

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

MÉRÉSTECHNIKA ÉS INFORMÁCIÓS RENDSZEREK TANSZÉK

SZAKDOLGOZAT

Intelligens nyomásmérő műszer fejlesztése

Készítette: Kertész Sándor (EJBQMN)

Konzulens: Dr. Sujbert László, docens

Külső konzulens: Sándor Éva Ividő

2012

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Kertész Sándor, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem. Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2012. május 11.

.....
Kertész Sándor

hallgató

Kivonat

A nagyobb cégek általában komoly járműflottával rendelkeznek. Felmerül az igény, hogy tudjuk ezek pontos helyét a térképen. Néha megesik, hogy a sofőrök saját céllal használják az autókat, ami ennél is rosszabb üzemanyagot, vagy árut lopnak. Ezen visszaélések felderítésére jött létre az iData Kft, mely GPS alapú járműkövető rendszer segítségével felügyeli a flottákat.

Az én feladatom a rendszer egy komponensének kifejlesztése volt. A cementszállító kamionok rakományának ürítését kellett detektálnom, mely alapvetően nyomás, hőmérséklet és rezgésmérésből állt. Rendelkezésemre bocsájtottak egy korábban kifejlesztett nyomásmérő tervét, de a mostoha körülmények, és új elvárások miatt ez elavulttá vált. Az új műszernek a környezeti behatásoknak és szándékos rongálásoknak is ellen kell állnia. A szakdolgozatom során ennek az áramkörnek a tervezési folyamatát fogom bemutatni.

Az első részben ismertetem a problémát, ami miatt a dolgozat létrejött, bemutatom a rendszerrel szembeni elvárásokat, igényeket. Ezt követi a felhasználási környezet feltérképezése, végül a régi nyomásmérő szonda elemzése. Ezen szempontok alapján készítem el az áramkör részletes specifikációját is.

Egy nagyobb egység szól a nyomásmérés elvi lehetőségeiről, ezek gyakorlati megvalósításáról, valamint az általam felállított kritériumok alapján kiválasztott szenzorról. Ismertetem azokat a nehézségeket, melyek egy fejlesztés során felmerülhetnek, majd kitérek a megfelelő szenzor beszerzése során felmerülő problémákra.

Az ezt következő fejezetekben az áramkörben felhasznált további alkatrészeket mutatom be, és ezek kiválasztási szempontjait. Részletesen foglalkozom a kapcsolás fő moduljainak felépítésével, és a tervezést befolyásoló szempontokkal. Arra törekszem, hogy a problémákat több oldalról is megközelítsem és megtaláljam a legoptimálisabb megoldást.

A dolgozat végén bemutatom az elkészült áramkört, értékelem a munkámat, kitérek a hibákra, végül ismertetem a továbbfejlesztési lehetőségeket.

Abstract

Most of the companies usually possess a quite big vehicle fleet. The idea of knowing the exact location of these vehicles may come up. Sometimes it happens that the drivers use the cars owned by the companies for private aims, or what is even worse, they steal petrol, products, or items from the vehicle. To avoid these exact failures, a company called iData has been created, which is a GPS based vehicle tracking system, capable of supervising the companies' fleets.

I have been taking part in this project. My task was to develop one component of the system. My exact work was to detect the emptying cargo of a cement transporting truck. I was given an earlier developed plan of a pressure gauge, but due to inconvenient circumstances and new expectations it soon became useless.

The new device has to resist the environmental impacts and the impairment as well. In my thesis I am going to introduce the designing process of this new device.

In the first part I am going to show the problems that actually created this document. As well, I am going to write about the expectations and the needs of this system, then about the mapping of the application area, and there is going to be some paragraphs about the analysis of the old pressure gauge probe. I have also made the detailed specification based on these aspects.

A bigger chapter is about the principle of measurement possibilities, how they actually work in practice, and about the sensor I choose based on my aspects. I am going to write about the difficulties that came to surface during the developing and then about the problems that may occur by purchasing the adequate sensor.

In the next chapters I am going to introduce the further pieces included in the circuits, as well as my exact aspects of choosing them. I am going to mention the switching of the main module and the aspects which caused difficulties during the developing. My aim is to address the problem from different viewpoints and solve it in the best possible way.

At the end of my thesis I am going to demonstrate the whole circuit, value my work, and write about the known mistakes, the possible new features, and improvement.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezető.....	1
1.1.	Probléma felvetése	2
1.2.	A probléma részletes elemzése.....	2
1.2.1.	Felmerülő igények	3
1.2.2.	Elvárt működési paraméterek	4
1.3.	Áttekintés.....	4
1.4.	Rendszerterv	7
2.	Kutatás	8
2.1.	A nyomásmérők csoportosítása.....	8
2.2.	Nyomásmérők működési elve	9
2.2.1.	Piezorezisztív átalakítók	9
2.2.2.	Nyúlásmérő bélyeggel megvalósított nyomásmérés	10
2.2.3.	Kapacitív elven történő nyomásmérés.....	10
2.3.	Régi szondák elemzése.....	11
2.3.1.	Mért eredmények	12
3.	Nyomásmérő szenzor keresése	14
3.1.	Távadók	15
3.2.	Fémmembrános szenzorok	16
3.3.	Beszállítók keresése	17
4.	UPX19 nyomásmérő szenzor.....	20
4.1.	Tokozás, fizikai határok	20
4.2.	Elektromos paraméterek.....	21
4.3.	Analóg erősítő	22
5.	A vezérlő.....	25
5.1.	STM32F103RD bemutatása	25
5.2.	ChibiOS	28

5.3. A szoftver	29
6. A műszert felépítő egyéb modulok	31
6.1. Gyorsulásmérő.....	31
6.2. Hőmérő.....	32
6.3. RFID olvasó	33
6.4. Kommunikáció	34
6.4.1. RS485	34
6.4.2. Robin protokoll.....	35
6.4.3. RS485 szintillesztés	36
6.5. Kiegészítő memória.....	36
7. Tápáramkör	37
7.1. Túlfeszültség ellni védelem.....	37
7.2. Az áramkörben előforduló feszültségek, áramfelvételek	38
7.3. 5v előállítása.....	39
7.3.1. L5973 kapcsoló üzemű táp IC	40
7.4. 3.3V előállítása.....	40
7.4.1. Analóg szűrés.....	41
7.5. Szuperkapacitás	41
7.6. RTC tápellátása	43
8. Nyáktervezés.....	46
9. Elkészült áramkör bemutatása	48
10. Összegzés.....	51
11. Felhasznált irodalom.....	54
12. Mellékletek	57

1. Bevezető

Manapság igen fontos a nyomkövetés, az, hogy egyes eseményeket, tevékenységeket, rögzíteni, igazolni, bizonyítani tudjunk. Nincs ez másképp a fuvarozás, áruszállítás terén sem. Itt is szeretnénk tudni, hogy az áru merre jár, milyen állapotban van. Sokszor fontos információ egy jármű pontos helye, állapota, rakományának fizikai jellemzője. Ezek közül érdekes lehet a raktér hőmérséklete, kamionok esetén azok tengelyterhelése, továbbá a tartályban szállított anyag nyomása. A szakdolgozat szempontjából a nyomásnak van kitüntetett szerepe, ugyanis egy olyan műszer tervezését mutatom be, amely a cementszállító kamionok tartályának nyomását méri.

Az iData Kft. a fent felsorolt adatok megfigyelésére jött létre. A cég kifejlesztett egy iTrack nevű rendszert, mely a járművek GPS alapú flottakövetését szolgálja. Ez folyamatosan gyűjti a jármű GPS koordinátáit és egyéb számunkra fontos adatokat. A begyűjtött információt GSM hálózaton keresztül kapja meg a központi szerver, és ezekből kimutatásokat készít. Az ügyfelek webes felületen keresztül ellenőrizni tudják a járművek pillanatnyi helyzetét, és lekérdezni a feldolgozott információkat.

Az iTrack képes sofőrazonosítást végezni, és a rakományról is szolgáltat információkat. Meghatározott időközönként letárolja az üzemanyag aktuális szintjét, így követhetővé válik a tankolás és az üzemanyag fogyása. Egyes esetekben tároljuk az autó fordulatszámát, a járműre, és ezáltal a rakományra ható gyorsulási értékeket, a raktér hőmérsékletét, továbbá tartályok esetén azok nyomását. Ezenkívül időbélyeggel ellátva rögzíti a gyújtás ráadását és elvételét, valamint az ajtók, beleértve a raktér ajtajának nyitását. Ezen adatok segítségével számos esemény megfigyelhető, melyekről a szerver riasztásokat, jelzéseket küld a járművet üzemeltető cég felé.

A rendszer működésének feltétele, hogy a járműbe egy fedélzeti egység beszerelésre kerüljön. Ez a fedélzeti egység a legkorszerűbb GPRS on-line kommunikációs technológiával működik, folyamatosan gyűjti az adatokat, és továbbítja azt a szerverszámítógépnek. A fedélzeti egység kisméretű, kis fogyasztású, több digitális és analóg bemenettel rendelkezik, melyekre igény szerint speciális perifériák is ráköthetők (riasztók, ajtónyitás-érzékelők, üzemanyagszondák, hőmérők stb.)

1.1. Probléma felvetése

A rendszer eddig is képes volt nyomást mérni, viszont akadtak hiányosságai. A nyomásmérő szondát mostoha körülmények között használták, ezért gyakran előfordult, hogy tönkrement, és cserélni kellett. A szonda analóg jelet szolgáltatott, ami a csatlakozóknál fellépő korrózió miatt erősen torzult. Ez esetben nem lehetett megállapítani a mért jelről, hogy ez hiba eredménye, vagy épp valamilyen nyomásértéket olvasunk-e le.

A másik nagy probléma, hogy a szonda nem rendelkezett intelligenciával. Nem tudta rögzíteni az őt érő eseményeket, nem tudott riasztást küldeni, ha megpróbálják eltávolítani a helyéről. Ezek a hiányosságok vezettek oda, hogy a régi szonda helyett egy új megoldással kellett előállni.

1.2. A probléma részletes elemzése

Az új nyomásmérő műszer kiváltja az előző szondát, vagyis továbbra is méri majd a tartály nyomását, viszont új funkciókkal kell bővülnie. Ezért a legfontosabb feladat a szondában használt nyomásmérő szenzor felülvizsgálata. Mivel sok régi eszköz tönkrement, ezért fontos kiderítenem, hogy mi okozza a meghibásodást, hogy ebből tanulva ki tudjam küszöbölni a hibát.

Elsősorban a 1.1. ábrán látható cementszállító kamionoknál használják a nyomásmérőt, a cementpor ürítésének detektálására. A cement ürítését úgy végzik, hogy a tartályban kompresszorral 2-3 bar túlnyomást hoznak létre, ezután pedig a levegő és cementpor keverékét egy csövön kifűjják. A régen működő rendszer mérte a tartályban fellépő nyomást, és ellenőrizte, hogy a kivezető csövet lezáró sapka a helyén van-e.

A kivezető csőbe egy reed-relés érzékelőt ragasztottak be, a lezáró sapkába pedig egy erős mágnest. Amennyiben a sapkát megfelelően felhelyezték, akkor záródtak a relé érintkezői, és ezt a fedélzeti egység érzékelte. Abban az esetben, ha a sapkát eltávolították, akkor a relé szétkapcsolt, és egy ellenállásosztóval csökkentett feszültséget mért vissza a fedélzeti egység. Ezzel a megoldással detektálni lehetett a sapka hiányát, és megkülönböztetni a vezeték szakadásától. Ennek ellenére mégis történtek visszaélések.



1.1. ábra. Cementszállító kamion

A kompresszor és a tartály közötti cső, a benne fellépő nagy nyomás miatt fel tud hevülni, és a műszernek ezt el kell viselnie. Továbbá, a levegő mellett cementpor is kerülhet a csőbe, ezért olyan nyomásmérő szenzort kell választanom, ami ennek ellenáll. Fel kell készülni, hogy a nyomásmérőt szándékosan megpróbálják majd tönkretenni és a mért eredményt meghamisítani. A régi szonda működése során erre számtalan példát találtunk. Előfordult olyan eset, hogy a nyomásgombát eltávolították, és ezt sokáig nem is lehetett kimutatni. Más esetben felmelegítették, vagy maró anyaggal öntözve próbálták benne kárt tenni.

1.2.1. Felmerülő igények

- Olyan digitális jelátvitellel kommunikáljon, amely jobban bírja a korrózió okozta torzulásokat.
- A levegőkörbe kerülő cementpor miatt olyan érzékelő kell, ami ennek ellenáll.
- A szenzor mérje a saját hőmérsékletét és kritikus esetben riasztást küldjön a mért hőmérsékletekkel, esetleg folytonosan kommunikáljon, és a vevőegység dönthet a riasztásról.
- A műszer mérje a lefújások alatti rezgésállapotot, mivel ezzel is többletinformációhoz jutunk.
- Képes legyen RFID kártya olvasására.
- A műszer jelezze, ha a beszerelt helyéről elmozdítják.
- Tápellvétel után is rögzítsen bizonyos adatokat.
- Nagyfeszültséggel ne lehessen tönkretenni, a próbálkozásokat tárolja, ezek lekérdezhetőek legyenek.

- Illeszkedjen a régi szonda helyére, ne kelljen új mérőpontot kialakítani a kamionon.
- Távolról javítható, fejleszthető program fusson rajta.

Ezeknek a funkcióknak az együttes megléte lehetővé teszi, hogy a lefűjást olyan biztonsággal állapítsuk meg, hogy a reed-relés érzékelő ne legyen szükséges, ugyanis a csövet lezáró sapka hiánya csak a lefűjás „lehetőségét” jelzi, a tényét nem. Az ürítéskor bekövetkező rezgést a gyorsulásmérés biztosabban tudná jelezni, így a teljes kontrollhoz nem két eszköz kell egy-egy érzékelővel, hanem egy műszer több szenzorral. Ez már önmagában is csökkenti a hibalehetőségek számát. Az új rendszer alkalmazásával a hiba okát az esetek többségében távolról, akár kiszállás előtt is meg lehetne állapítani a diagnosztikai program futtatásával.

1.2.2. Elvárt működési paraméterek

A műszer tervezésének kezdetén felmerülő korlátok az 1.1. táblázatban láthatók.

Üzemi feszültségtartomány	12 – 30 V
Nyomástartomány	0 – 4 bar
Hőmérsékleti tartomány	-40 °C – +100 °C
Maximális gyorsulás	4g
Nyomásmérés pontossága	maximum 1.5% FS hiba
Maximális méretek	5cm sugarú, 8cm magasságú henger
Adatátvitel	RS485
Maximális feszültség	230 V

1.1. táblázat. Működési paraméterek

1.3. Áttekintés

A fent megállapítottak alapján egy olyan műszerre van szükség, mely zárt kialakítású, ezáltal ellenálló a különböző vegyi- és maróanyagokkal szemben, kis helyen elfér, és elviseli a magas hőmérsékletet. A műszer maximális méretét a tartály, és a kompresszor csövének kölcsönös helyzete határozza meg. Itt fontos kiemelni, hogy a műszert a régi szonda helyére kell csatlakoztatni, ezért figyelembe kell venni,

hogy az eszközhöz menő vezeték is plusz helyet foglal, ami a felhelyezést nehezíti. Az 1.2. ábrán láthatjuk a kompresszor csövét, a csap felett egy analóg nyomásmérővel, tőle balra pedig a digitális nyomásmérő helyezkedik el. Ennek a helyére kell majd beszerezni az új mérőműszert.



1.2. ábra. Nyomásmérő műszer helye a tartályon

Felmérve a rendelkezésre álló teret, arra a következtetésre jutottam, hogy a műszer átmérője nem lehet 14cm-nél több. Ennek ellenére én szeretném még ennél is kisebb méretben megvalósítani az áramkört, mivel a nyomtatott huzalozású lemez ára szoros összefüggésben áll annak méretével.

A szerelvény leakasztásakor a műszerhez menő vezetéket is szétcsatlakoztatják, ezért ahhoz, hogy tápellátás nélkül is rögzíthessen adatokat, valamilyen belső áramforrásra lesz szükség. Fontos, hogy az áramkör műgyantával történő kiöntése után, az alkatrészeket később már nem lehet cserélni. Olyan áramforrást kell választani, mely elég ideig tudja működtetni az áramkört. Akkumulátoros táplálás esetén ez nem probléma, mert tölthető, viszont elemes használat mellett figyelembe kell venni, hogy átlagos használat mellett meddig lesz működőképes a rendszer.

Az önálló működéshez elengedhetetlen valamilyen programozható controller használata, mely elég gyors a számolások elvégzéséhez, viszont elég kicsi a fogyasztása, hogy külső tápellátás nélkül is megfelelő ideig tudjon üzemelni.

A tartály rezgésének figyelését erőmérésre vezetem vissza, ezért szükség lesz egy gyorsulásmérőre. Mivel a kamionok télen-nyáron dolgoznak, fel kell készülni -40 °C hidegre, és a nagy nyomás miatt 100 °C körüli hőmérséklet is előfordulhat. Az RFID kártyás azonosításhoz szükséges lesz egy antenna, és a hozzá kapcsolódó vezérlő áramkör. A digitális adatátvitelhez a fedélzeti egységnek van egy előre definiált protokollt használó csatlakozója, melyhez RS485 interfészen keresztül lehet kapcsolódni.

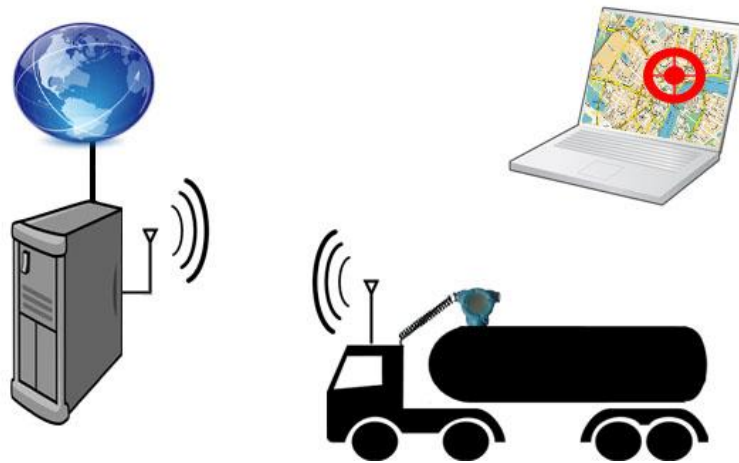
A kimenetet rövidzár, illetve túlfeszültség védetté kell tenni az áramkör védelme érdekében. Nem utolsó sorban, elengedhetetlen egy nyomásmérő szenzor is, ami toleráns a nagy hőingadozással szemben és ellenáll a cementpornak is.

A fenti elvárások néhány esetben egymásnak ellent mondanak. Például az akkumulátorok, és a kondenzátorok nem viselnek el túl nagy hőmérsékletet. Ezek adatlapjai alapján 60°C a tartósan megengedett legnagyobb hőmérsékletük. Ennek tudatában vagy máshogyan kell majd a tápellátást megoldanom, vagy speciális, magasabb hőmérsékletet elviselő alkatrészeket kell keresnem. Továbbá az áramkör kis mérete és az RFID antenna sem könnyen összeegyeztethető, mivel az antenna felületének is van egy alsó korlátja, ami alatt már nem működik jó hatásfokkal. Ezenkívül a régi szonda alumínium háza elég jó mechanikai védelmet biztosított, viszont az RFID olvasó jelét ez leárnyékolhatja. A mérések általában energiaigényes folyamatok, viszont a kis méretbe nem lehet nagy energiaforrást elhelyezni.

A fent említett, és sok más hasonló szempont figyelembevételével, továbbá rengeteg kompromisszummal, a kívánt műszer egy jól megfontolt mérnöki döntéssorozat eredményeképpen születhet meg. A tervezés során fontos szempont, hogy illeszkedjen a már meglévő fedélzeti egységhez, és a teljes iTrack rendszerhez. Ehhez elengedhetetlen, hogy a már működő rendszert elemezzem, megértsem annak működését. A szakdolgozat elkészítése során próbáltok arra törekedni, hogy bemutassam egy probléma lehetséges megoldásait, majd ezek közül egyet kiválasztva felépítsem a rendszert.

1.4. Rendszerterv

Az 1.3. ábrán az iTrack rendszert mutatom be, benne az általam tervezett nyomásmérő műszerrel.



1.3. ábra. Rendszerterv

A képen egy cementszállító kamion látható, melynek tartályára a nyomásmérő műszer van felszerelve. Az eszköz a fülkében levő fedélzeti egységgel kábelen keresztül tartja a kapcsolatot, és továbbítja neki a mért értékeket. A fedélzeti egység elemzi a beérkezett információkat, tárolja a hibajelzéseket, majd ezeket GPRS kapcsolaton keresztül elküldi egy szervernek az autó GPS koordinátaival együtt. A szervergép a beérkezett adatokat lementi, majd a felhasználók számára elérhetővé teszi. Az ügyfelek interneten keresztül le tudják kérdezni a járművek helyzetét és adatait, a pozíciót térképre kirajzolva kapják meg, a begyűjtött adatokat pedig időgrafikonon.

2. Kutatás

A munkát a nyomásmérés elvének tanulmányozásával, a nyomásmérők működésének megértésével kezdtem, majd a régi szondában használt nyomásszenzort elemeztem. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a szakdolgozat csak az elektromos nyomásmérőkkel foglalkozik, ennek ellenére rengeteg mechanikus nyomásmérő berendezés is létezik, melyek működésére a továbbiakban nem térek ki.

2.1. A nyomásmérők csoportosítása

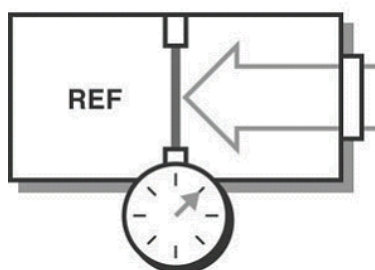
Alkalmazás szerint:

- Manométer: Olyan műszer, mely a légköri nyomásnál nagyobb nyomást mér.
- Vákuumméter: A légköri nyomásnál kisebb nyomást mérő műszer.
- Barométer: A légköri nyomást mérő műszer. [1]

Kialakítás szerint:

- Abszolút nyomásmérő (ABSOLUTE)

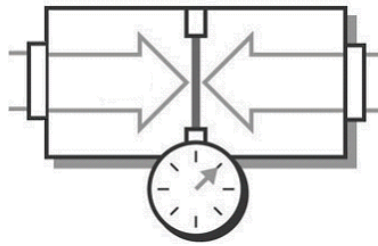
A mérés során a vákuumot vesszük referenciának, és ehhez képest adjuk meg a nyomás értékét. Az iparban széles körben elterjedt ez a mérési módszer, mivel nem függ a környezettől, zárt térben, tartályban is lehet alkalmazni. Nagy előnye, hogy a szenzort szinte teljesen el tudjuk szigetelni a környeztetétől, a nyomásmérő cső kivételével a rendszer akár tömítőanyaggal is kiönthető.[2]



2.1. ábra. Abszolút nyomásmérés

- Differenciális nyomásmérő (DIFFERENTIAL)

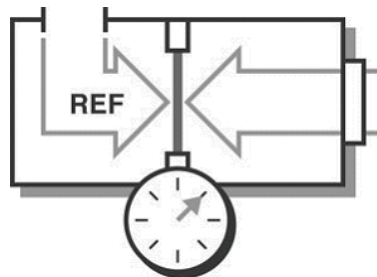
Ebben az esetben a nyomásmérő szenzor két bemenettel rendelkezik, és a kettő közti nyomáskülönbséget méri. Az iparban általában két, zárt rendszer egymáshoz viszonyított nyomáskülönbségének mérésére használják. Ezeket a szenzorokat is megfelelően tudjuk izolálni a mérendő közegtől, ennek ellenére a jelenlegi feladathoz nem alkalmasak.[2]



2.2. ábra. Differenciális nyomásmérés

- Légkörhöz viszonyított nyomásmérő (GAUGE)

Az előzőekkel ellentétben itt a légköri nyomáshoz képest adjuk meg a nyomás értéket, ezért ez is felfogható egyfajta differenciális nyomásmérésként. Ebben az esetben szoktuk használni a túlnyomás kifejezést. A szenzorok a háza nyílt kialakítású, általában rendelkeznek egy kivezető csővel (angol terminológiában: vent tube), amin keresztül méri az atmoszférikus nyomást. Ezt nem használhatjuk bemenetnek, és nem is zárhatjuk le, szabadon kell hagyni. Ilyen típusú szenzorokat használnak a kompresszorokban, például az autók keréknyomás méréséhez, – itt nem a kerékbe beépített nyomásmérőre kell gondolni. Mivel a műszer házát ki kell majd tölteni valamilyen szigetelő-rögzítő anyaggal, ezért ezek a szenzorok sem alkalmasak a feladatra.[2]



2.3. ábra. Légkörhöz viszonyított nyomásmérés

2.2. Nyomásmérők működési elve

A nyomásmérés lényege, hogy a mechanikai nyomásból eredő elmozdulás elektromos jellé alakuljon át.

2.2.1. Piezorezisztív átalakítók

A levegő útjába egy félvezető lapkát helyezünk, mely alakja a nyomás hatására megváltozik. Ezáltal a deformált félvezető ellenállása megváltozik, és ezt a megváltozást tudjuk felhasználni a nyomás mérésére. Ezzel a módszerrel nagy pontosságú, lineáris kimenetű szenzor készíthető. Kis nyomások méréséhez nanométer vastagságú szilícium lapkára van szükség, míg nagyobb nyomáshoz, vastagabbat

alkalmaznak. Nagyobb hordozót alkalmazva, ezen elhelyezhető a jelformálást és erősítést végző áramkör is. A szenzor lehet nyílt kialakítású, ekkor a mérendő levegő egy szilikon rétegen keresztül a félvezető kristállyal érintkezik. Az ilyen típusú átalakítók előnye a nagy integráltság, nagy pontosság. Egyes szenzoroknál megtörténik a jel linearizálása, kompenzálása, így a kimenetük nem függ a hőmérséklettől. Hátrányuk viszont, hogy az eszköz sérülékeny, általában kisebb nyomástartományban használható, és nem mérhető vele bármilyen közeg nyomása. A szenzor készülhet zárt kivitelben is, ekkor a külvilággal egy fém membránon keresztül érintkezik. Ezek már pontatlanabbak, és a jelkondicionálást is nekünk kell megoldani. [3] [4] [5]

2.2.2. Nyúlásmérő bélyeggel megvalósított nyomásmérés

A szenzor házára belülről rögzítenek egy ellenállás réteget. A membrán deformációja miatt bekövetkezett ellenállás értékének változását használjuk fel a nyomásváltozás mérésére. Az így elhelyezett ellenállások egy Whetstone-híd részét képezik. A membrán nyúlása során megváltozik a híd ágaiba helyezett ellenállások értéke, és a rajtuk eső feszültség változását mérhetjük. Ezek a szenzorok ellenállóak a környezettel szemben, mivel a felületük legtöbbször egy vékony fémréteg. Előnyük, hogy magasabb nyomáson tudjuk őket használni, és változatos, esetleg korrozív közegek nyomását képesek mérni. A magasabb nyomástartományból következik, hogy ezeknek az eszközöknek kisebb az érzékenyséjük. Általában lehetőséget biztosítanak külső kompenzálásra egy beépített mérőellenállás segítségével, de ez nem minden gyártó esetében van így. [3] [4] [5]

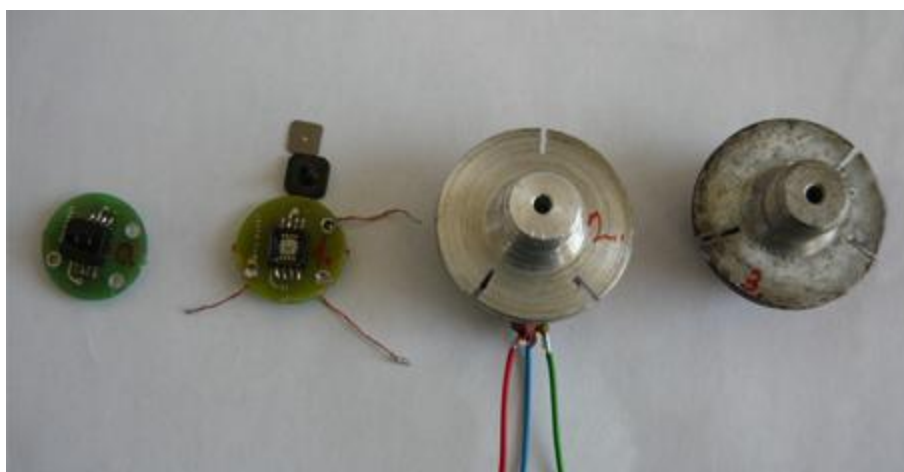
2.2.3. Kapacitív elven történő nyomásmérés

Az előző kialakításhoz hasonlóan a szenzor és a külvilág között ebben az esetben is egy fém membrán található. A mérés lényege, hogy az elmozdulást egy kondenzátor kapacitásának változásával tesszük arányossá. Itt a membránhoz rögzítik az egyik elektródát, a másikat pedig a szenzor belsejéhez. A nyomás által létrejött deformáció megváltoztatja a két elektróda távolságát, és ezáltal a két elektródából képzett kondenzátor kapacitását. A kapacitás változásából tudjuk kiszámolni a nyomásváltozást is. Itt is elmondható, hogy a szenzor ellenálló, de kis nyomástartományban kevésbé érzékeny. [3] [4] [5]

2.3. Régi szondák elemzése

Sikerült hozzájutnom néhány régi nyomásmérő szondához. Ezek között találtam olyat, amit még be sem építettek, és előfordultak olyanok is, amelyeket hiba miatt szereltek ki. A be nem épített szondák közül az egyik tökéletesen működött, és az áramkör még be sem volt tokozva. Ezen a darabon kiválóan lehetett méréseket végezni, ezért ezt vettem referenciának. A többi mind betokozva, és szigetelő anyaggal kiöntve került hozzám. Első lépésként az alumínium tokozást kellett róluk eltávolítani, és a szigetelést lefaragni az áramkörrel. Úgy érzem, a lehető legjobb kiöntőanyagot használták, mivel előfordult, hogy az alkatrész jobban tapadt a ragasztóhoz, mint a nyomtatott áramköri laphoz. Néhány esetben elengedte a forrasztás, mire sikerült kibontanom az áramkört.

A 2.4. ábra a vizsgált szondákat mutatom be. Bal oldalt a referenciaként használt darab, tőle jobbra egy hibásan működő egység látható, majd két olyan, ami még az alumínium tokban helyezkedik el.



2.4. ábra. Vizsgált nyomásgombok

Az áramkörben egy MPXHZ6400AC6T1 típusú nyomásmérő szenzor üzemelt. Ez egy kis csővel rendelkezik, amin keresztül méri a környezet nyomását. A teszt során ehhez a csőhöz egy sűrített levegős palackot csatlakoztattam, és ekkor nagyobb nyomáson is tudtam mérni a szenzorok kimenő feszültségét. A szétbontás során megsérült két szenzor kivezető csöve, így ezeket csak légköri nyomáson vizsgálhattam.

Az áramkör tápjában használt LP2950 lineáris táp IC adatlapjából kiderült, hogy a bemenő 12 és 24 V közötti feszültségből állít elő 5 V tápfeszültséget [6]. Ez táplálja a szenzort és az erősítőt is. Az MPXHZ6400AC6T1 kimenő feszültsége 0 - 4 bar

nyomástartományban, lineárisan 0 - 5 V között változik [7]. Ehhez kapcsolódik egy követő erősítő fokozat, melynek a kimenete egyben az áramkör kimenetét képezi.

A referencia szonda alapján az elemzést 4 lépésre tudtam bontani:

- Működik-e a táprész, megvan-e a referencia pontokon az előírt 5 V?
- Légköri nyomáson a szenzor kimenetén 1.2 V körüli érték található-e?
- Légköri nyomáson az áramkör kimenetén 1.2 V jeleneik-e meg?
- A szenzort nagyobb nyomásra kapcsolva változik-e a kimenő feszültség?

2.3.1. Mért eredmények

Minden esetben azt tapasztaltam, hogy a táprész rendben volt, és az erősítő fokozat is hibátlanul működött. A nyomásgombok hibáját minden esetben a szenzor okozta. Az öt tesztelt szonda közül volt egy, melyet be sem szereltek, hiányzott a kimenetéről egy soros ellenállás. Ezt pótolva, a kapcsolás előírás szerint működött. A többi áramkör eltérő viselkedést produkált. Például volt olyan, melynek a kimenete konstans 0.855 V-ot adott ki, és a nyomásváltozásra nem reagált. Egy másik, légköri nyomáson is 4.96 V-ot produkált, viszont ütégetésre egy pillanatra visszatért az elvárt 1.2 V-ra. Ha ez utóbbit nagyobb nyomáson teszteltem, akkor 3.74 és 4.94 V közötti értékeket mértem. Mivel minden esetben a szenzor hibásodott meg, ezért szétbontottam őket. Azt tapasztaltam, hogy a hibás szenzorok közepében mindig előfordult egy kis cementpor, viszont a 2.5. ábra látható bal oldali belsejében a többihez képest sokkal több halmozódott fel és kötött bele a chip felületét borító szilikon rétegbe. A hibákat összefoglaltam a 2.1. táblázatba.

Az MPXHZ6400AC6T1 egy piezorezisztív elven működő szenzor. A rajta levő „szellőző csövet” hiába védik szilikon kitöltéssel, a cementpor mégis árt neki. A specifikációja szerint is a mérendő közeg csak száraz gáz lehet. A magas hőmérséklet miatt megolvadhat a szilikon, és ebbe beleköt a levegőben szálló cementpor, és ez hosszú távon károsítja az eszközt [7]. Alapvetően nekünk csak légnyomást kell mérni a kompresszor és a tartály közötti csőben, de mivel nem tudjuk biztosítani azt, hogy a csőbe ne jusson cementpor, ezért az ilyen kialakítású szenzorok nem a legalkalmasabbak a feladatra. Keresnem kellett egy olyan eszközt, amely kiküszöböli az előző szenzor hibáit.



2.5. ábra. Hibás szenzorok

Sorszám	Leírás	Megjegyzés	Légköri nyomáson	Nagyobb nyomáson
0	Referencia szonda	Tökéletesen működik	1.191 V	4.17 V
1	Kamionból kiserelt	Jól működik, nincs benne cement	1.171 V	4.22 V
2	Kamionból kiserelt, kicsit korrodált	Cementpor a szenzorban	0.855 V	0.855 V
3	Kamionból kiserelt, a háza rozsdás	Kevés cementpor. A házon belül, a kiöntőanyagban is maróanyag nyomai láthatók. A kimenete nem stabil	4.96 V és 1.195 V	3.74 V és 4.94 V
4	Hiba miatt nem volt beépítve, letörött a kivezető cső	Kevés cementpor Hiányzott egy ellenállás, csak légköri nyomáson tudtam mérni	1.19 V	nincs adat
5	Kamionból kiserelt, letörött a kivezető cső	Sok cementpor a szenzorban	1.85 V	nincs adat

2.1. táblázat. Hibás szenzorok étékelése



3. Nyomásmérő szenzor keresése

A kutatást az iparban használatos nyomásmérő szenzorok tanulmányozásával, és ezek beszállítóinak felkeresésével, az árak összehasonlításával folytattam. A régi szenzorral sok probléma volt, viszont az ára miatt nagyon kedvező a cég számára. A 6 - 7 dolláros árával a piacon a legolcsóbbak között foglal helyet, így nehéz feladatomból volt, amikor egy ennél megbízhatóbb, mégis hasonlóan olcsó helyettesítő terméket kellett keresnem.

Először a régi nyomásgombában használt MPXHZ6400A szenzorhoz hasonlót próbáltam keresni. Ez egy piezorezisztív elven működő nyomásmérő, melyben egy vékony film ellenállásréteg alakítja át a nyomásértéket elektromos jellé. A szenzor tartalmazza a jelkondicionáló és erősítő egységet is, 5 V-os táplálást igényel, és 0 - 5 V kimenő jelet szolgáltat. Nagy pontosságú, -40° és $+125^{\circ}$ C között hőkompenzált, és nem igényel különösebb szintillesztést sem. Az MPXHZ6400A adatlapja szerint az eszközt száraz levegő nyomásának mérésére használhatjuk, viszont megemlíti, hogy más közegekhez is gyártanak nyomásmérőt. [7]

Rengeteget kutattam hasonló kialakítású szenzorok után, gyártókat kerestem fel, átolvastam a termékek adatlapjait, de nem találtam olyan eszközt, mely felépítésében megegyezik az eddig használttal, viszont kibírná a cementet is. Találtam olyan típusokat, melyek nagyon olcsók, de egyik sem felelt meg pontosan a feladatra. Ezek a szenzorok alapvetően a levegő nyomásának precíziós mérésére szolgálnak, e miatt nem viselik el a szennyeződés által okozott hatásokat. Egyes speciális típusok ellenállnak a korrozív gázoknak, de ettől függetlenül nyitott kialakításúak, vagyis poros környezetben nem alkalmazhatók hosszútávon.

A két legalkalmasabb szenzor:

<u>Név</u>	<u>Gyártó</u>	<u>Megjegyzés</u>	<u>Ár</u>	<u>Kép</u>
RVA Series	Sensortechincs	Use with lightly corrosive liquids and gases	30-40\$	
23-33 Std	StrainSense	Piezoresistive silicon pressure sensor	70\$	





3.1. táblázat. Piezorezisztív szenzorok

Minkét típus elviseli a +125 °C-os hőmérsékletet, de annak ellenére, hogy akár folyadék is kerülhet bele, a cementpor károsíthatja a működésüket.

3.1. Távadók

A keresést a folyadéknyomás mérő szenzorok irányába folytattam, mivel ezek zárt kivitelűek, és sokkal ellenállóbbak a mérendő közeggel szemben. Némi keresés után találtam ipari nyomástávadókat, amelyek pont azt a funkciót valósították meg, amire nekem szükségem volt. Ezeket a 3.2. táblázatban tüntettem fel. A távadók olyan eszközök, melyek tartalmazzák a szenzort, a jelet feldolgozó áramkört, és mindehhez szükséges tápmodult. A mért jelet letárolják, és az eredmények valamilyen szabványos protokollon keresztül lekérdezhetők. Ezek az eszközök az ipari irányítástechnikában elterjedtek, az automatizált folyamatok vezérlésénél. Sok esetben kommunikációra a modbus protokollt használják, mely soros, csomag alapú üzenetküldést valósít meg. Ezt a protokollt támogatják a PLC-k (programozható logikai kontrollerek) is. A felkutatott nyomástávadók egyike RS485 Modbus RTU interfésszel rendelkezik, melyet könnyedén illeszteni lehet más rendszerekhez is. Más szenzorok viszont analóg jelet szolgáltatnak. Az iparban szintén elterjedtek a 0-20mA, 4-20mA, és a 0-10 V kimeneti jellel rendelkező távadók. [8]

Ezeknek a méretével volt a legnagyobb probléma, mivel önmagukban nagyobbak voltak az eddig használt nyomásgombánál. Minden más paraméterük megfelelt volna a célra, mint a nyomástartományuk, az üzemi hőmérsékleti tartományuk, és a mérendő közeggel szembeni ellenállóképességük. [9]

<u>Név</u>	<u>Gyártó</u>	<u>Megjegyzés</u>	<u>Ár</u>	<u>Kép</u>
EC6	Baumer	Capacitive ceramic sensor	>400\$	
LMK 331	SensorsONE Ltd	For food & drink pressure measurement	>200\$	
DMP 331P	SensorsONE Ltd	For food & drink pressure measurement	>200\$	
MLH Series	Honeywell	Media isolated, metal diaphragm design	90-110\$	

3.2. táblázat. Nyomástávadók

3.2. Fémmembrános szenzorok

Mivel a távadók megfeleltek volna a feladatra, ezért elkezdtem kutatni a bennük működő szenzorok után. Internetes kutatás során kiderítettem, hogy a nyomástávadókban a 3.1. ábra látható fémmembrános nyomásmérő szenzorok működnek. Az angol terminológiában ezeket „media isolated pressure sensor” névvel illetik, a magyarban inkább a fémmembrános nyomásmérő elnevezést használják.



3.1. ábra. Nyomástávadó belseje

Ezeknek a szenzoroknak nincs szabványosított kimenetük, az leírások alapján valamilyen analóg jelet szolgáltatnak. Ez lehet áram, feszültség, esetleg ellenállás változás. A távadókban működő szenzorok mérete elég kicsi, hogy fel tudjam őket használni. Mivel nem egy szokványos alkatrészeről van szó, és speciális paramétereknek kell megfelelnie, ezért ez nehezítette a keresést. Ezek a nyomásmérők általában több tíz,

esetleg több száz bar-os nyomástartományban működnek. Mivel mi csak 0-4 bar tartományban szeretnénk mérni, ezért e típusok nagy része nem megfelelő a feladatra. A keresést az érzékenyebb, kisebb nyomástartományú szenzorok felé próbáltam koncentrálni.[10]













Általában ellenálláshálóval megvalósított Wheatstone hidas mérési elv alapján működnek, de előfordul a kapacitív elven történő nyomásmérés is. Mindkét típusú eszközre találtam példát az interneten, és a gyártók kínálatából kiderült, hogy a kapacitív nyomásmérők inkább nagyobb nyomástartományok mérésére használhatók.

Ezek után adott volt a feladat, meg kellett találnom a legolcsóbb fémmembrános nyomásmérő szenzort, ami 0-4 bar közötti nyomástartományban működik, abszolút nyomást mér, és a magas hőmérsékletet is elviseli. A kutatást nagymértékben nehezítette, hogy ezeket az alkatrészeket itthon nem igazán lehet beszerezni, csak külföldről lehet megrendelni. Ehhez fel kellett kutatnom azokat a vállalatokat, akik nyomásmérők gyártásával foglalkoznak, és át kellett nézmem a termékeiket, hogy melyik felelne meg a feladatra.

3.3. Beszállítók keresése

Találtam cégeket, akik ilyen eszközök gyártásával foglalkoznak, de a termékek kiválasztásánál sok nehézségbe ütköztem. Ezeket a 85 Series szenzorcsalád példáján keresztül mutatom be [11]. Az esetek többségében a gyártó oldalán gyűjtő adatlapokat találtam. Ez annyit jelent, hogy a szenzorcsaládhoz egyetlen adatlap tartozik, és ebben a család specifikus információkat tüntet fel. Megadják az alkatrész külső méreteit, felsorolják a különböző tokozásokat, kiválaszthatjuk a kimenet típusát, a nyomástartományt, és a pontosságot is. Az igényeinknek megfelelően, a fentiek alapján egy kódszámot kell összeállítani, mely a szenzorcsalád nevével kezdődik, és az általunk kiválasztott tulajdonságoknak megfelelő kódokat tartalmaz. Ez alapján a 0-5 bar tartományban működő, abszolút nyomást mérő, forrasztható lábakkal rendelkező Wheatstone hidas nyomásmérő szenzor rendelési száma: 85-005-A-0-U. Ez a szám alapján tudtam folytatni a keresést, hogy találjak forgalmazót az alkatrészhez, illetve árajánlatot tudjak kérni. Sok gyártó esetén előfordult, hogy kívánt a szenzorokat csak megrendelésre gyártják le a kívánt paraméterekkel, viszont ez rengeteg időt vehet igénybe. A raktárkészlettel rendelkező gyártók pedig több száz darabszám alatt nem voltak hajlandók szállítani, pedig a fejlesztéshez csak mintadarabra volt szükség.

Kiválasztott szenzorok:

Név	Gyártó	Megjegyzés	Ár	Kép
SSO series	Sensortechncis	Amplified stainless steel pressure sensors	85\$	
SSI series	Sensortechncis	Amplified stainless steel pressure sensors	>100\$	
19 series	Honeywell	Stainless steel, Isolated pressure sensors	100\$	
RTO series	Sensortechncis	Calibrated and temperature compensated	85\$	
85 Series	Measurement Specialties	Media compatible, piezoresistive	80\$	
Model 85	Measurement Specialties	Piezoresistive silicon pressure sensor	120\$	
316L SS	Measurement Specialties	Piezoresistive silicon pressure sensor	78\$	
SP4 (SPXT) series	SensPro	Piezoresistive MEMS technology	20-50\$	
UPX20-a	UTOP	Piezoresistive silicon technology	60\$	
UPX7-b	UTOP	Metal foil strain gauge technology	20-40\$	
UPX20-b	UTOP	Piezoresistive silicon technology	40-80\$	
UPX19	UTOP	Piezoresistive silicon technology	15-35\$	

3.3. táblázat. Szenzorok összehasonlítása

A 3.3. táblázatban szereplő szenzorok közül mindegyik alkalmas lett volna a feladatra, de akadt velük némi probléma: kifogyott a raktárkészlet, ezért nem tudták volna időben szállítani, vagy csak nagy tételben engedtek belőle vásárolni.

A táblázatban szereplő szenzorok adatlapjaiból kiderül, hogy a piezorezisztív nyomásmérők általában ofszet hibával rendelkeznek, és a kimenetük sem teljesen lineáris. A linearitási hiba nem minden alkalmazás esetén számottevő, csak a nagy pontosságú méréseknél van jelentősége. A közepes pontosságú szenzorok esetén a szenzorba beépített ellenállásháló kompenzálja a kimeneti ofszetet. A hídban szereplő ellenállásoknak pozitív hőmérsékleti együtthatójuk van, vagyis a híd kimenő feszültsége növekszik a hőmérséklet emelkedésével. Ezeket a hibákat természetesen ki lehet küszöbölni szoftveresen, vagy méréstechnikai trükkökkel. Például az ofszetet váltóáramú táplálás esetén könnyű megszüntetni, vagy az analóg áramkörben részt vevő alkatrészeket közös referenciefeszültségre kapcsolva, a táp ingadozása nem rontja a mérés pontosságát.

4. UPX19 nyomásmérő szenzor

A fenti listából csak az UPX19 szenzort sikerült megfelelő áron megrendelni. Ezt az UTOP nevű cég gyártja. Az Alibaba.com oldalon keresztül találtam disztribútort, ám velük sem ment zökkenőmentesen a kapcsolatfelvétel. Ebben az esetben egyszerre több szenzorra szerettem volna árajánlatot kérni, de a válaszban csak egy általános ismertetőt kaptam a cég által forgalmazott termékekről. A további levelek hatására sikerült árajánlatot is szereznem, és kiderült, hogy egy darabot 24\$-os áron tudnak biztosítani. A rendeléssel ez esetben is probléma volt, nem akartak kis darabszámot postázni, de további levelek hatására sikerült elérni, hogy minimálisan 5 darabot engedjenek rendelni.

Az alkatrész teljes sorozatszám: UPX19-08-A-C-E1-N [12]. A sorozatszámokban szereplő kódok értelmezése:

- UPX19: a család nevére utaló jelzés
- 08: 0-4bar nyomástartománynak megfelelő kód
- A: nyomásmérés abszolút típusára utal
- C: az alkatrész pontosságát adja meg
- E1: a tokozásra vonatkozik
- N: megadja, hogy a szenzor képes e negatív nyomás mérésére

4.1. Tokozás, fizikai határok

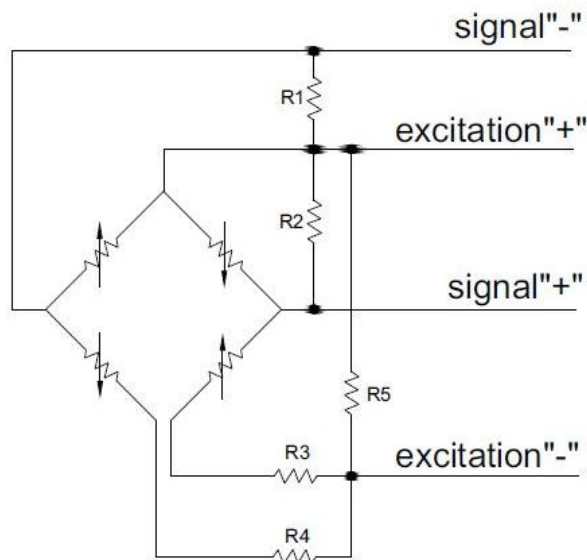
A 4.1. ábra láthatjuk a szenzor kialakítását. Az UPX19 adatlapja alapján egy 19 mm átmérőjű, és 15 mm magasságú henger, mely forrasztható lábakkal rendelkezik. A rögzítése, egy 19 mm átmérőjű furatba történő ragasztással megoldható. Az alkatrész háza, és a membrán 316L típusú rozsdamentes acélból készül, mely ellenáll a kamionoknál fellépő korrozív környezetnek. Az üzemszerűen előforduló nyomás felső korlátja 3 bar, az eszköz viszont 150%-os nyomástúlterhelést is elvisel, vagyis 6 bar nyomáson még nem károsodik. Az alkatrész tárolási hőmérséklete az adatlap szerint a -40 és +100°C közötti tartomány, mely szűkebb a korábban kitűzött célhoz képest. Az alacsony ár miatt ezt a kompromisszumot el kell viselnünk, bár ez nem korlátozza a műszer felhasználhatóságát, mivel 100°C felett a többi alkatrész működése sem garantált. [12]



4.1. ábra. UPX19 nyomásmérő

4.2. Elektromos paraméterek

Kimenete egy Wheatstone hidas ellenállásháló, mely 1.5 mA-es táplálás esetén 70 mV-os kimeneti jelet szolgáltat. A pontosságát 0.25% és 0.5% között választhatjuk ki, én a C jelű, vagyis a 0.25%-os végkitérésre vonatkoztatott pontosságú alkatrészt választottam. Ennek az offset feszültsége $\leq \pm 2$ mV. Az adatlap az öregedérről nem számol be, viszont megemlíti, hogy több mint 10^8 mérésre képes az eszköz, és hosszútávú stabilitása $< 0.2\%$ /év. Elég szűkszavúan ír a szenzor illesztéséről, nem említ példakapcsolást, nem ajánl erősítőt a jel feldolgozásához, csak egy kép található a belső felépítésről.



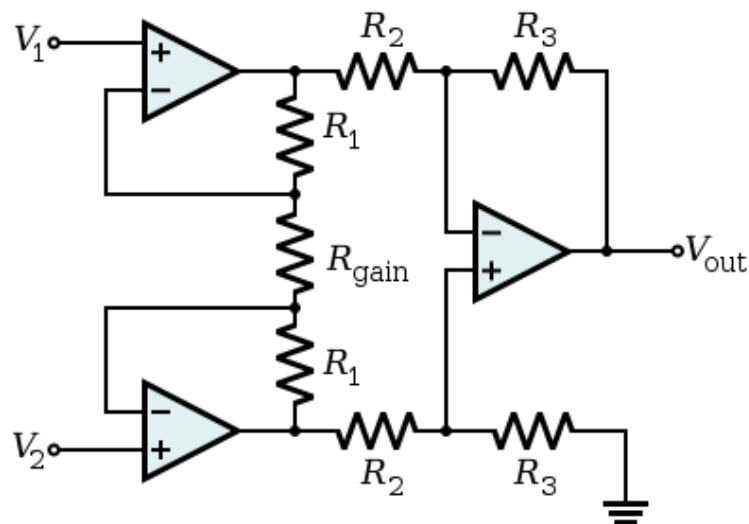
4.2. ábra. Wheatstone híd

A 4.2. ábra feltüntetett ellenállások értékét az adatlap nem adta meg egyenként, csak azt, hogy a híd ellenállása 2 és 6 k Ω között változhat [12].

Mivel alapvetően ez egy hídkapcsolás, ezért a nyúlásmérő bélyegekhez hasonlóan ehhez is egy mérőerősítőt kell illeszteni.

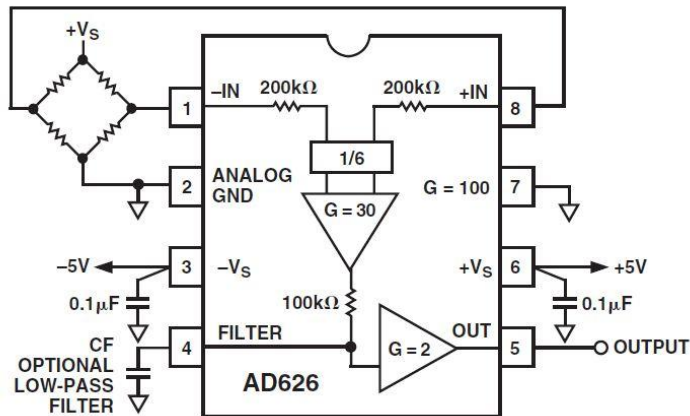
4.3. Analóg erősítő

Az erősítő feladata, hogy a híd kimenő jelét erősítse és 0 - 3.3 V tartományban változó feszültséget állítson elő belőle. Ezt a jelet fogja a controller A/D bemenete megkapni. A Wheatstone híd kimenetét feldolgozó mérőerősítő kapcsolást többféleképpen is megvalósíthatjuk. Lehetőség van diszkrét elemekből építkezni, a 4.3. ábra látható kapcsolás megépítéséhez csupán néhány ellenállás és műveleti erősítő szükséges [13]. Ennek előnye, hogy a mérőerősítő pontosan illeszthető a szenzor kimenetéhez, viszont hátránya, hogy a sok alkatrész nagy területet foglal el az áramkörön, és az alkatrészek hibái halmozódnak.



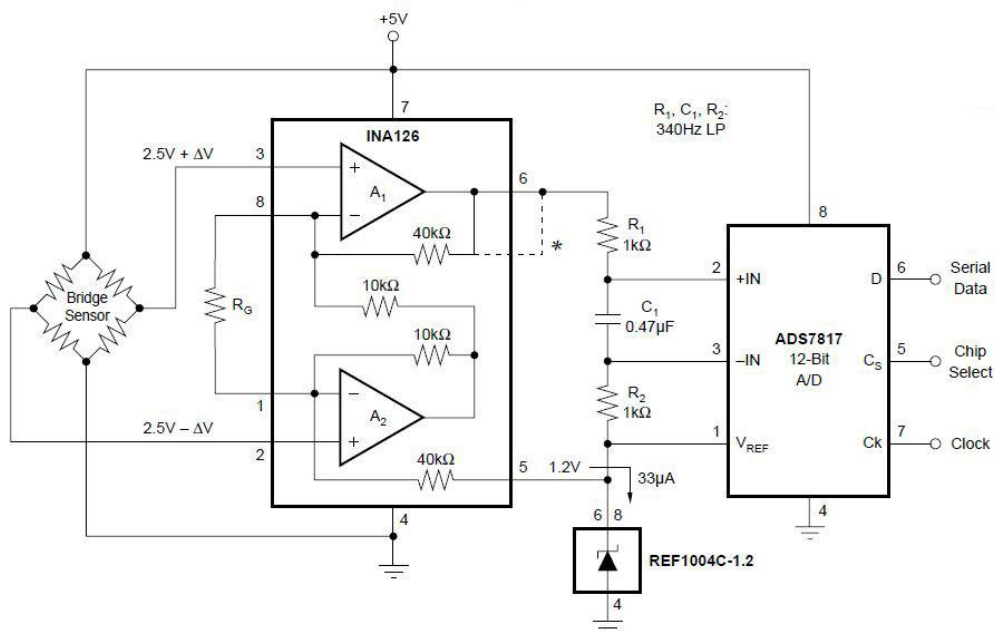
4.3. ábra. Műszererősítő kapcsolás

Léteznek erre a feladatra kifejlesztett alkatrészek, melyek egy darab precíziós ellenállás segítségével beállíthatók. Például az AD626 differenciál erősítő alkalmas lenne a feladatra. A 4.3. ábraán láthatjuk az IC adatlapja által ajánlott mintakapcsolást, mely kifejezetten hídkapcsolások mérésére szolgál [14]. Itt az erősítő százszoros erősítéssel működik, és szimmetrikus tápot igényel, ami viszont az áramkörben nem áll rendelkezésünkre. Ezt a problémát meg lehet oldani úgy, hogy az IC földpontját megemeljük a tápfeszültség felével. Ezzel a megoldással viszont újabb alkatrészeket kellene felhasználni.



4.4. ábra. AD626 példakapcsolás

Másik IC választásával ezt is elkerülhetjük. Az INA126 nem igényel szimmetrikus tápot, és ez is alkalmas a híd jelének feldolgozására. A 4.5. ábra látható az adatlapban feltüntetett példakapcsolás [15]. Itt külön referenciát és analóg-digitális átalakítót ajánlanak, de ezeket elhagyhatjuk, mivel a mikrokontroller rendelkezik beépített 12 bites A/D-vel.



4.5. ábra. INA126 példakapcsolás

A mintakapcsolást nem tudjuk egy az egyben felhasználni, mivel az áramkörben előálló 5V nem elég stabil a nyomásmérő számára, továbbá a kontroller referencia feszültsége is maximum 3.6 V lehet. Az INA126 adatlapja szerint az erősítő ± 1.35 V és ± 18 V közötti tápfeszültségről működhet. Ebből következik, hogy a kapcsolás 3.3 V-os feszültségről is üzemelhet. Ha közös potenciálra kötjük az erősítőt, a nyomá szenzort,

és a kontroller referencia lábát, akkor a tápfeszültség ingadozása nem befolyásolja a mérés pontosságát.

Az erősítőnek a szenzor maximális 70 mV kimenő jelét kell 3.3 V-ra erősíteni. A szenzor adatlapja szerint különböző erősítéseket tudunk beállítani az R_g ellenállás megválasztásával. A felsorolt értékek közül az ötvenszeres erősítés áll a céljainkhoz legközelebb, ugyanis $50 * 70 \text{ mV} = 3.5 \text{ V}$. Ez 200 mV-al magasabb a kontroller referencia feszültségénél, de ezt a feszültséget az erősítő ki sem tudná adni, mivel a tápfeszültsége csak 3.3 V. Látható, hogy a nyomástartomány teteje így nem mérhető. Szám szerint a felső 5.7% veszik el, vagyis 3.772 bar lesz a maximálisan mérhető nyomásérték. Mivel a kamionok ennél alacsonyabb nyomást állítanak elő, ezért ez a döntés nem befolyásolja az alkalmazhatóságot. Az adatlap alapján az ötvenszeres erősítés eléréséhez 1780 Ω -os ellenállást kell alkalmazni. [16]

A mérés hibáját az egyes alkatrészek hibái okozzák. Worst case hibaösszegzés esetén ezeket összeadjuk, és így kapunk egy felső becslést a teljes áramkör mérési hibájára. Az analóg mérésben résztvevő alkatrészek hibái.

- Nyomásszenzor: $\Delta y_s = 0.25\%$
- Erősítő: $\Delta y_a = 0.0075\%$

Az erősítő maximális offset hibája 250 μV , ami a nyomásmérésben 0.0075%-os hibát eredményez

$$H = 1 - \frac{3.3 \text{ V} + 250 \mu\text{V}}{3.3 \text{ V}} * 100\% = 0.0075\%$$

- R_g ellenállás: $\Delta y_r = 0.12186\%$

Precíziós ellenállást alkalmazva, melynek tűrése 0.1%

$$G = 5 + \frac{80 \text{ K}\Omega}{1.0001 * R_g} = 5 + \frac{80 \text{ k}\Omega}{1.0001 * 1780 \Omega} = 49.939$$

Az ellenállás 0.1%-os hibája az erősítésben 0.122%-os hibát eredményez.

Ez a kimenő feszültségben: $1 - \frac{70 \text{ mV} * 50}{70 \text{ mV} * 50 * 1.00122} * 100\% = 0.12186\%$ hibát okoz.

- Mikrokontroller A/D átalakítója: $\Delta y_{ad} = 0.0488\%$

Az A/D hibája 2 LSB, ami $\frac{3.3 \text{ V} * 2}{3.3 \text{ V} * 4096} * 100\% = 0.0488\%$

Az analóg fokozat eredő hibája: $\sum_{i=0}^N |\Delta y_i| = 0.427\%$, ami 17 mbar-nak felel meg. [17]

[18]

5.A vezérlő

Az elvárások alapján látható, hogy egy nagy teljesítményű, mégis kis fogyasztású controllerre van szükség. Ahhoz, hogy a többi iData Kft. által fejlesztett eszközhöz hasonlóan ezen is beágyazott operációs rendszer futhasson, 32 bites controller kell. Az operációs rendszer használata azért fontos, mert így frissíteni lehet az áramkört vezérlő programot, új funkciókat lehet hozzáadni, és nem utolsó sorban leegyszerűsödik a szoftveres fejlesztés folyamata.

A többi egységhez hasonlóan ebben az áramkörben is az STMicroelectronics által gyártott ARM Cortex-M3 maggal ellátott, kontrollert fogok használni. Az "M" profil az alacsony fogyasztású, költségérzékeny alkalmazásokban használt típusokat jelzi. Ezek hatalmas előnye, hogy az azonos családba tartozó típusok egymással kompatibilisek. Így egy megírt funkció nagyon könnyen átültethető egy másik alkalmazásba. Ahhoz, hogy az áramkör illeszkedjen a rendszerhez, és hogy a szoftveres fejlesztést megkönnyítsem az F1 szériából választottam processzort. A fedélzeti egység vezérlője is ezek közé tartozik, ezért a programjában előfordulnak olyan modulok, melyeket változtatás nélkül át lehet emelni a nyomásmérő szoftverébe. [19]

5.1. STM32F103RD bemutatása

A választás során fontos szempont volt, hogy az operációs rendszer futtatásához elégséges memóriával, és kézzel is beforsasztható lábakkal rendelkezzen. A kézi forrasztás a fejlesztés során fontos, mivel egy-egy darabot géppel beültetni nem érné meg. A 103RD jelzésű típust választottam, mivel ez 384Kb programmemóriával, 64Kb RAM-mal rendelkezik, továbbá LQFP 64 tokozással lehet kapni. [20]

A tervezés szempontjából fontos perifériák, illetve funkciók [21]:

- *JTAG interfész a programozáshoz és hibakereséshez:*

A JTAG-en keresztül tudjuk a processzort felprogramozni, és debugolni. Hibakeresés közben a futó program megállítható, a regiszterek tartalma kiolvasható, megváltoztatható.

- *72 MHz maximális órajel:*
A processzor 72 MHz-en képes futni. Ezt a magas órajelet PLL segítségével állítja elő, amihez használhatja a belső 8MHz-es RC oszcillátorát, vagy külső órajelről is meghajthatjuk a kontrollert. Annyi megkötés van, hogy az illesztett kristály órajelének egész számú többszöröse legyen a 72MHz.
- *Valós idejű óra 32 kHz-es oszcillátorral:*
A controller rendelkezik saját valós idejű órával, amihez egy külső 32.768Khz frekvenciájú kristályt kell illeszteni. Ez a funkció akkor fontos, ha az eszköz nem tud kommunikálni a fedélzeti egységgel, és valamilyen esemény bekövetkezik. Az esemény pontos idejének tárolásához szükséges a valós idejű óra használata.
- *18 Mbit/s sebességű SPI buszok:*
Két SPI portot kell felhasználni a perifériák vezérléséhez. A gyorsulásmérőt és a flash memóriát tervezhetnénk ugyanarra a portra, külön engedélyező jelekkel, de ez nem könnyítené meg a nyáktervezés folyamatát. A szoftver szempontjából mindkét megoldás egyenértékű, viszont huzalozásnál egyszerűsíti a feladatot, ha a perifériákat egymástól függetlenül, a controller különböző oldalaira kivezetett SPI portokon tudom elhelyezni.
- *5 darab soros port:*
A soros portokból kettőre lesz szükség. Az egyiket keresztül a fedélzeti egységgel kell kommunikálnia, ide csatlakozik az RS485 szintillesztő. A működéshez szükség lesz még két I/O lábra is, hogy az adóvevőt kapcsolni tudjuk. A másik port a fejlesztés során előforduló hibakereséshez kell, itt nincs szükség szintillesztésre, a controller jeleit közvetlenül vezetem ki a programozó csatlakozóra.
- *12 bites analóg-digitális átalakító:*
A vezérlő beépített nagy felbontású analóg-digitális átalakítóját használom a nyomásmérő jelének feldolgozásához. A tervezés során figyelni kellett arra, hogy az LQFP 64 tokos controller a többivel szemben nem rendelkezik analóg

referencia lábakkal, hanem a VDDA lábat használja erre. Az STM32F103RD adatlapja szerint ide is ugyanolyan tápfeszültséget vár, mint a többi I/O lábára, csak ezt megfelelően kell szűrni. Erre a későbbiekben még bővebben kitérek.

- *16 darab külső megszakítás kérő láb:*

Ezt a 16 a bemenetet szabadon kioszthatjuk a kontroller I/O portjaira, azzal a megkötéssel, hogy különböző port azonos bitjéhez nem rendelhetünk hozzá megszakítást. Például, a GPIOA első és második bitjéhez megszakítást rendelve, a többi porton ezek a bitek már nem használhatók fel, csak az ezektől különbözők. Az RFID olvasó működéséhez elengedhetetlen egy megszakítás-kezelő bemenet használata, ezenkívül a gyorsulásmérő is kérhet megszakítást, és a túlfeszültség detektálására is egy ilyen bemenetet használok fel.

- *Számlálók:*

Az RFID olvasó meghajtásához pontos, 125kHz frekvenciájú jelre van szükség, melyet a kontroller egyik belső 16 bites időzítője fog előállítani. Továbbá a beágyazott operációs rendszer működéséhez elengedhetetlen a 24 bites "SysTicktimer" használata. Ezenkívül rendelkezésre áll két watchdog timer, mely hiba esetén újraindítja az áramkört.

- *Választható programmemória:*

A kontroller nemcsak a belső memóriából képes kódot futtatni, hanem külső memóriákat is illeszthetünk hozzá. Ehhez szükséges beállításokat az 5.1. ábra láthatjuk.

Boot mode selection pins		Boot mode	Aliasing
BOOT1	BOOT0		
x	0	Main Flash memory	Main Flash memory is selected as boot space
0	1	System memory	System memory is selected as boot space
1	1	Embedded SRAM	Embedded SRAM is selected as boot space

5.1. ábra. Boot memória kiválasztása

Mivel a Flash memóriából szeretnénk futtatni a kódot, ezért az IC BOOT1 lábat a földre kötöttem, és a BOOT0 lábat is lehúztam egy 1k Ω -os ellenálláson keresztül. A programozó ezt a lábat fel tudja húzni tápfeszültségre, így

elérhetjük, hogy a rendszermemóriát használja a kontroller. Ekkor a gyári bootloader indul el, és ezen keresztül tudjuk újraprogramozni a flash tartalmát.

- *Alacsony fogyasztású Sleep, Stop és Standby állapotok:*

A kontroller fogyasztása futás közben is alacsony, de az energiatakarékos módjainak köszönhetően ez tovább csökkenthető, akár több nagyságrenddel is, aminek a tápellvétel megszűnése után van fontos szerepe. Részletesen a 7. fejezetben ismertetem az energiatakarékos üzemmódhoz tartozó áramfelvételeket.

- *Külön táp a valós idejű óra és az ehhez tartozó speciális regiszterek számára:*

A táp megszűnése után a kontroller nem felejt el az időt, és néhány regiszter tartalmát is meg tudja őrizni. Összesen 42 darab 16 bites erre alkalmas regisztere van, vagyis 84 Byte RAM memóriát tud megőrizni. Ezek tartalma reset után sem veszik el. A periféria működéséhez 1.8 V és 3.6 V közötti feszültségre van szüksége a V_{BAT} lábón.

Természetesen a fentiekén kívül sok egyéb hasznos perifériája van a kontrollernek, de ezek voltak, amelyekkel a hardveres tervezés során részletesebben meg kellett ismerkednem.

5.2. ChibiOS

A feladat megoldható lenne beágyazott operációs rendszer használata nélkül is, bár ezzel rengeteg előnyről mondanánk le. Az egymással kompatibilis vezérlők használatával elérhetjük, hogy a szoftveres fejlesztés ideje drasztikusan csökkenjen. Egy jól konfigurált, működő rendszer könnyedén átültethető más projektekbe, úgy, hogy az eddig kifejlesztett funkciókat megtarthatjuk. Mivel az iData Kft. többi termékén ChibiOS rendszer fut, ezért célszerű, hogy erre az eszközre is ez kerüljön.

A ChibiOS egy nyílt forráskódú, könnyen portolható, valós idejű operációs rendszer [22]. Sok mikrokontrollert támogat, többek között az STM32F1xx családot is. Első sorban a sebesség, és a nagy hatékonyság jellemző rá, ennek ellenére a kernel mérete sem mondható nagyknak. A Cortex-M3 maggal ellátott STM32 kontrollerek esetén már 5.5kB memória elég neki. Természetesen, ha plusz szolgáltatásokat is

szeretnénk használni, akkor ez a méret jelentősen megnőhet, de így is bőven elférünk a 384Kb memóriával rendelkező kontrollerben. A rendszer a következő perifériák használatát támogatja kernel szinten:

Port, Serial, ADC, CAN, EXT, GPT, I2C, ICU, MAC, MMC, PWM, RTC, SDC, SPI, UART, USB, USB-CDC.

A felsoroltak közül aláhúzással jelöltem, hogy a projekthez melyek feltétlenül szükségesek. Itt látszik, hogy elég lenne, egy kisebb memóriával rendelkező vezérlő is, ám a nagy memória sok előnnyel jár. Egyrészt, később olyan funkciók is hozzáadhatók, melyek a tervezéskor fel sem merültek, és sok memóriát igényelnek. Másrészt, a hibakeresés során máshogy kell fordítani a kódot. „Debug” módban a fordító nem végzi el az optimalizálásokat, ezáltal a kód mérete jelentősen megnőhet. A fejlesztők rengeteg tesztet biztosítanak a rendszerhez, amivel a felmerülő hibák könnyen javíthatók.

5.3. A szoftver

A beágyazott operációs rendszer sok előnyét kihasználva, a programfejlesztés folyamata leegyszerűsödik, mivel a kontroller köré épülő perifériákhoz már korábban elkészültek a vezérlő függvények, API-k. A fejlesztés során ezeket be kell konfigurálni, és összeilleszteni egy egész programmá. A kész rutinokat nem igen kell módosítani, viszont a hardverközeli részek sok helyen változtatásra szorulnak.

Először az operációs rendszer futásához szükséges feltételeket kell megteremteni. Fontos megadni a kristály frekvenciáját, ami ebben az esetben 8 MHz, definiálni a program számára elérhető memóriát és inicializálni a stack-et. Ha ezeket beállítottuk, akkor az operációs rendszer futásra kész, ám ekkor még nem használja egyik perifériát sem, csak egy üres szál futtatására képes.

Ezek után megadjuk, hogy a vezérlőhöz csatlakozó alkatrészeket mely lábakra kötöttük, amihez a programban külön kell engedélyezni azokat a portokat és perifériákat, amiket használni szeretnénk. A kontroller lehetőséget nyújt, hogy az egyes perifériákat a kontroller különböző lábaira osszuk ki, ezért ezt is be kell állítani.

A vezérlő A/D konvertere a DMA vezérlőn keresztül kapcsolódik a rendszermemóriához. Itt beállítjuk a minták számát, és a periféria automatán elvégzi a méréseket. A mért adatokat egy tömbben kapjuk vissza, melyet átengedünk egy

kaszkádosított integráló fésűs szűrőn. Ez lényegében egy mozgó átlagoló szűrő, melyet úgy állítunk be, hogy aluláteresztő szűrőként viselkedjen. Így szoftveresen el tudjuk távolítani az analóg jelre szuperponálódott periodikus zajokat.

Mivel az áramkör egy zárt tokban fog elhelyezkedni, ráadásul ki lesz öntve szigetelő anyaggal, ezért a későbbiekben a szoftvert frissíteni csak az RS485 vonalon keresztül tudjuk. A program elejére el kell helyezni egy bootloadert, mely a fedélzeti egységtől kapott adatokkal felül tudja írni a kontroller programmemóriáját. Így a beszerelt műszer programján is tudunk változtatni, új funkciókat hozzáadni, a jelenlegi beállításokon hangolni.

6.A műszert felépítő egyéb modulok

Az áramkör tervezése közben szem előtt tartottam, hogy olyan alkatrészeket használjak fel, amik más projekteken is előfordultak. Egyrészt ezek azonnal a rendelkezésemre álltak, és nem kellett őket külön megrendelni, várni a szállításra, másrészt pedig így olcsóbb is lett az áramkör. Ha egy alkatrészt nagy tételben rendelünk meg, akkor arra jelentős kedvezményt kapunk, így megéri olyan elemeket felhasználni, amire már megvan a beszállító.

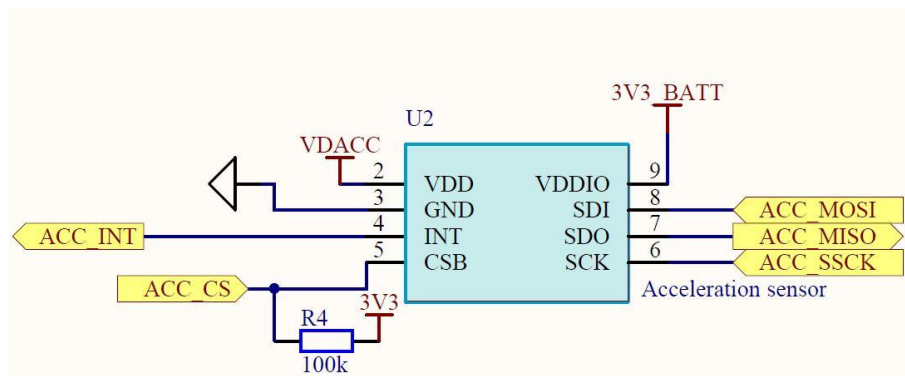
6.1. Gyorsulásmérő

A gyorsulásmérő kettős szerepet tölt be. Egyrészt a rá ható gravitációs gyorsulásértékekből meg lehet határozni a műszer helyzetét, másrészt az ürítés során létrejövő rezgéseket tudjuk vele detektálni. A műszer helyzete azért fontos, mert ezzel tudjuk igazolni, hogy elmozdították-e a beszerelt helyéről. A műszer házának végét menetesre alakítjuk ki, és ezen keresztül lesz becsavarva a kompresszor csövébe. Ha megpróbálják eltávolítani, ahhoz körbe kell forgatni. Ez pedig azt fogja eredményezni, hogy a gyorsulásmérő tengelyein egymás után megjelenik a Föld gravitációs gyorsulása. Egyetlen esetben nem működik ez a megoldás, ha a gyorsulásmérő egyik tengelye és a menetemelkedés a gravitációs gyorsulás irányába esik, és ezzel együtt a másik két tengely pedig erre merőleges vízszintes síkban fekszik. Ekkor az eszközt a menet mentén körbeforgatva az erőmérő tengelyein nem jelenik meg változás. Ezt a „hibát” megfelelő szereléssel, vagy a ház döntött kialakításával ki lehet küszöbölni.

Különböző méretű, tokozású, kimenetű gyorsulásmérőket lehet kapni. Olyan alkatrészre van szükség, amit széles körben használnak. Az okostelefonok elterjedésével a gyorsulásmérők ára sokat esett. Az egyik legolcsóbb eszköz a BOSCH által gyártott BMA150 típus, melyet 2.25\$ áron be lehet szerezni. Ez 3 tengelyen tudja mérni a gyorsulásértékeket 2, 4, vagy 8g-s méréshatárral. Digitális kimenete van, SPI és I2C protokollon keresztül lehet vele kommunikálni. Ezek közül az SPI protokollt fogom használni, mivel a vezérlő függvények ehhez lettek megírva. Az alkatrész egyetlen hátránya a kis méret. A szenzort csak 3 mm x 3 mm x 0.9 mm nagyságú, LGA tokozással lehet beszerezni, és ez a teszt példány elkészítése során megnehezíti az

áramkör összeszerelését. Sorozatgyártás esetén ez nem jelent gondot, mivel az alkatrészeket majd gép ülteti be. [23]

A gyorsulásmérő adatlapja alapján a 6.1. ábra látható kapcsolást építettem meg. Lehetőség van három, illetve négyvezetékes SPI kommunikációra is, én az utóbbit választottam, mivel a ChibiOS ezt támogatja. A gyorsulásmérő rendelkezik egy megszakításkérő lábbal is, melyet a kontroller WakeUp lábára kötöttem. A szenzort be lehet állítani, hogy meghatározott gyorsulásérték átlépése esetén riasztást küldjön. Ez a funkció energiatakarékosság szempontjából nagyon hasznos, mert a kontrollert alacsony fogyasztású módba tudom kapcsolni, és mozgás, vagy rezgés hatására folytatni tudja a működését. A kapcsoláson is látható, hogy a gyorsulásmérőnek külön analóg, és digitális táp kell. Mindkettőnek megfelel a 3.3 V-os tápfeszültség, viszont az analóg tápot jobban kell szűrni a zavarok ellen.



6.1. ábra. Gyorsulásmérő

6.2. Hőmérő

A nyomás mellett fontos adat a tartály hőmérséklete is. Ha nő a tartályban a nyomás, akkor ezzel együtt a hőmérséklete is változik, vagyis, egy újabb mérhető mennyiséget kapunk, amivel ellenőrizhető a szállítás. Emellett fontos, hogy a műszer saját hőmérsékletét is mérje. Ezeket az értékeket diagnosztikai céllal tárolja a rendszer, ugyanis, az eszköz meghibásodásakor, garanciális cseréjekor ezek mérvadóak lehetnek. Nem mindegy, hogy szobahőmérsékleten megy-e tönkre az eszköz, vagy a megengedett hőmérsékleti tartománynál egy jóval magasabb értéknél, ugyanis ez utóbbi garanciavesztéssel jár.

A hőmérőnek -40 °C és $+100\text{ °C}$ közötti hőmérsékletet kell mérnie. Erre a célra az iData Kft. egy OneWire eszközt használ, a Dallas (Maxim) gyártmányú hőmérőjét, típus szerint ez a DS18B20-PAR. Ez -10 °C és $+80\text{ °C}$ között $\pm 0.5\text{ °C}$

pontossággal mér, viszont a teljes mérési tartománya -55 °C -tól $+100\text{ °C}$ -ig terjed [24]. Ennek a hőmérőnek az a nagy előnye, hogy a tápellátás az adatátvitel együtt megoldható két szál vezetékkel, ugyanis a „PAR” jelző a nevében arra utal, hogy az eszköz parazita tápról is képes működni. Parazita táplálás esetén az eszköz az adatvonal felhúzó ellenálláson keresztül kapja meg a tápot, és a kommunikáció idejére egy beépített kapacitásból nyeri az energiát. Ezenkívül előnyt jelenthet a fejlesztés során, hogy a szenzor beüzemeléséhez szükséges szoftverek korábban már elkészültek.

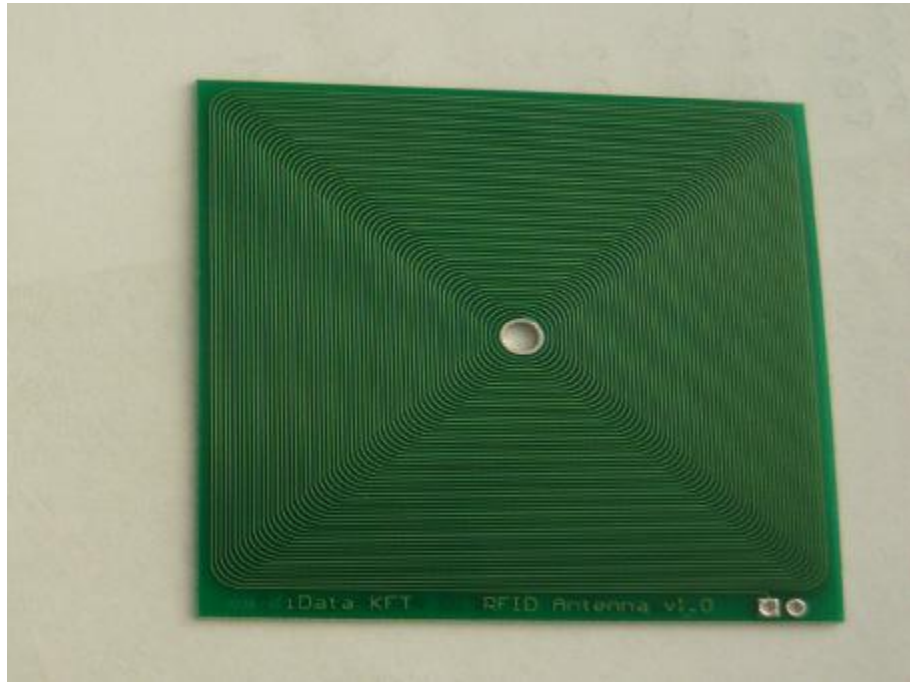
Mindezek ellenére más megoldásokat is figyelembe vettem. Egy műszeren belül nincs jelentősége a kábelek, vezetősávok számának, ezért a többi alkalmazástól eltérően itt nem jelent előnyt egy OneWire eszköz használata. Alternatív megoldásként szóba jöhetnek az I2C protokollon keresztül kommunikáló hőmérők is. Ezek között találtam olcsó, de nagy pontosságú eszközöket, amik a teljes tartományon belül ugyanazt a pontosságot biztosítják. Például a Microchip MCP9809 terméke Ez -40 °C és $+125\text{ °C}$ között biztosítja a $\pm 0.25\text{ °C}$ pontosságot. [25]

Harmadik megoldásként szóba jöhet a gyorsulásmérő beépített hőmérője. Mivel törekednem kellett a helytakarékosagra, ezért célszerű választásnak tűnt, hogy két funkciót egy eszközzel valósítsak meg, így az áramkört kevesebb alkatrészből tudom felépíteni. Ezzel a választással viszont a mérési tartomány csökken, mivel a gyorsulásmérő csak -30 °C és $+97.5\text{ °C}$ közötti hőmérsékletet képes mérni. A döntés azért elfogadható, mert az IC működési tartományának felső korlátja 85 °C . Ennél magasabb hőmérséklet a kontrollert is károsíthatja, és a kondenzátorok élettartamát is csökkenti.

6.3. RFID olvasó

Az RFID kártyás azonosításra a szállítmányok ellenőrzésekor van szükség. Ilyenkor a portás szemrevételezi a rakományt, és a kártyával igazolja, hogy mindent rendben talált. Az iTrack rendszer eddig is használt ilyen olvasót, de ott a sofőrazonosítás volt a cél. Oda egy más kialakítású antennát használtak, mely a fizikai méretei miatt nem felel meg ehhez a feladathoz. Az antenna egy $10 \times 10\text{ cm}$ nagyságú nyomtatott huzalozású lemezen található, de ez túl nagy, hogy a nyomásmérő házában elférjen. Készíteni kell egy hasonló paraméterekkel rendelkező antennát, mely méretei azonosak a vezérlő áramkör méreteivel. Így közös házban, egymás felett tudjuk őket elhelyezni.

A sofőrazonosításhoz használt kártyaolvasó antennája a 6.2. ábra látható. A működéshez szükséges 125kHz-es frekvenciájú órajelet a kontroller egyik számlálója állítja elő, majd egy erősítőn keresztül kerül ki az antennára. Az antenna egy 125kHz-re hangolt rezgőkör részét képezi, melyhez egy komparátor csatlakozik. Ennek a kimenetét a kontroller már fel tudja dolgozni.



6.2. ábra. RFID antenna

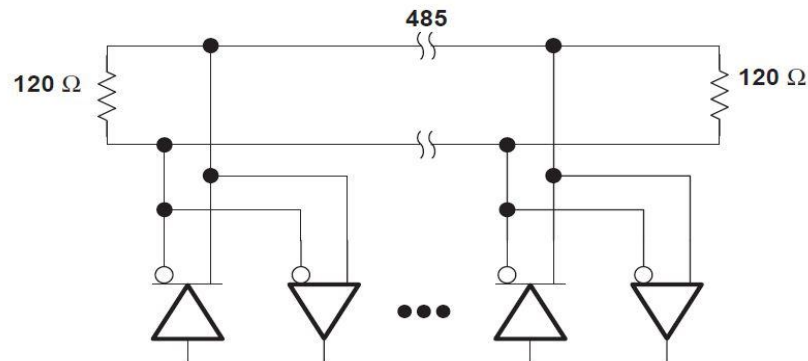
6.4. Kommunikáció

A nyomásmérő műszer közvetlenül csak a fedélzeti egységgel van kapcsolatban, ez dolgozza fel a kapott adatokat, és továbbítja a szerver felé. A fedélzeti egység egy soros kimenettel rendelkezik, és ezen keresztül kommunikál az egyéb kiegészítő egységekkel. Fizikailag a kimenet egy négypólusú RJ11 csatlakozóként jelenik meg. Ezen keresztül van megoldva az egységek tápellátása, a maradék két vezetéken keresztül pedig a kommunikáció folyik. A fedélzeti egység kimenete rövidzár és túlfeszültség ellen is védett, valamint szükség esetén le lehet kapcsolni a perifériák tápellátását. A fedélzeti egység és az áramkör közötti kommunikációt mutatom be a továbbiakban.

6.4.1. RS485

A soros kommunikáció RS485 fizikai rétegen keresztül történik. Ez a szabvány ipari felhasználásra lett kifejlesztve, ezért az így felépített kapcsolat nagyon stabil, és a nagy távolságon keresztül átvitt adat sem sérül. A szabvány teljes neve TIA/EIA-485-A.

Az RS485 hálózat kialakítható két- vagy négyvezetékes kivitelben is. A négyvezetékes hálózat full-duplex működésű, de a master-slave kiosztást a vezetékezés már meghatározza. A fedélzeti egység által használt kétvezetékes hálózat előnye az alacsony kábelezési költség, és hogy a rendszer később tovább bővíthető, viszont így csak half-duplex kommunikáció valósítható meg. A buszra akár 32 egység is köthető, és a vezeték hossza legfeljebb 1200 m lehet. Ezen maximálisan 50 Mbit/s sebességet lehet elérni. A differenciális jeleket csavart érpáron keresztül továbbítjuk, így magas zajérzéketlenség, és nagy távolságú adatátvitel érhető el. Ez különösen fontos, mivel a kamion fülkéje, és a szerelvény között több méter kábel is húzódhat. Ezt az érpárt legalább két ponton csatlakozóval meg kell szakítani, ami a rendszerbe zajt vihet be. A kamionok elektromos rendszere nagy induktív zavarokat tud generálni, ezért van szükség erre az átvitelre. A magas frekvenciájú átvitel miatt fontos, hogy a kábelen ne keletkezzenek reflexiók, ugyanis ez meghiúsíthatja a kapcsolatot. Ezért a csavart érpár végeire egy-egy lezáró impedanciát kell helyezni, mely a TIA-EIA-485 szabvány szerint $120\ \Omega$, hosszabb vezeték esetén pedig a vezeték hullámellenállásával egyenlő. [26]



6.3. ábra. RS485 busz

A szabvány részletesen ismerteti az adatvezetéket, melyek jelölése „A” illetve „B”, de sok gyártó a „+” illetve a „-” jeleket használja. Mivel a 6.3. ábra látható buszra egyszerre több eszköz is kapcsolódik, ezért mindegyik saját címet kap. A címzéssel és az adatok közti időzítésekkel egy külön protokoll foglalkozik. [26]

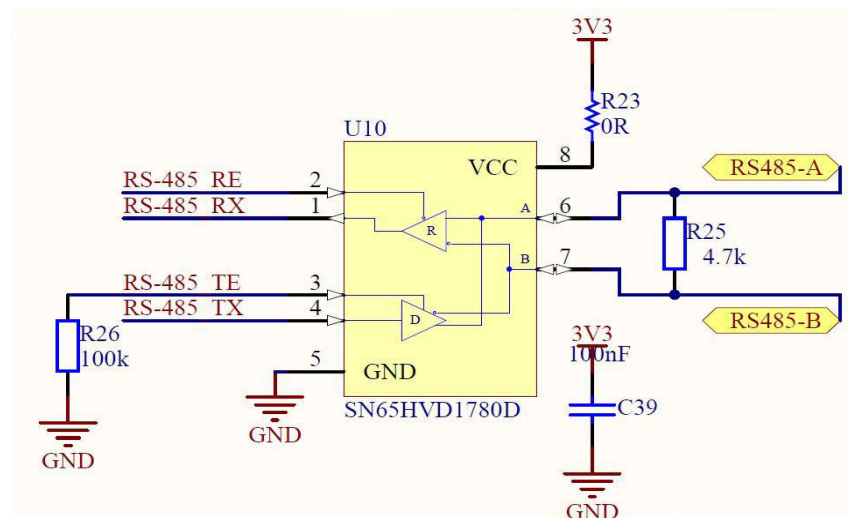
6.4.2. Robin protokoll

A Robin az RS485 szabványra épülő protokoll. Az RS485 buszra csatlakozó eszközök ezen kommunikálnak, így címezhetővé válnak. Az iData Kft. által fejlesztett

kiegészítő egységek a fedélzeti egységgel RS485 interfészen és a Robin protokoll segítségével kommunikálnak. A gyártás és a tesztelési fázis során a fedélzeti egység vezérlése is ezen keresztül történik. A standard Robin protokoll kiterjesztésre került az iData Kft. által így a protokoll adatrésze még további iData specifikus Flag-eket és mezőket is tartalmaz.

6.4.3. RS485 szintillesztés

A mikrokontroller Rx és Tx kimenetei 3.3 V-os TTL szintű kimenő jelek. A szintillesztéshez a Texas Instruments SN65HVD1780D típusú alkatrészét használom, ahogy az a 6.4. ábra is látható. Az IC 3.3 V és 5 V közötti tápfeszültséget igényel. Mivel a kontroller 3.3 V-os jelekkel dolgozik, ezért a szintillesztőt is 3.3 V-os tápra kell kapcsolni. A szintillesztő az adatbusz és a GND között ± 400 V-ig túlfeszültségvédelemmel rendelkezik. Az IC nem rendelkezik globális engedélyező lábbal, viszont külön tiltani lehet az adást és a vételt is. Mindkét funkció a kontrollerből irányítható, és inicializálatlan állapot esetén tiltva van. Ennek kettős szerepe van, egyrészt tiltott állapotban kisebb az eszköz fogyasztása, másrészt ezzel megakadályozzuk, hogy zajt küldjön az adatbuszra. [27]



6.4. ábra. RS485 szintillesztő

6.5. Kiegészítő memória

A nyákterven helyet kapott egy MX25L flash memória is. Ezt 32 és 64MB méretben lehet kapni, és SPI protokollon keresztül lehet elérni. Jelenleg ezt nem használjuk, mivel a kontroller belső memóriája elégnek bizonyul, viszont később, új funkciók hozzáadása esetén hasznos lehet. A tesztpanelra fel sem kerül az alkatrész, csak a helyét készítem elő neki. Így a jövőbeli fejlesztések során nem kell új panelt gyártani a memóriabővítés miatt, csupán ezt az alkatrészét kell beültetni. [28]

7. Tápáramkör

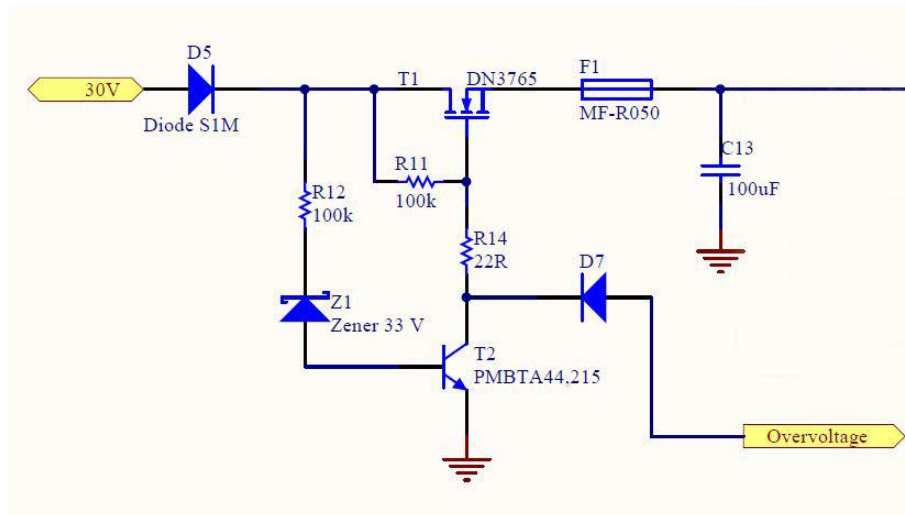
Az áramkör a tápfeszültséget a fedélzeti egységen keresztül kapja meg. A fedélzeti egység az autó, vagy kamion akkumulátorára van kötve, így 12 V, vagy 24 V tápfeszültséget kap. Ezzel a feszültséggel meg tudja táplálni a hozzá csatlakoztatott többi eszközt. Képes a kimenet lekapcsolására, de a kimeneti feszültség szabályozására már nem. Mivel fedélzeti egységet és a nyomásmérőt összekötő vezeték több méter hosszú is lehet, ráadásul ezt még csatlakozók is megszakíthatják, fel kell készülni mindenféle zavarra, külső beavatkozásra, a megengedettnél magasabb feszültségre.

7.1. Túlfeszültség elleni védelem

Az áramkör a külvilággal négy vezetéken keresztül tartja a kapcsolatot, két vezetéken megkapja a tápot, és másik két szálon keresztül kommunikál a fedélzeti egységgel. A bemenő feszültség üzemszerűen 12-24 V között változhat. Természetesen fel kell készíteni az áramkört ennél magasabb feszültségek fogadására is, továbbá a fordított polaritás sem szabad, hogy kárt tegyen a rendszerben. A fordított polaritás, esetleg váltóáram elleni védelem könnyen megoldható a bemenettel sorosan kapcsolt diódával. A túlfeszültség elleni védelem ennél komolyabb feladat. A táp IC maximális bemenő feszültsége 36V, ennél magasabb feszültség már káros az áramkörre nézve. Ha a védelmen spórolni szeretnénk, akkor egy nagy teljesítményű ellenállás és zener dióda párossal meg tudjuk védeni az áramkört a kétszeres túlfeszültségtől. Ez a védelem elég, hogy egy akkumulátortöltővel ne lehessen tönkretenni az eszközt. Abban az esetben, ha komolyabb védelemre van szükség, például hálózati feszültség ellen is védeni szeretnénk az eszközünket, más megoldást kell választani.

A védelem ebben az esetben is egy soros diódával kezdődik, viszont az ellenállás már nem tudja eldisszipálni a keletkezett hőt. Ha csak 48 V túlfeszültség ellen kell védekezni, akkor egy 33 V-os zener dióda alkalmazásával az ellenálláson 15 V feszültség esik. Ez 200 mA-es áramfelvétel mellett $15\text{ V} * 200\text{ mA} = 3\text{ W}$ disszipációt jelenet. Ekkora hőt már nehéz elvezetni, és magasabb túlfeszültség esetén sem oldja meg a problémát ez a megoldás. A 7.1. ábra alapján az ellenállást egy FET-re cserélve a melegedés problémát ki tudjuk küszöbölni. A FET-ek a drain és source kivezetéseik között több 100 V feszültséget el tudnak viselni. Ha a bemeneten a megengedettnél

nagyobb feszültség lép fel, elég a FET-et lezárni, és így az áramkör többi részét el tudjuk választani a káros túlfeszültségtől. Ehhez egy kiürítéses típusra van szükség, melynek a gate-elektrodáját egy nagy értékű ellenállással a tápra húzzuk. Így a FET kinyit, és az áramkör megkapja a tápot. Ha a gate-elektrodát egy tranzisztoron keresztül a földre kötjük, akkor a tranzisztorral le tudjuk zárni a FET-et, vagyis elválasztani az áramkört a bemenettől. A tranzisztort egy zéner diódával vezérelve be tudjuk állítani azt a feszültséget, ahol a védelemnek le kell kapcsolnia. Ehhez egy 33 V-os zéner dióda megfelelő, mivel így nem lépjük át a megengedett 36 V-os határt, és a védelem nem fog lekapcsolni a táp kismértékű változása esetén sem. Ez a megoldás nemcsak megvédi az áramkört a túlfeszültségtől, hanem visszajelzést is képes adni a rendszer számára a táphibáról. A tranzisztor nemcsak a FET-et tudja kikapcsolni, hanem egy soros diódán keresztül a controller egyik lábát is földre képes húzni, ezzel jelezve a szabotázs lehetőségét.



7.1. ábra. Túlfeszültség elleni védelem

7.2. Az áramkörben előforduló feszültségek, áramfelvételek

Az alkatrészeknek különböző feszültségekre van szükségük. Mint már előbb is említettem, a controller, a nyomásmérő, a gyorsulásmérő, és az RS485 szintillesztő IC 3.3V-ot igényelnek. Az RFID olvasónak pedig 5V-ra van szüksége. Továbbá a 3.3V-ot külön kell választani aszerint, hogy analóg, vagy digitális áramkört fog táplálni. A 3.3V-os kör maximális áramfelvételét a 7.1. táblázat tartalmazza.

STM32F103: kontroller	70 mA
SN65HVD: RS485 szintillesztő	24 mA
BMA150: gyorsulásmérő	0,2 mA
INA126: műveleti erősítő	10 mA
MCP6004: műveleti erősítő	30 mA
MX25L: memóra	15 mA
UPX19: nyomásszenzor	1,5 mA
Ellemállások	10 mA
Összesen	160,7 mA

7.1. táblázat. Perifériák maximális áramfelvétele

A táblázatban feltüntettem a felsorolt alkatrészek adatlapjaiban szereplő maximális áramfelvételeket. 160 mA-t akkor venne fel az áramkör, ha minden periféria maximális teljesítménnyel egyszerre üzemelne. Ezenkívül az áramkörben szerepel egy 5 F-os szuperkapacitás, amit bekapcsoláskor fel is kell tölteni. Közvetlenül a tápkörre nem kapcsolható, ugyanis, rövidzárként viselkedne kisütött állapotban. Ezért a töltőáramot korlátozni kell egy soros ellenállással. Az ellenállás értéke nem lehet túl nagy, mert akkor nagyon lassan töltődne fel. 500 mA-es maximális töltőáramhoz 6.6 Ω -os ellenállásra lenne szükség, de a szabványos értékek között csak 6.8 Ω található. Az áram maximuma így 485 mA. Az alábbi képlet alapján kiszámolható, hogy ilyen kis ellenállással is $t = 81$ s kell, hogy 3 V-ra feltöltődjön a kondenzátor.

$$V = V_0 * (1 - e^{-t/RC})$$

$$3V = 3.3V * (1 - e^{-\frac{t}{6.6\Omega * 5F}})$$

Ezek alapján olyan feszültségforrásra lesz szükség, mely 3.3V feszültség mellett elbírja ezt a terhelést. Látszik, hogy pusztán lineáris táp felhasználásával nem oldható meg a feladat, mivel 24 V bemenő feszültség esetén, 500 mA-es átfolyó áram mellett, $(24 V - 3.3 V) * 0.5 A = 10.35 W$ -ot kellene disszipálnia a tápáramkörnek. A feladat megoldásához mindenképp szükség lesz egy kapcsolóüzemű tápegységre.

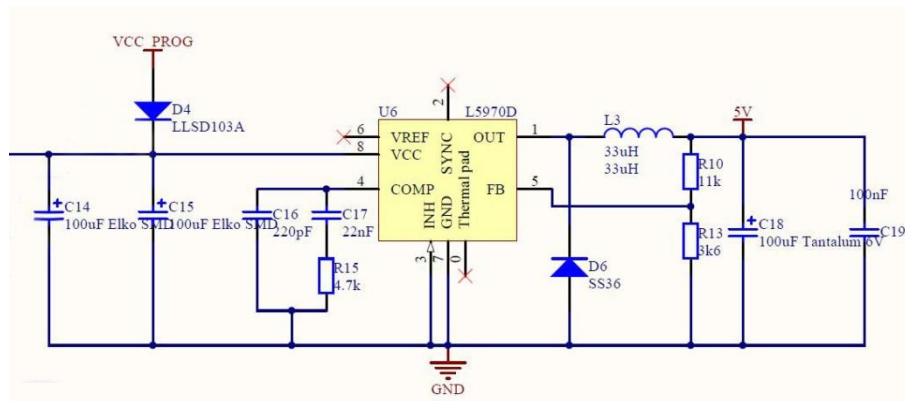
7.3. 5v előállítás

Célszerű választásnak tűnik, hogy az RFID olvasó számára szükséges 5 V-ot kapcsolóüzemű tápegység segítségével állítsam elő, majd ebből lineáris táp segítségével hozzam létre a 3.3 V-ot. Az RFID áramkör maximálisan 100 mA körüli áramfelvétellel rendelkezik, és ehhez kell még hozzáadni a többi, 3.3V-os fogyasztó áramfelvételét.

A keresést leegyszerűsítette, hogy az iData Kft. termékeinek nagy részében is kapcsolóüzemű táp működik, amihez egy stabil, jól bevált IC-t használnak.

7.3.1. L5973 kapcsoló üzemű táp IC

A 7.2. ábra látható IC 4.4 V és 36 V közötti bemenő feszültségből tud előállítani 1.2 V és 35 V közötti feszültséget, 2.5 A-es maximális kimenő áram mellett. A kimenő feszültséget mi tudjuk szabályozni az IC visszacsatoló lábával úgy, hogy a visszacsatoló lábón 1.23 V feszültségnek kell megjelennie [29]. A kimenetén 5 V-ot szeretnénk, ezért a kimenő feszültséget le kell osztani $\frac{1.23}{5}$ arányban. Mivel az osztóhoz szükséges ellenállásokat diszkrét értékekkel gyártják, ezek közül kell kettőt úgy kiválasztanom, hogy az osztásarányuk $\frac{1.23}{5}$ legyen. A 11 k Ω és 3,6 k Ω páros pontosan megfelel erre a feladatra, mivel $5 \text{ V} * \frac{3600}{3600+11000} = 1.23287 \text{ V}$, és ez csak 2.8 mV-al tér el az előírt referenciától. Ezekkel az értékekkel a kimeneten 5 V helyett, $5 \text{ V} * \frac{1,2328}{1,23} = 5.011 \text{ V}$ fog megjeleni, ami az RFID antenna számára megfelelő.



7.2. ábra. DC-DC tápegység

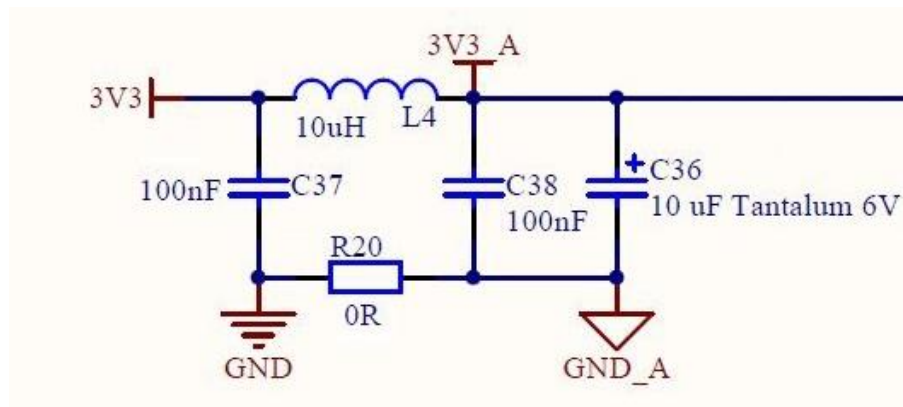
7.4. 3.3V előállítás

A feladat megoldására elég sok integrált áramkör létezik, ezért első sorban a cégnél rendelkezésemre álló típusok közül válogattam. Fontos volt, az alacsony zajszint, a viszonylag nagy pontosság, és a terhelhetőség. Éppen ezért a TPS77733 típusú lineáris feszültségszabályzó IC-t választottam. Ez 3.3 V fix kimenő feszültséget ad, és maximálisan 750 mA árammal terhelhető, és rövidzár ellen is védett. Nagyon kicsi feszültségkülönbséggel képes dolgozni, a bemenő feszültség elég, ha 260 mV-al meghaladja a kimenő feszültséget. A 3.3 V kimenetet 2% pontossággal tartja. [30]

A 3.3V-os tápkört egy Schottky diórával két részre osztom. Egyik felét a kontroller, a gyorsulásmérő, és a szuperkapacitás, a másikat a többi alkatrész alkotja. Ennek az a szerepe, hogy a külső táp megszűnése esetén az áramkör főbb részei tovább üzemelhessenek. Minden IC külön szűrőkondenzátorral rendelkezik, a lábaihoz a lehető legközelebb, egy 100 nF-os kerámia kondenzátort helyezek el.

7.4.1. Analóg szűrés

Egyes alkatrészeknek szükségük van stabil, jól szűrt tápfeszültségre. A kontroller és a gyorsulásmérő analóg tápfeszültségét, valamint a nyomásmérő tápját kell különválasztani. Ehhez a 7.3. ábra látható szűrőt használok. A kapcsolást az STM32VLDISCOVERY kézikönyve alapján készítettem el. A gyártó által ajánlott példakapcsolásban SRM32F100RBT6B kontroller szerepel, de ennek megegyezik az analóg része, az általam használt típusával. [31]



7.3. ábra. Tápszűrés

7.5. Szuperkapacitás

Ha az áramkört leválasztották a fedélzeti egységről, akkor már nem fog vele kommunikálni, ezért az RS485 szintillesztőnek nem kell tápot adni. Az RFID olvasóra sincs ekkor szükség, mellesleg az áramkörben ez az egyik legnagyobb teljesítményű fogyasztó, ezért ez sem szükséges, hogy működjön. A mérések is energiaigényes folyamatok, ezért a nyomásmérőt is lekapcsolhatjuk. Ekkor megmaradt a kontroller és a gyorsulásmérő. Ezeknek már elég kicsi a fogyasztásuk, hogy egy szuperkapacitás ki tudja őket szolgálni. Két sorosan kapcsolt 2.5 V feszültségű, 5 F kapacitású kondenzátor már jelentős energiát tud letárolni. Az alábbi képlet szerint 27.225 J-t.

$$\frac{1}{2} * 5F * (3,3V)^2 = 27.225J$$

A kontroller különböző üzemmódokban más-más áramfelvételt produkál. A program flash memóriából történő futása esetén, 3.3V tápfeszültség mellett, a mag áramfelvételét a 7.2. táblázat tartalmazza. [21]

	Külső órajellel	Belső RC oszcillátorral
1MHz	1.7mA	1.1mA
2MHz	2.1mA	1.5mA
4MHz	3.1mA	2.5mA
8MHz	5mA	4.4mA

7.2. táblázat. Kontroller áramfelvétele

A perifériákat egymástól függetlenül le lehet kapcsolni, amivel jelentős mennyiségű energiát tudunk megtakarítani. A mérés során csak a gyorsulásmérővel kell kommunikálni SPI-on keresztül, ezért a többi periféria jelentős részét le is tilthatjuk. Egy SPI periféria engedélyezése 0.4 mA-el növeli a vezérlő fogyasztását, a GPIOA 0.55 mA-el, ezenkívül előfordulhat, hogy egy időzítőt is használnunk kell, amely 0.4 mA-t fogyaszt. Minimális fogyasztásra törekedve a mérés idejére a belső RC oszcillátort használjuk 1 Mhz frekvenciára állítva. Ez nem ad tökéletesen pontos órajelet, viszont az SPI kommunikáció során az órajelet a kontroller szolgáltatja, így ez a kommunikáció során nem okoz problémát. Ezekkel a beállításokkal futás közben a vezérlő áramfelvétele:

$$1.1 \text{ mA} + 0.55 \text{ mA} + 0.4 \text{ mA} + 0.4 \text{ mA} = \mathbf{2.45 \text{ mA}}$$

A kontrollert Standby üzemmódba kapcsolva **3.8 μ A**-t fogyaszt, ha fut a belső RC oszcillátora és a watchdog áramköre. Ebből az állapotból külső reset, watchdog reset, a WKUP lábon történő felfutó él, vagy a valós idejű óra tudja felébreszteni. [21] [23]

	Mérés közben	Energiatakarékos módban
Mikrokontroller	2.45 mA	3.8 μ A
Gyorsulásmérő	200 μ A	1 μ A

7.3. táblázat. Áramkör becsült fogyasztása

A 7.3. táblázat alapján egy durva becslést tudunk adni az áramkör üzemidejére. A gyorsulásmérő 2.4 V feszültség alatt már nem mér pontosan, így eddig szabad a

tápfeszültségnek csökkennie. A fogyasztókat $\frac{3.3\text{ V}}{3\text{ mA}} = 1.1\text{ k}\Omega$ ellenállással helyettesítve ki tudjuk számolni, hogy mennyi idő alatt esik a kondenzátor feszültsége 3.3 V-ról 2.4 V-ra. A kondenzátor töltése Q_0 értéktől q -ra az alábbiak szerint csökken:

$$q = Q_0 * e^{-\frac{t}{RC}}$$

Behelyettesítve az adatokat:

$$2.4V * 5F = 3.3V * 5F * e^{-\frac{t}{1100\Omega * 5F}}$$

Az egyenletből könnyen meghatározható, hogy $t = 1751\text{ s}$ alatt fog 2.4 V alá csökkenni a kondenzátor feszültsége. Ugyanezt a gondolatmenetet az energiatakarékos üzemmódra levezetve a fogyasztót $\frac{3.3\text{ V}}{5\text{ }\mu\text{A}} = 660\text{ k}\Omega$ ellenállással tudom helyettesíteni, ami alapján $t = 10508973$ másodpercet képes a kontroller Standby üzemmódban működni.

A számítások eredményét fenntartásokkal kezelem, mivel itt minden alkatrészt ideálisnak tekintettem, nem számoltam a kondenzátor önkisülésével, és az adatlapon feltüntetett értékek sem hűen tükrözik a valóságot. Továbbá a processzor áramfelvétele a feszültség csökkenésével nem lesz egyenletes. Mindezek ellenére egy nagyságrendi becslést tudunk adni az áramkör üzemidejére nézve. A rendszer számára a gyorsulásérték megmérése nem tart tovább 1 másodpercnél. Ha 10 percenként végzünk egy mérést, akkor egy héten $7 * 24 * 6 = 1008$ mérést kell elvégezni, vagyis 1008 másodpercen keresztül fogyaszt 3 mA-t az áramkör. A fennmaradó energia pedig elég az áramkör készenléti üzemmódjához. A számítások alapján külső tápellátás nélkül egy héten keresztül tudja mérni a gyorsulásértékeket az áramkör. Ez idő alatt, ha eltávolítják a helyéről, hibát tárol el, és a kapcsolat helyreálltakor riasztást tud küldeni az iTrack rendszernek.

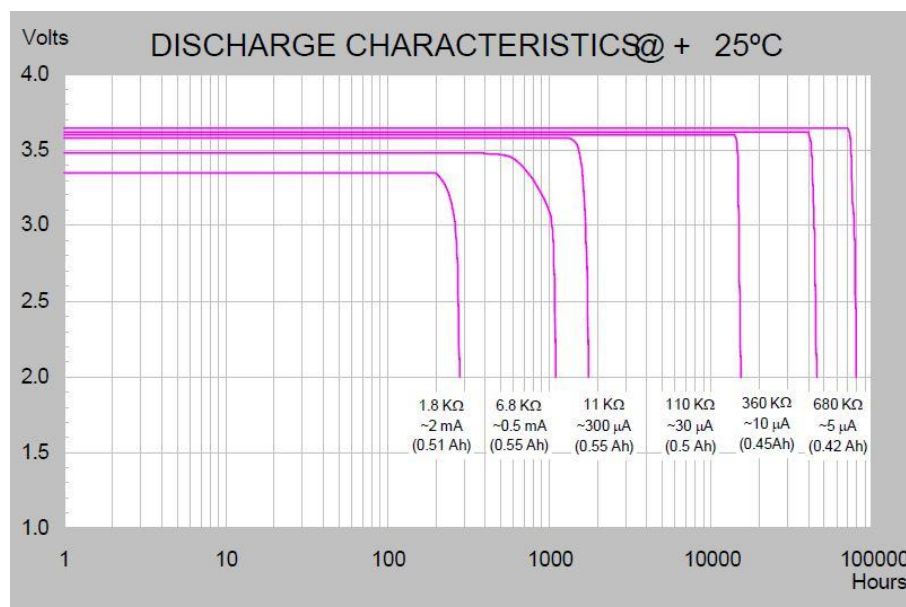
7.6. RTC tápellátása

A mikrokontroller valós idejű órájának szüksége van tápellátásra akkor is, ha az áramkör többi része nem kap áramot. A kontroller adatlapja alapján a periféria működéséhez a V_{BAT} lábon 1.8 V és 3.6 V közötti feszültségre van szükség, 1.5 μA -es áramfelvétel mellett. Ezt többféleképpen is meg lehet oldani. Kézenfekvő megoldásnak tűnik egy kisméretű akkumulátor használata, mely a 3.3 V-os tápról töltődik egy diódán keresztül. Az akkumulátorokkal az a gond, hogy nem jól tűrik a magas hőmérsékletet,

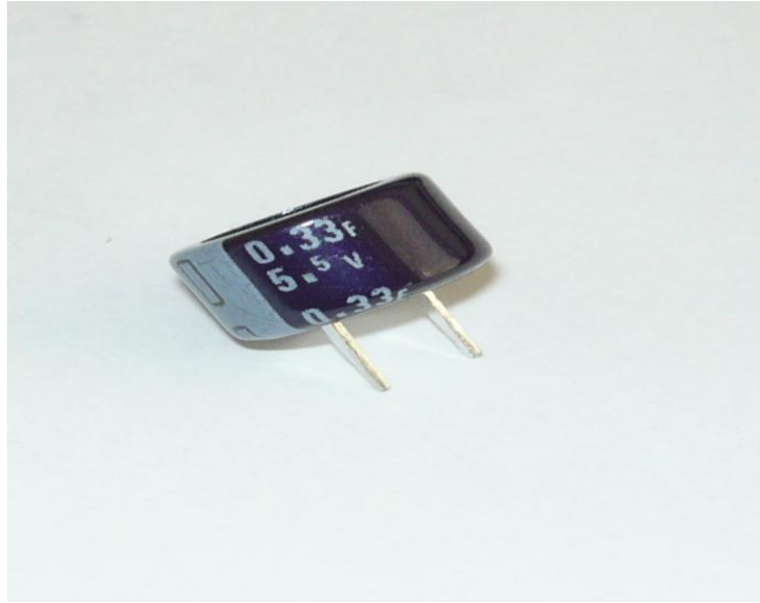
és sok esetben külön töltőáramkört igényelnek. Ha nem megfelelően töltjük őket, akkor nagyon hamar elhasználódnak, viszont cserére nincs lehetőség. A működési tartományuk általában -20 és 35 °C között mozog. E felett sokkal hamarabb kisülnek, és csökken az élettartamuk. Léteznek ipari kivitelű akkumulátorok is, melyek jól bírják a magas hőmérsékletet, de azok jelentősen drágábbak a normál kivitelű modelleknél.

Az elemek esetén is hasonló a probléma, általában ezek sem bírják jól a nagy hőmérsékletet, viszont itt már olcsóbban is lehet speciális, magasabb hőmérsékletet is elviselő típust kapni. Találtam egy lítium elemet, TLH-2450, mely -55 °C és $+125$ °C között működik, és a speciális akkumulátorokhoz képest olcsóbban, 3.59\$-ért beszerezhető. A 7.4. ábra szerint 5 μ A-es fogyasztás mellett 100000 órán át képes működni. Ez több mint 11 év folyamatos működést eredményezne, ami a feladat szempontjából tökéletesen megfelel. [32]

A harmadik megoldás, hogy itt is szuperkapacitást alkalmazunk a tápellátásra. Ebben az esetben a töltésre tökéletes megoldás a controller tápja és a kondenzátor közé sorosan kapcsolt dióda. Ezek között is találtam olyan típust, ami elviseli a magasabb hőmérsékletet. Mivel itt az elemekkel ellentétben nemcsak kisütni, hanem tölteni is tudjuk a kondenzátort, így kisebb kapacitású is elég lehet. Ez azt eredményezi, hogy nem kell nagyméretű alkatrészt használni. A 7.5. ábra 7.4. ábra látható 0.33 F-os 5.5 V-os szuperkapacitás $1 \times 1 \times 1$ cm oldalú kockába befoglalható.



7.4. ábra. Elem karakterisztikája



7.5. ábra. Szuperkapacitás

8. Nyáktervezés

A kapcsolási rajz alapján el kell készíteni a nyáktervet is. A kapcsolási rajzot a 12.3. ábra, 12.4. ábra és 12.5. ábra tartalmazzák, melyek a függelékben találhatóak. Először egy 10 cm átmérőjű, kör alakú prototípus készül, mely a végleges áramkörnél nagyobb, ezáltal marad hely az esetleges hibák javítására, átkötések elhelyezésére. Ez sok olyan mérőpontot tartalmaz, melyek segítenek a teszt példány bemérésében, viszont a végleges áramkörre már nem kerülnek rá. Mivel ezen a mintán tudom kipróbálni az egyes perifériákat, ezért fontos, hogy a terv úgy készüljön el, hogy a végleges áramkörhöz képest ne sokban térjen el.

A huzalozás megvalósítására két réteg áll rendelkezésre, így ezeken kell elvezetni a tápot, a digitális jeleket, és az analóg jeleket. Külön power rétegek alkalmazásával ez nem okozna problémát, így viszont meg kell oldani, hogy a jelek ne zavarják egymást. Fontos, hogy a kapcsolóüzemű tápegység minél messzebb kerüljön az analóg erősítőtől, ugyanis a zavarok ronthatják a mérés pontosságát, valamint szem előtt kell tartani, hogy a nyomásszenzornak az áramkör közepén kell elhelyezkednie. Ez azért fontos, mivel az áramkör henger alakú tokba fog kerülni, és a forgástengelyre kell a szenzort pozícionálni.

Az áramkör kis méretéből adódóan felületszerelt alkatrészek alkalmazása ajánlott. Ezek közül kivételt képeznek a nyomásszenzor és a szuperkapacitások, mivel csak forrasztható kivezetésekkel lehet őket beszerezni. Minden más alkatrész esetén törekedni kell a legkisebb méret használatára, ezért 0603-as ellenállások és kondenzátorok kerülnek a panelre, valamint SOIC tokozású IC-eket választottam. Ezek között három különböző méretű vezetősáv futhat. A huzalozáshoz ahol csak lehet 12 mil-es vezetősávokat használok, viszont a gyorsulásmérő LGA tokozása miatt 8 mil szélességű előfordul. A legvastagabb 30 mil, de ez csak a tápáramkörben jelenik meg. A teszt példány tervezése során 0Ω értékű ellenállások is kerültek a kapcsolásba, ezáltal az áramkör élesztése és bemérése során lehetőségünk van a különböző modulok leválasztására, valamint az ellenállások helyén mérni tudjuk az átfolyó áramot.

A szenzor körüli terület alapvetően három részre osztható:

- Tápegység, és túlfeszültség elleni védelem
- Mikrokontroller és a hozzá kapcsolt perifériák

- Analóg erősítő kapcsolás

A kapcsolóüzemű táphoz tartozó induktivitás szórt tere zavarhatja a mért eredményt, ezért ezt az áramkör pereméhez legközelebb érdemes elhelyezni. Mivel az áramkörben sok átvezetés (via) található, ezért figyelni kell az ezeken eső feszültségre is. Kis jelek esetén ez nem jelentős, viszont a tápvonalak mentén a viák számát minimalizálni kell. Amennyiben ez nem megoldható, a rétegváltásoknál párhuzamosan többet kell elhelyezni a kisebb átvezetési ellenállás elérése érdekében. Ezen felül a zavaró jeleket tovább tudjuk csökkenteni teliföld használatával.

A mikrokontroller körül az alábbi perifériák helyezkednek el: RS485 szintillesztő, gyorsulásmérő, RFID vezérlő és flash memória. Ezeket a vezérlőhöz közel, rövid vezetősávokkal kell bekötni. Fontos a kontrollert meghajtó kristály pozíciója is, ennek tervezéséhez külön dokumentumot adott ki az STMicroelectronics. Ez alapján a kristályokat a kontroller lábához lehető legközelebb kell pozicionálni, úgy, hogy kerüljük a hurkok kialakulását. A kontroller programozó csatlakozójának is helyet kell találni a nyákterven, lehetőleg úgy, hogy a szerelést ne akadályozza. Ennek csak a fejlesztéskor és első programozásakor lesz szerepe, ugyanis az áramkör kiöntése után nem férünk hozzá. Éppen ezért egy kisméretű, felületszerelt kivitelű tűskesor kerül az áramkörre. [33]

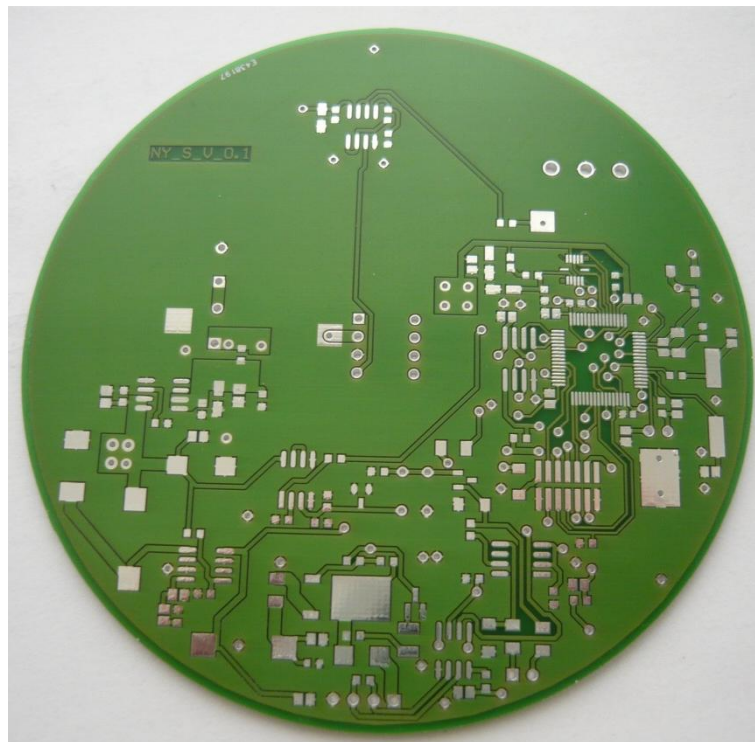
Az áramkörben három helyen szükséges a jól szűrt tápfeszültség. Ezek a kontroller A/D referencialába, a gyorsulásmérő analóg tápja, és a nyomásmérő. Mindhárom egység egymáshoz közel kap helyet, így minimalizálni lehet az alkatrészek között futó vezetősávok hosszát, vagyis csökkenteni a zavart.

Az RFID olvasó antennája is ugyanebben a házban kap helyet, ezért ennek is el kell férnie az árkörrel megegyező méretű körlapon. A két nyáklap egymás felett fog elhelyezkedni a hengerben, úgy hogy a két réteget tűskesorok kötik össze, melyeknek helyet kell kihagyni az áramkörön. Mivel a prototípus nagyobb a végleges áramkörhöz képest, ezért az RFID antennát nincs értelme illeszteni hozzá, a tesztelés során elég, ha vezetékekkel összekötöm őket.

A nyáktervről képek a függelékben találhatóak.

9. Elkészült áramkör bemutatása

Az elkészült nyomtatott áramkört a 9.1. ábra. A nyomtatott áramkör láthatjuk. Mivel a gyártás leadásának időpontjában még nem tudtam, hogy a nyomá szenzor milyen lábkiosztású lesz, ezért egy DIP8 tokot terveztem az áramkörre, mert ehhez könnyű később plusz alkatrészeket forrasztani.



9.1. ábra. A nyomtatott áramkör

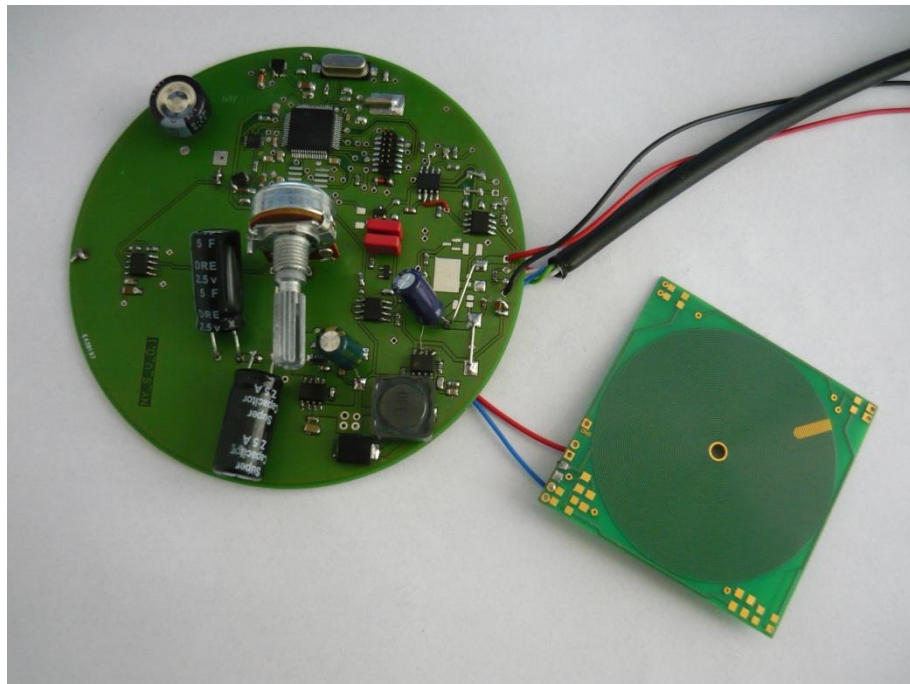
Az alkatrészek beültetését a tápegységgel kezdtem. Előfordult olyan kondenzátor, mely nem illeszkedett az általam választott footprint-hez, viszont ezt a problémát sikerült megoldanom. Miután a tápfeszültségeket rendben találtam, előálltak a 3.3 V és az 5 V feszültségek, folytathattam a többi elem beültetését. A beforrasztott alkatrészek a 9.2. ábra. elkészült áramkör láthatók.

Az elkészült áramkört kipróbáltam, a program fut rajta, az adatokat továbbítja a számítógép felé. Jelenleg azért nem a fedélzeti egységgel kommunikál, mert az még nincs felkészítve az adatok fogadására, ugyanis módosítani kell a szoftverét, hogy egy újabb egységet is csatlakoztatni tudjunk hozzá. A gyorsulásmérőben be lehet állítani egy küszöbértéket, ami felett megszakitást küld a kontroller felé, ezzel jelezve, hogy az áramkört mozgatják.

Sajnálatos módon a szakdolgozat leadása előtt nem érkezett meg a nyomásszenzor. Ennek oka, hogy a gyártó cég nem vette észre a szenzor árának beérkezését, és csak azután kezdték el a beszerzést, miután megkapták a banki átutalásról szóló bizonylatot. Az alkatrészt egy kínai raktárból szállítják, ami hosszabb időt vesz igénybe. Végül több mint egy hónapja csúszik az alkatrész beszerzése.

Ennek ellenére szerettem volna letesztelni a kontroller analóg bemenetét is, ezért a kapcsolást átalakítva, az erősítő helyére egy 100 k Ω -os potenciómétert kötöttem. Így 0 és 3.3 V között szabályozni tudom a kontroller A/D bementére jutó feszültséget, ezzel szimulálva a nyomásszenzorból érkező jelet. A program a mért értékeket átskálázza

0 – 100% közé, és jelenleg ezt az eredményt küldi vissza.



9.2. ábra. elkészült áramkör

Az áramkör mérés és adattovábbítás közben 25 mA-al terheli a 3.3 V-os tápkört, és 15 mA-t vesz fel 12 V-ról. A fogyasztás csökken, ha a kontroller órajelét leosztjuk, és 8 MHz helyett 1 MHz órajelről üzemel, valamint kikapcsoljuk a nem használt perifériáit. Így az áramfelvétel 12 - 13 mA-re csökken. Ha szeretnénk elérni a 7. fejezetben kiszámolt 3 mA-es értéket, akkor a kontroller és a gyorsulásmérő kivételével minden mást le kell kapcsolni. A többi periféria tápfeszültségét megszakítva az áramfelvétel visszaesett 4 – 5 mA körüli értékre, ami a számolt értékhez képest magasabb. Ennek oka, hogy az perifériák továbbra is össze vannak kötve a kontrollerrel,

és az adatvonalakon ott lógnak a fel illetve lehúzó ellenállások, melyeken keresztül minimális áram tud folyni a föld felé.

Mivel nem érkezett meg időben a nyomásmérő, ezért nekiláttam a nyákterven előforduló hibákat kijavítani és az áramkör méretét csökkenteni. Az egyik IC nem kapott tápot, ezt a próbaáramkörön átkötéssel orvosoltam, most viszont a nyákterven is javítottam a hibát. Kicseréltem a kondenzátorok footprint-jeit, hogy a beültetéssel ne legyen probléma, végül az alkatrészek egy részt áthelyeztem a nyák túloldalára. Így elég sok helyet megspóroltam, és az áramkör elfér egy 5 cm átmérőjű körlapon. Emlékeztetőként megemlítem, hogy a próbaáramkör átmérője 10 cm volt. A nyáktervek a függelékben találhatóak. A 12.1. ábra és 12.2. ábra a régi, míg a 12.6. ábra és 12.7. ábra a javított terveket tartalmazza.

A függelékben található 12.1. táblázat. Alkatrészlista összegyűjtöttem az áramkörben szereplő főbb alkatrészeket, és ezek árait. A sok külföldről beszerezhető alkatrész miatt az árakat egységesen dollárban tüntettem fel. Az árak 100 darabos rendelés esetére érvényesek. Mindenhol az általam legolcsóbbnak talált termék árával számoltam, ennek ellenére előfordulhat, hogy céges rendelés esetén további engedményeket kapunk.

Így egy darab áramkör alkatrészköltsége: 55.26\$.

10. Összegzés

A szakdolgozat írásával eltöltött három hónap alatt sikerült olyan szinten megismernem az iTrack rendszer működését, hogy egy modult tervezek hozzá. Ezalatt megtapasztaltam a céges fejlesztés előnyeit és hátrányait, valamint megtanultam egy csapat tagjaként dolgozni. Meg kellett tanulnom precízen dokumentálni a munkámat, és ezt mások számára prezentálni.

A kutatás során megismerkedtem az elektronikus nyomásmérők felépítésével és működési elvükkel, továbbá tapasztalatokat gyűjtöttem az egyes alkatrészek kiválasztása és megrendelése terén.

Egy régi kapcsolás hibáit elemezve, megterveztem egy új áramkört, melyhez elengedhetetlen volt egy nyáktervező program használatának készség szintű elsajátítása. Törekedtem bemutatni a tervezés lépéseit, a felmerülő problémákra többféle megoldást adni, hogy ezek közül az optimálisat kiválasztva építsem fel az áramkört. Végül megtanultam használni a mikrokontrolleren futó beágyazott operációs rendszert, amihez elengedhetetlen volt, hogy felelevenítsem a C és C++ tudásomat.

Sikerült elkészíteni a megtervezett áramkört, felélesztettem az egyes moduljait, és mérést végeztem rajta. Az áramkör bemenetét és kommunikációs vonalait megfelelően védem a túlfeszültség ellen, és a fémmembrános szenzor is kiküszöböli az előző alkatrész legfőbb hibáját.

Továbbfejlesztési lehetőségek

A műszeren még van egy-két apróság, amit ki kell javítani. Amint megérkezik a nyomásmérő szenzor, azt is be kell ültetnem, és a mérések alapján módosítani a szoftvert, hogy a megfelelő nyomásértéket küldje el. Ehhez a programban csupán néhány konstans értékének változtatására van szükség.

Mint ahogy azt korábban említettem, az egyes tápköröket diódák választják el egymástól. Ezeken feszültség esik, és így a szuperkapacitások nem tudnak egészen 3.3 V-ra feltöltődni. Ezt a hibát úgy lehetne kiküszöbölni, hogy a diódát a stabilizátor elé helyeznénk, így minden modul pontosan 3.3 V-ot kapna. Ez a döntés azzal a hátránnyal jár, hogy a két tápkörhöz két külön feszültségszabályzó kell.

Mivel a nyomásszenzor adatlapjában nincs feltüntetve a lábak távolsága, ezért a végleges áramkörre sem tudtam azt pontosan rátervezni. Ha megérkezik az alkatrész, a nyákterven korrigálni kell a szenzorhoz tartozó furatok pozícióját. Ehhez kapcsolódóan a műszer számára el kell készíteni a megfelelő tokozást, melyhez szintén elengedhetetlen, hogy ismerjük a szenzor pontos méreteit.

A későbbiekben remélhetőleg a hardveren nem kell majd változtatni, minden fejlesztést a szoftveren elég elvégezni. A kontroller elegendő memóriával rendelkezik, hogy plusz funkciókat tudjunk a rendszerhez hozzáadni.

Például a gyorsulásmérő nemcsak a rezgés detektálására, hanem annak elemzésére is felhasználható lehet. Amennyiben a mért adatokat egy digitális szűrőn átengedjük, meg tudjuk különböztetni a cement lefűjását a kamion mozgása közben keletkezett rezgésektől.

A szenzor kialakítása elegendő védelmet nyújt a legtöbb közeggel szemben, ezért a műszert más típusú tartályokhoz is használhatjuk. Az eszközt egy folyadékkal teli tartály aljára helyezve megfelelő kalibrálás után meg tudjuk állapítani a folyadékszint magasságát, annak nyomásából.

Köszönetnyilvánítás

Ez úton szeretnék köszönetet mondani Sujbert Lászlónak, aki a félév során minden egyes alkalommal kellő szakmai segítséggel, tanácsokkal látott el a feladatom megvalósításához.

Köszönöm az iData Kft.-nek, hogy lehetőséget biztosított a szakdolgozatom megírásához, és a cég többi munkatársának, hogy segítettek munkámat. Különös köszönet illeti Sándor Éva Ividőt, hogy elvállalta a külső konzulens szerepét.

Köszönöm családomnak és barátaimnak, hogy támogattak az egyetemi pályafutásom során.

11. Felhasznált irodalom

- [1] Tatár József. *Nyomásmérő műszerek és mérések*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1994.
- [2] National Instruments. *How To Measure Pressure with Pressure Sensors*. [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3639>.
- [3] Sensorland. *How sensors work - strain gauge*. [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.sensorland.com/HowPage002a.html>
- [4] Sensorland. *Pressure sensors* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.sensorland.com/HowPage004.html>
- [5] Wikipedia. *Pressure sensor* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_sensor
- [6] Texas Instruments. *LP2950 datasheet*. [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2951.pdf>.
- [7] Freescale Semiconductor. *MPXHZ6400AC6T1 datasheet*. [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXHZ6400A.pdf.
- [8] Dr. Csubák Tibor. *Programozható irányítórendszerek és szenzorrendszerek* oktatási segédlet Budapest, 2008 [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://sirkan.iit.bme.hu/dokeos/courses/BMEV8A349/document/Programozhat%F3_ir%E1ny%EDt%F3berendez%E9sek_-_eg%E9sz.pdf?cidReq=BMEV8A349
- [9] Honeywell *MLH Series All Metal Pressure Sensors* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.tme.eu/dok/M/mlh-series.pdf>
- [10] Transtronics *Pressure Transducer Primer* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://wiki.xtronics.com/index.php/Pressure_Transducer_Primer
- [11] Measurement Specialties *85 series datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://www.strainsense.co.uk/downloads/suppliers/meas/pressure/boardmount/85_Series.pdf

- [12] Xi'an UTOP Measurement Instrument Co., Ltd. UPX19 datasheet
[Hivatkozva: 2012. 05 03.]
<http://www.utopsensor.com/UploadFiles/2010122717301974.pdf>
- [13] Wikipedia. *Instrumentation amplifier* [Hivatkozva: 2012. 05 03.]
http://en.wikipedia.org/wiki/Instrumentation_amplifier
- [14] Analog Devices *AD626 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 01.]
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD626.pdf
- [15] Texas Instruments *INA126 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 01.]
http://courses.cs.tamu.edu/rgutier/ceg499_s02/sbos062.pdf
- [16] Hayt William Hart, jr. *Electronic circuit design with solid-state devices*.
McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1978.
- [17] Sujbert László. *Méréstechnika segédlet*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2008.
- [18] Zoltán István. *Méréstechnika*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2004.
- [19] Hitex (UK) Ltd. *The Insider's Guide To The STM32 ARM Based Microcontroller*
[Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.hitex.com/fileadmin/pdf/insiders-guides/stm32/isg-stm32-v18d-scr.pdf>
- [20] STMicroelectronics. *STM32F103xx reference manual*. 2011
[Hivatkozva: 2012. 05 03.]
http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/REFERENCE_MANUAL/CD00171190.pdf.
- [21] STMicroelectronics STM32F103xx32 datasheet [Hivatkozva: 2012. 05 01.]
http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00191185.pdf
- [22] *ChibiOS/RT Homepage* [Hivatkozva: 2012. 05 01.]
<http://chibios.org/dokuwiki/doku.php?id=start>

- [23] Bosch Sensortec *BMA150 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 01.] http://www.bosch-sensortec.com/content/language1/downloads/BMA150_DataSheet_Rev.1.5_30May2008.pdf
- [24] Dallas Semiconductor *DS18B20-PAR datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 01.] <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20-PAR.pdf>
- [25] Microchip *MCP9808 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 01.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25095A.pdf>
- [26] Texas Instruments *Interface Circuits for TIA/EIA-485* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.grantronics.com.au/docs/TIA-EIA-485.pdf>
- [27] Texas Instruments *SN65HVD1780 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.ti.com/lit/ds/slls877f/slls877f.pdf>
- [28] MICRON. *MX25L datasheet* [Online] [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://www.micron.com/~media/Documents/Products/Technical%20Note/NOR%20Flash/5801tn1214_comparing_n25q_and_mx25l.ashx
- [29] STMicroelectronics *L5973 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 01.] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXytxvx.pdf>
- [30] Texas Instruments *TPS77733 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tps77733.pdf>
- [31] STMicroelectronics *STM32VLDISCOVERY User Manual* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/USER_MANUAL/CD00267113.pdf
- [32] TADIRAN BATTERIES *TLH-2450 datasheet* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] <http://www.tadiranbat.com/pdf.php?id=TLH-2450>
- [33] STMicroelectronics *Oscillator design guide for ST microcontrollers* [Hivatkozva: 2012. 05 03.] http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00221665.pdf

12. Mellékletek

Ábrajegyzék

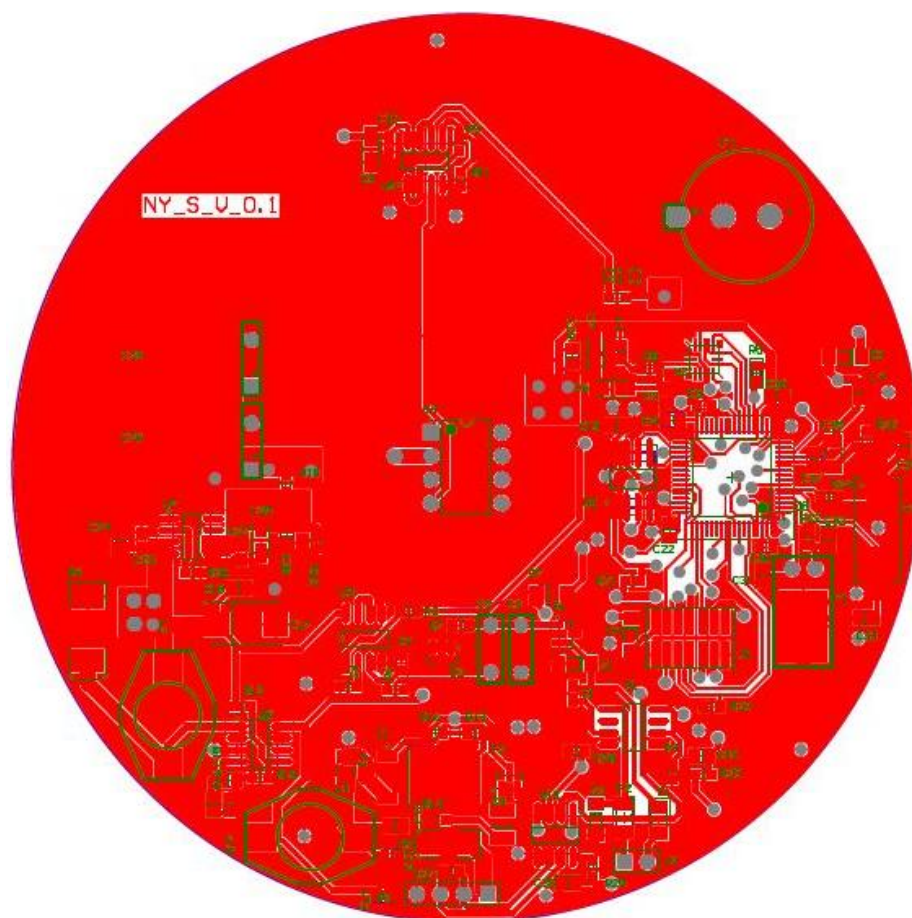
1.1. ábra. Cementszállító kamion.....	3
1.2. ábra. Nyomásmérő műszer helye a tartályon	5
1.3. ábra. Rendszerterv.....	7
2.1. ábra. Abszolút nyomásmérés	8
2.2. ábra. Differenciális nyomásmérés.....	9
2.3. ábra. Légkörhöz viszonyított nyomásmérés.....	9
2.4. ábra. Vizsgát nyomásgombok	11
2.5. ábra. Hibás szenzorok	13
3.1. ábra. Nyomástávadó belseje.....	16
4.1. ábra. UPX19 nyomásmérő	21
4.2. ábra. Wheatstone híd.....	21
4.3. ábra. Műszererősítő kapcsolás	22
4.4. ábra. AD626 példakapcsolás.....	23
4.5. ábra. INA126 példakapcsolás	23
5.1. ábra. Boot memória kiválasztása	27
6.1. ábra. Gyorsulásmérő	32
6.2. ábra. RFID antenna	34
6.3. ábra. RS485 busz.....	35
6.4. ábra. RS485 szintillesztő.....	36
7.1. ábra. Túlfeszültség elleni védelem.....	38
7.2. ábra. DC-DC tápegység	40
7.3. ábra. Tápszűrés.....	41
7.4. ábra. Elem karakterisztikája.....	44
7.5. ábra. Szuperkapacitás.....	45
9.1. ábra. A nyomtatott áramkör	48
9.2. ábra. elkészült áramkör	49
12.1. ábra. Próbaáramkör TOP.....	59
12.2. ábra. Próbaáramkör BOTTOM	60
12.3. ábra. Tápmodul	60
12.4. ábra. Vezérlő	61

12.5. ábra. Szenzorok.....	61
12.6. ábra. Javított nyák TOP.....	62
12.7. ábra. Javított nyák BOTTOM	62

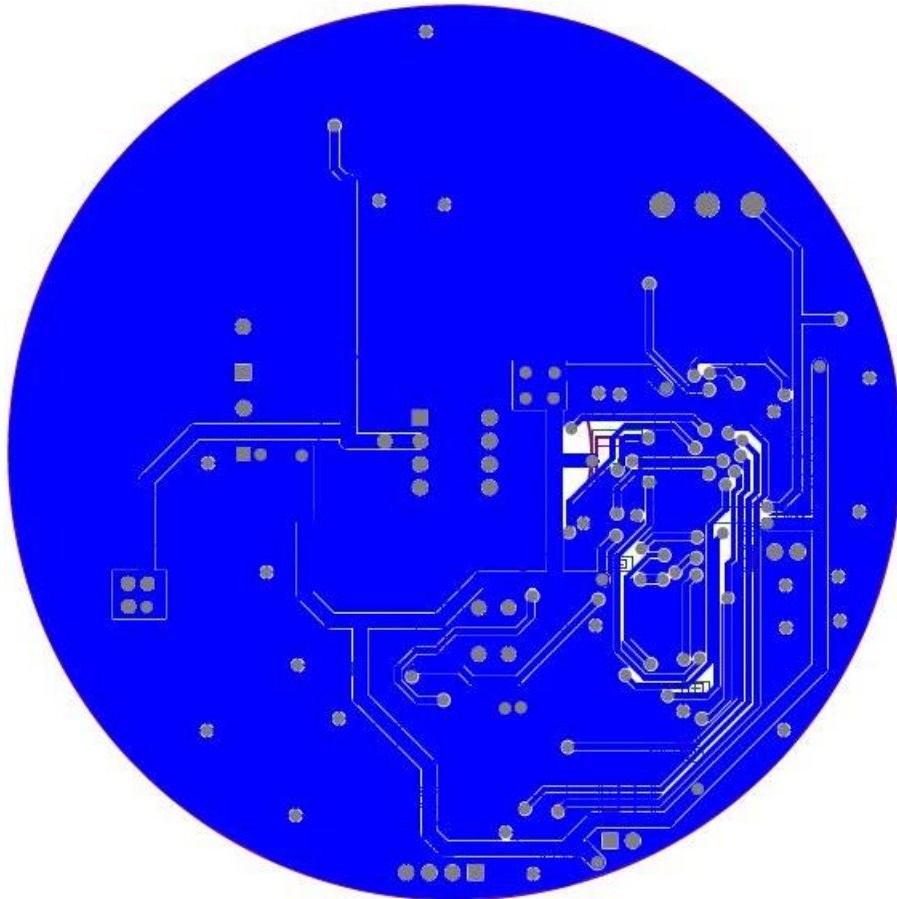
Táblázatok jegyzéke

1.1. táblázat. Működési paraméterek	4
2.1. táblázat. Hibás szenzorok étékelése	13
3.1. táblázat. Piezorezisztív szenzorok.....	15
3.2. táblázat. Nyomástávadók	16
3.3. táblázat. Szenzorok összehasonlítása	18
7.1. táblázat. Perifériák maximális áramfelvétele	39
7.2. táblázat. Kontroller áramfelvétele.....	42
7.3. táblázat. Áramkör becsült fogyasztása.....	42
12.1. táblázat. Alkatrészlista	64

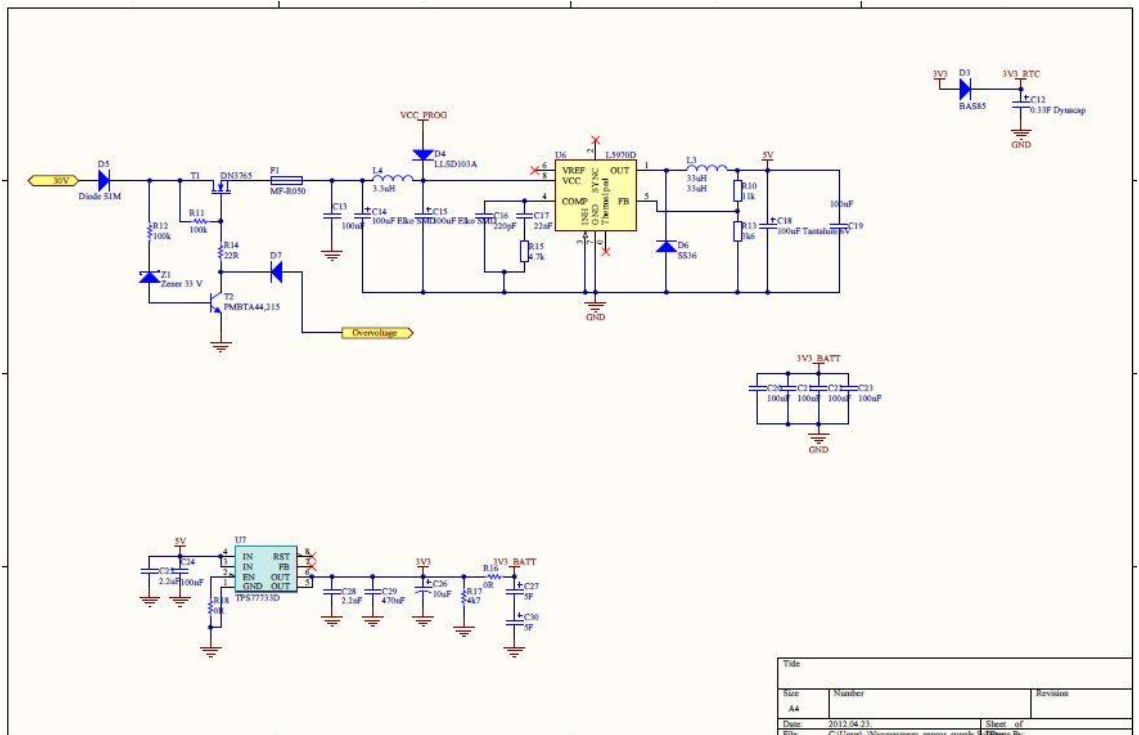
Függelék



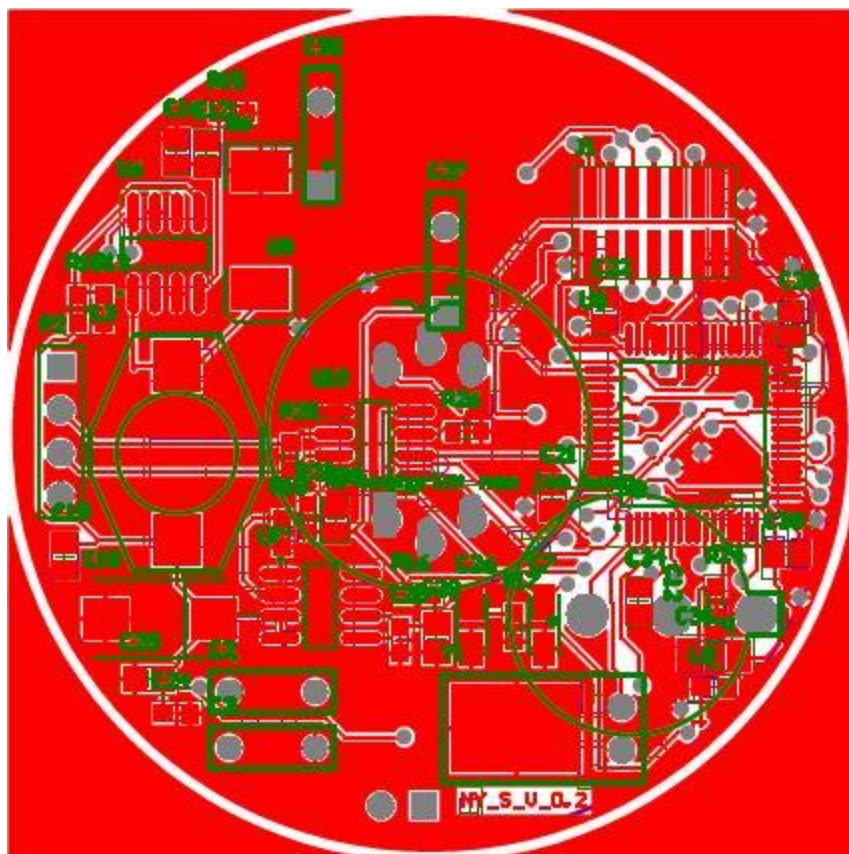
12.1. ábra. Próbaáramkör TOP



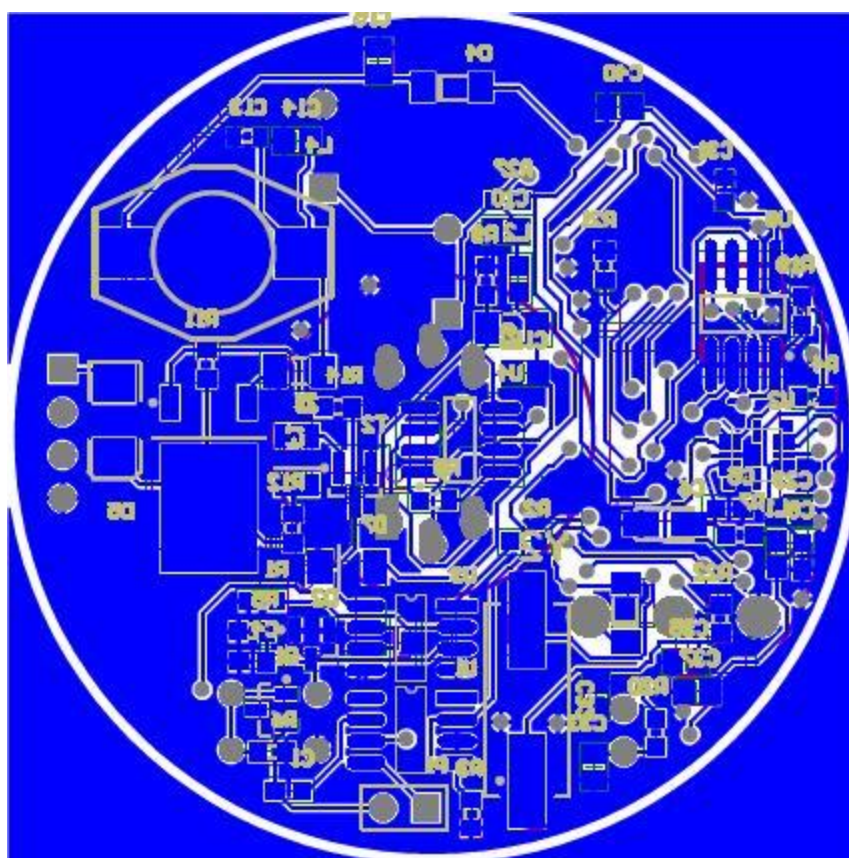
12.2. ábra. Próbááramkör BOTTOM



12.3. ábra. Tápmódul



12.6. ábra. Javított nyák TOP



12.7. ábra. Javított nyák BOTTOM

ALKATRÉSZLISTA	\$ / darab
CAPC1608N 2.2n Cap C1 Capacitor 1	0.02
mks_25x72 4.7n 400V Cap C2 Capacitor 1	0.02
mks_25x72 2.2n 400V Cap C3 Capacitor 1	0.02
CAPC1608N 1n Cap C4 Capacitor 1	0.02
CAPC1608n 10n Cap C5, C8 Capacitor 2	0.02
TC3216-1206 1u 6V Cap Tantalum C6, C7 Tantalum capacitor 2	0.2
CAPC3216N 10 uF Tantalum 6V	0.2
Cap Tantalum C9, C36 Tantalum capacitor 2	0.2
C0805 100nF Cap C10, C11, C19, C20, C21, C22, C23, C37,C38, C39, C40 11	0.2
0.33F Dynacap Cap Pol1 C12 Polarized Capacitor (Radial) 1	1.3
J1-0603 100nF Cap C13 Capacitor 1	0.1
C0805 100uF Elko SMD	0.1
Cap Elec SMD C14, C15 SMD Electrolytic capacitor 2	0.02
C0805 220pF Cap C16 Capacitor 1	0.02
C0805 22nF Cap C17 Capacitor 1	0.02
TC7343-2917 100uF Tantalum 6V	0.2
Cap Tantalum C18 Tantalum capacitor 1	0.2
CAPC1608N 100nF Cap C24 Capacitor 1	0.02
CAPC2012N 2.2uF Cap C25 Capacitor 1	0.02
TC3216-1206 10uF Cap Pol1 C26 Polarized Capacitor (Radial) 1	0.2
5F Cap Pol1 C27, C30 Polarized Capacitor (Radial) 2	2.2
CAPC1608N 2.2nF Cap C28 Capacitor 1	0.2
CAPC2012N 470nF Cap C29 Capacitor 1	0.02
1608[0603] 100nF Cap C31 Capacitor 1	0.02
C0805 12p Cap C32, C33 Capacitor 2	0.02
C0805 22p Cap C34, C35 Capacitor 2	0.02
SOT23 BAV99 SMBD7000 D1, D2 Silicon Switching Diode 2	0.03
BAS85 Diode 1N4148 D3 High Conductance Fast Diode 1	0.3
LLSD103A Diode 1N4148 D4 High Conductance Fast Diode 1	0.3
SMB Diode S1M Diode S1M D5 1 Amp General Purpose Rectifier 1	0.3
SMC SS36 Diode D6 Default Diode 1	0.3
SUBSMA S1GL Diode D7 Default Diode 1	0.3
RESC3216N MF-R050 Fuse 1 F1 Fuse 1	0.1
SMD_header 7x2 J1 1	0.05
INDC1608AN ferrite bead Inductor L1 Inductor 1	0.3
INDC1608AN 10uH Inductor L2, L5 Inductor 2	0.3
SRR1005 33uH Inductor SMD L3 SMD Power Inductor 1	0.3
SRR1005 3.3uH Inductor SMD L4 SMD Power Inductor 1	0.3
HDR1X2 RFID Header 2 P1 Header, 2-Pin 1	0
HDR1X4 Telefon Header 4 P2 Header, 4-Pin 1	0
RESC1608N 1k Res1, Res3 R1, R2, R21, R27 Resistor 4	0.01
RESC1608N 100k Res1, Res3 R3, R4, R11, R12, R19, R26 Resistor 6	0.01
RESC1608N 47k Res1 R5 Resistor 1	0.01
RESC1608N 1M5 Res1 R6 Resistor 1	0.01
RESC1608N 10R Res1 R7 Resistor 1	0.01
RESC1608N 1780R Res1 R8 Resistor 1	0.01
RESC1608N 0R Res1, Res3 R9, R16, R18, R23, R24 Resistor 5	0.01
RESC1608N 11k Res3 R10 Resistor 1	0.01
RESC1608N 3k6 Res3 R13 Resistor 1	0.01
RESC1608N 22R Res1 R14 Resistor 1	0.01
RESC1608N 4.7k Res3 R15, R25 Resistor 2	0.01

RESC1608N 4k7 Res1 R17 Resistor 1	0.01
RESC1608N 390R Res3 R20, R22 Resistor 2	0.01
TO228P1000- 3_4N DN3765 MOSFET-N T1 N-Channel MOSFET 1	0.4
NPN_PNP_H V PMBTA44,215 NPN T2 NPN Bipolar Transistor 1	0.04
TC4428 TC4428 U1 1	1
BMA150 U2 Acc sensor 1	2.25
SOIC8_WP TLC2272 TLC27L2IDR U3 LinCMOS Precision Dual OPAmplifier 1	1.2
SO8_N INA126 INA126 U4 1	2
U5 UPX19_pressure_sensor 1	24
SOIC127P60 0-8N L5970D L5973D U6 1	2.4
SOIC127P60 0-8N TPS77733D TPS77733D U7 1	1.3
LQFP64_N STM32F103RDT 6 U8 STM32 ARM-based 32-bit MCU	6
MX25Lxxxx MX25 U9 1	0
SO8_N SN65HVD1780D RS-485/RS-422 Transceiver 1	3.1
XTAL RTC Y1 32.768 kHz clock quartz 1	0.3
XTAL HC49 Y2 Standard HC49 quartz 1	0.3
sod-123f Zener 33 V Diode BAT17 Z1 Silicon RF Schottky Diode 1	0.2
Végösszeg	55,26

12.1. táblázat. Alkatrészlista