szenzorok és giroszkópok kaptak helyet. Az eszköz az egykerekű kerékpár elektromos változata, így az egyetlen kerék és a bele épített agymotor a felhasználó lábai között helyezkedik el. Az eszközre állva lábszárral megtámasztva a jármű oldalait stabil pozíció vehető fel. Egyes modellek üléssel is el vannak látva. Nagyobb kerékének köszönhetően simább futás jellemzi. A nagyobb kerék ballonosabb gumiabroncsot is jelent, így az esetleges úthibák, egyenetlenségek sem jelentenek gondot. Ezek következtében sokkal gyorsabb fentebb említett kétkerekű társainál akár 75km/h sebességre is képes. Testünk előre hátra döntésével gyorsítható és lassítható, a kormányzás pedig a test jobbra ballra döntésével történik nem elektromos módon, hanem a kerék formai tulajdonságait kihasználva. Jellemző rá a viszonylag egyszerű technikai és szenzorikai felépítés. (www.segway.com, 2022)

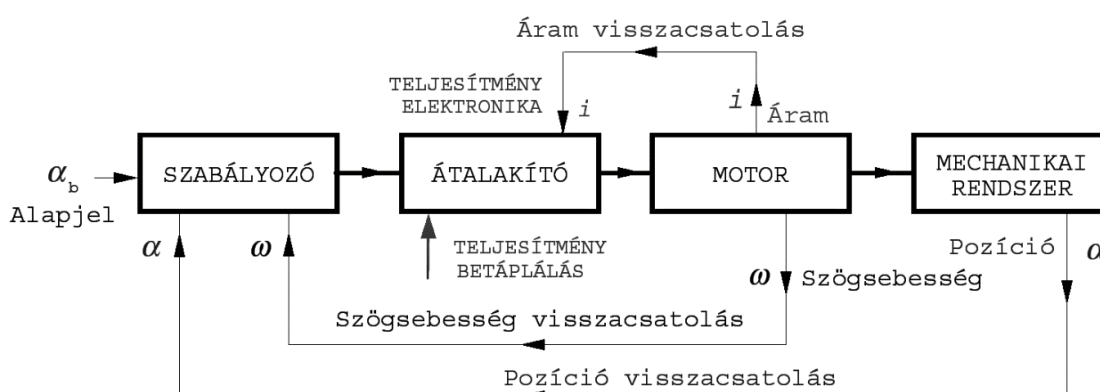
Kyle Doerksen egykerekűje az előző egykerekű elvén működik viszont, jelentős eltérés figyelhető meg az elrendezésen. A felhasználó elhelyezkedése az eszközön a snowboardnál vagy gördeszkánál ismert módon valósul meg. Az egyetlen agymotoros kerék a felhasználó két lába között került elhelyezésre. Gyorsítás és lassítás a súlypont menetirány szerinti változtatásával történik. A kanyarodás pedig az egy keréken történő oldalra döntéssel valósul meg. A konfiguráció előnye, hogy egyszerű felépítésű, kevés szenzort igényel. Hátránya, hogy jelentősen kisebb sebességre képes a Ninebot-hoz viszonyítva. 25-30km/h sebességre képes. A különleges elrendezés és az arányaiban nagy keréknek köszönhetően, könnyű terepen is megállja a helyét, amíg a fent említett összes többi eszköz főként sík városi használatra készült. (www.fallman.tech, 2022)

2. ELEKTROMOS HAJTÁSOK

Ebben a fejezetben először bemutatom az elektromos hajtások működési elvének alapját, felépítési elemeit és ezek megértéséhez szükséges alapfogalmakat, majd kitérek a különböző fajtájú villamos motorokra és kialakítási formáikra, valamint felhasználási területeikre.

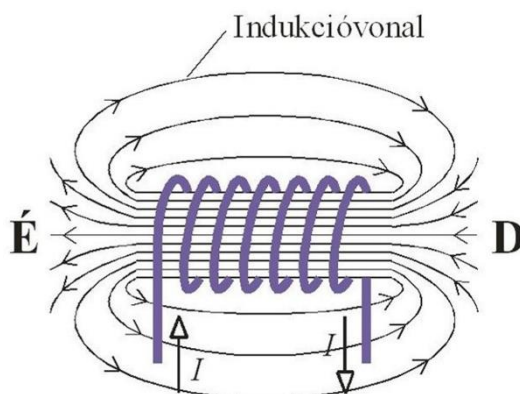
2.1 Az elektromos hajtások működési elvének bemutatása

Az elektromos hajtási rendszer egy komplex rendszert képez, több egymással összefüggő és kommunikáló egységből épül fel. Az általános villamos hajtás felépítése 4 fő egységre tagolható (5. ábra). (Pálfi, 1979)



5. ábra: Általános villamos hajtási rendszer blokkvázlata (www.tudasbazis.sulinet.hu, 2022)

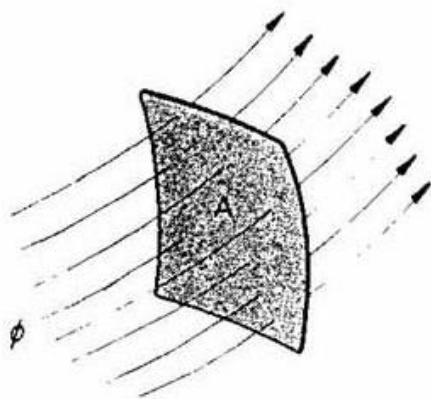
Az elektromos hajtások működésének alapköve az **elektromos energia** átalakítása **mechanikai munkává**. Ezt az **elektromágneses indukció** elvén valósítja meg a **villanymotor**. Hogy ez létre jöhessen szükség van **elektromágneses mezőre**. Az **elektromágneses teret** az elektromos mező változása, pontosabban az elektronok áramlása hozza létre. Az elektromos mező a töltésekkel rendelkező részecskékből származik, a mágneses mező pedig ezek mozgásából. E kettő hatás eredményezi együtt az elektromágneses teret.



6. ábra: Elektromágneses erőter (www.tudasbazis.sulinet.hu, 2022)

Az **elektromágneses mező** irányát és nagyságát általában erővonalakkal, másnéven indukcióvonalakkal definiáljuk, amelyek a mágnes északi sarkától a déli sarka felé haladnak (6. ábra). Minden vezetőknek, amelyben áram folyik van mágneses tere, melynek erővonalai koncentrikus körök formájában körül veszik a vezetőt. Az elektromágnes esetén a tekercsbe helyezett lágyvas hozza létre az elektromágneses teret addig, ameddig a tekercsen áram folyik át. (Zombory, 2008)

Az **elektromágneses indukció** a következő létfontosságú jelenség a villanymotorok működési elvének bemutatásánál. A mágneses térben mozgó vezetőben elektromos feszültség keletkezik más szóval **indukálódik**. Ez teszi lehetővé a villanymotorok, valamint dinamók és generátorok működését. Két csoportra lehet osztani ezt a jelenséget, a nyugalmi és a mozgási indukciókra. **Nyugalmi indukció** például a transzformátorok működése, mozgási indukció pedig a villamos motorok működése közben lép fel. Nyugalmi indukció esetén a **fluxus** hozza létre az indukciót, mivel sem a vezető, sem a mágneses mező nem mozog.



7. ábra: Fluxus (www.sulinet.hu, 2022)

A mágneses fluxus a mágneses tér legfontosabb jellemzője. Arányos az indukcióvonalak sűrűségével, vagyis a mágneses indukció mértékével, amely egyértelműen tükrözi a mágneses térben ható erőt (7. ábra). Ahol az indukcióvonalak sűrűbbek ott a mágneses tér erőssége nagyobb. A mágneses fluxus definíció szerint az adott felületen merőlegesen áthaladó indukcióvonalak számát jelenti. Dolgozatomban a **mozgási indukció** megértése a fontos, mivel a villanymotorral rendelkező hajtások működési elvének bemutatása a célom. Ebben az esetben vagy a vezető, vagy a mágneses mező, vagy mindkettő elmozdul egymáshoz viszonyítva. Fontos, hogy csak akkor jön létre mozgási indukció, ha a vezető elmozdulása a mágneses térben az indukcióvonalakra merőlegesen történik, párhuzamos elmozdulás esetén nincs indukció. A fent taglalt jelenségekre épül a **villanymotor** működése, melynek számos kialakítási formája és

típusa ismert. Mindre általánosan elmondható, hogy felépítésük álló és egy mozgó, általában forgó mozgást végző részre tagolható. E kettő egység között az elmozdulást az elektromosan vezérelt mágneses vonzás és taszítás jelensége biztosítja. (Holics, 2009)

A villanymotor a meghajtani kívánt mechanikai rendszerhez kapcsolódik, így látja el a végrehajtó szerv szerepét. A kapcsolódás számos módon megvalósulhat a rendszer típusától függően. A motor elektromos táplálását és vezérlését egy teljesítmény elektronikai átalakító látja el. Ebben az egység a szabályozó elektronika kimeneti jelét a motor meghajtására alkalmas teljesítményű és formájú jellé alakítja. Elterjedten alkalmaznak teljesítmény elektronikákban hálózatvezetett áramirányítókat, tranzisztoros és tirisztoros invertereket, valamint szaggatókat. A hajtások szabályozott jellemzőjének időbeli alakulását a hajtásszabályozó áramkör befolyásolja. Ilyen általánosan alkalmazott szabályozott jellemző például a fordulatszám, áramerősség, nyomaték, teljesítmény. A szabályozáshoz szükséges ellenőrző jeleket érzékelők, vagy távadók szolgáltatják. (Pálfi, 1979)

2.2 Az elektromos hajtások jellemzői

Az elektromos hajtások összetett rendszerét vizsgálva számos jellemző figyelhető meg, amelyek a felhasználási területtől függően hasonlóak lehetnek.

2.2.1 Elektromos hajtások csoportosítása

Az elektromos hajtások csoportosítása nem egyszerű feladat, a nehézséget az jelenti, hogy a hajtások általában konkrét motortípusokhoz vannak hozzárendelve. Így néhány alapvető jellemző alapján állítható fel átfogó kép, hogy milyen hasonlóságok figyelhetők meg a hajtások között.

a.) Meghajtott tengelyek száma szerint:

Az egyik csoportosítási szempont, hogy egy elektronikával, hány motor, azaz hány tengely kerül vezérlésre. Ebben az esetben beszélhetünk egy és több tengelyes hajtásokról.

b.) Motorvezérlő szerint:

A következő csoportosítási szempont teljesítményelektronikában lévő átalakító típusa, amely lehet:

- Egyenáramú szaggató: egyenáramról egyenáramra alakít
- Inverter: egyenáramról-váltakozó áramra alakít
- Egyenirányító: váltakozó áramról egyenáramra alakít
- Váltakozó áramú szaggató: Váltakozó áramról váltakozó áramra alakít

c.) **Villamos motor energia közvetítő közeg fajtája szerint:**

A csoportosítás következő szempontja a közeg fajtája, amely a mozgási energiát az állórésztől a forgórészig közvetíti. Ebből a szempontból 3 féle motort különböztetünk meg:

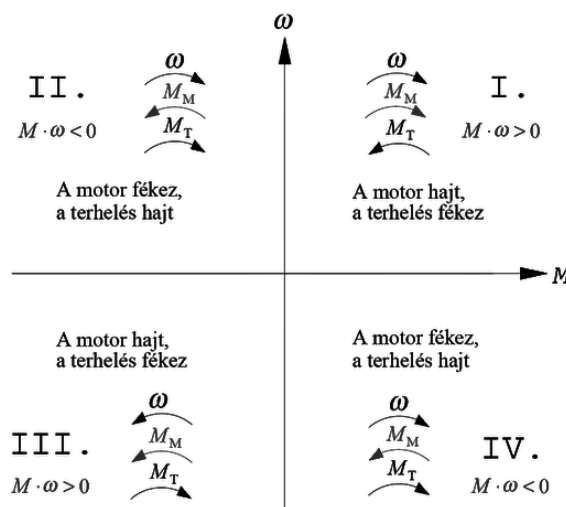
- Piezo/Ultraszonikus motorok esetében a surlódó felületek közvetítik az energiát.
- Elektrosztatikus motoroknál az elektromos tér a közvetítő közeg
- Klasszikus villamos motorok esetében pedig az elektromágneses tér hatására jön létre az energiaátvitel.

d.) **Villamos motor által szolgáltatott mozgástípus alapján:**

Az elektromos motorok csoportosításának több különböző szempontja lehet, a felhasználás szempontjából az egyik legfontosabb különbség a motor által létrehozott mozgás jellegében mutatkozik meg. A villamos motorok mozgás típusát tekintve kettő féle típus fordul elő, lehet forgó vagy lineáris mozgás. Fontos alapelv, hogy elméletben minden motortípusnak lehet lineáris és forgó mozgást biztosító változata, ez csakis a konstrukción múlik. A gyakorlatban előforduló és alkalmazott motorok jelentős többsége forgó mozgást előállító motor. (Korondi, Fodor, Décsei, 2014)

2.2.2 Fordulatszám-nyomaték sík

A teljesítmény elektronika és a vezérelt motor között az energia áramlás nem csak egy irányba történhet. Alkalmazástól függően terhelés esetén számítani kell két irányú energiaáramlásra. Elsősorban az egyenárammal táplált motortípusoknál fontos osztályozási szempont a fordulatszám-nyomaték sík, ez alapján az egyenáramú motor működésre négy részre, azaz síknegyedre bontható (8. ábra).



8. ábra: Fordulatszám-nyomaték sík (www.tudasbazis.sulinet.hu, 2022)

- 1. síknegyed: A villamos energia mechanikai energiává alakul. Motoros üzemmód előre, a motor forgatónyomatéka és szögsebessége azonos irányú.
- 2. síknegyed: A mechanikai energia villamos energiává alakul. Generátoros üzemmód előre, vagy motoros táplálás hátra, de forgás előre. A motor forgatónyomatéka és szögsebessége ellentétes.
- 3. síknegyed: A villamos energia mechanikai energiává alakul. Motoros üzemmód hátra, a motor forgatónyomatéka és szögsebessége azonos irányú.
- 4. síknegyed: A mechanikai energia villamos energiává alakul. Motoros táplálás előre, de forgás hátra, vagy generátoros üzemmód hátra. A motor forgatónyomatéka és szögsebessége ellentétes.

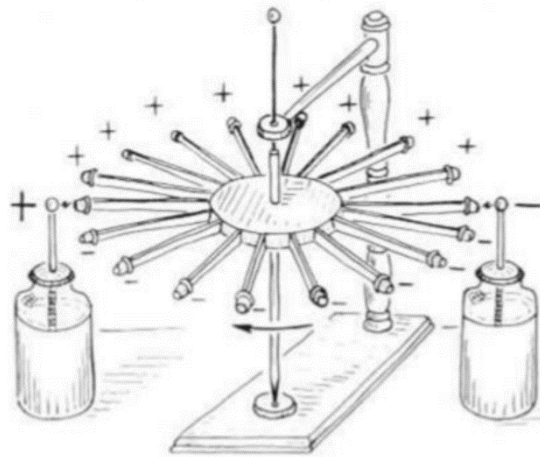
Táplálás szempontjából a négy variációt a feszültség és az áram iránya határozza meg. Motoros üzemmódban az áram és a feszültség iránya megegyezik, ilyenkor a motor energiát vesz fel a hálózathoz. Az előre és hátra forgás üzemmódjai, az I. és III. síknegyedben valósul meg. A motor nyomatékának előjelváltását az áram irányának megfordulása váltja ki. Amennyiben az áram és a feszültség iránya ellentétes, a villamos hálózat vesz fel energiát, ez a generátoros üzemmód, amely a II. és IV. negyedben valósul meg. Az egyenáramú motor úgy is beléphet a II. és a IV. síknegyedbe, hogy a feszültség és áramirány azonos, tehát motoros üzemmódban, de kényszerrel a motor forgásiránya megváltozik. A II. és a IV. síknegyedben minden esetben a mechanikai energia villamos energiává alakul, ugyanakkor, ha a feszültség és áram iránya megegyezik, akkor a motor a hálózathoz is energiát vesz fel. Ebben az esetben a mechanikai és a villamos energia jelentős része hővé alakul, ez nagy mértékben rontja a hatásfokot. A forgórész áramkörébe ellenállásokat kell iktatni azért, a motor áramának korlátozása érdekében, valamint azért, hogy a hő a motoron kívül, az ellenálláson keletkezzen. Ez az üzemmód például daruk és liftek esetében a teher leeresztésekor a múltban volt fontos, amikor nem állt rendelkezésre elérhető áron olyan elektronika, amely a generátoros üzemmódot lehetővé tette tetszőleges fordulatszám mellett. Állandó feszültségről táplált motornál a generátoros üzemmód csak az üresjárási, azaz aszinkronmotor esetén a szinkron fordulatszám felett valósulhat meg. Elektronika szükséges a tápfeszültség folyamatos változtatásához. (Pálfi, 1979)

2.3 Villamos motorok fajtái

Az elektromos hajtáson belül a mozgási erőt szolgáltató egység a villamos motor, melynek több típusa, kialakítási formája ismert, mind-mind más feladatra tervezve.

2.3.1 Elektrosztatikus motorok

Korábban a 20. században csak az elektromágneses működési elvű motorokat értettek villamos motor alatt, pedig az **elektrosztatikus motor** működési elvét több mint egy évszázaddal korábban dolgozták ki az **elektromágneses** motorokénál. Az első elektrosztatikus motort Benjamin Franklin és Andrew Gordon fejlesztette ki az 1750-es években. A 9. ábrán látható egy kezdetleges elektrosztatikus motor működésének elvi vázlata.



9. ábra: Elektrosztatikus motor (www.kemfiz.hu, 2022)

A legnagyobb probléma az volt az elektrosztatikus motorokkal, hogy jelentős nyomatékot az akkori technológiai segítségével nem lehetett létrehozni. Használata ezért háttérbe szorult és leginkább műszerként került alkalmazásra. Napjainkban újra fejlesztés alatt áll a technológia és igen nagy jelentőséggel bírnak a mikro-elektromechanikai rendszerekben, amely rendszerek általános jellemzője, hogy kondenzátorokkal váltják ki a tekercseket. Ez a megoldás azért működik, mert az elektromos töltések vonzása és taszítása alapján működik az elektrosztatikus villanymotor. Összehasonlításképp fontos megjegyezni, hogy az elektrosztatikus motor esetében a térfogat egységre jutó teljesítmény a méret csökkenésével jelentősen növekszik, a klasszikus elektromágneses motorok esetén pedig a motor teljesítménye nagyjából egyenes arányban változik a térfogattal. Ezt a légrésben elérhető maximális mágneses indukció változása okozza, ugyanis az indukció a motort alkotó ferromágneses anyag telítődésétől függ. A maximális térerősségnek a levegő átütési szilárdsága szab határt, valamint a levegő átütési szilárdsága azonos fizikai jellemzők, azaz azonos hőmérséklet, nyomás és páratartalom mellett a **Paschen törvény** szerint a kis elektróda távolságoknál megnő. Ez alapján számos kisméretű elektrosztatikus motor összekapcsolásában érdekes lehetőségek rejlenek. (Korondi, Fodor, Décsei, 2014)

A robotikában az egyik jelentős probléma, hogy ha összehasonlítjuk a robot mozgását végző motorok és teljes tömegének arányát az ember izomzatának és a teljes test tömegének arányával, akkor azt tapasztaljuk, hogy a robotok esetén relatívan túl nehéz a mozgató mechanizmus. A motorok ferromágneses anyagának kiváltása erre a problémára megoldás lehet. A nagyteljesítményű elektrosztatikus motorok alternatívát jelenthetnek a vasmag nélküli motorok körében. Az elektrosztatikus motorok folyamatos fejlesztés alatt vannak, de már piacon megjelent több bízató eredmény is köztük például egy jelentős teljesítményű 100W-os elektrosztatikus motor, amelynek a tömege nagyságrendekkel kisebb, mint egy hasonló elektromágneses motor tömege. A kollaboratív robotok tervezésénél nagyon fontos alapelv a mozgó tömeg csökkentése, így a jövőben a technológia fejlődésével alternatívát jelenthet az elektrosztatikus motor ebben a tudományágban is. Ugyan ez az elv elmondható az elektromos mobil közlekedési eszközök körében is, a kisebb tömeg minden esetben előnyt jelent. (Korondi, Fodor, Décsei, 2014)

2.3.2 *Piezomotorok*

Az elektromos motorok legújabb generációjához sorolhatóak a **piezomotorok**, használatos rájuk az **ultraszonikus motor** kifejezés is. Ez a technológia a mindennapi használati eszközök között, a fényképezőgépek optikáinak mozgásában terjedt el, és mára szinte egyeduralkodóvá vált. Számos előnyt élveznek a klasszikus motorokkal szemben, gyorsabban és halkabb fókuszálást tesznek lehetővé. Az optikákon kívül kiemelt szerepük van a piezoaktuátoroknak a mikro- és nanotechnológiában. Főként olyan helyen célszerű alkalmazni piezomotorokat, ahol nem megengedett a ferromágneses anyagok használata, erre példa az MRI készülék, vagy a szupravezetők. (Korondi, Fodor, Décsei, 2014)

2.3.3 *Elektromágneses motorok*

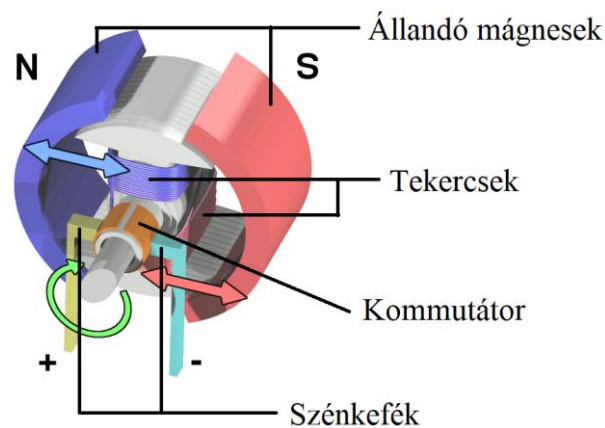
A klasszikus elektromágneses forgómozgású motorok egy csőszerű külső környezethez rögzített állórészből és egy hengerszerű forgórészből állnak. A forgó mozgás során a súrlódás minimumára csapágызással törekednek. Az álló és forgórész szerepei felcserélhetőek, tipikus esete a fordított elrendezésnek a kerékpárok agymotorjai, valamint a ventilátorok motorjai. Elektromágneses motorok esetében megkülönböztethető **axiális** és **radiális fluxusú** változat, melyek közül az utóbbi az elterjedtebb. A klasszikus, elektromágneses, forgó mozgású, radiális fluxusú motorokon belül számos változat létezik. (Korondi, Fodor, Décsei, 2014)

2.4 Egyenáramú elektromágneses motorok fő típusai

Dolgozatomban egy mobil közlekedési eszköz megalkotása a cél, így az egyenáramú energiahordozó miatt a DC motorok közül célszerű választani a tervezés során, így ezek tulajdonságait, előnyeit és hátrányait összegzem a továbbiakban.

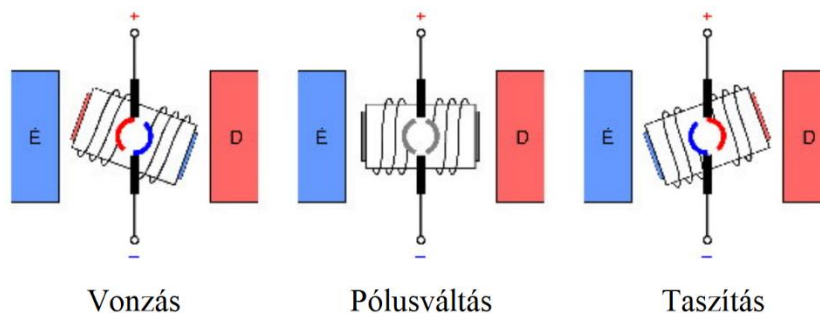
2.4.1 Egyenáramú keféss motor (BDC)

A **BDC** (Brushed Direct Current) motor az elektromágneses indukció elvén működik. Az elektromos áramból nyert energiát alakítja át mechanikus energiává, forgó mozgás formájában. Felépítését tekintve általában állandó mágnesekkel ellátott állórészből és elektromágnesekként szolgáló tekercsekkel ellátott forgórészből áll (10. ábra).



10. ábra: Egyenáramú keféss motor felépítése (www.en.wikipedia.org, 2022)

Az egyenáramú motor forgórészének mozgása a **pólusok** vonzásán és taszításán alapul. A mágneses térben elhelyezett tekercs áram alá helyezése során az indukálódott elektromágneses mező kölcsönhatásba lép az állandó mágnesek erőterével. Az **armatúra** az elektromos gépek azon része, amelyben az indukció létrejön. A BDC motor esetében ez a tekercs, ami a motor forgó része, mely a pólusok vonzó, illetve taszító hatása következtében elmozdul. Ha az álló és forgórész pólusa azonos akkor taszítják, ha ellentétes akkor vonzzák egymást (11. ábra).



11. ábra: BDC motor működése (www.fizkapu.hu, 2022)

Az áramváltást, azaz a pólusok felcserélését a **kommutátor** biztosítja. A forgórész az állórészhez rögzített érintkezőkön, úgynevezett **keféken** keresztül kapja az áramot a tekercseibe a kommutátoron keresztül. Miközben az armatúra forog a tengelye körül, a mozdulatlan kefék kapcsolatba kerülnek a forgó kommutátor különböző részeivel. Azért nincs szükség a motor működtetéséhez bonyolult irányító elektronikára, mert a kommutátor és a szénkefék alkotta rendszer a vezérlés fő részét mechanikusan elvégzi. A kommutátor és kefe rendszer villamos kapcsolók sorozatát alkotják, mindegyik sorrendben kapcsol úgy, hogy az áram mindig az állórészhez legközelebb lévő armatúratekercsen folyik keresztül, ezzel biztosítva azt, hogy a mágneses kölcsönhatás mindig a megfelelő tekercsben, a mágnes és a forgórész tekercsei között alakuljon ki. A BDC motorok előnye, hogy nem igényelnek bonyolult vezérlő elektronikát a működésükhöz, akár a megfelelő DC áramforrásra vezérlés nélkül csatlakoztatva is működésre lehet bírni őket. Az erőter és az armatúra különféle összekapcsolása különböző belső fordulatszámot eredményez. A villanymotor sebességét befolyásolhatjuk az armatúra feszültségének vagy a gerjesztő áramnak a változtatásával. Így elegendő akár egy egyszerű feszültség vagy áram szabályozó elektronikával irányítani a motort. A megfelelő forgásirány megválasztásához, valamint változtatásához elegendő egy polaritásváltó kapcsoló, vagy elektronika. (Hughes, 2006)

A BDC motor legnagyobb hátránya, hogy surlódó alkatrészeket tartalmaz, ez több összefüggő, de lényegében más-más jelenséget is eredményez. A súrlódás a kommutátor és a szénkefék kapcsolatából adódik. A szénkefék olyan csúszó érintkezők, amelyeket egy-egy rugó szorít a kommutátorhoz, így biztosítva nem tökéletes elektromos érintkezést. Emiatt káros elektromos zajok keletkeznek, amely hatással lehet a vezérlő elektronikára és a többi rendszerre, amelyekkel a motor elektromos kapcsolatban van. A jelenség kihatással van a motorral nem közvetlen kapcsolatban álló elektronikai rendszerekre elektromágneses zavar formájában is.

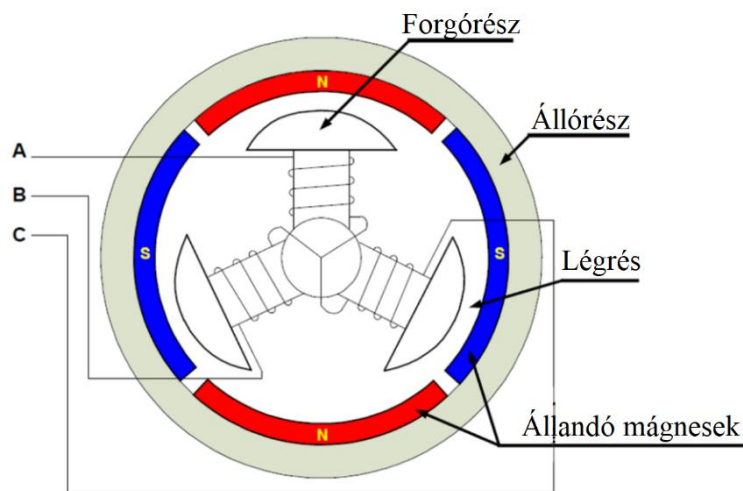


12. ábra: Zajsűrő kondenzátorok BDC motorra kapcsolva
(www.learn.adafruit.com, 2022)

Erre megoldást jelenthet a zajszűrő kondenzátorok alkalmazása, amelyeket az ábra szerint a motor két elektromos csatlakozója és az állórész teste közé szokás kapcsolni. (12. ábra) Gyakran jelent problémát a motor hűtése, hőelvezetése, ugyanis használat közben a forgórész tekercsei melegednek a legnagyobb mértékben, de mivel ezek folyamatos mozgásban, pontosabban forgásban vannak, így nem alkalmazható közvetlen hűtés. A BDC motorok hűtése általában az állórészen keresztül történik, amely nem jelent tökéletes megoldást a forgórész hőelvezetésére. (Millet, 2022)

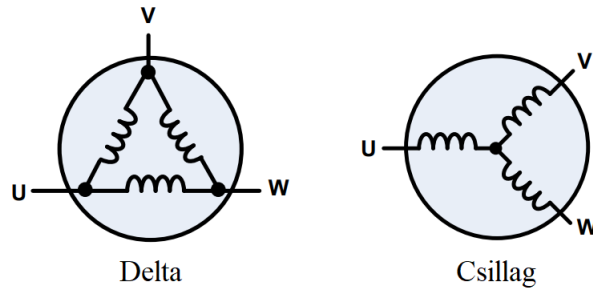
2.4.2 Egyenáramú kefe nélküli motor (BLDC)

A BLDC (Brushless Direct Current) motorok felépítése mondhatni ellentéte az egyenáramú kefes motorokénak, ugyanis az állórész részét képezi a tekercs, a forgórészt pedig az állandó mágnes alkotja.



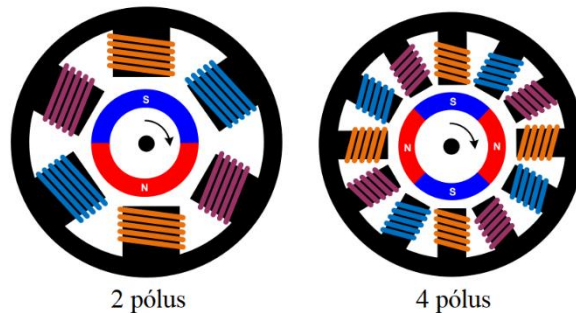
13. ábra: BLDC motor felépítése (www.electroschematics.com, 2022)

Ahogy 13. ábrán is látható, kommutátor és szénkefék nem találhatók a motorban, innen ered a kefe nélküli elnevezés. A kommutátor áramosztó feladatát elektronikusan kell elvégezni, amelyről a motorvezérlő elektronika gondoskodik. A kefe nélküli motorok számos különbséggel rendelkeznek kefes változatukhoz képest. A legfontosabb pozitív tulajdonsága, hogy nem található benne surlódó, kopó alkatrész a csapágyakon kívül. Ezáltal jelentősen nagyobb a hatékonyságuk, megbízhatóbbak és halkabb üzem jellemzi őket hosszabb élettartam mellett. Nem keletkeznek szikrák a kommutátoron, ezáltal sokkal kisebb elektromágneses zaj jellemző a működésükre.



14. ábra: BLDC tekercs kapcsolások (www.monolicpower.com, 2022)

A BLDC motorok három tekercsének csatlakozására kettő féle lehetőség van, a csillag és a delta konfigurációk (14. ábra). Mindkét esetben három csatlakozó kivezetése van a motornak, valamint a vezérlés elve is megegyezik. A három fázisú motorok eltérő mágneses konfigurációkkal rendelkezhetnek. A legegyszerűbb háromfázisú motorok kétpólusúak, ez esetben az állandómágnessel ellátott forgórész csak egy póluspárral rendelkezik (15. ábra).

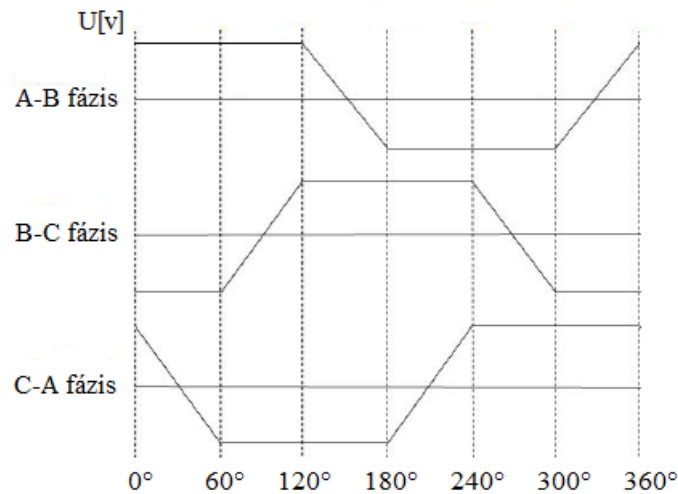


15. ábra: BLDC motor 2 és 4 pólusú konfiguráció (www.monolicpower.com, 2022)

Kettőnél több pólusú is lehet egy motor, de ez több mágneset igényel a forgórészben, és több tekercsre van szükség az állórészben is (15. ábra). A magasabb pólusszámú motorok nagyobb nyomaték leadására képesek, kis pólusszám esetén pedig a fordulatszám növelhető jobban.

A három fázisú motor vezérlésénél a fázisokat vagy a bemeneti feszültséggel, vagy a test potenciáljával kapcsolják. Ennek megvalósítását úgynevezett félhíd meghajtó áramkörök látják el, amelyek két kapcsolóból állnak. A kapcsolók lehetnek bipoláris tranzisztorok, IGBT-k, vagy MOSFET-ek attól függően, hogy mekkora áram és feszültség szükséges a működéshez. Számos vezérlési technika létezik, amellyel működtethető egy három fázisú motor.

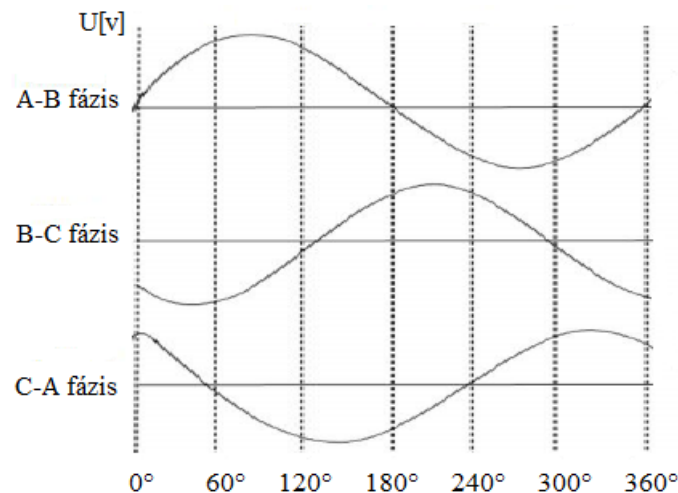
A legegyszerűbb vezérlési technika a trapéz kommutáció, másnéven blokk vagy 120° -os kommutáció (16. ábra).



16. ábra: Trapéz kommutáció (Shanmugam, Ramachandran, 2015)

Ez a kommutációs séma nagyrésztben megegyezik a kefések DC motorokban működő mechanikus kommutátorral. Működés közben a három fázis közül az egyik mindig üresen van hagyva, a másik kettő közül az egyik a földpotenciálhoz, a másik a bemeneti feszültséghez van kapcsolva. A sebesség és nyomaték szabályozása a bemeneti feszültségre kapcsolt fázis PWM szabályozásával valósul meg. A fázisok váltakozása hirtelen történik minden kommutációs pontnál, ennek eredményeként a forgórész forgása állandó, de megfigyelhető kis mértékű nyomaték ingadozás. (Millet, 2022)

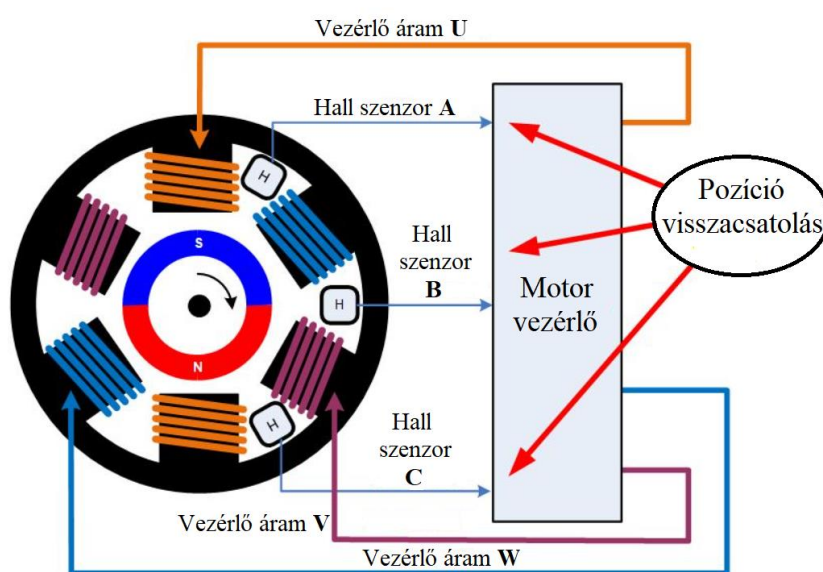
Magasabb teljesítményekhez más kommutációs sémák is használhatók. A szinuszos, vagy más néven 180° -os kommutáció esetén mind három fázison áram folyik át egy időben. A vezérlő elektronika szinuszos áramot generál minden egyes fázisra 120° -s eltolással (17. ábra).



17. ábra: Szinuszos kommutáció (Shanmugam, Ramachandran, 2015)

Ez a vezérlési technika minimalizálja a fázisváltáskor keletkező nyomaték ingadozást, valamint csökkenti a működés közbeni zajt és vibrációt. Szinuszos kommutációt alkalmaznak magas teljesítményű, nagy hatékonyságú hajtásoknál. (Millet, 2022)

A mágneses tér megfelelő forgatásához, a vezérlő elektronikának érzékelnie kell a forgórész pontos forgási pozícióját az állórészhez viszonyítva. Ez a pozíció információ kinyerhető az állórészhez rögzített **Hall szenzorok** segítségével. Ahogy a forgórész forog, a hall szenzorok érzékelik a forgórész mágneses terét. Ez az információ eljut a motorvezérlő elektronikához és ez alapján küld áramot az állórész tekercseibe, amely hatására a forgórész tovább forog. Három hall szenzor alkalmazásával a trapéz kommutáció egyszerű kombinációs logikával megvalósítható, nincs szükség bonyolult vezérlő elektronikára.



18. ábra: Hall szenzoros pozíció visszacsatolás (www.monolithicpower.com, 2022)

Ellenben más kommutációs sémákkal például a szinuszos kommutáció kifinomultabb, bonyolultabb vezérlőelektronikát igényel. (Millet, 2022)

Szenzorok nélkül is meghatározható a forgórész helyzete, erre több módszer is alkalmazható. Talán a legegyszerűbb közülük a visszafelé ható elektromotoros erő, szaknyelvben EMF (Electromotive Force) monitorozása. E módszer lényege, hogy egy éppen nem hajtott fázison keresztül érzékelhető a mágneses tér az állórészhez képest. Egy kifinomultabb vezérlési algoritmus a mezőorientált FOC (Field Oriented Control) vezérlés. Ez a módszer egy meglehetősen erős processzort igényel, amely valós időben rendkívüli sebességgel kiszámítja a rotor pozícióját a rotor áramai és egyéb paraméterei alapján. Az FOC jóval költségesebb az EMF technológiánál. (Millet, 2022)

2.4.3 BDC és BLDC motorok összehasonlítása

Összességében összevetve a keféss és kefe nélküli motorok tulajdonságait érthető, hogy miért hódít magának egyre nagyobb teret a BLDC technológia, de még mindig vannak alkalmazási területek, ahol előnyösebb a sima keféss DC motor alkalmazása. Az autóiipart vizsgálva rengeteg helyen váltják fel a keféss motorokat a kefe nélküli változattal, például a pumpákat és ventilátorokat tekintve, a megbízható működés és jelentősen hosszabb élettartam miatt. Hosszútávon a kefe nélküli DC motorok működéséhez szükséges plusz elektronika ára többszörösen megtérül a megbízhatóság mértékében, és az alacsony karbantartási szükségletekkel. Egy másik megközelítésből vizsgálva az autóiipart, vannak esetek, amelyekben gazdaságosabb a keféss motor alkalmazása, ilyen például a lassú fordulátú, ritkán használatos motorok az elektromos tükrökben, vagy az elektromosan állítható ülésekben. Ezek esetében a használat mértéke olyan kevés, hogy a motor élettartama hosszabb az autóénál, amelybe beépítésre kerültek. Ilyen esetekben tökéletesen ellátja feladatát a keféss DC motor, viszont felsőbb kategóriás autókban ilyen esetekben is kefe nélküli motorokat használnak a halkabb működés miatt. Ahogy a kefe nélküli motorok és hozzájuk tartozó elektronika ára folyamatosan csökken, egyre jobban terjednek olyan felhasználási területeken, amelyeken a hagyományos keféss motorok domináltak. (Millet, 2022)

2.5 elektromos hajtások felhasználási területei

Az elektromos hajtások felhasználási területeinek lehetőségei szinte korlátlanok, így már a mindennapi életünkben jelen vannak. Villamos hajtásokat széleskörűen alkalmaznak, mint például szállítószalagok, mozgólépcsők, felvonók. A közlekedésben egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a nem fosszilis üzemanyagokkal működő járművek. Az alternatív megoldások egyik legjelentősebb képviselője a villamos meghajtás. A mobil felhasználási területek közé tartoznak az elektromos járművek. Ilyenek például a villamos vasutak a tömegközlekedésből, mint a metró, villamos és hév. Ezek a gépek a működésükhöz szükséges energiát egy előre telepített villamos hálózattól nyerik, melyre működés közben folyamatosan csatlakoztatva vannak. Léteznek azonban olyan elektromos járművek is, melyek egy meghatározott ideig képesek az elektromos hálózattól függetlenül is üzemelni, ilyenek például az elektromos autók, kerékpárok, rollerek, gördeszkák, targoncák, golfautók. Napjainkban a hibrid autók egyre jobban terjednek, melyek a belsőégésű motor mellett egy elektromos motort is tartalmaznak, így egyesítik mindkét hajtás előnyeit. Az autókön kívül számos olyan közlekedési eszköz éli virágkorát, amelyben elektromos hajtás található, például rollerek, elektromos kerékpárok. A közlekedéstől eltekintve, más iparágakban általánosítva

megtalálható, szerszámgépekben, elektromosan nyíló ajtóknak, kapuknak. De már egy egyszerű háztartásban is megszámlálhatatlan villamos hajtással rendelkező eszköz található például szellőztető ventilátorok, klíma, konyhai kisgépek és segédeszközöktől kezdve a fürdőszobában található párátlanítótól az elektromos fogkeféig. (www.ilmarket.hu, 2022)

3. SÚLYPONT VEZÉRELT ELEKTROMOS GÖRDESZKA MEGTERVEZÉSE

Ebben a fejezetben meghatározom az eszközzel szemben elvárt követelményeket, bemutatom a tervezés menetét és az alkatrészek kiválasztását. Először a mechanikai tervezést ismertetem, majd kitérek az elektronikai és programozási feladatokra.



19. ábra: Saját tervezésű súlypont vezérelt elektromos gördeszka összeállítási ábrája

Az alábbi táblázatban látható, milyen ütemezésben haladtam a tervezéstől egészen a kivitelezésig (20. ábra). A zölddel jelölt részek a tervezett időben megvalósított feladatokat mutatják, a piros jelzés pedig a nem terv szerint alakuló késésben lévő műveleteket. Az ütemtervet alapvetően sikerült tartani, az alkatrészek beszerzésénél a szállítási idő nem a tervek szerint alakult, ez kihatott az erre épülő feladatokra is. A lemaradás nem okozott problémát a továbbiakban.

	Feb.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.
Mechanikai Tervezés										
Elektronikai tervezés										
Alkatrészek beszerzése										
Mechanikai elemek megvalósítása										
Összeépítés										
Elektronikai összeállítás										
Programozás										
Tesztelés										

20. ábra: Ütemterv

3.1 Kritériumok meghatározása

Mivel egy összetett, több részegységből álló eszköz megvalósítása a cél, ezért a tervezési folyamat elején meghatározom azokat a lényeges elvárásokat, amelyeknek a deszka meg kell feleljen.

Súlypont vezérelt elektromos gördeszkával szemben támasztott követelmények:

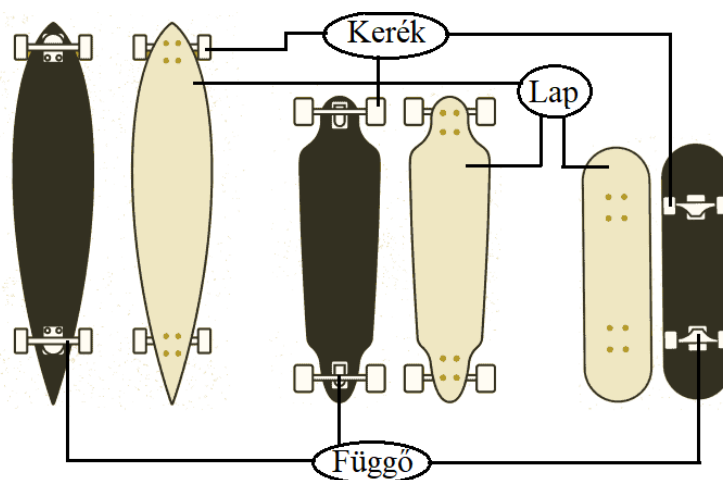
- Az eszköz alkalmas legyen arra, hogy a felhasználó csupán saját testsúlyának változtatásával képes legyen irányítani.
- A mozgáshoz szükséges erőt villamos motor biztosítsa.
- Az erőátvitel a motor és a kerekek között szíjhajtással valósuljon meg.
- Mechanikailag stabil szerkezet legyen.
- Legyen viszonylag kompakt és könnyű, tömege ne haladja meg a 10kg-ot.
- A vezérlést mikrovezérlő lássa el, a beépített súlymérő eszközök jelei alapján.
- Képes legyen legalább 18km/h sebességre.
- Álló helyzetből maximális sebességig képes legyen 5 másodperc alatt felgyorsulni sík terepen.
- A fent meghatározott sebesség mellett legalább 10km hatótáv elvárt.
- 100kg testsúlyig használható legyen az eszköz.

3.2 Megfelelő alkotóelemek kiválasztása

A kritériumok teljesítéséhez elengedhetetlen a részegységek megfelelő kiválasztása, így a továbbiakban bemutatom a kiválasztott alkatrészeket, és részletezem az egyes választások menetét, okait is.

3.2.1 Alap deszka

A tervezett eszköz alapjául mindenképpen egy forgalomban kapható gördeszkát szerettem volna választani. Gördeszkákon belül számos típus és konstrukció létezik még az alap modellek között is.



21. ábra: Gördeszka fajták (www.ridingboards.com, 2022)

A három leggyakoribb típus a 21. ábra bal oldalán látható **cruiser**, a középen lévő **longboard** és jobb oldalt a közismert alap gördeszka a **skateboard**. Az ábra kiválóan szemlélteti a típusok közti méretkülönbséget és a felépítési elemek elvi azonosságát. A magyar nyelvben mindhárom típusra a gördeszka szó felel meg, ezért a továbbiakban az angol megfelelőjükkel hivatkozok rájuk. A hagyományos gördeszka a skateboard kis kemény kerekei, nagy fordulóköre, keveset mozgó felfüggesztése miatt kimondottan extrém sporteszközként szolgál, mintsem alternatív közlekedési eszközként. A cruiser alakja nagyon hasonlít a szörfdeszkához, ugyanis a skateboard és a szörfdeszka ötvözéséből alkották meg. Ez már alkalmasabb közlekedésre, hosszabb, szélesebb és valamivel nagyobb kerekekkel szerelték a skateboardnál. Számomra a legmegfelelőbb választás a cruiser és a skateboard között lévő arany középút a longboard. Ez a típus rendelkezik a három közül a legjobb tulajdonságokkal, amennyiben közlekedésre alkalmas eszköz alkotása a cél. A kritériumok alapján csak a kompakt és könnyű meghatározásokat kell figyelembe vennem az alap deszka kiválasztásakor. Ugyan a skateboard könnyebb a longboardnál, de a longboard egyéb előnyös tulajdonságai miatt amellett döntöttem. Nagy, széles, viszonylag puha kerekei kiváló tapadás mellett biztosítanak nagyon kicsi gördülési ellenállást és halk gurulást. Hossza a cruiser és a skateboard közé tehető, de mindhárom közül ez a legszélesebb. Ennek köszönheti stabilitását nagy sebesség mellett is.



22. ábra: Gyári Longboard saját készítésű 3D modellje

A három típus közül a longboardra esett a választásom, kedvező tulajdonságai miatt. Beszerzés után elkészítettem a méretpontos 3D modelljét Autodesk Inventor programban. (22. ábra)

3.2.2 Motor

Az elektromos hajtás alapvető eleme a villanymotor. A motor típusának helyes kiválasztása létfontosságú lépés a rendszer további elemeinek tervezésében és kiválasztásában. A motor feladata a vezérlő által rendelkezésre bocsátott elektromos energiát mozgási energiává

alakítani. A kritériumok alapján a motorra vonatkozó meghatározások, hogy képes legyen 5 másodperc alatt álló helyzetből felgyorsítani az eszközt $18\frac{km}{h}$ sebességre. Továbbá törekedni kell a méret és súly minimumra. Mivel a gördeszka gördülési ellenállása sima felületű aszfalton elhanyagolhatóan kevés, hibás úton, egyenetlen körülmények között pedig meghatározhatatlan, ezért a számítás során elhanyagolom. A motor teljesítményét a kritériumok között meghatározott adatok alapján számítom.

$$W_{gy} = \Delta E_m = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} * 110kg * 5^2(\frac{m}{s})^2 = 1375J \quad (1.1)$$

$$P = \frac{W_{gy}}{t} = \frac{1375J}{5s} = 275W \quad (1.2)$$

W_{gy} – motor által végzett gyorsulási munka

ΔE_m - mozgási energia változása

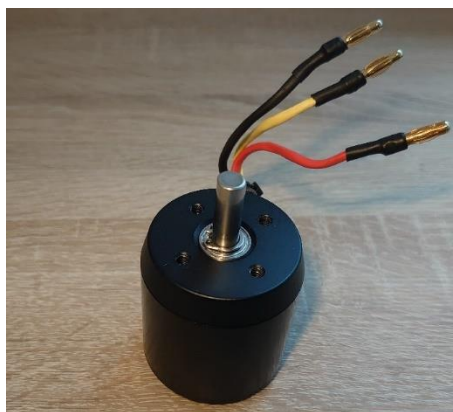
m – gördeszka és felhasználó együttes megengedett maximális tömege

v – sebesség

P – motor teljesítménye a gyorsulás alatt

t – gyorsítási idő

A minimum motor teljesítmény, amely képes a maximum 110kg össztömegű felhasználót és gördeszkát 5s alatt $18\frac{km}{h}$ sebességre gyorsítani az 275W (1.2). Ez kategóriájában nagyon kis teljesítménynek mondható. Az elektromos rollerek és gördeszkák motor teljesítményei 500-3000W tartományban gyakoriak. A gördeszka alján rendelkezésre álló kevés hely miatt a motor aktív hűtésére vagy passzív hűtőbordák alkalmazására nincs lehetőség. A jövőbeli fejlesztésekre való tekintettel és a motor biztonsága miatt, a túlterhelés és a melegedés elkerülése érdekében javaslom egy nagyobb teljesítményű motor választását. A dolgozatomban vizsgált motortípusok tulajdonságai alapján BLDC motort választottam.



23. ábra: Választott BLDC motor

A választásom egy 1820W teljesítmény leadására képes 270KV-s motorra esett. Az 5065 méreetszámmal rendelkező motor névlegesen 50mm átmérőjű, 65mm hosszú és 8mm átmérőjű meghajtó tengellyel szerelt (23. ábra).

1. táblázat: A választott motor specifikációi

KV (fordulatszám/feszültség)	270
Teljesítmény (W)	1820
Üresjáratú áram (A)	1,5
Ajánlott motorvezérlő (A)	80
LiPo cellák száma	3-8
Méret	80.52x49.52x8mm
Támogatott ESC	Szenzoros/Szenzor nélküli

A KV nem ISO mértékegység, amelyet elterjedten alkalmaznak olyan villamos motorok körében, amelyek széles körű üzemi feszültséggel képesek működni, a KV jelentése a fordulatszám és üzemi feszültség hányadosa. Ez a mértékegység a fordulatszám egyszerű számítására szolgál, ugyanis az adott motorra jellemző KV értéket elegendő megszorozni a kívánt üzemi feszültséggel és eredményül a motor névleges fordulatszáma kapható az adott feszültségen. A választott motorom feszültségtartománya az adattáblája szerint 3-8s, ami azt jelenti, hogy 3-tól akár 8-cella LiPo azaz Lithium-polymer akkumulátor feszültséggel működhet cellánként 3,7V névleges feszültséggel számolva. Felépítését tekintve outrunner BLDC motor, amely annyit jelent, hogy az állandó mágnesekkel szerelt forgórész a tekercseken kívül helyezkedik el. Hátránya az outrunner felépítésnek, hogy mivel a forgórész képezi a motor borítását, ezért a hűtése nehezkesebb, ugyanis a homlokfal felfogatási pontjain kívül nincs más felület, amelyhez csatlakozva elvezethető a motor által termelt hőmennyiség. Az én esetemben a túlméretezés miatt a motor oly mértékben kímélve lesz, hogy melegedési problémák nem várhatók.

3.2.3 Motorvezérlő

A motorvezérlő kiválasztásához először az üzemi feszültséget kellett megválasztanom, ugyanis ezek nem széleskörű felhasználásra készülnek. Mivel a motor képes akár 36V-os rendszerben is üzemelni ezért, ezzel a feszültséggel számolok a motorvezérlő méretezésénél. A motorhoz a gyártó által ajánlott motorvezérlő 80A folyamatos áramot kell biztosítson. Mivel a motor teljesítményének töredéke lesz kihasználva, ezért nem szükséges 80A-es vezérlő hozzá. A gyorsításhoz szükséges maximális teljesítménnyel számítom a hozzá tartozó maximális áramfelvételt.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{275W}{36V} = 7,63A \quad (1.3)$$

I – Motorvezérlő által leadott, motor által felvett áram

P – Gyorsítás alatt végzett maximális teljesítmény

U – Üzemi feszültség

A fenti számítás alapján a szükséges maximális áram, amelyet a motorvezérlőnek biztosítani kell a motor felé az 7,63A (1.3). Mivel a motor hatásfoka, a gördülési ellenállás, és a közlekedés során fellépő esetleges szintkülönbségek elhanyagolásra kerültek a számítások során, ezért 1,5-ös biztonsági tényezőt alkalmazok a motorvezérlő áramának megválasztásánál.



24. ábra: Választott motorvezérlő

Az általam választott motorvezérlő 13A áram folyamatos leadására képes 36V üzemi feszültség mellett. Névleges teljesítménye 350W. Fontos szempont volt még, hogy előremenetben fokozatmentesen változtatható legyen a sebesség, és rendelkezzen elektromos motorfék funkcióval, hátramenetre nincs szükség. Továbbá mivel mindenképpen lítium technológiájú akkumulátorral fog üzemelni, fontos még az akkumulátor túlmerítés elleni feszültségvédelem. Ez a típusú motorvezérlő kimondottan elektromos rásegítésű kerékpárokhoz készült, ezért opcionális kiegészítő hozzá a 24. ábra bal oldalán látható kijelző. Azért találtam hasznosnak ezt az eszközt mert a motorvezérlő finomhangolása és programozása a kijelző segítségével történik. Így kerül beállításra a pontos üzemi feszültség tartomány, ezzel biztosítva az akkumulátor védelmet. A motor mágnes és tekercs számának megadása a finom vezérlés érdekében. A program menün kívül a kezdőképernyőn a plusz és mínusz gombokkal állítható a kívánt teljesítményprofil több fokozatban, ezzel korlátozva a maximum sebességet. Továbbá menet közben megjelenít olyan fontos információkat, mint a pillanatnyi sebesség, az akkumulátor töltöttségi szint és a megtett kilométerek száma. A középső gombbal történik a motorvezérlő be és kikapcsolása.

3.2.4 Akkumulátor és töltő

A választott motor és a motorvezérlő is képes 8 cella Lithium akkumulátort kezelni, ezért kihasználom az adottságaikat. A kritériumok közül az akkumulátorválasztás során 10km-es hatótávolságot kell figyelembe vennem. Az akkumulátor méretezését a motor teljesítményénél számított 275W-hoz igazítom, ez a maximum gyorsuláskor fellépő teljesítmény. A hozzá tartozó maximális áramerősség 7,63A (1.3). A motor gyári specifikációi szerint terhelés nélkül 1,5A áramot vesz fel. Állandósult üzemben ideális esetben sík terepen egyenes vonalú egyenletes mozgás esetén 18km/h sebességnél, a motornak a légellenállással és egy minimális gördülési ellenállással kell megküzdenie, így az áramfelvétele nem éri el, de megközelíti az 1,5A-es üresjáratú áramot.

$$\frac{1,5A+7,6A}{2} = 4,565A \quad (1.4)$$

Akkumulátor kapacitásának méretezésénél az üresjáratú és a maximális áram átlagával számolok, amely 4,565A.

$$t = \frac{s}{v} = \frac{10km}{18\frac{km}{h}} = 0,56h \quad (1.5)$$

t – idő

s – út

v - sebesség

10km út megtételéhez $18\frac{km}{h}$ sebességgel 0,56 óra időre van szükség, amely a méretezés során azt jelenti, hogy a 4,565A áramot az akkumulátornak legalább 0,56 órán át szolgáltatnia kell 36V feszültség mellett. Az áramerősség és idő szorzata adja a minimális akkumulátor kapacitást, amely 2,56Ah. A Lithium Polymer akkumulátorok érzékenyek a túlmerítésre, és élettartamuk is nagy mértékben növelhető, ha nincs kihasználva teljes kapacitásuk ezért közel 2-es biztonsági tényezővel az általam választott akkumulátor 2db 4 cellás 5Ah 30C típusú energiahordozó (25. ábra). A kettőt sorba kötve előáll a szükséges 8 cella feszültség.



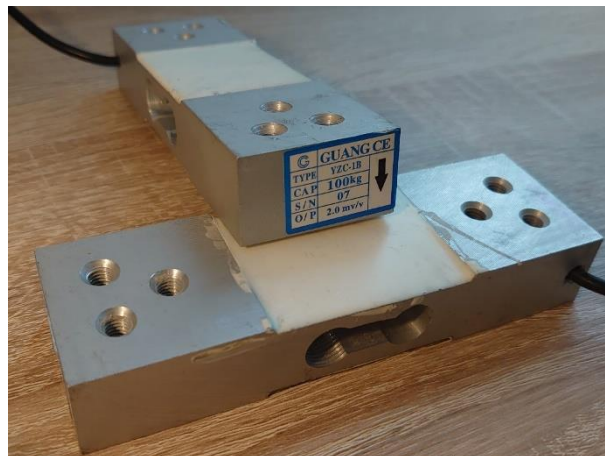
25. ábra: Választott akkumulátorok

A maximális áramfelvétel várhatóan eléri a 7,63A-t (1.3), ezért 5Ah-akkumulátor esetén minimum 2C-re van szükség. A C érték megadja, hogy az akkumulátor névleges kapacitásánál hányszor nagyobb áramot képes folyamatos üzemben leadni, arányosan kevesebb ideig, a teljesítmény állandósága miatt. Az általam választott akkumulátor 30C-re képes, itt nincs szó ilyen nagy mértékű tudatos túlméretezésről, csupán a modern Lithium Polymer munka akkumulátoroknál 20-30C alap értéknek számít.

Az akkumulátorok töltéséhez egy multifunkciós Turnigy Max 80W típusú töltőt választottam. A kettő 4s Lithium akkumulátort sorba kapcsolva képes tölteni maximum 7A-ral. Fontos tulajdonság volt a kiválasztásnál, hogy állítható legyen a töltésáram, így maximális árammal 1,5 óra alatt teljesen feltölthetők az akkumulátorok, de lassabb töltésre is van lehetőség az akkumulátor kímélése érdekében. Rendelkezik tároló üzemmóddal, így hosszabb időre is biztonságosan eltárolhatók az akkumulátorok. Valamint töltés során balanszírozza a cellafeszültségeket.

3.2.5 Súlymérés megvalósítása

A súlyponttal történő irányítás a kulcsfontja a dolgozatomnak, ezért a legnehezebb döntést súlymérő eszközök kiválasztása jelenti. Lehetőségem volt tanulmányaim során a nyúlásmérő bélyegek működésének elvét gyakorlatok során elsajátítani. Ezért ez irányba kutatva, rátaláltam az ipari körülmények között használt súlymérő cellákra.



26. ábra: Választott súlymérő cellák

A hagyományos nyúlásmérő bélyegekkel való mérés összetett dolog, szükség van átfogó ragasztástechnikai ismeretekre, valamint szükséges a hőkompenzáló elektronika a wheatstone híd bekötése is. Az ipari súlymérő cellák nagy előnye, hogy mindez egyetlen elembe, beépíthető formában kapható.

Mivel nekem a gördeszkán álló felhasználó előre, valamint hátra dőléséből kell használható információt kinyernem a gyorsítás, illetve lassítás megvalósításához, ezért mindenképpen az első és a hátsó függők és a lap közé kell beépítenem egy-egy vagy akár több mérőcellát. Gazdasági megfontolásból törekedtem a lehető legkevesebb cella alkalmazására, ezért a választásom 2db darabonként névlegesen maximum 100kg méréshatárral rendelkező cellára esett (26. ábra). Ezek együttesen biztonsággal megfelelnek a kritériumok között meghatározott maximum 100kg tömegű felhasználónak. A mérőcella analóg jelének digitális feldolgozásához szükséges hozzá egy ADC átalakító. Erre a feladatra egy HX711 típusú elektronikát választottam.

3.2.6 Mikrovezérlő

A mérések feldolgozásához, valamint a motorvezérlő működtetéséhez elengedhetetlen valamilyen processzor használata. Technikai oldalról közelítve elegendően gyorsnak kell lennie ahhoz, hogy a szükséges számítási feladatokat valós időben elvégezze, megfelelően nagy felbontóképességgel kell feldolgoznia az adatokat és kiküldenie a vezérlőjeleket. Gazdasági szempontból viszont költséghatékony és egyszerűen programozható processzort kell választani. A tanulmányaim során megismert ESP-32 mikrovezérlő minden kritériumnak eleget tesz, így ezt választottam a feladat elvégzésére.

3.2.7 Erőátvitel a motor tengelyéről a kerekre

Az összeállított rendszer elemeinek ismeretében, először az üzemi feszültség és a motor KV értéke alapján a motor maximális fordulatszámát határoztam meg. (2. táblázat) Ez az érték túlságosan nagy ahhoz, hogy direkt hajtás valósuljon meg, mindenképpen szükséges áttételt építeni a rendszerbe.

2. táblázat: Számított üzemi névleges értékek

Motor [KV]=(rpm/V):	270	Feszültség [V]:	29,6
Li-Po cellák száma [s]:	8	Motor max fordulatszám [rpm]:	7992
Cellafeszültség [V]:	3,7	Áttétel [i]:	3
Pinion [z]:	16	Kerék max fordulatszám [rpm]:	2664
Spur [z]:	48	1 kerékfordulattal megtett út [m]:	0,22
Kerék átmérő [mm]:	70	Max sebesség [m/s]:	9,75
		Max sebesség [km/h]:	35,2

A kimondottan gördeszka elektromossá alakításra szolgáló lehajtások közül találtam a feladatomra megfelelőt. Fogasszíjhajtással valósul meg az erőátvitel, és tetszőleges fogszámú

meghajtó és meghajtott szíjkerék választható a megfelelő áttételhez. A motor tartó lemez csavarokkal rögzíthető a gördeszka függőjéhez.



27. ábra: Motortartó

Univerzális felfogatást biztosít más-más méretű motorokhoz, valamint tetszőleges áttétel és szíjhosszúság kialakításához alkalmas a felfogató hosszlyukaknak köszönhetően (27. ábra). A kritériumok között meghatározott adatok közül csak a minimum 18km/h sebesség vonatkozik a hajtásra. Így ennek teljesülése, és a jövőbeli további fejlesztések érdekében 3-as áttételt választottam, 16 fogas meghajtó és 32 fogas meghajtott fogasszíz tárcsákkal (28. ábra).



28. ábra: Fogasszíjhajtás

Így az eszköz névleges maximális feszültségen üzemelve 35km/h sebességre képes. Az maximális sebességet a mikrovezérlőn futó vezérlő programmal fogom korlátozni. A piacon kapható elektromos hajtású gördeszkák nagyrésze kétkerék meghajtású, az általam tervezett eszköz egy hajtott kerékkel rendelkezik, ez az irányításban kisebb problémát okozhat a mérőcella pontos mérését illetően, valamint a félrehúzás következtében az iránytartásban is, amennyiben ez a jelenség fennál, és veszélyezteti az irányítás menetét, mindenképpen kompenzálni szükséges.

3.2.8 3D összeállítás

Az összes kiválasztott és beszerzésre került egységről elkészítettem a méret pontos 3D modelljét. A legnagyobb nehézséget a tervezésben a mérőcellák elhelyezése jelentette, mivel

az előre és hátra jutó terhelések érzékelése a cél, a gördeszka pedig elől és hátul van felfüggesztve egy-egy függőn, mindenképp a függők és a lap közé kellett beépítenem a mérőegységeket. Ezt a feladatot az alábbi ábrán látható módon oldottam meg (29. ábra).



29. ábra: Mérőcella beépítése

Hogy ezt az összeépítést megvalósíthassam, a függők eredeti felfogatási pontjai eltávolításra kerültek, és helyette újakat hoztam létre (30. ábra).

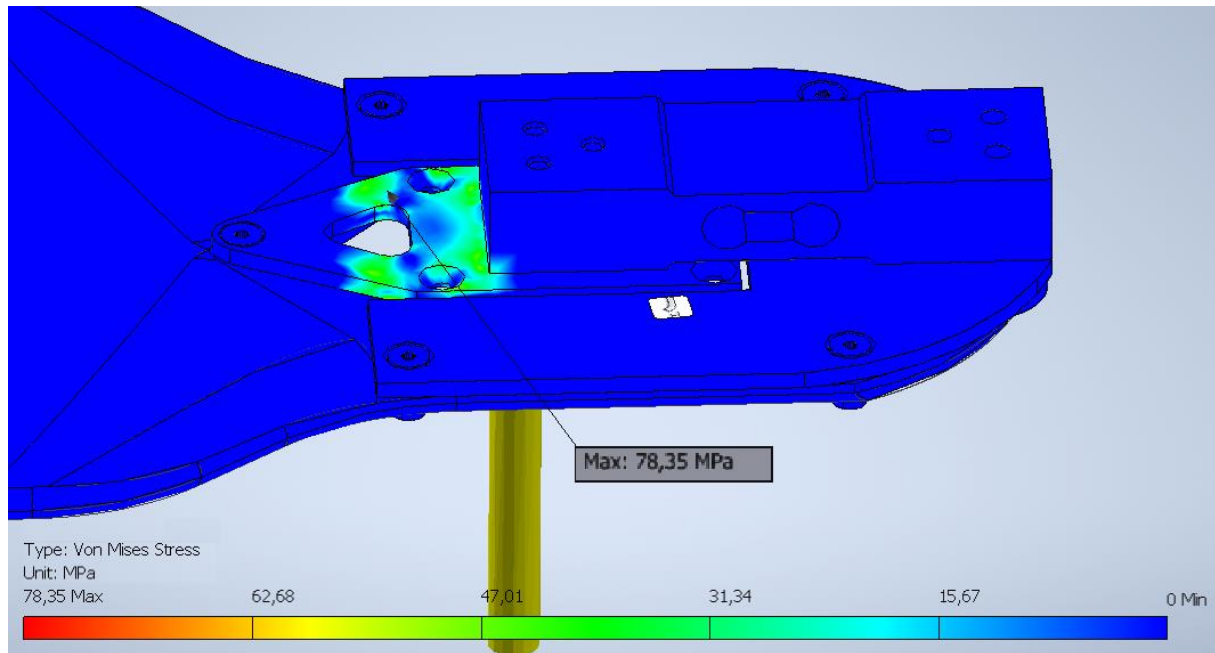


30. ábra: Eredeti (felső) és módosított (alsó) lap

Mivel a súlypont áthelyezésével történik majd az eszköz irányítása ezért az első és hátsó felfogatáson nem arányosan oszlik el a felhasználó tömege, amely maximum 100kg. Kritikus esetben egyetlen felfogatásnak is el kell viselnie, a felhasználó által kifejtett maximális erőt.

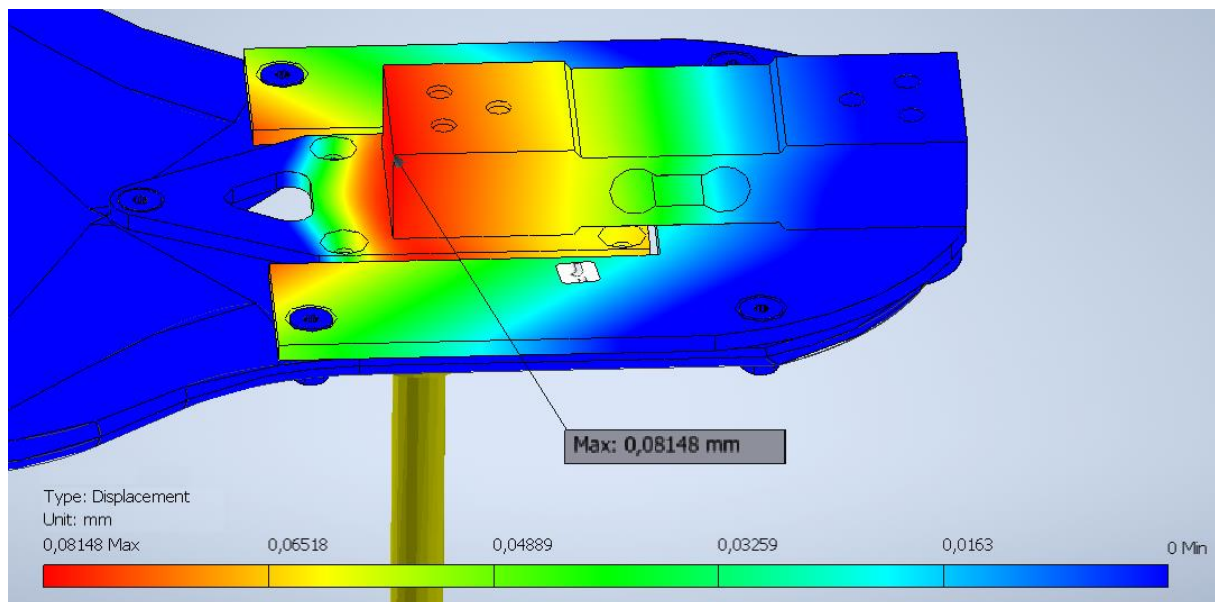
Végelelem analízis segítségével ellenőrzöm a modell statikai megfelelőségét, és igazolom ezáltal a felfogató lapok kialakításának és anyagválasztásának helyességét. Az analízis elvégzéséhez, az Autodesk Inventor szoftvert használtam, amelyben terveztem az alkatrészeket is. A modellen egyszerűsítéseket végeztem a számítási igény csökkentése érdekében. Így csak

a lap a mérőcella és a függők új felfogatási pontjai között készült az ellenőrzés, vizsgálva ezzel a gyári eszközhöz az összes általam tervezett és hozzáadott elemet.



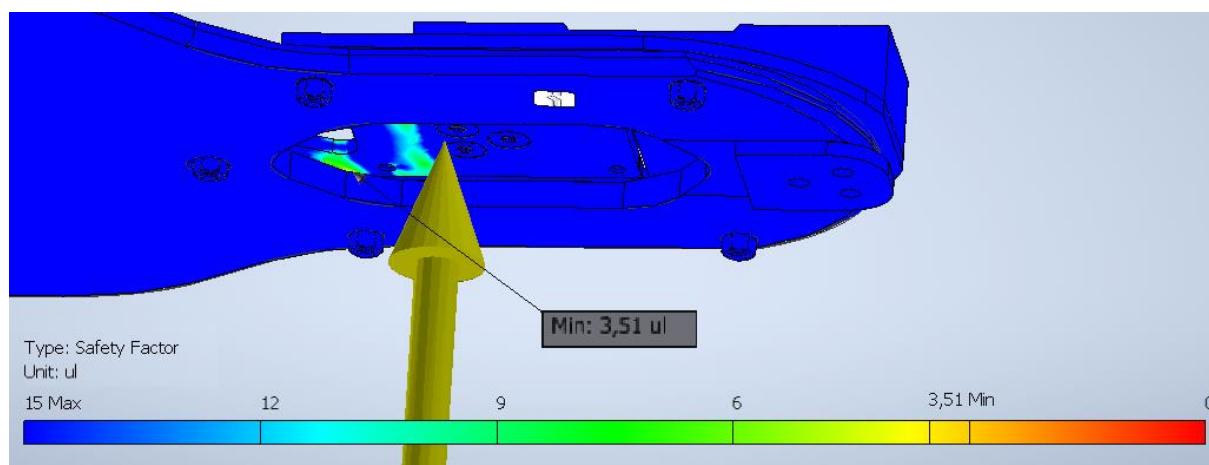
31. ábra: Végelem analízis, maximális terhelés

A terhelő erőt pontosan a függő felfogató lemez megfelelő pontjára helyeztem, így a valóságban a függők által kifejtett erő és az analízishez alkalmazott 100kg terhelésnek megfelelő 1000N erő hatásvonala megegyezik. Az általam használt 4mm-es 6061 anyagszámú alumínium lemez folyáshatára 275MPa, szakítószilárdsága pedig 310MPa. Az ábrán látható, hogy a maximum terhelés 78,35MPa, amely a kisebb felfogató lemezt terheli (31. ábra).



32. ábra: Végelem analízis, maximális elmozdulás

A legnagyobb nem maradandó alakváltozás a lehető legjobb helyen, a mérőcella végpontjában lép fel, melynek mértéke 0,08mm (32. ábra). Ez az alakváltozás lesz mérve a továbbiakban a mérőcellába épített nyúlásmérő bélyegekkel.



33. ábra: Végeselem analízis, biztonsági tényező

Azon a ponton, amelyen a legnagyobb terhelés lép fel, ott található a szerkezetre jellemző minimális biztonsági tényező, melynek értéke 3,51 (33. ábra). A végeselem analízis eredményei alapján a modell strukturálisan megfelelt.



34. ábra: Hajtásrendszer

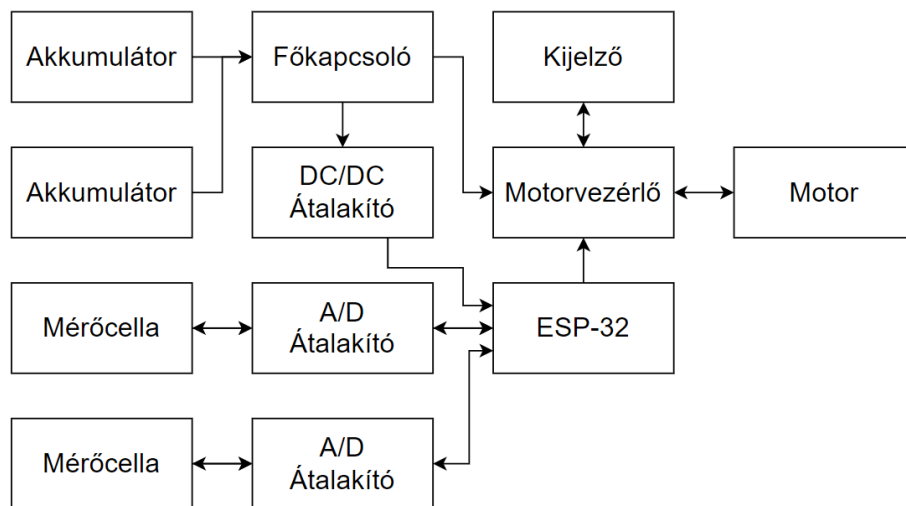
A motor felfogatása a 34. ábrán látható módon történt. A meghajtott kerékre a szíjkerék csavarokkal került felfogatásra, ezt a való életben kivitelezni és pontosan illeszteni nem lesz olyan egyszerű, mint a tervezőprogramban, ezért készítettem az illesztéshez egy később 3D nyomtatással megvalósításra kerülő illesztőmodult, annak érdekében, hogy elkerüljem az excentrikus illesztési hibát.

3.3 Vezérlő program működésének meghatározása

A jól működő program felépítése nagyon összetett folyamat, így a tervezés fázisban még nem határozható meg előre az egész program. A program működésével szemben elvárt követelmények viszont összegeezhetők, így ebben a pontban ezek kerülnek meghatározásra. Az alapvető elvárás a programmal szemben, hogy feldolgozásra kerüljön a mérőcellák felől érkező két terheléssel arányos jel és szűréssel történjen a nemkívánt zajok csillapítása. A mérőcellák jelei alapján történjen a gáz és fék megfelelő vezérlése.

3.4 Kapcsolás tervezés

A pontos kapcsolást a 3. számú mellékletben csatoltam, ez alapján készítettem egy egyszerűsített blokkvázlatot, az értelmezés könnyítése érdekében (35. ábra).



35. ábra: Kapcsolás blokkvázlata

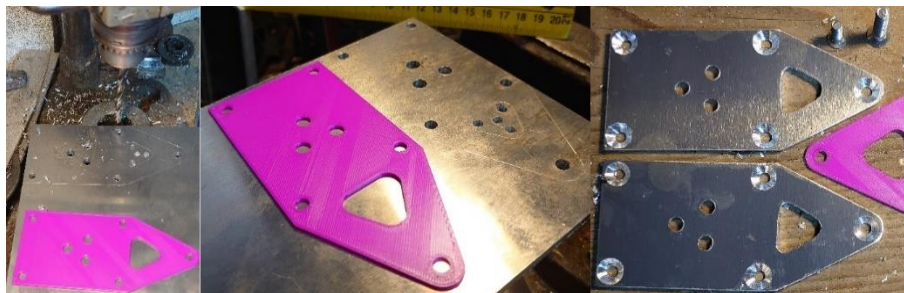
A blokkvázlaton látható nyilak a jel és energiaáramlás irányára utalnak. A kapcsolás felépítését a 4 cellás akkumulátorok felől kezdtem, melyek sorba kapcsolásával áll elő a kellő 8 cellányi feszültség. Az akkumulátorok energiája a főkapcsolón keresztül jut el a motorvezérlőbe, és a DC/DC átalakítóba, amely az ESP-32 5V-os tápellátását szolgáltatja. A motorvezérlőhöz csatlakozik a kijelző, valamint a motor. Az ESP-32 látja el tápfeszültséggel az A/D átalakítókat és azon keresztül a mérőcellákat is. A mérőcellák analóg jelei az A/D átalakítókon keresztül digitális jelként jutnak el az ESP-32 megfelelő bemeneteire. E jeleket felhasználva az ESP-32 mikrokontrolleren futó program vezérli ki a megfelelő gáz és fék jeleket a motorvezérlő felé.

4. KIVITELEZÉS MENETE

Ebben a fejezetben bemutatom a kivitelezés egyes lépéseit, a menet közben felmerült akadályokat, módosításokat és megoldásokat. A bemutatást először a mechanikai építéssel kezdem, folytatva az elektronikai megvalósításokkal, végül kitérek a programozás leírására is.

4.1 Mechanikai összeállítás

A mechanikai összeállítás első lépéseként elkészítettem az előző fejezetben taglalt, mérőcella felfogatásához szükséges lemezeket (36. ábra).



36. ábra: Felfogató lemez készítése

A 4mm-es alumínium lemezek megmunkálása során a kis darabszám és a nagy tűrések nem indokolták CNC marógép használatát. Kézi szerszámokkal történő megmunkálással is sikerült biztosítani a megfelelő pontosságot, így a további összeszerelési fázisok és illesztések zavartalanul folytatódhattak.

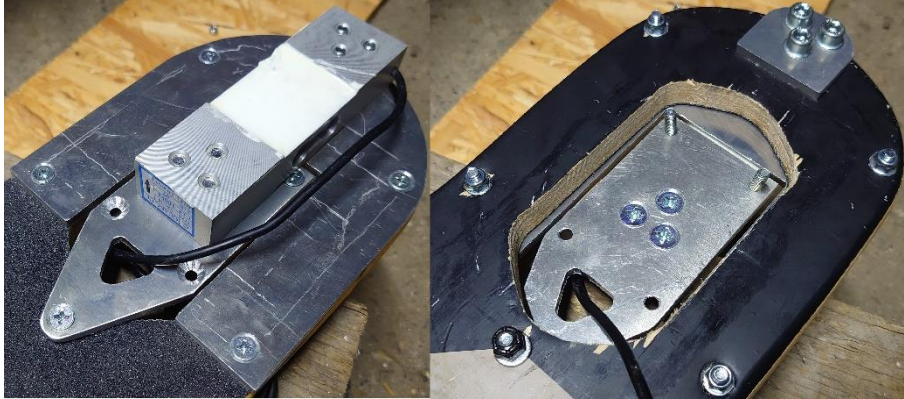
Második lépésként a lap eredeti felfogatási pontjainak módosítását hajtottam végre (37. ábra). A kanadai juharból készült rétegelt falap megmunkálását szintén kézi szerszámok használatával valósítottam meg. A művelet két lépésből állt. Először a régi felfogatási pontok kerültek eltávolításra körbevágással, annak érdekében, hogy ott, ahol eredetileg felfeküdtek és illesztve voltak gyári függők, most akadálytalanul mozoghassanak a lapba vágott nyílásban. Végül pedig megtörtént az új felfogatási furatok létrehozása.



37. ábra: Módosított lap

A továbbiakban több anyagmegmunkálásra és módosításra az elektronika tartódobozának felfogatásán kívül nincs szükség, következő lépés az összeszerelés.

Az összeszerelés első fázisában helyükre kerültek a készített felfogató lemezek és a mérőcellák (38. ábra).



38. ábra: Lemezek és mérőcellák beépítése

Az alkatrészek közötti kapcsolatot csavarkötéssel valósítottam meg. Ennél a folyamatnál figyelnem kellett, hogy a mérőcellák az ajánlott terhelés szerint kerüljenek beépítésre. Fordítottn is képesek működni, de ez esetben negatív előjellel szolgáltatják az adatokat.

Következő lépésként a motortartó került felszerelése a hátsó függőre (39. ábra).



39. ábra: Motortartó felfogatása a hátsó függőre

Ennél a szerelésnél figyelembe kellett vennem a függő kanyarodáskor történő elmozdulását a laphoz viszonyítva. A függők a talajjal mindig párhuzamosan állnak, de lap döntésével történő kanyarodás során helytelen felszerelés esetén a motor hozzáérhet a laphoz. A pontos beállítást a 3D modell segítségével valósítottam meg, ahol szimulálni tudtam a különböző elmozdulásokat, így megtalálva a lehető legnagyobb távolságot a talajtól, de még biztonságot tartva a laptól is.



40. ábra: Szíjkerék illesztése a hajtott kerékre

Következő lépés a hajtott szíjkerék felfogatása volt a hajtott kerékre. A bal oldalon látható a tervezés során említett, 3D nyomtatott illesztő alkatrész, amely azt a célt szolgálja, hogy centrikusan kerüljön felfogásra a kerékhez a szíjtárcsa (40. ábra). A nyomtatott alkatrész a kerékcsapágy ágyába szorosan illeszkedik, és a rajta található 5db furat, amely a szíjtárcsa furatainak osztókörével megegyezik, szolgált fúrósablonként a kerék furatainak létrehozásakor. A szíjtárcsa felcsavározása után kijelenthetem, az alkalmazott módszer sikeresnek bizonyult, szemmel nem látható a kerék és a szíjtárcsa közötti excentricitás hiba.

A mechanikai összeszerelés utolsó fázisában felkerültek a kerekek a függőre és a motor 4 csavarral került rögzítésre a motortartóhoz (41. ábra).



41. ábra: Hajtásrendszer felépítése

Miután felkerült a motor tengelyére a hajtó szíjkerék és rá lett illesztve a szíj is, következett a szíj megfelelő feszességének beállítása. Ezt a motor felfogató csavarjainak lazítása után a motor csúsztatásával lehetett állítani. Végző lépésként az első és hátsó függők felfogásra kerültek a mérőcellák által tartott felfogató lemezekre. A mérőcellák és az alumínium illesztőlemezek veszélyforrást jelenthetnek a felhasználóra egy esetleges baleset során, ezért 3D nyomtatott védőburkolat alkalmazásával fokozom a biztonság mértékét.

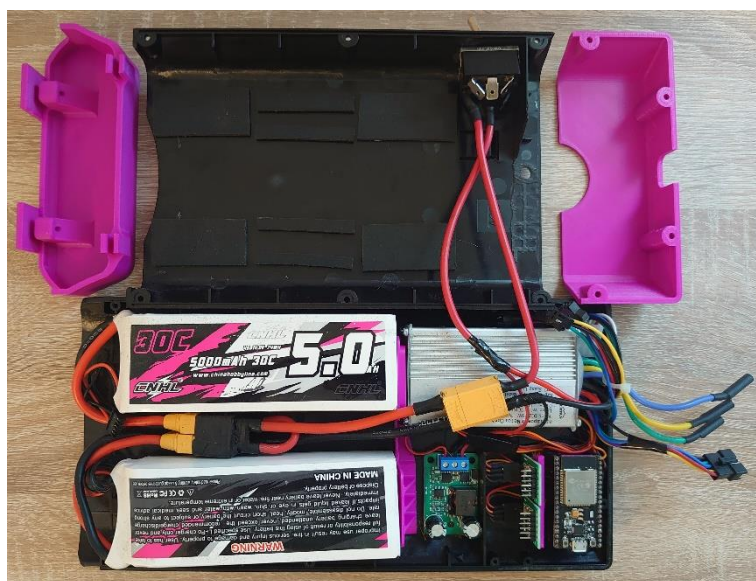


42. ábra: Védőburkolatok elhelyezése

A burkolatoknak a védelem mellett más funkcionális szerepe is van, az első burkolat szolgál a kijelző felfogatására, a hátsón pedig elhelyezésre került egy esztétikai spoiler elem (42. ábra).

4.2 Elektronikai összeállítás

Az elektronikai összeállítást a 3. mellékletben elhelyezett kapcsolási rajz alapján valósítottam meg (43. ábra).



43. ábra: Elektronikai összeállítás

Az akkumulátorokat és az elektronikát a környezeti hatásoktól védeni szükséges. Ezért az egész elektromos rendszer elkerítéséhez felhasználtam egy elektromos kerékpár tönkrement akkumulátorának hiányos dobozát (43. ábra). A hiányzó elemeket 3D tervezéssel és nyomtatással pótoltam, így zárhatóvá vált a doboz. Ügyeltem rá az elrendezés során, hogy az akkumulátorok csatlakozói könnyen hozzáférhetők legyenek a töltés miatt, valamint a mikrovezérlő is könnyen programozható helyzetben legyen. A rendszerben a különböző egységek összekapcsolása csatlakozókkal történt biztosítva ezzel a könnyű szerelhetőséget.



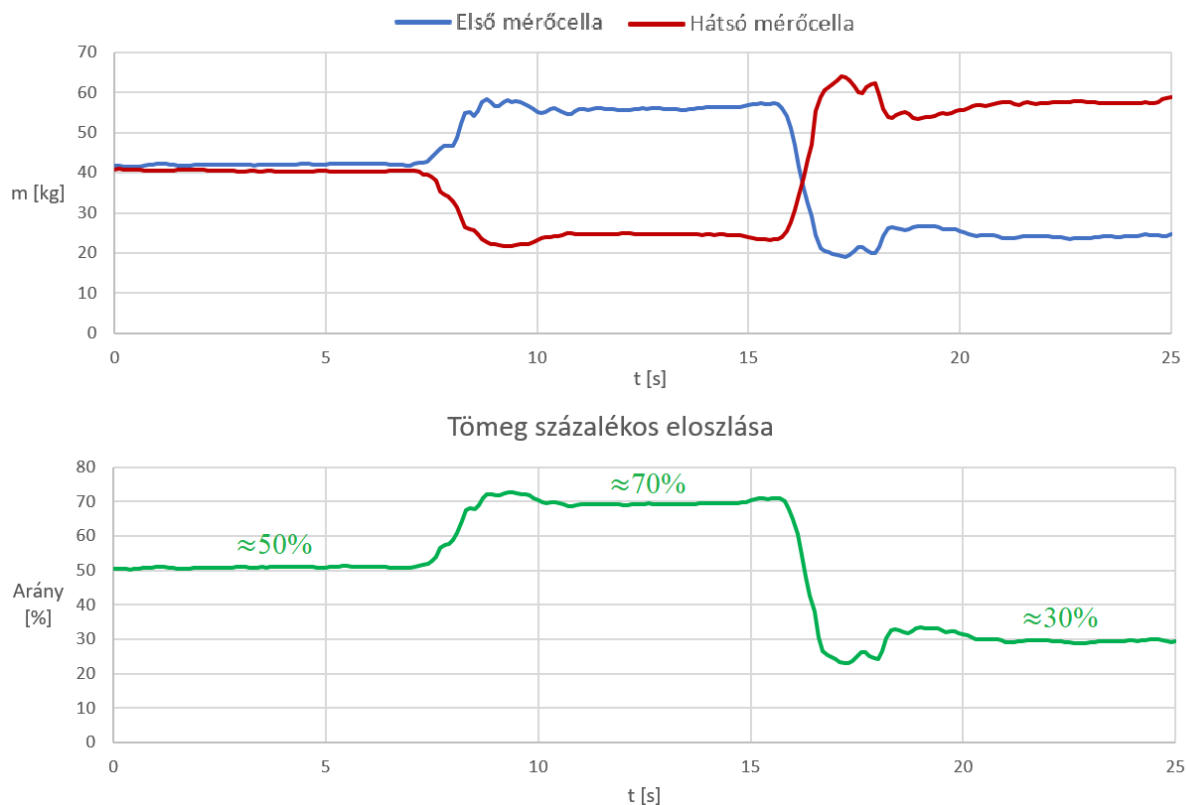
44. ábra: Elektronika doboz elhelyezése

A kész elektronika elhelyezve a védődobozban a 44. ábrán látható módon került felfogatásra csavarkötéssel a deszka lapjának aljára. Továbbá a kábelek rögzítését 3D nyomtatott alkatrészekkel valósítottam meg.

4.3 Programozás-tesztelés-mérés-módosítás

A programozást C programnyelvben Arduino IDE környezetben végeztem, amely szoftver ingyenesen elérhető az Arduino hivatalos oldaláról.

Először a mérőcellák és a HX711-es átalakítók jeleinek feldolgozását valósítottam meg, hogy előzetes méréseket tudjak végezni hajtás nélkül a deszka által érzékelt terhelésekről. Kalibrálás után a program már pontos tömeg értéket tudott számolni a mérőcellák jeleiből, valamint ezzel biztosított az azonos skálázás, hogy a két cella mérési értékei azonos terhelésnél megegyeznek. A rendszer működéséhez nem kimondottan kilogramm értékre van szükség, hanem a két mérőcella által mért terhelések eloszlásának arányára. Ezért a programban egy olyan változót határoztam meg, amely százalékban értendő, 0% amikor minden terhelés a hátsó mérőcellára esik és 100% amikor minden terhelés előre irányul. A két végpont elérése a valóságban nem történik meg, ezért méréssel meghatároztam a maximum előre és hátra dőlés értékeit, valamint ellenőrzöm a középállás értékeit is (45. ábra).



45. ábra: Határértékek meghatározása méréssel

A mérések során a pontos adatokat a soros porton keresztül határozom meg, mert a kívánt tizedesjegy pontossággal képes frissítési idő szerint listázva megjeleníteni az adatokat. Ilyen sűrű mintavételezés esetén viszont a mért értékek sokkal átláthatóbbak grafikonos kirajzolással, ezért a dolgozatomban ezt a megjelenítést alkalmazom a magyarázatokhoz. A felső diagrammon látható a mérőcellák által mért tömeg értékek idő függvényében történő megjelenítése. Az alsó diagrammon pedig a mérőcellák jeleiből származtatott százalékos tömeg eloszlás. A mérést a saját testsúlyommal végeztem, amely pontosan 80kg. A mérés első felében (0-5s) a középállás ellenőrzése történt. Jól látható, hogy az első és hátsó cella megegyező 40kg körüli értéket vettek fel. Az eloszlás aránya ekkor 50%. A két cella tömeg értékei minden esetben összegezve visszaadják a teljes 80kg terhelést. A mérés középső részén (10-15s) a maximális előre dőlés értékei kerültek meghatározásra, ekkor 70% körüli értéket sikerült tartani. Végül a hátra dőlés során mérhető értékek láthatók (20-25s), ekkor az eloszlásarány értékei 30% körül mozognak.

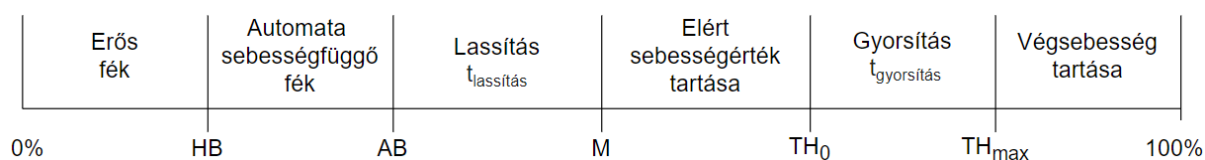
Ezek az adatok a vezérlés karakterisztikájának kialakításához létfontosságúak. Mivel a motorvezérlő eredetileg hall szenzoros gáz és fékkarral üzemel, ezért szükséges méréssel meghatározni a gáz és fék maximum és minimum üzemi feszültség értékeit. Ezt a mérést egy gyári gázkar és egy multiméter segítségével valósítottam meg, mely során megállapítottam, hogy a gázadás 1,24V és 2,22V tartományban lineárisan vezérelhető, a fékezésnél pedig szembesültem egy meghatározó problémával. A gyári specifikáció szerint a motorvezérlő lineáris elektromos fékkel rendelkezik (4. Melléklet), ám a mérés azt bizonyította, hogy ez a valóságban csupán 2 fokozatot jelent, egy sebességfüggő automatikus erősségállítással 1,5-3,15V feszültség tartományban, és egy erős fokozatot, amely konstans 3,16-5V intervallumban. Az ESP32 folytonos feszültséget szolgáltató úgynevezett analóg kimenetei 0-3,3V feszültséget képesek kiadni 8 bites felbontással. A feszültségtartomány és a felbontás mértéke is megfelel, mind a gáz és a fék vezérlésére is, így további köztes elektronikára nincs szükség.

Az első próba programot úgy építettem fel, hogy 4 különböző állapotot határoztam meg:

- Álló helyzet: ameddig nem érzékel 10kg feletti terhelést együttesen az első és a hátsó mérőcella, addig maximális fékezés állapotban van a rendszer. Ezzel biztosítva a nemkívánt elgurulást.
- Szabad állapot: amint teljesül a feltétel, hogy együttesen több mint 10kg terhelést mérnek a cellák a fék felold, és 45-55% terhelésarány között a szabad gurulás állapota marad fenn.
- Előremenet: a terhelés eloszlásának 55-70% tartományában a gázadás lineárisan történik. 70% felett megtartja a maximális gáz kimeneti értéket.
- Fékezés: a terhelés eloszlás 45%-a alatt kapcsol a gyenge fék, 35% alatt az erős fék.

A próba program tesztelése után azt tapasztaltam, hogy a testsúly áthelyezéssel arányosan megvalósított lineáris gázadás nem célravezető, valamint a fékezés is finomításra szorul. A problémát az okozza, hogy a gyorsítás oly mértékben történik, hogy a terhelés arány azonnal kiugrik az előremenet tartományából, és vagy a szabad állapot, vagy rosszabb esetben a fékezés tartományába kerül. Az utóbbi során az automata fékkel megvalósítható a megállás, de az erős fék határára, ugyanaz a probléma jelentkezik, mint gáz esetében. Az erős fék olyan mértékű, hogy azonnal a gázadás tartományába kerül a testsúly és a körfolyamat kezdődik előlről. A deszka ezzel a programmal használatra alkalmatlan.

A fő program tervezését a mérőcellák alapjeleiből származtatott terhelés arány szűrésével kezdtem. Parametrikusan megírt csúszó ablakos átlagolást alkalmaztam, hogy könnyen változtatható legyen az átlagolni kívánt elemek száma. Azért választottam ezt a szűrőt, mert viszonylag egyszerű felépítésű, és könnyen következtethető a karakterisztikája. Működése leírható úgy, hogy mindig a legfrissebb adott számú adatértékeket összegzi, majd osztja az elemszámmal. Ez a szűrési módszer az elemszámmal arányos nagyságú késleltetést visz a rendszerbe, így meg kell találni azt a lehető legkisebb elemszámú átlagolást, amely még eleget tesz a szűrési elvárásoknak. A HX711 ADC átalakítók az ESP-32 mikrovezérlőnek 10Hz-frissítési idővel szolgáltatják az adatokat. Ez a mintavételezési sűrűség viszonylag kevésnek mondható. Egy tízelemű átlagolás esetén egy másodperc is lehet a késleltetés mértéke. A szűrő megfelelő beállításához a továbbiakban méréseket végzek. A program többi részét szintén teljesen parametrikusan határozom meg, hogy minden részlete utólag hangolható legyen. A gyorsítás problémájának megoldásához úgy alakítottam a programot, hogy nem közvetlenül a sebesség vezérelhető lineárisan a súlyarány változtatásával, hanem a gyorsulás mértéke.



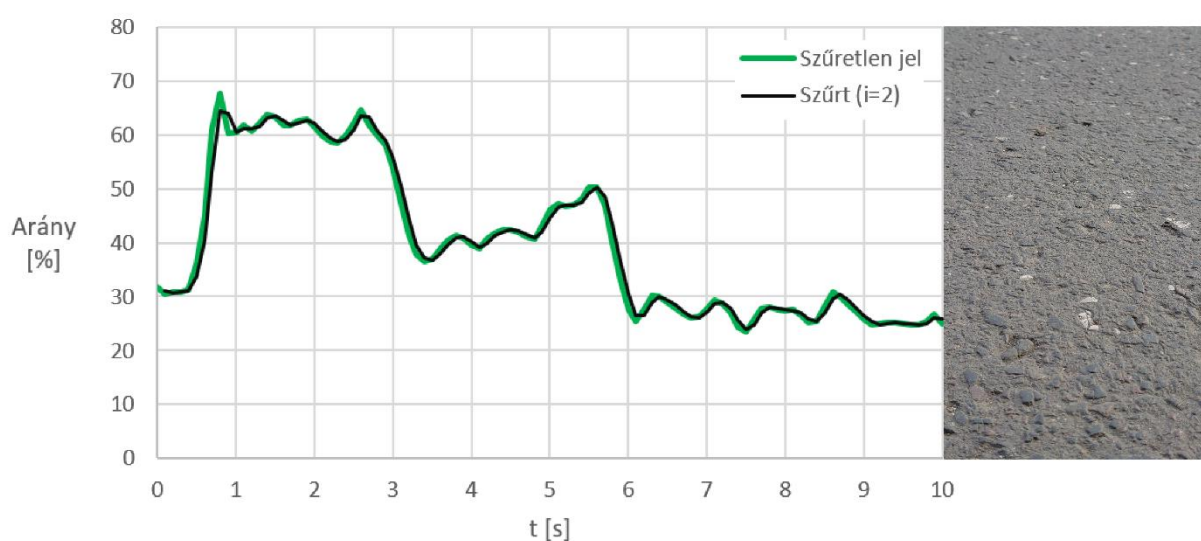
46. ábra: Tömegeloszlás szakaszaira felosztott programrészek

A 46. ábrán látható módon felosztottam a szűrt jel teljes tartományát hat darab szakaszra. A szakaszok közti válaszfalak helyzete változtatható, minden válaszfalhoz tartozik egy rövidített név, amelyhez hozzá van rendelve a kívánt helyzetének százalékos értéke. Bekapcsolás után kezdetét veszi a mérlegcellák értékeinek nullázása, valamint bekapcsol a fék, így védekezve a nemkívánt elgurulás ellen. Amint teljesül a feltétel, hogy 2kg-nál nagyobb tömeget észlel a hátsó mérőcella, old a fék és belép a rendszer tartományfüggő működési módba

A program leírása tartományokra bontva:

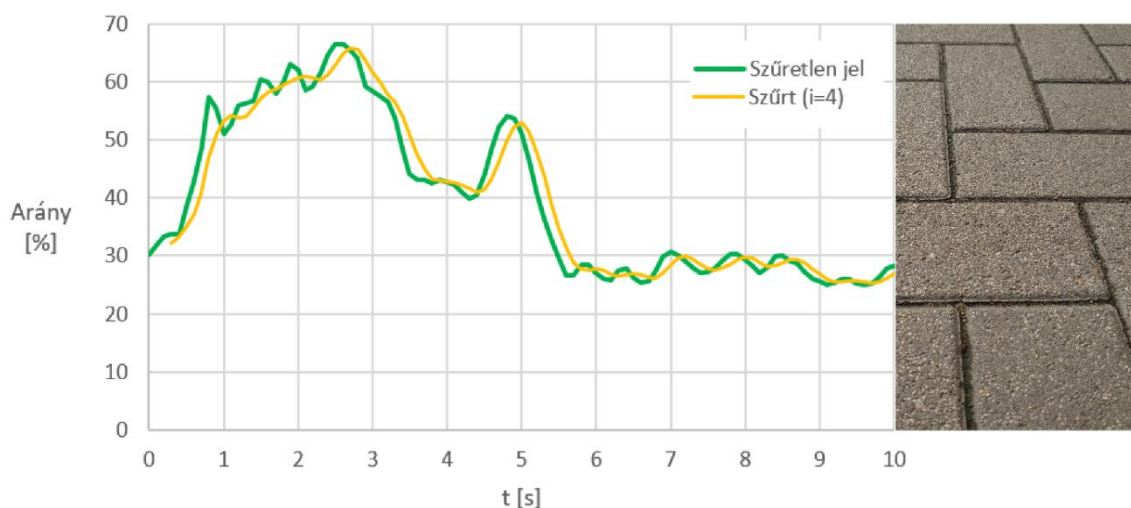
- Erős fék: HB százaléérték alatt az erős fék bekapcsol, kilépve a tartományból old az erős fék.
- Automata fék: AB és HB százaléérték között az automata fék bekapcsol, kilépve a tartományból old a fék.
- Lassítás: A lassítás funkció csak akkor lép életbe, a felső határ (M) felől történik belépés a tartományba és az elért sebességérték tartása közben van rögzített érték. Alulról (AB), vagy esetleges felszállásnál azonnal a tartomány közepébe történő belépéskor nincs művelet, szabad gurulás állapota áll fent. A lassítás mértéke a $t_{\text{lassítás}}$ idő változtatásával állítható. A $t_{\text{lassítás}}$ azt az időt határozza meg, amely szükséges a kivezérelt maximális sebesség jel zérusra történő egyenletes csökkentéséhez. Ez a funkció nincs összeköttetésben a fékkel, kimondottan a fék nélküli finom lassítás végrehajtására szolgál.
- Elért sebességérték tartása: Ez a szakasz szintén csak a felülről (TH_0) történő belépéskor aktiválódik, feladata a gyorsítás során elért sebesség megtartása. Alulról (M) történő belépés esetén szabad gurulás állapota áll fent, abban az esetben is, ha a lassítás során a kivezérelt sebesség jel nem éri el a null állapotot és így kerül a rendszer a tartás tartományába.
- Gyorsítás: Alsó határa TH_0 , felső határa TH_{max} . Alulról (TH_0) belépve a tartományba kezdetét veszi a gyorsítás folyamata, melynek mértéke egyenletesen változtatható a tartományon belül. A $t_{\text{gyorsítás}}$ paraméter szolgál a kivezérelt gáz jel egyenletes minimum felfutási idejének megadására. A gyorsítás vezérlésének karakterisztikája lineáris. A maximális gyorsulás TH_{max} értékének tartásakor, esetleges átlépésekor érhető el. TH_0 és TH_{max} tartományban a gyorsulás TH_0 átlépésével nulláról indul és lineárisan változtatható a $t_{\text{gyorsítás}}$ felfutási időből származtatott maximális gyorsulásig.
- Végsebesség tartása: Ez a programrészlet arra szolgál, hogy amennyiben a gyorsulás tartományban nem futott fel a sebességérték a maximumáig, de a terhelés százalékos aránya már átlépte TH_{max} -értékét, folytatódjon a gyorsulás a maximális értékével, majd amint a sebesség érték is elérte a maximumát, kerüljön megtartásra. Ha már a gyorsítás tartományban elérésre kerül a legnagyobb sebesség érték, túllépve a TH_{max} -ot csupán a maximális sebesség tartása valósul meg.

A program megírása után a projekt utolsó lépése a paraméterek helyes megválasztása. A csúszó ablakos átlagoló szűrő beállításához méréseket végeztem különböző típusú útfelületeken. Mérés során törekedtem arra, hogy az eloszlás arány ne legyen konstans, így megfigyelhető a különböző változásokra a szűrt jel reakcióideje, karakterisztikája. Az átlagoló szűrés a rendszerben nem késleltetésre szolgál, ez csupán egy negatív velejáró tulajdonsága. Elsődlegesen azért választottam ezt a szűrő típust, mert a kiugró, tüskeszerű zajok kiszűrése a cél. A mérések során rögzítettem a nyers adatokat, majd excelben készített grafikonok segítségével megkerestem minden útfelülethez az ideális szűrőt, törekedve a csúszó ablakos átlagoló szűrő elemszámának minimumára, a késleltetési idő csökkentése érdekében.



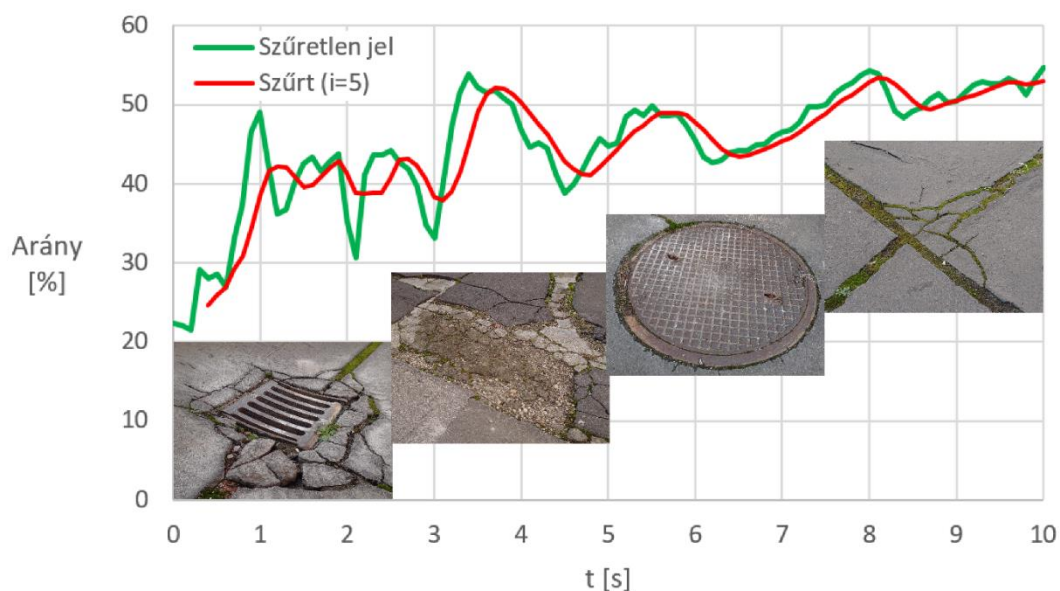
47. ábra: Mérés aszfalton

A 47. ábrán látható, hogy durva szemcsés aszfaltfelületen végzett mérés során, nagyon kevés helyen keletkezett hegyes kiugrásszerű értékváltozás. Ezeket már egy kételemű átlagoló szűrővel kellően el lehet simítani. A gördeszkanak ez számít ideális körülménynek, ilyen felületen lesz a legtöbbet használva.



48. ábra: Mérés térkövön

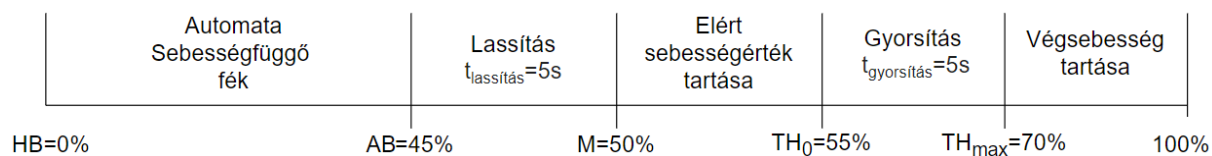
Térkő esetén megfigyelhető több apróbb kiugrás a jelben, ezek szűréséhez minimum négyelemű átlagolást kellett alkalmaznom (48. ábra).



49. ábra: Mérés egyenetlen úton

Az utolsó mérés során extrém körülményeknek tettem ki az eszközt. Sikerült olyan útszakaszt találnom, ahol közvetlenül egymás mellett megtalálható egy vízelvezető lefolyó, felvált útburkolat, aknafedő és egymástól eltávolodott útfelületek. Minden képet a diagram megfelelő pontjához illesztettem, így idő szerint látható mikor min ment keresztül az eszköz. Legnehezebben a lefolyót viselte, hatalmas kiugrások keletkeztek az áthaladáskor (49. ábra). A többi egyenetlenség közül a felvált útburkolat volt a második legrázósabb, majd az aknafedőn és a széles réseken mondhatni simán átment. Ilyen körülmények között már öt elemes átlagolást kellett alkalmaznom a tüskék kellő mértékű lekerekítéséhez, így a továbbiakban is ezt az elemszámot fogom alkalmazni, számolva ilyen minőségű útviszonyokkal is.

A szűrő elemszámának megválasztása után a következő lépés a további paraméterek, a program határainak megválasztása. Ezt a feladatot gyakorlati úton próbálgatással oldottam meg. A végleges értékeket a 50. ábra mutatja.



50. ábra: Program pontosított szakaszhatárai

A paraméterek állítása és tesztelése során az erős fék funkció kikapcsolásra került azzal, hogy HB=0% értéket állítottam be, így soha nem éri el az arány ezt a határt. Erre azért volt szükség mert az erős fék funkció túlzott mértékű fékezést eredményez. A sebességfüggő automata erősségállítású fék viszont nagyon jól szerepelt, képes elvégezni a lassítás megfelelő folyamatát. A beállított szűrőelemszám megfelelő irányítás szempontjából, a miatta jelentkező 0,5s felfutási késleltetés az irányítás során nem zavaró, mindemellett a szűrés mértéke megfelelő.

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS JAVASLATTÉTEL

Elmondhatom, hogy sikerült olyan elektromos súlypont vezérelt gördeszkát megalkotni, amely képes a vele szemben támasztott követelményeknek megfelelni, és feladatát ellátni.



51. ábra: Elkészült súlypont vezérelt elektromos gördeszka

A tervezés során az alkatrészek bemodellezését követően a tervezőprogram segítségével sikerült olyan modellt létrehozni, ami megfelel a felállított mechanikai követelményeknek. A végeelem analízis hasznosnak bizonyult az anyagválasztás és a mechanika igazolására. Mindvégig a költséghatékony és amennyiben lehetséges, saját megoldásokat részesítettem előnyben. Az alkatrészek kiválasztásánál törekedtem arra, hogy olyan elemek kerüljenek beépítésre, amelyek a hosszútávú működést teszik lehetővé. A kapcsolás tervezésénél az egyszerűségekre törekedtem, hogy a rá épülő programozási feladatokat is egyszerűsítsem.

A mérőcellák mind a mechanikai tervezésnél a felfogatást illetően, mind pedig a vezérlés beállításánál érdekes kihívást jelentettek, amit csak a gyakorlatban tudtam tesztelni, hogy valóban jól működik-e.

A szoftver megalkotása hosszú folyamat volt, mire eljutottam a jelenlegi jól működő szintre. Nagy segítséget jelentettek a folyamat közbeni mérőcellákkal végrehajtott mérések, amely által kinyert adatok alapul szolgáltak a helyes beállítások megtalálásához.

A jövőbeli fejlesztésekhez javaslom a mérőcellák A/D átalakítóinak 80/Hz-es mintavételezési beállítását alkalmazni, hogy nagyobb elemszámú átlagolás alkalmazásával még simább karakterisztika váljon elérhetővé, még kevesebb késleltető hatással. Továbbá javaslom a gördeszka gyári 70mm átmérőjű kerekeinek nagyobbra váltását, hogy akár könnyű terepen is alkalmazható legyen az eszköz.

Összességében elmondhatom, hogy rengeteget tanultam, mind a tervezés, mind pedig a kivitelezés során és örömmel tölt el, hogy elértem a céloom azzal, hogy egy eddig teljesen egyedülálló megoldásokkal és vezérléssel ellátott elektromos gördeszkát alkottam.

IRODALOMJEGYZÉK

Holics László (2009): Fizika, Akadémia Kiadó, Budapest 241-243.

Dr. Zombory László (2008): Elektromágneses terek, Műszaki Kiadó, Budapest 12-15.

Pálfi Zoltán (1979): Villamos hajtások, Műszaki Kiadó, Budapest 31-52.

Dr. Korondi Péter, Dr. Fodor Dénes, Décsei-Paróczy Annamária (2014): Digitális szervó hajtások, ISBN 978-963-313-138-1, 2-24

Pete Millet (2022): Brushless vs. Brushed DC Motors: When and Why to Choose One Over the Other, Article #A-0020 Rev. 1.0

Austin Hughes (2006): Electric Motors and Drives third edition, Published by Elsevier Ltd, Oxford 86-91.

<https://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/pav.htm> (2022.06.20.)

<https://www.wired.co.uk/article/hoverboard-inventor-shane-chen-inventist> (2022.06.20.)

https://www.oregonlive.com/business/2018/01/hoverboard_inventor_shane_chen.html
(2022.06.21.)

<https://fallman.tech/history-of-onewheel/> (2022.06.25.)

https://www.playdome.hu/cikk/27286/wii_fit_es_balance_board (2022.07.10.)

<https://slate.com/human-interest/2021/08/dean-kamen-viral-mystery-invention-2001.html>
(2022.07.11.)

<https://ihover.hu/hogyan-mukodik-hoverboard-megmutatjuk/> (2022.07.11.)

<https://www.ilmarket.hu/blogs/muszaki-vezeto/villanymotor-felhasznalasa-az-ipar-egyik-csodaja> (2022.10.22.)

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Segway i2 SE, (Forrás: <https://hu-hu.segway.com/products/segway-i2-se> (2022.06.20.))
2. ábra: Hoverboard (Forrás: <https://www.cpsc.gov/Recalls/2016/Self-Balancing-Scooters-Hoverboards-Recalled-by-10-Firms> (2022.06.20.))
3. ábra: Ninebot One S2 (Forrás: <https://hu-hu.segway.com/products/ninebot-by-segway-one-s2> (2022.06.21.))
4. ábra: Onewheel Pint (Forrás: <https://onewheel.com/products/pint> (2022.06.25.))
5. ábra: Általános villamos hajtási rendszer blokkvázlata (Forrás: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/villamos-hajtasok-dinamikaja/villamos-hajtasok-felepitesi-hajtasi-siknegyedek-alapveto-hajtasi-modok> (2022.07.10.))
6. ábra: Elektromágneses erőter (Forrás: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/elektronika-elektrotechnika/magneses-eroter/a-magneses-indukcio-arammal-letrehozott-terek-az-indukciovektor-iranyanak-meghatarozasa/tekeres-magneses-tere> (2022.07.12.))
7. ábra: Fluxus (Forrás: <https://www.sulinet.hu/tovabbtan/felveteli/ttkuj/fizika/magnetosztat/magnetosztat.htm> (2022.07.12.))
8. ábra: Fordulatszám-nyomaték sík (Forrás: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/villamos-hajtasok-dinamikaja/villamos-hajtasok-felepitesi-hajtasi-siknegyedek-alapveto-hajtasi-modok> (2022.07.13.))
9. ábra: Elektrosztatikus motor (Forrás: https://kemfiz.hu/fizika_emelt/elektrosztatika/Essze/Elektrosztatikus%20motor.pdf (2022.07.14.))
10. ábra: Egyenáramú kefé motor felépítése (Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/DC_motor (2022.07.14.))
11. ábra: BDC motor működése (Forrás: https://www.fizkapu.hu/animator/_egyenaramu_motor.html (2022.07.15.))
12. ábra: zajszűrő kondenzátorok BDC motorra kapcsolva (Forrás: <https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield/faq> (2022.07.15.))

13. ábra: BLDC motor felépítése (Forrás: <https://www.electroschematics.com/hdd-blcd-motor/> (2022.07.17.))
14. ábra: BLDC tekercs kapcsolások (Forrás: <https://www.monolithicpower.com/en/brushless-vs-brushed-dc-motors> (2022.07.17.))
15. ábra: BLDC motor 2 és 4 pólusú konfiguráció (Forrás: <https://www.monolithicpower.com/en/brushless-vs-brushed-dc-motors> (2022.07.18.))
16. ábra: Trapéz kommutáció (Forrás: Sathishkumar Shanmugam, Meenakumari Ramachandran (2015): Design and Implementation of Embedded Processor Based Brushless Motor Drive using Lead Acid Battery as Source with Lithium Ion Capacitor, TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering DOI: 10.11591/telkomnika.v14i3.7938)
17. ábra: Szinuszos kommutáció (Forrás: Sathishkumar Shanmugam, Meenakumari Ramachandran (2015): Design and Implementation of Embedded Processor Based Brushless Motor Drive using Lead Acid Battery as Source with Lithium Ion Capacitor, TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering DOI: 10.11591/telkomnika.v14i3.7938)
18. ábra: Hall szenzoros pozíció visszacsatolás (Forrás: <https://www.monolithicpower.com/en/brushless-vs-brushed-dc-motors> (2022.07.27.))
19. ábra: Saját tervezésű súlypont vezérelt elektromos gördeszka összeállítási ábrája
20. ábra: Ütemterv
21. ábra: Gördeszka fajták (<https://www.ridingboards.com/skateboard-or-longboard/> (2022.08.10.))
22. ábra: Gyári Longboard saját készítésű 3D modellje
23. ábra: Választott BLDC motor
24. ábra: Választott motorvezérlő
25. ábra: Választott akkumulátorok
26. ábra: Választott súlymérő cellák
27. ábra: Motortartó
28. ábra: Fogasszíjhajtás
29. ábra: Mérőcella beépítése
30. ábra: Eredeti (felső) és módosított (alsó) lap
31. ábra: Végelem analízis, maximális terhelés
32. ábra: Végelem analízis, maximális elmozdulás
33. ábra: Végelem analízis, biztonsági tényező

- 34. ábra: Hajtásrendszer
- 35. ábra: Kapcsolás blokkvázlata
- 36. ábra: Felfogató lemez készítése
- 37. ábra: Módosított lap
- 38. ábra: Lemezek és mérőcellák beépítése
- 39. ábra: Motortartó felfogatása a hátsó függőre
- 40. ábra: Szíjkerék illesztése a hajtott kerékre
- 41. ábra: Hajtásrendszer felépítése
- 42. ábra: Védőburkolatok elhelyezése
- 43. ábra: Elektronikai összeállítás
- 44. ábra: Elektronika doboz elhelyezése
- 45. ábra: Határértékek meghatározása méréssel
- 46. ábra: Tömegeloszlás szakaszaira felosztott programrészek
- 47. ábra: Mérés aszfalton
- 48. ábra: Mérés térkövön
- 49. ábra: Mérés egyenetlen úton
- 50. ábra: Program pontosított szakaszhatárai
- 51. ábra: Elkészült súlypont vezérelt elektromos gördeszka

1. Melléklet: HX711 adatlap



HX711

24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
 - normal operation $< 1.5\text{mA}$, power down $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range: $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

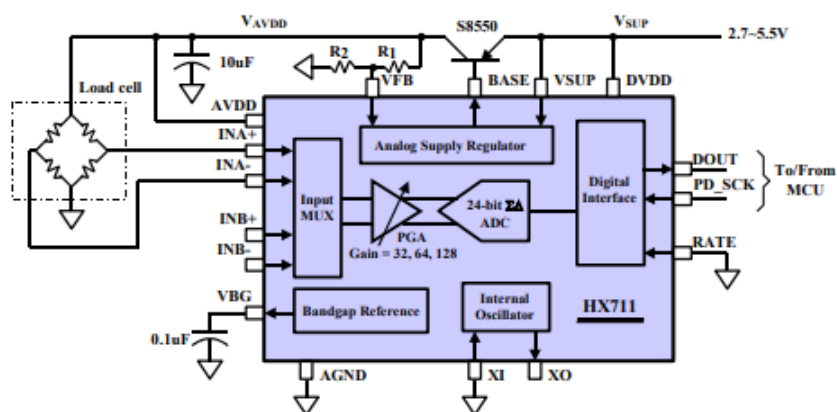
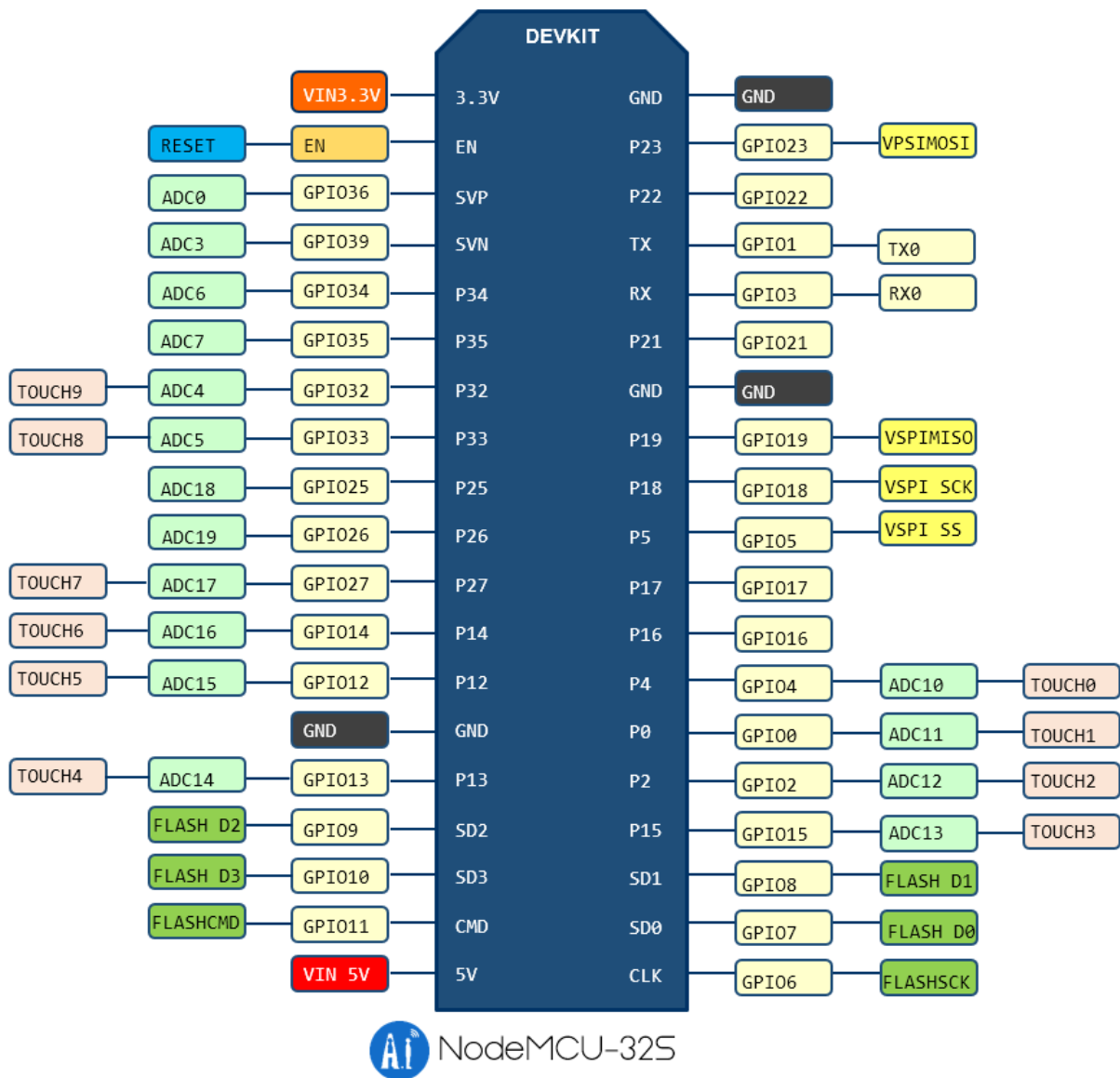


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

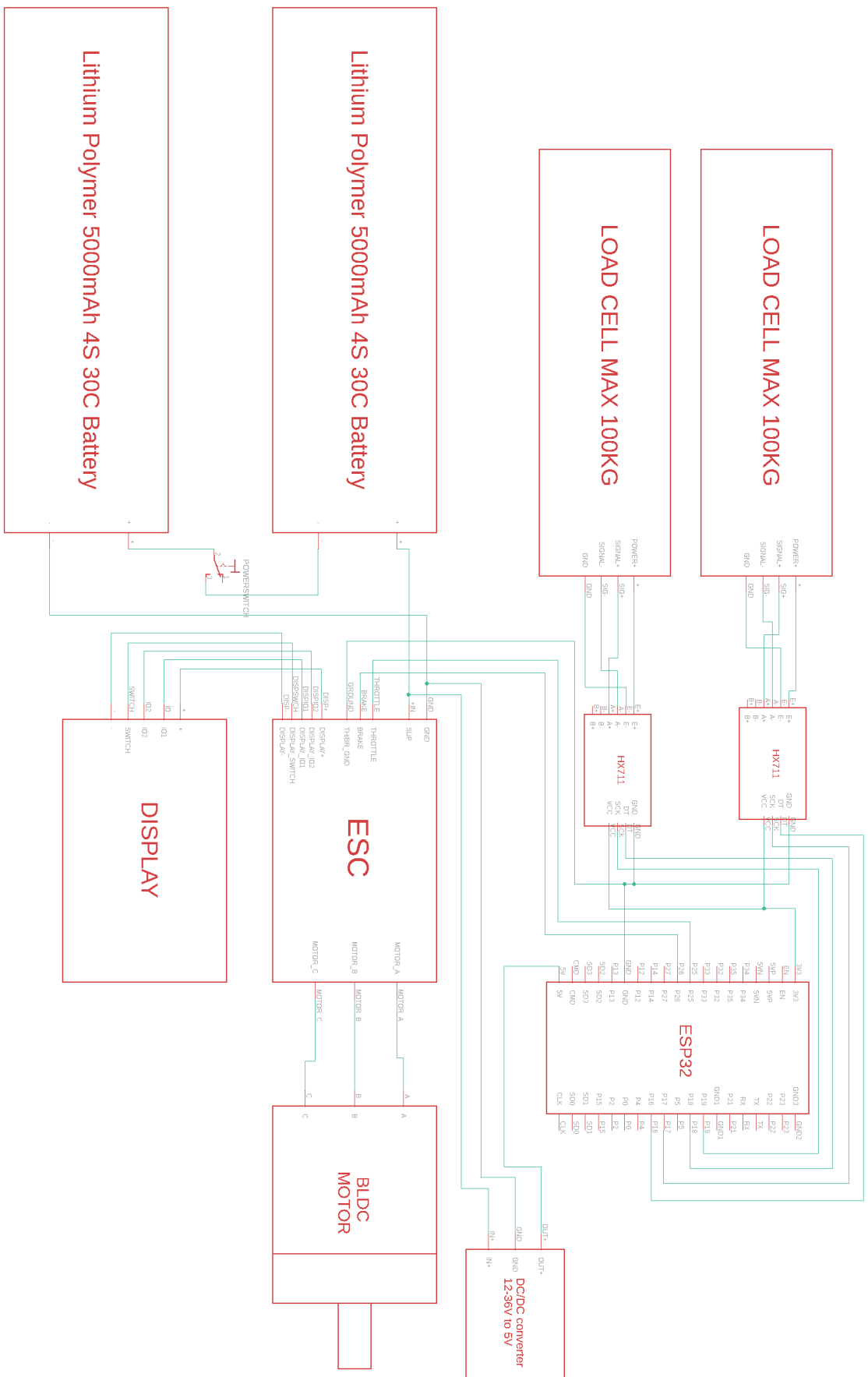
2. Melléklet: ESP-32 lábkiosztása

PIN DEFINITION

www.ai-thinker.com



3. Melléklet: Kapcsolás sematikus ábrája



4. Melléklet: Motorvezérlő csatlakozó kiosztása

使用说明:

直流无刷电机相位全自动兼容, 120°/60°自动识别。

1.接好控制器线束, 通电情况下连接好智能识别线(学习线), 打开电门锁(电源开关)。

2.电机正转之后断开智能识别线即可正常使用。若电机反转, 只需将智能识别线断开再对插上即可。

3.控制器识别正常后即电机正常, 直接断开智能识别线即可正常使用。

Convenient Instructions:

Brushless DC motor phase automatic compatibility, 120°/60° automatic identification.

1. Connect the controller harness, connect the intelligent identification line (learning line) when power is on, and open the switch lock (power switch).

2. After the motor rotates forward, the intelligent identification line can be disconnected for normal use. If the motor reverses, just disconnect the intelligent identification line and plug it in.

3. After the controller is recognized as normal, the motor is normal. If the intelligent identification line is disconnected, it can be used normally.

直流无刷电机智能控制器

Intelligent control of Brushless DC motor

外形尺寸:

Outline dimension(mm):

长90 宽52 高30mm

90(length)*52(width)*30(height)

