

SZAKDOLGOZAT

**OE-KVK
2022.**

**Szálkai Tamás
T006880/FI12904/K**



ÓBUDAI EGYETEM

**Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológiai Intézet**

ROBOTKAR ÉS MOZGÁSÉRZÉKELOŐ KESZTYŰ TOVÁBBFEJLESZTÉSE

**OE-KVK
2022.**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

**Szálkai Tamás
T006880/FI12904/K**

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szálkai Tamás István

Szakedolgozat száma: SZD21060813453086

Törzskönyvi száma: T006880/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Mikroelektronika és technológia specializáció

A dolgozat címe: Robotkar és mozgásérzékelő kesztyű továbbfejlesztése

A dolgozat címe angolul: Further development of robotic arm and motion detection glove.

A feladat részletezése:

1. Meglévő robotkarhoz és mozgás érzékelő kesztyűhöz tervezzen egy akkumulátor töltöttségi szintet figyelő áramkört.
2. Valósítsa meg, hogy a robotkar a kesztyűn keresztül távolról is vezérelhető legyen.
3. A robotkar ujjait hasonlóan az emberi ujjakhoz lássa el nyomásérzékelővel különböző anyagok felületeinek vizsgálatára és az eredményt számítógépen jelenítse meg.

Intézményi konzulens neve: Meszlényi György József

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. június 30.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 11. 12.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDA EGYETEM

**Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológiai Intézet**

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022.04.22

Szálkai Tamás István
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

I. Bevezetés	6
II. Töltöttség szint jelző áramkör tervezése:	7
a. A/D konverterek és a 7 szegmenses dekóder elméleti ismertetése:.....	7
b. A cellák felhasználása a projekthez:.....	9
c. A/D konverter kiválasztása a kijelző vezérléséhez	11
d. Az áramkör megtervezése és a nyákrajz elkészítése	18
III. Távoli vezérlés	23
a) A szükséges eszközök kiválasztása	23
b) A távoli vezérlés összeállítása:.....	27
c) A programozás.....	37
IV. Továbbfejlesztési lehetőségek	39
a. Összefoglaló	39
V. Szakdolgozat Témájának Ismertetése	40
a. Összefoglalás:.....	42
b. Summary:.....	43
Irodalomjegyzék	44

I. Bevezetés

Szakdolgozatom témám egy meglévő robotkar és vezérlőkesztyű továbbfejlesztéséről szól. A feladat elvégzéséhez szenzor, elektronikai és nyáktervezési ismeretek szükségesek. A fejlesztés során első feladatomban a meglévő karhoz, a kart tápláló akkumulátor töltöttségi szintjét figyelő áramkör megtervezése volt. Az általam készített eszköz figyeli az akkumulátor feszültségét, ezzel információt szolgáltatva a jelenlegi töltöttségi állapotáról. A töltöttségi szint figyelő a kar külső részére kerül, ahogyan maga az akkumulátor is. Munkám következő fázisa a robotkar távvezérléséről szól. A robotkart saját elgondolás alapján az általam elkészített kesztyű segítségével irányítom. A vezérlőkesztyű ujjaira hajlításérzékelő szenzorokat helyeztem el, a kézfejére pedig egy gyorsulásmérőt. Az érzékelők kimeneti jelét és a gyorsulásmérő által mért adatokat az Arduino dolgozza fel és továbbítja egy adatátviteli modul segítségével. A két feladathoz két eltérő Arduino típust választottam. A robotkar belsejébe helyeztem el a magát az AtMega2560-as fejlesztőkörnyezetet, ami az elküldött adatokat fogadja egy RF modullal, feldolgozza és továbbítja a szervomotorok felé. Szakdolgozatom utolsó témaköre lett volna a robotkar ujjainak nyomásérzékelővel történő ellátása. Ez különböző anyagok vizsgálatára és az eredmény számítógépes megjelenítésére lett volna jó. A robotkart nemcsak vezérelhető lenne, hanem egyben a kesztyűre ráhelyezett szenzorok segítségével, nyomás érzékelésére és kijelzésére is alkalmas lenne. A témavezetővel egyeztetve megállapítottuk, hogy erre nem maradt idő, ezek csak továbbfejlesztési lehetőségek. Az egyes munkafázisok fejezetekből állnak. Egy-egy téma kidolgozásához hozzátartozik az elméleti rész és a gyakorlati megvalósítása is.

II. Töltöttségszint jelző áramkör tervezése:

a. A/D konverterek és a 7 szegmenses dekóder elméleti ismertetése:

Elméleti áttekintés elsősorban azért szükséges, mert az akkumulátorhoz tervezett töltöttségszintmérő áramkört egy A/D konverter segítségével valósítom meg.

„Az analóg-digitális átalakító (angolul: ADC – analóg to Digital Converter) feladata, hogy a bemenetére érkező „A” analóg jelnek megfelelő „D” digitális jelet állítson elő a kimenetén.

Az analóg-digitális átalakítás az, amelynek során egy analóg jelből (feszültség, hőmérséklet, hang stb.) digitális (számítógép feldolgozásra alkalmas) számsorozat készítünk. Az ADC-k egyre inkább kulcsfontosságú szerepet játszanak a mérés technika és az adatgyűjtés ipari, ill. tudományos alkalmazásaiban, és A/D-átalakítók vesznek körül a mindennapi életben is bennünket.

A különféle rendszerekben alkalmazott A/D-átalakítók szemben általánosan támasztott követelmény:

- nagy sebességű átalakítás,
- nagy felbontás,
- minél kisebb méret és fogyasztás,
- érzéketlenség a környezet zajokkal szemben.

Analóg-digitális átalakítás során amplitúdóban és időben folytonos (analóg) jelből amplitúdóban és időben egyaránt diszkrét (digitális) jelet kell elő állítani. Az átalakítás folyamatának lépései:

- a bejövő, az átalakítandó folytonos jel vétele (vevő/bemenet áramkör),
- mintavételezés (időbeli diszkrétizálás mintavevő-tartó áramkörrel),
- kvantálás (amplitúdó diszkrétizálás),
- kódolás”. [1]

„A működéshez szükséges egy R referencia (általában egy U_R referenciafeszültség), amelyhez az A/D átalakítók az A analóg mennyiséget viszonyítják ($D=k \cdot (A/R)$) és amely a kimeneti feszültség maximális értékét is meghatározza.

Az analóg jelábrázolással ellentétben, ahol a mérendő mennyiséget folyamatos mérőjellé alakítják át, a digitális mérési jel ábrázolásánál csak diszkrét mérőjelek fordulnak elő, amelyeket mintavételezéssel, kvantálással és kódolással állítanak elő. A kvantálásnál elkerülhetetlen az információsvesztés. Az ésszerű kvantálás a fizikai mérőjel fajtájától és az előírányzott alkalmazástól függ.

Az analóg-digitális átalakítás folyamat két részből tevődik össze: a kvantálásból és a kódolásból.” [1]

„Kvantálásnak nevezzük valamely mennyiség értéktartományának véges számú, rendszerint egyenlő nagyságú résztartományokra (kvantumokra) történő felosztását. Egy adott mérési értékeknek mindig pontosan meghatározott számú kvantum felel meg. Mivel a kvantálás során csak véges számú érték képezhető, a mért analóg mennyiség viszont értéktartományán belül végtelenül sok értéket vehet fel, ezért a kvantálás csak bizonyos hibával, az ún. kvantálási hibával végezhető el. A kvantálási hibának az analóg értékre vonatkoztatott (H_k) nagysága függ azon résztartományok n számától, amelyekre az értéktartományt felosztottuk, és függ ezenkívül az analóg-digitális átalakító kialakításától.

Kódolásnak nevezzük a miértértékhez tartozó kvantumok számának meghatározott kód szerinti ábrázolását.

Az analóg-digitális átalakítók vizsgálatának legfontosabb paraméterei:

- a) a mérési hiba,
- b) a bementi impedancia,
- c) a nyitás és az átalakítási idő” [2]

b. A cellák felhasználása a projekthez:

Választásom a lítium-ionos akkumulátorra esett. Mivel magas energiasűrűsége és nagy teljesítménye lehetővé teszi olyan akkumulátorpakk összeállítását, amely már nagyobb elektronikus eszközök mozgatásához is elegendő energia tárolást tesz lehetővé. Emellett a lítium akkumulátorok a nikkel alapú akkumulátorokkal szemben könnyebbek és tartósabbak is. Nincs memóriaeffektusuk, így töltési problémák nem fordulhatnak elő.

Az ilyen típusú akkumulátorokat viszont szükséges védelemmel ellátni, egyrészt a hőmegfűtés, illetve a cellák biztos töltése miatt. Sok esetben kész akku is rendelkezésre áll az üzletekben.

A projektekhez több nagynyomatékú motort használok, amik robotkar belsejében foglalnak helyet egy szervó ágyban és egy külön a kar csuklójánál. Az általam választott motorok kis helyigényűek és nagy nyomatékúak. Hátrányuk folyamatos kopás és elektromos zaj. A működése közben a motor nyugalmi árama 350 mA környékén van, de leállásnál 1.2 A áramfelvételt is elérhet egyetlen motor. A táplálásuk Arduinóról nem lehetséges, mert az Arduino kimenetei nem képesek kellő áramot szolgáltatni a motoroknak. Esetenként tönkre is tehetik a fejlesztőkörnyezetet. A motorok legnagyobb áramfelvételének értékét beszorozzuk darabjainak számával megkapjuk, hogy legalább 7,2 A lesz a motorok maximális áramfelvétele. Az adatlap alapján, 4.8V és 7.2 V közti

Leírás:	Az LG MJ1 egy védelem nélküli 18650 méretű Li-Ion akkumulátor 3500 mAh kapacitással és 10 A max folyamatos árammal.
Gyártó:	LG
Gyártói cikkszám:	LGDBMJ11866
Méret:	18650
Kapacitás:	3 500 mAh
Max Áram:	10 A
Kémia:	INR
Újratölthető:	Igen

1. ábra A választott LG gyártmányú INR18650-MJ1 Li-ion cellának leírása látható [11]

DC tápellátás kell az üzembiztos működéshez. Az ideális választás az 5V lenne, hiszen a legtöbb elektronikus készülék is ekkora feszültséggel üzemel. A cellák kiválasztásánál egy LG gyártmányú INR18650-MJ1 li-ion cellát választottam. A névleges kapacitásuk 3500 mAh.

Az ilyen cellákat gyakran drónok, háztartási gépek, elektromos szerszámok, rollerek esetében alkalmaznak. Hosszú üzemi időjüknek köszönhető, hogy kellő energiával képesek akár órákig ellátni az elektronikus eszközöket. A motor ellátásához egyetlen cella névleges feszültsége nem volna elegendő. Ennek orvoslására az egyes cellákat sorba kötjük, ezzel kapacitás értékük változatlan marad. Viszont a sorosan kapcsolt két cella feszültsége összeadódik. A kisülési, illetve a maximális töltőfeszültséggel ugyanígy elvégzem a szükséges számításokat. Azt tapasztalom, hogy a számolt érték, amit meghatározunk nagyobb, mint a motor feszültsége. Megoldás lehet erre a helyzetre egy DC-DC konverter, amely kellő feszültségszintet szolgáltat.

A másik probléma az maga a kapacitás meghatározása. A módszer hasonló az előzőek esetében, csak itt az egyes cellák párhuzamos kapcsolásának figyelembe vételével oldható meg a feladat. Az elemek száma és magával a cella kapacitásával beszorozva 10,5 Ah kapunk. Wattóraban megadva ennek értéke 75,6 Wh lesz.

Most még sajnos az akkumulátor nincs kellő biztonságban. Egyrésztől gondot okozhat az, hogy töltés során egyes cellák a 4,2 V is elérhetik a többiekhez képest, így az egyes cellák közt áram folyhat. Biztosítani kell, hogy a feszültségük cellánként megegyezzen. Ez hasonlóképp igaz mélykisüléskor is, mikor az adott feszültségszint eléri 2,5 V környékét. Áramvédelemről is és rövidzárvédelemről gondoskodni kell. A cellák értékei bár megegyeznek az adatlapon, de eltérhetnek a gyakorlatban. Ez a gyártásukból adódik és emiatt töltöttségük is eltérő lehet. Így esetleges feszültség különbségek léphetnek fel, amikor próbáljuk az egyes cellákat teljesen feltölteni. Sajnálatos módon eltérő feszültségeket fogunk tapasztalni, ami végül a cella későbbi tönkremeneteléhez vezethet. Az eltérő feszültségű cellák miatt az élettartamuk is csökkenhet, emellett a teljesítményükre is hatással lehet. Túltöltés esetén cellák meggyulladhatnak, akár fel is robbanhatnak. Védőáramkörre van szükség, a megemlített túltöltés, újratöltés, rövidzár vagy a magas hőmérsékletű helyen történő használat esetén. BMS¹ emellett az egyes akkumulátor cellák terheléselosztásában segít. Rövidzárvédelemről is gondoskodni kell, ha szereléskor véletlen hiba során a vezetékek összeérnének, rövidre zárva akár egy cellát

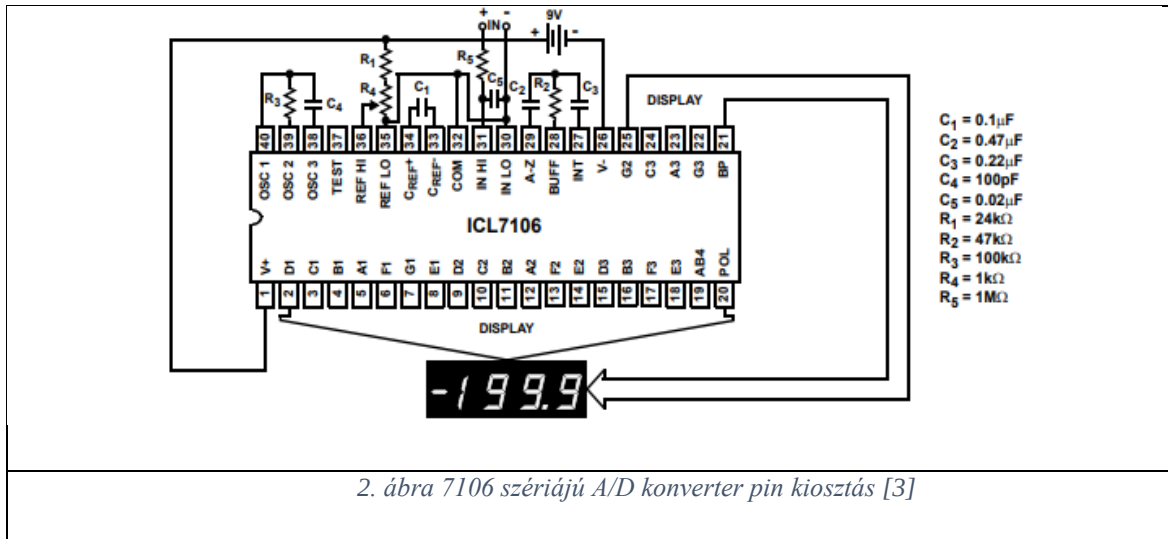
¹ BMS: magyarul akkumulátor kezelő rendszer.

is. Tehát ennek megfelelően egy felügyeleti rendszer gondoskodik az akkumulátor töltéséről, védelméről. Külföldi szakirodalmak a BMS-ként említik. Az általam összerakott akkumulátor két soros és három párhuzamos elemből áll, összesen 6 db cella szükséges.

c. A/D konverter kiválasztása a kijelző vezérléséhez

Az energiaforrás kiválasztása után a szükséges az A/D konverter megválasztása is fontos a további tervezéshez. Az Intersil által gyártott ICL7106 IC-t választottam, hiszen mérő- és konverter IC-ként az órajel, A/D átalakító, dekóder integráltan egy tokban rendelkezésre áll. Másik szempont, ami lényeges ennél a projektnél maga a kis helyigény mellett az IC specifikációja, mely szerint teljesítményen működő 3 és fél digitális kijelző meghajtására képes analóg-digitális konverter van benne. Tartalmaz egy 7 szegmenses dekódert, kijelzés vezérlőt egy referencia és végül egy belső óra jelet. Kifejezetten folyadékkristályos kijelzőkhöz készült, ami az akkumulátor feszültség szintjének megjelenítéshez szükséges most. Az IC tartalmaz egy multiplex hátlati meghajtót. Nagy pontossága mellett, számtalan felhasználhatósága és a termék olcsósága is szempont a tervezéshez. Jellemzője az eszköznek az automatikus nullázás és a nulla eltolódása kisebb, mint $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Ezt az állandó hibát a környezeti hőmérséklet változása okozza, de egy elhanyagolható hiba érték. Fontos jellemzői közé tartozik, hogy minden 0V bemenetre, garantált nulla leolvasást biztosít. Valódi polaritás jelez nullán a precíz nullaérzékelés érdekében. A zaja kevesebb, mint $15 \mu\text{V}_{\text{p-p}}$. Ez lehetőséget ad arra, hogy pontosabb kiolvasást tegyen lehetővé, anélkül, hogy a mért értékbe beleszólna. Másik fontos tulajdonsága a teljesítmény disszipáció, ami kevesebb, mint 10mW, ez annak köszönhető, hogy CMOS elemekből épül fel. Mivel rendkívül kis fogyasztásról beszélünk, így nem kell tápigénnyel számolni. Továbbá nincs szükség aktív áramkörökre. A kialakítását tekintve az online áruházakban, mint a HESTORE rendelkezésre áll DIP40 tokozásban, a két oldalán 20-20 láb található. Az egyik oldalán egy bevágás található, amely jelzi, hogy hol kezdődik a lábak számozása. Az adatlapot analizálva megtudhatjuk, mely lábak mire szolgálnak az oszcillátor lábaktól, a kijelzésig. A határértékeit vizsgálva a maximális tápfeszültsége $\pm 15\text{V}$ közt van, ennél nagyobb feszültséget ráadva az alkatrész károsodását idézhetné elő. Ezeknek az értékeknek a betartása szükséges a tervezéshez. A nagyfokú integráltságnak köszönhetően összesen 10 passzív alkatrész szükségeltetik a működéséhez, illetve piaci árát vizsgálva az alkatrészekkel együtt szintén

megéri, mert 5\$ környékén megvásárolható. Használható feszültség, áram, hőmérséklet és végül ellenállás mérésére is. Szintén hasznos tud lenni, ha különböző híd átalakítóval dolgoznak. Ez egy könnyen megépíthető pontos és hasznos voltmérő. Panelmérőnek tervezték, és használható egyenáramú tápegységekben, vagy bárhol máshol, ahol a feszültség pontos kijelzése szükséges.



2. ábra 7106 szériájú A/D konverter pin kiosztás [3]

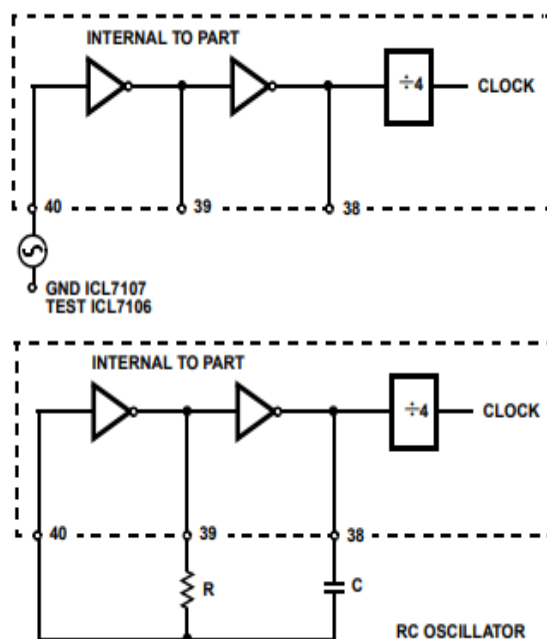
A képen az Intersil 7106 szériájú A/D konverter pin kiosztása látható. Az összekötéskor az első lába a táp pozitív lábához kerül. Ezeknél a konvertereknél egy 9V elem a tápláláshoz pont megfelelő. A 2-es lábtól 8 lábig a legkisebb 1-ső szegmens kijelzéséért felel. A 9-14 láb, illetve a 25-ös láb a 2. digit megjelenítésére szolgál. Látható, hogy az integrált elem esetében 1 digit kijelzéséhez 7 bemenő vezeték szükséges.

A 24,23,22 és a 15-től egészen a 18-as láb a harmadik digit megjelenítéséhez kell. A 20-dik láb a polaritást adja meg, ehhez is csak 1 bemenő vezeték kell a kijelzőhöz, mint a legnagyobb digit esetében. A műveleti erősítő utolsó három lába a belső órajel frekvenciáját adja. Külső passzív elemek hozzáadásával a kívánt frekvenciaértéke beállítható. A TEST érintkező két funkciót lát el. Az ICL7106-on belsőleg előállított digitális táp hoz kapcsolva egy belső 500 Ω -os ellenálláson keresztül negatív forrásként is használható vagy külsőleg generált szegmensmeghajtókhoz, tizedespontok esetében. 1 mA-nél nagyobb terhelést nem lehet a bemenetre adni. A második funkció a „lámpateszt”. Amikor a TEST pin táp hoz kötjük, akkor minden szegmens bekapcsol és a kijelző az összes szükséges digitet megjeleníti. A TEST érintkezőnek ilyenkor 14-15 mA az áramfelvétele. Fontos, hogy lámpateszt üzemmódban a szegmensek állandó egyenfeszültségen tartása a kijelző kiégéséhez is vezetne. Ennek ismeretében a táp és a test láb közé egy kapcsolót iktatva a kijelző teszt üzemmódját megoldhatjuk. A COMMON érintkező olyan feszültséget állít be, amely a tápfeszültségnél 2,8 V-tal

kisebb. Ehhez 2V skálán a 470k Ω ellenállás szükséges, és hasonlóan 200mV-os skálához 47k Ω ellenállás kell.

Az integráló kondenzátort úgy kell kiválasztani, hogy a maximális feszültségingadozás, amely biztosítja a toleranciát, ne telítse az integrátor kilengését. Az ICL7106 vagy az ICL7107 esetében, amikor az analóg COMMON-t referenciaként használjuk. Az integrátor kilengésével nem kell törődni.

48 kHz órajel esetén a C_{INT} névleges értékei 0,22 μ F és 0,10 μ F. Természetesen, ha más oszcillátor frekvenciákat használnak, ezeket az értékeket módosítani kell fordított arányban, hogy fenntartsa ugyanazt a kimeneti ingadozást.



3. ábra oszcillátorok belső blokkvázlata látható [3]

Az integráló kondenzátor további követelménye az alacsony dielektromos abszorpcióval kell rendelkeznie, hogy megakadályozza a kilengési hibákat.

Két alapvető elrendezés látható a 8 ábrán. Az oszcillátor kiválasztása következik.

A felső blokk egy külső oszcillátor csatlakoztatását mutatja a másik kép egy másik megoldást mutat, hogy egy külső ellenállás és kondenzátorral kiegészíthető.

Ilyenkor az elemek a 40-es pinto és a 39,38 bemenetet is használnunk kell.

Az oszcillátor frekvenciáját a legvégén elosztja néggyel, mielőtt a számlálást megkezdi.

Az „auto-zero” kondenzátor némileg befolyásolja a rendszert. 200 mV teljes skála esetén, 0,47 μ F-os kondenzátor ajánlott. A 2V-os skálán egy 0,047 μ F-os kondenzátor növeli a sebességet. Megfelelő választás zaj esetén ezen a skálán.

Az oszcillátor komponens értékének számításánál minden frekvenciatartományhoz 100k Ω -os ellenállás ajánlott és a kondenzátort a következő egyenletből választjuk ki.

$$f = \frac{0.45}{R \cdot C} \quad (1)$$

48Khz órajel esetén az így kiszámolt egyenletből a kondenzátor értéke 100pF. Ezzel meghatároztuk az oszcillátor komponenseinek az értékét. A 0,1 μ F-os referencia kondenzátor jó eredményeket ad és a legcélszerűbb a legtöbb alkalmazásban. Ha azonban nagy közös modulusú feszültség esetén ,200 mV-os skála használatakor nagyobb értékre van szükség a roll-over hiba elkerülése érdekében. Általában 1 μ F esetén 0,5 körüli a roll-over hiba, ami egy elfogadhatónak mondható érték ebben az esetben.

Tervezés során arra törekedtem, hogy minden egyes értéket, ha lehet az adatlap alapján számoltam ki. A kapott értékek segítségével a tovább áramkörü elemeket is meghatároztam. A tervezéshez szükséges információk itt találhatóak meg.

$$f_{OSC} = 0.45/(R \cdot C) \quad (2)$$

esetén, ha a megválasztott kapacitás, a meghatározható ellenállás a feltételeknek megfelel. Vagyis 48kHz frekvenciájú órajel esetén az oszcillátor ellenállás értéke 50k Ω és annak kapacitás 50pF nagyobbnak kell lennie.

Az oszcillátor periódus ideje így kiszámolható, hiszen ez gyakorlatilag a korábbi oszcillátor frekvenciaértékének a reciproka.

$$t_{OSC} = (R \cdot C) / 0.45 \quad (3)$$

A várható értéke pedig 20 μ s lesz a számításaim szerint. Integrációs órajel frekvencia $f_{CLOCK} = f_{OSC}/4 = \underline{12 \text{ kHz}}$ lesz. Ennyire osztódik le az oszcillátor frekvenciája Ennek periódus ideje az alábbiak szerint írható le és határozható meg.

$$t_{INT} = 1000 \times (4/f_{OSC}) = \underline{83ms} \quad (4)$$

Integráló áram az adatlap szerint $I_{INT} = 4\mu A$. Számolás során állandónak veszem, hiszen a gyakorlatban közelítő értékről beszélünk. Analóg bemeneti feszültség teljes skála alapján V_{INFS} általános értéke 200mV vagy 2V is lehet.

Integráló ellenállás és kapacitás értékének a meghatározása a fentiek szerint:

$$R_{INT} = V_{INFS} / I_{INT} = 200mV / 4\mu A = \underline{50k\Omega} \quad (5)$$

$$C_{INT} = (t_{INT}) * (I_{INT}) / V_{INT} \text{ ebből } V_{INT} = 83ms * 4\mu A / 0,22\mu F = \underline{1.5 V} \quad (6)$$

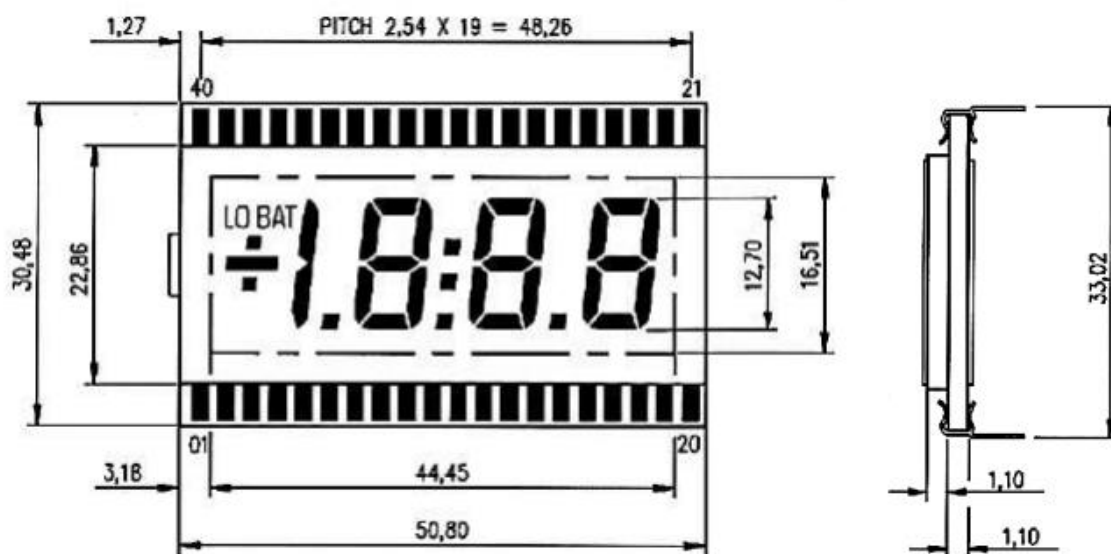
A maximum kilengése az áramkörnek $\pm 0.5V$, így a korábban meghatározott feszültség értékkel kiszámoltam. Mind az integráló ellenállás értékét és kapacitását az áramkörnek meghatároztuk.

Az ajánlott kapacitás értékek megfelelnek az IC kritériumjainak. Ezzel továbbá már nem kell foglalkoznom. Az „AUTO-ZERO” kapacitás értéke a javasolt $0.01\mu F$ és $1\mu F$ közt kell lennie, míg a referencia kapacitás $0.1\mu F$ és $1\mu F$ tartomány közt helyezkedhet el.

Ennek megfelelően a tápellátása az áramkörnek egy 9V elem. Digitális tápellátás belsőleg generált. A kijelzés része maradt hátra végül. Az Intersil 7107 sorozatú A/D konvertere esetén közös anódú LED-es megvalósítás lehetséges. Ez viszonylag egyszerűbb megoldás NYÁK gyártás esetén, hiszen túlzottan sok helyet nem foglalnak a panelen. Ellenben az általam választott esetében LCD-vel javasolt az értékek kijeleztetése az adatlap szerint.

Az általam választott darab 1000 forint környékén beszerezhető Magyarországi üzletekben a 3 és fél digitális üveg kijelző. Az adatlap alapján sikerült kiválasztanom az IC-hez megfelelő folyadékkristályos kijelző kiválasztásában.

Az általam talált LOBAT által gyártott 3,5 digitális, 13 mm hosszúságú kijelzőt választottam ehhez a projekthez. A típusa, DE 113-RS-20/6,35. Digitális kijelzésű 7 szegmenses, a frissítési gyakoriság 30 és 100 Hz közt van. A kijelzés módja Pozitív, ez azt jelenti, hogy fekete karakterek jeleníthetők meg a fehér kijelzőn. Ennek van egy inverz változata is, ami egy teljesen elsötétített háttérben fehér karakterekkel írhatunk ki bármit. Érthető módon ez lesz a negatív megjelenítési mód.



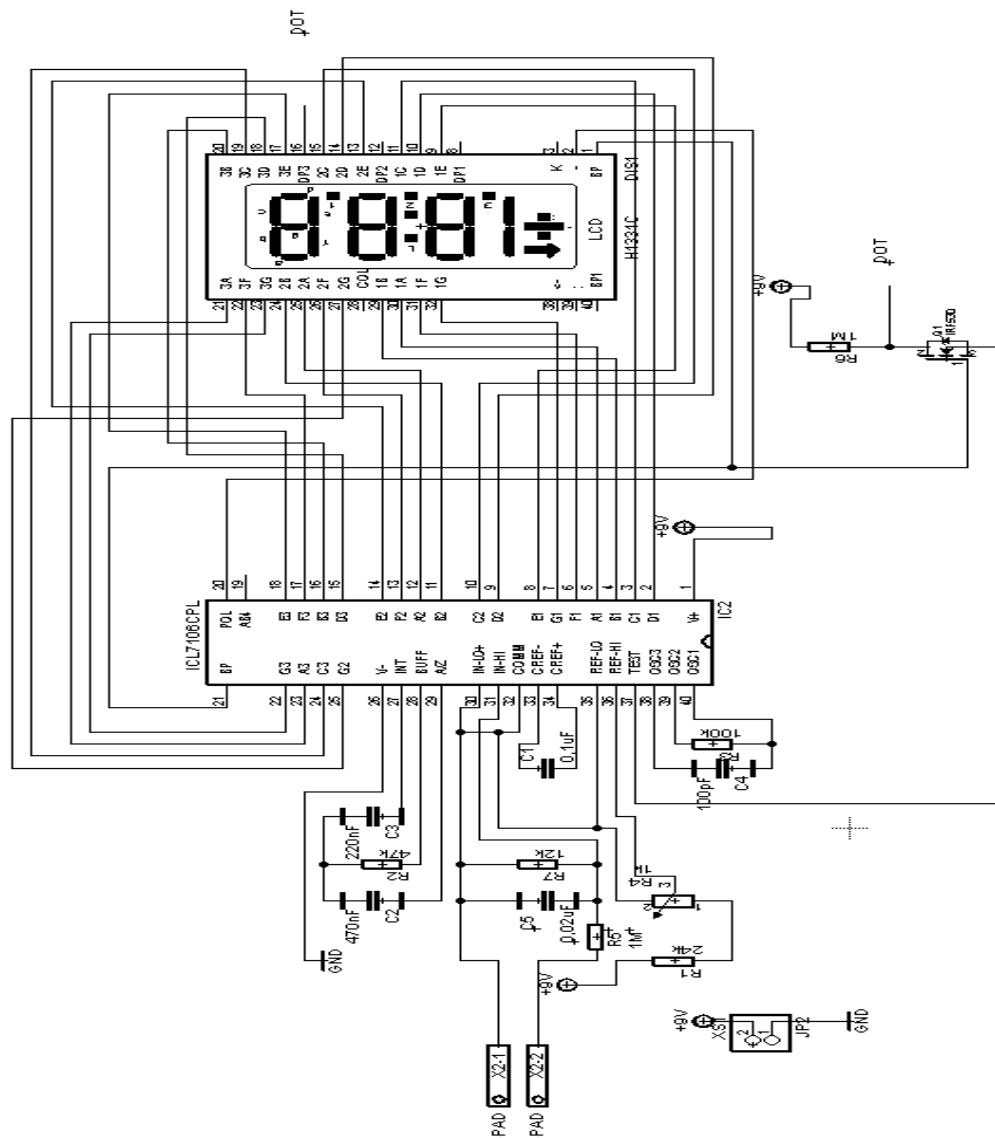
4. ábra A kijelző méretei láthatóak forrás: [4]

Csupán maga az üveg kijelző mérete 22,86 x 44,45 mm, a költség tervezése szempontjából javasolt nem túl nagy kijelző méretet választani a későbbi nyáktervezés során, hiszen a nagyobb nyákméret pluszköltséget jelent. Ha lábak közti távolságot vizsgáljuk, ami 0.1 inch és ehhez, ha összeszorozzuk kijelző lábainak számával, akkor megkapjuk a 48,26-os értéket. A két szélső kivezetés középpontjától nézve láthatjuk a jelzett adatokat a fenti ábrán. A kijelző beültetésekor szükségünk lesz egy-egy 20 pinos tűksor aljzatra, ezekbe ültetjük bele a kijelző lábait. A legnagyobb alkatrész révén célszerű a legmegfelelőbb elrendezést megtalálni, mivel a technológiai megvalósítása egyszerűbb és költséghatékonyabb lehet. A furatszerelési technológiánál (Through Hole Technology) esetében a nyák alkatrészoldalán helyezük el az elemek lábait. Az A/D konverter esetében is szükséges egy DIL40 Lemezes foglalat, amelybe a 7106 helyezzük bele. Ezek fillérékért megvásárolhatóak kisebb üzletekben vagy online áruházakban.

Gyakorlati megvalósítás során az Eagle 7.1 verziójú programját hívjuk segítségül, a szoftver segít az áramkörök összeállításában és a tervezésében. Nyák tervezéskor számításba kell venni bizonyos dolgokat. A megfelelő alkatrész típus nem mindig található meg az alap könyvtárban. Ekkor az egyik megszokott, bevált módszer az, hogy hozzá hasonlót keresünk, amely lábkiosztásban és tokozás típusában is megegyezik. Az

utóbbi ráadásul igencsak fontos tud lenni. Fontos ügyelni a panel méretére, egyrészt, hogy sokkal kisebb méretben, hiszen a nyák gyártásakor költsége kisebb lesz és a panel rögzítése, elhelyezése is egyszerűbbé válik. Emellett az alkatrészek megfelelően vagy a lehető legjobban legyenek elhelyezve a panelen. A vezetősávok közti távolságra is figyelni kell tervezéskor. Az első és legfontosabb dolog mielőtt elkezdem telepítem magát a könyvtárat, mely a Github oldaláról hozzáférhető és szabadon használható. Innen két szükséges könyvtárt kell letölteni. Az egyik a „Adafruit-Eagle-Library-master”, illetve a másik a SparkFun-Eagle-Libraries-main. Mindkettő „zip” fájlba van csomagolva. Egy megfelelő mappában kicsomagolhatóak, melynek helyét általában a felhasználó dönti el. Ezután az Eagle nevezetű program megnyitásakor a kontrol panel fogad. Itt az options menüsorba kell lépni. Megnyitva a fület, majd a mappákra rákattintva megjelenik egy ablak. A mentett fájlok elérési útját megadni. Először az egyiknek majd a másikkal. Ha megfelelően csináltuk mindkét könyvtár elérési útja megjelenik. Ez egy szükséges lépés volt, mert az egyes alkatrészeket, amiket ezek után használunk más típusúakkal nem helyettesíthetők. Előfordulhat, hogy a pinek lábainak számozásánál probléma merül föl. A könyvtár esetleges frissítésével vagy a szimbólum javításával orvosolható a probléma. A lépések követése alatt érdemes leellenőrizni az adott módosításokat, melyeket a programban végeztünk. Fontos, hogy az elméletek során összerakott áramköröm mellett a szükséges alkatrészek kiválasztása is megtörtént a tervezés során. Kellően precíz munka szükséges, az esetleges sáv elcsúszások miatt az áramkör nem működhet, avagy rosszabb esetben a beültetett alkatrészek is károsodhatnak. Az eddigieket összefoglalva elkezdhető a feszültség figyelő áramkör összeállítása.

d. Az áramkör megtervezése és a nyákrajz elkészítése



5. ábra Az általam megszerkesztett áramkör Eagle-ben (saját munkám)

A következő lépés, hogy a programban a kontrol panel alatt létrehozok egy új projektet. A projekt alatt számos opciót kínál fel a program. Itt az áramkörtervezői résszel kezdjük, melynek angol neve Schematics. A kijelző és az ICL7106-os IC képét a jobb láthatóság miatt megforgattam. Az áramköri rajzon a dot nevű vezeték a kijelző 16-os lábához kerül. A mérés során a 3 digit és a tizedespont lesz látható.

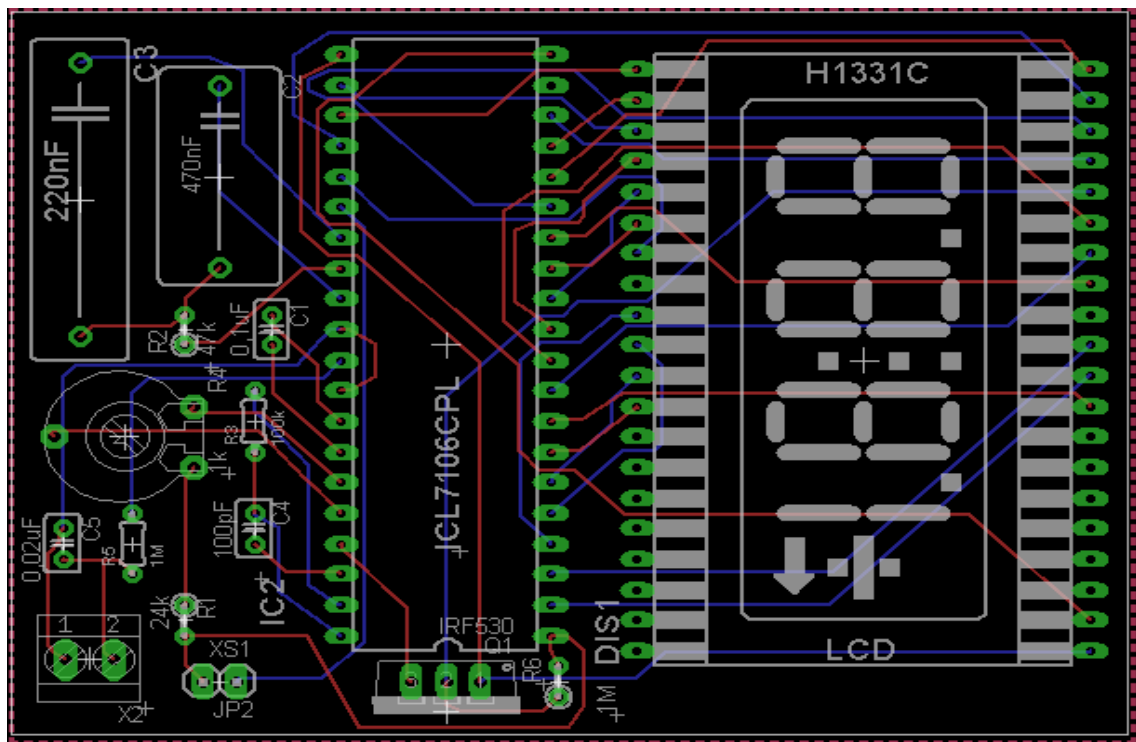
Az áramkört kiegészítettem egy N csatornás MOSFET-tel és egy nagyértékű ellenállással. Ezzel együtt a konverter BP jelzésű (backplane) lábát, összekötöm a



6. ábra 3.5 mm terminál blokkok az áramkörhöz [12]

félvezető GATE lábával és a kijelző BP lábával. A tranzisztor SOURCE lába az A/D konverter TESTER kimenetéhez megy. A műveleti erősítő ezen portja egy negatív tápként viselkedik, ha V+ nem kötjük rá. Így maga a MOSFET egy egyszerű inverterként működik és így az A/D konverter kimenete által vezérelhetővé válik. Látható, hogy nagy ellenállást használunk, amely erőteljesen lekorlátozza a drain áramát. A MOSFET kollektorról kapcsolódik a folyadékkristályos kijelző lábához. A program segítségével a „label” funkciót választva a kimenetet elnevezem DOT néven. Ezt teszem az LCD pinjével is. A szükséges tápokot megadtam, ahol kellett, és a V- lábát a földdel kötöttem össze. Két input külön célt szolgál, az egyikre az elemet kötjük rá, míg a másik X2 jelzésű esetén a mérendő feszültséget jelzi majd, tehát itt kötjük rá a vizsgálandó eszközt és nézzük a tápszintjét. A két bemenete egymástól eltérő. A tűske sorkapocs szolgál arra, hogy könnyebb csatlakozást biztosítson a 9V-os elemhez. Az alkatrészeket illesztését majd forrasztással oldom meg. Forrasztáskor vékony hegyű páka javasolt, a forrasztás praktikusabb, gyorsabb elvégzése miatt. Az ellenállásokra kitérve, a programban európai jelölésű szimbólumokat használtam, a tokozása 0204/5 az utolsó számjegy a rács értékét adja meg, viszont az első a típusát. Én 5mm grid értékű ellenállásokat használtam fel. Az auto-zero kapacitás egy zárt hurkon keresztül töltődik, amely az offset feszültség kompenzálásáért felel. Az IC-hez tartozó auto-zero kapacitás pontosságnak csak a rendszer zaja szab határt. A kapacitás mérete valamelyest hatással van a rendszerre. 200 mV skála esetén, ahol a zaj számít, ebben az esetben a megfelelő választás egy polietilén kondenzátor lenne. Integráló kapacitást esetében a legmegfelelőbb választás egy polipropilén kondenzátor lenne, a hibák csökkentése miatt. A bemeneti input kondenzátornak, mivel kis kapacitású, ezért kerámia kondenzátor választottam. Hasonlóképp döntöttem a referencia kapacitás kapcsán. Kis helyet foglalnak a nyáklapon, emiatt a panel mérete jóval kisebb lesz. Ez költséghatékonyabb megoldás. A folytatáshoz szükséges összeállítani egy alkatrészlistát, melyen felsorolom az összes szükséges

komponenst. Az áramkör módosításánál az input bemeneten egy ellenállást helyeztem el a C5 kondenzátorral párhuzamosan. Az ellenállás értéke határozza meg magát a méréshatárt. Az én esetemben egy akkumulátor szint mérésére alkalmasnak kell lennie. Az áramkörünk precizitásának beállítása a potenciométer szabályozásával történik. A PT-10 tokozással rendelkező lineáris trimmer potméter. 3 lábú alkatrész, melynek hangolását akár kisebb csavarhúzóval végezhetem. Rendezéskor a 2 pin tűs sorkapocs és a sorkapocsnál célszerűbb, ha a panel szélére helyezem. Az egyes passzív elemeket úgy kell forgatni, hogy minél kevesebb légvezeték keresztezze egymást, ez sajnos autorouterelés esetén problémás lenne. Az én panelem esetén az LCD és az analóg-digitális konverter egymás mellett helyezkednek el. Hasonlóképp tettem az ellenállásokkal és a kondenzátorokkal. Itt is figyeltem a légvezetésekre és próbáltam minél közelebb helyezni az A/D konverter megfelelő lábához, a rövidebb útvonaltervezés miatt. Törekedtem az esztétikára is, hiszen általánosságban ez is feltétel egy nyáklap összeállításánál. Az EAGLE nyáklaptervezőnél a DRC vezetékek hossza 8 mil lett és a köztük lévő távolságot 8 mil. A vezetékek és a pad közti távolság is 8 mil. A programon belül a vezetékek osztályokon nem változtattam. A következő szakasz maga a projekt ellenőrzése, ERC használatakor a program az áramkörömnél keres hibát, figyelmeztetést, ha nem talált akkor tovább haladhatok. Csak a hibajelzésekor állít meg, a figyelmeztetés jóváhagyható. A nyáklaptervező résznél is a DRC-n belül megtalálhat egy ellenőrzés funkció. Az auto-routerelés ezután következik, a top és a bottom réteget auto-n hagyjuk, a lehetséges útvonalak generálását a gép elvégzi. Nekem összességében sikerült via



7. ábra Nyomtatott áramköri rajza (saját)

mentes, 2 rétegű áramkört létrehozni. A rétegek felhelyezésénél a TOP réteg a felső réteg, ahol az alkatrészeket beültetjük és az alsó a kék réteg, itten a beforrasztandó lábak helyezkednek el. A képen láthatóak a pirossal jelzett vezetékek, a top rétegen helyezkednek el és az alsó vezetékek, amelyet a program kékkel jelöl. Végül az alkatrészlistát is elkészítettem, amely tartalmazza az összes eddigi felhasznált elemet.

Alkatrész lista			
Név	Érték	Technológia	Leírás
C1	0.1 uF	..	Kapacitás Európai szimbólum
C2	470nF	..	Kapacitás Európai szimbólum
C3	220 nF	..	Kapacitás Európai szimbólum
C4	100pF	..	Kapacitás Európai szimbólum
C5	0.02uF	..	Kapacitás Európai szimbólum
DIS1	H1331C	..	LCD KIJELZŐ
IC2	ICL7106CPL	..	LCD MEGHAJTÓ
JP2	XS1	..	PIN
Q1	IRF530	..	N csatornás MOSFET
R1	24k Ω	..	Ellenállás Európai Szimbólummal
R2	47k Ω	..	Ellenállás Európai Szimbólummal
R3	100k Ω	..	Ellenállás Európai Szimbólummal
R4	1 k Ω	..	Potenciométer
R5	1 M Ω	..	Ellenállás Európai Szimbólummal
R6	1 M Ω	..	Ellenállás Európai Szimbólummal
X2	terminál blokk 3,5 mm	..	Ellenállás Európai Szimbólummal

8. ábra Eagle által tervezett nyák alkatrészlistája (saját)

Az alábbi táblázatban az Excel segítségével összefoglaltam mindazokat az elemeket, mely a tervezés során felhasználtam. Az első oszlop az alkatrészek jelölését tüntetem fel, amely a tervezés során is látható. A következő oszlop az elemek pontos értékét mutatja és az utolsó oszlop az adott szimbólum megnevezését melyet a tervezés során felhasználtam.

III. Távoli vezérlés

a) A szükséges eszközök kiválasztása

A kar mozgását és ujjainak hajlítását az általam korábban tervezett áramkör segítségével végzem. Ennek megvalósítása eredetileg vezetékezéssel valósult meg. Minden egyes szervomotornak van egy-egy kivezetése, a végén egy 3 pin csatlakozófejjel. Megfelelő tápellátást igényelnek, hiszen az Arduino egyes portjai képtelenek ellátni kellő árammal a motorokat. Ez okozhat olyan hibát, hogy a fejlesztőkörnyezet újraindul folyamatosan vagy akár a tönkremeneteléhez is vezethet rosszabb esetben. Tehát nem szabad rákötni semmilyen formában. A vezérlőáramkörömet az ujjak mozgásakor NE555-ös időzítőkkal oldottam meg, ezek képesek olyan PWM jelet szolgáltatni, amellyel az ujjak behúznak. A négyyszögjelek kitöltésének változása egyenesen arányos a szenzor hajlításával. Maga a szenzor értéke a hajlítás mértékétől változik, nyugalmi értéke $10k\Omega$ környékén van, egy-két százalékos tűréssel. Ezt mérés során célszerű leírni, megjegyezni. Az ujjam maximális hajlításánál $27k\Omega$ ellenállás értéket mértem. Magát a csukló forgatását, hajlítását egy accelerométer segítségével végzem, ezt a kesztyűre helyeztem el, így képes követni a kéz mozdulatait. Erre a

feladatra egy MPU-6050-ös IC-t választottam, mely tartalmaz egy 3-tengelyes giroszkópot és egy 3-tengelyes gyorsulásmérőt, amelyek lehetővé teszik a csukló forgatásának független mérését. Ez az egyszerű modul tartalmaz mindent, ami szükséges ahhoz, hogy az I2C-n keresztül az Arduino és más vezérlőkhöz csatlakozzon (használja a Wire Arduino könyvtárat), és 3 tengely - X, Y és Z - mozgásérzékelési információit adja, melyet projektemnél 16x02 kék háttérkijelzős LCD-n jelenítettem meg. A kijelző képes megjeleníteni az elfordulás és annak hajlításának szögét.

Az egyes szervók pedig egy-egy ujjat képesek mozgatni. Az eszköz távolról történő irányításához rádió frekvenciás megoldást fogok használni.

„Minden rádióhullám végső fokon rezgőkörben keletkezik, amelynek az adatai szabják meg, hogy másodpercenként hány rezgés jöhet létre. A másodpercenként rezgések száma a frekvencia (f); egysége a hertz; a rövidítése Hz. Ha pl. egy rádióállomás 100 000 rezgésszámú hullámot bocsát ki mp-ként, rezgésszáma 100 000 Hz. A fenti állomás tehát 100 kHz frekvenciát sugároz. A rádióhullám éppen olyan elektromágneses hullám, mint a fény, s a sebessége is ugyanakkora, kerekén 300 000 km/s (c). Az előbbi rádióállomás 100 000 rezgést bocsát ki mp-ként, egy rezgés időtartama tehát százvezred mp. Mekkora távolságot fut be a rádióhullám ez idő alatt? Könnyebbég kedvéért alakítsuk át a sebességet méter/másodperc-re, vagyis számoljunk 300 000 000 m/mp-el. Egy százvezred mp alatt ennek a távolságnak százvezred részét teszi meg, vagyis 3000 m-t. Ez a rádióhullám tehát a rezgésideje alatt 3000 m-t tesz meg. Azt a távolságot, amelyet az elektromágneses hullám egy rezgésideje alatt tesz meg, hullámhossznak nevezzük (λ). A hullámhossz, a frekvencia és a fénysebesség között egyszerű összefüggés áll fenn:

$$\lambda = \text{hullámhossz} = \frac{\text{fénysebesség}}{\text{rezgésszám}} = \frac{c}{f} \quad (7)$$

9. ábra A mértékegységek közti kapcsolat

Ha a c-t m/s-ben, a rezgésszámot Hz-ben helyettesítjük be, úgy a λ -t is méterekben kapjuk. A rezgőkör önindukciója (L) és kapacitása (C) adataiból számíthatjuk ki a keletkező rezgésszámot:

$$f_{[H_2]} = \frac{159}{\sqrt{L_{[H]} \cdot C_{[\mu F]}}} \quad (8)$$

10. ábra keletkező rezgésszám meghatározása [4]

Az elektromágneses hullámok igen széles skáláját ismerjük, melyek frekvenciájukban, terjedésükben, hatásaikban különböznek egymástól.

A rádiófrekvenciás hullámtartományban a szórakoztató és hírszóró sávok mellett vannak a hajózás, a repülés, az országok közötti híradás, a meteorológiai szolgálat, a televízió stb. céljaira fenntartott hullámsávok is. Ugyanígy kapnak az amatőrök is a különböző nagyságrendű frekvenciatartományokban egy-egy, mindig keskenyebb sávot a saját forgalmuk lebonyolítására.

A térhullámok terjedése pedig nagyrészt a légkör felső rétegeiben zajlik le, befolyásolja terjedésüket, tehát az alsó rétegeken kívül a felső légrétegek tulajdonsága is. Mindezek a hullámterjedést elősegítő vagy gátló hatások változnak az időben és a térben.” [5]

„Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége, mint már láttuk, kerekén 300 000 km/s. Ez a sebesség a világűrre, a vákuumra vonatkozik. Földi viszonylatban a

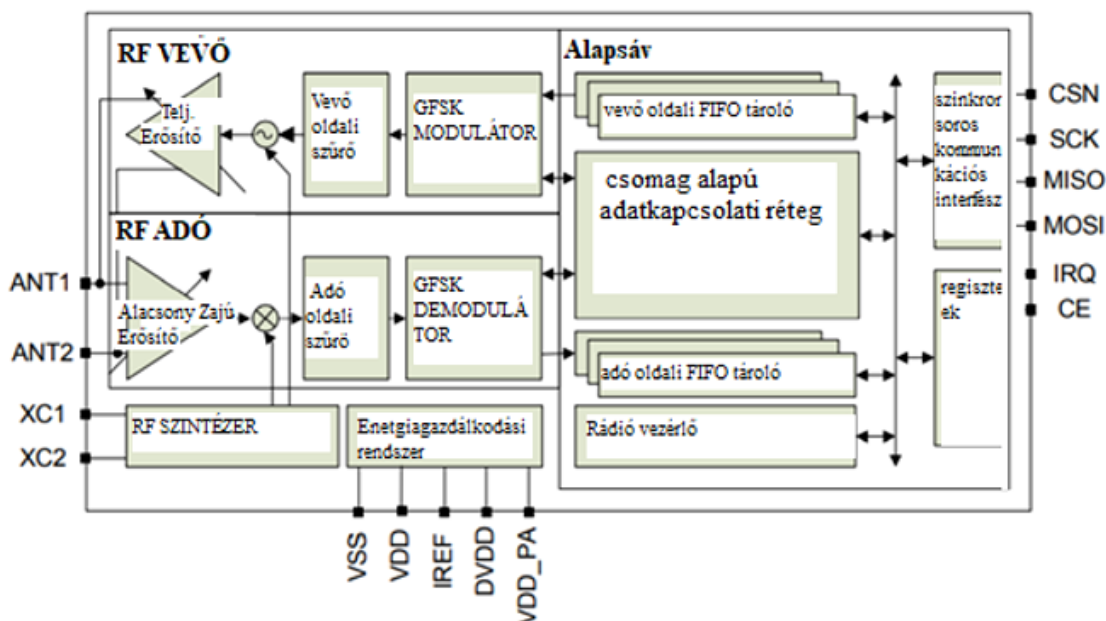
rádióhullámok mindig a légkörben haladnak, tehát közegben, mely bizonyos ellenállást gördít terjedésük elé, csökkent a sebességüket. Ez az ellenállás azonban a légkörben csekély. Tudnunk kell azonban azt is, hogy az elektromágneses hullámok terjedésénél kétféle sebességről beszélünk: a csoportsebességről és a fázis sebességről. Amikor arra gondolunk, hogy a rádióhullám az adóantennából kiindulva, mint valami mozgó energia halad tova a térben és a vevőantennában áramot indukál, az ionoszférában az elektronokat mozgatja stb., akkor a csoportsebességre kell gondolnunk (v_{cs}).

A „fázissebesség” szintén igen lényeges szerepet játszik a hullámok tovaterjedésénél. Fázissebességnek valamely hullámon a rezgés fázisának terjedési sebességét nevezzük. „ [5]

Az elmélet után az RF modulokat kiválasztása következett. Összehasonlításakor három hasonló típusút rádiófrekvenciás modul vizsgálta. Ez a RF433, Lora és a HC-12. Az utóbbi rendkívül drága, míg a Lora sebességben lassabb, mint az általam választott, végül az RF433 esetén megint az átviteli sebesség döntött. Az Nrf24-es sorozat esetében az adat átviteli sebessége akár 2Mbps is lehet, ami vezérlése esetén előnyös lehet. Az én esetemben a Nordic által gyártott nRF24L01 sorozatú egy chipes 2.4GHz adó-vevő modul választottam, hiszen sok Arduino projektben megtalálható és specifikációi szerint is ideális erre a feladatra. A kommunikáció során szükség van legalább egy küldőre, aki az információ modulálásáért és küldéséért is felel és egy fogadóra, aki fogadja a jelet és demodulálja. Az adatátviteli modulálásakor GFSK (magyarul: Gauss Frekvenciabillentyűzés) modulációról beszélünk. Bluetooth rendszerekben találunk ilyen típusú modulációs eljárást, mivel jobb spektrális hatékonysága van az FSK modulációhoz képest. 2,4 GHz ISM² rádiósávú és különböző adatátviteli sebességek szerint működhet 250kbps-tól egészen 2 Mbps-ig. A feszültségtartománya 1,9-3,6 V között van. Szerencsére az Arduino biztosít számunkra 3.3 V feszültséget, így üzemeltethető vele. Lábkiosztás szerint a modulon két adat, egy föld, egy táp és egy órajel pin található. Kikapcsolt állapotban mindösszesen 20 μ A körüli áramot fogyasztanak. Az ESB³ protokoll biztosítja a két irányú adatáramlást az eszközön oda és vissza.

² ISB: azaz ipar, tudományos és orvosi célra fenntartott alkalmazásra kijelölt frekvenciasáv

³ ESB: Enhanced Shock Burst



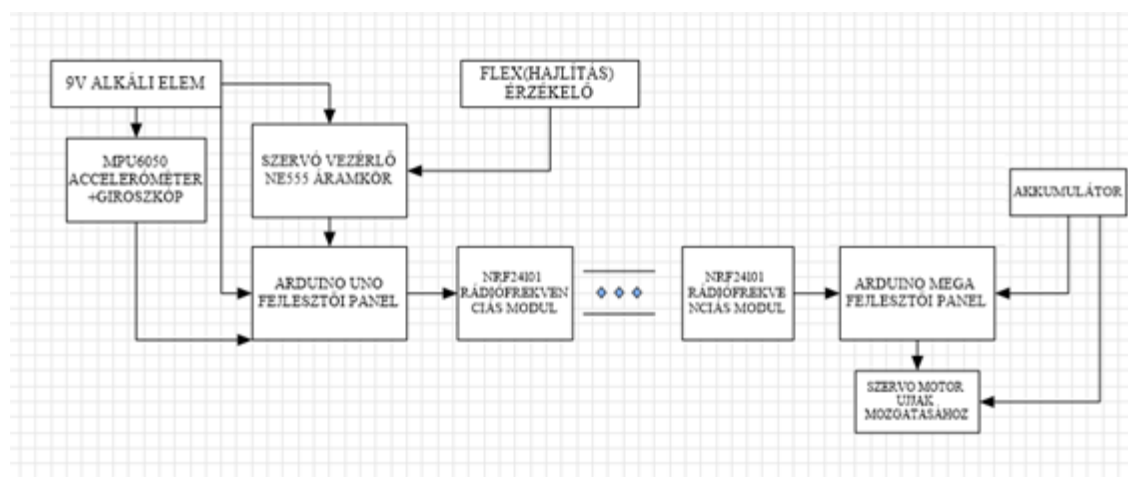
11. ábra RF24IO1 blokk diagramja és kivezetései

Egy célszerű választás hiszen a modul biztosítja a két irányú kommunikációt [6]

A modul szerinti pinek számát, elnevezését mutatja a 11. ábra. Az energia gazdálkodási rendszer, amely a biztos tápellátásért biztosítja a VSS és a VDD lábak bekötésével valósul meg. Mivel az eszköz csak a soros adatkommunikációt tudja, így szükség lesz két adatvezetékre is. A képen a CE, CSN megnevezésű engedélyező pinek a jobb felső sarokban láthatóak, míg az SCK jelzésű láb az adatátvitelhez szükséges órajel lába. SPI kommunikáció esetében lesz egy mester, ami maga az Arduino és egy szolga, ez maga a modul lesz. Soros kommunikáció esetében külön címzés nem történik, mint az i2C esetében, és adatátvitelkor az órajellel egyidőben történik.

Az AtMega2560 típust választottam a robotkar vezérlésére, amely kellő port számmal rendelkezik az általam tervezett projekthez. A választott Arduino 54 digitális bemeneti és kimeneti portjából, 15 láb használható PWM-ként, ezenkívül több analóg bemenettel rendelkezik. Továbbá UART, RX, TX csatlakozók is megtalálhatóak rajta, mint az UNO esetében. Hasonlóan, mint kisebb társa bizonyos kommunikációs formákat, mint az SPI, TWI is tudja. Méretei nem kimondottan térnek el az UNO-tól, ezért kisebb helyekre ugyanúgy felhasználható. Ha nagyobb projektet tervez az ember célszerű ezt a típust érdemes használni, főleg, ha memóriaigényesebb munkát tervezünk vele, mivel a Mega2560 szériája rendelkezik a legtöbb SRAM-mal (8kB), Flash memóriája pedig 256kB. Az UNO-hoz képest 4-szer nagyobb memóriaháttérrel rendelkezik.

b) összeállítás:



12. ábra Vezérlés megoldása blokk diagramban (saját kép a Clickchart Diagram. szoftver segítségével).

Amint látható az ábrán két igazából külön lévő blokkvázlatról van szó. A baloldalon maga a vezérlőkesztyű található, a jobb oldalon lévő pedig a robotkar részeinek blokkja. Látható, hogy a kapcsolásban az akkumulátort magát az Arduino MEGA-t és a szervomotorokat látja el. A kesztyűnél viszont a gyorsulásmérőt, az 555-ös áramkört és magát az Arduino UNO-t látja el a 9V elem. Az MPU6050 gyorsulásmérő és giroszkóp által mért adatokat az „mpu.getmotion” parancs megfelelő megadásával változóba írjuk. Segítségével, a fejlesztőkörnyezet feldolgozza és továbbítja az RF24 rádiófrekvenciás modulnak. Az UNO kellő mennyiségű PWM port-tal rendelkezik, így elegendő az NE555 áramkör kimeneti PWM jeleinek az impulzus idejének olvasásához. Ehhez szükséges a pulseIn() nevű utasítás. A PWM jel előállításában az ujjakra ráhelyezett hajlításerzékelők is segítenek, amelyek ugyanúgy részei az áramkörnek. Az ujjak hajlításával az ellenállás értéke növekszik, ezzel változtatva az impulzus idejének hosszát, vagyis magát a kitöltési tényezőt. Fix frekvenciáról beszélünk, így változhat maga a kitöltési tényező. A vezeték nélküli kommunikációban és az adatok elküldésében a Nordic Semiconductor által gyártott RF modult használtam. Az nRF24L01 rádiófrekvenciás modul működtetése soros perifériás interfészen keresztül történik. A modul adóként, és vevőként is működhet, ezt korábban a 11 ábrán feltüntettem, hozzátenném, hogy az RF modulok általában fél-duplex kommunikációra képesek. A vevőoldalon másképp kifejezve a robotkar oldalánál nézve a beérkező információt fogadja, majd az Arduino mega felé továbbítja a kapott adatokat, amiket tömbökben helyeztem el. A 12. ábrán továbbá látható, hogy a motorok akkumulátorról működnek. A szervomotorok pozicionálását végül maga az Arduino

végzi. A motorokat az analóg portokra kötöttem rá, hiszen ott lehet megfelelően vezérelni őket.

A lényegesebb modulok lábainak kiosztását a következő módon foglaltam össze, egyszerűbb táblázatos formában (13. ábra)

RF24	GND	CE	SCK	MISO	IRQ	MOSI	CN	VCC
UNO	GND	7	3	4	-	9	8	3.3 V

MPU6050	VCC	GND	SCL	SDA	INT
UNO	5V	GND	A4	A5	2

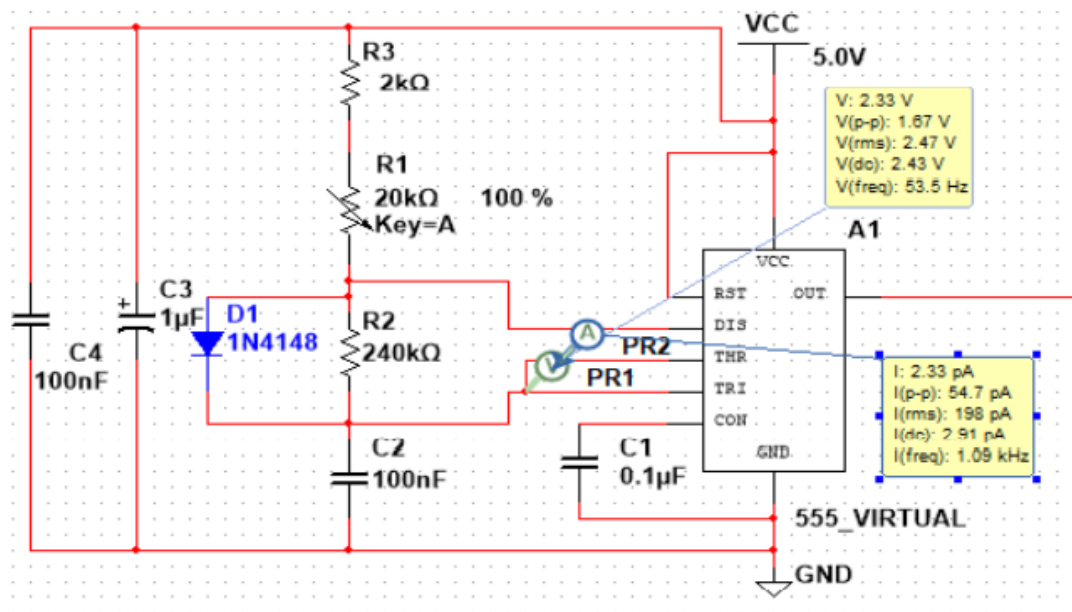
NE555OUT	PWM1	PWM2	PWM3	PWM4	PWM5
UNO	3	5	6	10	11

13. ábra RF, mpu6050 modul és az NE555 áramkör kimeneteinek bekötése táblázatba foglalva (saját SZERKESZTETT táblázat)

A modulok helyes bekötésében a 13. ábra segít. Külön figyelni kell programozáskor is, hogy a megfelelő lábakat adjuk meg, amelyekkel a bekötést elvégeztük. Az Arduino-tól küldött adatokat az RF modul irányába a 9-es lábon, míg a másik irányba tartó adatáramlást a 4-es lábon történik. A kommunikációhoz szükséges az órajel, a táblázatban SCK néven látható. Angol megnevezése serial clock. Az 555 áramkör kimeneteit a 3,5,6,10,11 lábra kötöttem rá. A kesztyű összeállításához szükséges modulok bekötését így megfelelően taglaltam. A robotkar lábkiosztásánál az RF modul és az LCD bekötéséről lesz szó. Az RF modul adatvezetékei a 12. és 13. lábak lesznek. (MISO-13, MOSI-12) Végül az órajel az RF modul a 4-es lábról kapja.

Az áramkör analíziséhez és tervezéséhez a Multisim nevű szoftver használtam. Astabil üzemmódban működő 555 időzítő IC ilyenkor folyamatos négyszög alakú impulzusokat szolgáltat, amelyek meghatározott frekvencián történik. A kimeneti jel változtatásához két ellenállás (R1, R2) és egy kondenzátor szükséges. A 0.1 μ F kapacitású kondenzátor egyik végét a NE555 control voltage lábához, míg a másikat a földre kötöm. Az NE555 threshold és a trigger bemenetei a C2 kondenzátorhoz kapcsolódnak. A felső és alsó komparálási szint össze van kötve. Működése során kezdetben a kondenzátor nincs feltöltve, ilyenkor a trigger kevesebb, mint a tápfeszültség harmada. A kondenzátor R1 és R2 ellenállásokon keresztül töltődik, amíg a tápfeszültség kétharmadát el nem éri. Ilyenkor a kisütő tranzisztort kinyit és R2 ellenálláson keresztül kisüti a kondenzátort.

Amikor eléri a tápfeszültség egyharmadát a kisütő tranzisztor lezár és R1, R2 ellenálláson keresztül újra töltődik. A 14. ábrán a C4 és C3 jelzésű kondenzátort a folytonos tápfeszültség biztosításához kell.



14. ábra Multisim nevű szoftverrel tervezett áramköröm látható

A tervezés folytatásához elengedhetetlen a hajlítás érzékelő ellenállásának meghatározása. A mérés során a hajlítás érzékelőt egy MAXWELL gyártmányú MP-25103 4 jegyű digitális mérőműszerrel mértem 20 kohm-os állásban. A névleges értéktől eltérően 10kohm helyett 8,6kohm-ot mértem, ez az alapértékem. A hajlítás érzékelő középpontjától érő terhelés következtében az ellenállása jelentős növekedést mutat, ujjak hajlítása során. A vezérlőkesztyű ujjain elhelyezkedő érzékelő szenzorok hajlítása során maximálisan 25kohm-ot tudtam kimérni. Tervezésnél tehát a 8,6 kohm-ot vettem alapul, aszerint számoltam ki a szükséges ellenállás és kondenzátor értékeket. Mivel a hajlításérzékelő csupán 8-20 kohm-ig tartományig mértem, így sajnos a négyszög impulzus t_{high} ideje sem lesz túl nagy. A teljes vezérlése 0.5ms-tól egészen 2ms-ig tart.

Hajlítás szöge [°]	Ellenállás értéke [kΩ]
10	8,68
20	9,22
30	10,23
40	10,95
50	11,08
60	11,63
70	12,51
80	14,05
90	17,03

15. ábra Flex szenzor hajlítás következtében történő ellenállás változás táblázatos formában

A szükséges adatokat A 15. ábrán jelzett táblázatában összefoglaltam. A mért értékeket figyelembe véve, annak karakterisztikáját elkészítve, némi eltérést kapunk az ideális egyenestől. Az említett egyenes, mely az Excel táblázatkezelő program segítségével készült az alsó képen látható. A függőleges tengelyen az ellenállás, míg a vízszintes tengelyen az elhajlás szöge látható. A pirossal jelölt az ideális és kékkel a valós karakterisztika látható kilohomban megadva.



16. ábra Hajlítás szenzor karakterisztikája Excel segítségével. Az ellenállás kilohomban megadott értéke a hajlítás szögének függvényében

Méretezéskor meghatározható megfelelő frekvencia és ezzel akár a periódus idő is. Az impulzus idő meghatározása a következő módon történik:

$$t_{high} = \ln(2) \cdot (R_1 + R_2) \cdot C \quad (9)$$

Az egyes impulzusok alacsony impulzus idejét a következők szerint számolom:

$$t_{low} = \ln(2) \cdot R_2 \cdot C \quad (10)$$

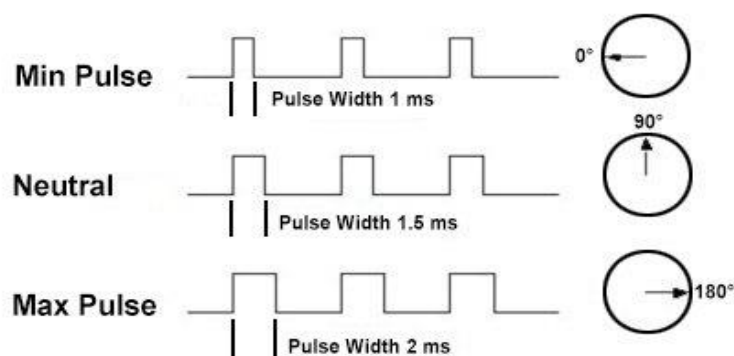
Ezután meghatározható a periódus idő és ezzel együtt a frekvencia, végül pedig maga a kitöltési tényező.

$$f = \frac{1}{t_{high} + t_{low}} = \frac{1}{\ln(2) \cdot (R_1 + R_2) \cdot C} \quad (11)$$

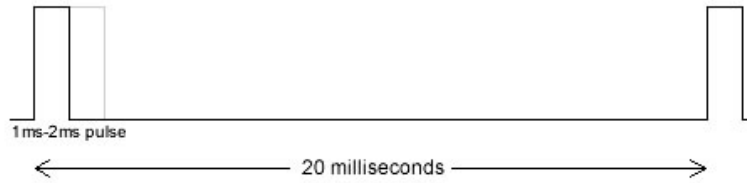
$$duty = \frac{t_{high}}{t_{high} + t_{low}} * 100 \quad (12)$$

A természetes log 2 konstans, ami 0,693147 (kerekítve 6 záró számjegy), de az elemek értékeinek meghatározásánál kerekíthetjük 0,69 vagy számolhatunk 0,7-tel is. Ahhoz, hogy a felfutási idő kisebb legyen, mint a t_{low} . R2-vel párhuzamosan kapcsolódik egy „1n41**” sorozatú egyenirányító dióda. Ezzel R2-t söntöljük a ciklus nagy részében, így az intervallum csak R1- től és C-től függ, tehát némiképp módosul majd a képletünk. a dióda feszültségesésén alapuló kiigazítással. A dióda feszültségesése lelassítja a kondenzátor töltését, így a magas idő hosszabb, mint a várható és az $\ln(2) \cdot R_1 C = 0,693 R_1 C$. Az alacsony négyszögjel ideje megegyezik az itt leírt képlettel:

$$t_{low} = 0,693 R_2 \cdot C \quad (13)$$



17. ábra A szervók pozicionálásához szükséges jelalakok [13]



18. ábra a szükséges jelalak, és pulzus idő látható számoláshoz ebből indulunk ki [13]

A tervezés menete:

Fontos, hogy a számolt kondenzátor kapacitás értéke kísérletek alapján kerüljön meghatározásra, majd szabványértékekből legyen kiválogatva. Egyenirányító diódát iktatva az áramkörben a számolás menete eltérőbb lesz: (50% kitöltési tényező alatt leszünk, ami pont jó)

$$thigh = \ln \left(\frac{2V_{cc} - 3V_{dióda}}{V_{cc} - 3V_{dióda}} \right) * R * C \quad (14)$$

$$thigh = \ln \left(\frac{2 * 5V - 3 * 0,7V}{5V - 3 * 0,7V} \right) * R * C = \ln(2,72) * R * C \quad (15)$$

Fontos a kezdő thigh idő megadása, R értéke itt R1 és Rflex összegét jelenti.

$$1ms = 1,002 * (R1 + Rflex) * C \quad (16)$$

$$R1 = \frac{1ms}{\ln(2,72) * C} - Rflex = \frac{10^{-3}}{\ln(2,72) * 100 * 10^{-9}} - 8600k\Omega = 1,4k\Omega \quad (17)$$

R1 értéke meghatározható Rflex kezdeti értékével, illetve az általam választott kondenzátor értékével. 47nF kapacitás érték esetén elfogadható ellenállás érték nem jönne ki a számításaim szerint. A korábbi méréseim szerint tovább számolva.

$$tlow = T - thigh = 20ms - 1ms = 19ms \quad (18)$$

Ezzel tlow értékét is meghatároztam.

$$tlow = \ln(2) * R2 * C \quad (19)$$

Végül behelyettesítve az értékeket egy ismeretlen marad.

$$tlow = 0,693 * R2 * 100 * 10^{-9} \quad (20)$$

Rendezve megkapjuk a szükséges ellenállásértéket is.

$$R2 = \frac{19 * 10^{-3}}{0,693 * 100 * 10^{-9}} = 274 k\Omega \quad (21)$$

Ezzel meghatároztuk a szükséges értékeket. A kitöltési tényező meghatározása: 50 % alatt lesz, ami nekünk megfelelő.

$$duty = \frac{thigh}{thigh + tlow} * 100 = 5\% \quad (22)$$

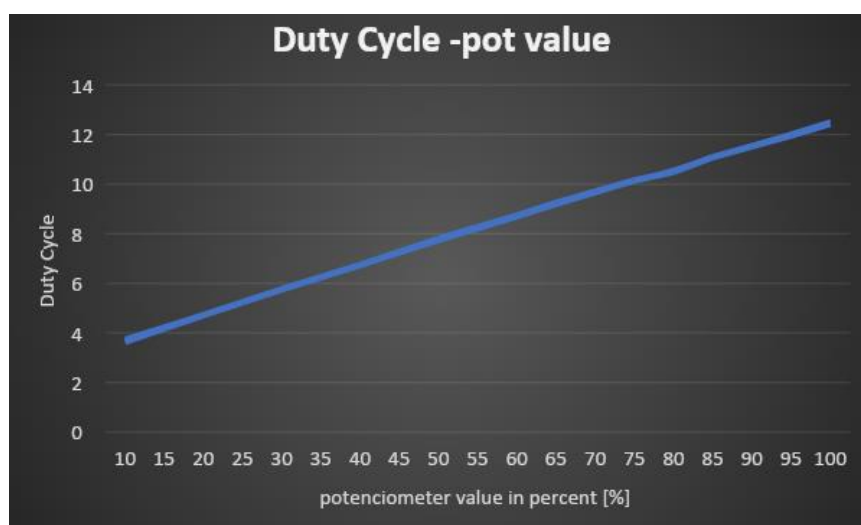
2ms thigh idő esetén a kalkuláció során várt értékek a 19. ábrán vannak megadva %-ban feltüntetve. Feltétele áramkörünknek, hogy a tápfeszültség négyzete és az ellenállás hányadosánál nagyobb értéket kapjunk.

$$duty = \frac{thigh}{thigh+tlow} * 100 = 10\% \quad (23)$$

$$WR1 \gg \frac{V_{cc} * V_{cc}}{R1} \quad (24)$$

Kitöltési Tényező	Frekvencia [Hz]	potenciométer értéke százalékban [%]	Jel magasszintje [ms]	Periódus [ms]
3,6417112	53,47593583	10	0,681	18,7
4,1808511	53,19148936	15	0,786	18,8
4,7142857	52,91005291	20	0,891	18,9
5,2368421	52,63157895	25	0,995	19
5,7591623	52,35602094	30	1,1	19,1
6,25	52,08333333	35	1,2	19,2
6,7357513	51,8134715	40	1,3	19,3
7,2680412	51,54639175	45	1,41	19,4
7,7948718	51,28205128	50	1,52	19,5
8,2653061	51,02040816	55	1,62	19,6
8,7309645	50,76142132	60	1,72	19,7
9,2424242	50,50505051	65	1,83	19,8
9,6984925	50,25125628	70	1,93	19,9
10,15	50	75	2,03	20
10,497512	49,75124378	80	2,11	20,1
11,089109	49,5049505	85	2,24	20,2
11,527094	49,26108374	90	2,34	20,3
11,960784	49,01960784	95	2,44	20,4
12,439024	48,7804878	100	2,55	20,5

19. ábra A feltüntetett fontosabb adatok táblázatos formában látható.

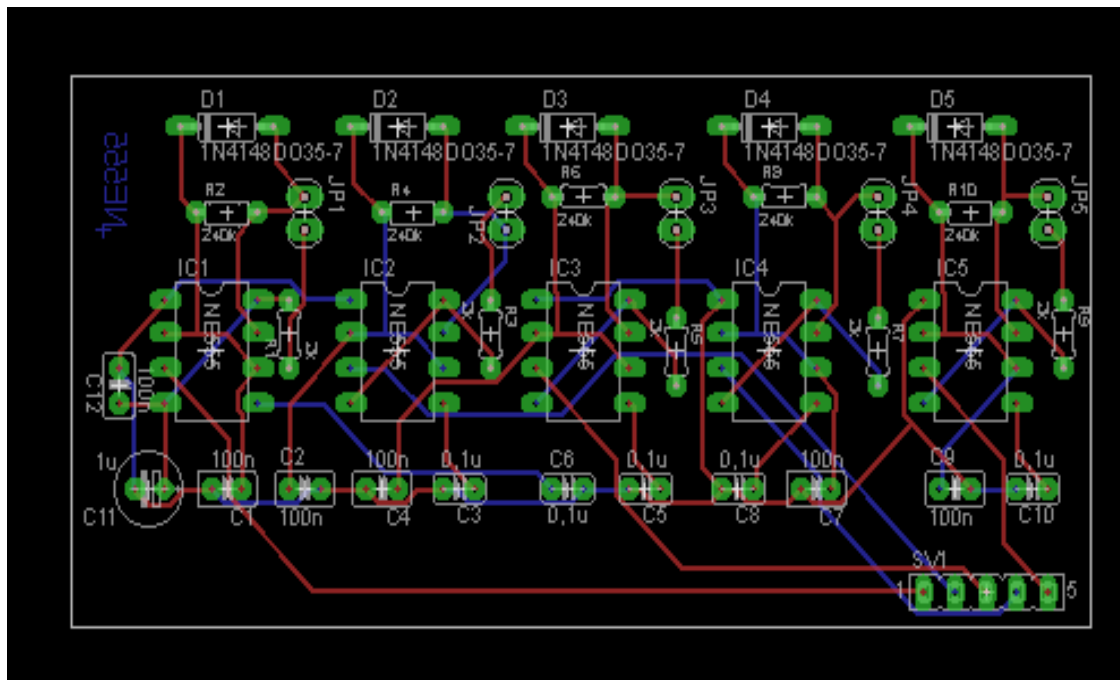


20. ábra A kitöltési tényező a potenciométer %-ban megadott értéke szerint. DutyCycle-kitöltési tényező az y tengelyen és az x tengelyen a potenciométer %-ban megadott értéke látható

is. Az áramkörhöz kimenetéhez egy FE05-1 tokozású (SV1) jelölésű kimeneti pint is hozzáadok. Az egyes modulokhoz külön feltüntettem a hozzátartozó ujjakat, így maga a rajz is érthetőbbé válik. Az alkatrészlistában, melyet táblázatos formában megadtam a következő oldalon, szerepelnek az egyes kondenzátorokhoz tartozó értékek, típusok, tokozások. Itt az egyes tűskék típusa is megtalálható, melyet a nyáktervezés során felhasználtam, ezek az egyes hajlítás érzékelő szenzorhoz tartoznak. A következő oldalt látható a nyákterv és az alkatrészlista.

Alketrész	Érték	Tokozás	Könyvtár	Elfordulása
C1	100n	C025-025X050	rcl	R270
C2	100n	C025-025X050	rcl	R90
C3	0.1u	C024-024X044	rcl	R270
C4	100n	C025-025X050	rcl	R270
C5	0,1u	C024-024X044	rcl	R270
C6	0,1u	C024-024X044	rcl	R90
C7	100n	C025-025X050	rcl	R270
C8	0,1u	C024-024X044	rcl	R270
C9	100n	C025-025X050	rcl	R270
C10	0,1u	C024-024X044	rcl	R90
C11	1u	E2,5-6E	rcl	R270
C12	100n	C025-025X050	rcl	R270
D1	1N4148DO35-7	DO35-7	diode	R90
D2	1N4148DO35-7	DO35-7	diode	R90
D3	1N4148DO35-7	DO35-7	diode	R90
D4	1N4148DO35-7	DO35-7	diode	R90
D5	1N4148DO35-7	DO35-7	diode	R90
IC1	NE555	DIL-08	st-microelectronics	R0
IC2	NE555	DIL-08	st-microelectronics	R0
IC3	NE555	DIL-08	st-microelectronics	R0
IC4	NE555	DIL-08	st-microelectronics	R0
IC5	NE555	DIL-08	st-microelectronics	R0
JP1		1X02	pinhead	R0
JP2		1X02	pinhead	R180
JP3		1X02	pinhead	R0
JP4		1X02	pinhead	R0
JP5		1X02	pinhead	R0
R1	2k	0204/5	rcl	R180
R2	240k	0204/5	rcl	R90
R3	2k	0204/5	rcl	R0
R4	240k	0204/5	rcl	R90
R5	2k	0204/5	rcl	R0
R6	240k	0204/5	rcl	R90
R7	2k	0204/5	rcl	R0
R8	240k	0204/5	rcl	R90
R9	2k	0204/5	rcl	R0
R10	240k	0204/5	rcl	R90
SV1		FE05-1	con-lsta	R90

1. táblázat 555 áramkör alkatrészlistája(saját)

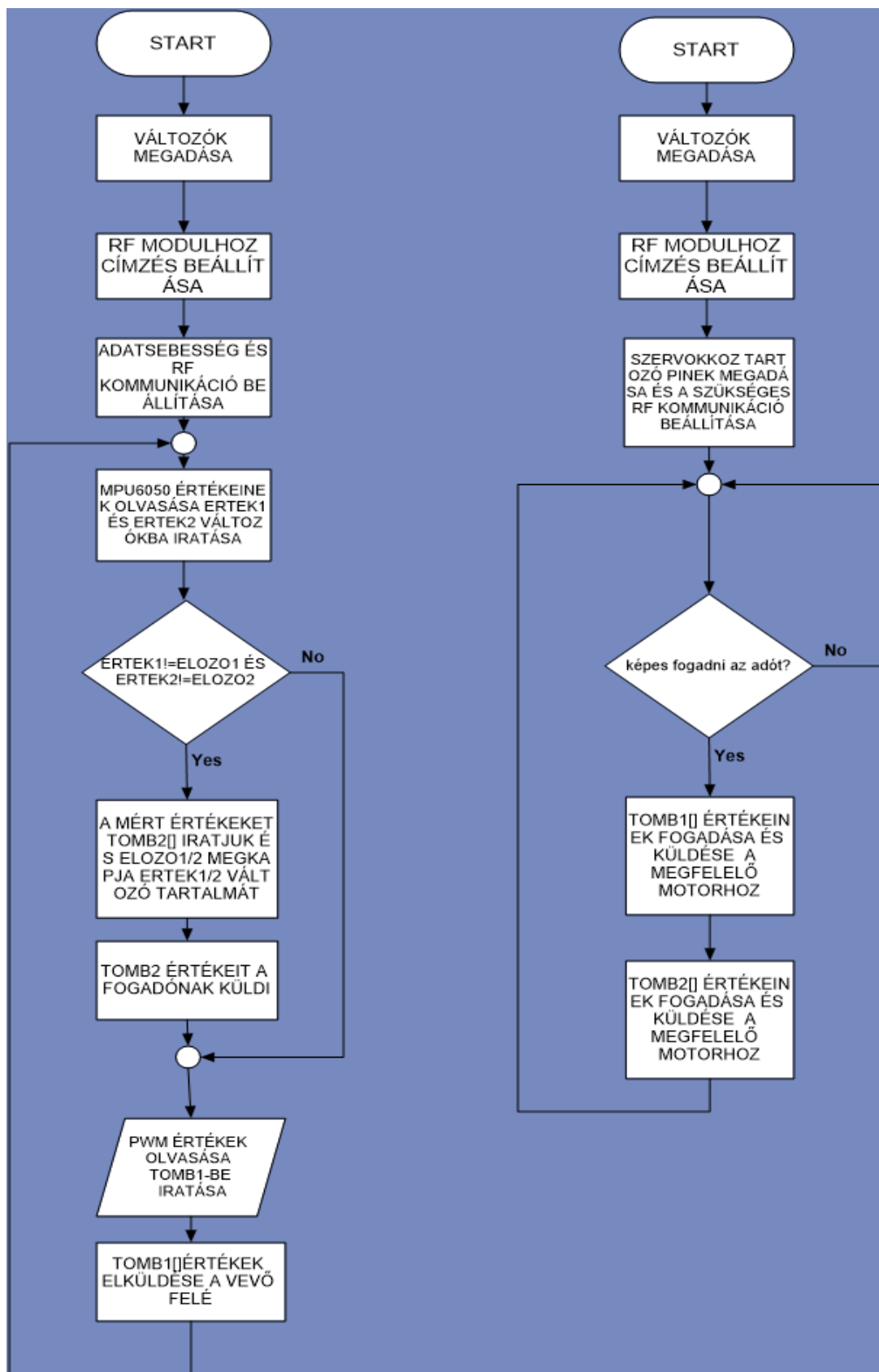


22. ábra Az NE555 áramkörhöz tartozó Nyákterv(saját)

c) Programozás

Az NE555timer IC által szolgáltatott jelek az Arduino 3,5,6,10,11 lábaira érkeznek meg, ezt maga a fejlesztőkörnyezet pedig feldolgozza. A lábakat a pinMode() funkció segítségével állíthatom bemenetre. Ez azt jelenti, hogy az érkező azt a bemenő jelet olvassa, ami arra a lábra jut. A további folyamatokhoz, elengedhetetlen a pulseIn() használata, mivel az egyes bemenetekre érkező négyszögjel t_{high} idejét méri meg. Ezt a folyamatot a programsor lefutása során minden egyes beállított bemenettel ugyanúgy végrehajtja, majd a map() a fejlesztőkörnyezethez tartozó matematikai funkció segítségével egy másik tartományba vihető át maga a mért idő, ami ebben az esetben a motor elfordulásához szükséges tartomány lesz. Az értékeket egydimenziós tömbök segítségével viszem át a fogadónak. Az adatok fogadását egy ugyanolyan típusú modul végzi el, amit a másik Arduino feldolgoz és a servo.attach() utasítás segítségével a megfelelő lábra kötött servo motor irányítható. Itt szükséges a zárójelben a pin megadása, hogy a megfelelő láb kapja meg a jelet. A programsorhoz az MPU6050 gyorsulásmérő adatait is átküldöm, amely a fent említett módon kerül a megfelelő szervomotorhoz.

A programsorom a mellékletekben megtalálható, amelyhez tartozik egy „receiver „vagyis egy fogadó és egy küldő, amit transmitter-ként neveztem meg.



23. ábra A Clickchart szoftver segítségével szerkesztett adó és a vevő folyamatábrája (balra az adó és jobbra a vevő található)

IV. Továbbfejlesztési lehetőségek

a. Összefoglaló

Szakedolgozatom utolsó témaköre lett volna a robotkar ujjait nyomásérzékelővel történő ellátása. Ez különböző anyagok vizsgálatára és az eredmény számítógépes megjelenítésére lett volna jó. A robotkart nemcsak vezérelhető lenne, hanem egyben a kesztyűre ráhelyezett szenzorok segítségével, nyomás érzékelésére és kijelzésére is alkalmas lenne. A nyomás, illetve a szenzor működési elvének ismertetése, amely a továbbfejlesztés során elengedhetetlen ezeknek rövid ismertetése.

„A nyomás SI mértékegysége a Pascal (Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Gyakran használt egység (csak gázok és folyadékok nyomására) a bar (megfelel a normál légköri nyomásnak)

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$

Blaise Pascal (1623-1662) francia matematikus, fizikus, filozófus

Szilícium alapú mechanikai érzékelők előnyös tulajdonságai: Jól definiált elektromos tulajdonságok mellett rendkívül jó mechanikai tulajdonságok. Jelentős méretcsökkentés lehetőségei. Tömeggyárthatóság. Integrálhatóság. PIEZOREZISZTÍV HATÁS

Elektromos ellenállás és mechanikai feszültség/deformáció.

Ellenállás változás okai: méretváltozás, illetve a fajlagos ellenállás megváltozása.” [7]

„Piezorezisztív hatás: fémeknél kisebb, félvezetőknel nagyobb mértékben megváltozik a vezetés alakváltozás (nyúlás) hatására. Piezojunction effektus: a külső erőhatással van a pn átmenetek karakterisztikájára is. A MOSFET-ek szaturációs árama nyomásfüggő. Piezoelektromos hatás: néhány anyag polarizálódik külső mechanikus erő hatására. Gyakran használják mechanikus vagy akusztikus jelek elektromos jellé alakítására. „, [7]

„Kapacitásváltozás:

Mechanikai mennyiségeket (erő, súly, tömeg, elmozdulás, gyorsulás, nyomás, áramlási sebesség, folyadék szint, sűrűséget...) mérnek. A mérés közvetlenül a szenzor paramétereire gyakorolt hatáson keresztül történik, ez többnyire szintén mechanikai természetű. A mérendő mennyiség szerint (pl. nyomásmérő, gyorsulásmérő)

A jelátalakítás módszere szerint: optikai, piezoelektromos, Piezorezisztív, kapacitív” [7]

Tömb érzékelő kapcsán az az angol irodalomban a nyomásérzékelő mátrixokat a sensitronics vagy a kitronix gyártók által a weboldalukon feltüntetett típusok szerint dolgoznék. A termékek 20 dollár környékén elérhetőek és megrendelhetőek. A weboldalon feltüntetett termékük fejlesztőkörnyezet segítségével megoldható lehetne a kommunikáció. Legyen szó akár STM32-ről, AtMega2560. A megfelelő fejlesztőkörnyezet kiválasztása a feladat nehézségét tehát a szükséges memóriahasználata az adatfeldolgozás sebessége vagy kellő pinnel rendelkezik-e maga az eszköz. Hiszen mátrix érzékelőknél ez is egy fontos szempont.

Fejlesztési lehetőség kapcsán a robot tenyerére rögzített piezorezisztív vagy kapacitív elvű tömbérzékelővel szeretném megvalósítani. Kiolvasásnál shiftregiszterek és multiplexerek segítségével, illetve egyetlen mikrovezérlővel terveztem volna megalkotni. „A lineáris méretek csökkenésével a térfogat, és ezzel együtt a tömeg/súly is a harmadik hatvánnyal csökken. Emiatt pl. a finommechanikában, vagy akár a mikro mechanikában az objektum vagy eszköz súlyából eredő erőhatásokra nem kell méretezni. A lineáris méretek csökkentésével a felület négyzetesen, azaz a térfogathoz képest egy hatványkitevővel kisebb mértékben csökken. Tehát a kisebb objektum, eszköz vagy szerkezet viszonylag nagy felületű lesz. Ennek egyik következménye, hogy egy kisebb szerkezet relatíve nagyobb teljesítményekre képes, mivel a relatíve nagyobb felület miatt jobbak a hűtési viszonyok. A másik, még fontosabb következmény, hogy megnő, illetve dominánssá válnak a felületi hatások. A lineáris méretek csökkenésével a rendszer sajátfrekvenciája növekszik. Ez azt jelenti, hogy kisebb rendszer gyorsabb működésre képes. A lineáris méretek csökkenésével a kapacitások (elektromos-, hő-) is csökkennek. Ennek következménye szintén a gyorsabb működés. A lineáris méretek csökkenésével eddig figyelmen kívül hagyott fizikai törvények kerülnek előtérbe. Pl. felületi feszültség, vagy kvantummechanikai hatások.” [7]

Általános ismertetése a szenzor méreteivel is szükséges, mert az érzékelő mátrixot fizikai méreteinek csökkentése mellett annak elmélet részét is fontosnak tartom megfelelően taglalni.

Olyan szenzort érdemes választani, ami több nyomáspontot is képes érzékelni, tehát nagy felbontású. A kijelzésében akár az Arduino szoftvere segíthetne. A különböző nyomáspontokat mátrixokban jelenítené meg. A kijejeztetéséhez vagy számokkal jeleztetném ki vagy egy látványosabb megoldás mellett maradnék. Másik elképzelésem az volna, hogy színskála szerint mérné a mérendő tárgy felületét, információt szolgáltatva így a felhasználónak.

Szakdolgozat Témájának Ismertetése

a. Összefoglalás:

Szakdolgozatom az akkumulátor töltöttségszint mérő áramkör és a robotkar távoli vezérlésének témakiírását teljesítettem, a nyomásérzékelő témakört a konzulensemmel történő egyeztetések után, annak csak elméleti részét dolgoztam ki. Az első kiírt témám egy akkumulátor töltöttségszint figyelő áramkör megtervezése volt. A tervezés során nem az akkumulátor töltések számát, hanem annak feszültség szintjét jelzi ki. A megfelelő alkatrész kiválasztása és az adatlap tanulmányozása után, annak áramkörét és nyáktervét is elkészítettem. A megvalósított áramköröm az akkumulátor bemenő feszültség szintjét digitalizálja és egy beépített A/D konverter segítségével az átkonvertált értéket egy LCD kijelzővel jeleníti meg. Az áramkör a fejlesztőkörnyezettől külön egy 9V elem táplálásával működik. A kar távvezérlésekor az általam készített vezérlő kesztyűvel egy-egy adatátviteli modul segítségével képes a robotkarral kommunikálni. Az ujjak hajlításának és a kézfej forgatásának adatait az adatátviteli modul rádiófrekvenciás átvitellel küldi el a karnak, amit az Arduino feldolgoz és a szervomotorok felé továbbítja. Munkám második fázisa a kesztyűn lévő hajlításérzékelő áramkörének megtervezése és nyáktervének elkészítése mellett a szükséges alkatrészlista és a gyorsulásmérő szenzor által jelzett értékek továbbítása volt. Végül a szükséges programsorokat, mind az adóhoz és a vevőhöz is elkészítettem. A szükséges kódsorokat a mellékletekben helyeztem el.

b. Summary:

I completed my thesis on the battery charge level measuring circuit and the gesture control of the robot arm, the last part of my thesis was only theoretical, after discussions with my consultant. My first topic was the design of a battery charge level monitoring circuit. The design does not show the charge level of the battery, but its voltage, which also provides information about its status. After selecting the right component and studying the datasheet, I designed its circuit and circuit diagram. The implemented circuit digitizes the continuous electrical voltage level at the battery input using a built-in A/D converter and displays the converted value on an LCD display. The circuit is isolated from the development environment and operates from a 9 Volt battery. When the arm is remotely controlled, it can communicate with the robotic arm via a data transmission module using the control glove I made. The flexing of the fingers and rotation of the hand head is sent to the arm via radio frequency, which is processed by the Arduino and sent to the servo motors. The second phase of my work was to design the circuitry for the bend sensor on the glove and to create a circuit diagram of the bend sensor, as well as to create the necessary parts list and transmit the values indicated by the accelerometer sensor. Finally, the necessary program sequences for both the transmitter and the receiver were prepared. The necessary code lines are given in the appendices.

Felhasznált irodalom

Irodalomjegyzék

- [1] P. I.-. K. Csongor, Digitális elektronika, Debrecen: General Press, 2010.
- [2] L.-. J. Dittman, Bevezetés a digitális mérés technikába, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1975.
- [3] „hestore,” [Online]. Available: https://www.hestore.hu/prod_getfile.php?id=3382. [Hozzáférés dátuma: 18 március 2022].
- [4] „Hestore,” Intersil, [Online]. Available: https://www.hestore.hu/prod_getfile.php?id=5615. [Hozzáférés dátuma: 22 március 2022].
- [5] M. Béla, A RÁDIÓTECHNIKA KÖNYVE I, Budapest: MŰSZAK I KÖNYVKIADÓ, 1956 .
- [6] „Hestore,” [Online]. Available: https://www.hestore.hu/prod_getfile.php?id=8191. [Hozzáférés dátuma: 10 március 25 2022].
- [7] C. D. P. A. Edit, Szerző, *SZENZOROK ÉS MIKROÁRAMKÖRÖK*. [Performance]. Óbudai Egyetem KVK, 2015/2016 tanév 2. félév.
- [8] Z. Abaffy, "web.archive," 27 09 2008. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20080927180757/http://www.cab.u-szeged.hu/local/archi/1998II/h636610.htm>.
- [9] d. S. Boyn, „Amit mindig tudni szeretett volna a piezorezisztív nyomásmérő technológiáról,” [Online]. Available: <http://www.techmonitor.hu/termek-megoldas/vezerles-iranyitas/amit-mindig-tudni-szeretett-volna-a-piezorezisztiv-nyomasmero-technologiarol-20191129>.
- [10] S. S. D.-D. V. H.-A. H.-M. P.-N. S. Kumar, „Gesture Controlled Robotic Arm,” *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLEDGE*, március 2016.
- [11] S. M.-S. B.-D. D.-R. Y.-P. D., „Power Efficient Analog to Digital Conversion for the Li-ion Battery Voltage Monitoring and Measurement,” Bordeaux, 2013.
- [12] [Online]. Available: <https://moderndevise.com/product/terminal-block-137-3-5mm-pitch-2-position-10x/>. [Hozzáférés dátuma: március 2022].
- [13] [Online]. Available: <https://aishack.in/tutorials/servo-motors/>.

letöltve: 2022. március 10., csütörtök, 16:40:21.

<https://moderndevise.com/product/terminal-block-137-3-5mm-pitch-2-position-10x/>

letöltve: 2022. május 10., vasárnap, 15:10:40.

<https://www.18650-akku.hu/lg-mj1-lg-inr18650-mj1-lgdbmj11865>

Letöltve: 2022. március 28., vasárnap, 12:31:44.

<https://aishack.in/tutorials/servo-motors/>

Mellékletek