



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

Automatikus teszter fejlesztése EBS/ABS asztali fékrendszerszimulátor egységhez

DIPLOMATERV

Készítette

Balogh Levente

Konzulens

dr. Sujbert László - BME MIT

Horváth Csaba - Knorr Bremse Fékrendszerek Kft.

2013. május 26.

Tartalomjegyzék

Kivonat	4
Abstract	6
Bevezetés	7
1. Technológiai áttekintés	8
1.1. A LabCar bemutatása	8
1.2. A SimCard áttekintése	9
1.3. A SimCard egységei	11
1.3.1. Analóg modul	11
1.3.2. Digitális modul	12
1.3.3. CPU modul	13
1.4. A SimCard csatlakozása	14
2. A teszt felépítése	15
2.1. Követelmények	15
2.2. Logikai felépítés	16
2.2.1. Analóg ki-, és bemenetek	16
2.2.2. Digitális bemenetek	16
2.2.3. Digitális kimenetek	17
2.2.4. Keréksebesség szenzor jele	17
2.2.5. Az áramköri védelem ellenőrzése	17
3. A kapcsolási rajz megtervezése	19
3.1. Csatlakozási pontok	20
3.2. Tápellátás	22
3.3. Vezérlő vonalak	26
3.4. Digitális bemenetek tesztelése	27
3.5. Digitális kimenetek tesztelése	29
3.6. Analóg ki-, és bemenetek tesztelése	31
3.7. A keréksebesség-szenzor jeleinek mérése	33
3.8. Tesztpontok	38
3.9. Állapotjelző LED-ek	38

4. A nyomtatott áramkör megtervezése	40
4.1. A felhasznált tervezői program	40
4.2. Alkatrészlenyomatok	41
4.3. Tervezési szabályok beállítása	41
4.4. Az alkatrészek elhelyezése	42
4.5. Huzalozás	44
4.6. A panel feliratozása	46
4.7. Ellenőrzés	46
4.8. Alkatrész beszerzés	47
5. Az áramkör felélesztése	48
5.1. Beültetés	48
5.2. Mérések és funkcionális tesztek	49
6. Szoftver	52
6.1. A KB-Lab	52
6.2. AutoTest script	52
6.3. Vezérlő bitek	53
7. Összefoglalás	58
7.1. Továbbfejlesztési lehetőségek	59
Köszönetnyilvánítás	61
Ábrák jegyzéke	63
Táblázatok jegyzéke	64
Irodalomjegyzék	65
Függelék	66
F.1. Teljes kapcsolási rajz	66

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Balogh Levente*, 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, 2013. május 26.

Balogh Levente
hallgató

Kivonat

A járműipar technológiai fejlődésével párhuzamosan egyre több és egyre bonyolultabb elektronikai alkatrész épül be a haszongépjárművekbe is. A cél a járművek legfontosabb adatainak és jellemzőinek megfigyelése és kiértékelése valós időben, melynek révén lehetővé válik a gépjárművek működésének, üzemi paramétereinek optimalizálása, illetve az esetleges vészhelyzetek elhárítása.

A korszerű haszongépjárművekben több menetbiztonságot javító rendszer is található, ilyenek például blokkolásgátló fékrendszer - ABS (Anti-lock Breaking System), az ESP (Electronic Stability Program), vagy a kipörgésgátló - ASR (Anti-Slip Regulation). Az új funkciók kifejlesztése sok és időigényes - menet közbeni - tesztelési folyamat elvégzését igényli, amelyet viszont kényelmesebb, gyorsabb, és nem utolsósorban olcsóbb egy asztalon is elhelyezhető szimulációs környezetben megvalósítani.

E feladat megoldására fejlesztették ki az úgynevezett laborautót (LabCar), amely egy valóságos jármű működését, üzemszerű viszonyait imitálva valóságghű környezetet biztosít az ECU számára. A szenzorok analóg és digitális jeleit a laborautó kulcsfontosságú eleme, a SimCard (szimulátor kártya) állítja elő, ezáltal képes az ECU részére előidézni a jármű haladása közben előforduló, különböző életszerű szituációkat.

Szakdolgozatomban egy olyan rendszer kifejlesztését és megvalósítását tűztem ki célul, amely alkalmas az újonnan gyártott szimulátor kártyák elektronikus működésének automatikus vizsgálatára, és ez alapján annak eldöntésére, hogy az eszköz megfelelően működik-e, valamint hibás működés esetén képes megközelítő választ adni a hibaforrás helyére. Feladataim közé tartozott a tesztek logikai felépítésének kidolgozása, az áramkör kapcsolási rajzának megtervezése, a nyomtatott áramkörtérvek elkészítése, a gyártási folyamat felügyelése, az elkészült áramkör beültetése és felélesztése, végül az automatikus tesztet vezérlő szoftverkomponens megírása. A fejlesztés legérdekesebb és egyúttal legnagyobb kihívást jelentő része a precíziós amplitúdó-, és frekvenciamérés áramkörtérvi megvalósítása volt, amelyekhez több különböző megoldást is megvizsgáltam.

A dolgozatom első részében a témakörhöz kapcsolódó, és a kitűzött feladat elvégzéséhez elengedhetetlen szakmai háttérismereteket mutatom be, majd ezt követően részletesen taglalom a rendszer tervezési folyamatának egyes fázisait, illetve ismertetem a megvalósítás konkrét lépéseit.

Az eszköz elkészült és működik, jelenleg a vezérlő szoftver megfelelő működésének vizsgálata zajlik. Használat során fény derült egy-két kisebb, figyelmen kívül maradt áramkörtérvi hibára, amelyek azonban utólag is egyszerűen orvosolhatóak voltak. Az eszköz következő

verziójának célkitűzései közé tartozik az ilyen jellegű hibák kiküszöbölése, a teszt pontok egy csoportba rendezése, valamint egy strapabíróbb és robusztusabb kivitel létrehozása.

Abstract

In parallel with the fast technical growth of the vehicle industry there are more and more complex electronic components implemented into commercial vehicles. The aim is to monitor the most essential information and the main characteristics of the vehicles in real-time, which makes it possible to eliminate a problem in case of an emergency, or to optimise the operation of the vehicle. In modern commercial vehicles there are safety systems located, such as the ABS (Antilock Breaking System), the ESP (Electronic Stability Program), or the ASR (Anti-Slip Regulation). However, the development of the new features needs a lot of long testing processes, which would be faster, more convenient and even cheaper to do in simulation environment which can fit on a desktop.

To solve this kind of problem, Knorr Brem developed a system called LabCar, which is able to provide a totally life-like environment for the ECU with imitating the behavior of a real vehicle. The analogue and digital signals of the sensor are produced by the SimCard (simulation card), which makes it one of the key elements of the LabCar. This hardware is able to create almost every possible situation for the ECU, which can occur during the movement of a vehicle.

My main objective was to develop and implement a system, which is able to automatically examine the electric functionality of the new manufactured simulation cards, and to determine if the device is working correctly. If there are any problems in the operation, the tester can reveal the location of the fault.

My job was to work out the logical structure of the test, to create the schematic of the circuit, to design the layout of the printed circuit board, to supervise the manufacturing process, to solder the parts and finally to write the software component for controlling the tests. The most interesting and also the most challenging part of the development was to create a circuit for a precision amplitude and frequency measurement, where I have checked more different methods before deciding by the final one.

In the first part of my thesis I am going to present all the necessary background knowledge, and in the next stage I will discuss every step of the development process in detail, and will also describe the steps of implementation.

The device is ready, and it is working, currently is the functionality of the controlling software being tested. During the first tests a few smaller faults have been found, these could be corrected easily though. The main objectives for the next version of the device were to correct these small mistakes in the circuit, to order the test points in one group, and to make the hardware more robust and more durable.

Bevezetés

A Knorr Bremse Fékrendszerek Kft. budapesti fejlesztő központjában dolgozom villamosmérnök gyakornokként. villamosmérnök gyakornokként. A csoportom feladata egy olyan asztali szimulátor egység kifejlesztése, amely képes a valóságos jármű működését és üzemszerű viszonyait imitálni, és a rákapcsolt EBS ECU-nak (Electronic Control Unit) valószínű jeleket közvetíteni, illetve képes minden esetben a különböző életszerű szituációknak megfelelően reagálni.

A vázolt szimulátor egység alkalmazása jelentősen megkönnyíthetné az ABS és EBS rendszereket fejlesztő csapatok munkáját. A rendszer egyik kulcsfontosságú része az úgynevezett szimulátor kártya, amely a járműben lévő analóg és digitális szenzorok kimeneteit szimulálja, továbbá az ECU által kiadott vezérlő jeleknek megfelelően képes módosítani azokat. A kártya három főbb egységből épül fel, amelyek külön áramköri kártyákon helyezkednek el. Ezek az Analóg, Digitális és CPU modulok.

Bár ezek a szimulátorok csak a Knorr Bremse-n belül kerülnek felhasználásra, mégis egy sűrűn használt eszközzel van szó, amelyből egy-egy szimulátor esetén akár 8-10 darabra is szükség lehet.

A gyártás elengedhetetlen részét képezi az elkészült kártyák helyes működésének tesztelése, ami kétféle úton lehetséges: manuális vagy automatizált módon. A manuális tesztelés komoly nehézségekbe ütközik: az összeszerelt kártyákon a kialakítás miatt nehézkes méréseket végezni, nincsenek jól kialakított mérőpontok. A tesztelést tovább bonyolítja, hogy sok különböző mérési elrendezést kell felépíteni, ami egy igen hosszú, akár 3 órás tesztelési folyamatot is jelenthet minden egyes kártyára. Ez a jövőbeli gyártás szempontjából nem megengedhető, így a vállalat vezetése egy automatizált tesztelő egység létrehozása mellett döntött, a tervezési feladatok pedig rám hárultak.

A tesztelő egységnek elektronikus méréseket, és teljes funkcionális tesztelést is el kell tudnia végezni. Egy olyan hardver tervezése mellett döntöttem, ahol a tesztelendő szimulátor kártyát saját magával teszteljük le, tehát például a digitális kimeneteket a digitális bemenetekkel. Ez a megoldás ugyan nehezebbé teszi az esetlegesen fellépő hibák helyének feltárását, azonban kevésbé komplex hardvert jelent. A vizsgálat során a gyártási hibákat kívánjuk kiszűrni, amelyek lehetnek zárlatok vagy szakadások a nyomtatott áramkörön, vagy a nem megfelelő alkatrész beültetésből adódó hibák.

1. fejezet

Technológiai áttekintés

Jelen fejezetben a dolgozat témaköréhez kapcsolódó - a kitűzött feladat megoldásához és koncepciójának megértéséhez - elengedhetetlen szakmai háttérismereteket foglalom össze. Az alkalmazott technológiák és eszközök közül előbb a teljesség igénye nélkül - a Knorr Bremse ABS/EBS fejlesztői csoportjai által használt laborautót mutatom be. Ezt követően részletesebben ismertetem a szimulátor kártya (SimCard) - amely köré a szakdolgozat épült - felépítését, egységeinek fontosabb paramétereit és csatlakozásának jellemzőit.

1.1. A LabCar bemutatása

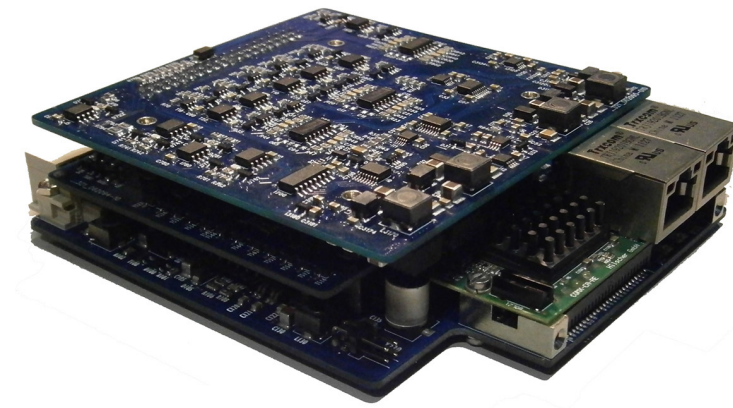
A LabCar, vagyis magyar fordításban laborautó, a Knorr Bremse Fékrendszerek Kft. által kifejlesztett szimulációs eszköz. A rendszer képes arra, hogy az ABS / EBS ECU-val (Electronic Control Unit) elhitesse, hogy egy valódi járműben van, és közben a valóságnak megfelelő szenzor adatokat szolgáltatson neki. Egy ilyen rendszer nagyban megkönnyíti a fejlesztést, ugyanis irodai körülmények között, gyorsan, egyszerűen és biztonságosan tesztelhetők a ABS / EBS ECU-kat vezérlő programok.

A LabCar megtervezése során fontos szempont volt, hogy gyakorlatilag bármilyen típusú jármű szimulációjához alkalmazható legyen. A rendszert egy EPC számítógépen futó, Knorr-os fejlesztésű operációs rendszer vezérli (KB-Lab). Az operációs rendszer CAN és EtherCat kapcsolaton keresztül képes kommunikálni a szimulátor kártyákkal, elvégezni a konfigurációjukat, és menet közben vezérelni azokat.

A LabCar-on belül a szimulátor kártyákhoz úgynevezett terheléskártyák (angolul Load Card-ok) kapcsolódnak, amelyek a járművekben előforduló terheléseket és különböző funkciókat szimulálják. Ezeknek a terheléskártyáknak a kimenetei vannak összekapcsolva magával az ECU-val, ami a beolvasott és elemzett adatok alapján igyekszik megváltoztatni a fékrendszer beállításait. Az ECU által visszaküldött beállítási paramétereket ezután a KB-Lab (az operációs rendszer) dolgozza fel, matematikai modellek alapján kiszámolja, hogy ezek a beavatkozások milyen hatást gyakorolnak a jármű mozgására és a fizikai eszközök működésére, majd ennek megfelelően módosítja a virtuális szenzorok - azaz a szimulátor kártya - kimeneteit, így a szabályozás végeredménye az ECU számára is detektálható.

1.2. A SimCard áttekintése

A SimCard feladata, hogy analóg és digitális kimeneti jeleket generáljon, amelyek valós időben változtathatók az operációs rendszeren (KB-Lab) futtatott scriptekből, tehát szoftveresen utánállíthatóak. Ezen kívül rendelkezik digitális és analóg bemenetekkel is, amelyek tetszőleges mérésekhez felhasználhatóak. Képes emellett négy darab különböző analóg és digitális kerékebbesség jel előállítására is, amelyek szintén program szinten konfigurálhatóak. Az analóg kerékebbesség jel (angolul analog wheelspeed signal, azaz AWSS) egy szinuszos jel, amelynek a felbontását a SimCard ezred Hz pontossággal képes előállítani. Ez azért fontos, mert az ECU ilyen pontossággal képes különbséget tenni eltérő frekvenciák között, amit például kanyarban a két kerék eltérő pályája okozhat.



1.1. ábra. SimCard - az összeszerelt szimulátor kártya

A jelenleg használt SimCard messze nem az első variáció, a negyedik már a sorban, és valószínűleg nem is ez lesz az utolsó. Bizonyos szintig kompatibilis lefelé, viszont tudásában és bonyolultságában nagyban felülmúlja elődjét. A cél egyértelműen egy olyan eszköz létrehozása volt, amely elegendő kimenettel, és főleg bemenettel rendelkezik.

A szimulátor kártya a következő funkciókat foglalja magába:

- 8 Analóg differenciális analóg bemenet (0-10V)
- 24 Digitális bemenet (5V/24V)
- 12 Analóg kimenet (0-10V)
- 6 Digitális kimenet (5V/24V)
- 4 Analóg WSS kimenet (0-2500 Hz)
- 4 Digitális WSS kimenet
- 1 CAN
- 1 I2C
- 1 SPI

- 2 EtherCat

Az eszköz jelenleg 1-10ms-os időközönként tudja mérni a bemeneteket, tehát nagyságrendileg 100Hz-1000Hz között mozog a maximális mérési frekvencia. Ez első látásra talán kevésnek tűnhet, a járművet modellező fizikai szimulációkhoz a specifikáció szerint azonban a 10ms-os mintavételezési sebesség teljes mértékben elegendő, az 1ms határ tehát jóformán minden igényt kielégít az ilyen jellegű folyamatoknál.

Ahhoz, hogy lássuk, pontosan mit is jelent ez a mérési sebesség, tudnunk kell, hogy egyszerre egy LabCar-ban összesen 20 szimulátor kártya működhet egymással párhuzamosan, és vezérelhet terheléskártyákat. (Bár egy LabCar-ban egyszerre csak 8 szimulátor kártya helyezhető, a rendszer úgy lett felépítve, hogy szükség esetén több LabCar is összekapcsolható legyen egymással, így adódik 20-as határ) Ez azt jelenti, hogy minden 10ms-ban (ha a 100Hz-es mérési frekvenciát tételezzük fel) beolvasásra kerülnek az összes szimulátor-kártya összes bemenetének az adatai, amelyek szoftverből hozzáférhetőek, és a kimenetek ezeknek megfelelően módosíthatóak. Ez a következő továbbítandó adatmennyiséget jelenti szimulátor kártyánként:

- 8 Analóg bemenet - $8 * 2$ bájt
- 24 Digitális bemenet - 24 bit / 3 bájt
- **Összesen 19 bájt (152 bit) / SimCard**

Számoljunk a rendszerben jelen lévő 1 Mb/s sebességű CAN busszal, ez ugyanis a szűkebb keresztmetszet, az EtherCat-nél alacsonyabb sebessége miatt. Összesen 20 SimCard-al számolunk, ami 380 bájtot, azaz 3040 bit-et jelent. Az 1 Mb/s sebességű CAN csatornánkon másodpercenként elvileg 1.000.000 bitet küldhetünk át (természetesen ennél kevesebbet, hiszen ez a nyers adatmennyiség, ami még tartalmazza a fejléceket, start és stop bit-eket, stb.), ez viszont azt jelenti, hogy 1 másodperc alatt legfeljebb $1.000.000 / 3040 = 328$ ilyen "csomagot" küldhetünk át a csatornán. Ebből adódik, hogy legfeljebb 10ms (1/100 s) időközönként tudunk mintavételezni, az egy nagyságrenddel nagyobb mintavételezési frekvenciára (1ms-os mérési időköz) a CAN vonalunk már nem lenne képes.

Bár a 10ms-os mérési időköz kielégítő a szimulációk szempontjából, az új szimulátor kártya elvárásai közé belekerült az egy nagyságrenddel nagyobb mérési frekvencia teljesítése. Egyrészt ennek a problémának az áthidalása végett kapott helyet egy EtherCat kommunikációs kártya a modulon.

Az EtherCat a CAN busszal ellentétben 10 Mb/s adatátviteli sebességgel rendelkezik, ami pont egy nagyságrenddel haladja meg az utóbbit, így ezen a téren megfelel a tervezési specifikációknak. Emellett azért esett erre a protokollra a választás, mert determinisztikus, hogy melyik EtherCat Slave mikor kapja meg az EtherCat Master által küldött csomagokat, így megvalósítható, hogy minden szimulátor kártya (mint slave) azonos időpontban mintavételezzen. Ezen kívül, a minimális csomagméret sokkal kisebb, mint mondjuk Ethernet esetében, és lehetőség nyílik a slave-eket egymással sorba kötni, nem csillagpontban, és az adatokat egy frame-en belül elküldeni az összes slave-nek, amiből mindegyik slave

kiveszi a rá vonatkozó adatrészt. Az EtherCat használatával tehát már lehetővé válik az 1000Hz-es mintavételezés is. [6]

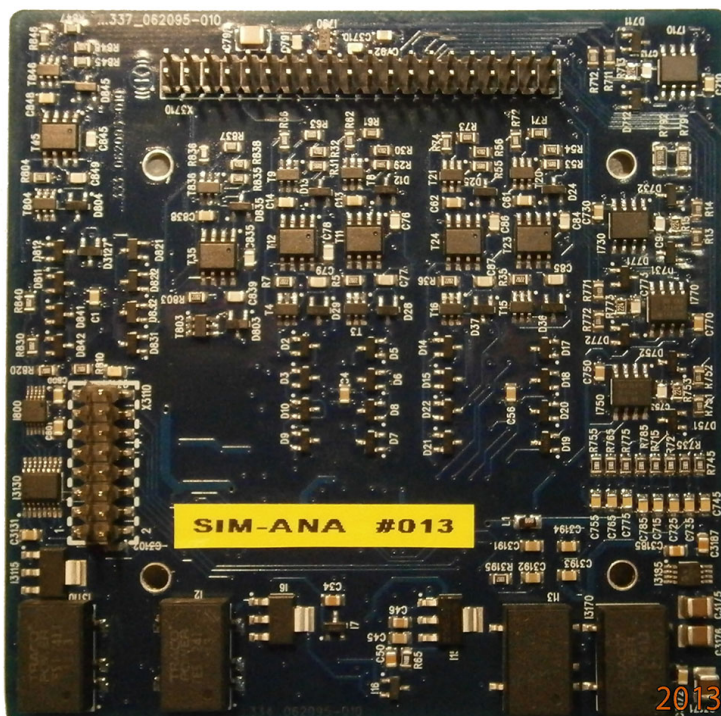
A szoftver kiterjesztésével megvalósítható lenne természetesen az is, hogy kevesebb, vagy egy szimulátor kártya használata esetén a mintavételezési frekvenciát arányosan magasabbra lehessen választani, mivel ilyenkor kevesebb adatot kell továbbítani a buszon. Ez szerepel is a jövőben megvalósítandó tervek között, azonban alacsony prioritással.

1.3. A SimCard egységei

A szimulátor kártya három egységből épül fel, ahogyan az fenti képen már nagyjából kivehető volt. Mindegyik modul jól elkülöníthető funkciókkal rendelkezik, amelyek összeszerelt állapotban teljesen kiegészítik egymást. A kártyák egymás felett torony-szerű elrendezésben vannak felépítve, és tüskesorral kapcsolódnak egymáshoz. A modulok a következők:

- Analóg modul
- Digitális modul
- CPU modul

1.3.1. Analóg modul



1.2. ábra. Az analóg modult tartalmazó panel

Az analóg modul az analóg jelek előállításával és mérésével kapcsolatos funkciókat lát el. Ezen a kártyán helyezkednek el az analóg bemenetek, amelyekből összesen 8 található,

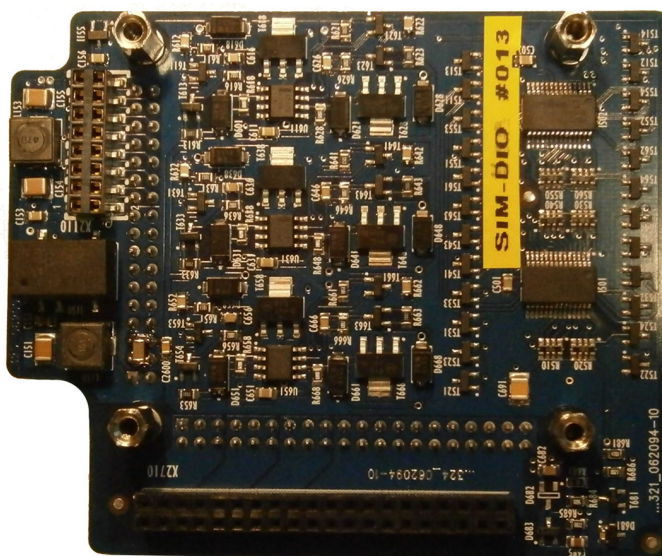
differenciális jelvezetéssel, tehát mindegyik analóg bemenethez tartozik pozitív és negatív pólus is. Analóg kimenetekből 12 áll rendelkezésünkre.

Az analóg bemenetek 0-10V tartományban képesek feszültségmérésre, de +/-60V feszültség szintig védettek. A lábakra adott feszültségszintek mV-os pontossággal mérhetőek meg. A beolvasott analóg jelszintek egy 13 bites A/D átalakító bemenetére kerülnek, amely soros SPI porton (Serial Peripheral Interface) keresztül kommunikál a mikroprocesszorral 12.5 Mb/s adatátviteli sebességgel. Ezek az értékek azután 2 bájtos szám formájában továbbítódnak az operációs rendszer felé.

Az analóg kimenetek szintén a 0-10V tartományban képesek mV pontosságú feszültségszint beállítására, bár a legtöbb szimulációban csak a jobban elterjedt 0-5V tartomány használatos. A maximális áramfelvétel az egyes analóg kimeneteken 10mA. Akárcsak a bemenetek, a kimenetek is védettek +/-60 V-os feszültség szintig.

1.3.2. Digitális modul

A digitális modul foglalja magába a digitális be és kimeneti funkciókat. Míg digitális kimenetből mindössze 6 vonal áll rendelkezésre, a bemenetek száma ezt jóval meghaladja, összesen 24 van belőlük. A panel túlfeszültség védelme hasonlóan az analóg részhez +/-60V feszültségig képes stabilan megővni az áramkört.

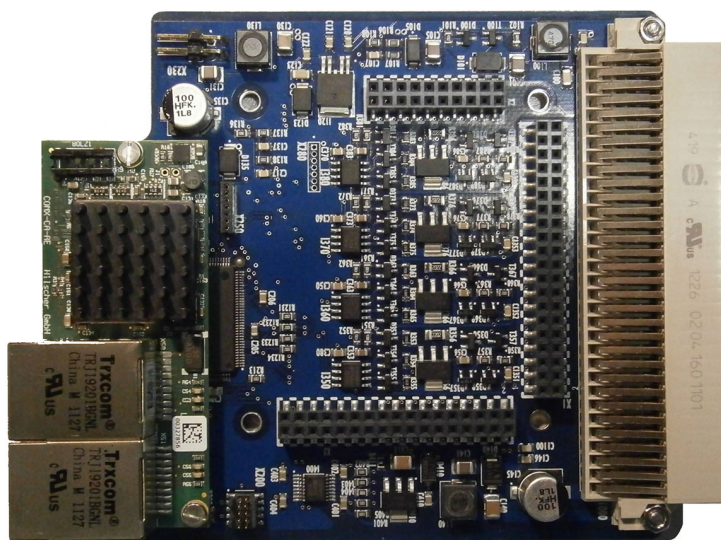


1.3. ábra. Az digitális modult tartalmazó panel

A digitális kimenetek 5V-os és 24V-os feszültségről is üzemelhetnek, ez azonban nem választható ki a SimCard segítségével szoftverből. Ennek a beállítására két bemenet ad lehetőséget a szimulátor kártyán, az egyik a DIO-OUT14-PWR, amivel az 1-4 digitális kimenet, a másik a DIO-OUT56-PWR, amivel az 5-ös és 6-os digitális kimenet magas szintjének a feszültsége állítható be. A digitális kimenetek három előre definiált állapotba hozhatóak, ezek a pull-up (lehúzás földre), pull-down (felhúzás tápfeszültségre), és a tri-state (nagy impedanciás) állapotok.

A digitális bemenetek billenési szintje tulajdonképpen független a kimenetek tápjánál használt jelszinttől, alapértelmezetten 2V körül van, azonban egy bemeneti ellenállással egyszerűen megváltoztatható (ez ugyanis a bemeneten lévő lehúzó ellenállással együtt egy feszültségosztót alkot).

1.3.3. CPU modul



1.4. ábra. A CPU panel

A CPU modul valósítja meg a kapcsolatot az analóg és digitális rétegek, és a mérő PC-n futó operációs rendszer között, tetszés szerint CAN vagy EtherCat protokoll segítségével. A szimulátor kártyák inicializációja mindig CAN-en keresztül történik (ez szoftveres szinten van rögzítve) a mérés azonban már történhet egyaránt CAN-en vagy EtherCat-en keresztül is. Az EtherCat controllerrel a mikrokontroller egy External Bus Interface-en (EBI) keresztül kommunikál, ami lényegét tekintve egy buffer memóriába történő írási műveletet jelent, ahonnan aztán az Ethernet controller kiolvassa az adatokat.

A SimCard lelke egy 16 bites, 144 lábú StarX XE mikrokontroller, ami SPI interfészen kommunikál az A/D és D/A átalakítókkal.

A CPU kártyán helyezkedik el továbbá egy Propeller IC, ami az analóg és digitális kerékbesség jelet állítja elő. Az analóg kerékbesség jelhez először egy PWM jelet állít elő a Propeller IC, ezt egy erősítő fokozat alakítja nagy felbontású szinusz jellé. A digitális kerékbesség szenzor az analóggal ellentétben nem feszültség, hanem áramvezérelt, áramgenerátoros kimenetű, az áramerősségek értéke 7mA, 14mA, és 28mA lehet.

A Propeller IC egy külső EEPROM-ból tölti be a működéséhez szükséges programot, a mikrovezérlőnek az ebben lévő tartalmat kell felülírnia az áramkör újraprogramozásához, új vezérlés betöltéséhez.

1.4. A SimCard csatlakozása

A kártya egy **Harting** márkájú 160 lábú csatlakozóval kapcsolódik a szimulátor kártyához. A csatlakozóra a **SimCard** minden jele ki van vezetve, beleértve a kommunikációs vonalakat is, mint a CAN, I2C vagy az SPI. Ezek közül az SPI nem használt a tesztelő áramkörön. A csatlakozó press-fit jellegű, ami azt jelenti, hogy nem forrasztásos technológiával alakítjuk ki az elektromos és mechanikai kapcsolatot, hanem egy nagy erejű préseléssel nyomjuk át a csatlakozó lábait az előkészített fémezett falú furatokon, míg a másik oldalra a csatlakozó ellenpárja kerül. A csatlakozó lábai egy bizonyos részen szélesebbek mint a furatátmérő, és a préselés közben maradandó alakváltozást szenvednek. A végeredmény egy jó elektromos kontaktusokkal és nagy mechanikai szilárdsággal rendelkező csatlakozó. A későbbi felhasználás folyamán akár olyan igény is felmerülhet, hogy terheléskártyát is kapcsoljunk a **SimCard**-ra teszt közben, ami ennek a kétoldalú csatlakozónak a használatával nem fog problémát jelenteni. [7]

2. fejezet

A teszt felépítése

A fejezet felöleli azokat a követelményeket, amelyeknek a teszter áramkör meg kell, hogy feleljen, továbbá az egyes tesztelési ciklusok logikai felépítését és sorrendjét.

2.1. Követelmények

A tervezett tesztelő áramkörnek egyszerre kell ellenőriznie a funkcionalitást és az egyes biztonsági funkciók meglétét, mint amilyen például szimulátor kártyára előírt áram-, és feszültségkorlátok, továbbá túlfeszültségvédelem helyes működése.

A tervezés kezdeti szakaszában két lehetséges megvalósítási út is kínálkozott. Az egyik, a tesztek két szimulátor kártyával végezzük, melyek közül az egyik az újonnan gyártott, tesztelendő kártya, a másik pedig egy kifogástalanul működő etalon kártya. Ez a panel egy előre bemért darab kell, hogy legyen, amelynek a helyes működéséről előzetesen már meggyőződünk. A teszt lényege, hogy az új kártya funkcióinak működését az etalon kártyával végezzük el. Ennek előnye, hogy az esetleges hibás működés esetén viszonylag könnyen meghatározható a hiba helye, ugyanis egy ilyen helyzetben szinte biztosra vehetjük, hogy a hiba az aktuálisan tesztelt funkcióban, az új kártya egy jól meghatározott részén lépett fel, ami így kézi műszerekkel már tovább vizsgálható. Ehhez természetesen élnünk kell azzal a feltételezéssel, hogy a másik kártya működése kifogástalan, ez viszont nem garantálható 100%-osan. A módszer hátránya, hogy minden egyes esetben szükség van az etalon kártyára, valamint minden mérési folyamat előtt ellenőrizni kell. Ez nem feltétlenül teljesíthető elvárás, főleg annak tekintetében, hogy a cél egy olyan műszer létrehozása, ami a szimulátor kártyák meghibásodása esetén is egyszerűen leemelhető a polcról és percek alatt működésbe hozható.

Egy másik megoldás a tesztelésre, hogy csak egy kártyát használunk a folyamathoz, az újonnan gyártottat és az egyes funkciók teszteléséhez ugyanaz a kártya állítja elő a jeleket, tehát saját magával teszteljük le az eszközt. Hátránya az előzővel szemben, hogy bonyolultabb meghatározni a hiba pontos helyét, ugyanis a tesztelendő érték és az azt mérő fokozat is ugyanazon a kártyán helyezkedik el, így első ránézésre nem állapítható meg biztosan, hogy a kettő közül melyik működött rosszul. Előnye azonban, hogy nincs szükség etalon kártyára, így sokkal szélesebb körben használható, és ezáltal gyorsabb mérést is biztosít.

Mivel egy szimulátorkártya ára magasabb, mint ezé a mérő eszköze, a két kártyás mérés nagyjából megduplázná minden egyes konfiguráció költségét, nem beszélve arról, hogy egy kártya használatakor a vezérlő áramkör és szoftver is egyszerűbb. A második variáció lehetővé teszi, hogy ne csak a gyártás utáni gyors tesztelésre használhassák az eszközt, hanem a jövőben az egyes csoportok a szimulátor kártyák használat közbeni meghibásodása esetén is gyorsan és egyszerűen azonosíthassák a hibák helyét, és javíthassák azokat. Az imént felsorolt előnyök miatt az utóbbi megoldást választottam.

2.2. Logikai felépítés

Azt a konstrukciót választottam tehát, ahol a vizsgálat tárgyát képező **SimCard** saját magával lesz letesztelve. A következő pontokban funkcionális csoportokra bontva sorra veszem, hogy pontosan milyen logikát követve ellenőrizzük a kártya egyes részeit.

2.2.1. Analóg ki-, és bemenetek

Az analóg bemeneteket az analóg kimenetek segítségével ellenőrizzük. Az vizsgálat során lineárisan, több pontban végighaladunk az analóg mérési tartományon, az analóg kimeneteken kiadott feszültség szinteket a bemenetekkel olvastatjuk be, és megfigyeljük milyen eltérés mutatkozik a két érték között. A teszt akkor sikeres ha ez a különbség 10mV-on belüli. El kell végeznünk a teszteket a kimenetek terhelt és terheletlen állapotában is, meg kell vizsgálnunk, hogy a kimenetekre előírt áramkorlátok teljesülnek-e. Amennyiben valahol túl nagy áramot érzékelünk, azonnal meg kell szakítani a mérést, és hibát jelezni.

2.2.2. Digitális bemenetek

A digitális bemenetek szintén az analóg kimenetek segítségével kerülnek ellenőrzésre. Bár az alacsony szint (Low) feszültségtartománya minden esetben 0-1.9V, a magas szinté (High) pedig mindig 2.2V-nál kezdődik, a bemeneteknek 5V-os, 12V-os és 24V-os bemenetekkel egyaránt kell működniük. Mivel a **SimCard** rendelkezik +-60V-os túlfeszültségvédelemmel is, a legmagasabb "High" feszültségnek nem a +24V-ot, hanem a +28V-ot választottam, így ez a funkció is tesztelhető. Az első vizsgálat alkalmával tehát a magas jelszint értéke 5V, a következő esetben pedig 28V. Mindkét esetben a billenési szint közelében lineáris skálán mozgunk az analóg kimenet által kiadott értékekkel, és vizsgáljuk, hogy pontosan hol vált értéket az adott digitális bemenet. A lényeg, hogy 2.2V esetén minden bemenetnek 1-et, 1.9V esetén pedig 0-át kell mutatnia, különben a teszt megbukott. A műveletet természetesen végrehajtjuk 0-1, és 1-0 átmenet esetén is. Amennyiben egyszerre mindig csak egy digitális bemenetet vizsgálunk, és a többire közben nem adunk vezérlést, akkor képesek vagyunk detektálni egy esetleges rövidzárlatot is, hiszen ha a meghajtott bemeneten kívül bármely másik magas értéket vesz fel, akkor a két vonal között elektromos kapcsolat van, és a teszt sikertelen.

2.2.3. Digitális kimenetek

A digitális kimenetek jelszintje értelem szerűen két értéket vehet fel: logikai magasat és alacsonyat. A logikai alacsony szint minden esetben a föld potenciállal egyezik meg, míg a logikai magas szint feszültségét mi állíthatjuk be. A feladatunk ellenőrizni, hogy ezek a feszültségek helyesen másolódnak-e le az egyes kimeneti lábakra. A teszt során minden digitális kimenetet egy analóg bemenettel mérünk vissza, és összehasonlítjuk a mért értéket a várttal. Amennyiben a különbség pár 10mV-os feszültségtartományon kívül esik, a teszt megbukott. Mindenképpen foglalkozni kell majd viszont azzal a problémával, hogy míg a digitális kimenetek magas szintje akár +28V is lehet, addig az analóg bemenetek 10V-nál magasabb feszültségértékeket nem képesek megmérni, ezért a digitális kimenetek feszültségeit a 0-10V tartományba kell transzformálni, majd a szoftverből egy egyszerű szorzással visszaalakítani.

2.2.4. Keréksebesség szenzor jele

A kártya, amint már korábban említettem, két fajta sebességszenzor jelet tud szimulálni: analógot és digitálisat. A digitális jelnek azonban egyelőre nincs gyakorlati létjogosultsága, ezért erre egyelőre nem terjed ki a teszt. Az analóg keréksebesség szenzor által kiadott feszültség egy szinuszos jel, amelynek a kerék sebességétől függően változhat mind az amplitúdója, mind a frekvenciája. A **SimCard** által kiadott jel amplitúdója 2V és -2V között, a frekvencia pedig 0Hz és 2500 Hz között változhat. Ennek a blokknak a teszteléséhez egy amplitúdó és egy frekvenciamérést kell végrehajtanunk, minden csatornánál több lépcsőben kell végighaladni az vizsgált értéktartományon.

2.2.5. Az áramköri védelem ellenőrzése

Az túlfeszültség védelmet úgy tudjuk ellenőrizni, hogy az egyes be-, és kimenetekre nem csak az üzemszerű feszültségeket, hanem azoknál magasabb értékeket is kiadunk. Ellenőrizni kell azonban az áramkör egyes részeire előírt áramkorlátok teljesülését, ilyenek minősül például ha az analóg is digitális kimenetekre a maximális névleges terhelésnél nagyobb terhelést kapcsolunk, akkor sem szabad az előírt 10mA-es értéknél nagyobb áramnak folynia a kimeneteken. Ez azt jelenti, hogy ha egy analóg kimenet esetében például 5V feszültség szintet adunk ki, és a kimenetet egy 250Ω-os ellenállással a földre kötjük, akkor az ellenálláson 20mA áramnak kellene folynia, hogy a kimeneten fenntartsa az 5V-os feszültséget. Erre az előírás szerint nem lehet képes, ilyenkor csak 2.5V-ot szabad látnunk a kimeneten. A szimulátorkártyát tervező szakemberek mérésekkel és számításokkal létrehoztak egy tesztelési táblázatot a szimulátor kártyához, amelyben közölve vannak az egyes funkciók tesztelésénél elfogadható áram és feszültségkorlátok, ennek egy részlete látható a 2.1 táblázatban.

A 2.1-es táblázatban összeszedtem pár fontosabb mérési tolerancia tartományt, bár meg kell jegyezni, hogy az eredeti táblázat minden egyes digitális és analóg kimenetre külön is megmutatja az áramkorlátokat, amelyek pár tized mA-el eltérhetnek egymástól. Nem állt szándékomban minden értéket részletesen ismertetni, inkább csak betekintést szeretnék nyújtani, ezért ezeknek a határértékeknek a mértani közepét adtam meg a táblázatban.

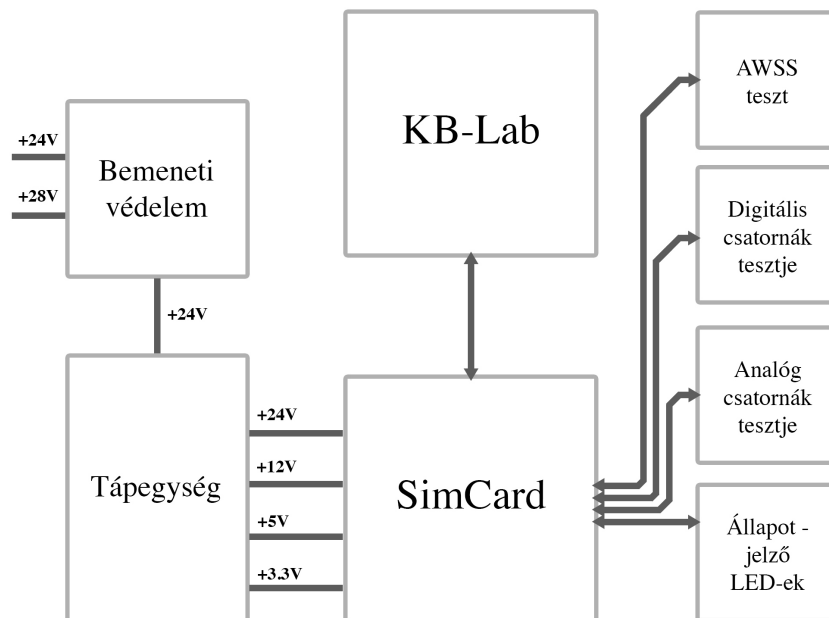
2.1. táblázat. *Részlet a mérési határértékekből*

Mérési lépés	Alsó határérték	Felső határérték [9]
DG-OUTx sink áramkorlátok (28V, 1k, Lo)	-11,70 [mA]	-10,90 [mA]
DG-OUTx source áramkorlátok(28V, 1k, Hi)	10,80 [mA]	11,50 [mA]
DG-OUTx maradék feszültség (5V, 499R, Iout=-10mA)	0,42 [V]	0,43 [V]
DG-OUTx maradék feszültség (5V, 499R, Iout=10mA)	4,54 [V]	4,55 [V]
DG-OUTx maradék feszültség (28V, 2,7k, Iout=-10mA)	0,44 [V]	0,45 [V]
DG-OUTx maradék feszültség (28V, 2,7k, Iout=10mA)	27,52 [V]	27,53 [V]
Sense Power feszültség terheletlenül	4,99 [V]	5,01 [V]
Sense Power feszültség 50mA terheléssel	4,98 [V]	4,99 [V]
Sense Power áram rövidzár mellett	71,50 [mA]	78,20 [mA]
AO maximális névleges feszültségen (10V)	9,90 [V]	10,10 [V]
AO nullhiba	-15 [mV]	25,00 [mV]
AO source áramkorlátok	11,0 [mA]	11,60 [mA]
AO sink áramkorlátok	-11,0 [mA]	10,40 [mA]
CPU panel áramfelvétel (5V)	93,50 [mA]	98,10 [mA]
CPU panel áramfelvétel (3.3V - Ethercat)	516,00 [mA]	554,00 [mA]

A dokumentum ezen kívül kitér az egyes modulok áramfelvételére terheletlen és terhelt módban, valamint hideg és bemelegedett áramkör esetében is. Bár az előírások sokasága bonyolult tesztelési eljárást feltételez, egy jól átgondolt szoftver segítségével viszonylag egyszerűen kezelhető lesz.

3. fejezet

A kapcsolási rajz megtervezése



3.1. ábra. A kapcsolat logikai felépítését szemléltető blokkvázlat

A hardver kapcsolási rajzát a PADS Logic nevű tervezőprogramban készítettem el. A program használatához és elsajátításához nagy segítséget nyújtott, hogy az önálló labor munkám szintén tartalmazott áramkör tervezést, igaz akkor egy másik tervezőprogramot, az Altium Designer-t használtam. Bár a kezelőfelület és a billentyűparancsok különböznek a két programban, az alapelv hasonló, ezért a legtöbb esetben már tudtam, hogy mit kell keresnem, és intuitív módon tudtam elsajátítani a kezelőfelület használatát. Az áramkör tervezése során mindig igyekeztem olyan alkatrészeket használni, amelyekről már rendelkezésre állt tapasztalat a fejlesztői csoporton belül, és amelyek már szerepeltek a csoport

által használt alkatrészkönyvtárban. Ez a könyvtár tartalmazza az alkatrészek kapcsolási rajzon használt ábráit, elektromos tulajdonságait és fizikai paramétereit, valamint az alkatrészekhez tartozó lenyomatokat. A tervezés során többször is találkoztam olyan alkatrészekkel, amelyek valamilyen szempontból nem feleltek meg számomra, vagy azóta már nem gyártják őket. Ezekben az esetekben mindig igyekeztem olyan kompatibilis alkatrészt találni, amelynek tokozása, láb kiosztása, és fizikai működése a régivel megegyező, így csak az alkatrész tulajdonságait kellett frissítenem, nem pedig új alkatrészt létrehozni.

A Knorr Bremse-nél általánosan elfogadott tervezési szabályokat mindenhol igyekeztem betartani a kapcsolási rajzon, miszerint minden lapon a bal oldalon szerepelnek a bemenetek, a jobb oldalon pedig a kimenetek, a tápfeszültség lehetőleg a rajz felső részén, a föld jelölések pedig alul helyezkednek el, de minden esetben a tápfeszültségek jelölései alatt. Ezeknek az egyszerű konvencióknak a betartása sokkal könnyebben olvashatóvá teszi a kapcsolást. Igyekeztem szemléltető módon megrajzolni a kapcsolást, így ha a jövőben olyan kolléga veszi is elő a kapcsolási rajzot, aki nem rendelkezik előismeretekkel az áramkörü megvalósítással kapcsolatban, könnyen és gyorsan átláthassa az egyes részek működését és funkcióját. Fontosnak tartottam, hogy a logikai elemek funkciója a rajzjelükön is megfelelően jelölve legyen, így rendeltetésük ránézésre megmondható. Ez egy szerencsére a Knorr Bremse-nél is bevett szemléletmód, így szinte az összes könyvtári alkatrész rajzjele ennek megfelelően lett kialakítva.

Az alábbi pontokban sorra veszem az áramkör funkcionális elemeit, részletezem a megvalósítás lépéseit, és megindoklom a tervezés során hozott döntéseket. A teljes kapcsolási rajz a függelékben megtalálható.

3.1. Csatlakozási pontok

Az áramkör ezen része teremt kapcsolatot a szimulátor kártyával és külvilág egyéb részeivel.

A SimCard-al történő összekapcsolást egy Harting márkájú press-fit-es¹, 160 lábú csatlakozó szolgáltatja, amely tartalmazza a kártya összes bemenő és kimenő jelét, a különböző tápfeszültségeket, és az izolált földpontokat. Ennek a csatlakozónak a jelenléte tette indokolttá a későbbiekben a tervezett 2 helyett 4 áramkörü réteg használatát az áramkörön.

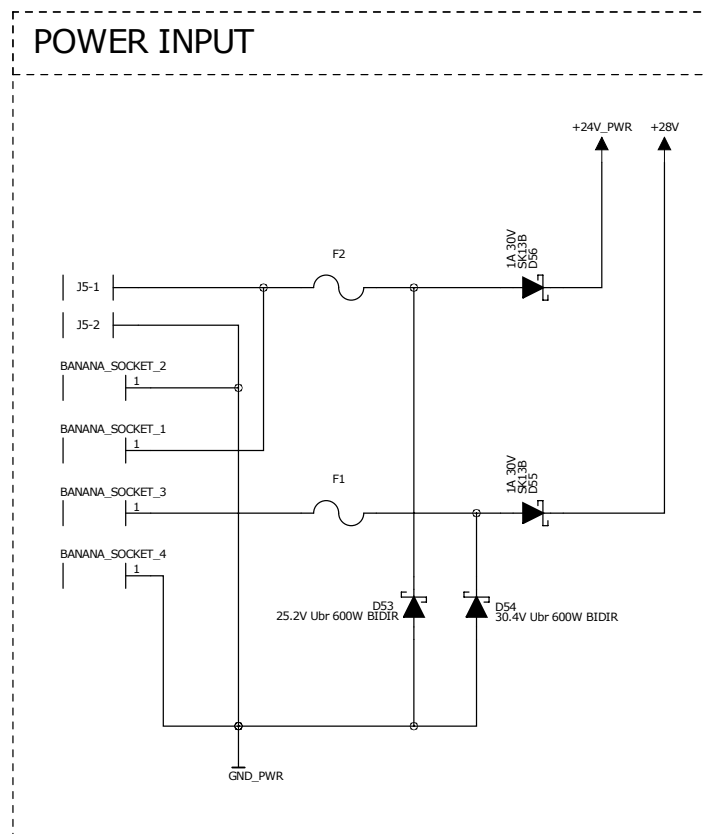
Az operációs rendszeren futó szoftverrel való kommunikációt EtherCat-en keresztül (ami a SimCard-on magán helyezkedik el), vagy CAN-en keresztül is bonyolíthatjuk. Mivel az EtherCat-et futtató szoftver stabilitásában még nem érte utol a CAN kapcsolatot, ezért elhelyeztem az áramkörön egy 9 pólusú D-SUB csatlakozót. A SimCard-ról érkező CAN-H és CAN-L vonalakat rákötöttem a D-SUB 2-es és 7-es lábaira, így a későbbiekben a kártya bármilyen általános CAN kábel segítségével összekapcsolható lesz az EPC-vel. Az esetleges hibák elkerülése végett a csatlakozó előtt 2 db 62 Ω -os CAN lezáró ellenállást is elhelyeztem.

Már a tervezési folyamat közben érkezett egy olyan igény, hogy lehessen a SimCard CPU panelje által felvett áramot külön is mérni, tehát úgy, hogy az analóg és digitális modulok

¹Olyan csatlakozó, amelyet nem forrasztás segítségével, hanem préseléssel rögzítenek a panelhez. A csatlakozó tűskéi rendszerint vastagabbak mint a hozzájuk tartozó furat átmérője, és a préselés során alakváltozást szenvednek el.

nincsenek a rendszerben. Ez problémát jelentett abból a szempontból, hogy amennyiben nincs csatlakoztatva az analóg modul, nincs mivel visszamérni az áramviszonyokat leíró feszültség szinteket. Mivel azonban a Knorr-nál használt EPC-k is rendelkeznek egy bizonyos számú analóg bemenettel, kézenfekvőnek bizonyult az áramfelvételeket leíró jeleket egy 9 pólusú D-SUB csatlakozóra is kivezetni, amely aztán egyszerűen összeköthető a számítógép hasonló bemenetével, és így a teszt ezen szakaszában az EPC a saját bemenetein mér feszültségeket.

A rendszer tápellátását kívülről érkező +24V-os és +28V-os feszültség szintek biztosítják. A +28V-ot eredetileg egy eszköz sem használja a kártyán, ennek a meglétére azért van szükség, hogy **SimCard** egyes funkcióit túlfeszültségen is tesztelhessük. Bár ezeket a bemeneteket labortápok állítják majd elő, és így nem nagy a meghibásodás esélye, fontosnak találtam egy minimális szintű bemeneti védelmet építeni a kapcsolásba. Ez lehet egyrészt a felhasználói hibából eredő, fordított polaritású bekötés elleni védelem, ami, lévén egy több ember által is használt eszköztől van szó, igencsak elképzelhető, továbbá természetesen meg kell tudni védeni az áramkört a kisebb túlfeszültségekkel szemben is, ilyen eset lehet például ha valaki a 28V-os tápkábelt dugja a 24V-os bemeneti aljzatba, vagy ha valaki rossz előzetes beállításon felejtette a labortápot.



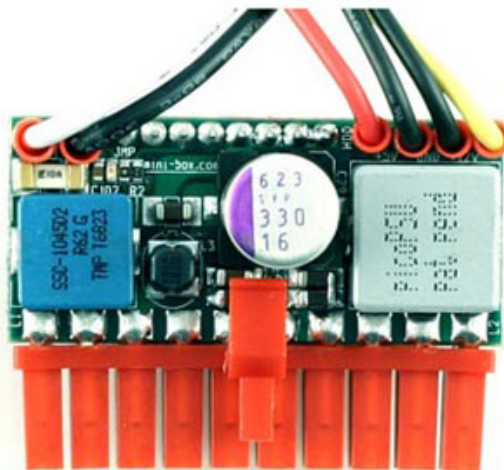
3.2. ábra. A bemeneti védelem

Az áramkör által a tesztek során normális esetben felvett maximális áramerősség 600-700mA, így a bemeneteket egy-egy 1A-es olvadóbiztosítókkal védtem meg. Ezt egy alacsony

feszültségességű, Schottky-diódás fokozat követi sorosan bekötve, amely a fordított polaritású bekötések ellen véd. A kívülről érkező, rövid, impulzus-szerű túlfeszültségeket egy-egy, a föld és a tápvonal közé bekötött szupresszor dióda vágja le, amely külön van méretezve mind a két bemenetre. Így amennyiben tartósabb túlfeszültség lépne fel a bemeneteken, akkor a szupresszor diódák kinyitnának, a kis differenciális ellenállásokon így rövid idő alatt nagy áram indulna meg, aminek következtében az olvadóbiztosíték kiégne, és megvédené az áramkör többi részét.

3.2. Tápellátás

Ennek a résznek a megtervezése mindig kritikus pontot jelent, hiszen a legtöbb esetben a felhasznált alkatrészek érzékenyek lehetnek a nem megfelelően stabil, ingadozó tápfeszültségre. A szimulátor kártya legnagyobb része +5V tápfeszültségről jár, az EtherCat modul a +3.3V-os feszültség szintet használja, a SimCard analóg kártyáján lévő DC/DC konvertereknek pedig 24V-os tápellátásra van szükségük. Bár konkrétan a SimCard-on nincs olyan alkalmazás, amely 12V-ot használna, mégis rá lett tervezve a kártyára, hogy meg tudjon hajtani egyes, erről a feszültségről üzemelő külső szenzorokat. Bár tervezés első fázisában úgy gondolkodtam, hogy a szükséges feszültség szintek előállítására saját áramköri megoldást tervezek, később más mellett döntöttem. A Knorr Bremse-nél több projekt keretein belül is használnak egy PicoPSU névre hallgató DC-DC ATX tápegységet, ami eddig mindenhol kedvező visszajelzéseket kapott. Többféle változata is kapható, többek között olyan is, amelyik 12V - 32V feszültségtartományban lévő DC jelet vár a bemenetére és 80W teljesítmény leadására képes.



3.3. ábra. A felhasznált *picoPSU* kinézete

A PicoPSU méreteit tekintve nagyon kicsinek mondható, sokkal kisebbnek, mint amekkorára helyet egy általam tervezett tápellátó áramkör foglalna el. A zajszennyezése is nagyon alacsony, számunkra tulajdonképpen elhanyagolható. Szintén előny, hogy áramkörön belül

már meg van valósítva egy bizonyos szintű túlfeszültség és túláram védelem. Az általam választott PicoPSU-80W tehát elfogadja a +24V-ot a bemenetén, amelyből nagyon pontosan előállítja a +12V, +5V, és +3.3V feszültségeket is, tehát pontosan azokat, amikre a szimulátor kártyának szüksége van. A sok elérhető tápfeszültség szint egyebek mellett nagy szabadságfokot biztosított számomra az alkatrészválasztás során is. Minden, a PicoPSU által előállított tápfeszültségre külön LED kerül, a bekapcsolás utáni egyszerű diagnosztika elősegítése érdekében.

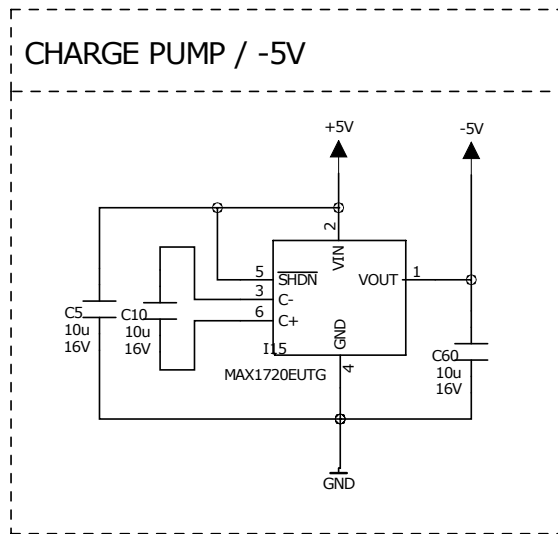
A picoPSU által szolgáltatott feszültség szintek, és azok terhelhetősége: [8]

- 5V - 6A (8A csúcs)
- 5VSB - 1.5A (2A csúcs)
- 3.3V - 6A (8A csúcs)
- -12V - 0.1A (0.1A csúcs)
- 12V - 6A (8A csúcs)

A tesztek során sok helyen fontos az áramerősségek vizsgálata, ezeket a méréseket feszültségmérésre vezettem vissza. Ahelyett viszont, hogy minden egyes mérési pontot külön vizsgáltam volna, csak a tápfeszültségek áramait vizsgáltam. Ezt azért tettem meg, mert a mérés közben helyes működés esetén mindig meg tudjuk állapítani, hogy éppen mely eszközöket kapcsolunk be, és az így fellépő áramfelvétel különbségből becsülhetjük az aktuális fogyasztást. Ez kielégítő számunkra, ugyanis a fellépő áramerősségeknek nem a pontos értéket kell ismernünk, hanem csak azt kell megvizsgálnunk, hogy egy adott toleranciahatáron belül vannak-e. Az áramfelvételek ellenőrzéséhez minden tápfeszültség betáplálási pontja előtt elhelyeztem egy meglehetősen kis értékű soros ellenállást, amelyen a maximálisan folyó üzemszerű áramok esetén is elhanyagolhatóan kis feszültség esik ahhoz, hogy az alkatrészek működésében ne okozzon zavart a tápfeszültség csökkenése. A sönt ellenállások értékeinek a következőket választottam:

- +3.3V - 10m Ω (ez 500mA mellett is csak 0.15%-os esést okoz a tápfeszültségben)
- +24V - 1 Ω (100mA - 0.4%-os feszültség esés)
- +28V - 1 Ω (100mA - 0.35%-os feszültség esés)
- +5V - 50m Ω (100mA - 0.1%-os feszültség esés)

Az ellenállásokon eső feszültségeket egy INA197 típusú current shunt monitor IC (áram sönt monitorozó áramkör) segítségével stabilizáltam és erősítettem fel. Ez a típus több, a vállalatnál használt áramkörön is megtalálható, és még sosem volt vele komolyabb probléma. A feszültség figyelő bemeneteire -16V-tól +80V-ig bármilyen feszültség adható. Kapható belőle 20V/V, 50V/V és 100V/V erősítésű változat is. Az áramkörben az 50V/V és 100V/V feszültségerősítésű változatokat használtam fel.



3.4. ábra. A negatív tápfeszültséget előállító áramkör bekötése

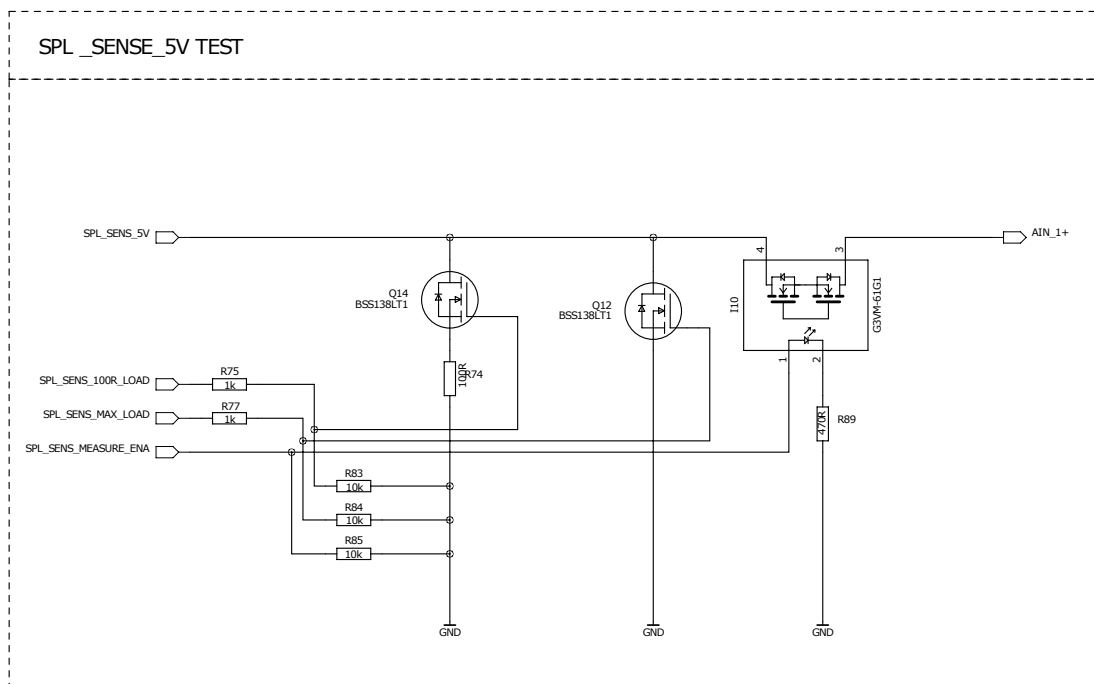
Az analóg keréksebesség szenzor mérésénél az alkatrész szám minimalizálása érdekében egy analóg multiplexer áramkört használtam az aktuálisan vizsgált jel kiválasztására. Mivel azonban a szinusz jel negatív értékeket is felvesz, annak helyes átviteléhez a multiplexernek szüksége van negatív tápfeszültségre is. Ehhez egy MAX170-es termékjelzésű, charge-pump² működésű IC-t választottam. Mivel sem túl nagy áramra, sem túl precíz feszültségre nincs szükség, az eszköz tökéletesen megfelel a használatra (a leírások szerint a -5V-ra beállított tápfeszültség akár -4-ig is elmászhat a hőmérséklet és a felvett áram függvényében, ebben esetben ez szerencsére nem jelent gondot).

A szimulátor kártya képes +5V-os tápellátást biztosítani külső szenzorok számára, ami az SPL-SENS-5V (Sensor Supply 5V) nevű lábón érhető el. Ennek a tesztelése három állapotot foglal magába: meg kell mérni a feszültség alakulását terheletlenül, maximális névleges terheléssel (50mA), továbbá maximális terheléssel (földzárlat) is ellenőrizni kell, hogy teljesül-e az előírt áramkorlát (70mA). A terhelések programból történő vezérlést a következő kapcsolással oldottam meg:

A két terhelő ágba egy-egy n-csatornás MOSFET-et helyeztem el, a kontroll vonalak a FET-ek gate-jeire vannak kötve. Amennyiben logikai 1 szint kerül a vonalakra (+5V), a kiválasztott tranzisztor kinyit és vezetni kezd, ezáltal a kiválasztott terheléssel rövidre zárja az SPL-SENS-5V vonalat. A térvezérlésű tranzisztorok gate lábait egy-egy 10kOhm-os ellenállással földre is lekötöttem, hogy a rajtuk lévő vezérlő feszültség akkor is kiszámítható legyen, amikor az inicializációs folyamat során a kontroll vonalak nagyimpedanciás állapotba kerülnek. Az SPL-SENS-5V vonalon kialakuló feszültséget az 1-es analóg bemenettel mérem meg, amit a mérés után egy G3VM-61G1 típusjelű félvezetős analóg kapcsoló áramkör képes galvanikusan leválasztani.

A G3VM-61G1-et több helyen is használom az áramkörben az egyes vonalak galvanikus

²A DC/DC konverterek egy típusa, amely a kapacitásokat energia tároló elemként használja a bemenetnél magasabb vagy alacsonyabb feszültséghez előállításához.

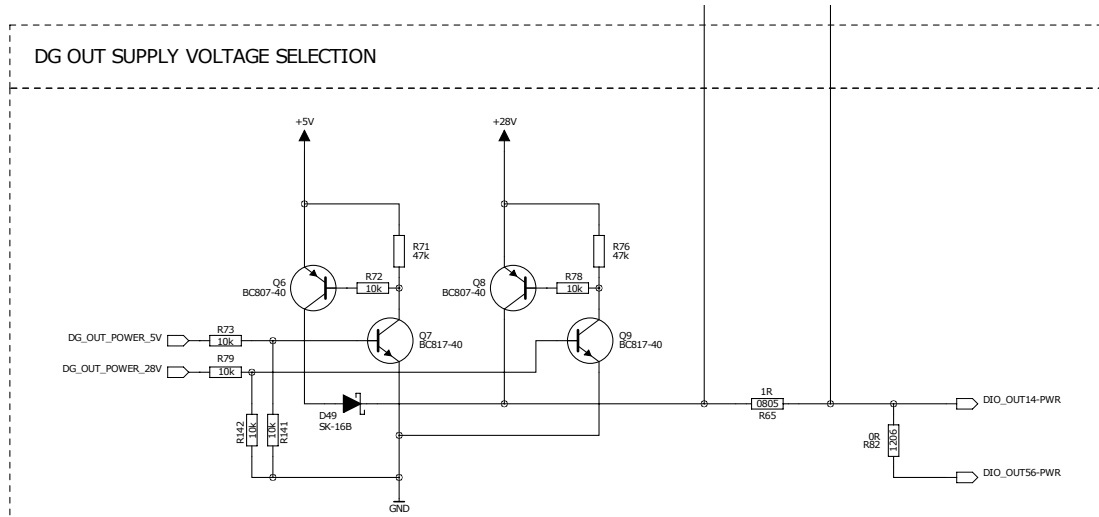


3.5. ábra. Az *SPL-SENS-5V* lábra kapcsolható terhelések

leválasztására. Egy másik kínáló megoldás a relék használata lett volna, ebben az esetben viszont lényegesen nagyobb mérettel és rövidebb élettartammal kellett volna számolnom a mechanikus működésből adódóan. Az alkatrész belül két egymással szembe fordított MOSFET-et tartalmaz, aminek köszönhetően a szekunder oldal mindkét irányban képes vezetni. A tranzisztorok aktiválását egy infravörös LED végzi. Az eszköz képes 500mA folytonos kapcsolására, így az esetleges nagy áramok miatt nem kellett aggódnom, ekkora áramot sehol nem kapcsolunk az áramkörön. Nagy előnye továbbá a relés megoldással szemben a kapcsolási áram nagyságrendje: az eszköz már 3mA bemenő áram mellett képes nyitásra vezérelni a tranzisztorokat, ami lehetővé teszi, hogy külön meghajtó áramkör használata nélkül akár egy mikrokontroller kimenetei is képesek legyenek vezérelni. [4]

Szintén az tápegység funkcionális blokkjában helyezkedik el a digitális kimenetek feszültség szintjének kiválasztása, ami a +5V és a +28V feszültség szinteket veheti fel. A szimulátor kártya a *DIO-OUT14-PWR* és *DIO-OUT56-PWR* lábaira adott feszültség szinteket tekinti a logikai magas érték feszültség szintjeinek. A tápfeszültségek kapcsolásait a következő bipoláris tranzisztoros kapcsolással oldottam meg:

Egy kapcsoló fokozat egy p-csatornás és egy n-csatornás bipoláris tranzisztorból áll. A vezérlő vonalak az n-csatornás tranzisztor bázisára kapcsolódnak, és logikai magas szint mellett nyitásra vezérik azt. Az ennek hatására a kollektoron meginduló áram kinyitja p-csatornás tranzisztort, ami összekapcsolja a kiválasztott tápfeszültséget a szimulátor kártya *DIO-OUT14-PWR* és *DIO-OUT56-PWR* bemeneteivel. A +5V-ot kapcsoló p-csatornás tranzisztor kollektorára bekötöttem egy kis feszültség esésű Schottky-diódát is, amely az 5V-os tápszint védelmét látja el, ha a +28V-os vonal van kiválasztva.



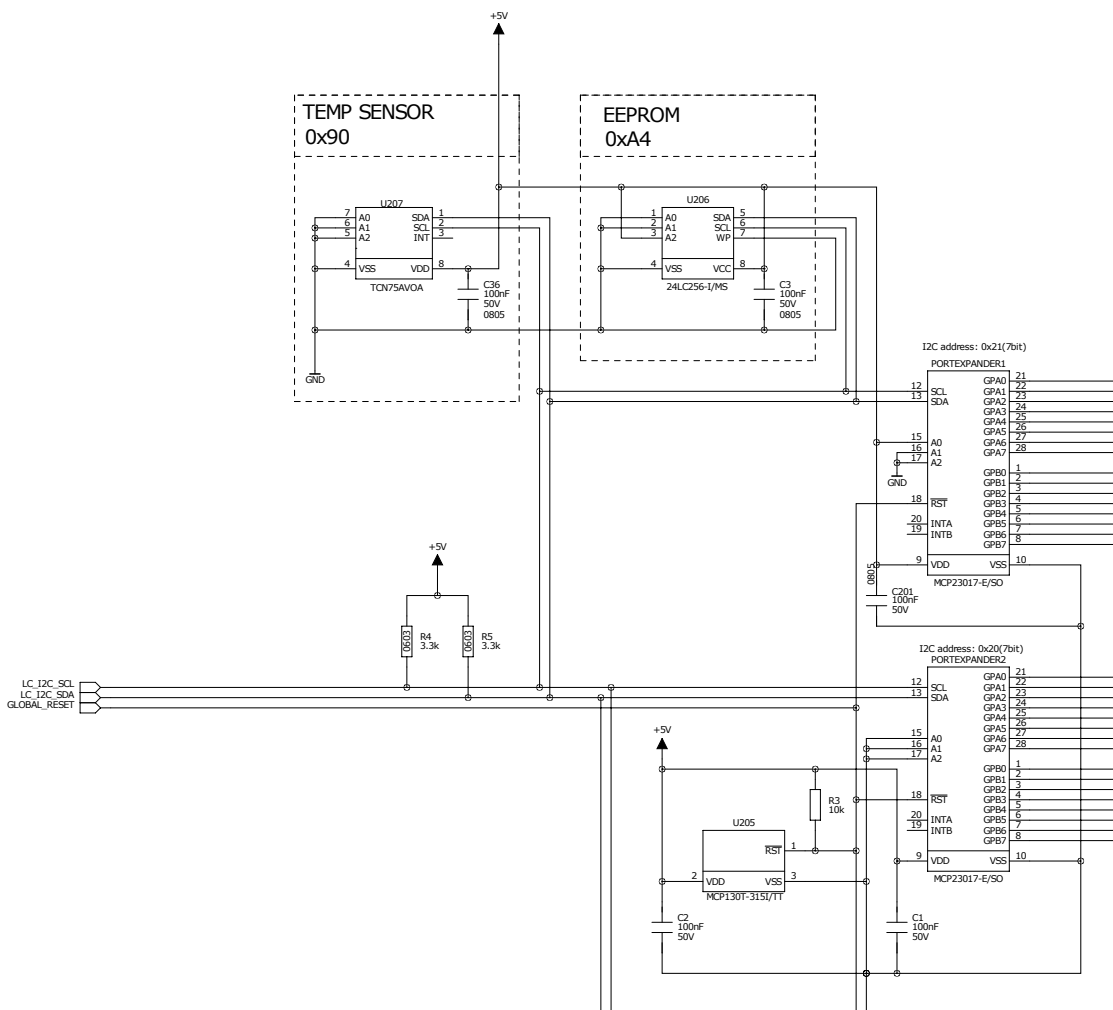
3.6. ábra. A digitális kimenetek tápfeszültségének kiválasztása

3.3. Vezérlő vonalak

A feladat jellegéből adódóan sok kapcsolat létrehozására és megszüntetésére van szükség az áramkörön egy-egy tesztelési folyamat során, ami nagy számú vezérlő vonal jelenlétét igényli. A digitális kimeneteket nem használhatjuk vezérlési célokra, hiszen ezekből egyrészt elenyészően kevés áll rendelkezésünkre (6 db), másrészt pedig pont az ő működésüket szeretnénk ellenőrizni. A probléma kiküszöbölésére lehetőség lett volna valamilyen szabadon választott mikrovezérlő GPIO lábainak használata, azonban sokkal kézenfekvőbbnek bizonyult egy már a csoport által több ízben használt, és jól működő megoldás: az MCP23017 típusjelzésű integrált áramkör használata.

Ez egy 16 bites I/O port kiterjesztő áramkör, ami I2C protokoll segítségével vezérelhető. Az eszköznek összesen 16 GPIO lába van, amelyek konfigurációtól függően használhatóak kimenetként vagy bemenetként is. Összesen 4 ilyen eszközt használhatunk egy I2C buszon. Ezt a felső korlátot az IC-k címzési módja szabja meg. Az aktuális feladathoz 3 portexpander használata is elegendőnek bizonyult, összesen 43 vezérlő vonal lett kihasználva. Az eszköz lábai inicializációs állapotban (bekapcsoláskor, a reset állapot idején) nagyimpedanciás állapotba kerülnek, így rákötött vezérlő vonalakon lévő feszültségértékek kiszámíthatatlanná válhatnak, célszerű ezért ezeket a kontroll vonalakat alkalmazástól függően gyengén táphoz vagy földhöz húzni. A csoportban erre az áramkörre egyszerűen a "PortExpander" elnevezést használjuk, ezért a továbbiakban én is így fogok hivatkozni erre a típusra.

A kapcsolási rajzon található egy EEPROM memória is. Ez ugyanilyen elrendezésben minden terheléskártyán megtalálható, ebben tárolódnak a kártyát azonosító információk, innen tudja a szimulátor kártya, hogy pontosan milyen eszközzel kapcsolták össze, a rákapcsolt eszközön hány portexpander IC található, és hogy milyen kontroll vonalak vannak jelen. A memóriát is I2C buszon keresztül érhetjük el a mikrovezérlő segítségével, bár jelen alkalmazás szempontjából ez láthatatlanul fog működni, a mikrokontrolleren futó FirmWare



3.7. ábra. Az MCP23017-es IC-k, az EEPROM memória, és a hőmérséklet-szenzor bekötése

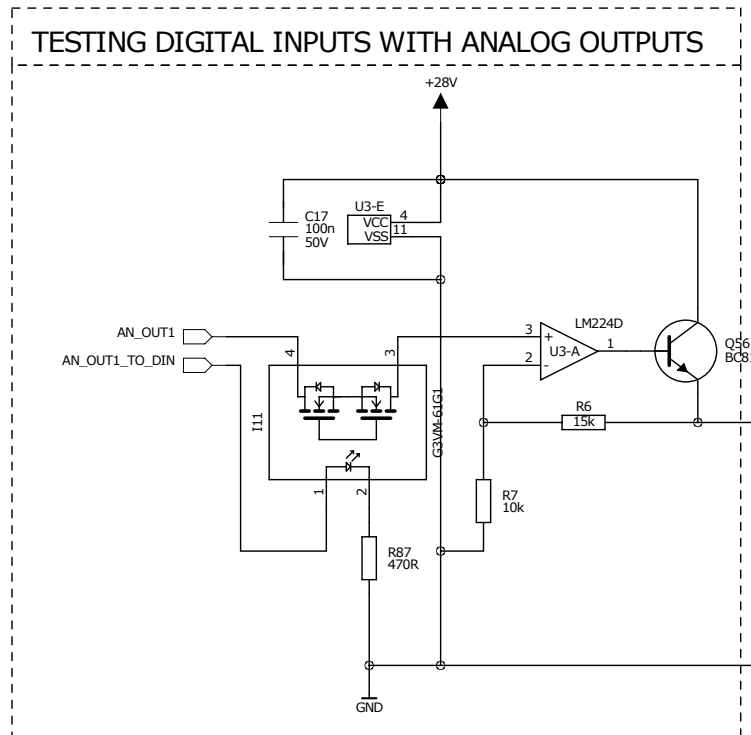
kezeli le a kapcsolatot.

A PortExpander működését valós időben vezérelhetjük a KB-Lab-ból. A programban a 8 bit-es csoportokhoz tudunk hozzáférni, amelyeknek decimálisan tudunk értéket adni. Az 00001111-es jelsorozat megjelenítéséhez például a 15 decimális értéket kell beállítanunk a megfelelő 8 bites csoportba.

3.4. Digitális bemenetek tesztelése

A digitális bemenetek ellenőrzéséhez egy analóg kimenet segítségével különböző, billenési pont körüli feszültségeket adunk a bemenetekre, és figyeljük az értékek változását a bemeneten, ezáltal megállapíthatjuk annak helyes működését. A fő problémát az jelenti, hogy a digitális bemeneteket galvanikusan le kell tudni választani az analóg kimenetekről. Erre azért van szükség, mert így észre tudjuk venni a bemenetek között fellépő zárlatot a következő képpen: ha csak egy bemenetre adunk logikai magas jelszintet, és vizsgált bemenettel együtt bármelyik másik bemenet értéke is 1-re változik, akkor a két bemenet között kapcsolat van, a teszt megbukott. Amennyiben ilyen jellegű hiba lép fel, a szoftver többször

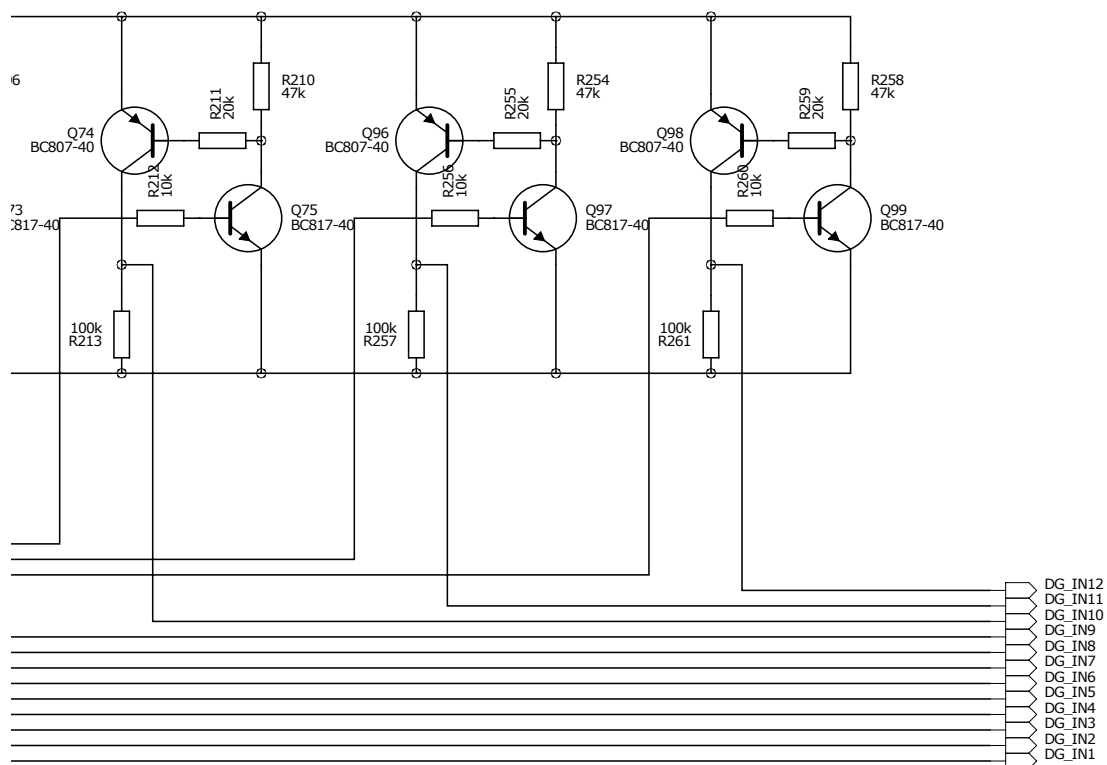
egymás után is megkísérli előidézni a hibát, ha pedig minden próbálkozásnál sikerül neki, akkor biztosan kijelenthető, hogy a két vonal között zárlat lépett fel. Egy másik probléma, hogy az analóg kimenetek legfeljebb +10V nagyságú feszültség kiadására képesek, ezért egy erősítő fokozatot kell elhelyezni a kimenet után, hogy akár +28V feszültséget is kivezélhessünk.



3.8. ábra. A digitális bemenetek teszteléséhez használt jel előállítás

A feszültség erősítését egy nem invertáló műveleti erősítő kapcsolás végzi el, ami a jelenleg látható ellenállásokkal két-és-félszeresére erősíti az analóg kimeneten kiadott jelet. Az erősítés mértéke az élesztési folyamat során azonban egyszerűen változtatható, amennyiben az ellenállások értékeit megváltoztatjuk. A felső korlátot természetesen a +28V-os tápfeszültség jelenti. A kiadott mérő feszültséget egy már az `SPL-SENS-5V` vonal mérésénél bemutatott bipoláris tranzisztoros kapcsoló fokozat képes összekötni az aktuális digitális bemenettel, vagy éppen galvanikusan leválasztani azt. Mivel takarékoskodni szerettem volna a PortExpanderek lábaival, ezért a bemeneteket engedélyező 24 vezérlővonalat 8 csatornás digitális multiplexerek kimenetével állítottam elő, összesen 9 PortExpander lábra volt szükség ennek a blokknak a vezérléséhez.

Jogos elvárás, hogy az analóg bemenetet is le tudjuk választani galvanikusan az erősítő fokozatról a mérés után, hogy a kapcsolás által felvett áram ne hamisítsa meg a többi mérés eredményét. A feladat elvégzését újból a G3VM-61G1-es MOSFET relére bíztam.



3.9. ábra. A digitális bemeneteket kiválasztó kapcsoló fokozatok

3.5. Digitális kimenetek tesztelése

Három funkciócsoport ellenőrzésre volt szükségünk: egyrészt egy funkcionális teszt-re, amely megmondja, hogy a logikai magas és alacsony szintek ténylegesen milyen feszültségszinteknek felelnek meg, másrészt egy olyan tesztre, amely megvizsgálja, hogy minden kimenetre teljesül-e a megfelelő áramkorlát, és hogy a kimenet valóban képes-e tartósan kiadni a maximális névleges áramértéket, harmadrészt a nagyimpedanciás működést kellett ellenőrizni.

Annak a vizsgálatához, hogy a kimenetekre a megfelelő feszültség szintek kerülnek-e ki, újból az analóg bemeneteket hívtam segítségül, amelyek a teszt elején terheletlen állapotban mérik meg a kimeneteket.

Ezután következik az egyes kimenetek áramainak mérése különböző terhelések mellett, tehát hogy képesek-e az előírt specifikációk teljesítésére. Először azt vizsgáljuk meg, hogy a maximális névleges terhelés mellett mennyi lesz a maradékfeszültség. Ez azt jelenti, hogyha ekkora terhelést kapcsolunk például a kimenet és a föld közé úgy, hogy közben a kimenetet 1-be állítjuk, akkor mekkora lesz a kimeneten kialakuló és az elvárt feszültségek különbsége. Ugyanezt meg kell tennünk úgy is, hogy nem a földhöz, hanem tápfeszültséghez húzzuk a kimenetet, ilyenkor az áram befelé fog folyni a kimeneten.

A digitális kimenetek 10mA áramig áramgenerátorosan viselkednek, ez tehát az a maximális áramerősség, amit a kimenetek elméletileg képesek áthajtani magukon. A maradékfeszültséget meg kell tehát vizsgálni akkor is, ha logikai 0 jelet szeretnénk kiadni, és

akkor is ha logikai 1-et. A tesztet el kell végeznünk a +5V-os és a +28V-os tápfeszültségek használatával is.

A tápfeszültségek értékéből és a 10mA-es áramkorlátból adódóan 5V-os táp esetén 499Ω-os, 28V-os táp esetén pedig 2.7kΩ-os terhelő ellenállásokat használtam. A kialakuló feszültségeket az analóg bemenetekkel megmérve szoftveresen kiszámolható a maradékfeszültség, amennyiben a tápfeszültségek jelszintjeit állandónak tételezzük fel. A mérések alsó és felső határértékeit készen kaptam kézhez, ezek a manuális teszteléshez lettek meghatározva, ebből közöltem pár adatot a 2.1-es táblázatban.

Ahhoz, hogy a 28V-os tápfeszültség esetén is mérni tudjak, az analóg bemenetekre jutó feszültséget le kellett osztanom. Ehhez egy egyszerű 1/3-as osztási arányú ellenállásosztót használtam, így a legnagyobb megjelenő jel 9.3V-os lehet.

A következő lépés az áramkorlátok teljesülésének ellenőrzése. Ezt úgy tudjuk letesztelni, hogy a névleges maximumnál lényegesen nagyobb terhelést kapcsolunk a kimenetekre, és figyeljük mekkora áram folyik. Ezt a tesztet már csak a 28V-os feszültségtartományban végezzük el, olyan módon, hogy a kimeneteket 1kΩ-os ellenállással húzzuk táp felé vagy föld felé. Ez a terhelés 28mA-es terhelést jelentene, amennyiben a kimenetek továbbra is tartani szeretnék az elvárt feszültségszintet, jó esetben ez nem fog sikerülni. Az analóg bemenetekkel mérni tudjuk a kialakuló jelszinteket, ezekből pedig nagyjából megmondható, hogy teljesül-e az áramkorlát. Amennyiben túl nagy áram indulna meg, azt a tesztnek minél hamarabb észre kell vennie, rögtön meg kell állítania a tesztelést, és kijelezni a hiba okát.

Végül elérkeztünk a digitális kimenetek utolsó funkciójának teszteléséhez, a nagy impedanciás, avagy tri-state³ állapot ellenőrzéséhez. A teszt nagyon egyszerűen a következő elv alapján működik: egy 100kΩ-os ellenállással a tápfeszültség felé húzom a kimenetet, egy másik 100kΩ-os ellenállással pedig föld felé. Amennyiben a kimeneten sikeresen előállt a nagyimpedanciás állapot, az így kialakult ellenállásosztó középső pontján pontosan fél tápfeszültséget kell mérnünk. Amennyiben a mért feszültség ettől lényegesen eltér, úgy a kimenet hibásnak mondható. Azért használtam ilyen nagy értékű ellenállásokat ennél a pontnál, mert nem szükséges hozzájuk kapcsoló fokozatot tervezni, állandó jelleggel be lehetnek kötve az áramkörbe, ugyanis nagy értéküknek köszönhetően nem hamisítják meg a többi mérést⁴.

Az terhelések bekapcsolását az áramkörbe a 3.9-es ábrán látható módon végeztem. Jól látható, hogy a sorosan kapcsolt 500Ω-os és 2.2kΩ-os ellenállások egy rövidzár segítségével kiiktathatóak az áramkörből, így megvalósítható a terheletlen mérés. Az ilyen jellegű elrendezés lehetővé teszi, hogy ne kelljen pluszban az 1kΩ-os terheléseket berakni a táp és a föld irányába, hanem a két 500Ω-os terhelő ellenállás együttes kiválasztásával ez egyszerűen megtehető.

A +5V-os tápfeszültséget kapcsoló MOSFET tranzisztor drain elektródáján elhelyezett Schottky-dióda szerepe a következő: a 28V kiválasztása esetén hiába zárjuk az 5V-ot kapcsoló tervezérlésű tranzisztort, a gyártás során kialakult testdiódájára így bőven a nyitófe-

³Three state, vagy high-z állapot, azt jelenti, hogy áramkör adott kimenete nagy impedanciás állapotba kerül.

⁴A 100kΩ-os ellenállásokon elszivárgó áram legrosszabb esetben is 1-2 tized mA, ekkora ingadozás bőven belefér a mérés tolerancia tartományába.

szükség feletti érték kerül, amitől vezetni fog, és rákényszeríti a 28V-ot az 5V-os tápfeszültségre, ami egészen biztosan több alkatrész elhalálzásához vezetne. Ezt hivatott megelőzni tehát a Schottky dióda, amely alacsony feszültségesése miatt nem csökkenti túlzottan az 5V-os tápfeszültséget.⁵

3.6. Analóg ki-, és bemenetek tesztelése

Mivel a ki-, és bemeneteket egyszerre tesztelem, egy esetleges hiba fellépése esetén sajnos nehéz pontosan megmondani, hogy a feszültséget előállító, vagy a feszültséget mérő fokozat működik-e rosszul. Ez a teszt jellegéből adódik, a kezdetektől fogva számoltunk vele, és úgy döntöttünk, hogy nincs szükség az áramkör ilyen okból történő további bonyolítására, hiszen ezekben az esetekben egy kézi multiméteres vagy oszcilloszkópos vizsgálattal már könnyedén eldönthető a probléma helye.

Sajnos míg analóg kimenetből 12 áll rendelkezésünkre, addig analóg bemenetből csak 8, így egyes analóg bemeneteket többször is fel kellett használni. Szintén ebből az okból nem lehet párhuzamosan vizsgálni az egyes vonalakat. A ki-, és bemenetek egymásról történő leválasztását egy-egy DGB211 típusjelű analóg kapcsoló áramkörrel oldottam meg. Bár elektromos tulajdonságait tekintve alulmarad a többi helyen használt félvezetős relével szemben, nagyságrendekkel olcsóbb, és 4 vonal egyidejű kapcsolására is képes. Azért használhattam itt nyugodt szívvel, mert az analóg bemeneteken befolyó áramok nagyon kicsik, és a feszültségtartomány is csak 0-10V között lehet. A DGB211 bemenetei +- 22V tartományban képesek működni, és maximum 30mA nagyságú áram folyamatos kapcsolását tudja biztosítani. A soros ellenállása kicsi - mindössze 50Ω , amit azonban a méréseknél természetesen figyelembe kell majd venni. Az IC +5V tápfeszültséget igényel a helyes működéshez, azonban rendelkezik egy -V és egy +V bemenettel is, amelyeknek biztosítani kell a maximálisan előforduló kapcsolt feszültség szinteket, azaz a 0-10V-os mérési tartomány miatt -V esetén 0V-ot, +V esetén pedig +12V-ot. Amennyiben valamelyik bemenet hibás, akkor az is előfordulhat, hogy drasztikusan megnőne az áramfelvétele, amit az analóg kapcsoló áramkörnek kellene meghajtania, és amire nem lenne képes, tönkremehetne. Ennek a kiküszöbölésére elhelyeztem minden kapcsoló fokozat elé egy $1k\Omega$ nagyságú soros ellenállást, amely véd a hirtelen kialakuló nagy áramoktól, amíg a szoftveres rész észre nem veszi a túlzott áramfelvételt, és ki nem kapcsolja a hibás részt. Mivel nem volt szükség rá, hogy egymástól elkülönülten legyünk képesek végrehajtani a bemenetek mérését, az IC-k kapcsoló bemeneteit közösítettem, és minden 4 vonal kapcsolásához használtam egy **PortExpander** lábat.

A funkcionális vizsgálat mellett ellenőrizni kell az analóg kimenetek sink és source áramkorlátait. A sink szó magyarul elnyelést jelent, azt mutatja meg, hogy maximálisan mekkora befolyó áram értéket engedélyez egy-egy bemenet. A source jelentése forrásnak felelne meg a magyarban, ez pedig az egyes lábokról felvehető legnagyobb kifelé folyó áram szintjét mutatja meg. Ezek mind 10mA körüliek, egész pontosan a következők:

- Source áramkorlátok: 11mA - 11.6mA

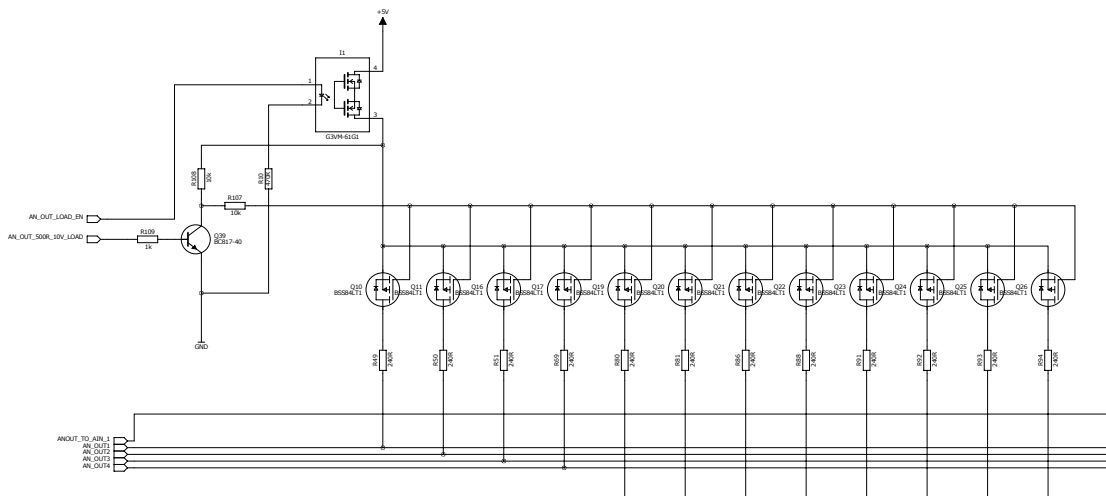
⁵A diódán fellépő feszültségesést természetesen a mérések során figyelembe kell venni.

- Sink áramkorlátok: -11mA - 10.3mA

Az áramkorlátok vizsgálatához a maximális névleges terhelés kétszeresét kapcsoltam a kimenetekre, így tudjuk megmérni, hogy a kimenetek feszültségszintjei milyen mértékben változnak a kiadni kívánt értékhez képest, csakúgy, ahogyan azt a digitális kimenetek esetében is tesszük.

A kapcsolás első verziójában külön kapcsoló áramkört használtam ahhoz, hogy föld potenciál felé, és ahhoz is, hogy tápfeszültség felé húzzam a kimeneteket. Csak később jöttem rá, hogy feleannyi alkatrészből is megoldhatom a feladatot, amennyiben nem a teszt által előírt +10V-os tápfeszültséget használom, hanem csak +5V-osat. Ennél a megvalósításnál ugyanis ha 0V feszültséget adok ki a kimenetekre, akkor az áram befelé fog folyni a lábakon, ha pedig 10V-ot, akkor kifelé. Egyedül a terhelő ellenállás értékét kellett közel a felére csökkentenem (240Ω-ra), így ugyanúgy megkapom a 20mA körüli áramerősséget.

Ennél a mérési konstrukciónál problémát jelenthetne a kimenetek terheletlen vizsgálata, ugyanis 10V-os feszültség kiadása esetén a kapcsoló MOSFET-ek testdiódája már vezetésbe megy át, és akaratlanul is rákapcsolja a terhelést a vizsgált vonalakra. Ennek áthidalására egy félvezető relét helyeztem el a +5V-os tápfeszültség kapcsolása előtt, amellyel a felső fokozat ilyen mérések idejére galvanikusan leválasztható.



3.10. ábra. Terhelések kapcsolása az analóg kimenetekre

Az egyes analóg bemenetek differenciális jelvezetésűek, mi azonban sima analóg földhöz képest (GND) állítjuk elő a tesztelő jeleinket, ezért a bemenetek negatív pólusait csillagpontosan a földre (GND) kötöttem. Ezt azért is tehettem meg, mert az összes analóg mérés során a GND-hez képest előállított feszültségszintet kell vizsgálnunk. Az vezetékek összekötését nem a 0Ω-os ellenállásokkal, hanem úgynevezett ferrite-bead-ekkel (Ferrit gyöngy-ökkel) oldottam meg, amik az egyen-, és alacsonyfrekvenciás szintek esetén kis impedanciával rendelkeznek, a nagyobb frekvenciáknál viszont közel szakadásba mennek át, így csökkentik az esetleges nem kívánt nagyfrekvenciás zajok terjedését. Bár ilyen mértékű zajvédelem jelen áramkör esetében nem volt indokolt, azonban a ferrit gyöngyök árban szinte megegyeztek az ellenállásokkal, így úgy döntöttem konvenció szinten jobb ha hozzá-

szokom a használatukhoz.

3.7. A keréksebesség-szenzor jeleinek mérése

A következő funkcionális egység a keréksebesség szenzor által kiadott jelek vizsgálata. Bár a szimulátor kártya képes analóg és digitális jel kiadására is, a hardver egyelőre csak az analóg jel vizsgálatára képes, a digitális jelet ugyanis még sehol nem használják, csak a jövőbeli fejlesztések megkönnyítése érdekében került a SimCard specifikációjába. A digitális rész méréséhez szükséges jeleket kivezettem egy szalagkábel csatlakozóra, hogy amennyiben bármikor igény merülne fel ezen funkciók tesztelésére, akkor elég legyen egy kiegészítő áramkört gyártani a feladathoz, ne kelljen az egész áramkört újratervezni.

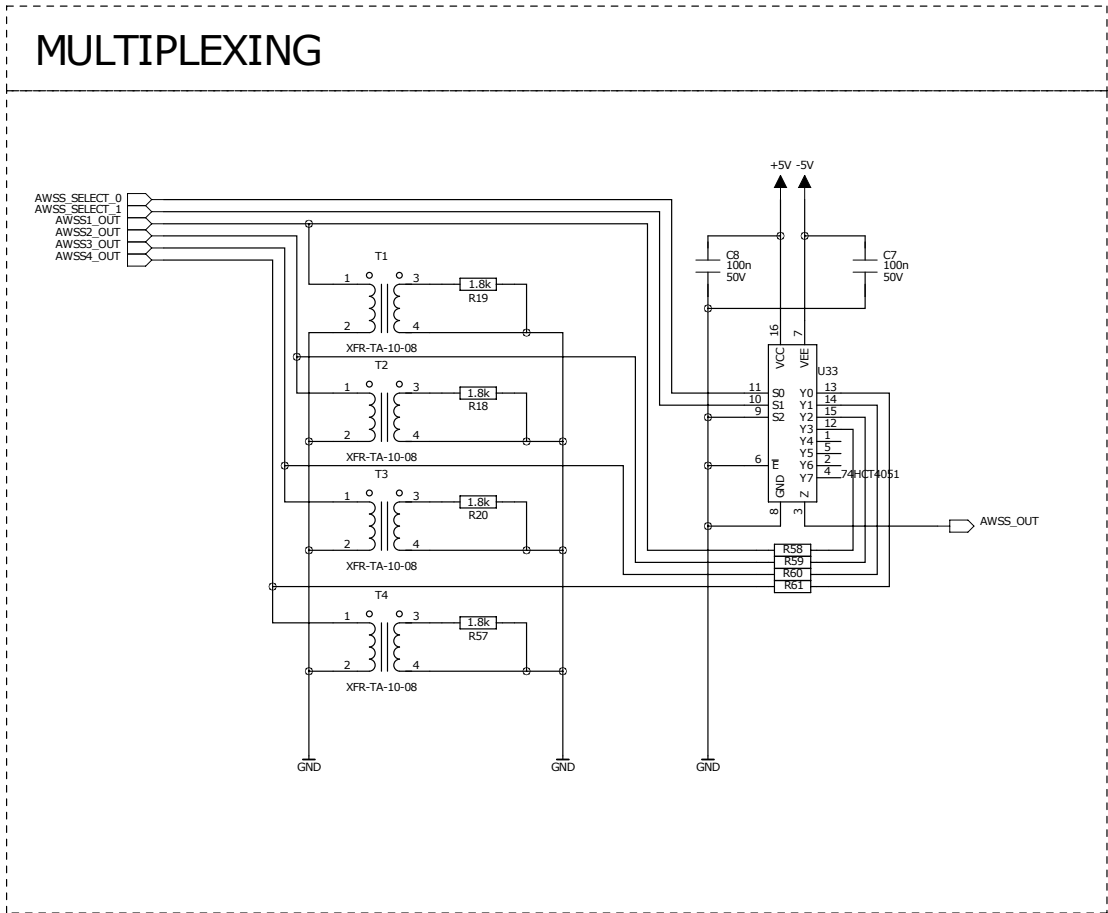
Összesen négy különálló analóg jel mérését kell elvégezni, ezt végezhetjük sorosan, vagy párhuzamosan is. Az utóbbi megoldás gyorsabb ellenőrzést tesz lehetővé, azonban majdnem megnégyeszezi a szükséges alkatrészek számát. Mivel ennél az alkalmazásnál pár másodperces késleltetés nem számít, ezért a csatornák egymás utáni vizsgálatát választottam.

Mindegyik szinusz jelet azzal a terheléssel kell megvizsgálni, ami az üzemszerű használat esetén is felléphet. A terheléskártyákon lévő leválasztó transzformátorok modellezéséhez ugyanazokat a transzformátorokat helyeztem el a tesztelő áramkör esetében is, a primer oldalukra a mérendő jelet, a szekunder oldalra pedig egy 1.8k Ω -os terhelő ellenállást kapcsoltam. Azért pont ekkorát, mert pontosan ekkora terhelést jelent az ECU, miközben méri a jeleket. A kiadott amplitúdóknak és frekvenciáknak a jelenlévő terhelések mellett sem szabad változnia, ezért a transzformátor primer oldalát mértem. A transzformátorok szerepe az áramkörben egyrészt a galvanikus leválasztás, másrészt a jelszint leosztása, a szimulátor kártya által generált jel amplitúdója ugyanis 1-2V körüli, míg az ECU tipikusan 1V alatti amplitúdójú jeleket vár.

Az aktuálisan mért jel kiválasztását egy 74HCT4051 típusú, 8 csatornás analóg multiplexer áramkörrel oldottam meg, ami ennél az alacsony, legfeljebb 2500Hz-es frekvenciánál tökéletesen megfelel. A kapcsolt jelek feszültségértékeinek a VCC (pozitív tápfeszültség) és a VEE (negatív tápfeszültség) értékek közé kell esniük, de legfeljebb 11V értékűek lehetnek pozitív és negatív irányban. A 74HCT4051 egy CMOS technológiával megvalósított eszköz, amely különösen érzékeny a impulzus szerű feszültségingadozásokra. Mivel az analóg sebesség jelek mérőpontokra is ki vannak vezetve, az innen érkező elektrosztatikus kisülésekből⁶ érkező energia romboló hatásának megelőzése érdekében ezekre a vonalakra sorosan elhelyeztem egy-egy 1k Ω nagyságú ellenállást, amely nem engedi, hogy hirtelen nagy áram induljon meg befelé az IC lábain. [3]

A demultiplexer által kiválasztott jelnél ezután egymással párhuzamosan történhet az amplitúdó és a frekvencia mérése. Az amplitúdó méréséhez először egy egyszerű diódás csúcseyenirányítós megoldásra gondoltam, ami diódán eső feszültség ingadozása miatt igen pontatlan lett volna, ezért nem felelt volna meg a feladatnak. Ehelyett a 3.12-es ábrán bemutatott precíziós csúcseyenirányító kapcsolást használtam.

⁶ESD (Electrostatic Discharge): elektrosztatikus kisülés, azaz, elektrosztatikus forrásból származó elektromos energia gyors felszabadulása.



3.11. ábra. Az analóg demultiplexer és a terhelő transzformátorok

A 3.12-es ábrán bemutatott kapcsolásban a C1-es kondenzátor feszültségét hasonlítjuk össze egy műveleti erősítő bemenetére érkező szinuszos jellel. Amennyiben a kondenzátor feszültsége kisebb, mint a bemeneten lévő jel, akkor a műveleti erősítő kimenetén annak negatív tápfeszültsége, tehát jelen esetben föld potenciál jelenik meg (a bemenő jelet az invertáló bemenetre kötöttük). Ez a feszültség kerül a p-csatornás MOSFET gate elektródájára, ami nagyobb mint a küszöbfeszültség, így a tranzisztor kinyit, és a tápfeszültséggel kezdi el tölteni a C1-es kondenzátort. Amikor a C1-es kondenzátor feszültsége túllépi a bemeneti jelszint feszültségét, a műveleti erősítő kimenetén megjelenő tápfeszültség zárja tranzisztort, a kondenzátor nem töltődik tovább. Ennél a kapcsolásnál a műveleti erősítő offset feszültsége vagy a tranzisztoron eső feszültség okozhat hibákat, azonban ezek sokkal kisebbek, mint egy diódás kapcsolás esetében a dióda nyitófeszültségéből származó hiba. [1] A kondenzátor mellé elhelyeztem egy kisütő ellenállást is, bár ez nem indokolt, ugyanis nekünk a mindenkor maximális amplitúdót kell megmérnünk, nem kell követnünk a bemenetre érkező jelet. Ennek az ellenállásnak a helyére a kapcsolásban az első mérések alkalmával ezért vagy egy nagy, 100kΩ-os nagyságrendű, vagy semmilyen ellenállás nem lesz beforrasztva. A tervezésnél azonban úgy gondoltam, mivel ez az áramkör egy prototípus lesz, a mérések során segítséget nyújthat ennek az elemnek az opcionális elhelyezése.

A kondenzátort minden mérés végén ki kell sütni, ezt a szerepet egy 1kΩ-os ellenállás

szélességével, a mérés pontatlansága elfogadhatatlanná vált.

Ezen okokból kifolyólag inkább a periódusidő mérésre visszavezetett frekvencia mérés mellett döntöttem. A mérés egyértelműen annál pontosabb, minél nagyobb frekvenciás mérőjelet használunk. Ennek a megoldásnak az előnye, hogy ennek az értékét mi határozhatjuk meg, és nem függ mérni kívánt frekvenciától. A számláló jelnek olyan frekvenciát kell választanunk, amely a mérendő jel legnagyobb frekvenciái esetén is képes teljesíteni a specifikációban előírt pontosságot.

Az időablaknak amelyben mérünk pontosan olyan szélesnek kell lennie, mint amennyi a vizsgált jel periódusideje. Ezt úgy értem el, hogy a mérendő jelet egy komparátor segítségével először egyenirányított négyszögjellel alakítottam, majd ezt a négyszögjelet használtam fel a kapuzás vezérlésére oly módon, hogy pontosan egy periódusidő szélességű időablak alakuljon ki. Az időablakon belül egy digitális számláló áramkör segítségével megszámoljuk a nagyfrekvenciás jel felfutó éleit. A számláló jel frekvenciáját mi választjuk meg, ezért ennek értékét pontosan ismerjük. Amennyiben a számláló értékét megszorozzuk a nagyfrekvenciás jel periódusidejével, közelítőleg megkapjuk az időablak szélességét, ami megegyezik a mért jel periódusidejével. A periódusidőből az $f = \frac{1}{T}$ képlet segítségével a keresett frekvencia meghatározható.

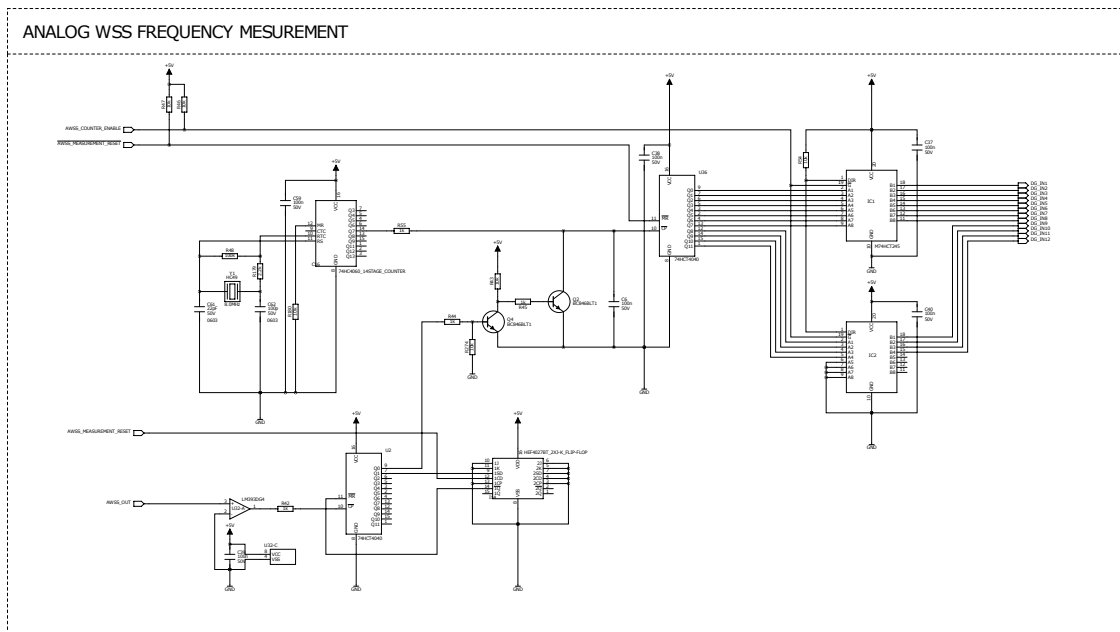
Az áramkör első, prototípus verziójában a specifikáció teljesítését tűztem ki céloomul, amely a szenzor jelének tized Hz pontosságú megmérése volt. Ez azt jelentette, hogy a számláló jel frekvenciája legalább a mérendő jel legnagyobb frekvenciájának tízszerese kell, hogy legyen. A szenzor jelének felső határfrekvenciája jelenleg 2500Hz. Azért pont ezt az értéket választottuk felső korlátnak, mert a keréksebesség szenzorban használt póluskerék fogszáma 100 és 300 között változik, a kerékátmérő jellemzően 1 méter körüli, így 300-as pólusszámmal számolva is közel 190 km/h sebességet jelent a 2500Hz-es érték, 100-as pólusszám mellett pedig már meghaladja a 560 km/h-t, amely egy haszongépjármű esetében aligha érhető el. A számláló jel frekvenciájának egy általános értéket szerettem volna választani, így a 31.25kHz mellett döntöttem, ami kettő hatvány, így nagyobb frekvenciákból osztással könnyen előállítható.

A számláló jel előállításához egy 4MHz-es kvarckristályt, és egy 74HC4060 típusjelzésű frekvenciaosztó áramkört használtam fel. A 74HC4060-as egy nagysebességű CMOS-eszköz, amely 14 bites számlálót valósít meg, és kimondottan frekvenciaosztó alkalmazásokhoz ajánlják. A 14 bitből az alsó három helyiérték nincs kivezetve, így a legalacsonyabb elérhető osztási szint $1/2^4$ azaz $1/8$. Az áramkör rendelkezik egy belső oszcillátorral egységgel is, amelyhez egyszerűen kapcsolhatunk külső kvarckristályt is a kívánt frekvencia beállításához. Ahhoz, hogy a 4 MHz-es frekvenciából 31.25 kHz-es órajelet kapjak, $1/128$ -as osztásra volt szükségem, amihez a számláló negyedik kimenetét használtam fel, ez a 7. helyiértékű bit-el egyezik meg ($2^7 = 128$).

A fenti megvalósítás szépséghibája, hogy az alacsonyabb frekvenciás jelek mérésekor nagyságrendekkel több felfutó élet kell megszámolnunk, mint a magasabb frekvenciák esetében: 1Hz-es mért jel esetén közel 32 ezret. Ekkora érték megszámlálásához legalább egy 15 bites számlálóra van szükség ($2^{15} = 32768$). Mivel a piacon a 12 bites számlálók számítanak elterjedtebbnek, úgy döntöttem, hogy az első verzióban csak egyet használok fel, és

ennek megfelelően alakítom ki a teszt működését. Ez azt jelenti, hogy a számlálónk összesen 4096-ig képes elszámolni, ami korlátot szab a legalacsonyabb mérhető frekvenciának: 8Hz alatti jelek mérése esetén a számláló túlsordul és a mért adatok értelmüket veszítik. Bár ezek a kilátások elsőre nem tűnnek túl biztatóknak, a manuális teszténél használt 10Hz-es, 500Hz-es és 1500Hz-es mérési pontokon a rendszer így is képes kielégítően teljesíteni, ezért biztonsággal használható annak kiváltására.

A méréshez a bemenő szinuszos jelből először egy azonos frekvenciájú, TTL feszültség-szintekkel rendelkező négyszögjelet kell előállítani. Egy komparátor nem invertáló bemenetére a mérendő jelet, az invertáló bemenetre pedig föld potenciált kötöttem. Így amikor a szinuszos jel értéke átlépi a 0V-ot, azaz a komparátor pozitív bemenetén lévő feszültség nagyobb lesz a negatív bemeneten lévő feszültségnél, a komparátor kimenetén annak tápfeszültsége, jelen esetben +5V jelenik meg. Ezzel a megoldással egy közel azonos nullátmenettel rendelkező négyszögjelet kapunk.



3.13. ábra. Az frekvenciamérő áramkör kapcsolási rajza

Az így előállított négyszögjelet egy 74HCT4040-es számláló áramkör bemenetére vezetem, és kimenet legalsó helyiértékét használtam fel a kapuzás vezérlésére, ez a jel ugyanis pontosan egy periódus idejére vesz fel logikai magas értéket. Amíg a jel magas állapotban van, a Q4-es tranzisztor segítségével zárt állapotban tartja a Q2-es tranzisztort, ami így nem változtatja meg a számláló jelet. A vezérlő jel alacsony állapotában a Q2-es tranzisztor nyitva van, a számláló jelet föld potenciál közelébe húzza, így megszűnik a számlálás. Ez a tranzisztoros kapcsoló fokozat tehát tulajdonképpen egy invertert valósít meg. Közvetlenül a frekvenciaosztó kimenete után elhelyeztem egy 1kΩ-os soros ellenállást is, amelynek feladata az áramkör védelme a hirtelen áramoktól, amik akkor alakulhatnak ki, amikor a kapcsoló fokozat az IC kimenetét rövidre zárja.

Ahhoz, hogy a kapuzást vezérlő jel minden mérési ciklusban csak egyszer lépjen fel, az vezérlő jel lefutó éle után egy 1 értékűre állítok be SR flip-flop-ot, amelynek a kimenete

Reset állapotban tartja a kapuzó jelet előállító számlálót mindaddig, amíg a flip-flop Reset lábát egy vezérlő vonal segítségével fel nem húzzuk.

A mérendő jelet egy 74HCT4040-es típusú számláló bemenetére vezettem, ami minden felfutó élre számol. A számláló értékének kiolvasását a digitális bemenetekkel végezzük, ez még a precízebb mérő-áramkör esetén is elegendő lesz, hiszen összesen 24 van belőlük. A digitális bemenetekről történő megfelelő leválasztást ún. Bus Driver áramkörök látják el.

Bár a fentebb leírtak miatt különösebben nem indokolt, a rendszer következő verziójába mégis egy az előbbinél sokkal pontosabb frekvenciamérést terveztem, ugyanis a továbbfejlesztés viszonylag kevés időt és új elemet igényelt. Az ECU a vizsgált tartományban ezred Hz pontossáig képes mérni a keréksebesség szenzorok frekvenciáját, ezért a következő verzióban célszerűnek tartottam én is olyan mérési környezetet kialakítani, amely különbséget tud tenni az 1000Hz és az 1000.0001Hz értékek között. Az jelenlegi kvarckristály helyett egy 40Mhz-es kerül majd az áramkörbe, amelyből az 1/8-os leosztással előállított 5Mhz-es órajelet használjuk a méréshez. Alsó határnak válasszuk az 1Hz-es jelek mérését, így legalább egy 23 bites számlálóra lesz szükségünk ($2^{23} = 8388608$), ami a jelenleg használt 12 bites modellből kettőt összekapcsolva egyszerűen kialakítható.

3.8. Tesztpontok

Az esetleges hibák könnyebb feltárása érdekében a lehető legtöbb mért jelet szerettem volna tesztpontokon is megjeleníteni. Sajnos a huzalozás során kiderült, hogy ez nem olyan egyszerű, ezért idő hiányában a kártya első verziójában csak a legfontosabb jeleket vezettem ki tesztpontokra. Ezek a következők:

- Digitális kimenetek
- Digitális bemenetek
- Analóg kimenetek
- Keréksebesség szenzor jelei

Amint látható igazából csak az analóg bemenetek tesztpontjai hiányoznak az első verzióról, ez azonban nem feltétlenül jelent problémát, tekintve, hogy a legtöbb analóg bemenettel mért értékhez viszont van tesztpont rendelve.

3.9. Állapotjelző LED-ek

A kártya élesztése és bemérése során, valamint a jövőbeli használat során is nagy segítséget nyújthat, ha mindig rögtön el tudjuk dönteni, hogy pontosan melyik vezérlő vonalak vannak bekapcsolva, és melyiknek nincsenek. Ennek egyik módja természetesen az, ha digitális multiméter segítségével megmérjük a rajtuk lévő feszültség szinteket, ez azonban nehézkes, és egy-egy rossz mozdulattal rövidzárlatot is okozhatunk a panelon. Ezért döntöttem úgy, hogy minden portexpander IC GPIO lábán elhelyezek egy nem túl nagy fényerejű állapotjelző LED-et is, így konkrét mérés nélkül is megállapíthatjuk, hogy éppen melyik funkciók

tesztje folyik, mik vannak bekapcsolva, és melyek nincsenek. Ez összesen 43 LED-et jelent, ami bár első hallásra soknak tűnhet, de reményeim szerint sokat fognak még segíteni a tesztek során.

4. fejezet

A nyomtatott áramkör megtervezése

Amint elkészültem a kapcsolási rajz egy véglegesnek mondható változatával, elkezdhettem megtervezni a nyomtatott áramköri kialakítást. Első lépésként ilyenkor a mechanikai tervek elkészítése szokott következni, ami bár általában nem a villamos szakemberek feladata, mégis szoros kölcsönhatásban van a tényleges áramköri tervek kialakításával. A fizikai kialakítás sokszor még a kapcsolási kialakítást is befolyásolhatja, előfordulhat, hogy bizonyos alkatrészek cseréjére vagy a kapcsolat megváltoztatására is szükség lehet a méretkorlátokból adódóan.

Bár a legtöbb projekt a Knorr Bremse-nél is a fent leírtak szerint történik, rendszerint nagyon szigorú méretbeli megkötésekkel, nekem nagy szerencsém volt, saját magam határozhattam meg a tesztelő hardver méreteit, ebben tulajdonképpen semmihez nem kellett igazodnom. Az egyedüli kritériumok a következők voltak:

- Fizikai kiterjedésben ne haladja meg a terheléskártyákat (kb. 250mm x 300mm)
- Asztali eszközként legyen használható
- Ergonómikus kialakítású legyen, viszonylag jól kialakított teszt pontokkal, és jól olvasható visszajelzésekkel
- Legyen stabil, a SimCard csatlakoztatása után se dőljön meg, vagy boruljon fel könnyen

Ezek alapján az alkatrésszámból és az összeköttetések bonyolultságából kiindulva, első körben egy 250mm x 250mm méretű panel kialakítását tűztem ki céloml.

4.1. A felhasznált tervezői program

A nyomtatott áramkör megtervezését a PADS Layout nevű CAD-programmal végeztem, ami bár különálló programként működik, mégis bizonyos mértékben összeköthető a PADS Logic kapcsolási rajz tervezővel, ami nagy segítséget nyújt a tervezés során. Bár első körben úgy gondoltam, hogy intuitív módon találom ki a program működését az Altium Designer használatakor begyűjtött tapasztalatok alapján, hamar rá kellett jönnöm, hogy a használati útmutatók elolvasása nélkül nem fogom elérni az elvárt eredményt. Bár személyesen

jobban preferálom az Altium tervezői programját, a kezdeti nehézségek áthidalása után ennek a szoftvernek a használatával is mindent meg tudtam valósítani.

4.2. Alkatrészlenyomatok

A tervezés első lépései közé tartozott a felhasznált alkatrészek footprint¹-jeinek ellenőrzése, a hiányzó alkatrész lenyomatok elkészítése.

A legtöbb nyomtatott áramkör tervező CAD program rendelkezik valamilyen alkatrészkönyvtár-csomaggal, amelyben elérhetőek a leggyakrabban használt és legelterjedtebb alkatrészek footprintjei, lehetőség szerint akár több formátumban is.

A PADS Layout esetében ez egy IPC-szabványt megvalósító segédprogrammal van megoldva, a Mentor Grapichs LP Viewer-el. Ez a program a legtöbb alkatrésztípushoz (furat-, és felületszerelt alkatrészek, csatlakozó típusok, BGA tokozású chip-ek, stb.) tartalmazza a megfelelő szabályrendszerek használatával elkészített footprinteket. Így a legtöbb esetben a feladatomban arra korlátozódtam, hogy az alkatrész könyvtárból kiválasszam a megfelelő típusú lenyomatot, és hozzárendeljem a kérdéses alkatrészhez.

A Knorr-Bremse-nél a LabCar fejlesztő csoport rendelkezik saját készítésű alkatrész-könyvtárral is (LabCar és LabCar Accessories), melyekben a speciálisabb ámsokat használt alkatrészek vannak definiálva. Egyes elemeknél a footprint a PADS alkatrészkönyvtárból származik, és csak az áramköri jelölések és tulajdonságok, egyéni paraméterek feltüntetése miatt került saját könyvtárba. Más elemeknél szükséges volt footprint elkészítése is, ilyen például a Harting márkájú 160 lábú csatlakozó. Az alkatrészválasztások során mindig előnyben részesítettem a csoportnál már használt és bevált típusokat, ezeknek egyik eddig nem említett oka az volt, hogy már megtalálhatóak voltak az alkatrészkönyvtárakban, ami a tervezés ezen folyamatában nagy időmegtakarítást jelentett.

Saját rajzolású volt például a banánhüvelyek footprint-je, amely egy tipikusan egyszerű lenyomat, hiszen tulajdonképpen csak egy fémezett falú furat átmérőjét és a körülötte lévő forrasztási felület nagyságát kellett meghatározni. Azért említem meg ezt a példát, mert még az egyszerű feladatoknál is könnyű hibát elkövetni, én a gerber fájlok vizsgálata közben vettem észre például, hogy ezeknél a lenyomatoknál elfelejtettem kinyitni a forrasztásgátló maszkot.

4.3. Tervezési szabályok beállítása

Szintén érdemes még a tervezés megkezdése előtt átgondolni, hogy milyen tervezési szabályoknak fogunk eleget tenni a panel készítése során. Itt kell meghatároznunk, hogy mi lesz az előforduló legkisebb és legnagyobb vezeték szélesség, hogy az egyes elemek (mint például furatok, rézvezetékek, alkatrészek, viák) legfeljebb milyen közel helyezkedhetnek el egymástól (angolul: Clearance). Ezt a miniális távolságot lehetőségünk van különböző értékűre választani az egyes elem típusok között, például az alkatrészek közötti távolság minimális értéke nagyobb lehet, mint a vezetékek közötti minimális távolság.

¹Footprint: tartalmazza az alkatrész lábaihoz rendelt rézfelületek méreteit és elhelyezkedéseit

Minél kisebb a minimális vezeték szélesség, természetesen annál egyszerűbb és kényelmesebb behuzalozni a sűrű területeket, azonban általános érvényűnek tekinthető az is, hogy mindig az alkalmazott legkisebb vezeték szélesség és távolság határozza meg a NYÁK-gyártás költségeit. Általában minden gyártó esetében van egy olyan minimális rajzolatfínomosság, ameddig garantálják a hibamentességet.

Az áramkörön a legkisebb vonalvastagságot 0.2mm-ben definiáltam, ez egy olyan érték, amelyet a NYÁK-ot gyártó Contech Kft. még nagy biztonsággal meg tud valósítani. Általánosan azonban kerültem az ilyen vékony huzalozást, a jelvezetékek szélessége szintén mindenhol 0.3mm, míg a tápvezetékeké 0.4-2mm között változott. Nagyobb áramok esetén oda kell figyelni a megfelelő vezeték szélességre és vastagságra, jelen esetben azonban nem volt szükség ilyen irányú precíz számolásokra, hiszen a panel átlagos áramfelvétele nem több 200mA-nél (Egy külső rétegen lévő 0.3mm szélességű és 35µm vastagságú rézhuzal képes 1A áramot tartósan elviselni úgy, hogy közben maximum 10C fokot emelkedik a hőmérséklete). [2]

A clearance-t mindenhol 0.3mm-re állítottam, ennél kisebb érték esetén az alkatrészeknél néhol már nehézkessé vált volna a beültetést elősegítő referenciaszámok és pozícióábrák elhelyezése.

A panel rétegszámát egyértelműen a 160 pin-es csatlakozó szabta meg, amelyről két rétegen nem lehetett minden jelet megfelelően kivezetékezni, ezért 4 réteg használata mellett döntöttem. Mivel nagy áramokra nem volt szükség, jelvezetékéből viszont nagyon sok volt, nem mindenhol tartottam be azt a konvenciót, hogy a belső két rétegre kerüljenek a tápfeszültségek és a különböző föld-ek, ezeket sok helyen átmenő furatokkal, és belső jelvezetékekkel kellett felszabdalom.

Az áramköri rétegek közötti átvezetésekét via-kal oldottam meg, amelyek relatív kis átmérőjű, furatgalvánal rendelkező átmenő lyukak. Jelvezetékek esetén az általánosan elfogadott 0.4mm-es furatátmérőjű via-kat használtam, tápvezetékek esetén 0.6mm és 0.65mm-eset.

4.4. Az alkatrészek elhelyezése

Az alapvető szabályok beállítása után és az alkatrész lenyomatok összegyűjtése után következett az alkatrészek elhelyezése az áramköri lapon. Ez a feladat különösen nagy fontossággal bír, egy jó alkatrész elhelyezési terv ugyanis már fél megoldás lehet az áramkör megtervezéséhez.

Az első lépés a **Harting** csatlakozó elhelyezése volt, amit a szimmetriai okokból a panel közepén helyeztem el. Ez a megoldás azért tűnt előnyösnek, mert így a panelra 90fokos szögben csatlakozó szimulátor kártya kevesebb valószínűséggel teszi instabillá azt. Talán ennek a csatlakozónak a megfelelő elhelyezése okozta kezdetben a legtöbb nehézséget, ugyanis ez a csatlakozó két részből áll, amelyeket préseléssel, két oldalról rögzítünk a panelhoz, így első ránézésre nem egyértelmű, hogy melyik oldalra kerül majd a szimulátor kártya. Én mindenképpen a felső oldalra szerettem volna a **SimCard**-ot helyezni, és így biztosítani egy elfekvő teszt környezetet, azonban első nekifutásra nem sikerült eltalálnom a megfelelő

pozíciót, ami abból adódott, hogy a csatlakozó lenyomata az én nézőpontomból a hátsó oldalt jelentette. Jó azonban, hogy először ennek az alkatrésznek az elhelyezésével bajlódtam, másképp egy ilyen hiba miatt az összes többi elemet újra kellett volna rendezni.

Ezt követően funkcionális blokkok szerint rendeztem az alkatrészeket, és jól elkülöníthető csoportokra bontottam őket, így az egyes blokkok már együtt mozgathatókká váltak. A PADS Layout-ban alapértelmezetten halványan megjeleníti az egyes alkatrészlábak közötti kapcsolatokat, ezt azonban a tervezés elején kénytelen voltam kikapcsolni, mert teljesen átláthatatlanná vált tőle a tervezési felület.

Az egyes blokkokat igyekeztem úgy pozicionálni a központi csatlakozóhoz képest, hogy a lehető legrövidebb úton behuzalozhatóak legyenek, ez azonban nem volt olyan egyszerű, mert a 160 lábú csatlakozón az egy funkcionális csoportba tartozó vezetékek az ellentétes oldalakon helyezkedtek el.

Közel minden felhasznált IC táp-bemenete és a föld közé elhelyeztem egy-egy 100nF-os kondenzátort, ami a tápfeszültségen kialakuló nagyfrekvenciás zavarok megsűrését hivatott ellátni. Ezeknél az alkatrészeknél nagyon fontos volt az elhelyezés, hiszen csakis abban az esetben látnak el megfelelő zavarvédelmet, ha a hozzájuk tartozó áramkör közvetlen közelében helyezkednek el. Néhány helyen az alkatrész és vezetéksűrűség megkívánta a 0603-as méretű kondenzátorok használatát az általános 0805-ös helyett.

A kártyán az egyetlen nagy sebességű adatvonal a CAN-busz volt, amely az operációs rendszerrel való kommunikációért felel. Az ehhez tartozó D-SUB csatlakozót ezért igyekeztem úgy elhelyezni, hogy a CAN-H és CAN-L vonalak mindvégig egymás mellett, a lehető legkevesebb ide-oda kanyargással tudjanak haladni. A CAN lezáró ellenállásokat közvetlenül a csatlakozó mellett helyeztem el.

A tápfeszültség csatlakozókat szemből nézve a panel alján helyeztem el, itt kaptak helyet a különböző tápfeszültség előállításal kapcsolatos áramköri megoldások is. Az áramköri védelmet ellátó diódákat és biztosítékokat közvetlenül a bemenet után helyeztem el. Fontos volt emellett a bemenet puffer-, és szűrőkondenzátorainak megfelelő elhelyezése is, ezek nem megfelelően átgondolt pozicionálása nagyban csökkenti hatékonyságukat.

Az egyes tápfeszültségek meglétét visszajelző LED-eket közvetlenül a picoPSU mellett helyeztem el, így elkülönülnek az áramkör többi részétől és gyorsan ellenőrizhetővé válnak.

A tesztpontokat először funkcionális csoportokra bontva a panel egyik szélén helyeztem el, később azonban kiderült, hogy az összes jel kihozatala a panel szélére irreálisan sok plusz munkát igényelne, és a jelen verzió szempontjából nem is igazán fontos, ezért ezeket beljebb mozgattam, mindegyiket a hozzá kapcsolódó áramköri blokk közelébe.

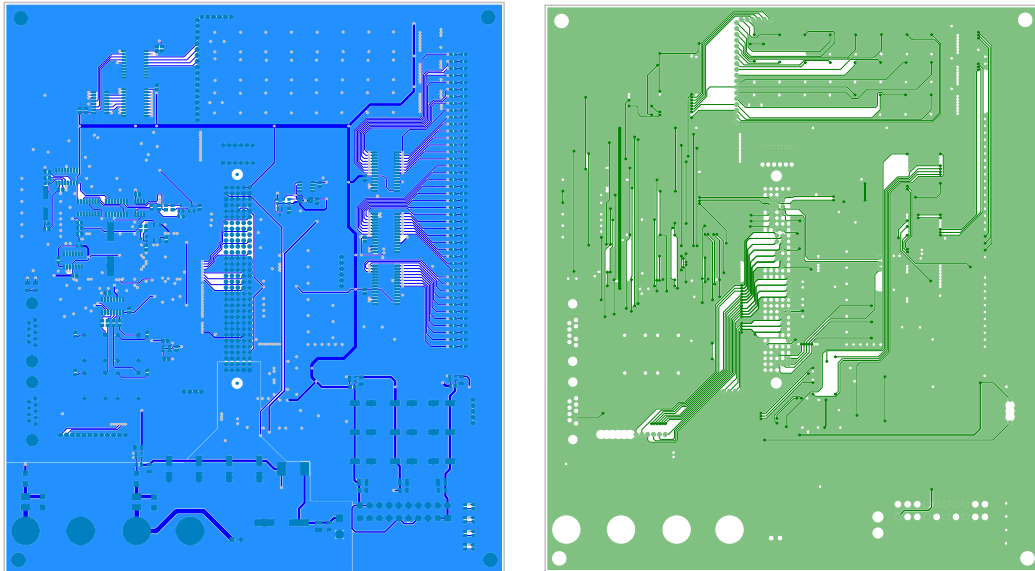
A tápfeszültségek tesztpontjait közvetlenül a tápfeszültségelőállító áramkörök közelében, a panel szélén helyeztem el, ezáltal a tápfeszültségeket nem az alkatrészek lábain kell majd ellenőrizni.

A már meglévő alkatrészek mellé elhelyeztem további négy fémezett falú 3mm átmérőjű furatot is a panel 4 sarkában, amelyek M3-as csavarral rögzíthető távtartóknak lettek kialakítva, de felhasználói belátás szerint használhatóak az áramkör más típusú rögzítéséhez is.

Így összességében nem mindenhol használtam maximális sűrűségű elrendezést, de ez

nem is feltétlen volt cél ennél a verziónál. Mivel egészen biztosan készülni fog belőle egy következő változat is, ott már valószínűleg több időm lesz egy kisebb panelra sűríteni az alkatrészeket, és egy még professzionálisabb kialakítást létrehozni.

4.5. Huzalozás



(a) Felső réteg

(b) Az egyik középső réteg

4.1. ábra. Huzalozás a felső és a második középső rétegen

Az alkatrészek elhelyezése után hozzáláthattam a huzalozásnak. Bár a PADS rendelkezik `AutoRouter` funkcióval, amely képes lett volna az egész áramkör behuzalozására, azonban ennek a pontos felprogramozása hozzáértést és még annál is több időt igényel, emellett lehet, hogy még így is bele kell nyúlni a gép által generált vezetékelrendezésbe. Ezen okokból én a kézi huzalozás mellett döntöttem, de nem vettem el teljesen az `AutoRouter` használatát: a végső alkatrészrendezés megtalálása előtt többször is ellenőriztem, hogy az automata mennyire egyszerűen és milyen gyorsasággal tudja behuzalozni az egyes változatokat, és ezek közül a legkedvezőbbet választottam, hiszen nagy valószínűséggel számomra is azt lesz a legegyszerűbb megvalósítani.

A kézi huzalozás sok esetben idegőrlő munkának bizonyult, nem egyszer fordult elő, hogy több órányi vezetékezést kellett úgymond vissza-törölni, mert a végén kiderült, hogy "zsákutcába" vezet. Az ilyen jellegű nehézségek azonban legtöbb esetben a személyes tapasztalom hiányából adódtak a nyomtatott áramköri tervezésben.

Mindenhol törekedtem rá, hogy ne alakítsak ki derékszögű töréseket a vezetékben, hiszen minden ilyen pont reflexiók forrása lesz. Kerültem az egymáshoz hegyes szögben (60 fok alatti) csatlakozó rézfelületeket, itt ugyanis érvényesül a csúcshatás, kialakuló térerősség pedig a lekerekítési sugár és a nyílásszög csökkenésével fordított arányban rohamosan nő. [5]

Sajnos nem mindenhol tudtam elkerülni, hogy vezetékeket futtassak be az alkatrészek

alá, egyes esetekben ez elkerülhetetlen volt. Ennek a hátránya pont az ilyen első generációs eszközökön érvényesül, ahol a lehetséges javítások és mérések útjában állhat, hogy nem férünk hozzá fizikailag az alkatrész alatt futó vezetékekhez.

A huzalozás alatt igyekeztem folyamatosan bekapcsolva tartani a DRC-t², ezzel bizonyos szintig elkerülhetővé vált, hogy egy-egy vezetéket a túoldalón véletlenül rövidrezárjak egy rossz helyre helyezett via-val, vagy hogy túl közel húzzam egymáshoz a vezetékeket, amiknek javítása a későbbiekben sokkal nagyobb munkába kerülne. Bizonyos esetekben kénytelen voltam megválni azonban ettől a hasznos funkciótól: mivel az alkatrész - vezeték távolságot 0.3mm-ben minimalizáltam, az egyik igen sűrű lábú IC esetében nem engedte bekötni az egyes lábakat, ezért ki kellett kapcsolnom egy kis időre. A DRC itt teljes joggal jelzett, hiszen megszegtem az előre felállított szabályokat, én azonban tudtam, hogy az itt használt távolságok is bőven a gyártási határon belül vannak, ezért ebben az esetben figyelmen kívül hagytam a jelzéseket.

Az olyan területeken, ahol sok az egymást keresztező kapcsolat, az egyik rétegen csak függőlegesen, míg a másik oldalon csak vízszintesen vezettem a jelvezetéseket, így minden esetben sikerült utat találnom az egyes vezetékeknek.

Az alkatrészek föld lábait szándékosan nem kötöttem be, csak az utolsó lépésben, az ilyen potenciálú területeket ugyanis nem vezetékkezéssel, hanem réz kitöltéssel kívántam összekötni. Az egyes földpotenciálokat csillagpontban földeltem a csatlakozóhoz közel, így kiküszöbölhető, hogy digitális rész által keltett nagyfrekvenciás jelváltozások zavarokat keltsenek az analóg rész földjében. Ennek a szintű zavarvédelemnek jelen esetben azonban inkább elméleti, mint gyakorlati szerepe van, hiszen az egyes méréseket az esetek túlnyomó részében egymás után fogja végrehajtani az áramkör, tehát a nagyfrekvenciás digitális és az analóg részek jóformán nem fognak egy időben működni.

Minden alkatrészt igyekeztem úgy forgatni és elhelyezni, hogy föld lábai a réz kitöltés szempontjából elérhető legyenek, mégis előfordult, hogy bizonyosakat nem lehetett azonos oldalon bekötni. Ilyenkor egy via-val kötöttem hozzá egy másik réteg azonos földjéhez az adott lábat.

Mind a négy réteget föld potenciálon lévő részfelületekkel futtattam ki, ugyanis a tápokon történő kis áramfelvétel miatt a tápok vezetékkel való bekötése is elegendőnek bizonyult. Fontos, hogy minden réteget közel ugyanolyan mennyiségben borítson részfelület, és hasonló hőkapacitással rendelkezzenek. Ellenkező esetben előfordulhat, hogy az alkalmazott hő miatt az egyes lemezek eltérő módon tágulnak, és deformálódik a panel.

A kifuttatott rézréteg és az alkatrészlábak egyik fontos beállítása, hogy hogyan kapcsolódnak egymáshoz. Az alapértelmezett beállítás szerint egyes alkatrészek és furatok teljes felületükön érintkeztek az őket körülölelő rézzel, ami bár jó elektromos vezetést tesz lehetővé, azonban megnehezítheti, vagy akár el is lehetetlenítheti az alkatrészek beforrasztását, ugyanis a réz rendkívül jó hővezető, így a forrasztópáka által leadott hő nagyrészt képes elvezetni a panel többi részére. Ennek hatására kézi forrasztásnál nagyon nehézkessé válik az adott furat/láb felmelegítése, gépi forrasztás során pedig lehet, hogy a paszta meg sem

²DRC: Design Rule Checking - egy olyan hasznos funkció, ami tervezés közben folyamatosan figyel az előírt fizikai szabályok betartására, mint például a vezetékcsélesség, vagy vonal távolság.

ömlik, és nem jön létre a kívánt elektromos kötés.

Ennek elkerülésére úgynevezett hőcsapdákat alkalmaznak a kapcsolódási pontoknál, ilyenkor több vékonyabb vezetékkel kapcsolódik a láb vagy via a rézkitöltéshez. Ezeknek a vezetékeknek természetesen manuálisan utánállíthatjuk a szélességét, amennyiben nagyobb áramot vivő kapcsolódási pontról van szó.

4.6. A panel feliratozása

A huzolozás befejeztével meg kellett tervezni az úgynevezett "Silk Screen", azaz szitázott felirat rétegeket, itt lesznek megjelenítve ugyanis az egyes alkatrészek referncia számai és pozíció ábrái amik nagyban megkönnyítik a beültetést és az utólagos hibafeltárást. A referenciaszámok elhelyezésénél kizárólag két orientációt használtam, így az elnevezések olvasásához nem kell egyfolytában forgatni a panelt. Szintén ezen a rétegen helyeztem el a teszt pontok elnevezését és funkcionális blokkokba rendezését.

4.7. Ellenőrzés

Bár az áramkör már látszólag elkészült, és ezt magamban is így könyveltem el, következett egy jellemzően nem túl népszerű feladat, a hibák megkeresése és javítása az áramkörön. A Knorr Bremse-nél eltöltött lassan háromnegyed év alatt több olyan esettel is találkoztam, ahol egy áramkör hibás működését az okozta, hogy figyelmen kívül hagytak egy a CAD program által jelzett jelentéktelennek tűnő hibát. Ennek fényében elhatároztam, hogy tüzetesen végigmegyek az összes ilyen figyelmeztetésen, majd ahol csak lehetőségem van, igyekszem megtalálni a hiba okát, és kijavítani azt. Sajnos azon sejtésem, miszerint sikerült majdnem hibamentes áramkört terveznem nem bizonyult igaznak, a hibaellenőrzés közel háromszáz kritikus pontot talált első futtatásra.

Két féle hibát kell megkülönböztetnünk: az egyik az úgynevezett clearance hiba, ami akkor lép fel, ha egyes vezetékek, alkatrészek vagy via-k közelebb vannak egymáshoz mint az általunk szabályként meghatározott távolság. A másik hiba típus a "connectivity error", azaz kapcsolódási hiba, ami azt jelzi, hogy két pont, amelyeknek kapcsolódnuk kellene egymáshoz, nincsenek összekötve.

Ez az ellenőrzési fázis sokkal több időt és energiát emésztett fel, mint amire előzetesen számítottam, de bőven megérte az áldozatot: több olyan kapcsolódási hibát is felfedeztem, ami akár használhatatlanná is tehetné az elkészült áramkört.

Szintén az ellenőrzés résznél kell megemlítenem a 160 lábú csatlakozó helyes bekötésének ellenőrzését. Itt sajnos a magas lábszámból adódóan elég nagy az esély a hibázásra, és kevés hely miatt ezt utólag javítani is igencsak nehézkes volna. A PADS Logic esetében azonban rendelkezésünkre áll egy olyan funkció, amivel szöveges kimenetbe tudjuk elmenteni az egyes csatlakozók lábaihoz tartozó jeleket. Emellett rendelkezésemre állt a **SimCard** csatlakozójának bekötési dokumentációja excel formátumban. A két fájlt azonos formátumra hozva egymás mellett tudtam megjeleníteni az egyes lábszámokhoz tartozó jeleket, és sikerült két elkötési hibát is feltárnom, ami a későbbiekben lehet, hogy nehezen derült volna ki.

Előfordulhatnak sajnos olyan hibák is, amelyekre nem világít rá a tervezőprogram, ezért könnyű átsiklani felettük. Ilyen tipikus hiba lehet például, ha egyes helyeken nincs kinyitva a forrasztásgátló maszk, vagy olyan helyeken van kinyitva, ahol nem kellene. Ezeket a legegyszerűbb a Gerber-fájlok³ vizsgálatával felderíteni.

A felső és alsó rétegek vizsgálata során sikerült is találni pár hibát: a tápcsatlakozók banánehüvelyeinél nem volt kinyitva a forrasztásgátló maszk, ahogyan a furatszerelt DIP kapcsolónál sem, továbbá minden egyes via fölött nyitva maradt a forrasztásgátló maszk, ami nem volt indokolt. Ezeket orvosolva azonban már több hibát nem találtam.

Az elkészült áramkör gerber fájljait, tehát az egyes rétegek lenyomatait és fűrófájlokat már elküldhettük a gyártónak. Általános rézvastagságnak 35um-t adtam meg, a választható forrasztásgátló lakk színek közül pedig a feketét választottam.

4.8. Alkatrész beszerzés

Az alkatrész beszerzését a gyártási folyamattal párhuzamosan végeztem, hogy minden rendelkezésre álljon a beültetéshez mikor a legyártott lemez megérkezik.

Az első teendő az alkatrész lista (BOM - Bill Of Materials) kigenerálása a tervező programból, és jól olvasható excel formátummá alakítása. Ezt követően sorra vettem azokat az alkatrészeket, amelyekből sok van raktáron a Knorr Bremse-nél, vagy amelyeket magánszemélyként igencsak nehézkes beszerezni. Ilyenek voltak a picoPSU, valamint a sebességjel szenzor terheléséhez használt transzformátor tekercsek.

Nagy előnyt jelentett, hogy a kapcsolási rajz megtervezése közben szinte minden felhasznált alkatrész tulajdonságainál beállítottam a disztribútort és a disztribútor specifikus azonosítót, így minden elem gyorsan azonosíthatóvá és visszakereshetővé vált. Sajnos egyes alkatrészek azóta kifutott terméké váltak, ezekhez olyan helyettesítő alkatrészeket kellett keresni, amelyek fizikai kialakítása, lábkiosztása és működése a régivel megegyező.

A passzív alkatrészek nagy részét és az elterjedtebb integrált áramköröket a magyar Lomex Kft.-től rendeltem meg, míg a speciálisabb áramköröket egy nemzetközi disztribútortól, a Farnell-től vásároltam. Szerencsére így sem volt túlságosan drága, és külföldi raktárkészlet esetén is legfeljebb 3 nap szállítással kellett számolni, ami nagyon kedvező volt a rendelkezésmre álló kevés idő miatt.

³A Gerber fájl egyértelmű és már évek óta egy standard gyártási formátum a nyomtatott áramkör gyártásban.

5. fejezet

Az áramkör felélesztése

A nyomtatott áramkör megérkezése és az alkatrészek beszerzése után következett a hardver beültetése és felélesztése.

5.1. Beültetés

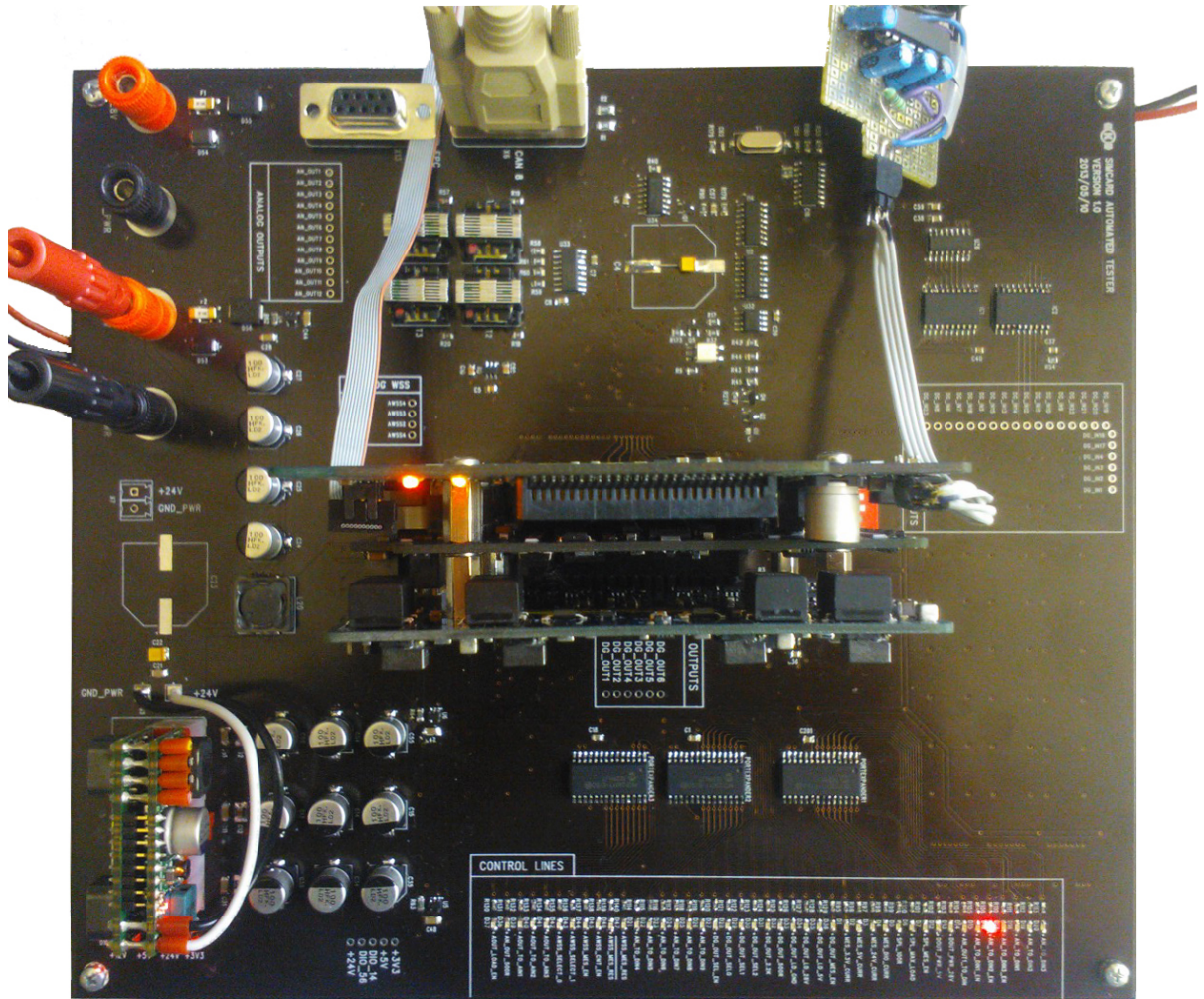
Az alkatrészek beültetését kézzel végeztem, forrasztópáka és forraszpaszta segítségével. A két ültetési technológia használatára azért volt szükség, mert a nagyobb, furatszerelt alkatrészeket (trafók és picoPSU foglalat) kényelmesebb volt nagyobb fejű páka segítségével forrasztani, míg a kicsi, 0603-as¹ méretű alkatrészeket a pad-ekre felvitt forraszpasztába helyeztem bele. A forraszpaszta megömlésztéséhez szükséges hő nem reflow kemencével, hanem kézi hőlégfúvóval biztosítottam. Ebben az esetben nem volt szükséges az alkatrészeket pontosan elhelyezni, a megolvadó forrasz mindig pontos pozícióba húzta őket.

Nehezebb volt azoknak a lábaknak a beforrasztása, amelyek valamilyen földkiöntéshez kapcsolódtak, ilyenkor a hő egy részét a rézfelület elvezette, ezért ezek a pontok hosszabb melegítést igényeltek.

A panel egyes részein egymáshoz közel helyezkednek el a alacsonyabb és magasabb alkatrészek, itt sok múlik a beültetés sorrendjén. A picoPSU kimeneteinél például odafigyeltem, hogy először a kisebb, 10 μ F-os és 100nF-os kondenzátorokat forrasztottam be, és csak ezután a nagyobb elektrolitokat, fordított sorrendben a kevés hely miatt nehéz lett volna a páka használata. Általános szabályként célszerű tehát először mindig az alacsonyabb és csak utána a magasabb alkatrészeket beültetni.

A beültetést nem egyszerre, hanem funkcionális blokkonként végeztem, így az esetleges elköltésekből adódó károk minimalizálhatók. Az első beültetett egység a tápellátás és a bemeneti védelem volt. A +24V és +28V feszültségek rákapcsolására a picoPSU stabilan előállította a szükséges feszültség szinteket, az előzetesen instabilnak gondolt charge-pump IC is stabil -5V-ot állított elő és a tápfeszültség visszajelző LED-ek is megfelelően működtek. A bemeneti védelem tesztelése során kiderült, hogy az megfelelő védelmet biztosít mind a fordított polaritású bekötés, mind a túlfeszültségek ellen. Ezen információk tudatában már magabiztosabban folytattam az ültetést.

¹A 0603-as méretjelölés 1,6 mm hosszú és 0,8 mm széles tokozásra utal



5.1. ábra. A beültett áramkör az első tesztek során, középen a szimulátor kártyával, a bal alsó sarokban a picoPSU-val

Sajnos a beültetett egységek működését nem tudtam menetközben ellenőrizni, hiszen sok a blokkok közötti egymástól való függés, azonban azt meg tudtam nézni, hogy a tápfeszültség rákapcsolása nem tesz-e kárt valamelyik alkatrészben, vagy nem keletkezik-e rövidzár valamilyen elkötés miatt, így a hiba gyorsan megállapítható. Szerencsére egy ilyen problémával sem találkoztam.

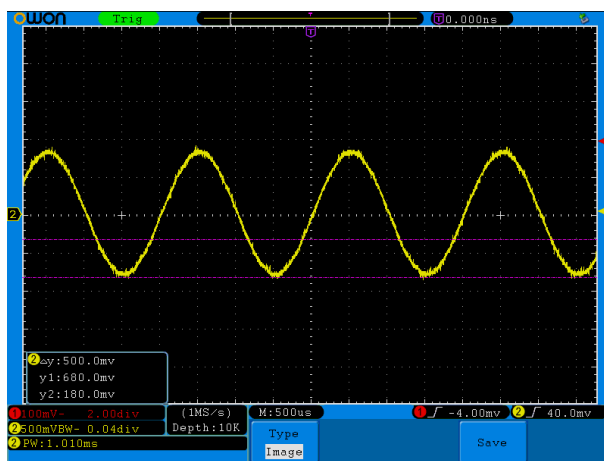
5.2. Mérések és funkcionális tesztek

Miután minden alkatrész a helyére került, következhetett a kártya funkcionális tesztelése. A funkcionális blokkokat egyenként teszteltem.

Elsődleges szempont volt a vezérlés helyes működése, a többi egységet ugyanis csak így lehet egyszerűen ellenőrizni. Egy jól működő szimulátor kártyát csatlakoztattam a panelhez, feszültség alá helyeztem az eszközt, és megpróbáltam CAN-en keresztül kommunikálni a kártyával, ami azonnal sikerült. A panelen lévő EEPROM memória tárolja el, hogy hány vezérlő vonal van és hogy ezek melyik PortExpander lábakra kapcsolódnak. Bár a Port-

Expander IC-k fizikai elhelyezése nem követte a címzési sorrendet, így megoldhatóvá vált, hogy a panelen jelölt vezérlő vonalak sorrendje és a vezérlő bitek sorrendje megegyezzen. Az EEPROM tartalmát I2C protokollon keresztül töltöttük fel, ezt követően a vezérlővonalak rögtön használhatóvá váltak. Az egyes vonalak állapotát minden esetben egy jól látható piros LED jelzi.

Mielőtt az egyes funkciókat sorban elkezdtem volna ellenőrizni, megvizsgáltam, hogy minden jel, amit a szimulátor kártya generál helyesen jelenik-e meg a tesztpontokon. A sebesség szenzor jelei, az analóg kimenetek és a digitális kimenetek is hibátlanok voltak.



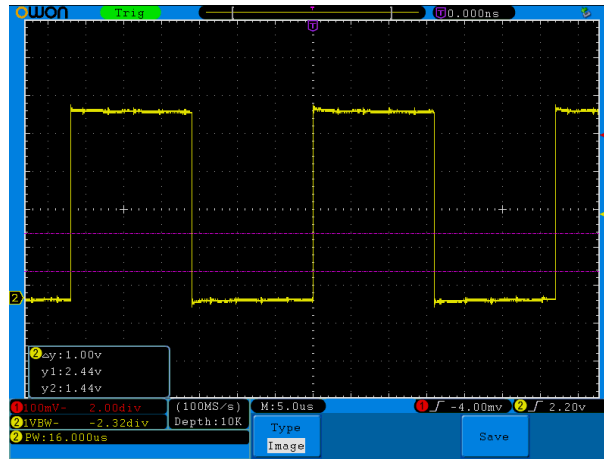
5.2. ábra. A kiválasztott wheelspeed jel az analóg multiplexer kimenetén (1,64V PK-PK, 500Hz)

A sebességszenzor jelek tesztjét vizsgáltam meg következő lépésként. A jeleket kiválasztó analóg multiplexer megfelelően működött, a vezérlő vonalakkal kiválasztott jelet rakta ki a kimenetére, torzítás nélkül, ez látható a 5.2 ábrán. A jel felső maximuma 820mV körüli, erre a jelre az amplitúdómérő áramkör kimenete 816mV értéket mutatott, ez a fajta pontosság esetünkben bőven elfogadható. A mérő-kondenzátor kisütését végző tranzisztor szintén jól működött, a vezérlés kiadása után 16mV feszültségre csökkentette a kondenzátor feszültségét. A megfelelő vezérlő vonallal az 1. analóg bemenetre tudtam kapcsolni a jelet, ami szintén helyes értéket mutatott.

A frekvenciamérő kapcsolásnál a 31.25kHz-es mérőjel megfelelően előállt a frekvenciaosztó kimenetén. A szinusz jelből négyszögjelet létrehozó komparátor áramkörnél azonban a tervezésnél nem vettem figyelembe, hogy open-collector-os, így a kimenet a föld potenciál közelében "vibrált". A probléma kiküszöböléséhez egy felhúzó ellenállást helyeztem el utólagosan a kimenetre, így már szép jelalakot kaptam.

A frekvenciamérés jól működött, a mérőjelet a vezérlő tranzisztorok alapesetben jól húzták földhöz, a mérés időtartama alatt azonban zárt állapotba kerültek. A számláló kimenetén lévő értékeket eltároló és a digitális bemeneteket leválasztó busz driver IC vezérlése okozott kisebb fejfájást, ezeknek az engedélyezését ugyanis még a mérés előtt engedélyezni kell, különben az értékek nem tárolódnak el megfelelően.

Az digitális bemenetek tesztje megfelelően működött, a tranzisztoros kapcsoló fokozatok képesek voltak a jelek kapcsolására és leválasztására is, mindezt programból vezérelten. Az



5.3. ábra. A 31.25 kHz-es mérőjel

analóg jelet erősítő fokozat tesztelése kisebb meglepetést okozott, mikor a helyes vezérlés ellenére sem akart működni, a hiba oka azonban hamar nyilvánvalóvá vált: a műveleti erősítő +28V-os tápfeszültsége ebben az esetben nem volt csatlakoztatva. A tápfeszültség megadása után az erősítő áramkör megfelelően működött.

Az árammérésekhez használt feszültségek mindenhol helyesen előálltak egyet kivéve, itt véletlenül egy túlságosan kis értékű ellenállást ültettem be, ezért az INA197 kimenetén a tápfeszültségénél magasabb jelnek kellett volna megjelennie, amit az nem bírt kivezérelni. Az ellenállás cseréje után a probléma megoldódott.

Az analóg kimenetek összekapcsolása az analóg bemenetekkel megfelelően történt.

Az egyes terhelések és áramkorlátok mérése nagyrészt feszültségmérésre vezethető vissza, ezeknek a feszültségeknek a meghatározásával a szoftver tervezése során foglalkoztam.

Az élesztések közben pontosan feljegyeztem az egyes állapotok áramfelvételeit. A CPU modul és a kártya együttes áramfelvétele 96mA volt 24V-on, míg mind a három modul (CPU, digitális, analóg) használata esetén ez 260mA / 24V lett kivezérlések nélkül, az egyes funkciók hozzáadódó áramfelvételeit ehhez képest kell vizsgálni.

6. fejezet

Szoftver

Feladatomban nem korlátozódtam kizárólag a hardver megtervezésére és felállítására, nekem kellett megírnom az automatizált tesztek működtető programkódját is. Előnyt jelentett, hogy a SimCard-on lévő StarX mikrovezérlőhöz már nem kellett kommunikációs rutinokat és egyéb funkciókat leprogramoznom, ezekről a csoport tagjai már korábban gondoskodtak, a SimCard elérhető funkciói teljes mértékben vezérelhetők a CAN hálózaton keresztül. Ez lehetővé tette, hogy a KB-Lab operációs rendszer mérési környezetében futtatható programkódot írjak, amely valós időben képes kezelni az egyes ki-, és bemeneteket, továbbá vezérlést adni a kontroll vonalakra.

6.1. A KB-Lab

A különböző mérések és szimulációk futtatásához egy saját fejlesztésű programot használ a Knorr Bremse, az úgynevezett KB-Lab-ot. A KB-Lab tehát egy 32 bites szoftver, amely az "On Time RTOS-32" nevű valós idejű operációs rendszerre épül. A főbb funkciók közé tartozik az analóg és digitális jelek, továbbá CAN üzenetek valós idejű megjelenítése, elmentése, és későbbi feldolgozása. Bonyolultabb mérési folyamatok vagy valós idejű szimulációk leírásához lehetőségünk van a KB-Lab beépített nyelvének, az AutoTest-nek a használatára.

6.2. AutoTest script

A KB-Lab-al történő mérések fontos része a csatornák használata. Minden megmért és elmentett érték egy a csatorna nevével ellátott adatfájlba kerül. Az alapvető be-, és kimeneti csatornákat alapértelmezetten hozza létre a rendszer, ezeken értelemszerűen nem tudunk változtatni, ez ugyanis attól függ, hogy milyen hardverkonfigurációval rendelkezünk. Lehetőségünk van azonban további virtuális csatornák létrehozására, oly módon, hogy valamilyen módon módosítjuk az alapértelmezett csatornák értékeit. Ezeket a csatornákat Formula csatornáknak nevezik, egy egyszerű példa a használatukra: `VoltageDiff = SimCard1-AOUT1 - SimCard1-AOUT2`, ahol a `VoltageDiff` az újonnan létrehozott csatorna neve, amit két meglévő analóg bemenet különbségeként határoztunk meg.

Az AutoTest segítségével könnyedén valósíthatunk meg különböző szimulációkat, azaz

valós időben tudjuk megváltoztatni egyes kimeneti csatornák értékeit, egy előre meghatározott működési szekvenciát hozhatunk létre. Az automatikus teszter működéséhez ezek a funkciók tökéletesen elegendők, hiszen mind a vezérlővonalak, mind a kimenetek értékei változtathatóak, az egyes funkcionális blokkok tesztelése a programban szekvenciális blokkokra bontható.

Működését tekintve egy nagyon egyszerű nyelvről van szó, amely minden mérési ciklusban¹ egy adott lépést hajt végre. Az ilyen lépéseket kulcsszavakkal definiálhatjuk, amelyek alapértelmezetten egymás után sorban kerülnek végrehajtásra. Lehetőségünk van ugró utasítások használatára is, amelyekkel a meghatározott blokkoknál folytathatjuk a programfutást.

Definiálhatunk belső változókat is, én ezt az opciót a tesztet futtató állapotgép állapotának eltárolásához használom. Az egyes lépéseken belül kiemelt szerepe van a `TestPassed` változónak, amelynek a 0 és 1 értékeket adhatjuk meg, ezáltal jelezhetjük a felhasználó felé, hogy az adott funkció tesztelése sikeres volt, vagy sikertelen. A grafikus felület is segíti az egyes kimenetek megkülönböztethetőségét: a sikeres felirat zöld, a sikertelen piros háttéren jelenik meg.

6.3. Vezérlő bitek

Az `AutoTest`-ből a `PortExpander` GPIO lábait 8-bites csatornákon keresztül érhetjük el, amelyek a `Relay1...6` nevekre hallgatnak. A csatornáknak decimális értékeket adhatunk meg, ezek bináris értékének megfelelően állíthatjuk be a vezérlő vonalakat. Az aktuális vezérlő bit sorrendet a 6.1 táblázatban közöltem.

A legelső teendő az analóg be-, és kimenetek együttes ellenőrzése. Amennyiben itt problémát tapasztalunk, mindenképpen le kell állítani a tesztet, hiszen ez az analóg bemenetek hibáját is jelentheti, ez pedig lehetetlenné teszi a keréksebesség szenzor jelek, a digitális ki-, és bemenetek, valamint az áramerősségek ellenőrzését. Egy esetleges hiba ennél a résznél a teszt megszakításával jár.

Szintén az első lépések közé tartozik a megfelelő áramfelvételeket néztem, egyelőre csak teljesen összeszerelt szimulátor kártyára, terhelések nélkül. A teszt állapotát a `TestStage` változóba mentem el. Ha itt abnormális értékeket érzékel a program, akkor szintén leállítja az egész tesztelést, az esetleges károk minimalizálása érdekében.

Bár az ültetésnél már említettem, hogy a szimulátor kártya és a panel együttes áramfelvétele 24V-on 260mA körüli, ez az áram most szétoszlik a különböző tápfeszültségek felé. Az 3.3V-os tápegységen alapértelmezetten nem folyik áram, ahogyan a 12V-oson sem, ezért ez a +24V-os és +5V-os tápokot kell figyelembe venni.

A teljesség igénye nélkül, a jobb szemléltetés érdekében szeretném közölni az analóg be-, és kimeneteket ellenőrző rövid programrészletet, amely a tesz elejét képezi:

¹100Hz-es mérési sebesség esetén a ciklusok 1/100-as másodpercenként hajtódnak végre

```

[AUTOTEST]
#define PASSED 1
#define FAILED 0
Comment = SimCard Tester Version 1.0
TestMax = 1
TestStage = 0

[STEP1]
Comment = Testing Analog Outputs With Analog Inputs - Setting Output Values

//Set analog outputs to 0V
SimCard1_A01 = 0
SimCard1_A02 = 0
SimCard1_A03 = 0
SimCard1_A04 = 0
SimCard1_A05 = 0
SimCard1_A06 = 0
SimCard1_A07 = 0
SimCard1_A08 = 0
SimCard1_A09 = 0
SimCard1_A010 = 0
SimCard1_A011 = 0
SimCard1_A012 = 0
SimCard1_Relay1 = 16 //A megfelelo kimenetek osszekapcsolasa

[STEP5]
Comment = Testing Analog Outputs With Analog Inputs - Checking Inputs
TestPassed = (SimCard1_AI1 == 0) *
(SimCard1_AI2 == 0) *
(SimCard1_AI3 == 0) *
(SimCard1_AI4 == 0) *
(SimCard1_AI5 == 0) *
(SimCard1_AI7 == 0) *
(SimCard1_AI8 == 0)

SimCard1_Relay1 = 12
Goto = (FAILED == TestPassed) * END_OF_TEST

[STEP10]
Comment = Testing Analog Outputs With Analog Inputs - Checking Inputs & Set Outputs
TestPassed = (SimCard1_AI1 == 0) *
(SimCard1_AI2 == 0) *

```

```

(SimCard1_AI2 == 0) *
(SimCard1_AI3 == 0) *
(SimCard1_AI4 == 0) *
(SimCard1_AI5 == 0) *
(SimCard1_AI7 == 0) *
(SimCard1_AI8 == 0)

SimCard1_Relay1 = 16

//Set analog outputs to 5V
SimCard1_A01 = 5.0
SimCard1_A02 = 5.0
SimCard1_A03 = 5.0
SimCard1_A04 = 5.0
SimCard1_A05 = 5.0
SimCard1_A06 = 5.0
SimCard1_A07 = 5.0
SimCard1_A08 = 5.0
SimCard1_A09 = 5.0
SimCard1_A010 = 5.0
SimCard1_A011 = 5.0
SimCard1_A012 = 5.0

Goto = (FAILED == TestPassed) * END_OF_TEST

.
.
.

[END_OF_TEST]
Comment = The automated testing of the SimCard ended, please check out the results above.

```

A felső programrészletben látható, hogy az egyes lépéseket nem egymás után számozom meg, tehát például a **STEP1** -et nem a **STEP2** követi, hanem a **STEP5**. Ennek az az oka, hogy ebben az esetben sokkal egyszerűbb a későbbiekben új lépéseket beszúrni a már meglévők közé (ami történhet hibajavítás vagy új funkció fejlesztése miatt is). Szintén észrevehető, hogy nem egy lépésben írom ki az értékeket a kimenetekre, és olvasom be őket, hanem két egymásutáni ciklusban. Erre azért van szükség, mert az egyes lépések egy-egy mérési ciklust jelentenek, az AutoTest-ben beállított kimeneti értékek csak a ciklus végén érvényesülnek, ezért értelemszerűen csak a ciklus előtt mért értékekhez férhetünk hozzá.

A program funkcionális lépései sorrendben:

1. Az analóg kimenetek és bemenetek ellenőrzése (hiba esetén a teszt megáll)
2. Tápáram mérés terheletlen állapotban (hibás értékek esetén a teszt megáll)

3. Az AWSS1 jel frekvenciájának és amplitúdójának ellenőrzése
4. Az AWSS2 jel frekvenciájának és amplitúdójának ellenőrzése
5. Az AWSS3 jel frekvenciájának és amplitúdójának ellenőrzése
6. Az AWSS4 jel frekvenciájának és amplitúdójának ellenőrzése
7. A digitális kimenetek működésének vizsgálata terhelve és terheletlenül
8. A digitális bemenetek vizsgálata
9. Az analóg kimenetek működésének vizsgálata terhelve és terheletlenül
10. Az analóg bemenetek működésének vizsgálata

Az egyes mérések közben ellenőrzöm az egyes tápfeszültség szintek áramfelvételeit is, amennyiben ezek drasztikusan megnőnének, a teszt leáll, és leállítja a funkcionális blokkok működését. Hely hiányában nem közlöm a tesztet lefuttató programkód teljes egészét, hiszen az egyes lépések működése a feljebb közölt, áramerősséget ellenőrző részből már megérthető, a többi rész az előzőekhez logikailag hasonló.



6.1. ábra. Az áramkör felülnézeti képe futás közben

6.1. táblázat. *Vezérlő vonalak elérése a KB-Lab-ból*

Vonal neve	Vezérlőbit sorszáma
Analog OUT Load Enable	Relay1.0
Analog OUT 500R	Relay1.1
Analog OUT to AIN1	Relay1.2
Analog OUT to AIN2	Relay1.3
Analog OUT to AIN3	Relay1.4
AWSS Select 0	Relay1.5
AWSS Select 1	Relay1.6
AWSS Measurement Enable	Relay1.7
AWSS Counter Enable	Relay2.0
AWSS Measurement Reset (negált)	Relay2.1
AWSS Measurement Reset	Relay2.2
Analog OUT to Digital Inputs 4	Relay2.3
Analog OUT to Digital Inputs 5	Relay2.4
Analog OUT to Digital Inputs 6	Relay2.5
Analog OUT to Digital Inputs 7	Relay2.6
Analog OUT to Digital Inputs 8	Relay2.7
Analog OUT to Digital Inputs 9	Relay3.0
Digital OUT Select Enable	Relay3.1
Digital OUT Select 0	Relay3.2
Digital OUT Select 1	Relay3.3
Digital OUT Select 2	Relay3.4
Digital OUT 2.2K Load	Relay3.5
Digital OUT 500R Load	Relay3.6
Digital OUT Load GND	Relay3.7
Digital OUT Load 28V	Relay4.0
Digital OUT Load 5V	Relay4.1
Digital OUT Measurement Enable	Relay4.2
Measure 3.3V Current	Relay4.3
Measure 5V Current	Relay4.4
Measure 24V Current	Relay4.5
Measure DIO Current	Relay4.6
SPL Supply 100R Load	Relay4.7
SPL Supply MAX Load	Relay5.0
SPL Supply Measurement Enable	Relay5.1
Digital OUT Power 5V	Relay5.2
Digital OUT Power 24V	Relay5.3
Analog OUT1 to Digital Inputs	Relay5.4
Analog to DIN1 Enable	Relay5.5
Analog to DIN2 Enable	Relay5.6
Analog to DIN3 Enable	Relay5.7
Analog OUT to Digital Inputs 1	Relay6.0
Analog OUT to Digital Inputs 2	Relay6.1
Analog OUT to Digital Inputs 3	Relay6.2

7. fejezet

Összefoglalás

A járműipar fejlődésével a korszerű haszongépjárművekbe is egyre több és egyre bonyolultabb elektronikai alkatrész épül be, melyek között hangsúlyozott szerep jut a menetbiztonságot javító, illetve fokozó rendszereknek (ABS, ESP, ASR). Ezeknek a rendszereknek a továbbfejlesztése, új funkciókkal való bővítése rendszerint sok és időigényes, a jármű haladása közben végzendő tesztelési feladat végrehajtását igényli, ami azonban bizonyos fokig korlátozza, lassítja a fejlesztési folyamatot. Ezért erre a feladatra célszerű egy olyan kisméretű - labor körülmények között használható - szimulátort kifejleszteni, amely képes a valóságos jármű működését, üzemszerű viszonyait imitálni, és a rákapcsolt EBS ECU-nak (Electronic Control Unit) valósághű jeleket közvetíteni, illetve képes minden esetben a különböző életszerű szituációknak megfelelően reagálni. A vázolt szimulátor egység alkalmazása jelentősen megkönnyíti az ABS és EBS rendszereket fejlesztő csapatok munkáját, mivel a szükséges tesztelési feladatokat szimulációs környezetben, laboratóriumi viszonyok között, gyorsabban és olcsóbban végezhetik el.

Munkahelyemen, a Knorr Bremse Fékrendszerek Kft. budapesti fejlesztő központjában csoportom feladata az előbbi funkciónak megfelelő asztali szimulátor egység kifejlesztése.

A szimulátor egység kulcsfontosságú építőeleme a SimCard (szimulátor kártya), ez állítja elő a szenzorok analóg és digitális jeleit. A szimulátor kártyák gyártása során elengedhetetlen az elkészült kártyák helyes működésének tesztelése, ami kétféle úton lehetséges: manuális vagy automatizált módon. A manuális tesztelés egyrészt nehézkes, másrészt hosszú - akár 3 óra - tesztelési folyamatot is jelenthet minden egyes kártyára. A jövőbeni gyártás szempontjából ez nem megengedhető, így a vállalat egy automatizált tesztelő egység kialakítása mellett döntött, melynek a tervezési feladatai rám hárultak.

Ebből fakadóan szakdolgozatomban egy olyan rendszer kifejlesztését és megvalósítását tűztem ki célul, amely alkalmas az újonnan gyártott szimulátor kártyák elektronikus működésének automatikus vizsgálatára, és ez alapján annak eldöntésére, hogy az eszköz megfelelően működik-e, valamint hibás működés esetén képes megközelítő választ adni a hibaforrás helyére.

A célkitűzéssel összhangban dolgozatomban első részében a témakörhöz kapcsolódó, és a kitűzött feladat megoldásához elengedhetetlen szakmai háttérismereteket foglaltam össze. Az alkalmazott technológiák és eszközök közül áttekintést adtam a Knorr Bremse ABS/EBS

fejlesztői csoportjai által használt laborautó funkciójáról és kialakításáról, majd részletesen ismertettem a szimulátor kártya (SimCard) - amely köré a szakdolgozat épült felépítését, egységeinek fontosabb paramétereit és csatlakozásának jellemzőit.

Ezt követően a teszter áramkörrel szemben támasztott követelményeket figyelembe véve kidolgoztam az egyes tesztelési ciklusok logikai felépítését és sorrendjét. Erre építve a PADS Logic tervezőprogram segítségével megterveztem a hardver kapcsolási rajzát, majd a PADS Layout CAD-program alkalmazásával elkészítettem a nyomtatott áramköri tervet.

A nyomtatott áramkör és a szükséges alkatrészek beszerzése után elvégeztem a hardver beültetését és felélesztését, amelyet a kártya funkcionális tesztelése, illetve mérése követett.

Mivel feladatom nem korlátozódott kizárólag a hardver megtervezésére és felélesztésére, ezért meg kellett írnom az automatizált tesztek működtető programkódot is. A Knorr Bremse a különböző mérések és szimulációk futtatásához saját fejlesztésű programot, az úgynevezett KB-Lab-ot használja, így ezen rendszer mérési környezetében futtatható olyan programkódot írtam, amely valós időben képes kezelni az egyes ki-, és bemeneteket, továbbá vezérlést ad a kontroll vonalakra.

A szakdolgozatom keretében megtervezett és megvalósított automatizált tesztelő egység prototípusának tesztelése során nyert mérési eredmények és tapasztalatok alapján megállapítható, hogy alkalmazása révén a szimulátor kártyák eddigi, megközelítőleg 3 órás kézi tesztelése kiváltható egy maximum pár perces, automatikus teszttel, amely a gyorsasága mellett az emberi figyelmetlenségből származó hibákat is képes lesz kiküszöbölni.

Alkalmazásba vétele nagy segítséget jelenthet már a következő gyártási ciklusban, amikor több, mint 100 darab új szimulátor kártya vár majd bemérésre.

Megjegyzem, hogy sem az elkészített hardver, sem a szoftver nem érte még el végleges formáját. A szakdolgozat leadását követően is a Knorr Bremse-nél folytatom gyakornoki pályafutásomat, ahol munkám egy részét továbbra is ennek a rendszernek a tökéletesítése és felügyelete teszi majd ki.

Villamosmérnök gyakornokként eddig ez a projekt volt a legnagyobb feladatom, amely alatt nagyon sok olyan gyakorlati megoldást ismertem meg az itt dolgozó kollégáktól, amelyekről ezidáig egyáltalán nem, vagy csak nagyon keveset hallottam. A megszerzett tapasztalatok nagyban hozzásegítettek a mérnöki szemléletmód elmélyítésében, és alapvető részét fogják képezni villamosmérnöki tudásomnak.

7.1. Továbbfejlesztési lehetőségek

Az eszköz tervezése és kivitelezése folyamán sok továbbfejlesztési igény és kérés is felmerült, amiket idő hiányában nem tudtam implementálni ebben a verzióban, ezért mindenképpen szükség lesz egy második változat elkészítésére is. A következő változatban fontosnak tartom a teszt pontok egy csoportba rendezését az áramkörön, sorban a panel valamelyik szélén, továbbá a mostani tüskesorok helyett színes, kampós végű tesztpontok használatát, így téve könnyebbé a mérési folyamatokat.

Egyértelmű igény a jövőre nézve egy strapabíró kivitel elkészítése, ehhez egy felülről nyitható alumínium műszerdobozra gondoltam, amely védettebbé és egyszerűbben hordoz-

hatóvá tenné a rendszert. Ennek a kialakításnak a megvalósításához az egyes csatlakozókat a doboz falán kell majd kivezetni, amely indokolttá teszi a mostaniak helyett a 90 fokos csatlakozók használatát. Segíthetne a bekötési hibák elkerülésében, ha két különböző típusú, papa és mama D-SUB csatlakozókat használnánk, így a méréshez már használt kábelek csak a saját csatlakozójukhoz illeszkednének.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani barátomnak, Bankó Barnabásnak, aki mindig szívesen fogadta kérdéseimet a témával kapcsolatban, segített a legmegfelelőbb megoldások kiválasztásában és az esetleges hibák elkerülésében.

Szeretném megköszönni, hogy a Knorr Bremse Fékrendszerek Kft. szakmai és anyagi háttérrel biztosított a szakdolgozatom elkészüléséhez. Külön köszönettel tartozom a vállalati konzulensemnek, Horváth Csabának, továbbá a csoporton belül dolgozó kollégáknak, akik szaktudásukkal és segítőkészségükkel hozzájárultak a munkámhoz.

Nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani a családomnak, akik támogatása nélkül ez az időszak sokkal nehezebb lehetett volna.

Ábrák jegyzéke

1.1.	SimCard - az összeszerelt szimulátor kártya	9
1.2.	Az analóg modult tartalmazó panel	11
1.3.	Az digitális modult tartalmazó panel	12
1.4.	A CPU panel	13
3.1.	A kapcsolás logikai felépítését szemléltető blokkvázlat	19
3.2.	A bemeneti védelem	21
3.3.	A felhasznált picoPSU kinézete	22
3.4.	A negatív tápfeszültséget előállító áramkör bekötése	24
3.5.	Az SPL-SENS-5V lábra kapcsolható terhelések	25
3.6.	A digitális kimenetek tápfeszültségének kiválasztása	26
3.7.	Az MCP23017-es IC-k, az EEPROM memória, és a hőmérsékletszenzor be- kötése	27
3.8.	A digitális bemenetek teszteléséhez használt jel előállítása	28
3.9.	A digitális bemeneteket kiválasztó kapcsoló fokozatok	29
3.10.	Terhelések kapcsolása az analóg kimenetekre	32
3.11.	Az analóg demultiplexer és a terhelő transzformátorok	34
3.12.	Az AWSS-jel amplitúdójának megmérése	35
3.13.	Az frekvenciamérő áramkör kapcsolási rajza	37
4.1.	Huzalozás a felső és a második középső rétegen	44
5.1.	A beültett áramkör az első tesztek során, középen a szimulátor kártyával, a bal alsó sarokban a picoPSU-val	49
5.2.	A kiválasztott wheelspeed jel az analóg multiplexer kimenetén (1,64V PK- PK, 500Hz)	50
5.3.	A 31.25 kHz-es mérőjel	51
6.1.	Az áramkör felülnézeti képe futás közben	56
F.1.1.1.	oldal: Csatlakozás	67
F.1.2.1.	oldal: Tápellátás	68
F.1.3.1.	oldal: I2C kommunikációt használó eszközök	69
F.1.4.1.	oldal: A digitális kimenetek tesztelése	70
F.1.5.1.	oldal: A digitális bemenetek tesztelése	71

F.1.66. oldal: Analóg ki-, és bemenetek	72
F.1.77. oldal: Keréksebesség szenzor jeleinek tesztelése	73
F.1.88. oldal: Teszt pontok	74
F.1.99. oldal: Állapotvisszajelző LED-ek	75

Táblázatok jegyzéke

2.1. Részlet a mérési határértékekből	18
6.1. Vezérlő vonalak elérése a KB-Lab-ból	57

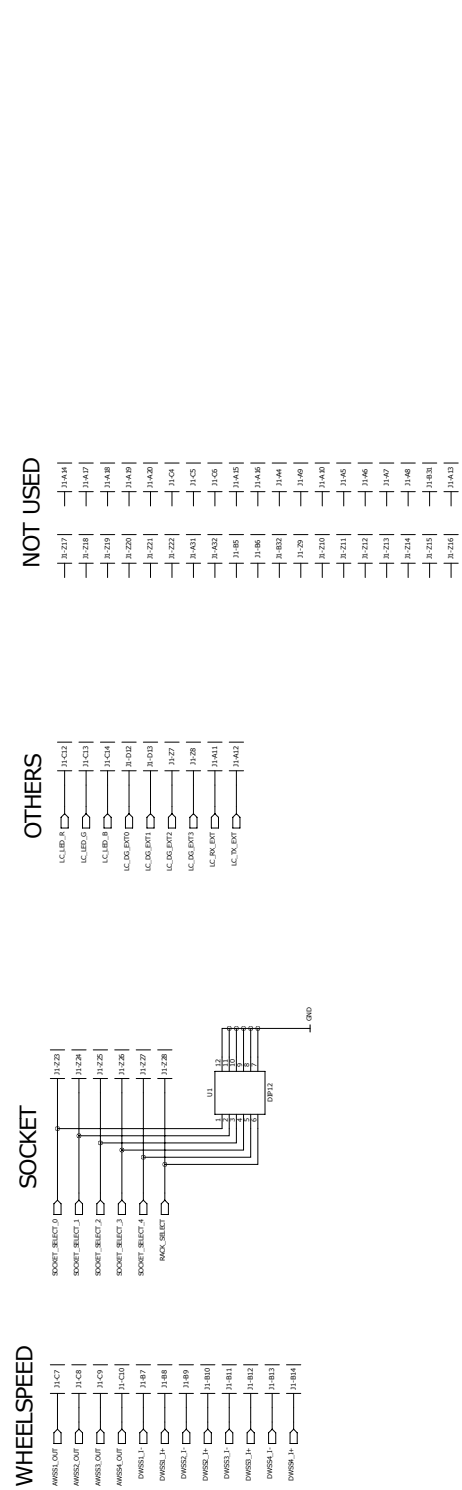
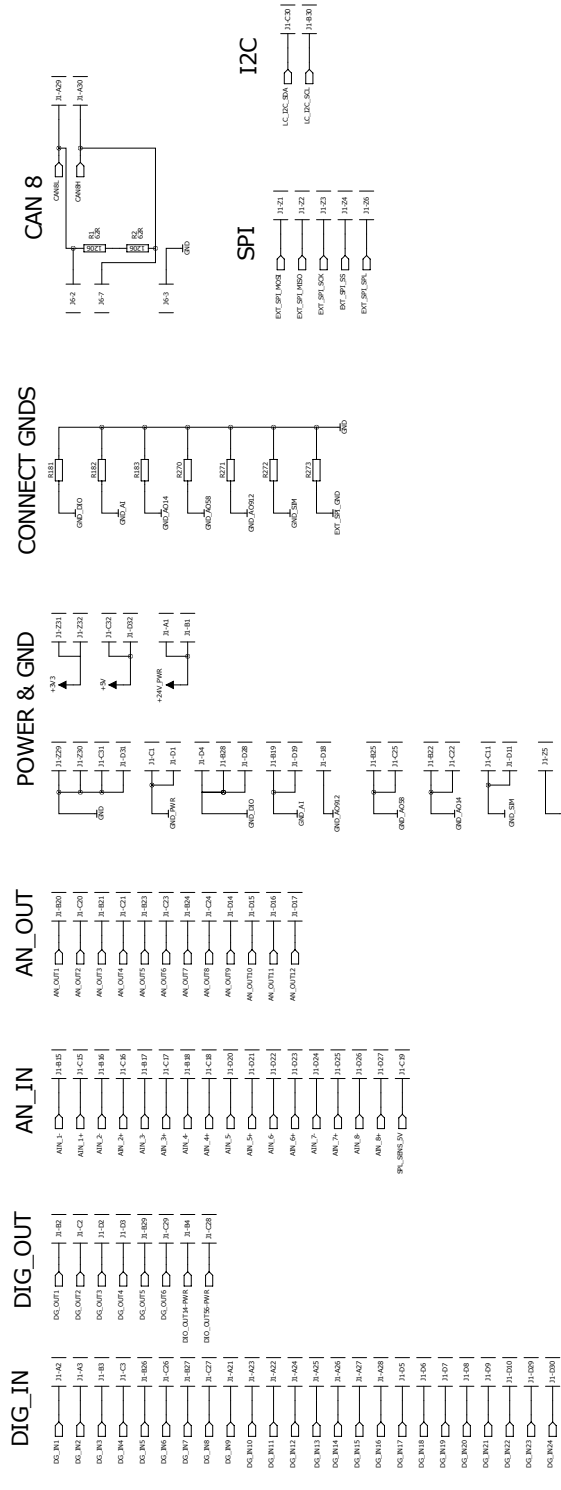
Irodalomjegyzék

- [1] Nagy Gergely: Az autonóm páraérzékelő szenzor rádiókommunikációja.
URL: http://www.eet.bme.hu/~nagyg/elektronika/szenz_komm.pdf.
- [2] ANSI IPC-2221A PCB Trace Width Calculator.
URL: <http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>.
- [3] 74HCT4051 8 channel analog multiplexer/demultiplexer product datasheet.
URL: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT4051.pdf.
- [4] G3VM-61G1 Datasheet.
URL: http://www.omron.com/ecb/products/pdf/G3VM_61G1.pdf.
- [5] Dr. Tevesz Gábor docens. *Mikrokontroller alapú rendszerek - Elektronikus jegyzet*. 2012.
- [6] Wikipedia: EtherCAT.
URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/EtherCAT>.
- [7] EPT: Press fit technology.
URL: <http://disti-assets.s3.amazonaws.com/pscelex/files/datasheets/1476.pdf>.
- [8] PicoPSU-80-WI-32 Manual.
URL: <http://resources.mini-box.com/online/PWR-PICOPSU-80-WI-32V/PWR-PICOPSU-80-WI-32V-manual.pdf>.
- [9] Knorr Bremse: Makk Dániel és Bankó Barnabás. Feszültség-, és áramkorlátok a szimulátor kártya manuális beméréséhez, 2012.

Függelék

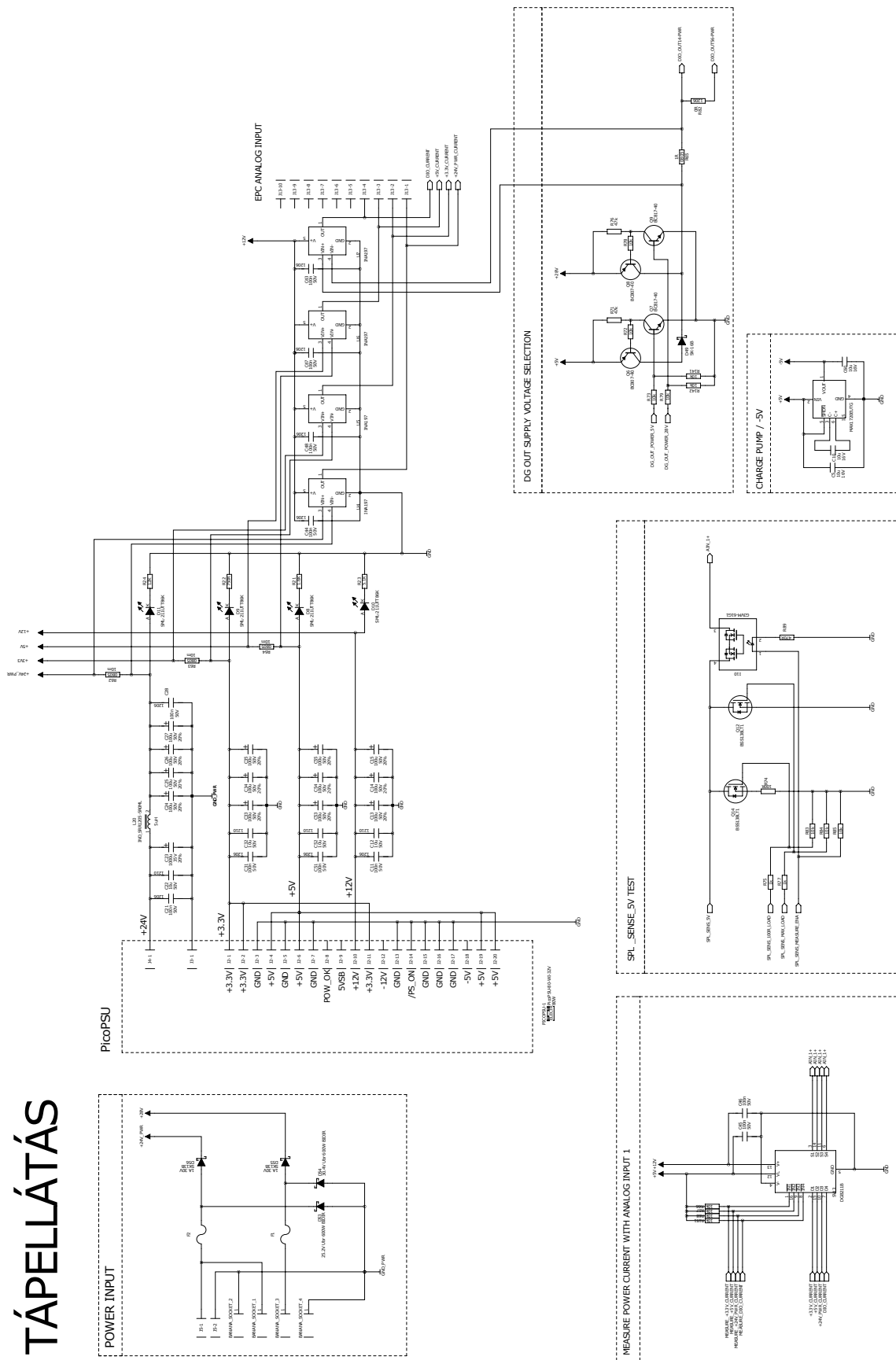
F.1. Teljes kapcsolási rajz

Az alábbi oldalakon, A3-as méretben közlöm a rendszer részletes kapcsolási rajzát.

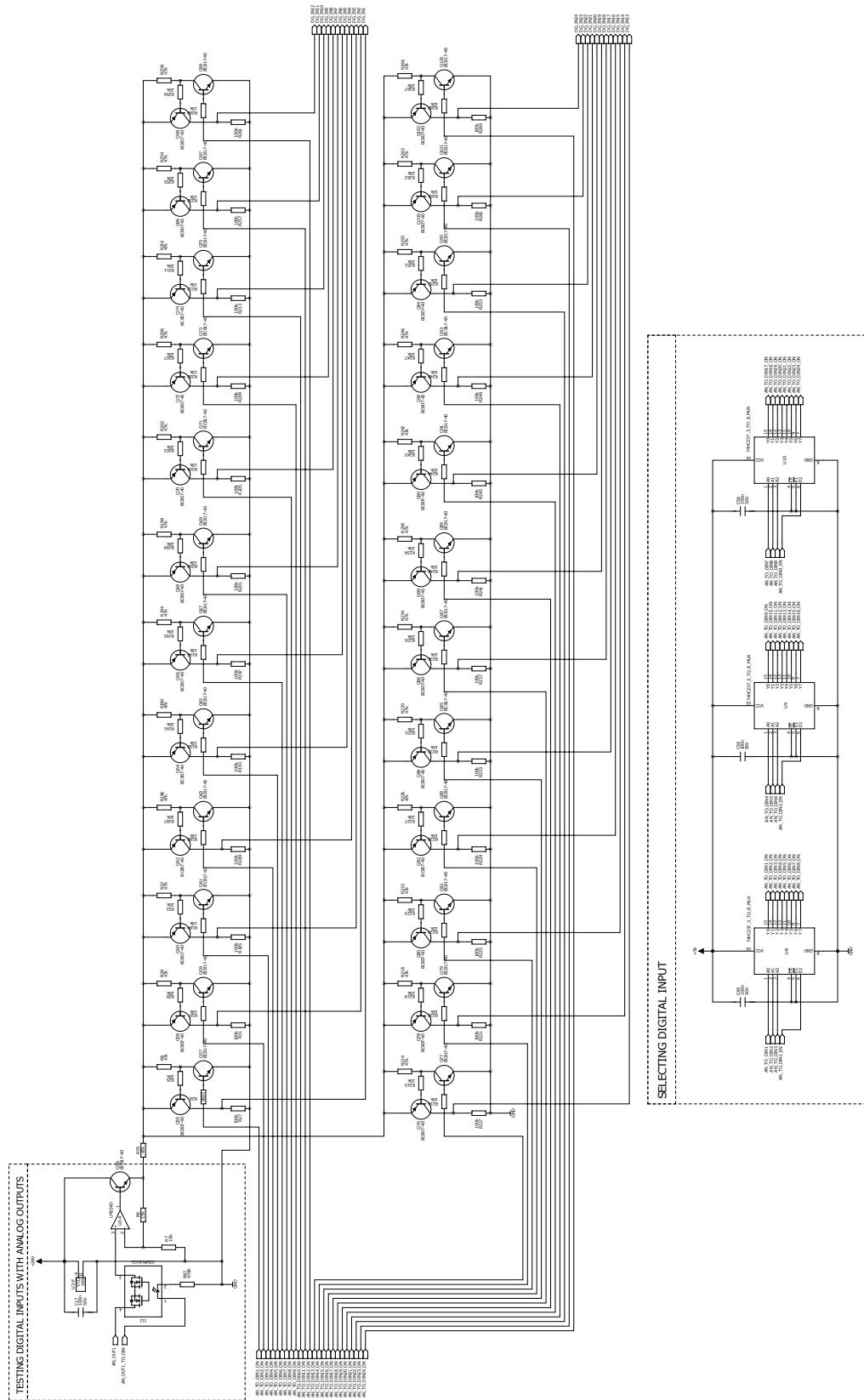


F.1.1. ábra. 1. oldal: Csatlakozás

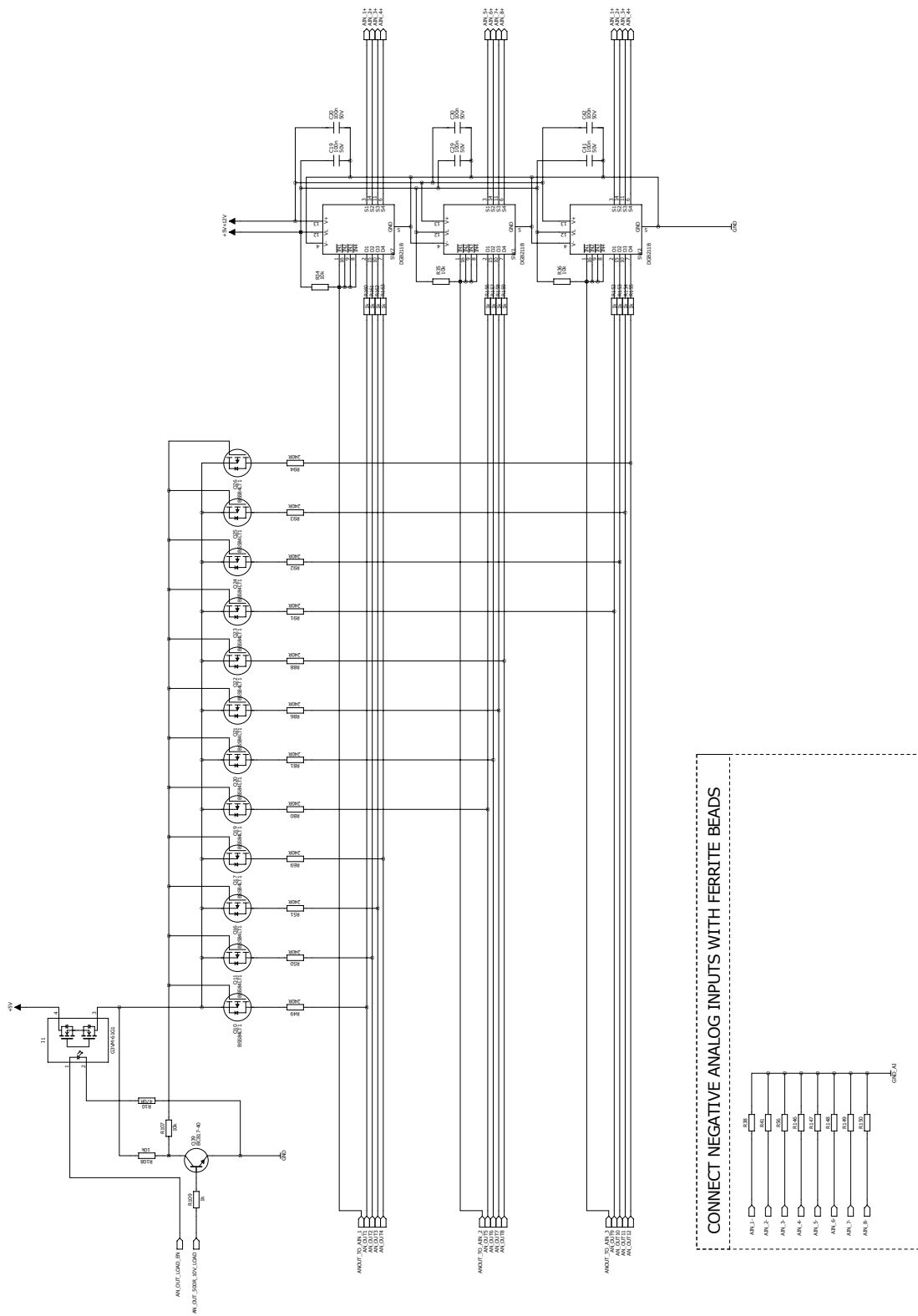
TÁPELLÁTÁS



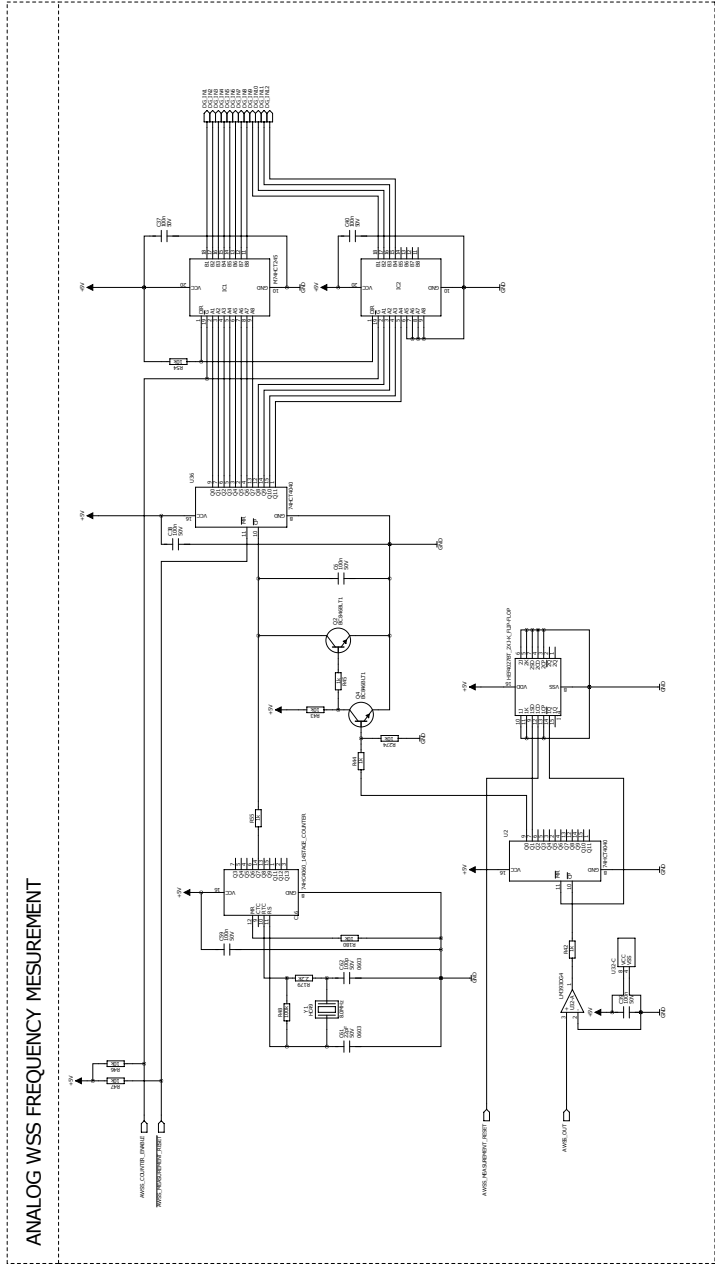
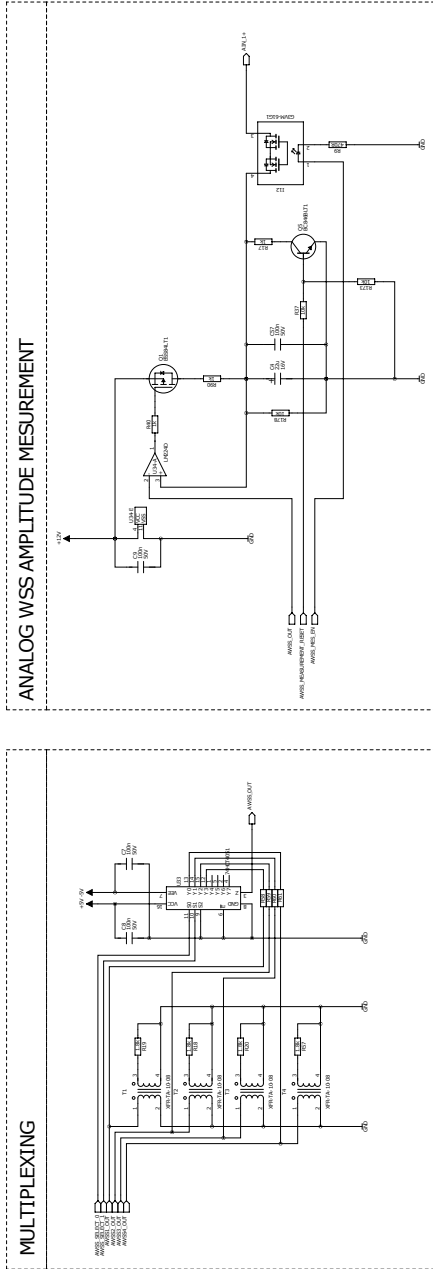
F.1.2. ábra. 1. oldal: Tápellátás



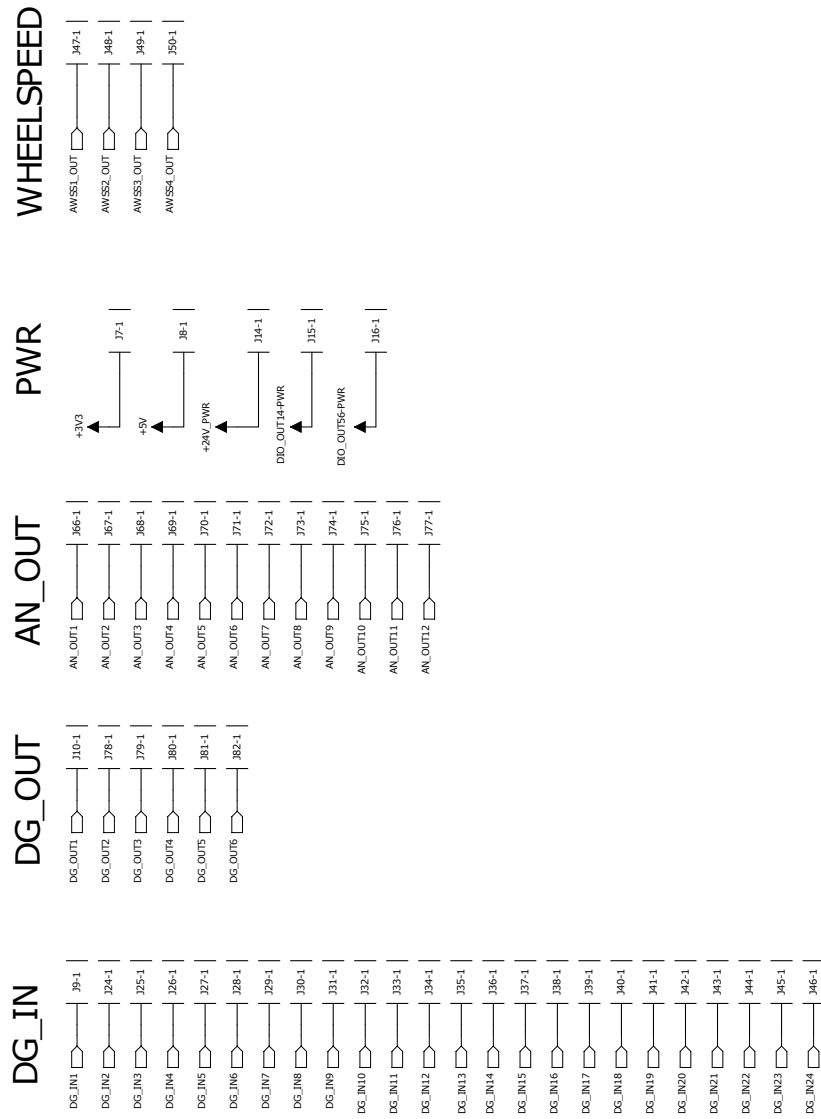
F.1.5. ábra. 1. oldal: A digitális bemenetek tesztelése



F.1.6. ábra. 6. oldal: Analog ki-, és bemenetek

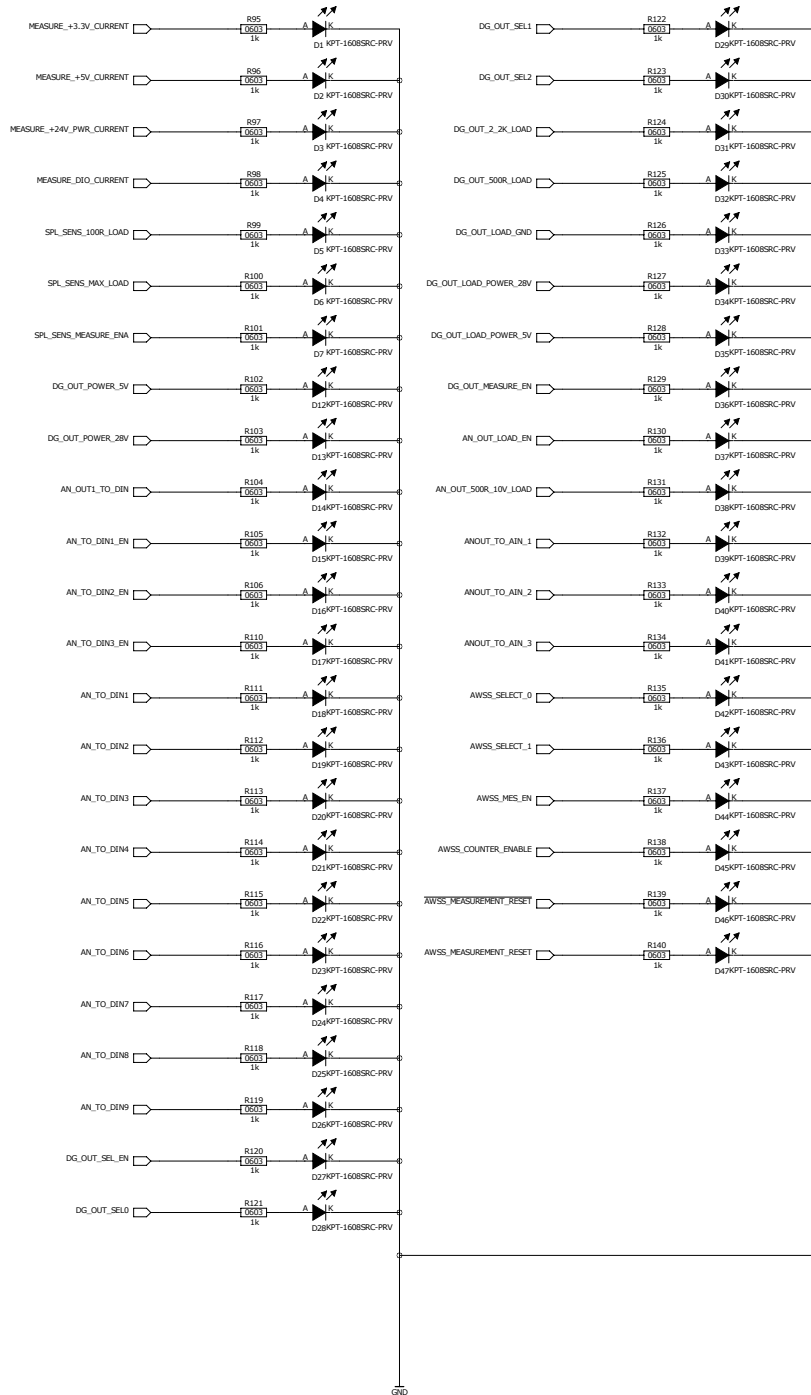


F.1.7. ábra. 7. oldal: Kereksebesség szenzor jelelmek tesztelése



F.1.8. ábra. 8. oldal: Teszt pontok

LEDS FOR THE PORTEXPANDER PINS



F.1.9. ábra. 9. oldal: Állapotnyszagjelző LED-ek