



SZAKDOLGOZAT

**OE-KVK
2023**

Hallgató neve: **Kalapács Márk**

Hallgató törzskönyvi száma: T009256/FI12904/K

Budapest, 2023



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kalapács Márk

Szakedolgozat száma: SZD2309290841174677H4I6WL

Törzskönyvi száma: T009256/FI12904/K

Neptun kódja: H4I6WL

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Mikroelektronika és technológia specializáció

A dolgozat címe: Víztisztaság-ellenőrzés

A dolgozat címe angolul: Water quality measurements

A feladat részletezése: Tervezzon és készítsen egy elektronikus mérőrendszert, amellyel vízben oldott anyagokkal kapcsolatos paramétereket lehet mérni, így például akváriumban vagy hidropóniás rendszerben.

Intézményi konzulens neve: Horváth Márk

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 12. 31.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 11. 14.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet
Mikroelektronikai és Technológia Tanszék

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott KALAPÁCS MÁRK 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, 2023. 12. 15.

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1) Bevezetés	2
2) A mérőeszköz felépítése, blokkvázlat	3
2.1) Mikrovezérlő	5
3) EASY EDA program.....	9
4) Tápellátás és feszültség szabályozás:.....	12
5) Mérőáramkörök, Mérések elvei:	15
5.1) Hőmérséklet mérés.....	15
5.2) Átvilágítás	19
5.3) Elektromos vezetés és TDS.....	23
5.3.1) Az elektromos vezetés mérésének menete:	25
5.3.2) A vezetőképesség és az oldott sótartalom kapcsolata.....	29
6.) A NYÁK tervezése.....	30
6.1) Alkatrészecskék.....	31
6.2) Tervezőprogram nyújtotta lehetőségek	33
7.) Gyártás és forrasztás	35
7.1) Gyártó és általa alkalmazott gyártási technológiák.....	36
7.2) Forrasztás	37
8.) Összegzés	40
9.) Summary	42
10.) Fejlesztési lehetőségek	43
11.) Köszönetnyilvánítás	43
12.) Ábrajegyzék	44
13.) Felhasznált Irodalom:.....	45

1) Bevezetés

Szakdolgozatom témája egy víz minőségét vizsgáló mérőeszköz tervezése és építése, mely kijelzőjével folyamatos monitorozási lehetőséget biztosít a felhasználónak, alkalmas hidropóniás rendszerek vizsgálatához, ivóvízvizsgálathoz, illetve akváriumok felügyeletére. Olyan kulcsfontosságú adatokat mér a vízben, mint a TDS¹, azaz az összes oldott sótartalom, vagy az EC², azaz a vezetőképesség, és a hőmérséklet, mely befolyásoló tényezőként hat az előbb említettekre.

Az eszköz képes 24 órás megfigyelésre, köszönhetően a hálózatról történő tápellátásnak, de akár hordozható is, ugyanis bele lett tervezve egy 4 darab, védelemmel ellátott 18650-es akkumulátor cellából álló belső energiaforrás. A cellák külső töltést igényelnek, cserélhetőek, és a gyári védelmüknek köszönhetően esetleges fordított polaritással történő behelyezést követően sem mennek tönkre.

Az eszköz olyan alapvető alkatrészekből épül fel, melyeket az egyetem különböző tantárgyai is taglálnak, illetve a mindennapjainkban használt elektronikus eszközök alapvető alkatrészei, mint például a műveleti erősítők, diódák, tranzistorok, feszültség szabályozók.

Az alkalmazott kapcsolások mindegyike szintén az egyetemi tanulmányaim során különböző tárgyakon tanultak és laboratóriumban mértek.

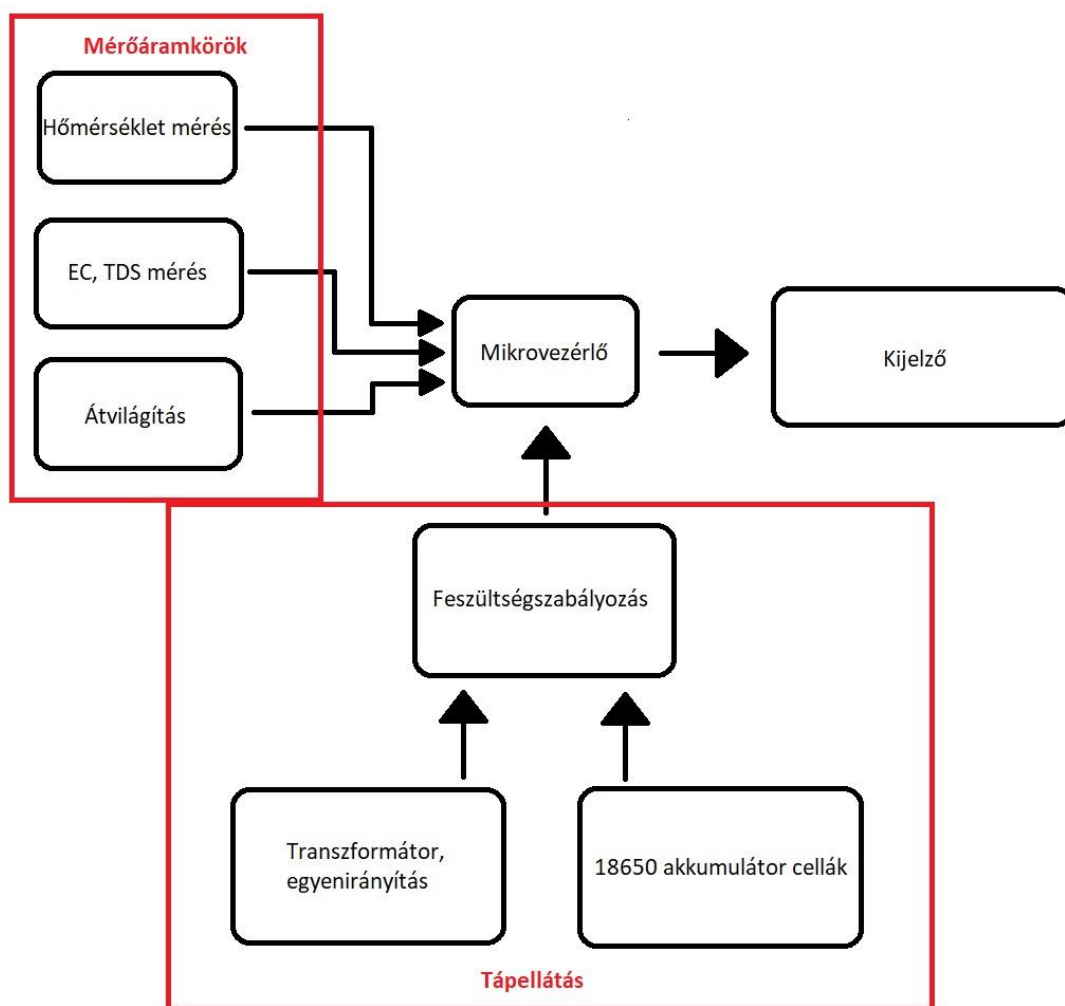
A mérőeszköz maga egyelőre prototípus fázisban van, azonban nem tartom kizártnak, hogy a későbbiekben néhány fejlesztés és méretcsökkentés után akár sorozatgyártásban is alkalmazható legyen. Méretbeli gondot okoz az alkalmazott transzformátor, kijelző, és akkumulátorok típusai, ezek cserélésével és egy korszerűbb mikrovezérlővel egy kisebb, felhasználó barátabb, de ugyan ilyen viszonylag egyszerű felépítésű mérőeszközt kaphatunk.

¹ TDS: Total Dissolved Solids: Összes oldott sótartalom

² EC: Electrical Conductivity: Elektromos vezetőképesség

2) A mérőeszköz felépítése, blokkvázlat

A mérőeszköz úgy lett megtervezve, hogy egyszerre lehessen alkalmazni hálózati feszültségről, mint akár 24 órás megfigyelő, de ugyanakkor hordozható is legyen, kültéri mérések elvégzésére. Ezen feltételek teljesüléséről egy transzformátor, valamint négy akkumulátor gondoskodik. Az alább látható blokkvázlat szemlélteti leegyszerűsítve a felépítést.



1. ábra: Mérőeszköz egyszerűsített blokkvázlata

A blokkvázlatban szereplő mérések további részelemekre bontódnak, ugyanis mindegyikhez tartozik saját mérőáramkör, melyek mindegyike mérőerősítő alkalmazásával egy feszültségszint visszajelzést ad. A mikrovezérlő ezekből a feszültségszintekből tud számolni értékeket, melyeket kiír a kijelzőre.

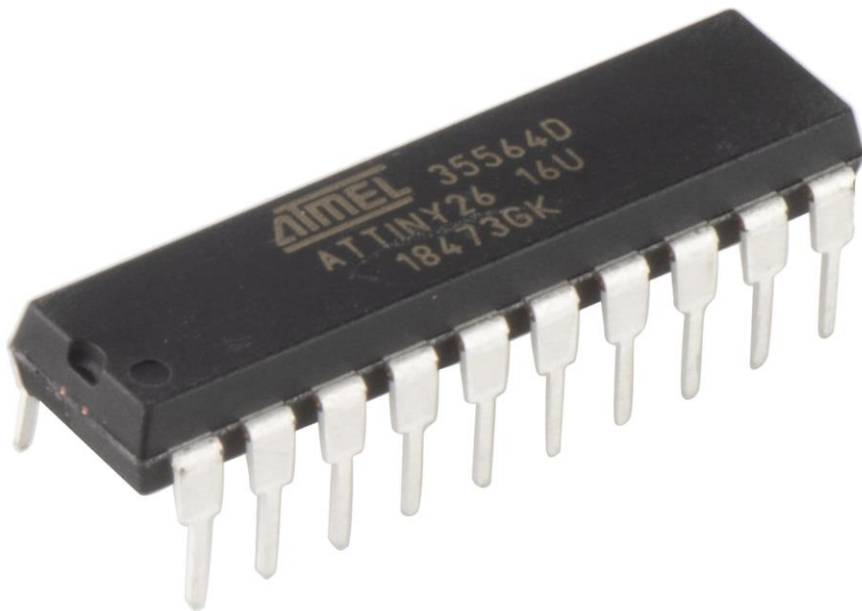
- **Tápellátás:** A hálózati és 24 órás üzemelést egy transzformátor biztosítja, a kültéri vagy hálózat nélküli használatot négy darab 18650-es, gyári védelemmel ellátott akkumulátor látja el. Az előállított egyenfeszültséget disszipatív szabályozók, illetve Z-diódák csökkentik az áramköröknek megfelelő feszültségszintekre.
- **Mikrovezérlő:** A készüléken a mérések feldolgozását és a kijelzőre történő írást egy mikrovezérlő végzi el, melyet egy csatlakozón keresztül akár a készülékben is lehet programozni.
- **Mérőáramkörök:** A mérések mindegyikét saját mérőerősítővel ellátott áramkörök alkotják, majd ezek kivezetése közvetlen összeköttetésben van a mikrovezérlővel.
- **Kijelző:** Az adatokat a mikrovezérlő egy LCD³ kijelzőre írja ki, egy meghajtó modul segítségével.

³ LCD: Liquid-Crystal Display, azaz folyadékkristályos kijelző

2.1) Mikrovezérlő:

A mikrovezérlők olyan integrált áramkörök, melyek különböző, előre megírt programok végrehajtását képesek megvalósítani, alacsony áramfelvétel mellett, jellemzően 3.3V vagy 5V feszültségszintről. Kis méretük és változatos tokozásuk miatt könnyű elhelyezni őket egy-egy NYÁK⁴-on, és manapság a legtöbb általunk használt elektromossággal működő eszközben megtalálhatóak.

A mérőeszköz megvalósításához egy ATtiny26-16PU típusú mikrovezérlőt választottam, mely a Microchip Technology⁵ tulajdonában álló ATMEL⁶ cég által gyártott 8-bites eszköz.



2. ábra: ATtiny26-16PU PDIP⁷ tokozásban

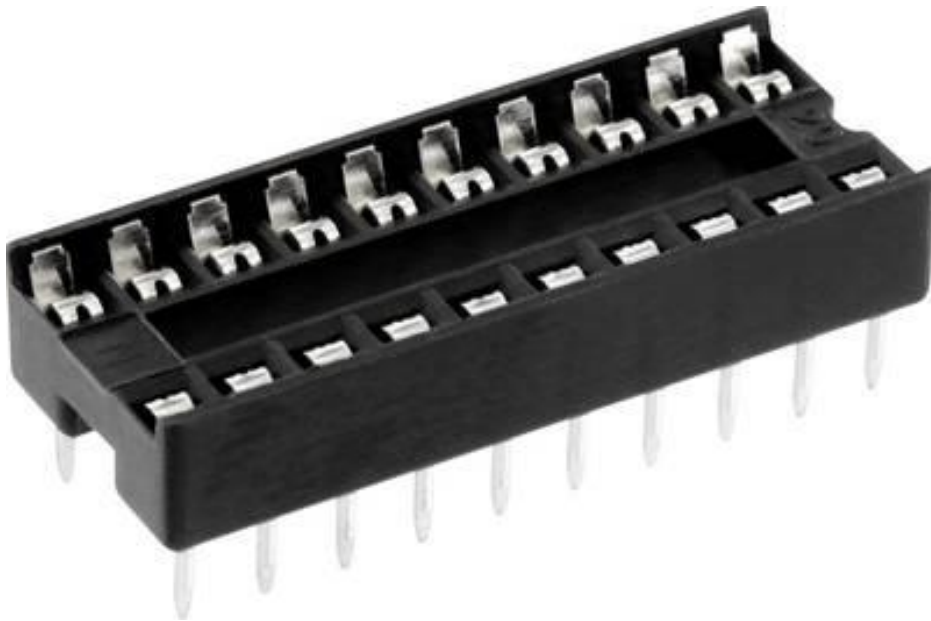
⁴ NYÁK: Nyomtatott Áramköri Kártya

⁵ Microchip Technology: Mikrovezérlők és integrált áramkörök gyártására és fejlesztésére összpontosító Amerikai vállalat

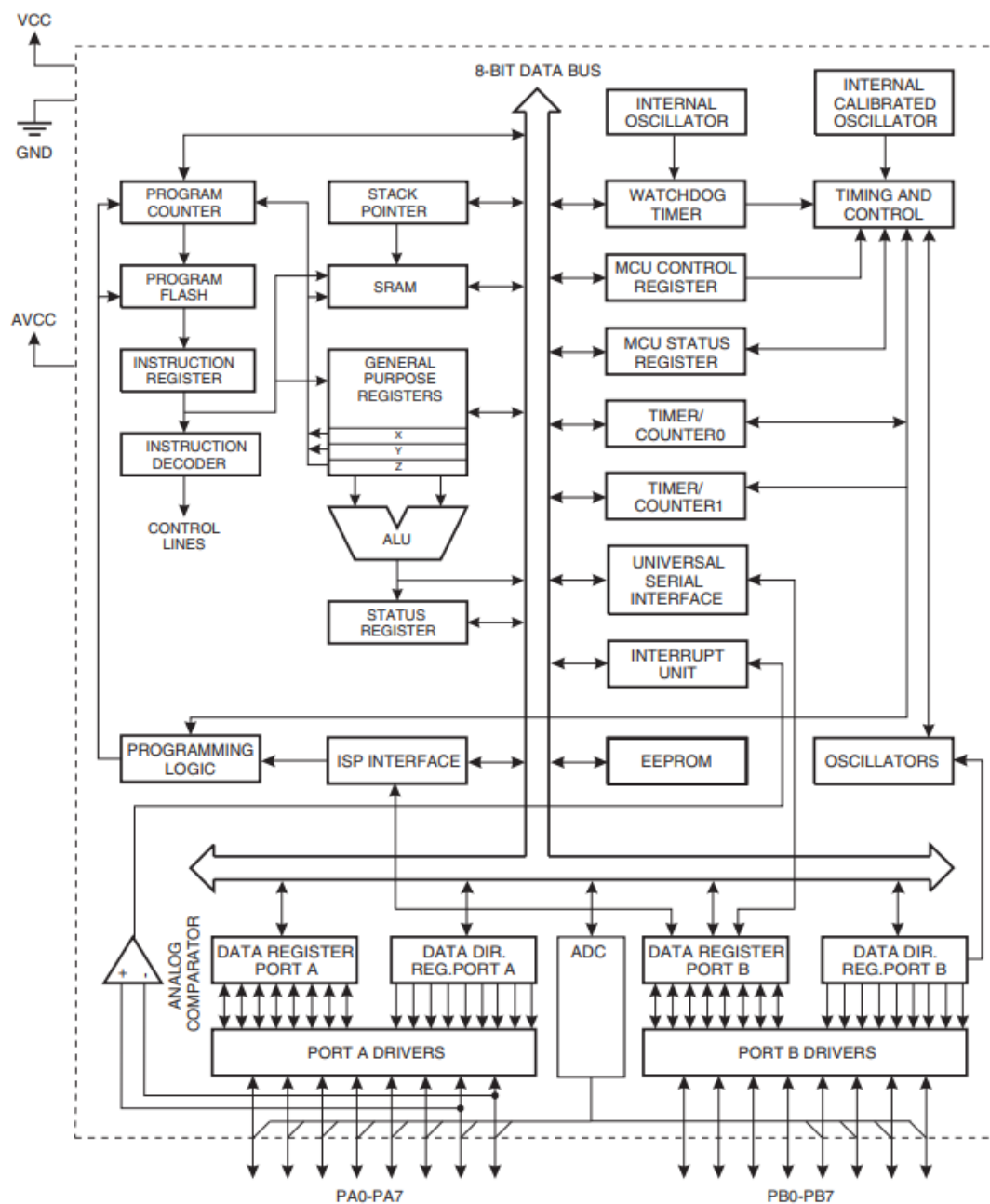
⁶ ATMEL: Microchip Technology által felvásárolt mikrovezérlő gyártó cég

⁷ PDIP: Plastic Dual In-Line Package: műanyag kétsoros tokozás

A PDIP tokozást azért választottam, mert forrasztás nélkül is elhelyezhető a NYÁK-on, egy integrált áramkör foglalat segítségével, mely mechanikailag rögzíti a mikrovezérlőt, fémes, rugós kontaktusai miatt pedig megfelelő illeszkedést és vezetést biztosít. Mivel a választott mikrovezérlő 20 lábbal rendelkezik, így a foglalatnak szintén 20 lábbal kell rendelkeznie.



3. ábra: 20 pólusú integrált áramkör foglalat



4. ábra: Mikrovezérlő belső blokkvázlata

A választott mikrovezérlő rendelkezik Analóg-Digitális átalakítóval is, (továbbiakban ADC⁸), mely lehetővé teszi a mérések kiértékelését. A 10 bites ADC 2¹⁰-en kvantált jelszintet képes érzékelni, melyből adódik, hogy az 5V feszültség mellett a legkisebb mérhető feszültségváltozás az az alábbi képletből következően nagyjából 4,88mV.

$$\frac{5V}{2^{10}} = 0,00488V = 4,88mV$$

A mikrovezérlő további, a mérőeszköz szempontjából fontos eleme az I2C protokoll⁹, amelyen keresztül képes a mikrovezérlő az LCD kijelzővel kommunikálni. Ez a két vonalat használó protokoll egy órajel vonalat (SCL: Serial Clock), és egy adat vonalat (SDA: Serial Data) alkalmaz, melyeken keresztül egy úgynevezett Master-Slave kapcsolat alakul ki a mikrovezérlő (Master) és a kijelzőre illesztett I2C modul (Slave) között.

A mikrovezérlő belső memóriája nem túl nagy, így az eszköz úgy lett kitalálva, hogy bekapcsolást követően azonnal elkezd mérni, majd a mért adatokat a kijelzőre kiírni, ezek után pedig a feladata ezt a folyamatot ismételni, így csak addig kell a mért értéket tárolnia a mikrovezérlőnek, amíg az kiírásra nem kerül, ezáltal nem foglal feleslegesen helyet a memóriában.

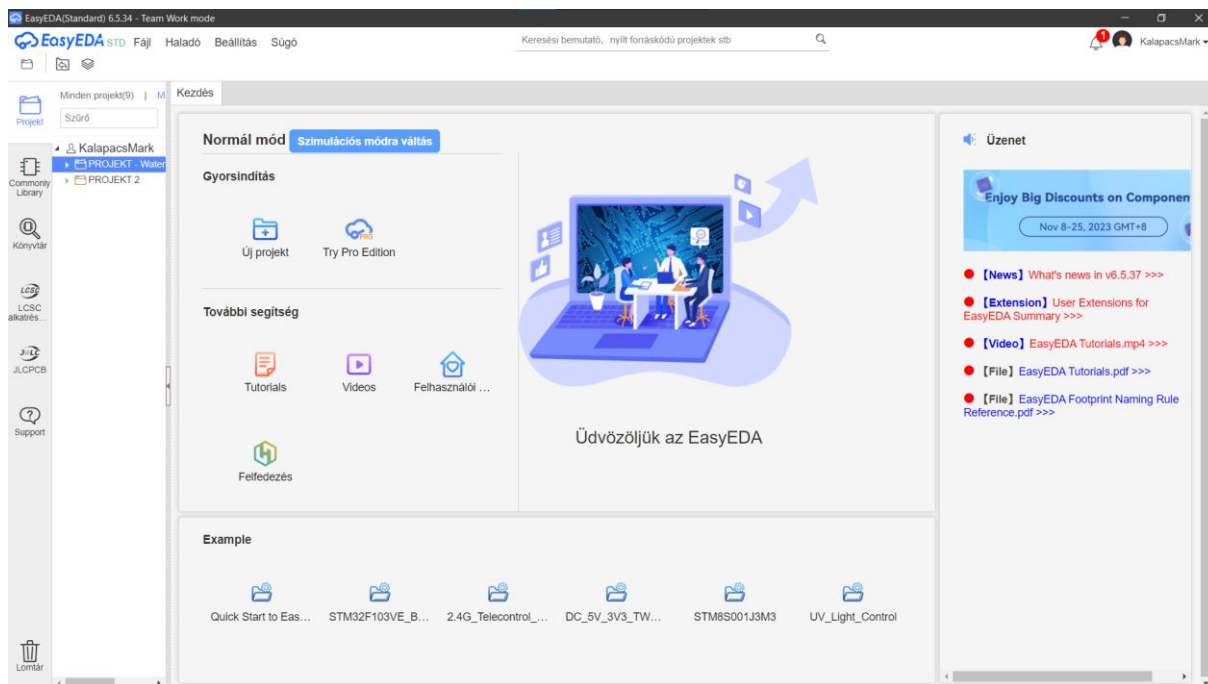
Az ATtiny26 további előnye a fogyasztás, a gyártói adatlap [1] 5V feszültség mellett szobahőmérsékletnek megfelelő 25°C -os környezetben tipikusan 15mA felhasznált áramot ír, mely tovább csökkenthető az órajel csökkentésével. Külső oszcillátor (tipikusan kvarckristály) segítségével akár 16MHz órajellel is tud dolgozni, ellenben a mérőeszközben csak 1MHz-en üzemel. Mivel elsősorban folyamatos felhasználás az alkalmazási cél, ezért a hálózati táplálás az elsődleges, így nem szükséges ennél jobban csökkenteni az órajelet és ezzel a felhasznált áramot.

⁸ ADC: Analog to Digital Converter, azaz Analóg-Digitális átalakító.

⁹ I2C protokoll: soros, 8 bites, két vonalon történő, két irányú kommunikációs protokoll

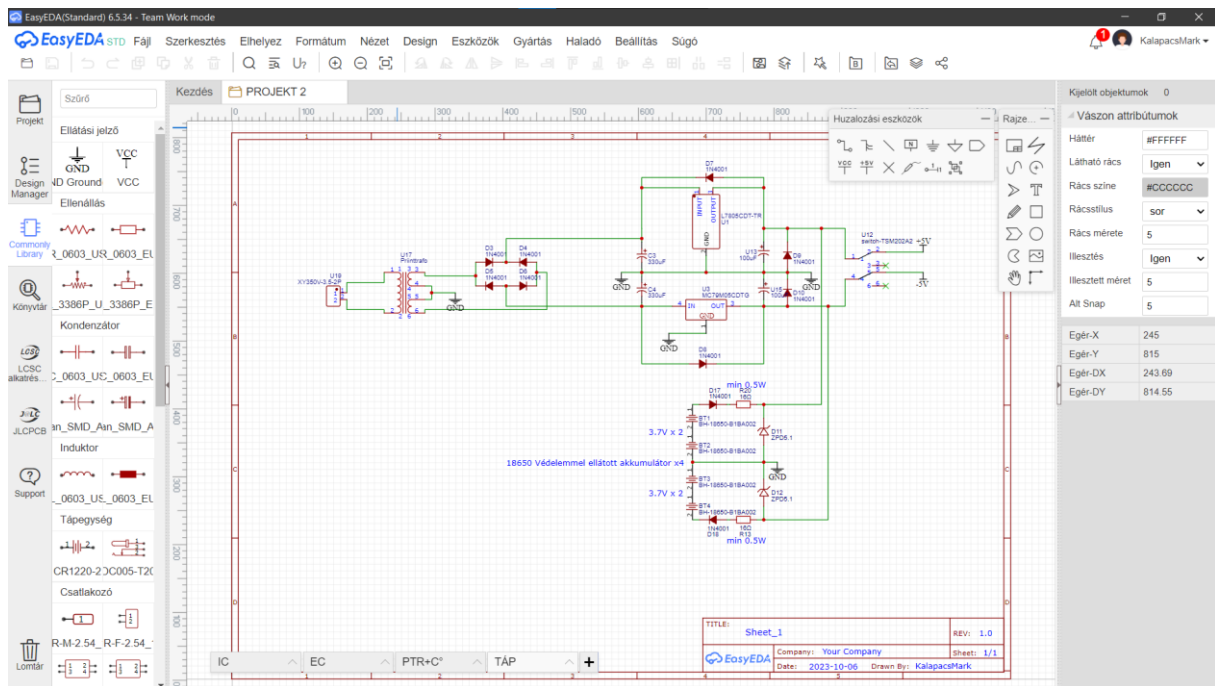
3) EASY EDA program

A kapcsolási rajzok, illetve a NYÁK terv elkészítéséhez az EASY EDA [2] nevű teljesen ingyenes programot használtam, ugyanis az egyik népszerű NYÁK gyártó által preferált és javasolt program, a gyártóról később.



5. ábra: EASY EDA program

Az alkalmazás tartalmaz saját rajzjeleket, lábkiosztásokat, könyvtárakat, hogy megkönnyítse a felhasználást. Mindemellett rendelkezik beszállítóval, illetve nyílt alkatrészkönyvtárral, ahova bármelyik regisztrált felhasználó feltölthet alkatrészt saját lábkiosztással, ilyenkor azonban a program figyelmezteti a többi felhasználót, hogy az adott alkatrész nem szerepel a hivatalos beszállítónál, felhasználó által generált, illetve javasolja a méretek átnézését alkalmazás előtt.



6. ábra: Saját alkatrészkönyvtár (bal oldalon) és huzalozási eszközök (jobb oldalt felül)

Könyvtár

Keresőmotor: EasyEDA LCSC Elektronika 7805

Típusok: Szimbólum Lábkiosztás Spice szimbólum SCH modul PCB modul 3D modell

Osztályok: Munkaterület(0) LCSC(232) JLCPCB Összeszerelve(159) System(49) Követés(0) Felhasználó hozzájárult(999+)

Kulcsszó a szűrő	Cím(PartNO)	Lábkiosztás	Érték	JLCPCB Részszelvény
Amplifiers	K7805-500_C5444002	PWRM-TH_K7805-500		
Amplifiers	K7805-500_C713220	PWRM-TH_K7805-M-1000		Kiterjesztett rész
Analog ICs	K7805-500R2	PWRM-TH_K7805-500R2		Kiterjesztett rész
Audio Products/M...	K7805M-1000	PWRM-TH_K7805M-1000		Kiterjesztett rész
Audio Products/M...	K7805-500	PWRM-TH_K7805-500		Kiterjesztett rész
Capacitors	K7805-3AR3	PWRM-TH_K7805-3AR3		Kiterjesztett rész
Circuit Protection	LR7805	TO-220_L10.2-W4.6-P2.54_LR7805		Kiterjesztett rész
Clock and Timing	H7803-500	PWRM-TH_H7805-500		
Connectors	H7815-500	PWRM-TH_H7805-500		
	K7805-2000R3L	PWRM-TH_K7805-1000L		Kiterjesztett rész
	K78X6-500R2	PWRM-TH_K7805-500R2		Kiterjesztett rész

EasyEDA > Szimbólum > LCSC > Power Modules > K7805-500_C713220

\$1.5766 LCSC Part#: LCSC Stock: 38 JLCPCB SMT Stock: 278

Szerkesztés Elhelyez Több Mégse

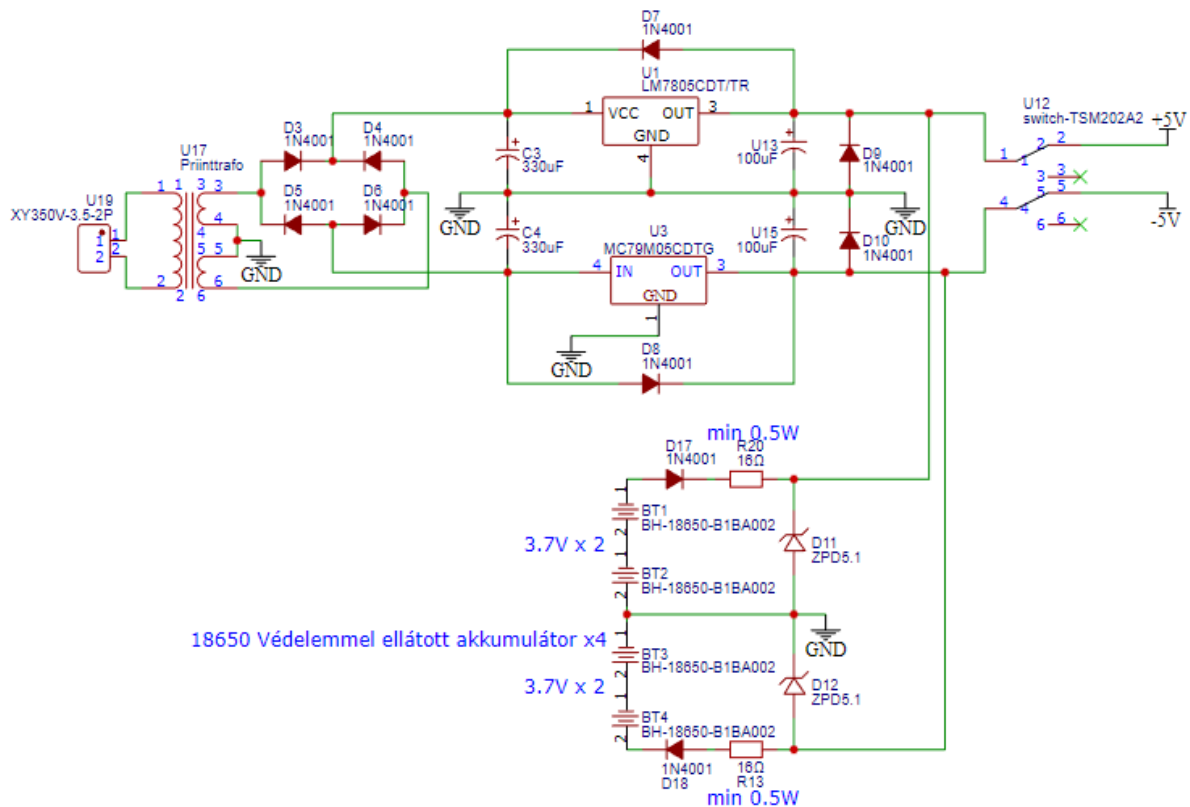
7. ábra: Példa a nyílt könyvtárra

A könyvtár további előnye, hogy alkatrész keresés esetén (mint ahogy azt a 7. Ábra is mutatja) a felugró ablak mutatja az alkatrész pontos nevét, gyártói jelölését, lábkiosztását, rajzjelét, sokszor a 3D modellt is, mindemellett, ha raktárkészleten van, akkor az aktuális árát is, amerikai dollárban. Ugyanezen a felületen a program lehetőséget kínál arra, hogy egy link segítségével átirányítson a forgalmazó weboldalára, ahol minden adatlap rendelkezésre áll.

Az alkalmazásban elérhető az is, hogy a kívánt alkatrészeket a készített tervek mellé listába szedje, majd a gyártónak továbbítsa. (Gyártóról később.) Természetesen ez opcionális választás, a mérőeszközöm gyártásakor ezt a szolgáltatást nem vettem igénybe, magamnak szereztem be a szükséges alkatrészeket, amiket kézíleg forrasztottam be. (Az alkatrészekről és a forrasztásról később.)

4) Tápellátás és feszültség szabályozás:

Mint fentebb említettem, a mérőeszköz saját tápellátással rendelkezik, abból is kettővel, egy hálózattal és egy akkumulátorossal. Mindkettőt egy-egy szabályozó áramkör követ, melyeket egy kacsoló segítségével lehet a mérőeszköz további elemeire kapcsolni.



8. ábra: Tápellátás teljes kapcsolási rajza

A folyamatos üzemlést egy 230V primer feszültségű, 2x12V szekunder feszültséggel rendelkező transzformátor biztosítja, mely szekunder váltakozó feszültségeit egy kétutas egyenirányító alakítja egyenfeszültséggé. A szekunder tekercsek középső kivezetéseit összekötve értem el, hogy középki-csatolt transzformátorom legyen, így a diódák után megjelenik a földponthoz képest pozitív és negatív feszültség, melyek a 12V-tól két-két diódányi nyitófeszültséggel kisebbek. Általános, 1N4001 típusú diódákat alkalmaztam, ugyanis szimpla 50Hz-es váltakozó feszültségről történő egyenirányításnál ezek a diódák elégnék bizonyultak.

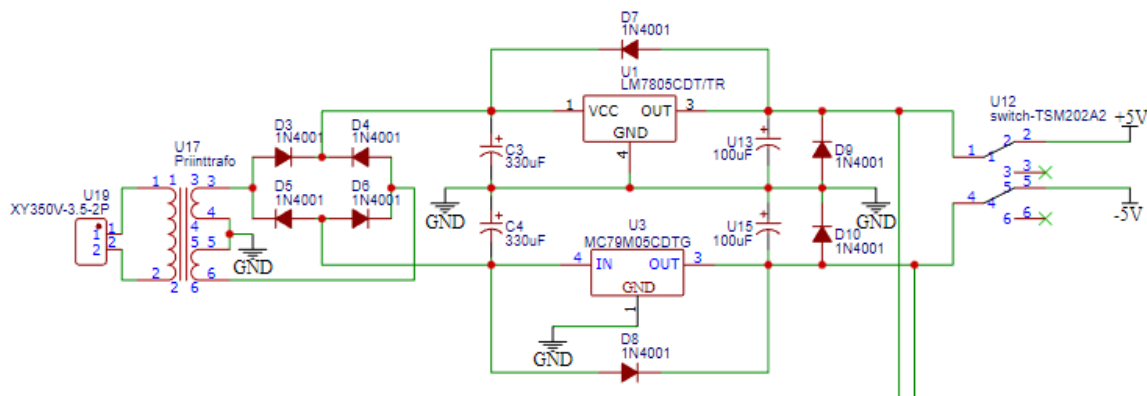
Az egyenirányítást követi egy feszültségszabályozó pár, a többek között Elektronikus Áramkörök 1 tantárgy keretein belül is tárgyalt LM7805-LM7905 feszültségszabályozók. Ezek disszipatív elven működnek, a felesleges feszültséget hő formájában egyszerűen leadják.

Az LM7805 jelzéssel ellátott alkatrész 7V bemeneti feszültségtől akár a 35V feszültségig (ami gyártótól függő érték) stabil 5V kimenetet biztosít, akár 1,5A áram mellett is, bár ekkora teljesítménynél fontos odafigyelni a megfelelő hűtésre, ugyanis könnyen túlmelegedhet és komoly károkat okozhat a NYÁK-ban, illetve az alkatrész tönkremenetele is bekövetkezhet.

Az LM7905 jelzéssel ellátott alkatrész ugyan olyan paraméterekkel és tulajdonságokkal rendelkezik, mint az LM7805-ös, annyi különbséggel, hogy negatív bemeneti feszültségre van szüksége és más a láb kiosztása.

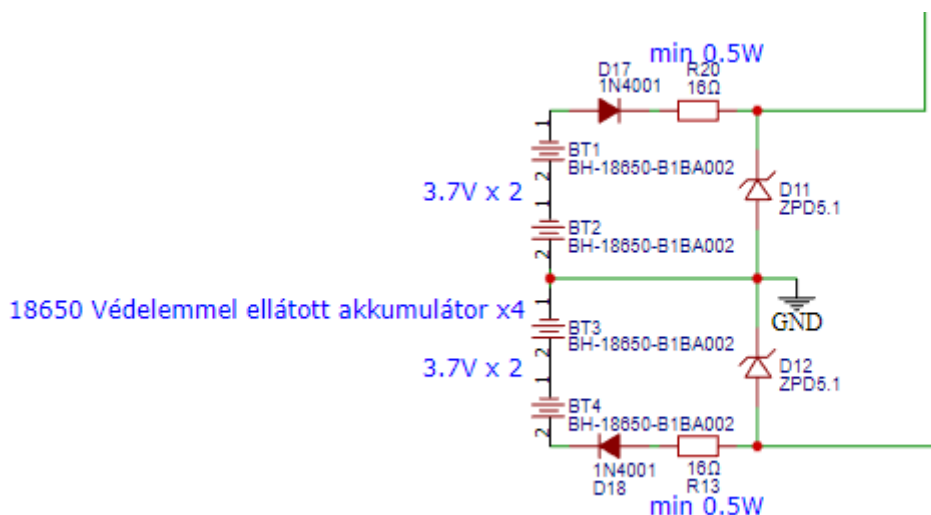
Ezen kettő alkatrész alkalmazásával olcsón elő tudtam állítani pontos +5V-ot és -5V-ot is. A negatív feszültségre az egyik mérőerősítőnek van szüksége, így azon a potenciálon nem várható nagy teljesítmény, viszont a +5V-ot a legtöbb alkatrész használja, így oda nagyobb hűtőfelületet alkalmaztam a tervezésnél, hogy az esetleges melegedést elkerüljem (Erre a NYÁK tervezésénél bővebben kitérek).

A D7, D8, D9, D10 jelzésű diódák szerepe a kapcsolásban megvédeni a feszültségszabályozókat a kondenzátorok kisülésével járó ellentétes potenciáltól. A kondenzátorok kisülését a diódák visszavezetik a feszültségszabályozók kimenete helyett a bemenetükre, így azok el fogják disszipálni a maradék feszültséget, amíg az elektrolit kondenzátorok végleg le nem merülnek.



9. ábra: LM7805 és LM7905 feszültségszabályozó pár alkalmazása

Az akkumulátoros meghajtásról 4 darab 18650-es típusú, védelemmel ellátott akkumulátor gondoskodik. Azért kellett 4 darab, mert ezek cellánként 3,7V - 4V feszültséget adnak le töltöttségüktől függően, viszont sorba kötve kettőt ez felemelhető 7,4V - 8V-ra is. Ez kell a pozitív, illetve negatív ágon egyaránt. Az akkumulátor cellákat Z-diódás feszültségszabályozás követi.



10. ábra: Alkalmazott 18650-es akkumulátorok és az őket kísérő Zener diódák

A D17, D18 diódák szerepe az áramkörben a fordított polaritás elkerülése, ugyanis az áramkör ezen része közvetlen összeköttetésben van az LM7805 - LM7905 feszültségszabályozók kimeneteivel. R13 és R20 ellenállások szerepe a kapcsolásban a felesleges feszültség eldisszipálása. Az egymás után sorba kötött kettő darab 18650-es 3,7V feszültségű akkumulátor összesen 7,4V, töltött állapotban pedig 8V feszültséget szolgáltat. A záróirányban bekötött Zener feszültségszabályozó diódán ebből 5V fog esni minden esetben, tehát a maradék 2,4V-3V feszültség a D17 és D18 diódák és a két ellenállás (R13 és R20) egyikén fog esni, amit majd hő formájában leadnak.

Fontos kiemelni, hogy külön védelmi elemeket az áramkör nem tartalmaz, így erősen javasolt saját védelemmel ellátott 18650-es akkumulátorok használata. Ezek védenek túlmerítés, túltöltés, túláram, túlfeszültség ellen is, mindemellett a megengedett maximális hőmérséklet felett egyszerűen lekapcsolják a cellákat, megóvva őket és az áramkört is.

Az akkumulátorok töltését külsőleg kell megoldani. Több gyártó is legalább 500mA töltőáramot ír elő, konstans feszültség mellett, mely áramot a kapcsolásban használt transzformátor nem képes biztosítani. A két szekunder kivezetés egyenként maximálisan 180mA áram biztosítására képes, ez a szint fölötti üzemeltetése pedig nem javasolt. Kapható pontosan ilyen cellák töltésére tervezett töltő, ami „USB-C”, „USB-A” és „Micro USB” csatlakozókkal rendelkezik.

A mérőeszközt természetesen cellák behelyezése nélkül is lehet használni, amennyiben a felhasználó nem kívánja a ezeket és a hozzájuk szükséges külső töltőt megvásárolni, ugyanis

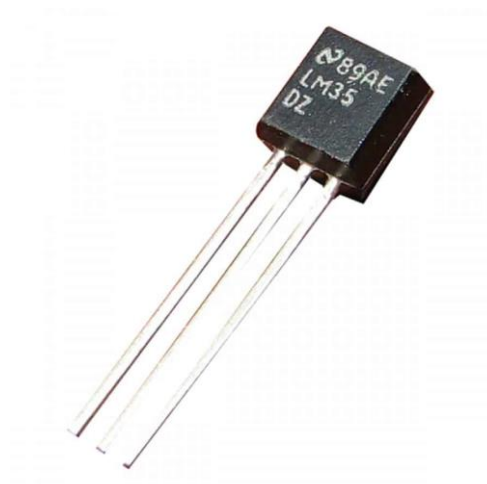
egy ilyen akkumulátor jelen gazdasági helyzetben 3000Ft is lehet, összesen pedig akár 12.000Ft.

5) Mérőáramkörök, Mérések elvei:

Az általam tervezett mérőeszköz több mérést is végez, mindegyiket saját mérőáramkörrel, melyek mindegyike az egyetemi órákon taglalva volt, laboratóriumban pedig vizsgálva voltak. Olyan kapcsolások ezek, mint a precíziós egyenirányító, Wien-hidas oszcillátor, vagy egy követő erősítő.

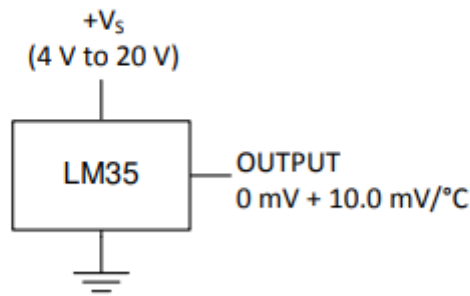
5.1) Hőmérséklet mérés

Talán az egész mérőeszköz legegyszerűbb mérése a hőmérsékletmérés. Ehhez egy LM35DZ típusú, TO92 tokozású hőérzékelőt használtam. Az adatlapja [3] szerint 10mV feszültség változás felel meg 1°C hőmérséklet változásának, illetve 0,5°C pontossággal rendelkezik. Ugyanezen dokumentum által javasolt kapcsolást követve 5V feszültségről táplálva az eszközt, a kimeneten kiolvasható feszültségszintből lehet számítani a mért hőmérsékletet, viszont minden esetben meg kell várni, amíg az alkatrész átveszi a környezete hőmérsékletét a mérés lehető legpontosabb kiértékelése végett.



11. ábra: LM35DZ hőérzékelő

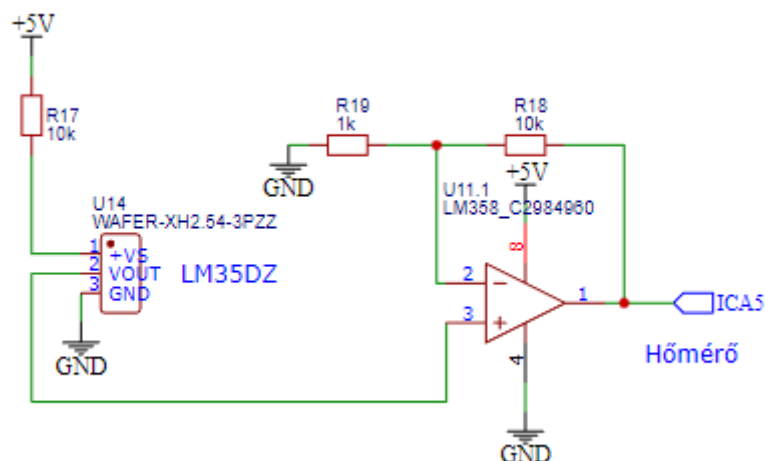
Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



12. ábra: Adatlap [3] által javasolt kapcsolás

Jelen esetben a vizsgált hőmérséklet tartomány az jellemzően a 25°C szobahőmérsékletű víz, de az eszköz úgy lett tervezve, hogy akár a 0°C – 50°C közötti hőmérséklet tartományt is képes legyen mérni. 50°C-nál az LM35DZ kimenetén megjelenő feszültség 500mV lenne, viszont a pontosabb, jobb mérés érdekében a hőmérő kimenete és a mikrovezérlő közé lett tervezve egy 10x-es erősítésű műveleti erősítő, így 50°C-nál a mikrovezérlő 500mV helyett 5V-ot fog mérni.

Az 5V-os tápfeszültségből következik az, hogy 50°C felett a hőmérő hiába fog még mérni és próbálná növelni a kimeneti feszültségét, nem tudja azt, illetve a műveleti erősítő képtelen lesz elvégezni az erősítést felső feszültséghatárja miatt, így a mikrovezérlő bemenetére 5V feletti feszültség nem fog érkezni semmilyen esetben, az eszköz nem fog tönkre menni, ha meghaladjuk a méréshatárt.



13. ábra: Hőmérséklet érzékelő és műveleti erősítő

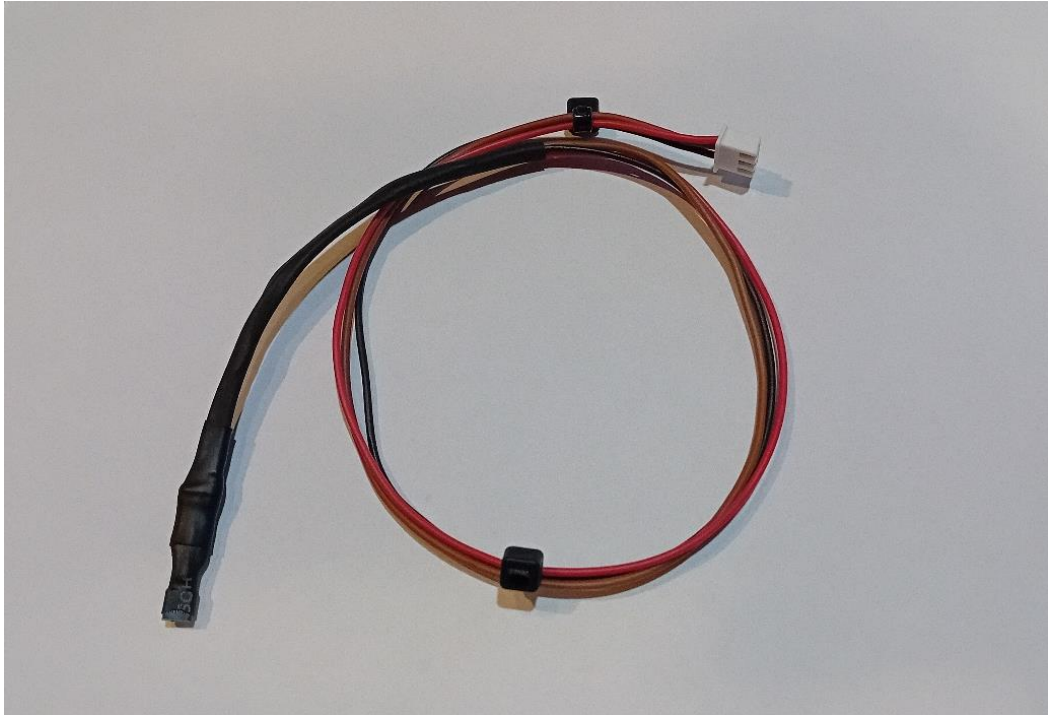
A hőmérő félvezető technológiája miatt a bemenetére kíván egy előtét ellenállást, mely az adatlapban megadott javasolt kapcsoláson nincs feltüntetve, azonban a hőmegfűtás jelenségét, ezáltal az eszköz tönkremenetelét elkerülve R17 néven egy $10\text{k}\Omega$ -os ellenállást terveztem oda.

Az erősítő kapcsolás, mint fentebb említettem egy 10x-es szorzó, mely egy LM358-as típusú kétcsatornás műveleti erősítő egyik erősítőjét használja fel. Az LM358-as egy olyan műveleti erősítő, mely egy tokban foglal 2 erősítőt, a másik egy későbbi kapcsolásban lesz használva. Ezen integrált áramköri elemnek SMD¹⁰-t választottam. (Bővebben a tervezésnél)

Mint látható a 13.ábrán, a kapcsolásban nem az LM35DZ szerepel, hanem egy 3 pin-es csatlakozó. Ez azért van, mert nem a levegő hőmérsékletét hivatott mérni az eszköz, hanem a vizét. Ez úgy került kivitelezésre, hogy a NYÁK-hoz egy csatlakozón keresztül, kábellel lehet csatlakoztatni a hőmérőt. A hőmérő lábaira forrasztottam $0,5\text{mm}^2$ -es átmérővel rendelkező vezetékeket, amelyek végén a csatlakozó ellenpárja található.

Ahhoz, hogy a lehető legvízhatlanabb lehessen, a kábelt és az alkatrészt is bevontam zsugorcsonnyal, melyet rámelegítve egy elég szorosan illeszkedő szigetelést kaptam. A teljes vezetéket nem lehet a vízbe mártani, mert a zsugorcsony másik fele nem illeszkedik olyan szorosan a vezetékekhez, mint az alkatrészhez, de annyira pont lehet, hogy a hőmérő átvegye a víz hőmérsékletét.

¹⁰ Surface Mount Device: felület szerelt alkatrész

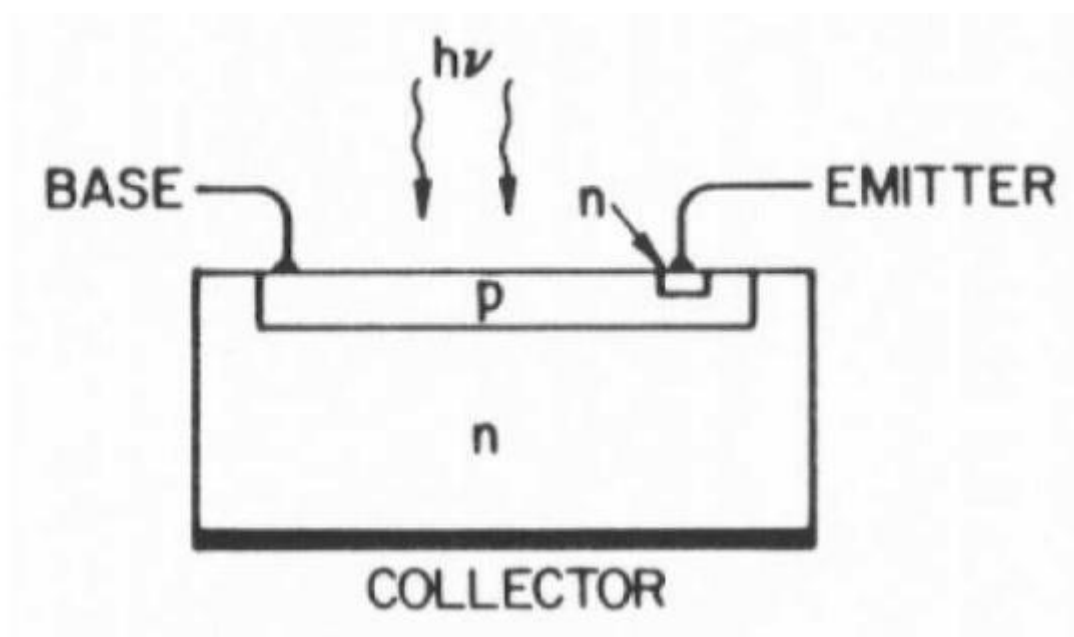


14. ábra: Vizálló hőmérő vezetékkel és csatlakozóval

5.2) Átvilágítás

Bonyolultságban második mérés az átvilágítás. Ez a mérés azt hivatott vizsgálni, hogy a fény különböző hullámhosszokon mennyire képes áthatolni a vizsgált vízen és mekkora áramot képes létrehozni egy fototranzisztorban. A mérés csak 3 hullámhosszt vizsgál, a kék, a zöldet és a pirosat, a pontos értékek a 470nm, 525nm, és 635nm. A mérés szintén, az előzőekhez hasonlóan feszültségmérés, viszont jelen esetben a LED¹¹-ek fénye átvilágítja a vizet, majd behatol a három fototranzisztor egyikébe, amely a megvilágítás függvényében fog kinyitni. A tokozás tetején van egy „ablak”, melyen át a fotonok eléri a bázisréteget.

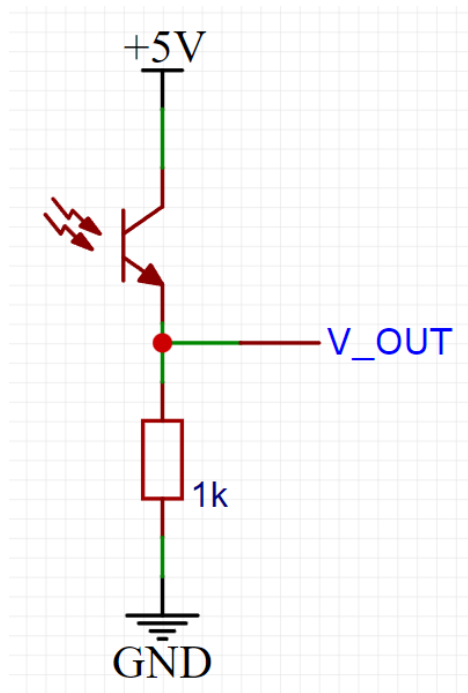
A fototranzisztor olyan NPN, bipoláris tranzisztor, amelyben a bázisréteg lebeg, a fotonok ebben a rétegben fognak abszorbeálódni (elnyelődni). Bázis - kollektor átmenet záró irányú elektromos tere átrántja a generálódó elektronokat a kollektorba, a visszamaradó lyukak pedig megnövelik a bázisréteg potenciálját. Az emitter - bázis átmenet ettől jobban kinyit, megnő az emitter - kollektor áram.



15. ábra: Fototranzisztor felépítése, Horváth Zsolt József tananyagából [4]

A fototranzisztorok által kapott áramot ez után egy mérőellenálláson keresztül képesek vagyunk meghatározni az Ohm-törvény ismeretében. Ezt a 16. ábra szemlélteti.

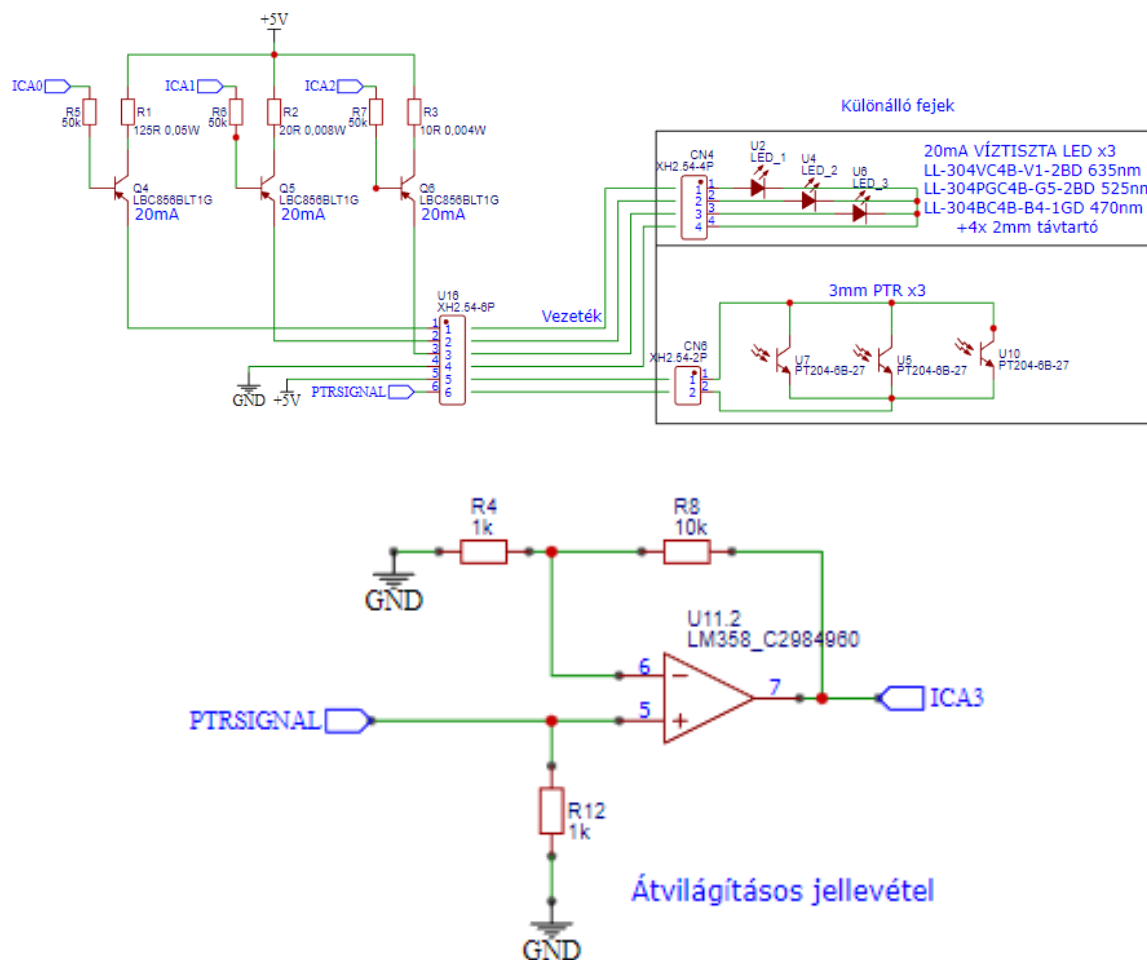
¹¹ Light-Emitting Diode, azaz fény emittáló dióda



16. ábra: Fototranzisztor áramának meghatározásához használt áramkör

Példának okáért tételezzük fel, hogy a fototranzisztor az abszorbeált (elnyelt) fotonok függvényében $0,37\text{mA}$ áramot enged átfolyani. Ebben az esetben ez az áram fog folyni az $1\text{k}\Omega$ -os ellenálláson is. A kettő szorzatából megkaphatjuk azt a feszültséget, ami az ellenálláson fog esni, melyből ugyan ezzel a számítással vissza lehet fejteni az áramot. Ezt a feladatot a mikrovezérlő végzi el. Itt azonban problémába ütköztem, amiről később.

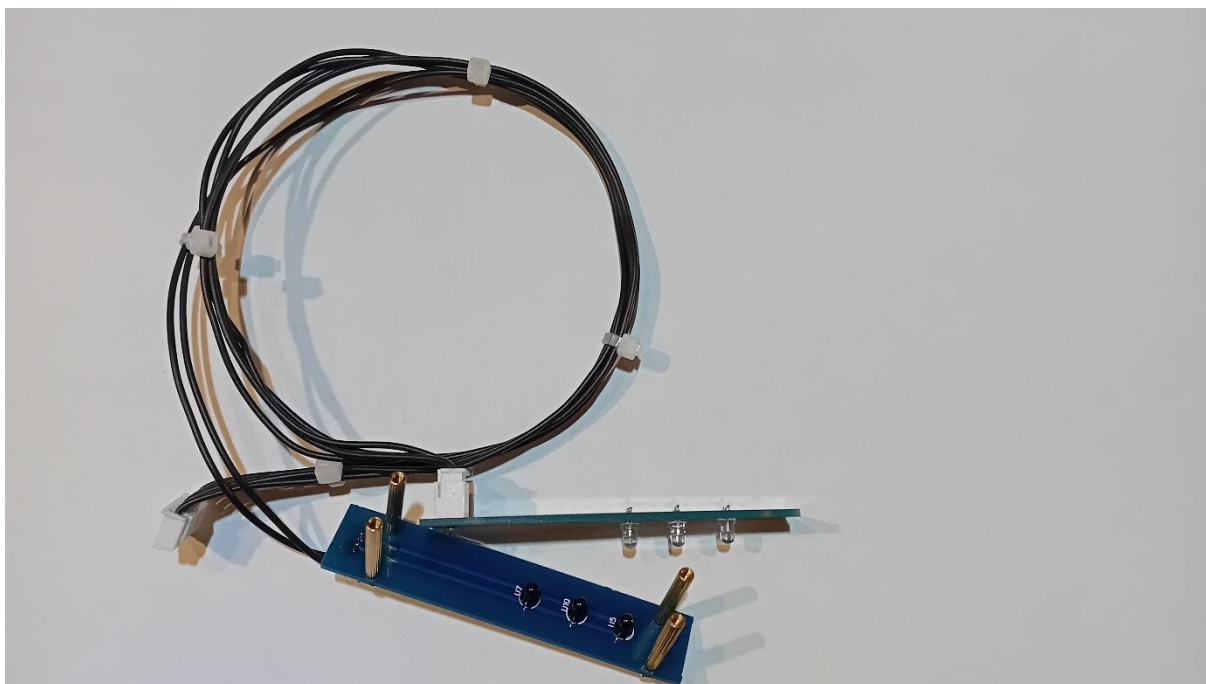
Tehát, hogyha a mikrovezérlő $3,7\text{V}$ -ot mér, abban az esetben az átfolyó áram $0,37\text{mA}$ lesz. A helyes mérés érdekében a tranzisztor után terveztem egy $10\times$ -es erősítésű műveleti erősítő kapcsolást. A hőmérsékletmérésnél használt LM358-as alkatrészben megmaradt, eddig nem használt műveleti erősítőt alkalmaztam ehhez. A maximális még mérhető feszültség így 5V lesz, ami a fototranzisztoron ennek a tizede, tehát $0,5\text{V}$, ami azt jelenti, hogy a maximális áram $0,5\text{mA}$, azaz $500\mu\text{A}$.



17. ábra: Átvilágítás és fototranzisztor jelének erősítése

Mint a 17. ábrán látható, akárcsak a hőmérséklet mérésnél, itt is külön ki kellett vezetni, az eszközön kívülre a fotodiódákat és a fototranzisztorokat is úgy, hogy azok pontosan egymással szemben legyenek, hogy a lehető legpontosabb legyen az átvilágítás, és a legkisebb a fénytörés okozta mérési hiba. Ezt 3 csatlakozó párral és 6 darab vezetékkel sikerült kivitelezni.

A mérőfej szintén FR4-es NYÁK-ból készült, így a víz okozta károsodás elkerülése érdekében a széleit, illetve a diódák és tranzisztorok forrasztott lábait bevontam ragasztóval, valamelyest vízhatlanná téve. Ez egy nem végleges megoldás, ennek tökéletesítése a jövőben fog megvalósulni.



18. ábra: Az átvilágításhoz megvalósított mérőfej

A fentebb említett probléma egy tervezési hiba. Ehhez a méréshez némi utólagos módosításra volt szükség, ugyanis nem vettem észre, hogy az alkalmazott mikrovezérlő olyan lábára vezettem az olvasandó jelet, mely nem rendelkezik ADC bemenettel, így nem képes olvasni sem. A mérési elv önmagában megállja a helyét, multiméter segítségével képes voltam mérni, melyet a következő ábra szemléltet.



19. ábra: Multiméteres mérés

A mérés során 3,7V-ot mértem az erősítő kimenetén, ennyit mérne az általam tervezett műszer is. Ez azt jelenti, hogy a zöld színhez tartozó hullámhossz levegőben maximum 0,37mA áramot tud átfolyatni, a vizsgált vízminta ez alatt kell legyen.

A probléma megoldása úgy lett kivitelezve, hogy a NYÁK-on megszakítottam a vezetősávot mely a jelet a mikrovezérlőhöz vezet, majd kábel és némi forrasztás segítségével a legközelebbi szabad ADC-vel rendelkező lábhoz kötöttem.

5.3) Elektromos vezetés és TDS

Az utolsó, egyben legfontosabb és legbonyolultabb mérési pont az elektromos vezetés, illetve a TDS. Ez a kettő szorosan összefügg, a vezetésből következtethető a TDS, ezt később részletezem ebben a pontban. Az elektromos vezetés vizsgálatához elengedhetetlen tudni azt, hogy a vizet ilyen téren kizárólag váltakozó feszültséggel lehet vizsgálni, ugyanis az

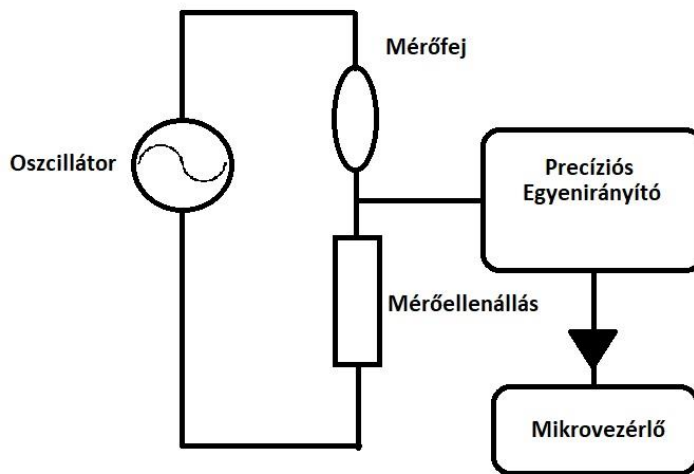
egyenfeszültség és egyenáram hatására a víz polarizálódni kezd, és a mérés nem lesz kiértékelhető.

Első lépésben egy mérőfejre volt szükségem. Ennek érdekében választottam egy olyat, amely megfizethető, illetve nem üvegharagos mint a legtöbb, a konduktometriában alkalmazott mérőfej, és könnyedén implementálható egy ilyen eszközhöz. A választott mérőfej lényege a végén található két fémes érintkező, melyek a vízbe merülve a vizet, mintegy ellenállásként becsatolják a mérőkörbe, így tud rajta feszültség esni.



20. ábra: Vezetőképesség vizsgálatához alkalmas mérőfej

5.3.1) Az elektromos vezetés mérésének menete:



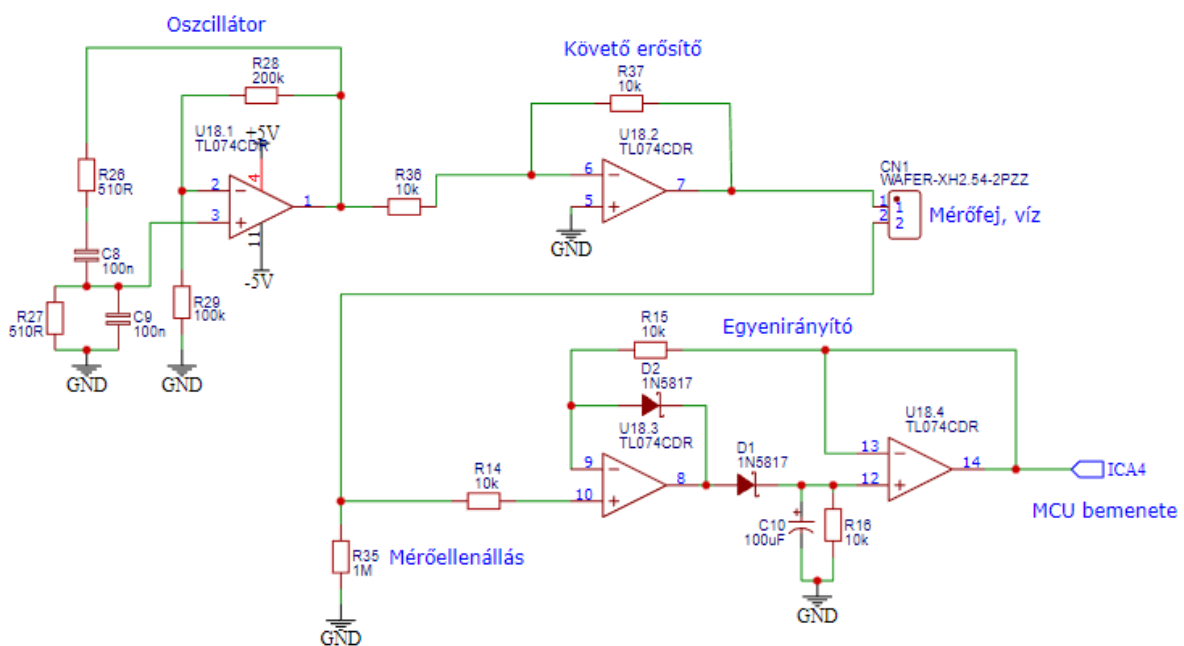
21. ábra: Vezetőképesség mérését leíró blokkvázlat

A mérés a következő mérőkörből épül fel: váltakozó feszültségű generátor (jelen esetben egy harmonikus oszcillátor), mérőfej, majd a kört egy mérőellenállás zárja, az ezen eső feszültséget egy precíziós egyenirányító alakítja pontos egyenfeszültséggé, amit a mikrovezérlő dolgoz fel adattá.

- **Oscillátor:** A váltakozó feszültségű jel előállítására egy Wien-hidas oszcillátor kapcsolást alkalmaztam, melynek kimenete szinuszejel. Ennek a kapcsolásnak a megvalósításához volt szükségem a negatív tápfeszültségre, mely előállításáról a Tápellátásról szóló részben említettem.
- **Követő erősítő:** Az oszcillátort a kapcsolásban egy 1x-es erősítésű, úgynevezett követő erősítő követi, melynek az a szerepe, hogy az oszcillátor kimenetét tehermentesítse, így a mérendő vizek változó ellenállása nem fogja zavarni az oszcillátor működését. Az első (még próbapaneles) mérések során az történt, hogy az oszcillátorból közvetlen, a különböző vízmintákba vezetett jel esetében az oszcillátor kimeneti feszültsége változott a víz vezetőképességének függvényében. Ennek elkerülése érdekében jobbnak láttam beiktatni a kapcsolásba ezt az elemet. Azért invertál az erősítő kapcsolás, mert a tokozásban való elhelyezkedés szempontjából R17 ellenállás kedvezőbb helyzetben van így, mintha a négy

csatornás műveleti erősítő két szomszédos lába helyett három láb közül a két szélsőt kellene összekösse és a középsőt nehezebben lehetne a földre csatlakoztatni.

- **Mérőfej:** A követő erősítóből a váltakozó feszültség egyenesen a mérőfej egyik pólusára megy, ahonnan a vízbe jut. A vízből utána a jelet felveszi a másik pólus, és visszavezeti a mérőeszközbe.
- **Mérőellenállás:** A visszaérkezett jel a mérőellenálláson keresztül záródik a körben, az ezen ellenálláson eső feszültségből pedig ki lehet számítani a vízben eső feszültséget. Az ellenállás további szerepe az áram viszonylagos beállítása. $1\text{M}\Omega$ ellenállás mellett viszonylag minimális áram folyik a vízben, így az nem fogja esetlegesen melegíteni a vizet.
- **Alkalmazott műveleti erősítő:** A vezetőképesség méréshez az általam alkalmazott műveleti erősítő egy TL074CD, mely egy négycsatornás J-FET-es műveleti erősítő, amit az erősítők száma miatt választottam.

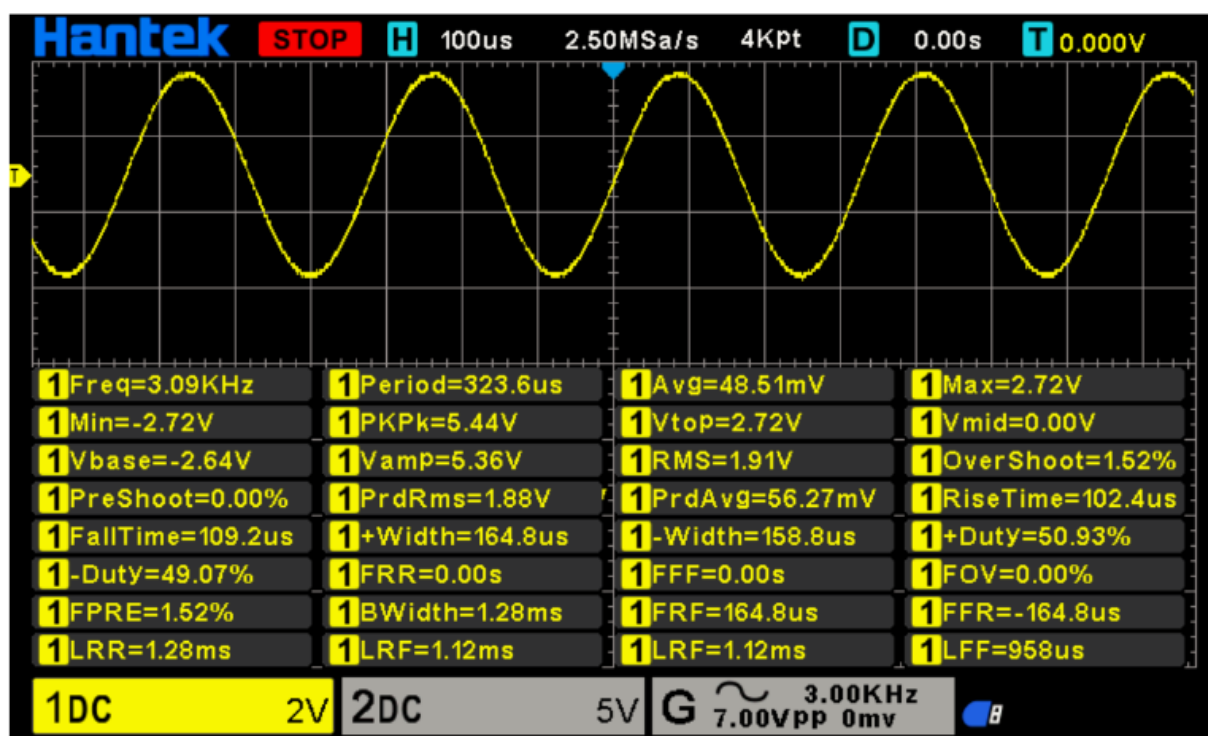


22. ábra: Vezetőképesség mérés

Az oszcillátor kimenete úgy lett beállítva, hogy az kicsit több, mint 3kHz-en rezegjen, ehhez 510Ω -os ellenállásokat és 100nF-os kondenzátorokat alkalmaztam.

$$\omega = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{510\Omega \cdot 100nF} = 19607,843 \frac{rad}{s}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{19607,84 \frac{rad}{s}}{2\pi} = 3120,68Hz = 3,12kHz$$



23. ábra: Oszcillátor kimenete oszcilloszkópon

Ezen a frekvencián az eddig alkalmazott 1N4001-es sima diódák nem képesek torzításmentesen egyenirányítani lassúságuk miatt, így ide 1N5817-es típusú Shottkey diódákat alkalmaztam.

Látható a 23. Ábrán, hogy az oszcillátor kimenetén 2,72V csúcsfeszültség van, amely fontos a vezetőképesség számításához. Az alábbi egyenletben U_m a mérőellenállás feszültsége, U_o az oszcillátor feszültsége, R_m a mérőellenállás értéke, R_v pedig a víz ellenállása, melynek a reciproka a víz vezetése, melyet szeretnénk végül megkapni.

$$U_m = U_o \cdot \frac{R_m}{R_m + R_v}$$

Ezt a képletet egy átrendezés után alkalmazni tudjuk a víz ellenállásának kiszámítására.

$$R_v = \frac{U_o \cdot R_m}{U_m} - R_v$$

Az oszcillátor feszültsége, mint fentebb a 23. ábrán is látszik ismert, az ellenállás értéke szintén ismert, U_m -et mérve, az egyetlen ismeretlen a képletben R_v , azaz a víz ellenállása. Abban az esetben, ha U_m -re 2,6V-ot mérünk, $U_o = 2,72V$, R_m pedig $1M\Omega$, a következő számítással $R_v = 46153,85\Omega$ -ot kaphatunk. Ezt reciprokolva a vezetés $2,1666 \cdot 10^{-5}S$, azaz $0,021666mS$.

$$R_v = \frac{2,72V \cdot 1M\Omega}{2,6V} - 1M\Omega$$

Az általam alkalmazott mérőfej fizikai méretei miatt a kapott eredményt meg kell szorozni 10-zel, hogy az elektromos vezetőképesség konduktometriában használatos mértékegységét, azaz a mS/cm -t megkapjuk, ígyhát a vizsgált víz vezetőképessége $0,21666mS/cm$. A legtöbb konduktometriás mérőeszközben az üvegharangban lévő két fegyverzet között is, illetve az üvegharang nélküli mérőeszközök fegyverzetei között is 1cm-nyi távolság van. Az általam alkalmazott mérőfejen ezzel ellentétben 1mm távolság van a két fémes kivezetés között.

5.3.2) A vezetőképesség és az oldott sótartalom kapcsolata

A vezetőképességből oldott sótartalomra váltás egy bizonytalan folyamat. 1mS/cm vezetőképesség nagyjából 540-740 ppm sótartalomnak felel meg, tehát a vezetőképesség értékét 540-740 közötti számmal kell megszorozni ahhoz, hogy ebből megkapjuk a TDS-t. Ekkora szórás miatt ismert sótartalmú oldattal történő kalibráció elengedhetetlen lenne. Ennek hiányában beszereztem egy viszonylag olcsó, pár ezer forint értékű TDS mérő eszközt, mely hasonló mérési elven alapul, mint amelyet az általam tervezett mérőeszköz alkalmaz.

Ez a vásárolt mérőeszköz a TDS-3 elnevezéssel rendelkezik, nem kalibrált, viszont bárki által megvásárolható. Ugyan azon vizet vizsgálva, ami fentebb $0,21666\text{mS/cm}$ -es vezetőképességet kapott az én eszközömtől, a TSD-3 mérőeszköz 150ppm-et adott.



24. ábra: TDS-3 mérőműszer által kapott érték: 150ppm

Ebből az következett, hogy a 150ppm-et elosztva a mért $0,21666\text{mS/cm}$ -es értékkel megkaptam, hogy a szorzó 692,328. Ezt 692-re kerekítve elvégeztem méréseket különböző vizeken, csapvízen, folyóvízből vett mintán, tóvízen és esővízen, a mérőműszerem által mért érték kis hibával megegyezett minden esetben a TDS-3 műszer által mutatott értékkel, viszont a pontosabb mérésekhez elengedhetetlen lenne az említett kalibráció.

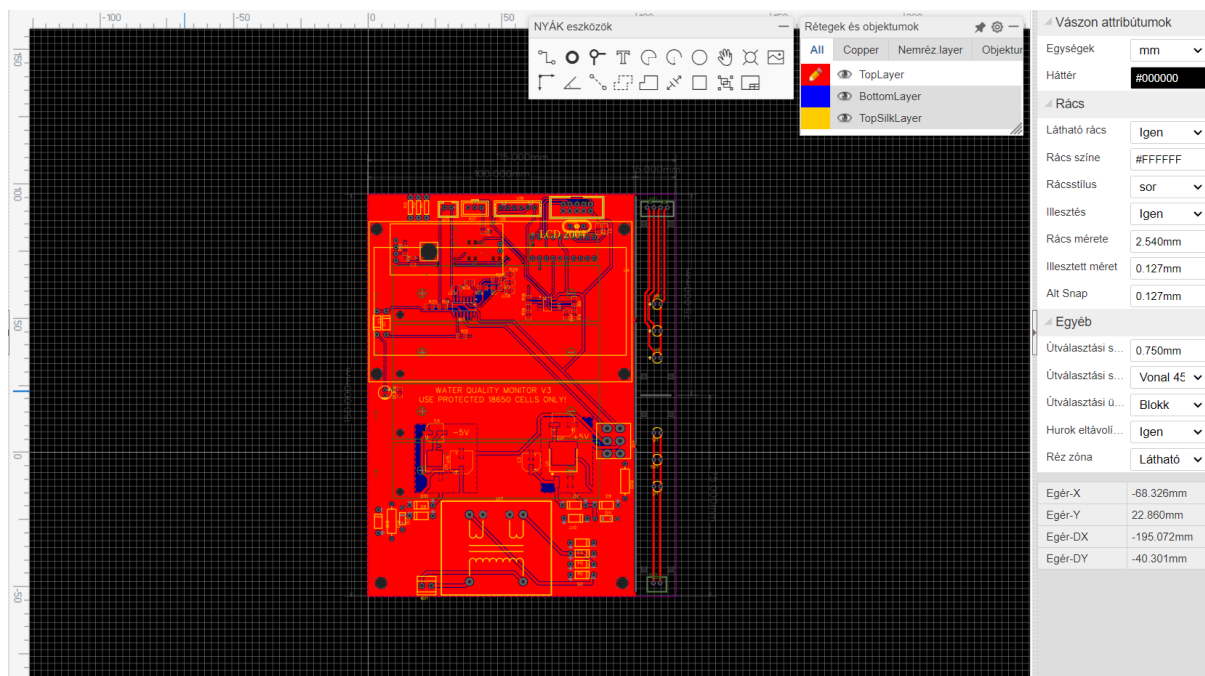
Az elektromos vezetőképesség és az összes oldott sótartalom, azaz a TDS közötti összefüggésben döntő szerepet játszik a hőmérséklet. Hőmérséklet változás hatására a víz részecskéi, illetve a mérés szempontjából fontosabb, a vízben oldott sók atomjai is másként rezegnek. Magasabb hőmérsékleten ennek hatására távolabb lesznek egymástól, mint alacsonyabb hőmérsékleten, így a vezetőképesség és az oldott sótartalom értékei is változni

fognak. Ez főleg olyan körülmények között fontos, ahol elengedhetetlen a hőmérséklet és a TDS szabályozása, mint például akváriumokban, ahol bizonyos értékeknek folyamatosan meg kell felelni.

Az eszköz továbbfejlesztésére nézve elképzelhetőnek tartok egy olyan fejlesztést, ami előre beállítható hőmérséklet értéket meghaladva vagy hangjelzést (sípolás, csipogás) adjon ki, tudatva a felhasználóval a hőmérséklet emelkedést, vagy meghúzzon egy relét, mely vízkeringetőt, szivattyút, vagy egyéb olyan rendszert működtet, ami képes a hőmérsékleten vagy a sótartalommal változtatni pozitív vagy negatív irányban.

6.) A NYÁK tervezése

A tervezhez ugyan azon számítógépes programot használtam, mint fentebb, a kapcsolási rajzok elkészítéséhez. A programban miután elkészült minden kapcsolat egy DRC¹² ellenőrzés után elkezdhettem tervezni a NYÁK-ot. A tervező az alkatrészek helyükre igazítása után felajánlja az automatikus huzalozás lehetőségét, azonban ez nem felelt meg az általam elvártaknak és kigondoltak, így saját elképzeléseim szerint valósítottam meg a kapcsolásokat.



25. ábra: NYÁK terve a programban

¹² DRC: Design Rule Check, azaz tervezési szabályok ellenőrzése

A tervezett mérőeszköz kétrétegű, van egy TOP és egy BOTTOM, azaz felső és alsó réteg. Az általam alkalmazott huzalozásnak az elve az, hogy a 230V váltakozó feszültség alatt álló vezetőszakaszok és a feszültségszabályozók kimenetén lévő vezetőszakaszok a legszélesebbek a maguk 1mm-ével, ezeket követik a kapcsoló utáni egyenfeszültségű tápáramkörök a maguk 0,75mm szélességével, majd minden más 0,5mm széles vezetőkön fut.

Négy darab egybefüggő rézterület található a NYÁK-on, ezek a +5V, -5V, TOPGND, BOTTOMGND, azaz felső és alsó rétegen lévő földpotenciálok. Több furat is található a terven, melyek elsődleges célja a mechanikai rögzítése a NYÁK-nak, illetve a rá illesztendő kijelzőnek. A terv jobb oldalán található az átvilágítás méréshez használatos mérőfej két darabban, melyek szintén rendelkeznek saját rögzítő furatokkal, illetve a mérőeszköz paneljától kivágások választják el a könnyebb eltávolítás érdekében.

6.1) Alkatrészek

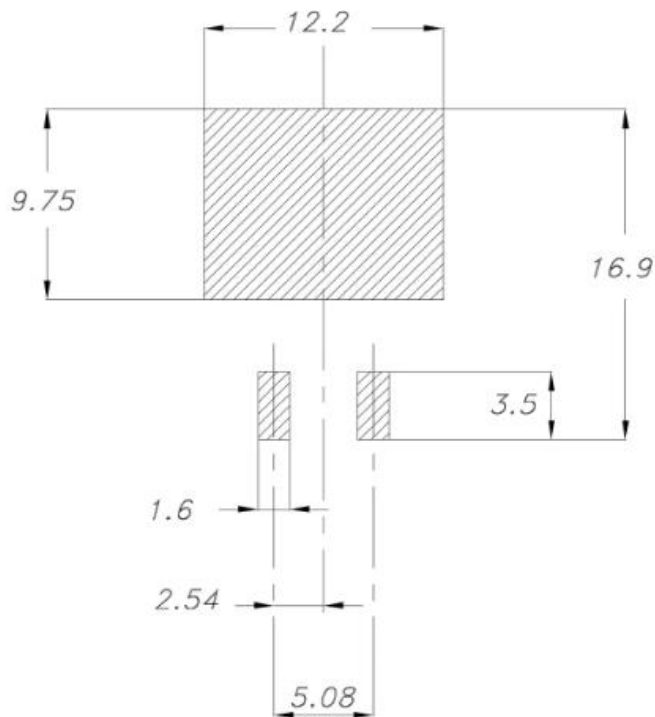
Az alkatrészek tokozásának és a hozzájuk tartozó lábkiosztások kiválasztásának fő szempontja az volt, hogy a gyártott mérőeszközön egyaránt megtalálhatóak legyenek SMT¹³ és TH¹⁴ alkatrészek is. Három alkotóelem típusa és lábkiosztása volt meghatározott egyedül: A kijelzőé, a transzformátoré és a négy darab 18650-es akkumulátor celláé. Ezen alkatrészek mérete nagyban hozzájárult a végleges NYÁK méretéhez is, illetve a kijelző és az akkumulátor foglalatok mindegyikének rajzolata tartalmaz egy-egy nem fémes furatot is, mely fényerő beállításra és pozicionálásra használatos, így ezeket is bele kellett kalkulálni a tervezés során a megfelelő pozicionálásba.

Mint a Tápellátásnál említettem az LM7805-ös soros feszültségszabályozó esetében hűtés céljából más rajzolatot választottam, mint amit az alkatrész megkívánt. A választott alkatrész TO-252 tokozással rendelkezik, ellenben a használt rajzolat TO-263 tokozású alkatrészek elhelyezésére lett rajzolva. A kettő footprint¹⁵ közötti különbséget a 26. ábra prezentálja.

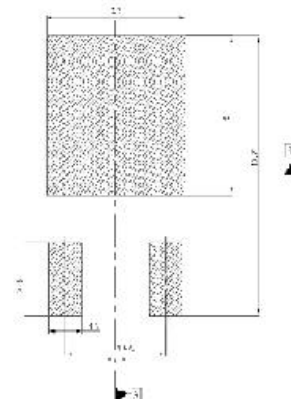
¹³ SMT alkatrész: Surface-Mount Technology felületszerelt alkatrész

¹⁴ TH alkatrész: Through Hole, furatszerelt alkatrész

¹⁵ Footprint: padmintázat, rajzolat



TO-263 TOKOZÁS FOOTPRINTJE



TO-252 TOKOZÁS FOOTPRINTJE

26. ábra: TO-263 és TO-252 Footprintek összehasonlítása

Mivel a TO-263-as tokozás nagyobb, így a hozzá tartozó rajzolat is nagyobb, a forrasztás után szabadon maradt fém, ónozott részek pedig valamelyest jobb hűtést biztosítanak az alkatrésznek, mint a saját footprintje. Mindemellett, mivel az alkatrész tökéletesen illeszkedik erre a rajzolatra is, lehetőséget biztosít egy másik, TO-263-as tokozású alkatrész cseréjére abban az esetben, ha a jelen alkalmazott alkatrész üzemelése során nem várt komplikációk lépnének fel.

A NYÁK továbbá úgy lett megtervezve, hogy mivel reflow¹⁶ kemence hiányában forrasztópákával kellett megforrasztani az SMD alkatrészeket is, így ez könnyedén kivitelezhető legyen. Esetleges javítás szempontjából minden alkatrész kényelmesen hozzáférhető. A forrasztás szempontjából kritikus elemek, mint például a műveleti erősítők vagy a PNP tranzisztorok szintén úgy lettek elhelyezve, hogy egy nem túl robosztus fejjel rendelkező forrasztópákával könnyedén el lehessen őket távolítani és az újakat behelyezni.

- **Reflow:** Olyan forrasztási technika, mellyel felületszerelt alkatrészeket ültetését (NYÁK-on történő elhelyezését) lehet elvégezni. A technika lényege, hogy az üres

¹⁶ Reflow: forrasztási technika

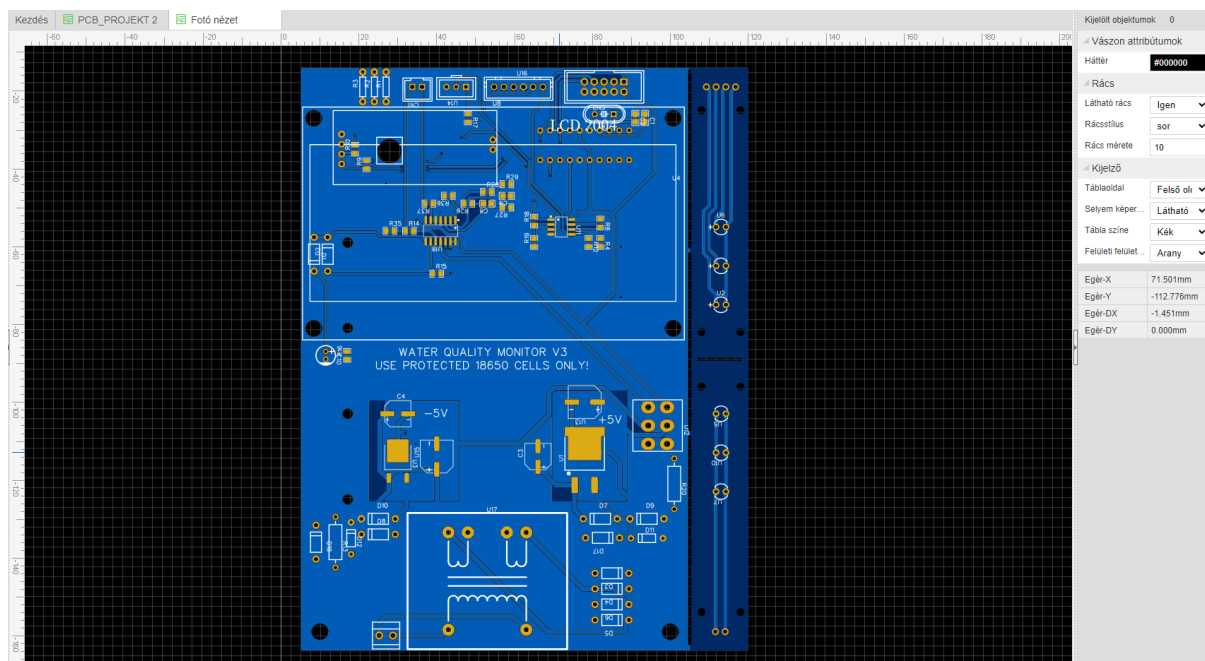
NYÁK-ra egy úgynevezett stencil¹⁷ segítségével felvigyék a forrasztópasztát, (mely mennyiségét maga a stencil vastagságának változtatásával lehet beállítani), majd ültetőgép segítségével pozícionálják és elhelyezték az alkatrészeket. Ezek után a már SMD alkatrészekkel ültetett NYÁK futószalag szerűen megérkezik a reflow kemencébe, amiben egy előre beállított hőprofilal végighalad, miközben a hőmérséklettől a forrasztópaszta megolvad majd újra megszilárdul, az alkatrészeket odaforrasztva a pontos helyükhöz.

A NYÁK-on egyaránt megfigyelhetők a furatszerelt és felületszerelt tokozással ellátott elemek is, mint például az elektrolit kondenzátorok és az ellenállások. Ennek az elsődleges célja a változatosság és a maradék hely kitöltése volt. A transzformátor mellett például maradt rengeteg hely, ide kerültek a furatszerelt diódák és néhány ellenállás is. Ugyanakkor az SMT technológiával szerelhető akkumulátor foglalatok a NYÁK hátoldalán kaptak helyet, így a TOP oldalon lehetőségem volt erre a területre szintén ugyan ezen technológiával szerelendő alkatrészeket elhelyezni. Ilyenek példának okáért a feszültségszabályozó integrált áramkörök és néhány elektrolit kondenzátor.

6.2) Tervezőprogram nyújtotta lehetőségek

A tervezéshez használt programnak van egy olyan tulajdonsága, hogy a megrajzolt NYÁK tervet képes 2D és 3D formában is ábrázolni, ezzel elősegítve azt, hogy a felhasználó jobban átláthassa az alkatrészek elhelyezkedését, pontosabban tudjon kalkulálni a méretekkel és a rendelkezésre álló hellyel.

¹⁷ Stencil: Alkatrész lábak kiosztását és pontos helyét tartalmazza, forrasztópaszta pontos felviteléhez használt eszköz.

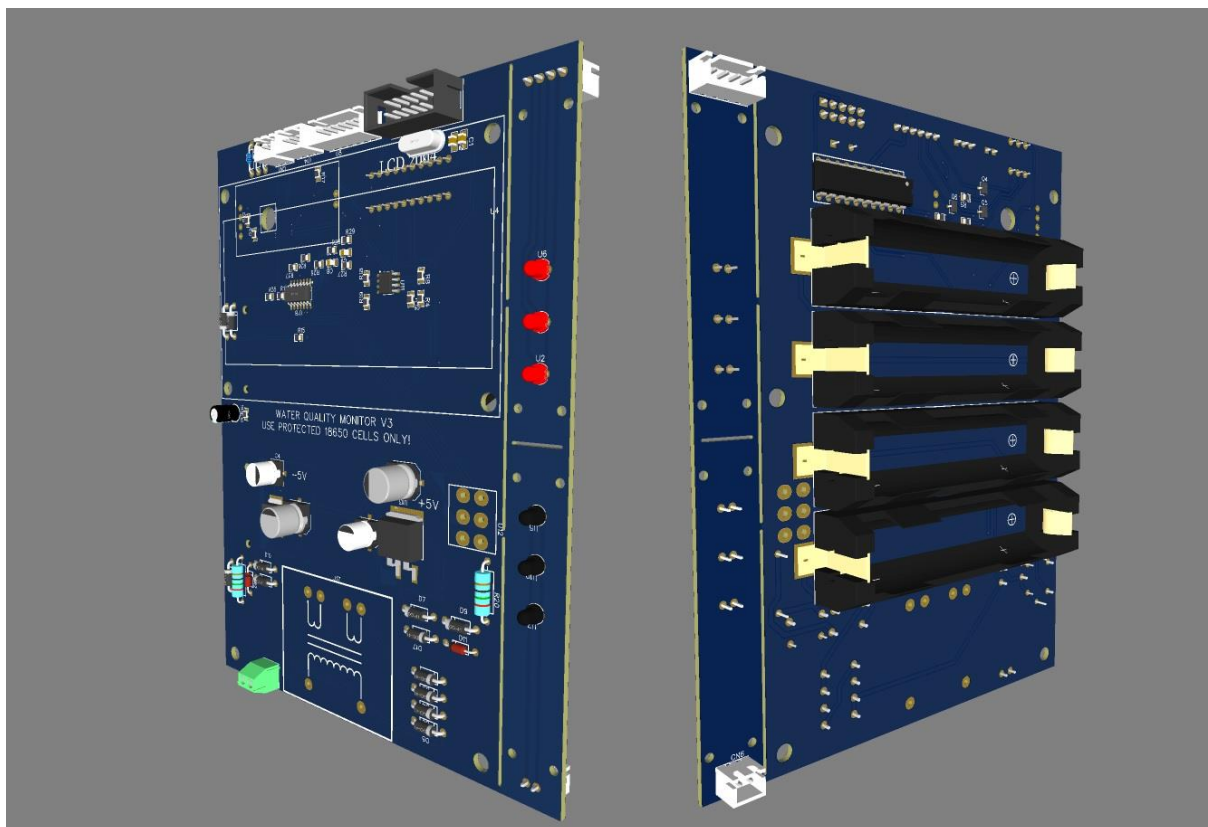


27. ábra: 2D nézet az EASY EDA programban, felső oldal

A jobb oldali menü segítségével külön színezni is lehet az adott NYÁK-ot, a rendelkezésre álló forrasztásgátló lakkok színeinek megfelelően, illetve azt is meg lehet vizsgálni, hogy hogyan néz ki a tervezett panelen mind az előőnozott PAD¹⁸-ek és furatok, mint az aranyozott verzióik. A program hibájának betudható, hogy a szakkifejezések terén nem pontosan fordít angol nyelvről az általam is használt magyar nyelvre. Jelen esetben, mint a 27. Ábrán is látszik, a silkscreen-t „selyem képernyőnek” fordítja, holott ez a kifejezés ebben a kontextusban a szitanyomtatással NYÁK-ra nyomtatott rajzolatot jelenti, mely a NYÁK terven fehér színnel látszódik. Az ilyen, fordítási hibákat leszámítva viszonylag egyértelmű a használata és könnyű a kezelése.

A 3D ábrázolásnál lehetőségünk van oldalról is megsejlelni a tervezés alatt álló panelt, mely nagy segítség olyan esetekben, amikor van fizikai méretkorlát és nem csak a szélessége és hosszúsága számít a NYÁK-nak, hanem a magassága is.

¹⁸ PAD: SMD alkatrész lábainak rögzítési felülete.



28. ábra: 3D nézet az EASY EDA programban, felső (jobb) és alsó (bal) oldal

Mint látható a fentebbi ábrán, nem minden alkatrész 3D képe van megrajzolva a programban. Ez azért van így, mert ezeket footprinteket én rajzoltam és nem az előre megadott alkatrészkönyvtárból választottam, ugyanis kivételesen nem szerepeltek benne. Továbbá az is látszik, hogy az előző pont elején tárgyalt tokozásbeli eltérést a program úgy jelzi, hogy a nagyobb footprinttel rendelkező alkatrészhez automatikusan a nagyobb tokozás 3D ábráját illeszti, ennek módosítására pedig sajnos nincs lehetőség.

7.) Gyártás és forrasztás

A tervezés elkészültét a gyártás követte sorban. Mint korábban említettem a tervezőprogramot azért alkalmaztam, mert az általam preferált NYÁK gyártó cég ezt a programot támogatja és ezáltal ezt részesíti előnyben. Természetesen bármilyen programban készített gerber¹⁹ fájlt feldolgoznak és megvalósítanak.

¹⁹ Gerber: fájlformátum, tartalmaz minden alakzatot és helykoordinátát a NYÁK-on alkalmazott alkatrészekről és furatokról

7.1) Gyártó és általa alkalmazott gyártási technológiák

A választott gyártó a JLCPCB [5], mely a kis sorozatszámú, főként prototípus NYÁK-ok gyártására specializálódott kínai vállalat. A rajzolat kialakításához negatív, folyékony rezisztet alkalmaznak, mely egyike a manapság legelterjedtebb technológiáknak.

Ennek a technológiának lényege, hogy fotolitográfias levilágítás hatására a reziszt polimerizálódik és az előhívó anyaggal szemben nem lesz oldható. A fényérzékenysége a negatív reziszteknek 540nm hullámhossz alatt található, így a munkaterületet célszerű sárga lámpával megvilágítani, az elterjedt hideg fehér fénnel szemben. Az előhívó anyag általában gyengébb lúg, pár %-os Na_2CO_3 , a pozitív rezisztekkel szemben a negatív nem érzékeny a túlhívásra. A felesleges reziszt leoldását erősebb lúgban, például 5%-os NaOH -ban szokták általában végezni ilyen technológiáknál.

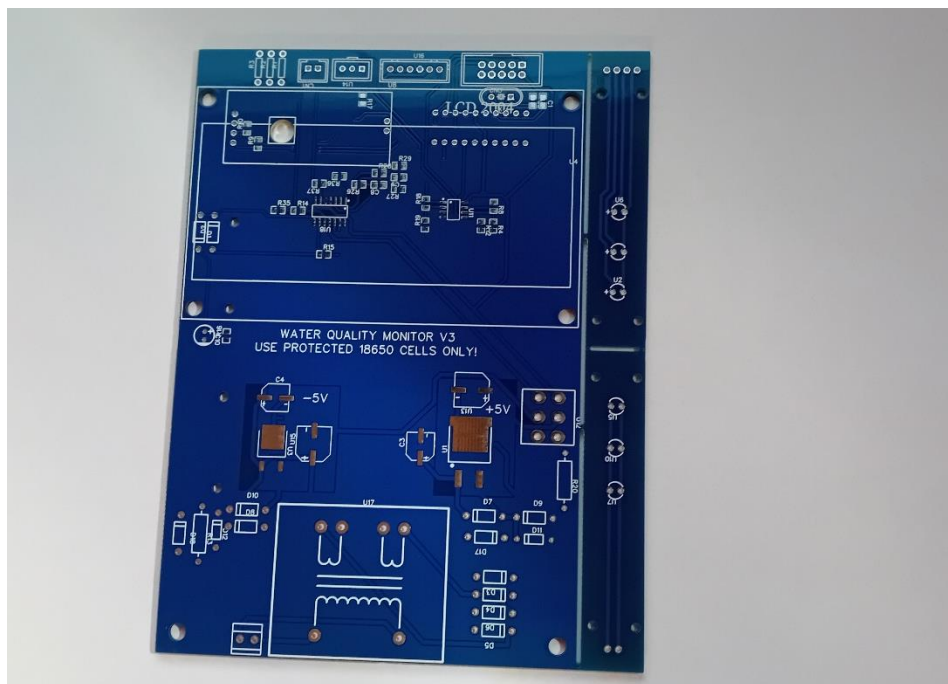
„A folyékony rezisztos technológia lépései:

1. Felület megtisztítása, zsírtalanítás, szárítás.
2. Rétegfelvitel, mely készülhet leggyakrabban függönyöntéssel, vagy szitanyomással.
3. Szárítás $\sim 70^\circ\text{C}$ -on, mely során az oldószer elpárolog.
4. Megvilágítás, ebben a lépésben fog a reziszt polimerizálódni
5. Előhívás
6. Beégetés
7. Maratás” [6]

A JLCPCB által használt felületkikészítési módszer, mely a forraszthatóság javítására szolgál a HASL, mely rövidítés a „Hot Air Solder Level” -nek felel meg. Mint a nevéből adódik, forró levegő segítségével történik az eljárás. A lényege, hogy a rézfelületet bevonják ónnal, a két anyag határfelületén reakció indul be, létrejön egy úgynevezett intermetallikus réteg, majd a felesleges ónt forró levegővel lefűjják a NYÁK-ról. Előnye a folyamatnak a javíthatóság, az intermetallikus réteg miatti kötése erősség és a könnyű vizuális ellenőrzés, ugyanis a folyamat után minden forrasztási pont fémesen csillog.

7.2) Forrasztás

Miután megérkezett hozzám az elkészült NYÁK, a forrasztás volt a következő lépés a mérőműszer elkészülése felé. Mint korábban említettem az alkatrészek típusai és pozícionálása szándékosan úgy lett összeválogatva, hogy kézi forrasztással a helyükre ültethetőek legyenek.



29. ábra: Elkészült NYÁK

A forrasztás során hozzáférhetőség és méret szerint növekvő sorrendben haladtam. Az először helyükre kerülő alkatrészek a SOT232 tokozású pnp tranzisztorok voltak, melyek a NYÁK hátoldalán kaptak helyet, közel a csatlakozókhoz. Ezeket követték az SMD műveleti erősítők. Ezek a soklábos integrált áramkörök és a tranzisztorok mind igen érzékenyek a forrasztásra és a forrasztási hőmérsékletre, ezért gyorsan kellett viszonylag alacsony hőfokon forrasztanom. Szerencsére az általam alkalmazott forrasztópáka állomás rendelkezik digitális hőszabályozóval, így be tudtam állítani nagyjából 270°C-290°C-os hőmérsékletet, mellyel pár másodperc alatt az összes alkatrész a helyére került. Azért volt szükség ekkora hőmérsékletre, mert a NYÁK-on lévő nagy részfelület mintegy hűtőbordaként viselkedik, a hőt rendkívül jól elvezeti az adott területről, ami jelen esetben nem volt túl előnyös.

A soron következő alkatrészek a feszültségszabályozók voltak, ide nagyobb hőmérsékletet kellett alkalmazni az előbbieken részletezett hővezetés miatt. Megfigyelhető

volt, hogy a +5V feszültségért felelős LM7805-ös alkatrésznél alkalmazott nagyobb lábkiosztás megtette a hatását, ehhez kellett a legnagyobb hőmérsékletet alkalmazni.

A fontosabb alkatrészek után következhetek az SMD ellenállások és kondenzátorok, utánuk pedig a furatszerelt változataik és a furatszerelt diódák is. A diódák irányán és az elektrolit kondenzátorok polaritásán kívül ez a lépés különösebb odafigyelést nem igényelt, az ellenállások rendkívül jól tűrték az alkalmazott hőmérsékletet.

Utolsó előtti lépésként helyére kerültek a csatlakozók és a mikrovezérlő foglalata is. Ezek mind irányfüggő alkatrészek, ugyanis esetleges fordított polaritás következtében a mérőfejek alkatrészei tönkre mehetnének, illetve maga a mikrovezérlő is negatív feszültséget kaphatna, mely szintén végzetes lenne az eszköz szempontjából.

Végezetül a legnagyobb elemek és a kapcsoló lettek beültetve. A kijelző tápellátásáért és a két vezetékes kommunikációért felelős 4 darab pin nem lett beforrasztva, hanem távtartóval el lett emelve a kijelző 1,5cm-re a NYÁK-tól, a furatokba kettévágott jumper-kábelek kerültek beforrasztásra, melyek csatlakozóval ellátott vége lett a kijelzőt vezérlő modulhoz illesztve. Ennek az az oka, hogy ha a kijelzőt bármiért le kellene cserélni a mérőeszközön, legyen az fizikai sérülés vagy esetleges meghibásodás, azt könnyen meg lehessen valósítani a vezetékek lecsatlakoztatásával, illetve a rögzítő anyacsavarok leszerelésével.



30. ábra: A forrasztást követően a NYÁK programtesztelés alatt

8.) Összegzés

Maga a tervezés nem ment zökkenőmentesen, a NYÁK rajzot többször újra kellett gondolni a mérete és az alkatrészek elhelyezése szempontjából. További problémát okozott az átvilágítást megvalósító mérőfej tervezése is, ugyanis az első koncepciók túlságosan megnövelték volna a gyártandó területet, jócskán megemelve ezzel a költségeket. Az alkatrészlista és költségvetési táblázat a 31. ábrán látható, melybe nem került beszámításba a NYÁK gyártása.

A mérések megtervezése és az elméletük gyakorlatban történő megvalósítása rengeteg időt felemésztett, viszont sikerült megvalósítani minden előre eltervezett vizsgálatot olyan kapcsolásokkal, melyek mindegyike legalább egyszer előkerült egyetemi tanulmányaim alatt. Legbonyolultabbnak talán a vezetőképesség mérést nevezném, ugyanis ez az egyetlen olyan mérési pont, amelynél több műveleti erősítő összehangolt és precíz működését kellett kivitelezni.

Probléma az átvilágítás mérésnél elkövetett tervezési hiba is, mely sajnos a mérés szempontjából majdnem végzetes. Ennek kijavítása a jövőben, egy új revízióban fog megtörténni. Szerencsére a mikrovezérlőn vannak még szabad, ADC-re kötött lábak, így elég lesz áthuzalozni a kivezetést egy másikra a jelenlegiről.

Sajnos a program sem hibátlan, még nem készült el teljesen, a hőmérsékletmérés folyamatosan 50°C-ot mutat, holott műszerrel kimérhető az aktuális hőmérséklet, így a mérés maga működőképes. Ugyan ilyen hiba a vezetőképesség és a TDS mérése is, szintén műszerrel pontos értéket lehet kapni, a mérési elv helytálló, ugyanakkor a program nem képes feldolgozni még a mért eredményeket. Ezek kijavítása és a program befejezése szintén a jövőben fog megtörténni.

Összegezve azt lehet mondani, hogy a mérések, a mérések elvei megállják a helyüket, a tervezett eszköz minden kapcsolása működőképes, azonban a programban található hibák miatt egyelőre nem működőképes a műszer, ez orvoslásával azonban egy szinte teljesen pontos, megbízható, kalibrálásra váró készüléket kaphatunk.

Alkatrész megnevezése	Gyártói jelölés	Ár [/db]	Ár Áfá-val [/db]	Mennyiség [db]	Teljes ár
ATTiny26-16PU (Mikrovezérlő)	ATTINY26-16PU	1000	1274	1	1274
LCD2004 kijelző	KC-2004-BB	1772	2251	1	2251
LCD-I2C illesztő modul	LCD-I2C	783	994	1	994
18650 akkumulátor	NCR18650B	2313	2937	4	11748
18650 akkumulátor foglalat	1 X 18650K	1621	2058	4	8232
Transzformátor	TSZZ4.5/008M	1988	2525	1	2525
Kapcsoló	TSM202A2	329	418	1	418
8Mhz kvarc	-	110	140	1	140
Ellenállás, 16Ω	-	18,19	23,1	2	46,2
Ellenállás, 10kΩ	10k 0805	4,08	5,18	8	41,44
Ellenállás, 1kΩ	1k 0805	4,28	5,44	4	21,76
Ellenállás, 51kΩ	51k 0805	3,46	4,39	3	13,17
Ellenállás, 120Ω	-	26,91	34,18	1	34,18
Ellenállás, 20Ω	-	25,82	32,79	1	32,79
Ellenállás, 10Ω	-	26,67	33,87	1	33,87
Ellenállás, 510Ω	510, 0805	28,58	36,3	3	108,9
Ellenállás, 1MΩ	1M, 0805	29,75	37,78	1	37,78
Ellenállás, 4,7kΩ	4k7 0805	30,38	38,58	2	77,16
Kondenzátor, 22pF	22p 0805	33,27	42,25	2	84,5
Kondenzátor, 100nF	100n 0805	5,02	6,38	2	12,76
Kondenzátor, elektrolit, TH, 100μF	100μF	44,89	57,01	1	57,01
Kondenzátor, elektrolit, SM, 100μF	EEF1E101AP	344,656	344,656	2	689,312
Kondenzátor, elektrolit, SM, 330μF	MCVVT6R3M331EA6L	95,759	95,759	2	191,518
LED, 3mm, piros	LL-304VC4B-V1-2BD	54,62	69,37	1	69,37
LED, 3mm, zöld	LL-304PGC4B-G5-2BD	58,62	74,45	1	74,45
LED, 3mm, kék	LL-304BC4B-B4-1GD	76,53	97,19	1	97,19
Fototranzisztor	PT204-6B-27	114	145	3	435
PNP tranzisztor	BC856B	34,88	44,3	3	132,9
Réz távtartó	DZ-M2-KB-1003-C	47,13	59,86	10	598,6
Feszültség szabályozó, -5V	79M05	375	477	1	477
Feszültség szabályozó, +5V	L7805CDT-TR	268	340	1	340
Műveleti erősítő, két csatornás	LM358D	122	154	1	154
J-FET-es műveleti erősítő (4)	TL074CD	211	268	1	268
Hőérzékelő	LM35DZ	1037	1317	1	1317
Szállagkábel csatlakozó	ZL231-10PG	55,58	70,59	1	70,59
Csatlakozó, 2 pólus	XH-2A	37,34	47,42	2	94,84
Csatlakozó, 3 pólus	XH-3A	41,1	52,2	1	52,2
Csatlakozó, 4 pólus	XH-4A	44,86	56,97	1	56,97
Csatlakozó, 6 pólus	B6B-XH-A	158	201	1	201
PCB sorkapocs	TB-3.5-P-2P/BL-X	93	118	1	118
Egyenirányító dióda	1N4001	47,25	60,01	10	600,1
Zener dióda	BZX55C5V1	38,26	48,59	2	97,18
Shottky dióda	1N5817 (SB120)	69,99	88,89	2	177,78
Végösszeg:					34496,52

31. ábra: Árlista és költségvetés

9.) Summary

The design itself did not go smoothly, the PCB drawing had to be rethought several times in terms of size and placement of components. A further problem was the design of the measuring head for the screening, as the first concepts would have increased the area to be manufactured too much, thus increasing the costs considerably. The parts list and budget table is shown in Figure 31, which does not include the production of the PCB.

Planning the measurements and putting their theory into practice consumed a lot of time, but I managed to carry out all the planned tests with circuits that I had used at least once during my university studies. Perhaps the most complicated was the conductivity measurement, as this is the only measurement point where the coordinated and precise operation of several operational amplifiers had to be implemented.

There is also the problem of a design flaw in the screening measurement, which unfortunately is almost fatal for the measurement. This will be corrected in a new revision in the future. Fortunately, the microcontroller still has free ADC-connected legs, so it will be enough to rewire the output to another one from the current one.

Unfortunately, the program is not flawless, it is not completely finished yet, the temperature measurement shows 50°C all the time, although the actual temperature can be measured with an instrument, so the measurement itself is functional. The measurement of conductivity and TDS also has the same error, the instrument can also give an accurate value, the measurement principle is correct, however the program is not yet able to process the measured results. These will be corrected and the program completed in the future.

In conclusion, the measurements, the principles of measurement are sound, all the connections of the designed instrument are functional, however, due to errors in the program, the instrument is not yet functional, but by correcting this, we will have an almost completely accurate, reliable instrument awaiting calibration.

10.) Fejlesztési lehetőségek

A projekt nem hibamentes, és mivel prototípus jelenleg is, ahhoz, hogy valódi termék lehessen még sok fejlesztésen kell átesnie. Első és legfontosabb, ami ilyen, nem csak a hordozhatóság, de a folyamatos üzemeltetés alatti helyfoglalás szempontjából is az lenne, hogy legalább a felére kellene csökkenteni a jelenlegi méretét.

Ez a probléma megoldható egy jobb hatásfokú de kisebb transzformátorral, esetlegesen egyenfeszültségű betáplálással és kapcsolóüzemű integrált tápáramkörökkel, kisebb és más feszültségű akkumulátorokkal, illetve egy olyan kijelzővel, mely nem ennyire robusztus.

Kijelző változtatás esetén dizájnbeli változások, előrehaladás is várható, mely szintén hozzájárulhat ahhoz, hogy a mérőműszer elérje azt a szintet és színvonalat, ahol már úgy lehet beszélni róla, hogy „termék”.

Fontos fejlesztési pont a különálló mérőfejek. Tervezni és gyártani kellene egy olyan mérőfejet, mely képes egymagába foglalni mindazt, amit jelen pillanatban három különböző darab lát el, jóval kevesebb vezetékkel és esetlegesen saját mikrovezérlős áramkörrel. Mivel a NYÁK alapból rendelkezik I2C protokollt alkalmazó buszrendszerrel, akár erre is „felfűzhető” lenne egy újabb mikrovezérlő.

Az I2C protokoll segítségével tervezni lehetne a jövőben a NYÁK-ra egy kiegészítő memóriarészt, melyre a mikrovezérlő gyűjthetné az adatokat, azokat naplózva, esetlegesen időbélyegezve.

Problémát jelentett a programozás során a mikrovezérlő belső memóriájának a mérete, egy komolyabb fejlesztés vagy újragondolás esetén elképzelhető, hogy egy komolyabb alkatrész előnyösebb lenne.

11.) Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Horváth Márk, Dr. Turmezei Péter Ph.D és nem utolsósorban Harányi Ádám tanár uraknak, hogy tudásukkal, tapasztalatukkal és tanácsaikkal segítették munkámat.

12.) Ábrajegyzék

1. ábra: Mérőeszköz egyszerűsített blokkvázlata	3
2. ábra: ATtiny26-16PU PDIP tokozásban	5
3. ábra: 20 pólusú integrált áramkör foglalat	6
4. ábra: Mikrovezérlő belső blokkvázlata	7
5. ábra: EASY EDA program	9
6. ábra: Saját alkatrészkönyvtár (bal oldalon) és huzalozási eszközök (jobb oldalt felül).....	10
7. ábra: Példa a nyílt könyvtárra.....	10
8. ábra: Tápellátás teljes kapcsolási rajza.....	12
9. ábra: LM7805 és LM7905 feszültségszabályozó pár alkalmazása	13
10. ábra: Alkalmazott 18650-es akkumulátorok és az őket kísérő Zener diódák.....	14
11. ábra: LM35DZ hőérzékelő	15
12. ábra: Adatlap [3] által javasolt kapcsolat	16
13. ábra: Hőmérséklet érzékelő és műveleti erősítő.....	16
14. ábra: Vízálló hőmérő vezetékkel és csatlakozóval	18
15. ábra: Fototranzisztor felépítése, Horváth Zsolt József tananyagából [4]	19
16. ábra: Fototranzisztor áramának meghatározásához használt áramkör	20
17. ábra: Átvilágítás és fototranzisztor jelének erősítése	21
18. ábra: Az átvilágításhoz megvalósított mérőfej	22
19. ábra: Multiméteres mérés	23
20. ábra: Vezetőképesség vizsgálatához alkalmas mérőfej	24
21. ábra: Vezetőképesség mérését leíró blokkvázlat	25
22. ábra: Vezetőképesség mérés	26
23. ábra: Oszcillátor kimenete oszcilloszkópon	27
24. ábra: TDS-3 mérőműszer által kapott érték: 150ppm	29
25. ábra: NYÁK terve a programban	30
26. ábra: TO-263 és TO-252 Footprintek összehasonlítása	32
27. ábra: 2D nézet az EASY EDA programban, felső oldal.....	34
28. ábra: 3D nézet az EASY EDA programban, felső (jobb) és alsó (bal) oldal.....	35
29. ábra: Elkészült NYÁK	37
30. ábra: A forrasztást követően a NYÁK programtesztelés alatt.....	39
31. ábra: Árlista és költségvetés	41

13.) Felhasznált Irodalom:

- [1]: <https://www.microchip.com/en-us/product/attiny26#document-table>
- [2]: <https://easyeda.com>
- [3]: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [4]: Horváth Zsolt József: Mikroelektronika tárgy, Fotoelektromos II tananyagából
- [5]: <https://jlcpcb.com>
- [6]: Nádas József: Elektronikai Technológia: 04. Gyártási alapok 2.