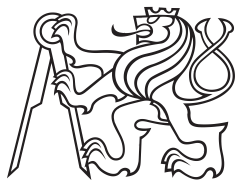


Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

System řízení a sběru dat pro zkoušky airbagů

Bc. Jiří Janovec

Vedoucí: Libor Šmíd, TÜV SÜD Czech s.r.o.
Obor: Počítačové inženýrství
Květen 2017

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Janovec Jiří**

Studijní program: Otevřená informatika
Obor: Počítačové inženýrství

Název tématu: **Systém řízení a sběru dat pro zkoušky airbagů**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se se standardizovaným průběhem zkoušky airbagu.
2. Navrhněte technické a programové řešení pro řízení této zkoušky tak, aby průběh odpovídal všem požadavkům s důrazem na zajištění bezpečnosti obsluhy.
3. Systém řízení doplňte o sběr dat jednoznačně dokládajících průběh zkoušky, zvýšenou pozornost věnujte metrologickým parametrům navrženého řešení.
4. Subsystem sběru dat musí být spouštěn externím synchronizačním pulsem s nastavitelným zpožděním v rozsahu 0-15 ms.
5. Řešení realizujte jako dvoukanálové, jeho modularita musí umožnit rozšíření minimálně na 6 kanálů.
6. Pro ukládání a archivaci záznamů o průběhu jednotlivých zkoušek navrhněte vhodnou strukturu datových záznamů a případně i formu jejich prezentace.

Seznam odborné literatury:

- [1] Kocourek, P. Novák, J.: Přenos informace, skriptum ČVUT FEL, 2004
- [2] Haasz, V., Roztočil, J., Novák, J.: Číslíkové měřicí systémy, ČVUT Praha, 2000
- [3] Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel, F. Vlk 2005

Vedoucí: Ing. Libor Šmíd

Platnost zadání: do konce letního semestru 2017/2018

L.S.

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
Děkan

V Praze, dne 30. 1. 2017

Poděkování

Děkuji ČVUT, že mi je tak dobrou *alma mater*, panu docentu Novákovi, inženýrům z TÚV, kteří mi umožnili podílet se na vývoji měřicího systému. Dále děkuji rodině za trpělivost při studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 10. května 2017

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit systém pro řízení zkoušky a měření airbagů do zkušebny společnosti TÜV SÜD. Systém musí být integrovatelný se stávajícím vybavením. Součástí systému je i řídicí software pro obsluhu pracoviště.

Klíčová slova: airbag, řízení zkoušky, měření, RS-485, C#, ARM Cortex M

Vedoucí: Libor Šmíd,
TÜV SÜD Czech s.r.o.

Abstract

The objective of this work is to design and create a control and measurement system for airbag testing laboratory TÜV SÜD. System has to be integrated with the existing equipment. System includes control software for workplace operator.

Keywords: airbag, control test, measurement, RS-485, C#, ARM Cortex M

Title translation: Control and Data Acquisition System for Airbag Testing

Obsah

1 Úvod	1	3.6 Ovládání	20
2 Airbagy obecně	3	3.6.1 Hlavní prvek řízení	20
3 Návrh	5	3.6.2 Software	21
3.1 Měření hodnot	5	3.7 Bezpečnost	21
3.1.1 A/D převodník	5	4 Testování	23
3.1.2 Napěťová reference	7	4.1 RS-485	23
3.1.3 Operační zesilovač	7	4.2 STM32F072	24
3.1.4 RTD převodník	9	4.3 A/D převodníky	24
3.2 Ukládání hodnot	10	4.4 Operační zesilovače	26
3.3 Spojení bloků systému	10	4.5 Synchronizace	27
3.3.1 Rozhraní	10	4.6 Simulátor	34
3.3.2 Výpadky přenosu	13	5 Realizace	35
3.3.3 Přenos dat	13	5.1 Airbagová jednotka	35
3.3.4 Komunikační protokol	14	5.1.1 Řídící část	35
3.4 Mikroprocesor	16	5.1.2 Analogová část	36
3.5 Synchronizace	18	5.1.3 Firmware	37
		5.2 Generátor synchronizace	38

5.3 Měření teploty	39	H Schéma zapojení zdroje proudu 10 mA	71
5.4 Vstupně-výstupní jednotky	40		
5.5 Napájení	41	I Blokové schéma impulzního zdroje	73
5.6 Software	42		
5.6.1 Konfigurace	42		
5.6.2 Zkouška	43		
6 Závěr	45		
Literatura	47		
A Seznam použitých zkratk	49		
B Seznam použitého SW	51		
C Obsah přiloženého CD	53		
D Schéma zapojení airbagové měřící jednotky	55		
E Schéma zapojení univerzální vstupně - výstupní jednotky	63		
F Schéma zapojení teplotní jednotky	67		
G Schéma zapojení generátoru synchronizace	69		

Obrázky

2.1 Příklad airbagové zkušebny	4	4.1 Pokusná deska pro zatížení RS-485	23
3.1 Schéma invertujícího zapojení operačního zesilovače	8	4.2 Pokusná deska mikroprocesoru	24
3.2 Schéma neinvertujícího zapojení operačního zesilovače	8	4.3 Pokusné desky plošných spojů A/D převodníků	25
3.3 Mini XLR konektor	12	4.4 Pokusné desky plošných spojů OZ	26
3.4 Blokový diagram zkušebny	12	4.5 Zpoždění signálu synchronizace, zelená - výstup generátoru, žlutá - výstupní signál optočlenu generátoru	27
3.5 Stavový automat RS-485 pro mikroprocesory	15	4.6 Zpoždění signálu synchronizace 300 ns, zelená - výstup generátoru, žlutá - výstupní konektor generátoru	28
3.6 Mikroprocesor	16	4.7 Zpoždění signálu synchronizace, zelená - výstup generátoru, žlutá - vstup mikroprocesoru v airbagové jednotce	28
3.7 Univerzální vstupně - výstupní deska plošného spoje	18	4.8 Délka periody na výstupu generátoru	29
3.8 Zpoždění signálu synchronizace, zelená - výstup generátoru, žlutá - vstup mikroprocesoru v airbagové jednotce	19	4.9 Délka periody na vstupu mikroprocesoru airbagové jednotky	29
3.9 Příklad velkého pultu pro řízení zkoušky	20	4.10 Zpoždění mezi zelenou - spuštěním kamer a žlutou - spuštěním generátoru	30
3.10 Hlavní okno programu spuštěného na Windows 10	21	4.11 Zpoždění mezi zelenou - spuštěním kamer a žlutou - první synchronizační hranou na mikroprocesoru v airbagové jednotce	30
3.11 Indikace odjištěného stavu airbagové odpalovací jednotky	22		

4.12 Zpoždění mezi zelenou - spuštěním kamer a žlutou - prvním odpálením	31	5.7 Deska plošného spoje zdrojů airbagové jednotky	41
4.13 Zpoždění mezi jednotkami se stejným časem odpalu	31	5.8 Karty jednotlivých jednotek v systému	42
4.14 Zpoždění mezi zelenou - spuštěním kamer a žlutou - prvním odpálením do airbagu	32	5.9 Diagram průběhu zkoušky	43
4.15 Zpoždění mezi jednotkami se stejným časem odpalu do airbagu	32	5.10 Výsledný graf pokusné zkoušky	44
4.16 Žlutá - zvlnění výstupního napětí MAX6071 při odpálení - hrana zeleného signálu	33	6.1 Sestava jednotek	46
4.17 Elektronický simulátor airbagu	34	I.1 Blokové schéma impulzního zdroje	74
4.18 Pasivní simulátor airbagu	34		
5.1 Blokové schéma airbagové jednotky	35		
5.2 Deska plošného spoje airbagové měřící jednotky	36		
5.3 Deska plošného spoje generátoru synchronizace	38		
5.4 Deska plošného spoje teplotní jednotky	39		
5.5 LEMO konektor	39		
5.6 Realizovaný ovládací pultík	40		

Tabulky

3.1 Vybrané A/D převodníky použité k otestování	6
3.2 Vybrané mikroprocesory s více A/D převodníky použité k otestování	6
3.3 Vybrané napěťové reference použité k otestování	7
3.4 Vybrané operační zesilovače použité k otestování	9
3.5 Další vybrané operační zesilovače použité k otestování	9
4.1 Naměřené úrovně interních A/D převodníků během restartů	25
5.1 Ukázková data pokusné zkoušky	44



Kapitola 1

Úvod

Cílem této práce je návrh zkušebního systému pro testování airbagů. Návrh bude realizován ve zkušebně TÚV SÚD. Vypracovaný návrh nabízí modernější automatizované řešení, které zahrnuje požadavky na testy airbagů podle zadavatele zkoušek a zkušebních předpisů. Zařízení je určeno pro zkoušky airbagů mimo teplotní komory. Navržený systém zahrnuje: řízení průběhu celé zkoušky z PC, měření požadovaných veličin, grafické zpracování, uložení změřených dat, požadované bezpečnostní a ochranné prvky.

Z existujících řešení je k dispozici systém od německé specializované firmy HuDe [9]. Jiným možným řešením je využití měřících komponentů od National Instruments. Nabízené komponenty jsou použitelné k měření a synchronizaci [16], nenabízí však prvky k realizaci funkcí spojených s odpalem airbagu. Podobná řešení nabízí i firmy Omega [18] a DEWETRON [5].

Tyto systémy jsou ekonomicky velmi náročné a kromě firmy HuDe nemají v nabídce řešení specifická pro zkoušky airbagů. Níže uvedený návrh je ekonomicky výrazně výhodnější při zachování požadovaných parametrů a možností rozšiřování.

Kapitola 2

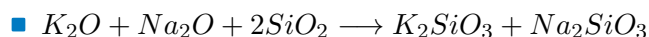
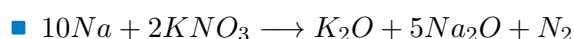
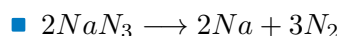
Airbagy obecně

Použití airbagů v automobilech výrazně zvyšuje bezpečnost posádky při kolizích a snižuje následky případných zranění. Jejich montáž do vozidel je předepsána legislativou, stejně tak jako provádění jejich zkoušek (vývojových, schvalovacích a schodnosti výroby). Se zvyšujícími se požadavky na bezpečnost posádky roste i počet montovaných airbagů ve vozidle (kromě hlavních - ve volantu, před spolujezdcem, také sedačkové, hlavové, kolenní, atd...).

Airbagový systém je založen na principu nafukovacího vaku, který brání posádce, v případě kolize, nárazu do vnitřních částí vozu. Vysokou rychlost nafouknutí vzduchového vaku (milisekundy) lze zajistit pouze pyrotechnicky. Airbagy se skládají ze samotného vaku a plynového generátoru s elektricky iniciovanou roznětkou.

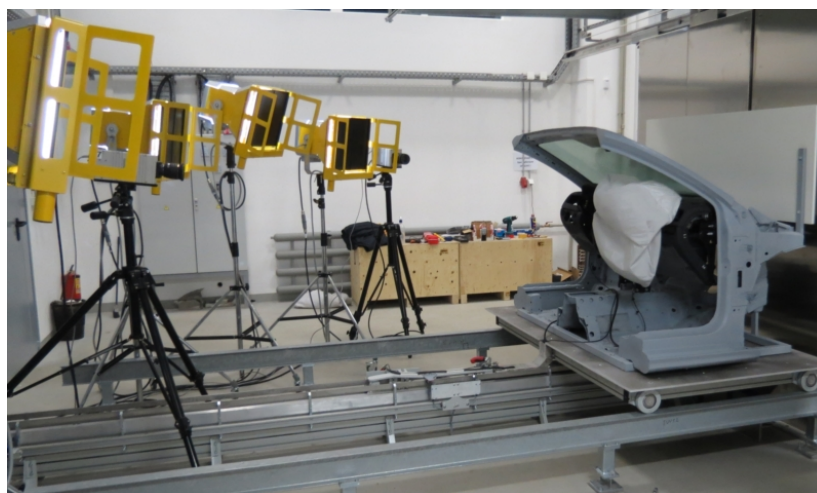
Konstrukce roznětky záleží na výrobci airbagu. Obecně lze uvést, že odpor roznětky jsou řádově jednotky ohmů a inicializační proud jednotky ampér.

Chemické procesy převzaty z Wikipedie [20]. Airbagové systémy obsahují směs azidu sodného NaN_3 , dusičnanu draselného KNO_3 a oxidu křemičitého SiO_2 . Typický volantový airbag obsahuje přibližně 50-80 g NaN_3 a větší airbag u spolujezdců obsahuje kolem 250 g. Během přibližně 40 ms nárazu všechny tyto složky reagují ve třech oddělených reakcích, které produkují plynný dusík. Reakce probíhají v daném pořadí:



První rovnice vyjadřuje rozkladnou reakci NaN_3 ve vysoké teplotě vyvolané elektrickou roznětkou. Roznětka zajistí teplotu nad 300°C potřebnou pro rozklad NaN_3 . Vzniká pevný sodík Na a plynný N_2 . Protože Na je velmi reaktivní, reaguje s dusičnanem draselným KNO_3 podle druhé rovnice za dalšího vzniku plynného dusíku N_2 . Třetí rovnice popisuje konečnou chemickou reakci oxidů draslíku, sodíku a křemíku za vzniku takzvaného křemičitého skla, které je stabilní sloučeninou bez další reakce. Použití dusičnanu draselného KNO_3 jako oxidačního činidla urychluje reakci a nemá výrazné hygroskopické vlastnosti, protože náplň vyvíječe plynu nesmí v průběhu životnosti absorbovat vlhkost, aby byla zaručena spolehlivá funkce. Vytvořené velké množství dusíku se využije k nafouknutí vaku (řádově až stovky litrů), následně dusík postupně uniká definovanými otvory a vak se pozvolna vyprazdňuje.

Zkouška probíhá ve specializované zkušebně podle předepsaných norem a zkušebních předpisů. Airbagy jsou umístěny v karoserii vozu nebo její části a jsou připojeny k odpalovacímu systému. Zkouška je zaznamenávána rychlokamerami a snímání elektrické veličiny podle požadavků zadavatele jsou ukládány. Zkouška se vyhodnocuje na základě změřených elektrických hodnot i videozáznamu. Navrhovaný systém musí zajistit bezpečnost ve zkušební laboratoři v průběhu zkoušky (uzavření zkušebny, zvuková a světelná výstraha, obsluha autorizovaným zkušebním technikem). Součástí vybavení zkušebny je i výkonná světelná technika pro snímání obrazu s vysokou snímkovou frekvencí. Změřená data jsou archivována a předávána zadavateli zkoušky.



Obrázek 2.1: Příklad airbagové zkušebny

Kapitola 3

Návrh

3.1 Měření hodnot

3.1.1 A/D převodník

Během zkoušky je zkušebními předpisy určeno měření průběhu napětí a proudu airbagu. Pro větší přesnost se měří i napěťová reference, ze které je možné vypočítat napětí na A/D převodníku. Požadavky na A/D převodník vyplývají ze zadané přesnosti měření podle zkušebního předpisu nebo normy. Rychlost převodu musí zajistit dostatečný počet vzorků signálu v aktivní části odpálení airbagu. Správný počet vzorků je nezbytný pro vyhodnocení a grafické zpracování zkoušky.

A/D převodníky se dělí podle způsobu převodu na základní typy: paralelní, s postupnou aproximací, integrační a sigma-delta. Pro dané použití se jeví nejvhodnější převodník s postupnou aproximací. Tento typ má dostatečnou rychlost i rozlišovací schopnost, může být realizován samostatnou součástí nebo jako vnitřní blok integrovaný v mikroprocesoru.

Externí A/D převodník

Existuje provedení se sériovým i paralelním výstupem dat. Nevýhodou převodníků s paralelním výstupem je velká šířka sběrnice, která vyžaduje velké

množství vývodů na mikroprocesoru nebo sběrnicové přepínače. Zadané řešení vyžaduje současné tříkanálové vzorkování (napětí, proud, reference). Všechny převodníky v systému je nutné synchronizovat. Čtení a ukládání dat z převodníku musí proběhnout před příchodem následujícího synchronizačního impulsu daného vzorkovací frekvencí.

Pro testy byly vybrány sériové převodníky s minimální vzorkovací frekvencí 200 kHz, které umožňují současnou synchronizaci začátku vzorku. Do testů byly zařazeny A/D převodníky s rozdílovým vstupem, které umožňují měření proudu.

Typ	Rozlišení [b]	f_{vz} [kHz]	Napájení [V]	Dif. vstup
MCP3301	13	100	4,5 - 5,5	ano
LTC2361	12	250	2,35 - 3,6	ne
LTC1860	12	250	4,75 - 5,25	ano
ADCS7476	12	1000	2,7 - 5,25	ne

Tabulka 3.1: Vybrané A/D převodníky použité k otestování

Externí převodníky by v případě potřeby umožnily úplné galvanické optické oddělení od mikroprocesorové části.

■ Interní A/D převodník

Výběr dostupných mikroprocesorů s vnitřními A/D převodníky je velmi omezen těmito požadavky: tři nezávislé převodníky, synchronní sample and hold provedení, dostatečně velká paměť RAM naměřených hodnot, rychlost a dostupnost. Zvažována byla i možnost měřit proud přímo A/D převodníkem s diferenciálním vstupem. Vyloučeno bylo použití provedení s méně převodníky a analogovým multiplexorem. Požadavky splnily tyto mikroprocesory:

Typ	Rozlišení [b]	f_{vz} [kHz]	Napájení [V]	Dif. vstup
STM32F303	12	5000	3,3	ano
STM32F358	12	5000	3,3	ano

Tabulka 3.2: Vybrané mikroprocesory s více A/D převodníky použité k otestování

Mikroprocesory z nabídky firmy Microchip řady dsPIC (signálový procesor) s dostatečnými parametry A/D převodníků nespĺňovaly požadavek na velikost paměti RAM pro ukládaná data. Ostatní mikroprocesory nevyhověly počtem A/D převodníků, velikostí paměti, rychlostí a dostupností.

3.1.2 Napěťová reference

Během měření může docházet ke kolísání napájecího napětí, indukovaní rušivých impulzů a k teplotním změnám. Tyto změny mají vliv na přesnost výsledků měření. Pro zpřesnění naměřených hodnot se využívá referenční napětí, které je odolné vůči výše uvedeným vlivům.

Mikroprocesory s interními A/D převodníky již obsahují vestavěnou napěťovou referenci. Externí převodníky obvykle vyžadují napěťovou referenci vnější. U externích převodníků bez vstupu pro napěťovou referenci, je možné současně se vzorky měřit i hodnotu této reference a naměřená napětí korigovat výpočtem. K testování byly vybrány tyto napěťové reference:

Typ	U_{ref} [V]	Tolerance [%]
TL431	2,5	0,5 - 2
MAX6071	3,0	0,08
LM336	2,5	1
MCP1525	2,5	1
LM4040DIM3-2.5	2,5	1

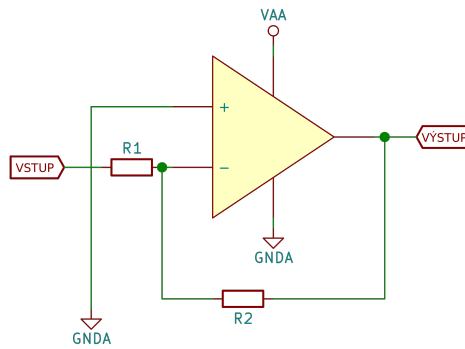
Tabulka 3.3: Vybrané napěťové reference použité k otestování

Zvolena byla reference MAX6071 [12], která má oddělenou zpětnou vazbu od výstupu, a tak zaručuje přesnější výstupní napětí.

3.1.3 Operační zesilovač

Pro zpracování napětí A/D převodníkem je třeba napětí na měřícím rezistoru zesílit. Je tak dosaženo potřebné rozlišovací schopnosti. Pro zkoušky airbagů se používají impulzní proudy v řádu ampér, proto byla zvolena hodnota měřícího rezistoru 0,5 Ω . Tato hodnota neovlivní funkci odpalovacího zdroje a umožní dostatečný úbytek napětí pro měření proudu (menší potřebné zesílení operačního zesilovače). Požadavky na operační zesilovač: nízký šum, vysoká rychlost, nesymetrické napájení, teplotní stabilita a malý offset.

Před započítím zkoušky je třeba změřit odpor airbagu, přičemž měřící proud nesmí vyvolat jeho inicializaci. Maximální hodnota tohoto proudu je předepsána předpisem výrobce a činí řádově desítky miliampér. Pro řešení byla zvolena hodnota 10 mA. Z výše uvedeného vyplývá požadavek na zesílení operačního zesilovače dvakrát. To umožní měřit proudy s rozlišením řádově miliampéry (měření odporu airbagu) až do 3 A (při odpálení).



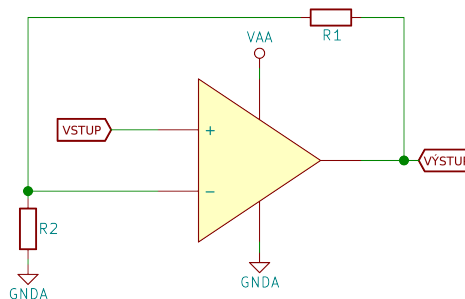
Obrázek 3.1: Schéma invertujícího zapojení operačního zesilovače

Pro měření proudu se využívá zapojení invertujícího zesilovače a zesílení je dáno výpočtem:

$$A_u = \frac{R_2}{R_1} \quad [-]$$

Zvoleny byly hodnoty rezistorů $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ a $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, zesílení je 2,2 krát, což umožňuje maximální měřený proud 3 A.

Pro stanovení hodnoty odporu airbagu před zkouškou je použita metoda měření napětí při konstantním procházejícím proudu. Druhý operační zesilovač pro toto měření je v neinvertujícím zapojení.



Obrázek 3.2: Schéma neinvertujícího zapojení operačního zesilovače

Výpočet zesílení neinvertujícího zesilovače:

$$A_u = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad [-]$$

Zvoleny byly hodnoty odporů $R_1 = 33 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 3,3 \text{ k}\Omega$, zesílení je 11, což umožňuje měření odporu v dostatečně širokém rozsahu. Navržené rozsahy bezpečně pokrývají požadavek na vyhodnocení zkratu a přerušného obvodu airbagu.

Při měření odpalovacího impulzu je napětí na airbagu řádově volty, po jeho odpálení vzroste napětí na napětí odpalovacího zdroje (nad 20 V). Je tedy potřeba použít odporový dělič. Zvolené hodnoty jsou $R_1 = 39 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$. Pro maximální výstupní napětí z děliče 3,3 V (maximální vstupní napětí A/D převodníku) vychází maximální vstupní napětí děliče:

$$\frac{3,3}{4700} \cdot (39000 + 4700) = 30,68 \text{ V}$$

Výstupní napětí odpalovacího zdroje je vždy nižší než tato hodnota.

Typ	Šířka pásma [MHz]	Napájení [V]
MCP6002	1	1,8 - 6
MCP6072	1,2	1,8 - 6
TLC271	1,7	5 - 10

Tabulka 3.4: Vybrané operační zesilovače použité k otestování

Výše uvedené operační zesilovače v průběhu testování vykazovaly nedostatečnou rychlost, proto pro další testování byly vybrány typy s větší šířkou pásma.

Typ	Šířka pásma [MHz]	Napájení [V]
MCP6021	10	2,4 - 5,5
MCP6V91	10	2,5 - 5,5
MCP661	60	2,5 - 5,5

Tabulka 3.5: Další vybrané operační zesilovače použité k otestování

Operační zesilovače uvedené v tabulce 3.5 při testování požadavkům vyhověly.

■ 3.1.4 RTD převodník

Výběr převodníku pro teplotu byl ovlivněn dostupností vhodných typů. Pro měření teploty ve zkušebně zadavatele je nezbytné využít čidel Pt100. Jako zcela vyhovující řešení se ukázala volba MAX31865. Výstupem tohoto převodníku není hodnota teploty, ale podíl hodnoty odporu čidla vůči hodnotě odporu referenčního rezistoru 400Ω s rozlišením 15 bitů.

Dle datasheetu [11] je možné využít zjednodušený výpočet:

$$T = \frac{\text{HodnotaADC}}{32} - 256 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Tento výpočet je pro teplotu rozdílnou od 0 °C méně přesný a chyba narůstá. Proto byl zvolen polynom z fóra National Instruments [6], který poskytuje mnohem přesnější výsledek.

$$T = (((4,31 \cdot 10^{-7} \cdot R_t + 8,75 \cdot 10^{-4}) \cdot R_t) + 2,37) \cdot R_t - 246,17 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

3.2 Ukládání hodnot

Každý airbag je připojený k jedné měřicí jednotce, která obsahuje vlastní mikroprocesor. Jelikož měření probíhá v krátkém časovém intervalu (řádově desítky milisekund), postačí pro uložení dat RAM vhodně vybraného mikroprocesoru. Externí paměť by zvýšila složitost plošného spoje, a také by komplikovala návrh o výběr a testování vhodné externí paměti.

Pro ukládání dat v mikroprocesoru je z hlediska rychlosti i velikosti paměti RAM nejjednodušší ukládat přímé hodnoty A/D převodníku, tedy jako 16 bitová čísla bez znaménka. Po naměření všech hodnot jsou tato čísla přenesena do centrálního prvku, kde jsou přepočtena na požadovaně reprezentované hodnoty.

3.3 Spojení bloků systému

3.3.1 Rozhraní

Požadavkem na spojení bloků je odolnost proti šumu, možnost připojení alespoň deseti zařízení, dostatečná rychlost pro přenos měřených dat a minimalizace počtu kabelů ve zkušebně.

První návrh obsahoval centrální prvek s analogovými vývody od každého airbagu. To přináší problémy s přesností, šumovou odolností a složitou kabeláží.

Použití číslicové technologie eliminuje výše uvedená rizika, přináší především zjednodušení kabeláže.

Pro srovnání číslicových rozhraní byly využity informace z knihy *Číslicové měřicí systémy* [7] a z přednášek předmětu Komunikační rozhraní počítačů [17][10][1].

IEEE488 (též znám jako GPIB) má 24 vodičů a délka kabelu mezi jednotkami je pouze do 2 m.

RS-232 má malou rychlost a umožňuje pouze spojení bod-bod, což sebou nese náročnost na velké množství kabeláže.

RS-485 přináší výhody jednoduššího řešení - dostatečnou rychlost, dostatečný počet zařízení (až 32) se sběrnice chováním, což výrazně zjednodušuje propojovací kabeláž.

USB využívá stromové topologie, což by ve zkušebně nebyl problém, má vestavěnou kontrolu dat a opakované přeposílání. Nevýhoda USB je maximální vzdálenost mezi jednotkami 5 m, složitý firmware a komplikace s vývojem či instalací driveru. V operačním systému Windows dochází k utužování pravidel, které musí driver dodržet, jelikož se zavádí do jádra systému [3] [2]. Vhodnější by bylo použít hotový driver např. od Future Technology Devices International nebo driverů výrobců mikroprocesorů.

IEEE1394 umožňuje rychlé spojení, topologii stromu i sběrnice a kontrolu dat. Omezením je délka kabeláže a složitá implementace firmware.

Ethernet má vysokou rychlost přenosu, umožňuje topologii stromu i bod-bod. Lze použít dlouhé kabely, protokol TCP na transportní vrstvě zaručuje doručení zpráv. Nevyžaduje speciální driver ani konkrétní operační systém PC. Nevýhodou klasické verze je časování, velké nároky na RAM a spolehlivost komunikace s mikroprocesory.

FlexRay umožňuje různé topologie, je vhodný pro realtime systémy, vytváří kontrolní součty a zahrnuje zabezpečení na fyzické vrstvě. Na druhou stranu je složitý na implementaci a vyžaduje dva oddělené kanály.

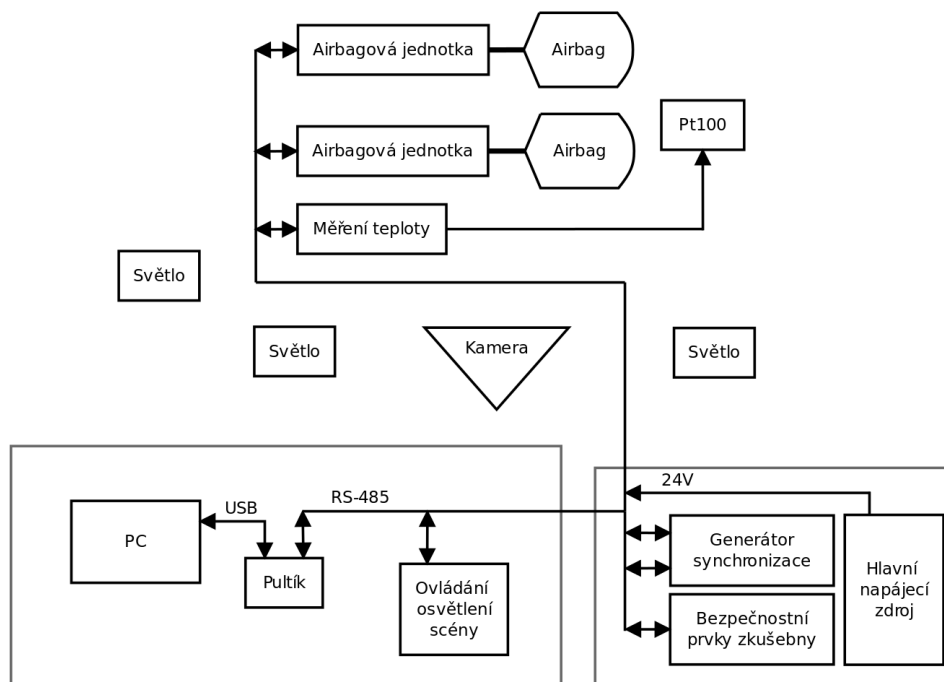
CAN poskytuje mnoho výhod - různé verze fyzické vrstvy, dostupné budiče, dlouhé spoje a dostatečnou rychlost. Uzly jsou si rovnocenné, dále je výhodou identifikace zprávy, bitstuffing, NRZ, detekce chyb (čítač), možnost volby obsahu zpráv.

Z výše vypsanych rozhraní byli nejlepšími adepty RS-485 a CAN. Nabízejí šumovou odolnost díky diferenciálním pářům, zapojení více zařízení na sběrnici (spojení po jednom kabelu), možnost komunikace master-slave a broadcast. Řešení diplomové práce s využitím RS-485 se ukázalo dostatečné pro splnění požadavků zadavatele, přiměřeně jednoduché a spolehlivé. Sofistikovanější systém CAN proto nebylo třeba použít, jelikož RS-485 vyhovuje zadání. Pro převod úrovní byl vybrán integrovaný obvod SN75176BD. Konektor pro spojení jednotek systému byl zvolen mini XLR s šesti vývody (pro data, synchronizaci a napájení). Pro propojení jednotek v prostoru zkušebny byl navržen kabelový systém FTP cat.6.



Obrázek 3.3: Mini XLR konektor

Umístění jednotlivých prvků v laboratoři vychází ze stávajícího uspořádání zkoušek. Počítač, pultík a ovládání osvětlení scény je umístěno v řídicí místnosti. Generátor synchronizačních pulzů, ovládání bezpečnostních prvků zkušebny a hlavní napájecí zdroj jsou umístěny ve skříni. Z této skříně je veden kabel k jednotlivým jednotkám umístěným na zkušebním pracovišti.



Obrázek 3.4: Blokový diagram zkušebny

3.3.2 Výpadky přenosu

Během komunikace centrálního prvku s jednotlivými jednotkami může dojít k výpadkům vlivem rušení, přerušení vodičů či chybou software. Proto je navrženo, že každou hodnotu, kterou je potřeba zapsat, musí být možno načíst a hodnoty porovnat. Při výpadku komunikace dojde v centrálním prvku k naplnění časového limitu a opětovnému dotazu. Vzorky měření obsahují kontrolní součet pro každý časový okamžik. Centrální prvek může požadovat všechny vzorky naráz nebo odděleně. Při výpadku komunikace v průběhu zkoušky do určitého momentu je zkouška automaticky zastavena. V případě selhání centrálního prvku před stažením dat lze centrální prvek resetovat bez ztráty dat v měřících jednotkách a hodnoty lze znovu načíst.

3.3.3 Přenos dat

Uvažujeme-li výpadky dat na sběrnici z hlediska rušení, přerušeno vedení a podobně, je nepraktické přenášet hodnoty přímo z A/D převodníků do centrálního prvku (např. počítače). Pro deset kanálů je potřebná vysoká propustnost. Centrální prvek uděluje příkazy jednotkám a čeká na odpověď. Pro snadnější ladění byl zvolen formát zpráv ASCII text. Pro přenos naměřených dat je potřeba přenést: čas, napětí, proud, napěťovou referenci, kontrolní součet a oddělovač.

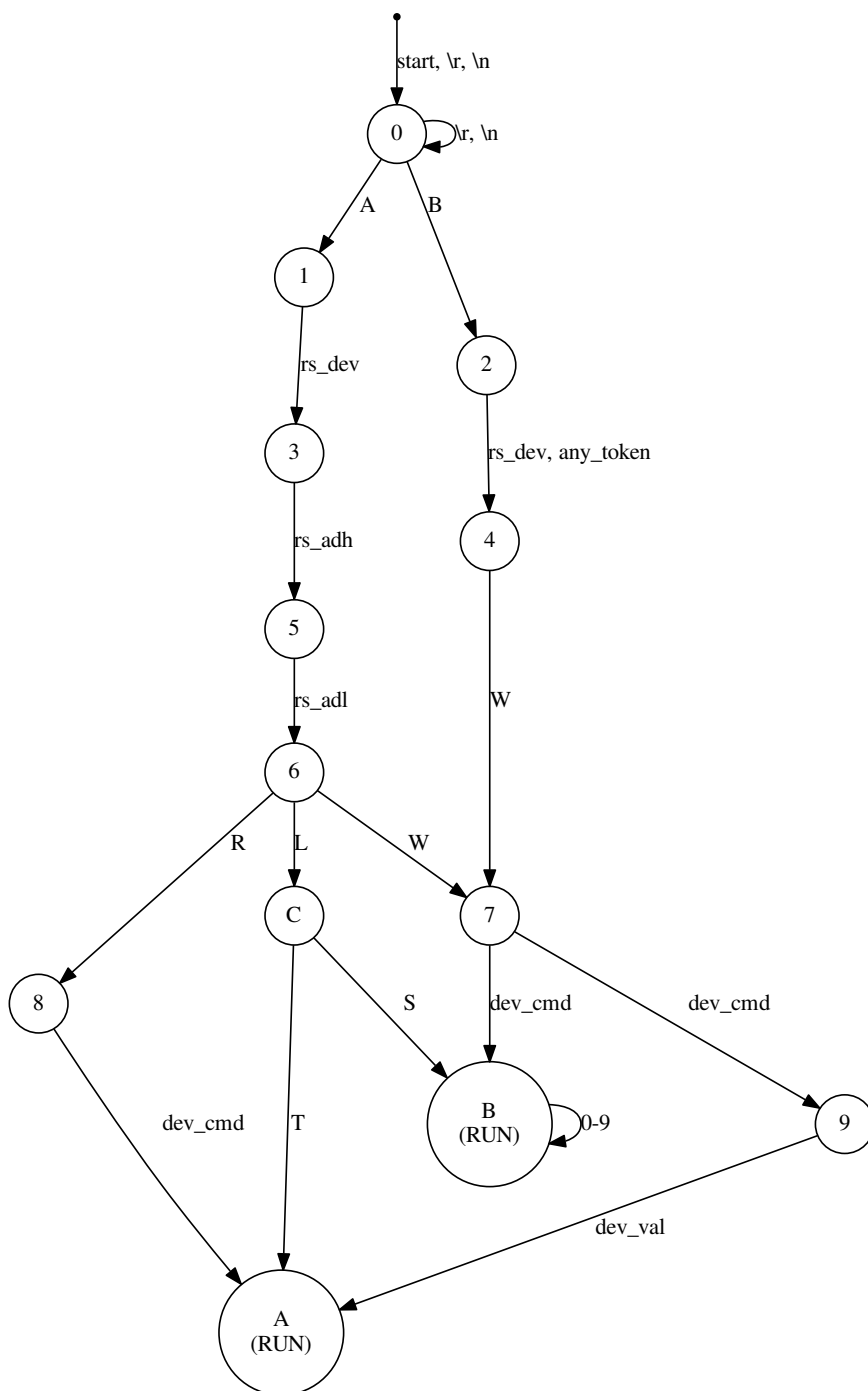
Nejmenší možná velikost jednoho vzorku je 11 bajtů při využití binárního zakódování čísel s 1 bajtovým oddělovačem. Při využití ASCII oddělovačů mezi hodnotami je délka 15 bajtů a pro reprezentaci celého vzorku v ASCII minimálně 26 bajtů. Problém binárních formátů je možná interpretace jako řídicí text (v ASCII). Stejně může obsahovat hodnotu značící konec řádky, který je v automatech chápán jako oddělovač. Může tak dojít k chybné reprezentaci dat a jejich následnému uložení. Pro snížení datového toku a zároveň neporušení reprezentace je třeba použít kompresi a následné správné kódování tak, aby nedošlo k záměně dat za příkazy. V mikroprocesorech není dostatek paměti pro vzorky a zároveň pro kompresi dat, přidání externí paměti komplikuje návrh měřící jednotky. Vliv komprese by se neprojevil na rychlosti přenosu dat do centrálního prvku. Čtení naměřených dat ze zkoušky není časově definováno.

3.3.4 Komunikační protokol

—	typ zařízení
|	G - gpio sirény, zámky dveří, světla, pult a ostatní
|	A - airbag airbagová jednotka
|	T - temperature teplotní jednotka
—	operace
|	R - read ze zařízení do PC
|	W - write z PC do zařízení
|	S - save uložení do EEPROM v zařízení
|	L - load načtení hodnot vzorků
—	příkazy
|	M - mode mód
|	A - a channel relé A
|	B - b channel relé B
—	mód
|	I - idle normální mód
|	R - resistivity měření odporu airbagu
|	M - measure měřicí mód - závisí na globální synchronizaci
|	D - done jako idle, ale informuje, že měření proběhlo
|	E - error jako idle, ale informuje, že nastala chyba
—	hodnota
|	1 - on sepnuté relé, zapnuté napájení, stisknuté tlačítko, ...
|	0 - off vypnuté relé, vypnuté napájení, ...
—	znaky
|	* - any kterékoli zařízení
|	; - line end konec příkazu, proved'
—	typ adresy
|	A - address konkrétní adresa
|	B - broadcast všem zařízením, nebo zařízením stejného typu

Pro přijímání zpráv od centrálního prvku do každé jednotky byl navržen pro mikroprocesory jednoduchý stavový automat. Automaty v jednotkách se liší jen příkazy a hodnotami, které daná jednotka podporuje. Jednotky stejného typu mají znak adresy shodný. Například dvě různé airbagové měřicí jednotky budou mít adresu *A01* a *A02*. Díky těmto shodným znakům je možné adresovat všechny airbagové měřicí jednotky najednou. Systém také umožňuje adresovat zprávu všem připojeným jednotkám nezávisle na jejich typu.

Automat obsahuje chybový stav, do kterého se přechází při nedefinovaných vstupech. Test na odřádkování '*\r*' nebo '*\n*' zresetuje automat do stavu 0. Stavy 0 až 6 slouží k adresaci zařízení, potom je potřeba specifikovat operaci, příkaz, hodnotu a zakončit ukončovacím znakem. Po provedení operace je automat v chybovém stavu a je potřeba přijmout odřádkování.



Obrázek 3.5: Stavový automat RS-485 pro mikroprocesory

3.4 Mikroprocesor

Mikroprocesor je hlavním prvkem každé jednotky v systému. Navržené jednotky jsou:

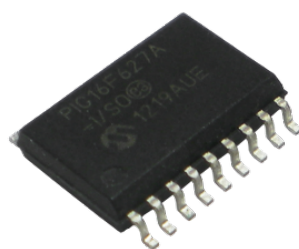
- ovládání bezpečnostních periferií laboratoře (zámky, siréna, majáky)
- ovládání světelného systému
- ovládací pult
- generátor synchronizace
- měření teplot
- kontrola a měření airbagů

Pult, ovládání zabezpečení laboratoře a ovládání světelného systému lze z návrhového hlediska pojmout jako stejné zařízení. Jedná se vždy o binární vstup či výstup, který řídí počítač. Pro tento účel je navržena jednotná deska plošného spoje s optickým oddělením.

Generátor synchronizačních impulsů je kombinací této desky a samotného generátoru. Generování synchronizačního impulsu zajistí nezávislý mikroprocesor.

Pro měření teploty byla navržena deska plošného spoje, inspirovaná vstupně-výstupní deskou, obsahující odporově digitální převodník.

Pro měřicí airbagové jednotky byl zvolen mikroprocesor s dostatečnou rychlostí, velikostí paměti a vestavěnými A/D převodníky. Airbagová měřicí jednotka obsahuje desku pulzního odpalovacího zdroje proudu a obvody konstantního proudu pro měření odporu.



Obrázek 3.6: Mikroprocesor

Základním požadavkem na mikroprocesor je komunikace přes RS-485 rychlostí alespoň 1 MBd, přičemž architektura mikroprocesoru není limitujícím faktorem. Při výběru vhodného mikroprocesoru byly uplatněny znalosti z dřívějších projektů, protože změna volby mikroprocesoru v průběhu řešení by si vyžádala značnou část času na úkor ostatní práce na projektu.

Základní 8 bitové mikroprocesory z rodiny Microchip PIC a AVR nenabízejí dostatečnou paměť RAM, většina ani dostatečnou rychlost. Architektura 8051 zahrnuje velký sortiment výrobců, ovšem orientace v něm je složitá. V úvahu by přicházely produkty společnosti SiliconLabs.

Texas Instruments MSP430 využívá paměti FRAM, která je schopná uchovat výsledky měření i bez napájení. U mikroprocesoru MSP430FR5959IDA s maximální pracovní frekvencí 16 MHz a odlišnou architekturou by bylo třeba ověřit rychlost zpracování vzorků a schopnost provést odpal airbagu s definovanými požadavky.

Pro použití bylo potřeba počítat s dostatečně velkou rychlostní rezervou. V úvahu přichází i řada PIC32MX od firmy Microchip (MIPS jádro), konkrétně PIC32MX250F128B (50 MHz, DIP28, RAM 32 kB, FLASH 128 kB) pro použití s externími A/D převodníky.

Mnoho výrobců nabízí architekturu ARM Cortex M, například od firmy NXP LPC11U67JB48E (jádro M0+, 50 MHz, RAM 20 kB, FLASH 128 kB, 3 MBd, A/D 2x 12 bit 2 Msps), LPC1549JBD48 (jádro M3, 72 MHz, RAM 36 kB, FLASH 256 kB, A/D 2x 12 bit 2 Msps). Vývojové prostředí LPCXpresso IDE je ve více verzích nestabilní. Některé části firmware volají uzavřený kód v paměti ROM, její obsah není zaručen.

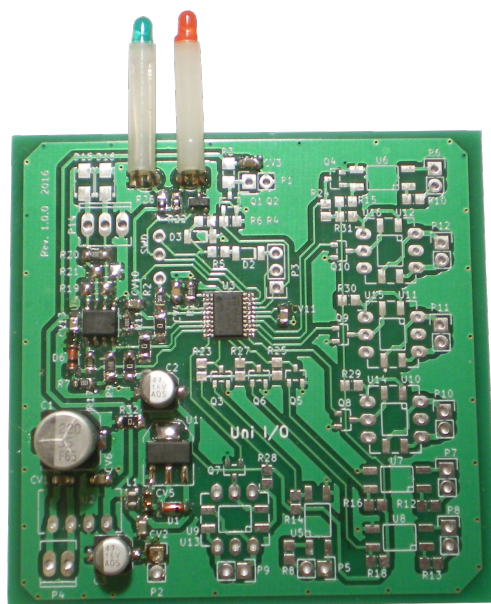
Cypress nabízí zajímavou platformu PSoC, která je spojením CPLD s jádrem ARM Cortex M. Vývojové prostředí PSoC Creator je nestabilní, překlad programu je dlouhý, využití opensource nástrojů je omezeno na překladač pro jádro.

Atmel vyrábí ATSAM21G18A (jádro M0+, 48 MHz, RAM 32 kB, FLASH 256 kB, A/D 1x 12bit 350 ksps). Rodina SAMD (Cortex M) má v recenzích špatná hodnocení a datasheety neodpovídají skutečnému provedení. Firma Atmel patří nově pod firmu Microchip.

U ostatních menších firem je riziko náhlých změn produktových řad.

Pro testování byly tedy zvoleny mikroprocesory od firmy ST s jádrem ARM, jelikož nabízely i variantu se čtyřmi synchronními A/D kanály (bez multiplexování), dobrou dokumentaci a dostupnost. Pro návrh je vhodný nástroj STM32CubeMX, který vyloučí stavy překrývání komponent a umožní správné nastavení hodinových domén.

Na univerzálních deskách byla testována řada STM32F0, konkrétně STM32F072, STM32F042 a STM32F030. Procesor STM32F072 vykazoval náhodné chyby (zastavení jádra, nefunkční PLL). Zjištění původu chyby na jediném testovaném kuse nebylo možné a vzorek byl vyřazen. STM32F042 má na rozdíl od STM32F030 možnost programování přes USB. Tato funkce nebyla nezbytná, ladění firmware musí probíhat přes SWD nebo JTAG rozhraní. Ostatní části obou typů jsou si rovnocenné, mají shodné jádro Cortex M0 a pinovou kompatibilitu.



Obrázek 3.7: Univerzální vstupně - výstupní deska plošného spoje

Měření na teplotním čidle využívá STM32F030 spojený s převodníkem MAX31865AAP.

Pro airbagovou měřicí jednotku byly zvoleny typy STM32F358 a STM32F303 s vestavěnými A/D převodníky, dle datasheetu [19] umožňují synchronizovat analogový převod.

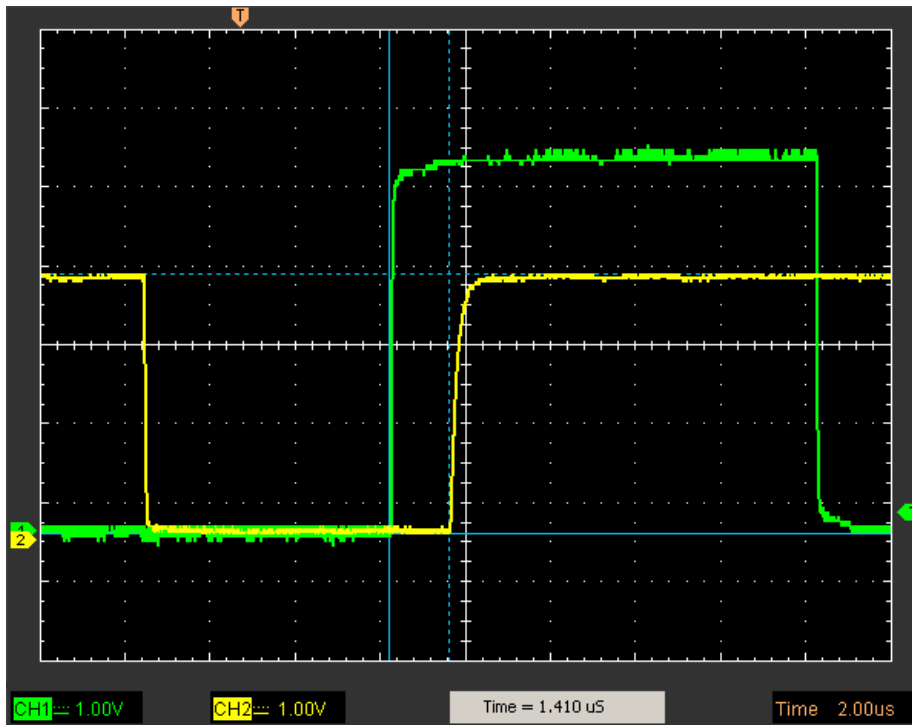
Konečné řešení obsahuje jednu rodinu mikroprocesorů (s výjimkou generátoru). To zjednodušuje odladění kódu a eliminuje chyby. Pro generátor pulzů byla zvolena 8 bitová architektura PIC16F, která umožňuje jednoduchý kód napsaný v assembleru.

Použitým vývojovým nástrojem je textový editor, GNU C kompilátor s programováním přes OpenOCD a ST/Link. Sestavení projektu je řešeno přes makefile. Pro program generátoru je použito vývojové prostředí MPLABX s programováním přes PICkit3.

■ 3.5 Synchronizace

Pro synchronizování všech A/D převodníků současně je potřeba přivést hlavní synchronizační impuls. Aby tento signál nebyl rušen ostatními zařízeními zkušebny (osvětlení scény), je veden diferenciálně, stejně jako datové vedení.

Je použit stejný obvod, maximální frekvence je dostatečná. Dále je toto rozhraní odděleno opticky, aby nedocházelo k rušení A/D převodníků. Zpoždění vzniklé na optických oddělovačích, převodníků diferenciálních signálů a pomocných tranzistorech, je pro potřebnou frekvenci zanedbatelné (naměřeno $1,4 \mu\text{s}$).



Obrázek 3.8: Zpoždění signálu synchronizace, zelená - výstup generátoru, žlutá - vstup mikroprocesoru v airbagové jednotce

Uvnitř jednotky generátoru je univerzální vstupně- výstupní deska, tato deska je připojena na sběrnici RS-485. S deskou je spojen další mikroprocesor realizující samotný generátor. Jedná se o jednoduchý 8 bitový Microchip PIC16F627A (dále jen PIC). Při požadavku na odpal v průběhu zkoušky přijde z počítače příkaz přes RS-485. Mikroprocesor na univerzální desce dekóduje příkaz a zresetuje PIC. Po startu programu dojde ke konfiguraci a PIC zpět indikuje připravenost. Příkaz k odpalu přijde z univerzální desky. Dojde ke spuštění kamerového záznamu. PIC nyní generuje požadovanou vzorkovací frekvenci, generování probíhá s aktivním čekáním přesně napočítaných instrukcí. Oscilátor je řízen přesným krystalem. Celý program mikroprocesoru PIC je v assembleru.

Toto řešení bylo vhodné i pro variantu s interními A/D převodníky, zde je možné spustit převod přímo hranou vstupního signálu. Při použití knihovny StdPeriph od ST je potřeba nastavit `ADC_ExternalTrigConvEvent`, `ADC_ExternalTrigEventEdge`, zvolit signál od externího zdroje `EXTI` v `SYSCFG` a je možné nastavit přerušování s příchodem hrany vstupního impulsu. V přerušování je možné vykonávat synchronní operace celého systému.

3.6 Ovládání

3.6.1 Hlavní prvek řízení

Pro návrh hlavního ovládacího prvku jsou možné dvě varianty, ovládací pult nebo počítač. Pult přináší lepší stabilitu, jelikož neobsahuje operační systém a neumožňuje tak spustit jiný software, který by mohl běh programu ovlivnit (proces s vyšší prioritou, virus, antivirus). Pult by obsahoval displej s informacemi o probíhající činnosti, kontrolní LED a zámek, který dokáže zastavit zkoušku na úrovni hardware. Rozšiřitelnost pultu při použití mikroprocesoru je omezená velikostí paměti, složitostí řídicího programu a nastavovacími prvky. Ukládání souborů pomocí mikroprocesorů je komplikované, vyžadovalo by použití USB flash disku nebo paměťové karty. Většina projektů s médii využívá souborového systému FAT implementované panem ChaNem [4], ze kterého je možné dle popisu vyčíst potřebu programové a operační paměti. Požadavkem zadavatele je potřeba vykreslení grafu, což lze s mikroprocesorem obtížně realizovat. Aplikace počítače uvnitř pultu nepřináší proti řešení s PC žádné zásadní zjednodušení.

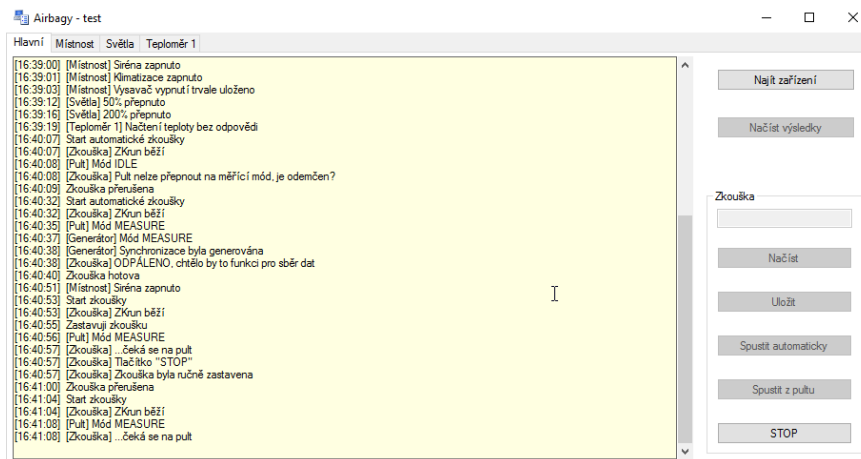


Obrázek 3.9: Příklad velkého pultu pro řízení zkoušky

Počítač má snazší rozšiřitelnost celého systému a jednodušší ukládání naměřených dat. Měřící technik může naměřené výsledky přímo vložit do protokolu bez přesouvání médií nebo připojování síťových úložišť. Při využití PC zůstává na stole jen malý pult, který je vůči hlavnímu prvku také podřízený. Pomocí malého pultu je možné odblokovat, spustit a zastavit zkoušku.

3.6.2 Software

Na cílovém pracovišti se nachází počítač s operačním systémem Windows, proto se z hlediska řídicího software zaměřuje vývoj na tuto platformu. Pro vývoj byl zvolen .NET Framework 4.0, jelikož umožňuje kompatibilitu napříč verzemi Windows XP SP3 a novější. Novější API u tohoto projektu není nutné. Využívá se komunikace RS-485, základní ovládací prvky GUI - tlačítka, textová pole, nastavovací prvky, vykreslení grafů a uložení souborů naměřených hodnot. Pro vývoj bylo využito Microsoft Visual C# 2010 Express pro jeho rychlost, stabilitu a možnost pracovat bez připojení na internet. Některé pokusné nástroje byly naprogramovány v SharpDevelop, jež se jeví jako dobrá open-source alternativa.



Obrázek 3.10: Hlavní okno programu spuštěného na Windows 10

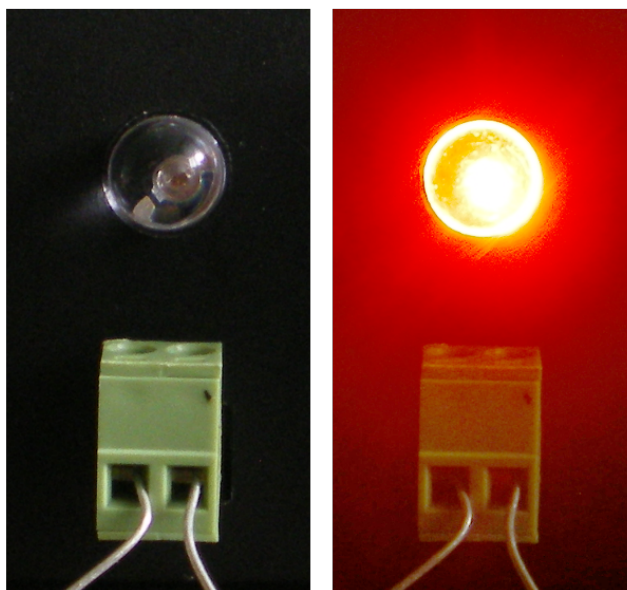
3.7 Bezpečnost

Zajištění bezpečnosti systému bylo zohledněno v průběhu celé realizace, zejména vyloučením náhodných a hazardních stavů, nedefinovaných stavů při výpadku napájení, ošetřením chyb, které jednoznačně vedou k zastavení zkoušky, vyloučením chyb způsobených obsluhou, zabezpečením laboratoře z hlediska BOZP. Dále byl kladen důraz na spolehlivost ukládání naměřených dat, bezpečnost při instalaci a manipulaci s jednotlivými bloky řídicího systému a dostatečnou odolnost proti průmyslovému rušení.

Airbag musí být po celou dobu mimo probíhající zkoušku z bezpečnostních důvodů zkratovaný. Systém tento požadavek realizuje rozpínacími kontakty relé. Bezprostředně před odpalem je tento zkrat zrušen přepnutím relé.

Z hlediska bezpečnosti je potřeba identifikovat stav, kdy je odpalovací část airbagové jednotky odblokována a je tedy možné airbag vystřelit. To je zajištěno na dvou místech. Ve zkušebně je umístěna signalizace se sirénou, která je spuštěna na začátku zkoušky před zablokováním vstupu do zkušebny. Odjištěný stav airbagové odpalovací jednotky je výrazně indikován LED umístěné na jednotce. Po dobu zkoušky jsou aktivovány viditelné majáky v prostorech zkušebny.

Při pádu aplikace a ostatních chybách v systému by mohlo dojít ke stavu trvale odjištěných airbagů. Jejich zkratování v případě nefunkčnosti ovládání zajistí časový limit uvnitř jednotky, který uvede zkratovací relé do výchozího stavu. Totéž lze vyvolat vypnutím napájení celého systému. Při výpadku napájení zkušebny jsou airbagy vždy ve zkratovaném stavu.



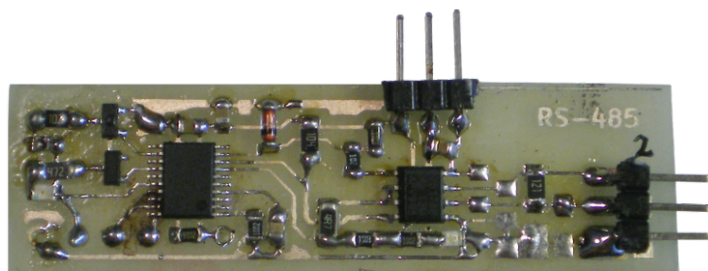
Obrázek 3.11: Indikace odjištěného stavu airbagové odpalovací jednotky

Kapitola 4

Testování

4.1 RS-485

Nejprve se testoval čip pro použití RS-485. Pro tento účel vznikl jednoduchý plošný spoj vyrobený v několika kusech. Osazen SN75176BD a STM32F030. Více kusů mělo ověřit možnost využití více oddělených jednotek na RS-485 a také vyzkoušet různé přenosové rychlosti.

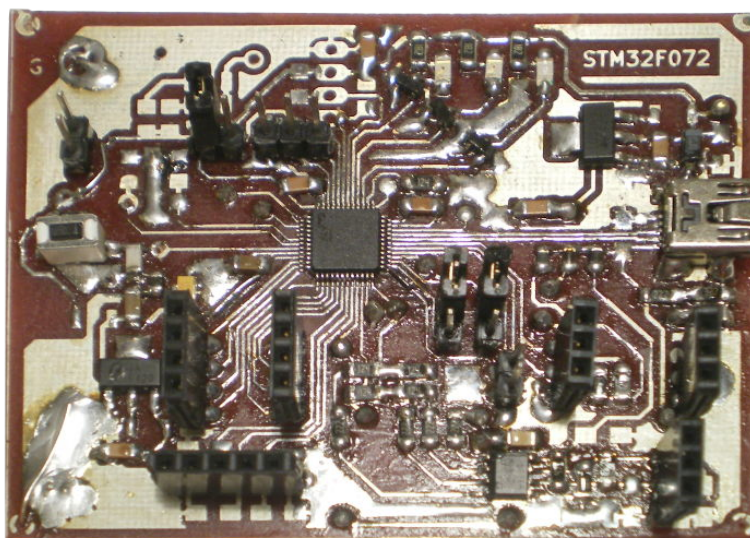


Obrázek 4.1: Pokusná deska pro zatížení RS-485

Z testu vyplývá, že použití RS-485 pro osm zařízení není problém i na nestíněném vedení. Firmware fungoval spolehlivě, přijímal příkazy od PC vyhodnocované automatem dále použitým v realizovaných jednotkách 3.5. Odezvy vstupů a výstupů byly vyhodnocovány pomocí časovače a indikačními LED.

4.2 STM32F072

Další plošný spoj byl navržen pro otestování mikroprocesoru STM32F072 a externích A/D převodníků. Rovněž sloužila k vyzkoušení překladače a programátoru. Na této testovací desce se projevila chyba PLL i vnitřního RC oscilátoru 48 MHz kdy docházelo k zastavení jádra. Rovněž se projevily chyby přepínání A/D multiplexoru. Na základě tohoto vyhodnocení nebylo pokračováno ve vývoji s mikroprocesorem STM32F072.



Obrázek 4.2: Pokusná deska mikroprocesoru

4.3 A/D převodníky

Pro testování A/D převodníky sloužil zdroj napětí baterie AA a nastavitelný zdroj.

ADCS7476 - linearita vyhovující s chybou do 10 mV, A/D nemá vstup pro referenční napětí, je použitelný s napájením 3 V i 5 V, s dostatečnou rezervou rychlosti.

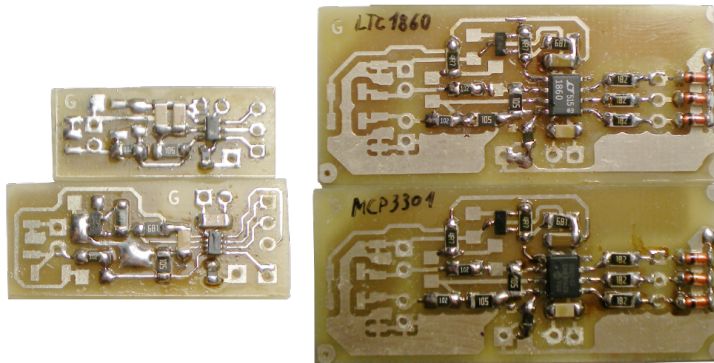
LTC2361 - možnost připojení externí reference, nízká rychlost na hranici použitelnosti.

LTC1860 - diferenciální vstup vhodný pro měření proudu, dává přesnější výsledky než LTC2361, spolehlivá funkce na 5 V, nízká rychlost na hranici použitelnosti.

A/D převodník MCP3301 nebyl proměřován, z důvodů nízké vzorkovací frekvence je nevhodný (100 ksps).

Vzorkovací frekvence u těchto převodníků je svázaná s rychlostí přenosu dat. To neumožňuje mikroprocesoru dostatek času na ukládání vzorků a činnost spojenou s odpálením airbagu v době kdy A/D převodník nekomunikuje s mikroprocesorem po sériovém portu. Využití DMA pro čtyři synchronní SPI porty najednou není možné.

ADCS7476 při testech vykazoval dostatečnou rezervu a krátkou dobu přenosu dat. To bylo důvodem jeho použití v realizovaném zařízení.



Obrázek 4.3: Pokusné desky plošných spojů A/D převodníků

Mikroprocesor STM32F303 s interními převodníky - odchylky výstupních hodnot při konstantním vstupu, které nastávají po resetu. Další chybou byly rozdílné hodnoty výstupu mezi jednotlivými A/D mikroprocesoru při shodném vstupním napětí.

A/D převodník	Měření 1	Měření 2	Měření 3
1	3993	3999	3992
2	4000	4016	4000
3	4003	4003	4002
4	3094	3096	3094

Tabulka 4.1: Naměřené úrovně interních A/D převodníků během restartů

Přehled znázorňuje rozdíl až 16 úrovní (čtyři nejnižší bity) po resetu a ustálení mikroprocesoru.

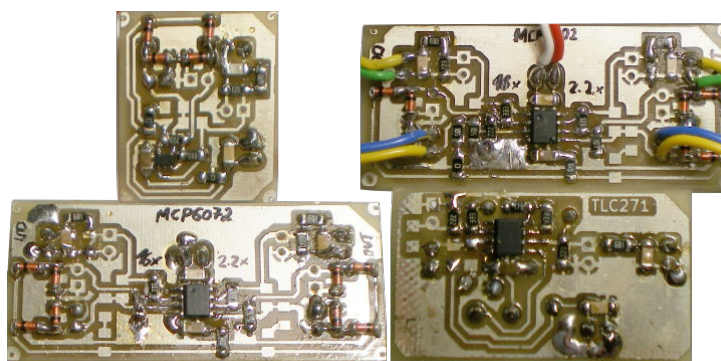
Další zkouškou byly ověřeny čtyři externí ADCS7476 v porovnání s STM32F303 obsahující interní převodníky. Zkouška porovnávala 5000 vzorků bez průměrování při konstantním vstupním napětí. V ustáleném stavu externí převodníky nevykazovaly žádné rozdíly. U interních převodníků i po kalibraci byly opakovaně zjištěny rozdíly až 60 kvantizačních úrovní. Test byl opakován pro vyloučení náhodných chyb a opakována na novém kusu STM32F303 se stejně nevyhovujícím výsledkem.

Závěr tohoto testu jednoznačně určuje výhodnější použití samostatných externích převodníků ADCS7476. Při opakovaných měření byla maximální zjištěná chyba dva nejnižší bity, u interních převodníků šest bitů. Zkoušky prokázaly, že není potřeba optické oddělení analogové a digitální části.

4.4 Operační zesilovače

Operační zesilovače byly testovány s generátorem:

- průběh - sinus
- napájecí napětí 4,85 V
- frekvence 1, 10, 100 kHz
- zesílení 2,2 krát
 - $U_{vstup} = 1,5 V_{pp}$
 - offset 1 V
- zesílení 16 krát
 - $U_{vstup} = 0,3 V_{pp}$
 - offset 0,2 V



Obrázek 4.4: Pokusné desky plošných spojů OZ

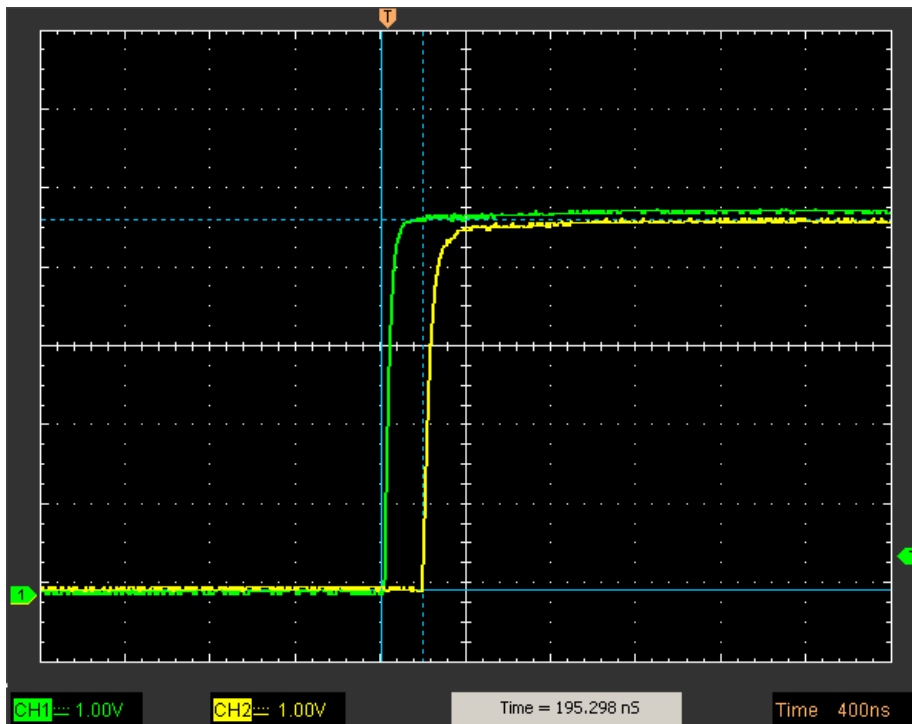
Výsledek měření:

- MCP6001 - 10 kHz zesílení bez poklesu, 100 kHz -6 dB
- MCP6002 - 10 kHz zesílení bez poklesu, 100 kHz -6 dB
- MCP6072 - 10 kHz zesílení bez poklesu, 100 kHz méně než -6 dB
- TLC271 - vadný vzorek
- MCP6V91 - 10 kHz zesílení bez poklesu, 100 kHz zesílení bez poklesu
- MCP6021 - 10 kHz zesílení bez poklesu, 100 kHz zesílení bez poklesu

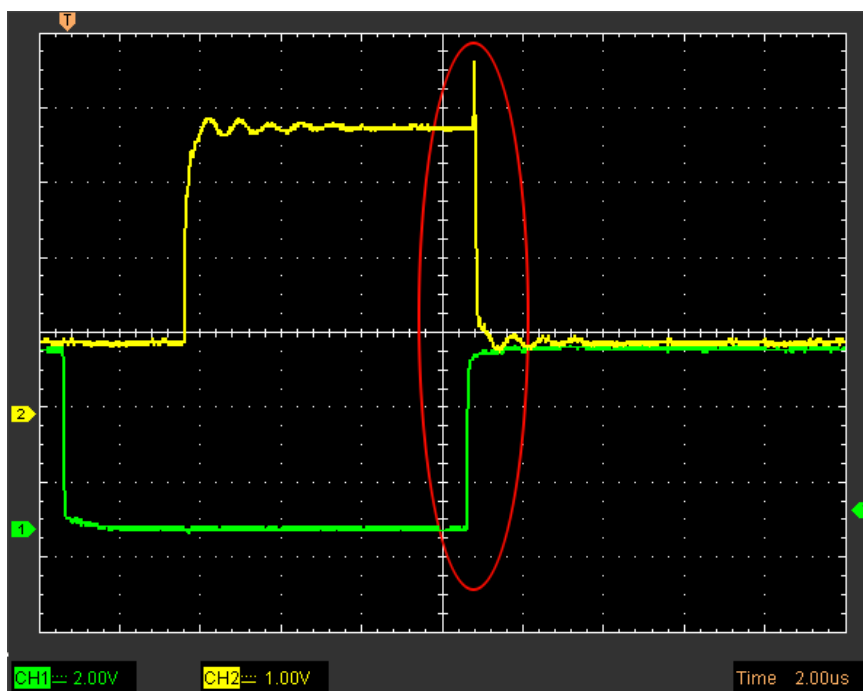
Z opakovaných měření operačních zesilovačů MCP6V91 a MCP6021 vyplývá, že vyhovují pro realizaci. MCP661 vybraný k otestování dle datasheetu nebylo nutné použít vzhledem k vyhovujícím výsledkům výše uvedených operačních zesilovačů.

4.5 Synchronizace

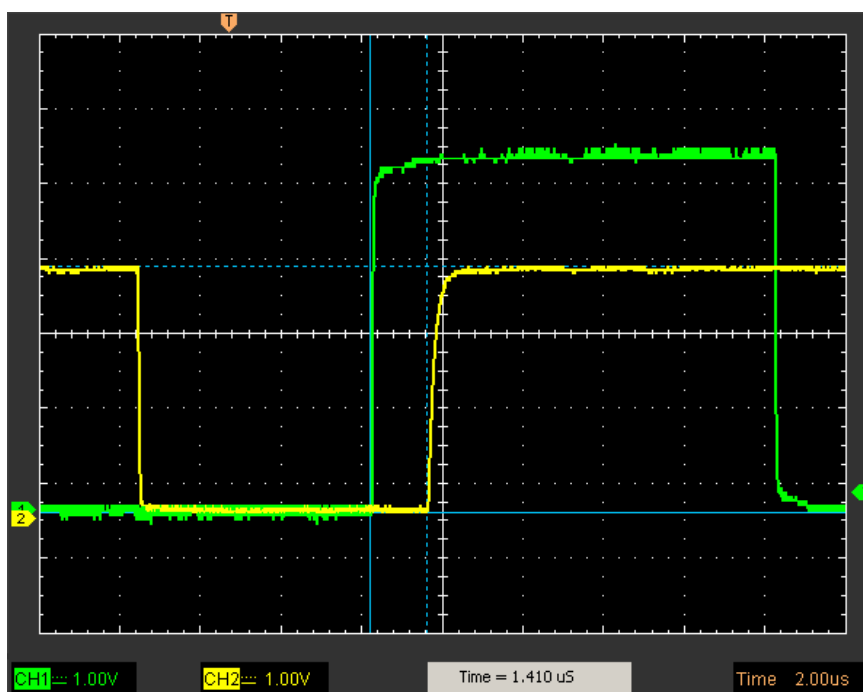
V grafech je zaznamenáno zpoždění synchronizačního signálu v jednotlivých bodech řetězce mezi výstupem PIC16F627A, tranzistorem, optočlenem a airbagovou jednotkou. Vzhledem k tomu, že se využívá vzestupná hrana synchronizačního signálu, je změna střídy pro funkci bezvýznamná. Naměřené zpoždění mezi výstupem PIC16F627A a výstupním konektorem generátoru je 300 ns. Celkové zpoždění od výstupu PIC16F627A do vstupu mikroprocesoru airbagové jednotky je 1,4 μ s. Zpoždění synchronizačního signálu od generátoru po mikroprocesor airbagové jednotky je pro všechny jednotky stejné a nepůsobuje chybu, kterou by bylo třeba uvažovat. Zpoždění se neprojeví negativně ani na synchronizaci rychlokamer (méně než 2 % snímkové frekvence).



Obrázek 4.5: Zpoždění signálu synchronizace, zelená - výstup generátoru, žlutá - výstupní signál optočlenu generátoru

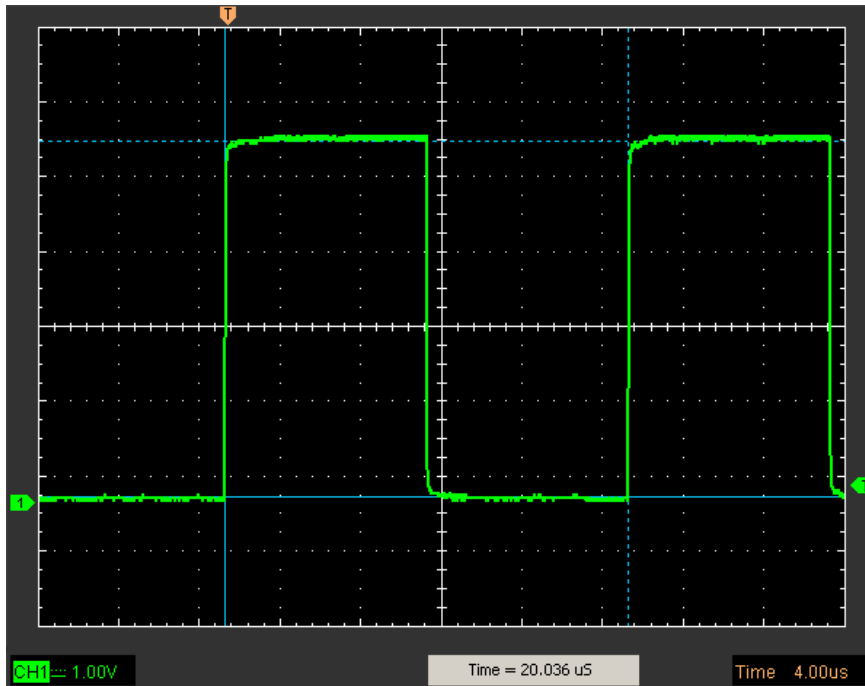


Obrázek 4.6: Zpoždění signálu synchronizace 300 ns, zelená - výstup generátoru, žlutá - výstupní konektor generátoru

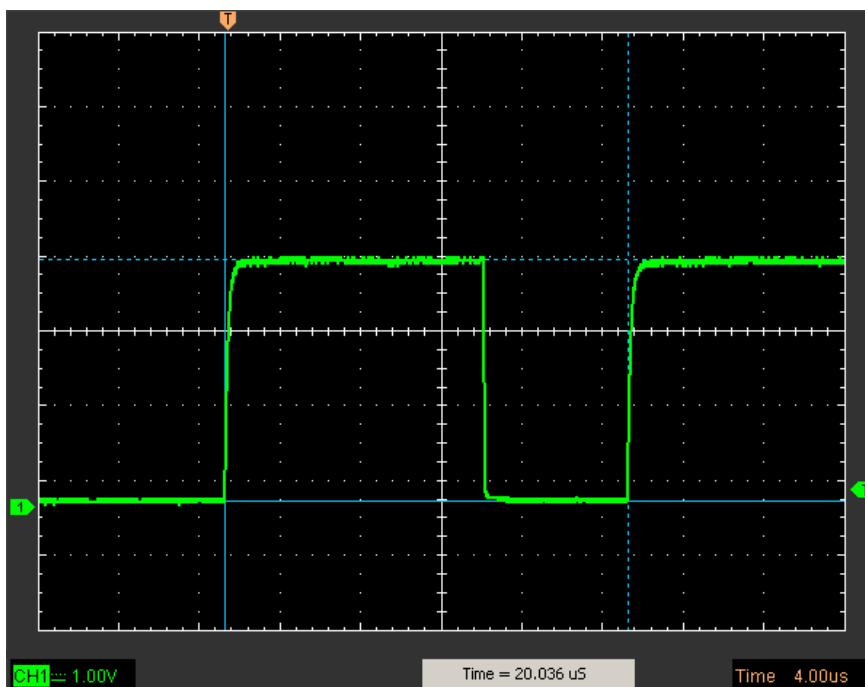


Obrázek 4.7: Zpoždění signálu synchronizace, zelená - výstup generátoru, žlutá - vstup mikroprocesoru v airbagové jednotce

Změřená délka periody odpovídá napočítané délce instrukcí na začátku i konci řetězce.

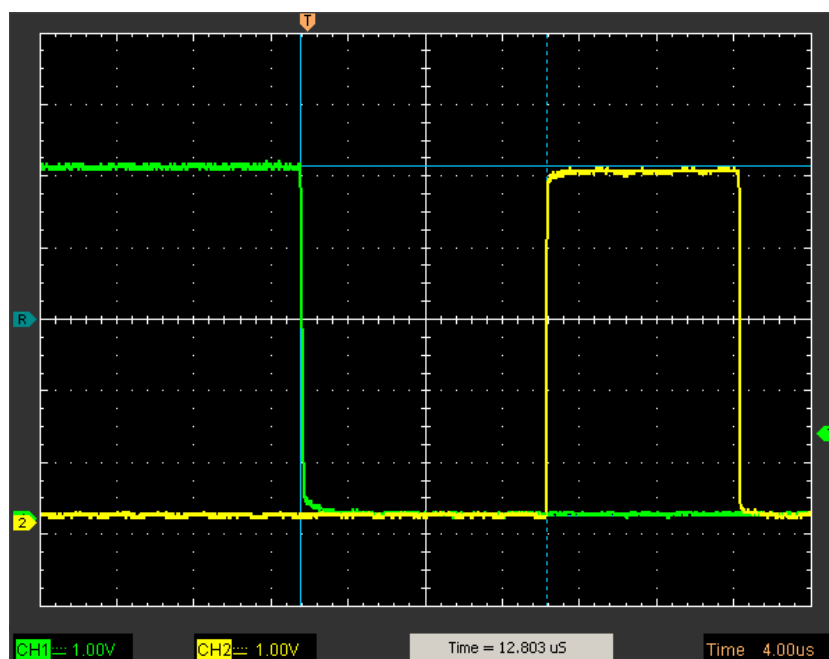


Obrázek 4.8: Délka periody na výstupu generátoru

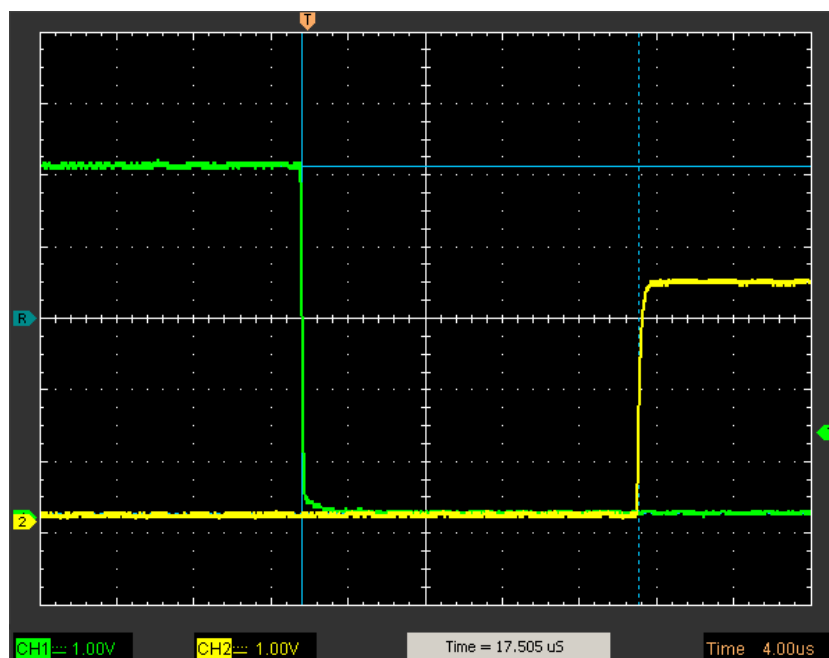


Obrázek 4.9: Délka periody na vstupu mikroprocesoru airbagové jednotky

Zpoždění od spuštění kamer do vytvoření prvního vzorku je kratší než perioda jednoho vzorku.

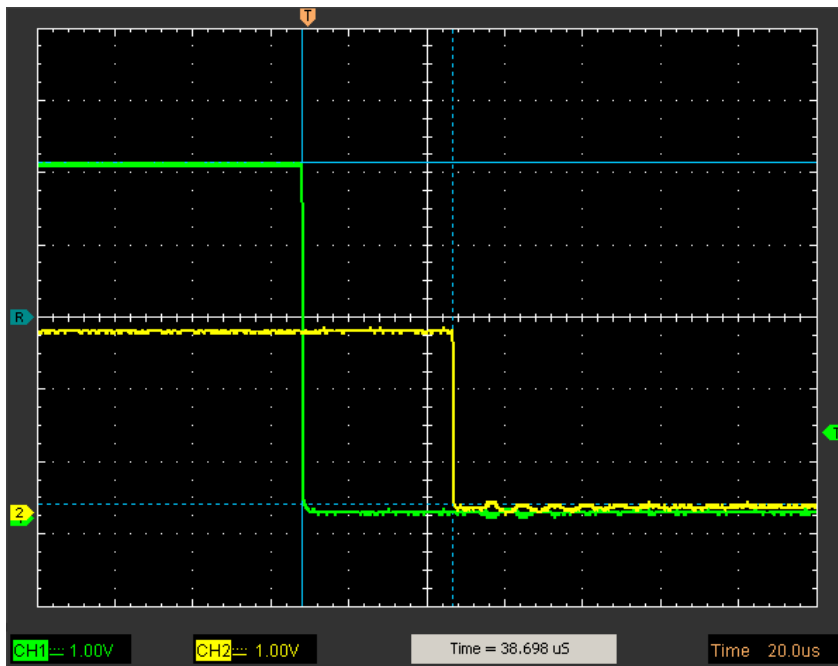


Obrázek 4.10: Zpoždění mezi zelenou - spuštěním kamer a žlutou - spuštěním generátoru

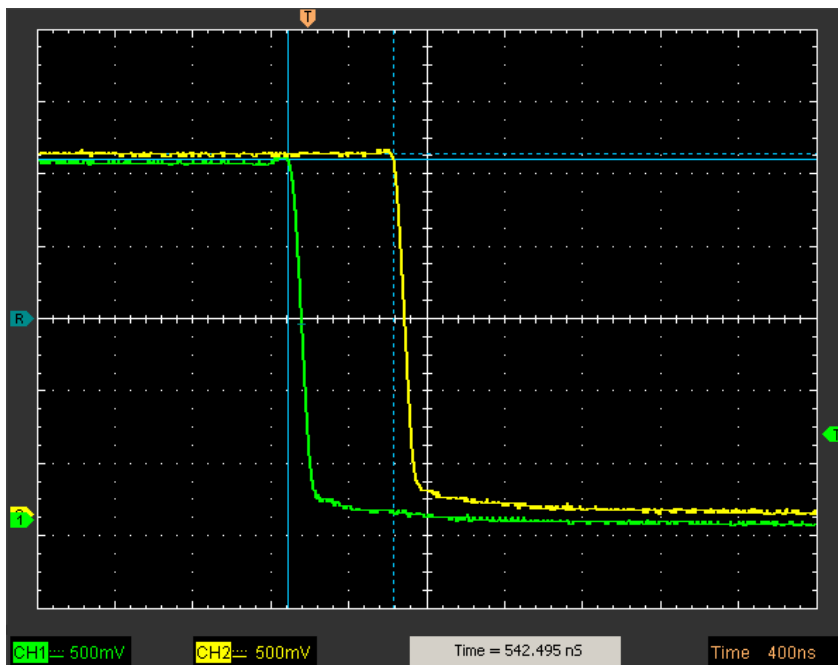


Obrázek 4.11: Zpoždění mezi zelenou - spuštěním kamer a žlutou - první synchronizační hranou na mikroprocesoru v airbagové jednotce

Zpoždění od spuštění kamer do nejbližšího možného odpálení roznětky airbagu. Jedná se o výstup z mikroprocesoru airbagové jednotky.

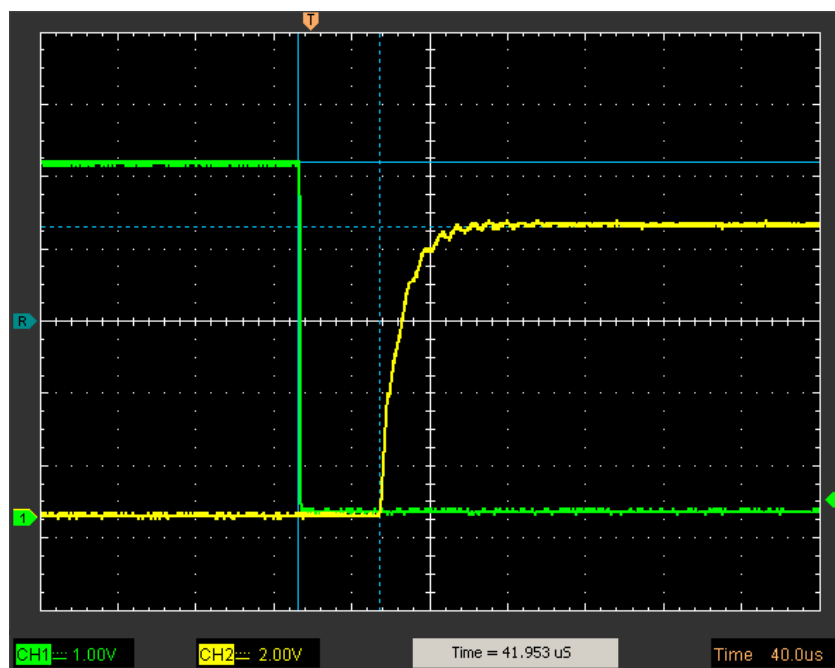


Obrázek 4.12: Zpoždění mezi zelenou - spuštěním kamer a žlutou - prvním odpálením

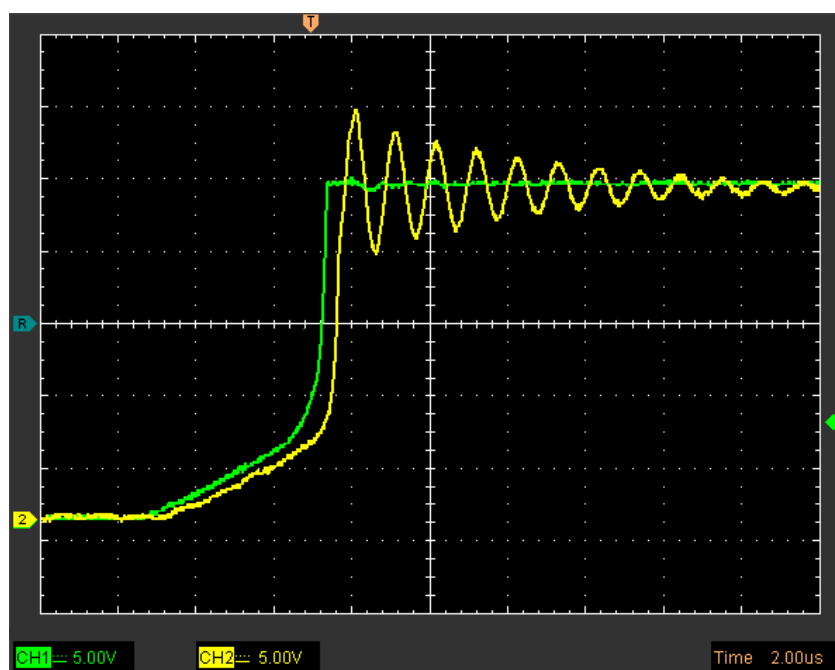


Obrázek 4.13: Zpoždění mezi jednotkami se stejným časem odpalu

Zpoždění od spuštění kamer do nejbližšího možného odpálení roznětky airbagu, změřen výstup impulzního zdroje.

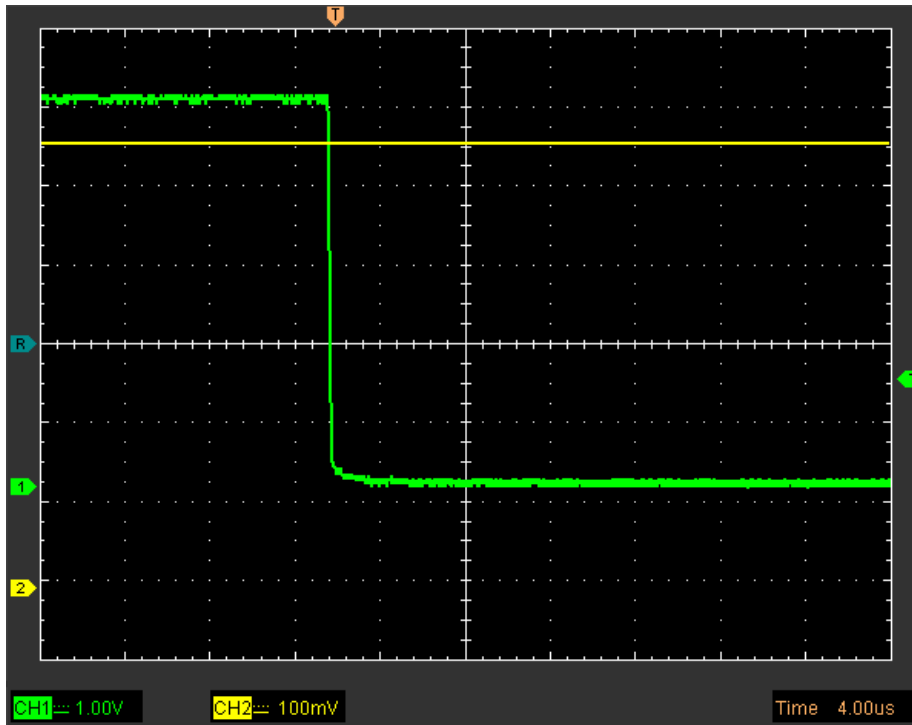


Obrázek 4.14: Zpoždění mezi zelenou- spuštěním kamer a žlutou- prvním odpálením do airbagu



Obrázek 4.15: Zpoždění mezi jednotkami se stejným časem odpalu do airbagu

Zvlnění výstupního napětí napěťové reference MAX6071 v momentě odpálení, tato informace je potřeba pro správný výpočet měřených hodnot.

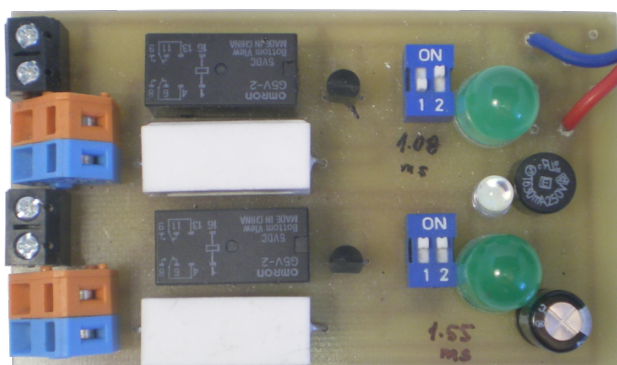


Obrázek 4.16: Žlutá - zvlnění výstupního napětí MAX6071 při odpálení - hrana zeleného signálu

4.6 Simulátor

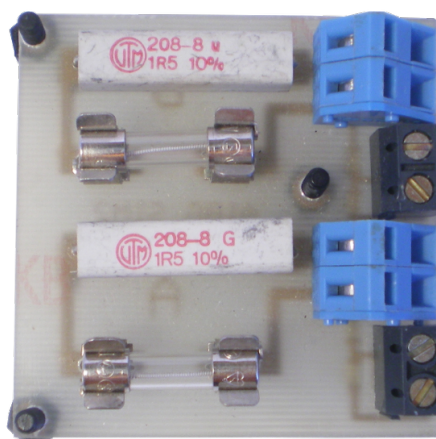
Pro opakované zkoušky bylo třeba použít simulaci airbagu. Simulátor musí splňovat tato kritéria: jeho vstupní odpor musí odpovídat odporu roznětky airbagu, odpojení tohoto odporu musí proběhnout v čase obdobném jako je doba přerušení zapalovače airbagu a musí být použitelný opakovaně.

Na simulátorech byly ověřovány funkce odpalovacího pulzního zdroje (napětí, proud, čas).



Obrázek 4.17: Elektronický simulátor airbagu

Pro zkoušky byl vytvořen simulátor využívající elektroniku a rychlé rozpínací relé. Tento simulátor umožňuje nastavení čtyř různých časů rozepnutí. Elektronika nesmí reagovat na malý měřicí proud při měření odporu airbagu.



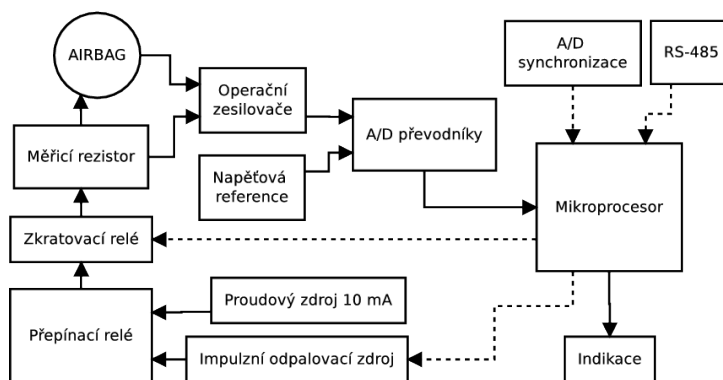
Obrázek 4.18: Pasivní simulátor airbagu

Jako alternativa byl používán pasivní simulátor s rezistorem a tavnou pojistkou.

Kapitola 5

Realizace

5.1 Airbagová jednotka

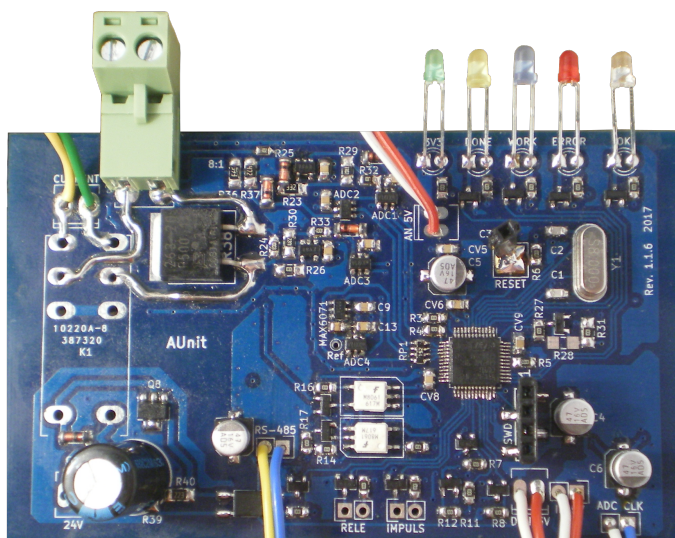


Obrázek 5.1: Blokové schéma airbagové jednotky

5.1.1 Řídící část

Stav airbagové jednotky je dán módem, přijatými příkazy a synchronizačním vstupem. Kromě indikačních LED mikroprocesor řídí relé zkratovací, relé přepínající malý konstantní proud s odpalovacím impulsem a odpalovací impuls. Vše je od mikroprocesoru opticky odděleno, aby při odpalování nedošlo k jeho resetování či zničení. Odpalovací puls může být aktivován pouze v měřícím módu, který musí být předem aktivován, a musí být zvolen čas, kdy má být airbag odpálen (od začátku zkoušky). Časování během

zkoušky se řídí hlavním synchronizačním signálem tak, aby vzorkování A/D převodníků začínalo ve stejný moment. Při příchodu hrany na tomto signálu dojde k přerušení, ve kterém se provede vzorek a vyhodnotí se uplynulý čas od začátku zkoušky. Je-li roven nastavenému času, provede odpal aktivováním odpalovacího impulsu.



Obrázek 5.2: Deska plošného spoje airbagové měřící jednotky

5.1.2 Analogová část

Tato část obsahuje čtyři A/D převodníky ADCS7476 (napětí před zkouškou, napětí při zkoušce, proud a referenční napětí). Použité výpočty ze vstupů A/D převodníků:

$$U_{\text{napájecí}} = \frac{U_{\text{referenční}} \cdot (2^{\text{rozlíšení}} - 1)}{ADC_{\text{referenční}}} \quad [V]$$

$$U_{\text{předZK}} = \frac{U_{\text{referenční}} \cdot ADC_{\text{předZK}}}{ADC_{\text{referenční}} \cdot AOZ1} \quad [V]$$

$$U_{\text{přiZK}} = \frac{U_{\text{referenční}} \cdot ADC_{\text{přiZK}} \cdot (R_1 + R_2)}{ADC_{\text{referenční}} \cdot R_2} \quad [V]$$

$$I = \frac{U_{\text{referenční}} \cdot ADC_{\text{proud}}}{ADC_{\text{referenční}} \cdot AOZ2 \cdot R_{\text{měřicí}}} \quad [A]$$

Kde $U_{\text{napájecí}}$ je napájecí napětí A/D převodníků a zároveň horní napěťová reference, $U_{\text{referenční}}$ je referenční napětí na MAX6071 (tedy 3 V), rozlíšení je 12 bitů, $ADC_{\text{referenční}}$ je výstup A/D převodníku (hodnota 0 až 4095) připojeného k napěťové referenci, $U_{\text{předZK}}$ je napětí na airbagu před zkouškou

(při měření odporu), $ADC_{předZK}$ je výstup A/D převodníku připojeného na operační zesilovač se zesílením A_{OZ1} , $U_{přiZK}$ je napětí na airbagu během zkoušky, $ADC_{přiZK}$ je výstup A/D převodníku připojeného na odporový dělič s hodnotami R_1 a R_2 , I je proud zapalovačem airbagu před i během zkoušky, ADC_{proud} je výstup A/D převodníku připojeného na operační zesilovač se zesílením A_{OZ2} měřící napětí na měřícím rezistoru s odporem $R_{měřící}$.

Dle navržených hodnot vychází:

$$U_{napájecí} = \frac{3 \cdot 4096}{ADC_{referenční}} [V]$$

$$U_{předZK} = \frac{3 \cdot ADC_{předZK}}{ADC_{referenční} \cdot 11} [V]$$

$$U_{přiZK} = \frac{3 \cdot ADC_{přiZK} \cdot (39000 + 4700)}{ADC_{referenční} \cdot 4700} [V]$$

$$I = \frac{3 \cdot ADC_{proud}}{ADC_{referenční} \cdot 2,2 \cdot 0,5} [A]$$

Tyto výpočty jsou zahrnuty do měřícího software, aby bylo možné z naměřených úrovní A/D převodníků přepočítat hodnoty na vstupu.

5.1.3 Firmware

Firmware obsahuje navržený automat pro parsování příkazů z centrálního řídicího prvku, který se spouští v přerušení od sériového portu. Pomocí příkazů se může přepínat mezi jednotlivými módy.

Do měřícího módu lze přejít pouze z klidového stavu za předpokladu, že je naprogramován čas odpalu. Pokud jsou tyto podmínky splněny, dojde k odblokování relé, zapnutí přerušení od synchronizačního generátoru a uložení času aktivování. Je-li v hlavní smyčce detekováno překročení časového limitu, jsou relé opět zablokována, což zabrání problémům s výpadky komunikace před vystřelením airbagu. Druhý mód, kdy dojde k odblokování zkratu airbagu, je při měření odporu malým proudem. Tento mód může být aktivován pouze v klidovém stavu.

Přerušení od synchronizačního generátoru je povoleno jen během měření, kdy program provede načtení vzorku A/D převodníku a případně aktivuje impulzní odpalovací generátor.

Jednotlivé vzorky z A/D převodníku jsou ukládány do velkého pole v paměti RAM. Z důvodů velikosti tohoto pole musel být upraven linker skript a zmenšena velikost zásobníku.

Činnosti, které by v přerušení trvaly dlouho, jsou uloženy do proměnné *tasky*. Tyto úlohy se pak vykonávají v hlavní smyčce, konkrétně jde o naměření

hodnoty odporu a načtení tabulky vzorků. Stejně je řešena i odpověď po sériovém portu. V přerušení je odpověď vložena do fronty *tbuf* a samotná odpověď je odeslána v hlavní smyčce programu.

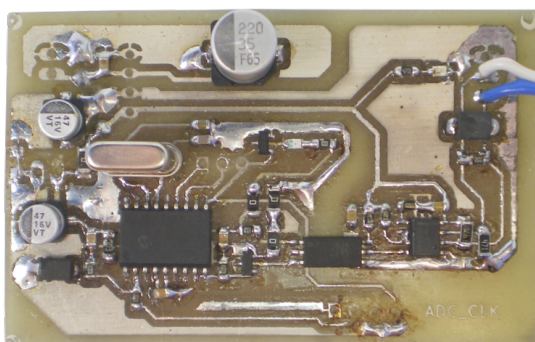
V hlavní smyčce je přepínání indikačních LED podle aktuálního módu, pomocné funkce zajišťují výpis číselných hodnot do bufferů a počítání kontrolního součtu vzorků. Indikační LED:

- bílá - klidový stav
- červená - chyba, časový limit
- modrá - probíhá měření
- žlutá - změřeno, paměť obsahuje vzorky
- zelená - napájení
- bílá + modrá - měření odporu malým proudem

5.2 Generátor synchronizace

Program pro použitý mikroprocesor PIC16F627A využívá dvou proměnných k počítání smyček. Počáteční hodnota *LOOPA* je 0xFA a *LOOPB* je 0x14. Po inicializaci portů a proměnných čeká mikroprocesor na hodnotu logické nuly spouštěcího pinu, poté indikuje připravenost pomocí logické jedničky na druhém pinu (je vidět i pomocí LED). Se vzestupnou hranou na spouštěcím pinu začíná generovat.

Délku instrukcí lze snadno spočítat. Základní takt instrukcí je roven $\frac{F_{osc}}{4}$, při použití krystalu 4 MHz je délka jedné instrukce 1 μ s. Pro instrukci skoku GOTO je délka dvojnásobná. Speciálním případem je instrukce podmíněného skoku DECFSZ¹, jejíž délka je dvojnásobná pouze v případě skoku.

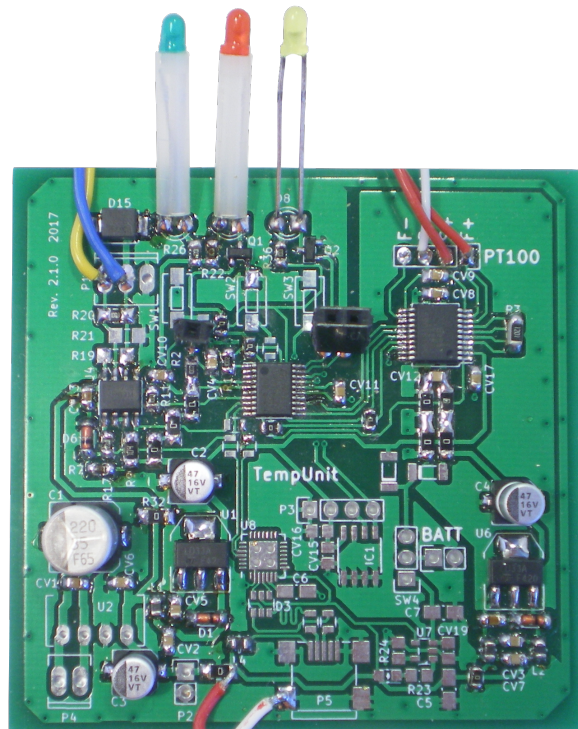


Obrázek 5.3: Deska plošného spoje generátoru synchronizace

¹DECrement File register, Skip if Zero

5.3 Měření teploty

Čidla Pt100 jsou ve čtyřvodičovém zapojení, toto zapojení zvyšuje přesnost měření. Doporučené zapojení ze strany 1 a 24 datasheetu od Maxim Integrated [11] obsahuje chybu. Správné zapojení bylo převzato z blogu Charlese Hallarda [8], kde piny "FORCE2" a "FORCE+" jsou trvale spojeny, takto převzaté zapojení bylo ověřeno jako správné.



Obrázek 5.4: Deska plošného spoje teplotní jednotky

Kontrola správnosti měření byla provedena v intervalu teplot 0 °C až 100 °C v porovnání s referenčním teploměrem. Všechna čidla Pt100 používaná zadavatelem se připojují konektory LEMO.



Obrázek 5.5: LEMO konektor

Firmware je podobný univerzálním deskám. Navíc obsahuje kód pro komunikaci s převodníkem MAX31865, funkci pro výpis 16 bitového čísla se znaménkem a polynom pro výpočet teploty. Indikační LED:

- zelená - napájení
- červená - nastala chyba, čidlo je špatně připojeno
- žlutá - probíhá měření

5.4 Vstupně-výstupní jednotky

Bezpečnostní prvky pro zabezpečení zkušebny jsou: zámky dveří, sirény a varovné majáky. Aktivace prvků je možná dálkově a jejich použití je dáno předpisem prací ve zkušebně airbagů. Software navrženého systému umožňuje aktivaci v každé fázi zkoušky. Před započítím zkoušky je možné všechny jednotky ovládat ručně.

Výbojková světla jsou řízená z pultu stávajícího systému osvětlení scény. Pro minimalizaci zásahu do světelného systému jsou nezbytné funkce (50, 100 a 200 % výkonu) řízené přes relé připojená k ovládací jednotce světelného systému. Použití 200 % světelné techniky je časově omezené, což zajišťuje rovněž navržený řídicí systém.

Ovládací pultík obsahuje dvě tlačítka, zámek a indikaci LED. V systému lze volit dva režimy spuštění zkoušky. Buď plně automatický - řízený z PC, kontroluje pouze oprávněné započítí zkoušky s použitím klíče zkušebním technikem, nebo poloautomatický - zkouška proběhne po manuálním potvrzení startu tlačítkem na pultíku. Zkoušku je možné kdykoli zastavit tlačítkem stop. Pultík je propojený do PC i do ostatních částí systému, bez jeho použití nelze zkoušku spustit.



Obrázek 5.6: Realizovaný ovládací pultík

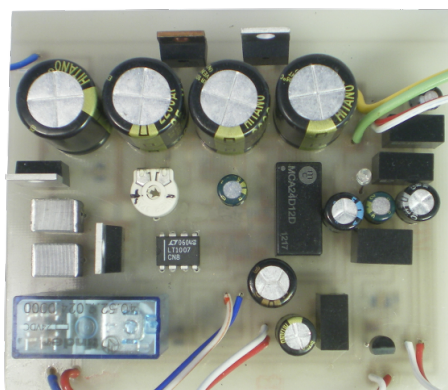
5.5 Napájení

Celý systém je napájen z jednofázové sítě laboratoře, všechna použitá napětí nepřesahují hodnotu 24 V. Systém je v provedení SELV s malým napětím.

Hlavní napájecí zdroj je průmyslový spínaný 24 V, 3 A a pokrývá veškeré potřeby napájení systému. Ostatní malá napětí jsou vyráběna přímo v jednotlivých blocích systému a zajišťují vzájemné galvanické oddělení, především z důvodů potlačení rušení a zemních smyček. V systému jsou použita napětí:

- 3,3 V - mikroprocesor, A/D převodníky, operační zesilovače, indikace
- 5 V - USB, RS-485, synchronizace
- 12 V - pomocné napětí pro činnost pulzního zdroje
- 24 V - pulzní zdroj, proudový zdroj, DC/DC

Zdroj konstantního proudu 10 mA je vytvořen na desce pulzního odpalovacího zdroje, jeho maximální napětí je 12 V.

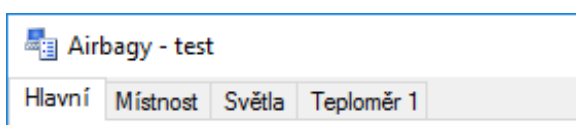


Obrázek 5.7: Deska plošného spoje zdrojů airbagové jednotky

Zdroj uvnitř airbagové jednotky zajišťuje generování odpalovacího impulzu s parametry definovanými zkouškovými předpisy, které vydává výrobce airbagu nebo výrobce vozidla. Parametry pulzního zdroje určil zadavatel. Pro dosažení předepsaného proudu a stanovené délky jeho trvání je ve zdroji nabíjecí kondenzátorová linka, galvanicky oddělené výkonové spínače řízené z generátoru odpalovacích impulzů a řídicí smyčka s rychlým operačním zesilovačem, která zajišťuje konstantní proud (řádově ampéry) po dobu trvání odpalovacího impulzu. Kondenzátorová část má rezervu energie zhruba stokrát větší než je požadavek na odpalovací energii airbagu. Toto řešení výrazně zmenšuje nárok na proudové dimenzování napájecího zdroje 24 V a průřez vodičů mezi hlavním napájecím zdrojem a airbagovou odpalovací jednotkou. Také vylučuje negativní vliv indukčnosti dlouhých přívodních kabelů (požadovaná strmost impulzu).

5.6 Software

Hlavní program obsahuje velké textové pole informující obsluhu o prováděné činnosti. Tato činnost je také zaznamenávána do souboru, každý záznam je opatřen datem a časem. Před začátkem práce je potřeba připojit potřebné jednotky na sběrnici RS-485, zapojit USB kabel do počítače a zapnout napájecí zdroj. Při startu aplikace dojde k vyhledání všech zařízení na sběrnici, pokud není vyhledání úspěšné, je možné zopakovat pomocí tlačítka. Připojená zařízení se pak zobrazí formou přepínacích karet.



Obrázek 5.8: Karty jednotlivých jednotek v systému

5.6.1 Konfigurace

Nastavení programu se načítá ze třech různých souborů, a to konfigurace hardware, software a samotné zkoušky. Formát souboru je podobný stromovému csv, obsahuje více oddělovačů v závislosti na úrovni.

V hardwarové konfiguraci jsou specifikovány veškeré potřebné vlastnosti každé jednotky, pro všechny jednotky je důležitá identifikace a časový limit pro vykonání operace. Pro univerzální vstupně- výstupní desky je nutné pojmenování jednotlivých vstupů a výstupů. Pro airbagové měřicí jednotky jsou důležité informace o napěťové referenci, zesílení operačních zesilovačů, odpor měřicího rezistoru, rozlišení vzorků a maximální možný počet vzorků.

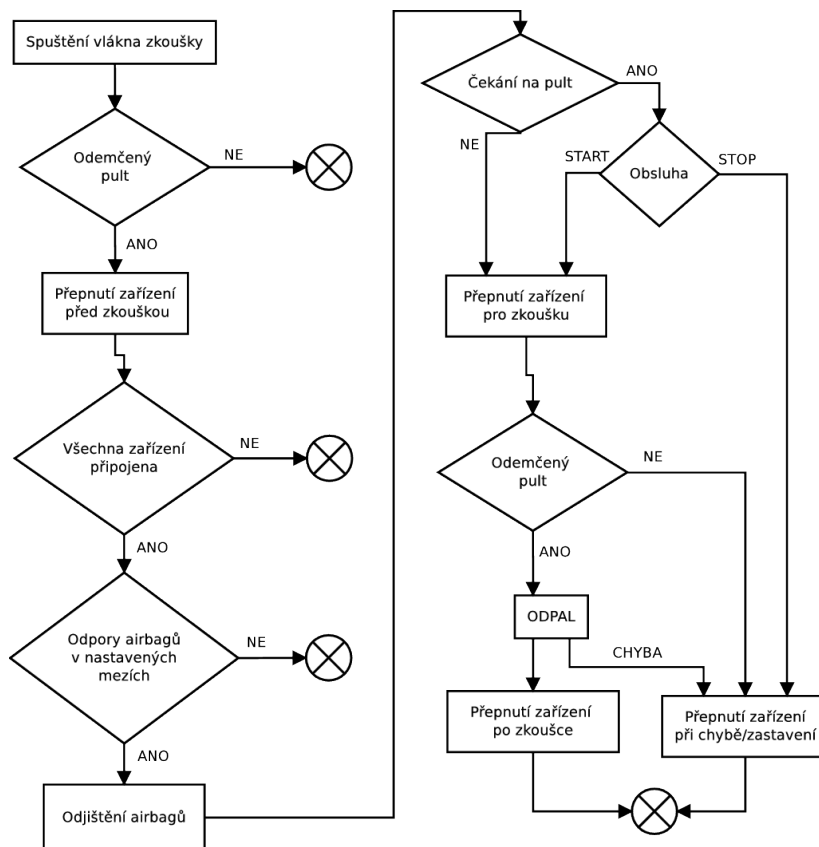
V softwarové konfiguraci se specifikují cesty souborového systému pro načítání nastavení a ukládání výsledků zkoušek.

Samotné zkoušky mohou být přednastaveny. Soubory obsahují nastavení každé jednotky, které je pro zkoušku nezbytné. Při načtení těchto souborů proběhne ověření, zda zařízení, které je třeba nastavit, jsou v systému zapojena. Nejsou-li, je o tom obsluha informována. Nastavení pro univerzální vstupně- výstupní jednotky obsahuje informace o aktivaci jednotlivých výstupů. Obsahem nastavení pro airbagovou měřicí jednotku jsou mezní hodnoty odporu na vstupu, pro které je možné zkoušku provést, a čas od začátku zkoušky do odpálení airbagu.

5.6.2 Zkouška

Zkoušku je nejprve nutné nastavit, buď načtením konfigurace zkoušky nebo nastavením jednotlivých zařízení. Zařízení lze nastavovat pouze tehdy, je-li připojeno do systému. Poté je potřeba zkoušku pojmenovat v textovém poli, tento název bude i součástí vygenerovaného grafu. Poté může pověřená osoba odemknout ovládací pult a spustit zkoušku.

Systém nejprve spustí všechna potřebná zařízení před zkouškou a otestuje odpor každého airbagu pomocí proudového zdroje 10 mA. Potom přepne zařízení do stavu zkoušky, odjistí airbasy a provede odpal. Při úspěšném postupu dojde k vystřelení airbagu a všechna zařízení se přepnou do stavu po zkoušce. Při výskytu chyby opět airbasy zablokuje pomocí zkratovacího relé, nahlásí chybu a přepne zařízení do chybového režimu.

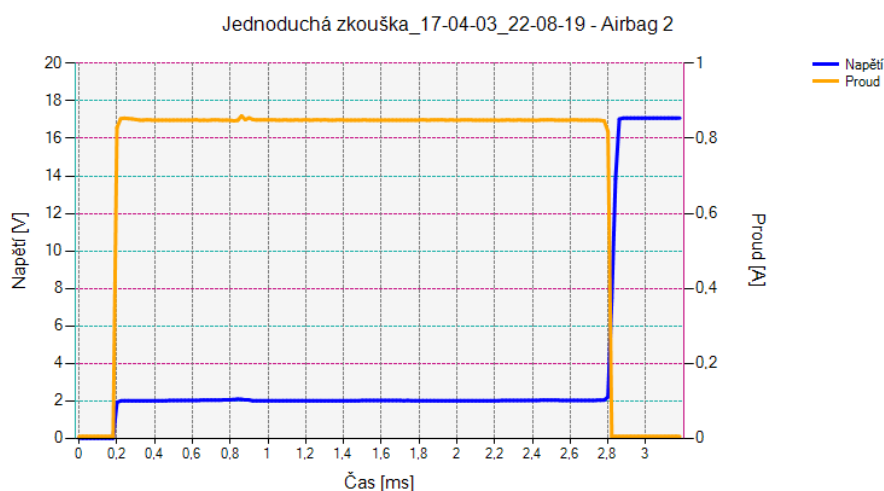


Obrázek 5.9: Diagram průběhu zkoušky

Zkouška běží ve vlastním vlákně pomocí třídy *BackgroundWorker* [14]. Kdyby byla spuštěna z hlavního vlákna došlo by k zablokování vykreslování GUI až do konce zkoušky. Zablokované GUI by nevykreslovalo informace o průběhu a nebylo by možné stisknout tlačítko STOP v hlavním okně. Nové vlákno přináší problém přidávání informací do výpisu, jelikož je třeba

modifikovat textové pole z vlákna, ve kterém nebylo vytvořeno. Pro otestování, které vlákno chce přidat výpis se otestuje hodnota *InvokeRequired*. Zkouškové vlákno poté musí vytvořit *StringArgReturningVoidDelegate* a zavolat metodu *Invoke* [13]. To zajistí bezpečnou modifikaci sdíleného prvku mezi vlákny.

Po zkoušce je třeba stisknout tlačítko pro načtení výsledků. Počítač načte všechny vzorky každé airbagové měřicí jednotky a uloží je ve formě csv tabulky. Potom začne postupně generovat grafy v novém okně [15]. Obsluha může nastavit počátek a konec grafu v čase nebo použít automatické ořezání, které detekuje změny proudu. Osa napětí a proudu využívá největší možný rozsah. Obrázek se generuje s předdefinovaným názvem tlačítkem *Uložit*. Výsledný obrázek ve formátu png má rozlišení shodné jako byl vykreslen v okně, tedy pro větší rozlišení stačí roztáhnout velikost okna.



Obrázek 5.10: Výsledný graf pokusné zkoušky

Čas [s]	Napětí [V]	Proud [A]
0,0576	2,02436016895966	0,848338457034109
0,05762	2,03772228228612	0,846874542526716
0,05764	2,19806764220372	0,819060166886254
0,05766	7,47142656327981	0,00439292251372788
0,05768	13,8431494062192	0,0043917435221783
0,0577	17,0345852502685	0,00439292251372788
0,05772	17,0901429445505	0,0043917435221783
0,05774	17,094730902388	0,00439292251372788
0,05776	17,094730902388	0,00512507626601586
0,05778	17,094730902388	0,00439292251372788
0,0578	17,094730902388	0,00512507626601586

Tabulka 5.1: Ukázková data pokusné zkoušky

Kapitola 6

Závěr

Podářilo se navrhnout systém pro řízení zkoušky a měření sledovaných parametrů. Veškeré vývojové práce byly testovány na simulátoru. Systém je navržen jako rozšiřitelný díky použití sběrnice RS-485, modulové koncepci jednotek a možnosti dynamické konfigurace software. Veškeré funkce jsou synchronizovány centrálním generátorem, který rovněž spouští videozáznam.

Výstupem zkoušky je tabulka naměřených dat ve formátu csv a graf průběhu měřených hodnot ve formátu png s požadovanou přesností.

Během práce na návrhu se objevily širší možnosti alternativního řešení, které by vyžadovalo mnohem větší rozsah zpracování - studium elektrických vlastností komponentů, komunikačních protokolů, architektur a aplikačních frameworků (interní A/D převodníky, CAN bus, mikroprocesor STM32F072, operační zesilovač TLC271, Qt, MIPS architektura).

Realizované komponenty do doby dokončení diplomové práce nebyly instalovány ve zkušebně. Montáž je závislá na uvolnění zkušebny zadavatelem v době kdy neprobíhají ostré zkoušky.

Pro finální montáž ve zkušebně bude systém doplněn průmyslovou skříní s napájecím zdrojem, zálohováním napájení, obvody jištění a silovými relé pro ovládání zabezpečení (siréna, majáky, elektrické zámky). Navržený systém zohledňuje všechny požadavky na bezpečnost průběhu zkoušky - signalizace, zajištění prostoru, bezpečné měření odporu, zajištění vzorku mimo aktivní část průběhu zkoušky a korektní zastavení zkoušky v případě výskytu chyb.



Obrázek 6.1: Sestava jednotek



Literatura

- [1] Universal Serial Bus. [online], [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A4M38KRP/USB.pdf>
- [2] Baxter, J.: Driver Signing changes in Windows 10, version 1607. [online], 2016, [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: https://blogs.msdn.microsoft.com/windows_hardware_certification/2016/07/26/driver-signing-changes-in-windows-10-version-1607
- [3] Bergerat, E.: Windows Server 2012 R2: Install unsigned drivers. [online], 2014, [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <https://blogs.msdn.microsoft.com/emberger/2014/04/21/windows-server-2012-r2-install-unsigned-drivers/>
- [4] ChaN: FatFs Generic FAT File System Module. [online], 2017, [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html
- [5] DEWETRON GmbH: Measurement Solutions for Automotive Applications. [online], [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.dewetron.com/solutions/automotive>
- [6] GerdW: Re: calculate T out of R using a PT100, PT500. [online], 8 2006, [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://forums.ni.com/t5/LabVIEW/calculate-T-out-of-R-using-a-PT100-PT500/td-p/408622>
- [7] HAASZ, V.; ROZTOČIL, J.; NOVÁK, J.: *Číslicové měřicí systémy. 2. přeprac. vyd.* Praha: ČVUT, 2000, ISBN: 80-01-02219-6.
- [8] Hallard, C. H.: PT100 and PT1000 Breakout Board with MAX31865. [online], 2015, [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://hallard.me/max31865/>

- [9] HuDe GmbH: New HuDe Ignition Device BF14. [online], [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://hude.com/index.php/en/menu-messtechnik-en/376-btrg-news-bf14-en>
- [10] Malinský, J.: Komunikační standard FlexRay. [online], [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A4M38KRP/FlexRay.pdf>
- [11] Maxim Integrated: *MAX31865 RTD-to-Digital Converter*. 2015, [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31865.pdf>
- [12] Maxim Integrated: *MAX6070/MAX6071 Low-Noise, High-Precision Series Voltage References*. 2016, [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6070-MAX6071.pdf>
- [13] Microsoft: How to: Make Thread-Safe Calls to Windows Forms Controls. [online], [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms171728\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms171728(v=vs.110).aspx)
- [14] Microsoft: How to: Use a Background Worker. [online], [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc221403\(v=vs.95\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc221403(v=vs.95).aspx)
- [15] Microsoft: System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting Namespace. [online], [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.windows.forms.datavisualization.charting.aspx>
- [16] National Instruments: *NI 9229*. 2016, [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www.ni.com/pdf/manuals/374184c_02.pdf
- [17] Novák, J.: CAN bus a jeho aplikace ve vozidlech. [online], [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A4M38KRP/CAN_Automotive.pdf
- [18] OMEGA Engineering: *Expandable Modular Data Acquisition System iNET-400 Series*. 2014, [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www.omega.com/das/pdf/INET-400_SERIES.pdf
- [19] ST Microelectronics: *STM32F303xB STM32F303xC*. 5 2016, [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f303cb.pdf>
- [20] Wikipedia: The Free Encyclopedia: Airbag. [online], [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Airbag>



Příloha A

Seznam použitých zkratek

GUI	Graphical User Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
ARM	Advanced RISC Machine
CMSIS	Cortex Microcontroller Software Interface Standard
RAM	Random Access Memory
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
FAT	File Allocation Table
API	Application Programming Interface
GPIO	Global Purpose Input Output
LED	Light-Emitting Diode
SWD	Serial Wire Debug
JTAG	Joint Test Action Group
PSoC	Programmable System-on-Chip
CPLD	Complex Programmable Logic Device
NRZ	Non Return To Zero
GNU	GNU is Not Unix

BOZP Bezpečnost a Ochrana Zdraví při Práci

SELV Safety Electrically Low Voltage

CSV Comma-Separated Values

PNG Portable Network Graphics

PLL Phase-Locked Loop

SAR Successive Approximation Register

FTP Foil shielding Twisted Pair

DMA Direct Memory Access



Příloha B

Seznam použitého SW

dfu-util ver. 0.9 nahrání firmware přes USB

arm-none-eabi-gcc ver. 4.8.2 překladač jazyka C pro firmware

arm-none-eabi-binutils ver. 2.24 nástroje pro překlad firmware

TeXstudio ver. 2.6.6 editor \LaTeX

Gimp 2.8.10 obrázkový editor

KiCAD ver. 4.0.2 nástroje pro návrh plošných spojů

VirtualBox ver. 4.3.36 nástroj pro virtualizaci

Visual C# 2010 Express ver. 10.0 vývojové prostředí .NET C#

SharpDevelop 4.4.1 open-source vývojové prostředí .NET C#

CP21xxCustomizationUtility nastavení převodníku SiliconLabs

MPLABX IDE ver. 2.05 vývojové prostředí pro procesory Microchip

SMT32CubeMX ver. 4.14.0 nástroj pro návrh mikroprocesorů STM32

DSO-2250 USB ver. 7.0 USB osciloskop

Příloha C

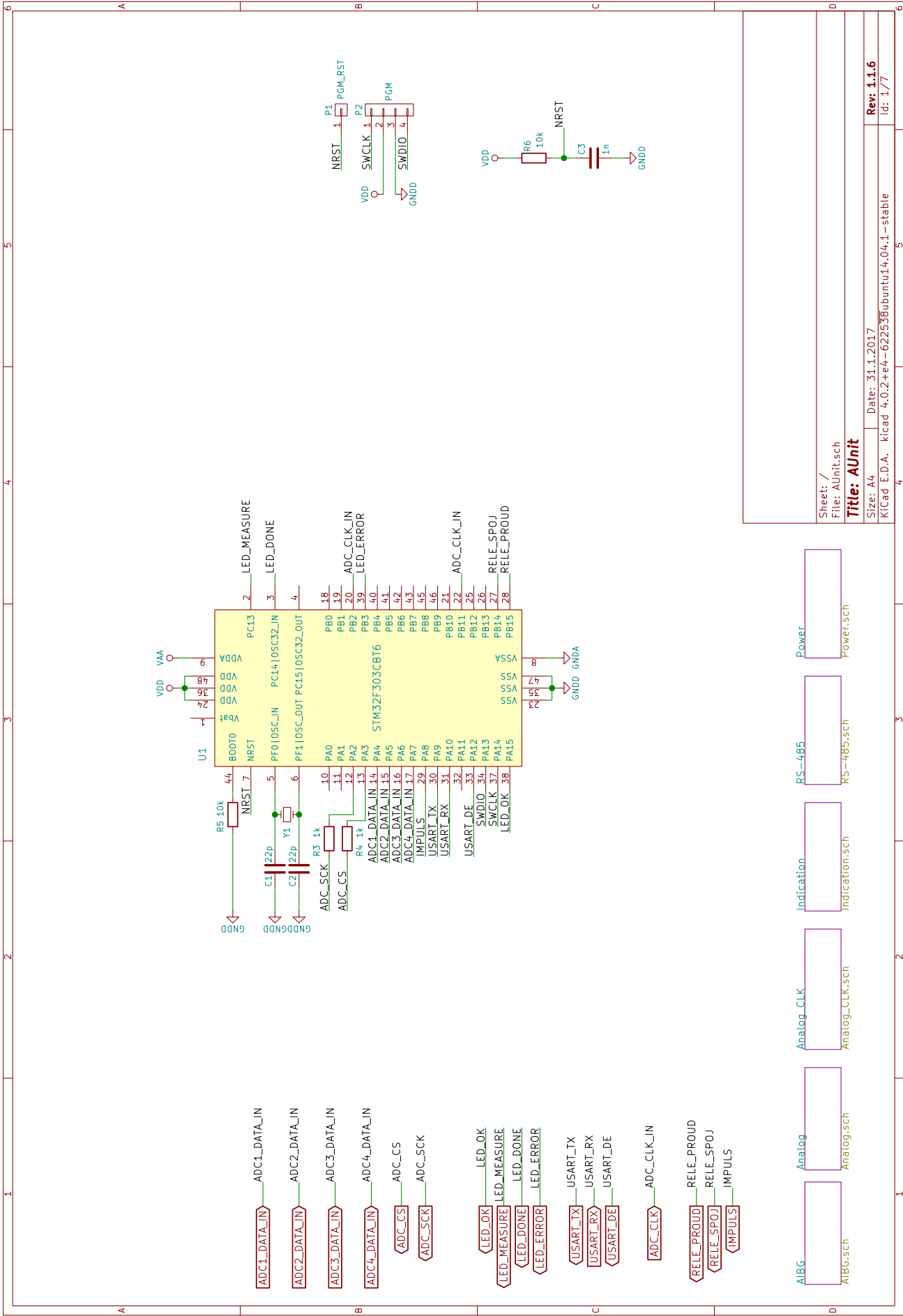
Obsah přiloženého CD

readme	.....	stručný popis obsahu CD
src	.....	zdrojové kódy
|_ stm32	.....	firmware
|_ microchip	.....	firmware generátoru
|_ dotnet	.....	ovládací software
|_ board	.....	návrh plošných spojů
|_ AUnit	.....	airbagová měřicí jednotka
|_ TempUnit	.....	teplotní jednotka
|_ UniIO	.....	univerzální vstupně - výstupní jednotka
|_ PICPAL	.....	generátor synchronizace
|_ thesis	.....	zdrojová forma práce ve formátu L ^A T _E X
text	.....	text práce
datasheets	.....	katalogové listy jednotlivých komponent



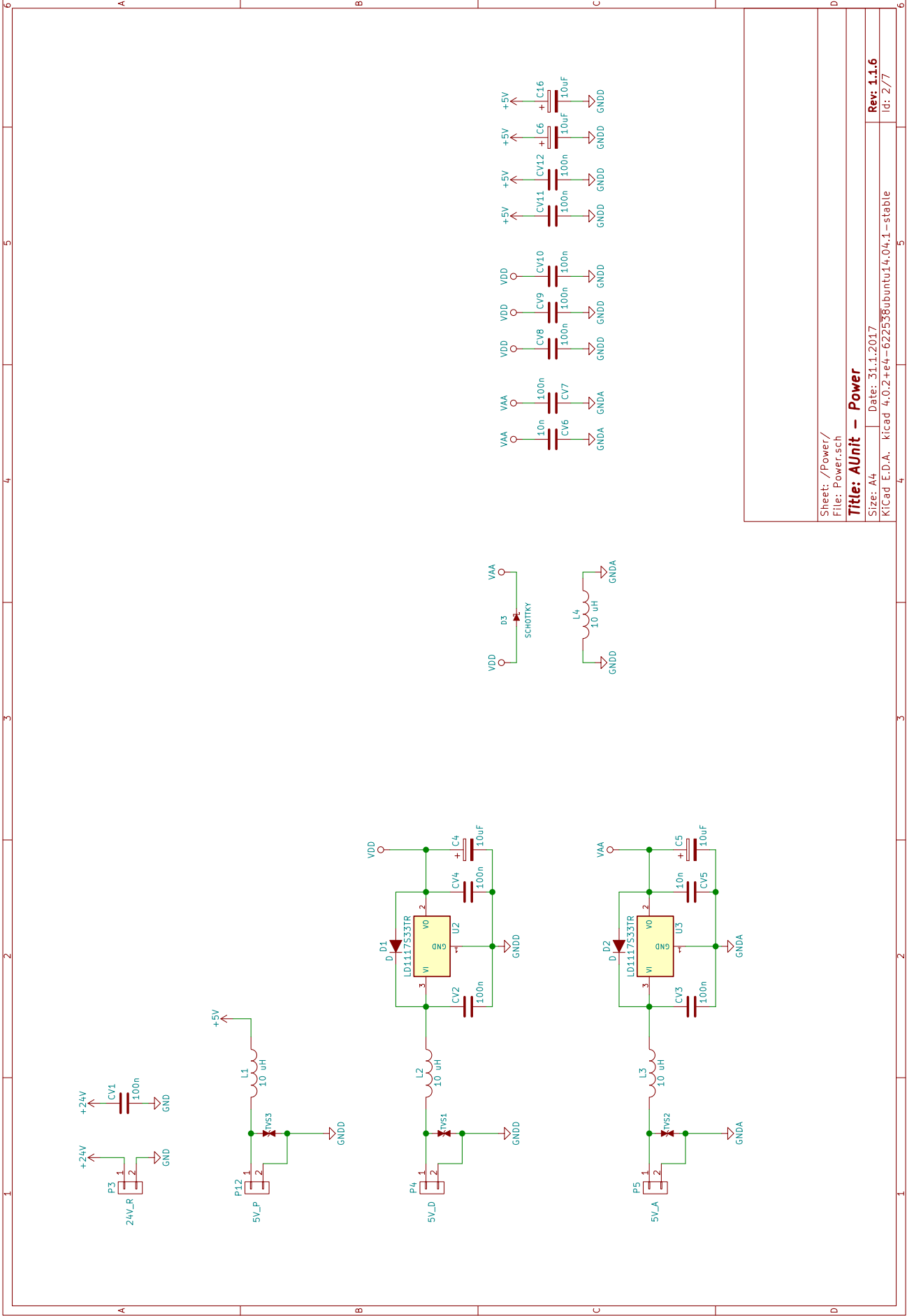
Příloha D

Schéma zapojení airbagové měřící jednotky



Sheet: /	File: AUnit.sch
Title: AUnit	
Size: A4	Date: 31.1.2017
KiCad E.D.A. - kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable	
id: 1/7	

AIBG	Analog	RS-485	Power
AIBG.sch	Analog.sch	RS-485.sch	Powersch
	Indication	Indication.sch	
	Analog_CLK	Analog_CLK.sch	

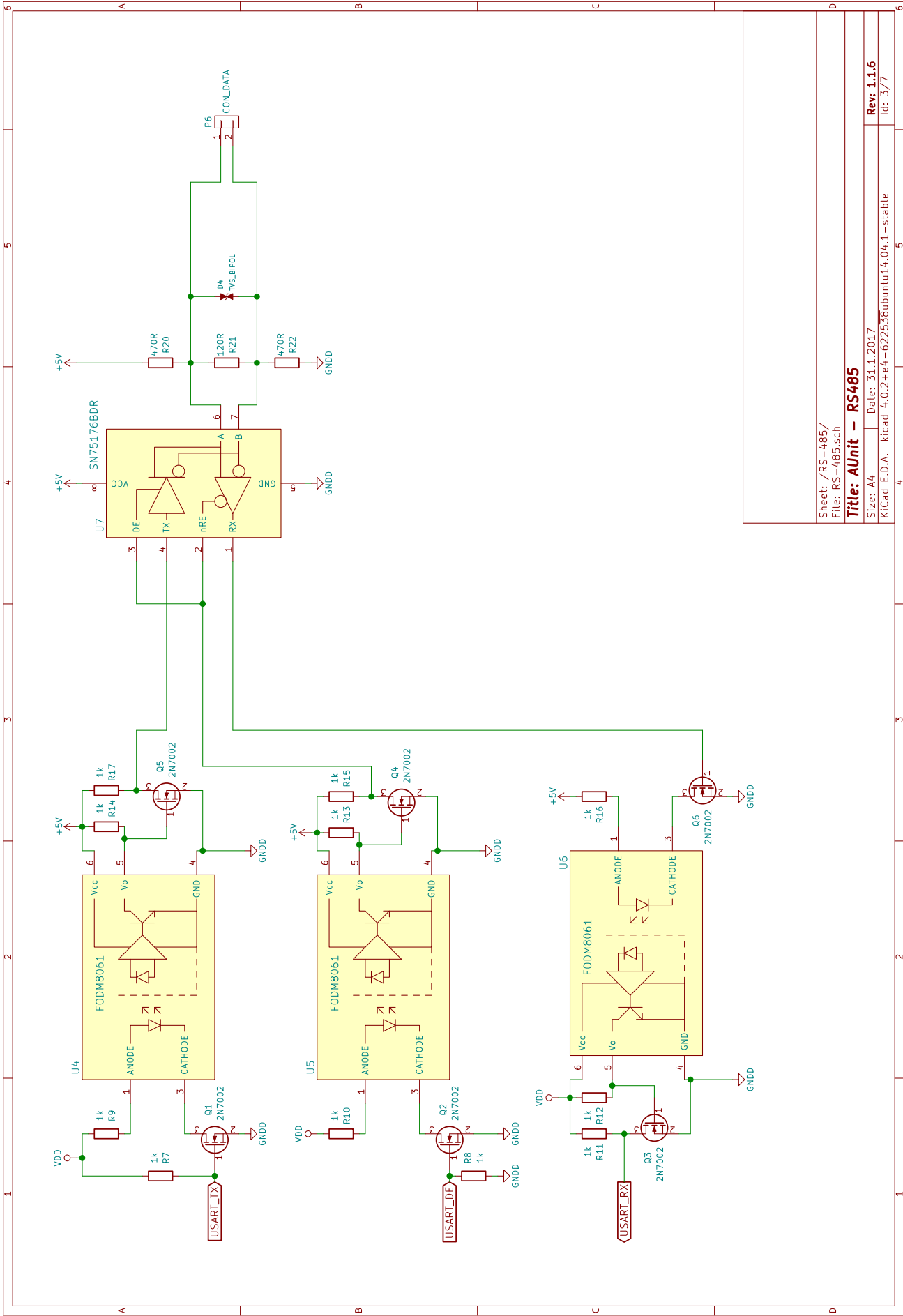


Sheet: /Power/
File: Power.sch

Title: AUnit - Power

Size: A4 | Date: 31.1.2017
KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable

Rev: 1.1.6
Id: 2/7

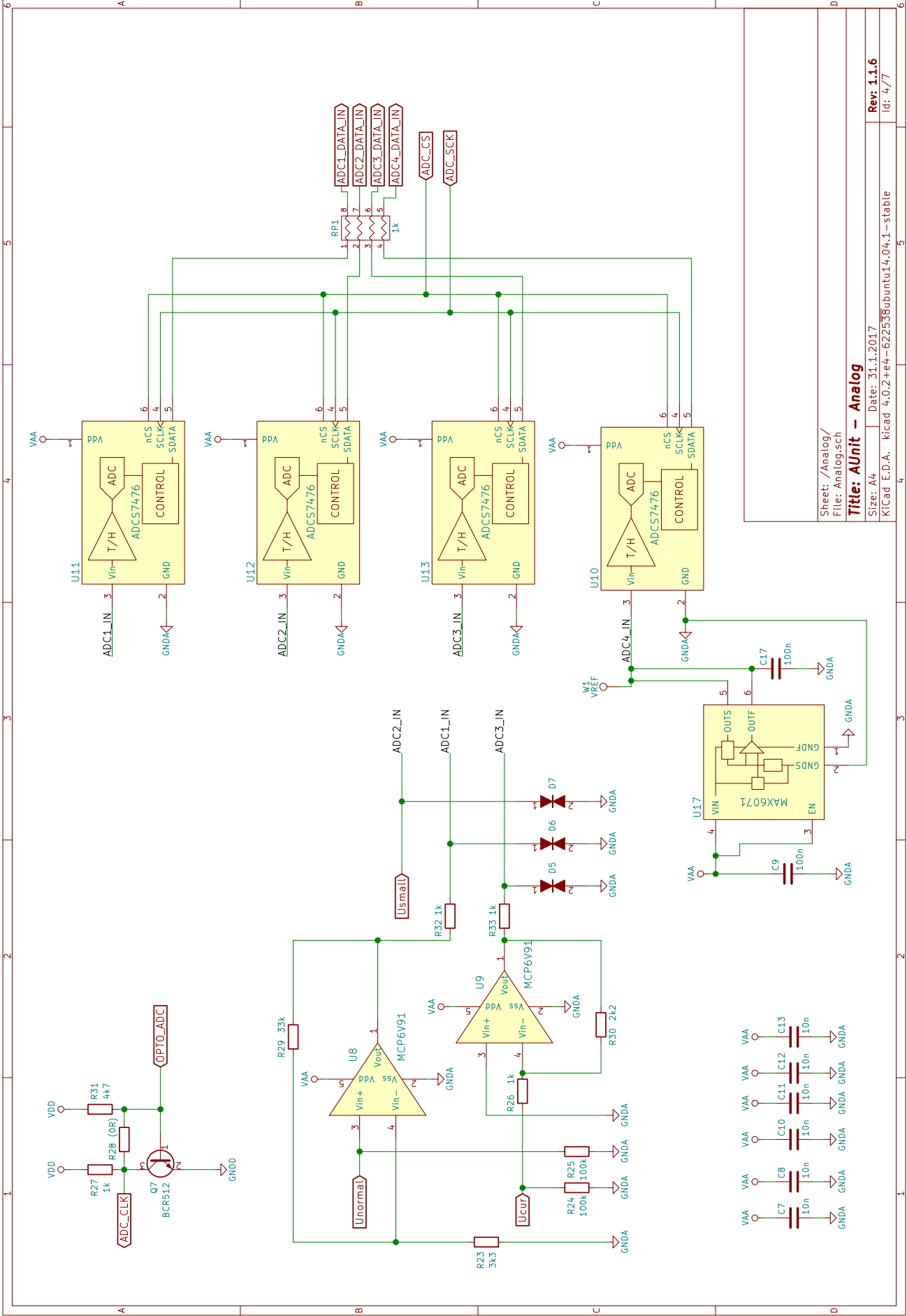


Sheet: /RS-485/
 File: RS-485.sch

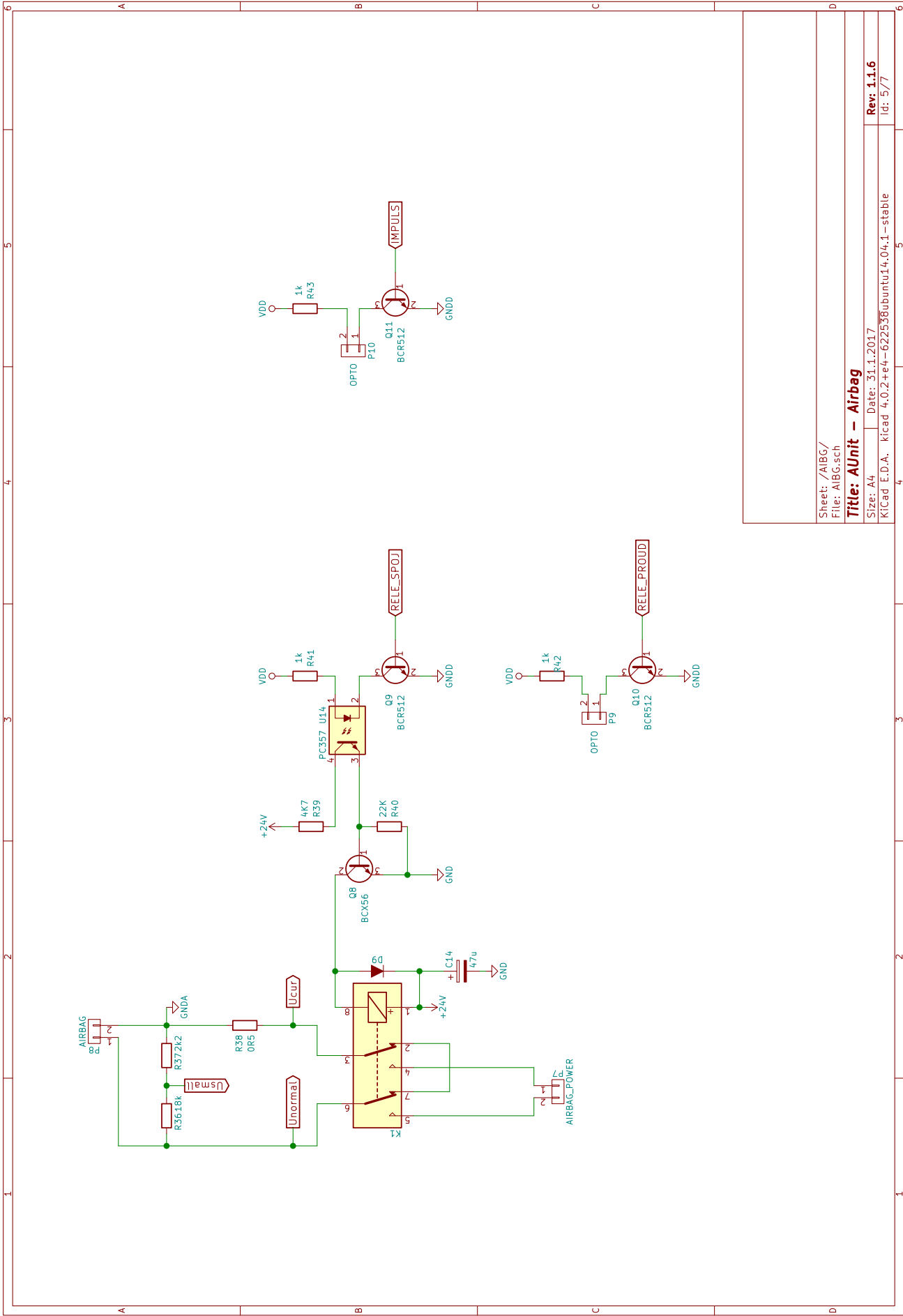
Title: AUnit - RS485

Size: A4 Date: 31.1.2017
 KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable
 id: 377

Rev: 1.1.6



Sheet: /Analog/
 File: Analog.sch
Title: AUnit - Analog
 Size: A4
 KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1--stable
 Date: 31.1.2017
 Rev: 1.1.6
 Id: 4/7



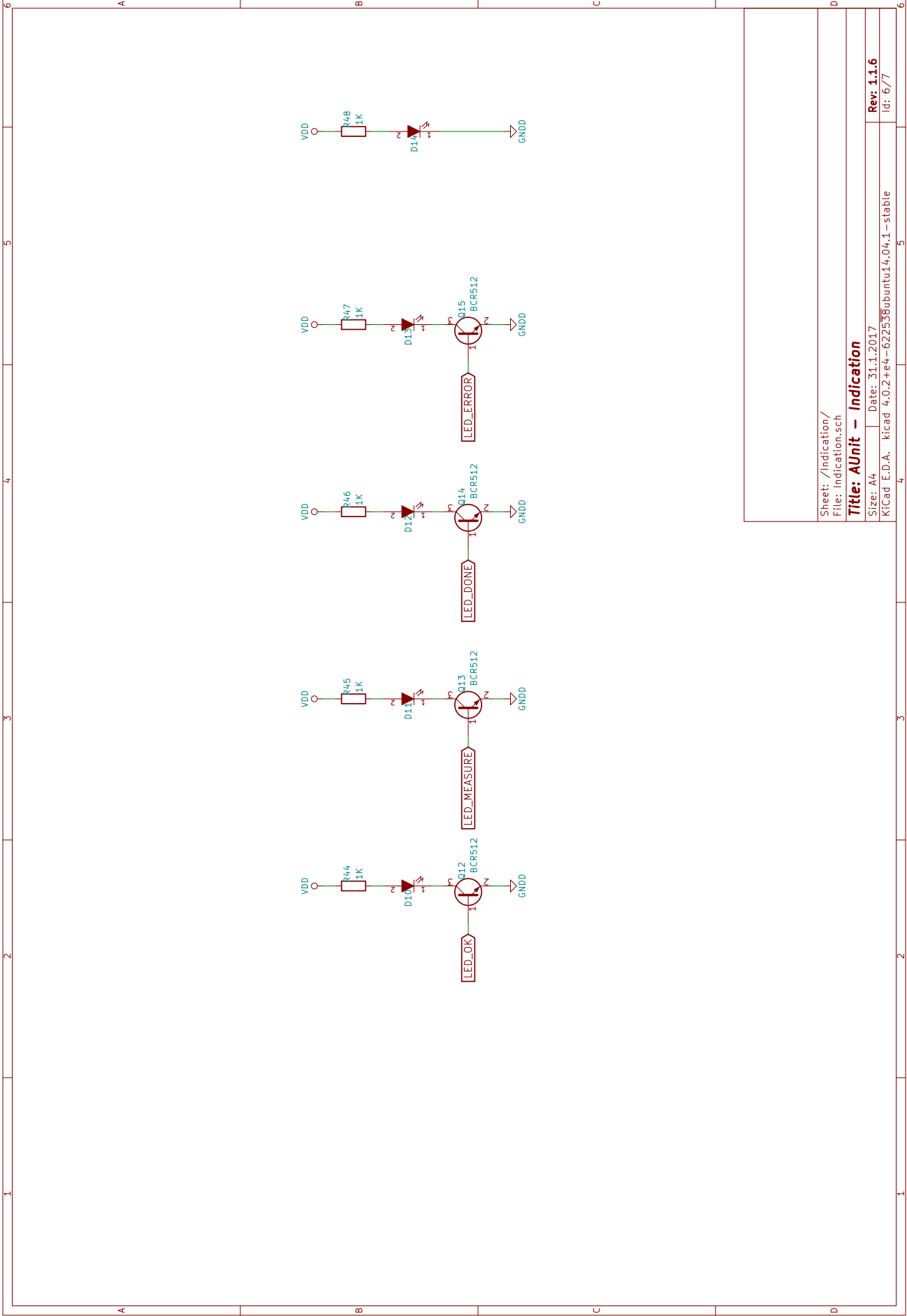
Sheet: /AIBG/
File: AIBG.sch

Title: AUnit - Airbag

Size: A4 Date: 31.1.2017
KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable
id: 577

Rev: 1.1.6

id: 577

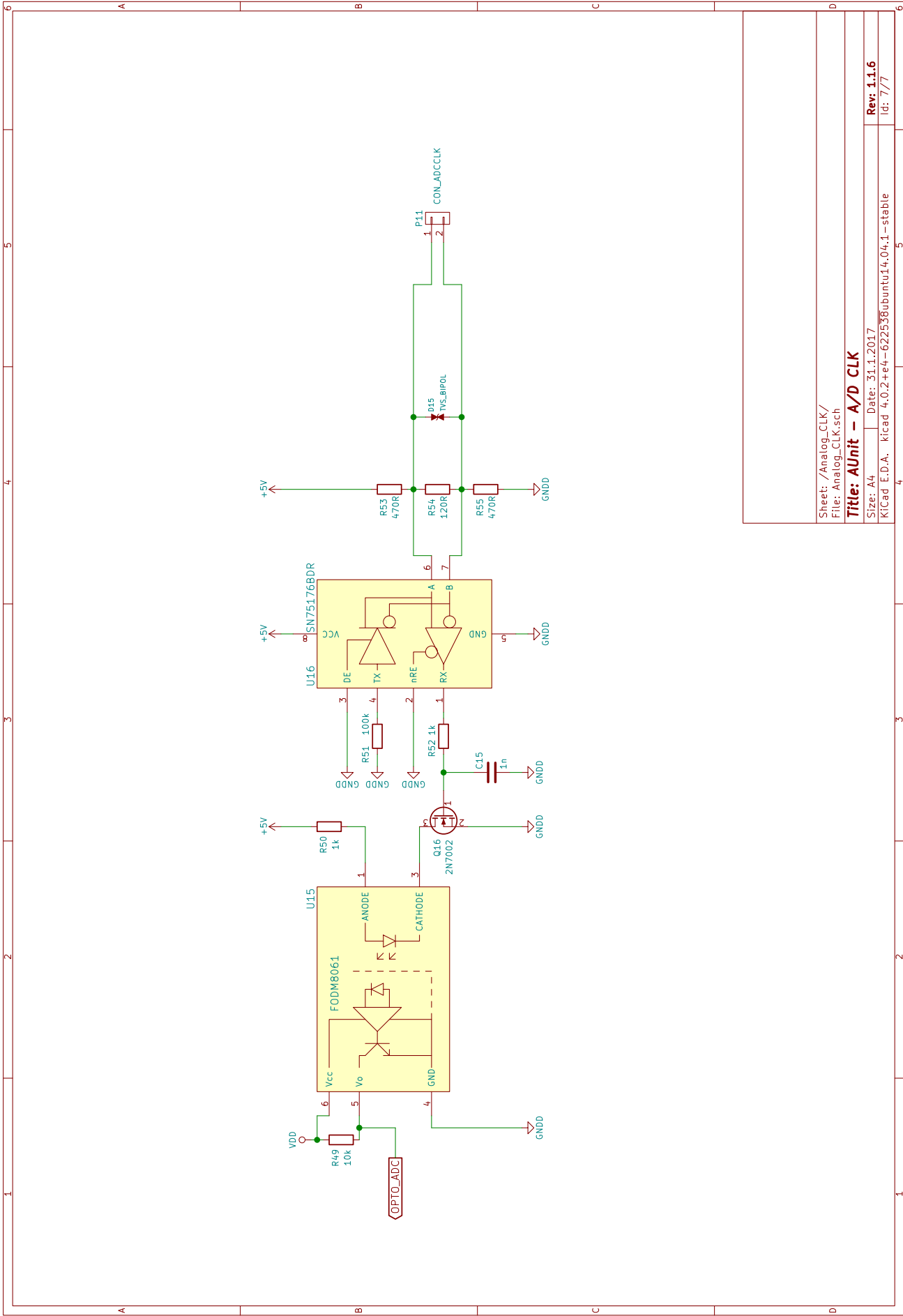


Sheet: /Indication/
File: Indication.sch

Title: AUnit - Indication

Size: A4 | Date: 31.1.2017
KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable

Rev: 1.1.6
Id: 6/7



Sheet: /Analog_CLK/
 File: Analog_CLK.sch

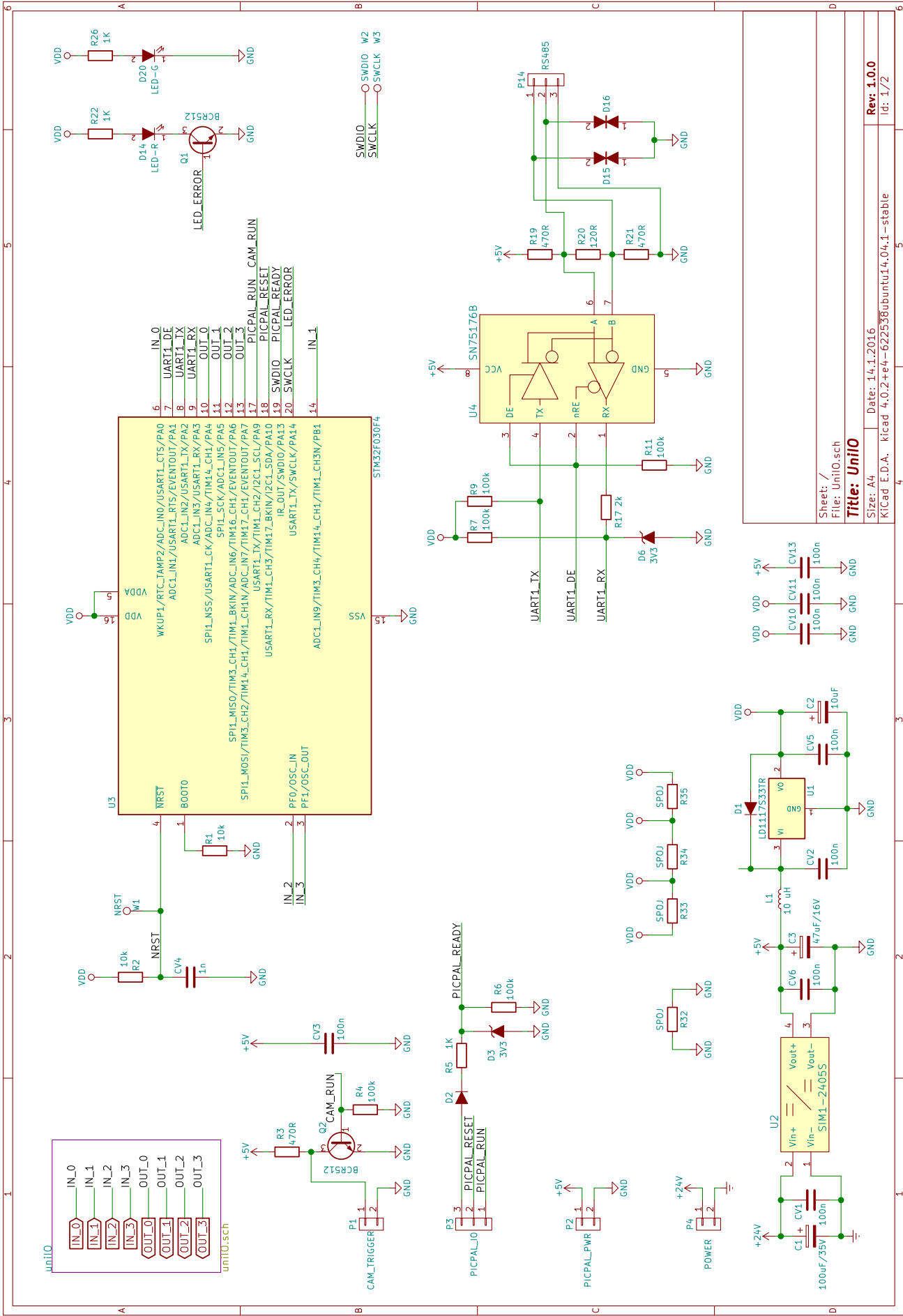
Title: AUnit - A/D CLK

Size: A4 Date: 31.1.2017 Rev: 1.1.6
 KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable id: 777



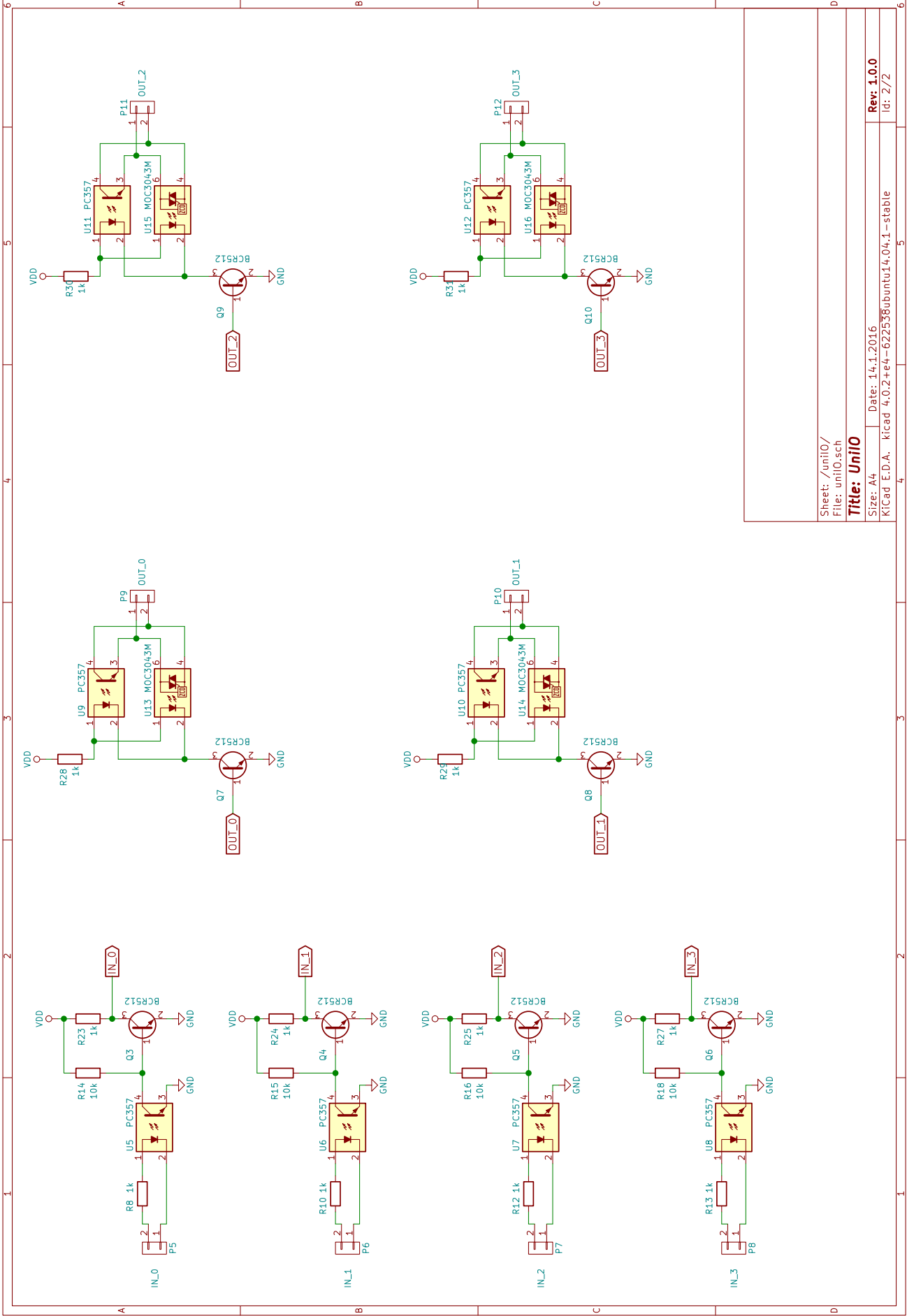
Příloha E

Schéma zapojení univerzální vstupně - výstupní jednotky



Sheet: /
 File: UniiIO.sch
Title: UniiIO

Date: 14.1.2016
 File: kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable
 Rev: 1.0.0
 Id: 1/2



Sheet: /unitIO/
File: unitIO.sch

Title: **UnitIO**

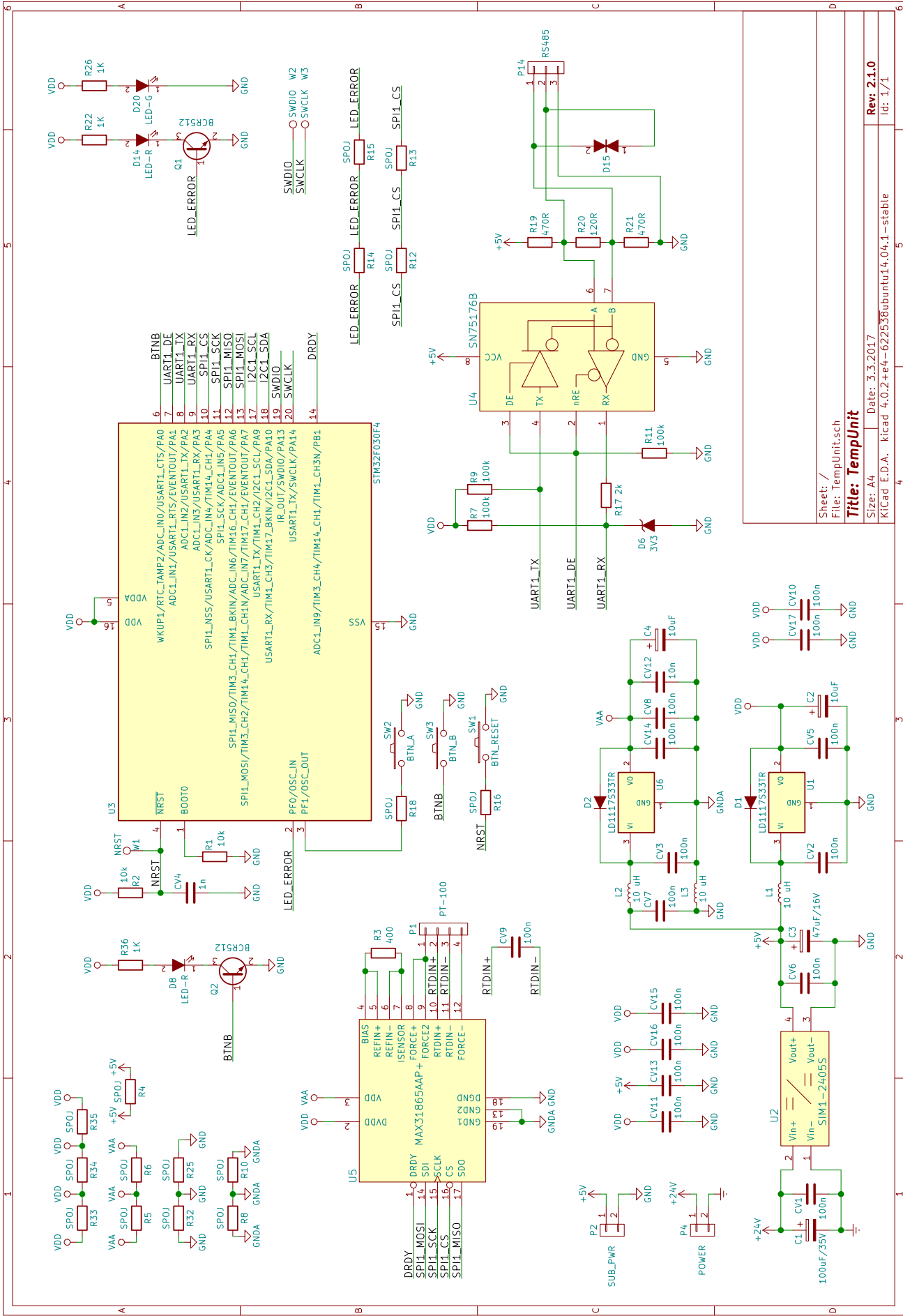
Size: A4 Date: 14.1.2016
KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1--stable

Rev: **1.0.0**
Id: 2/2



Příloha F

Schéma zapojení teplotní jednotky

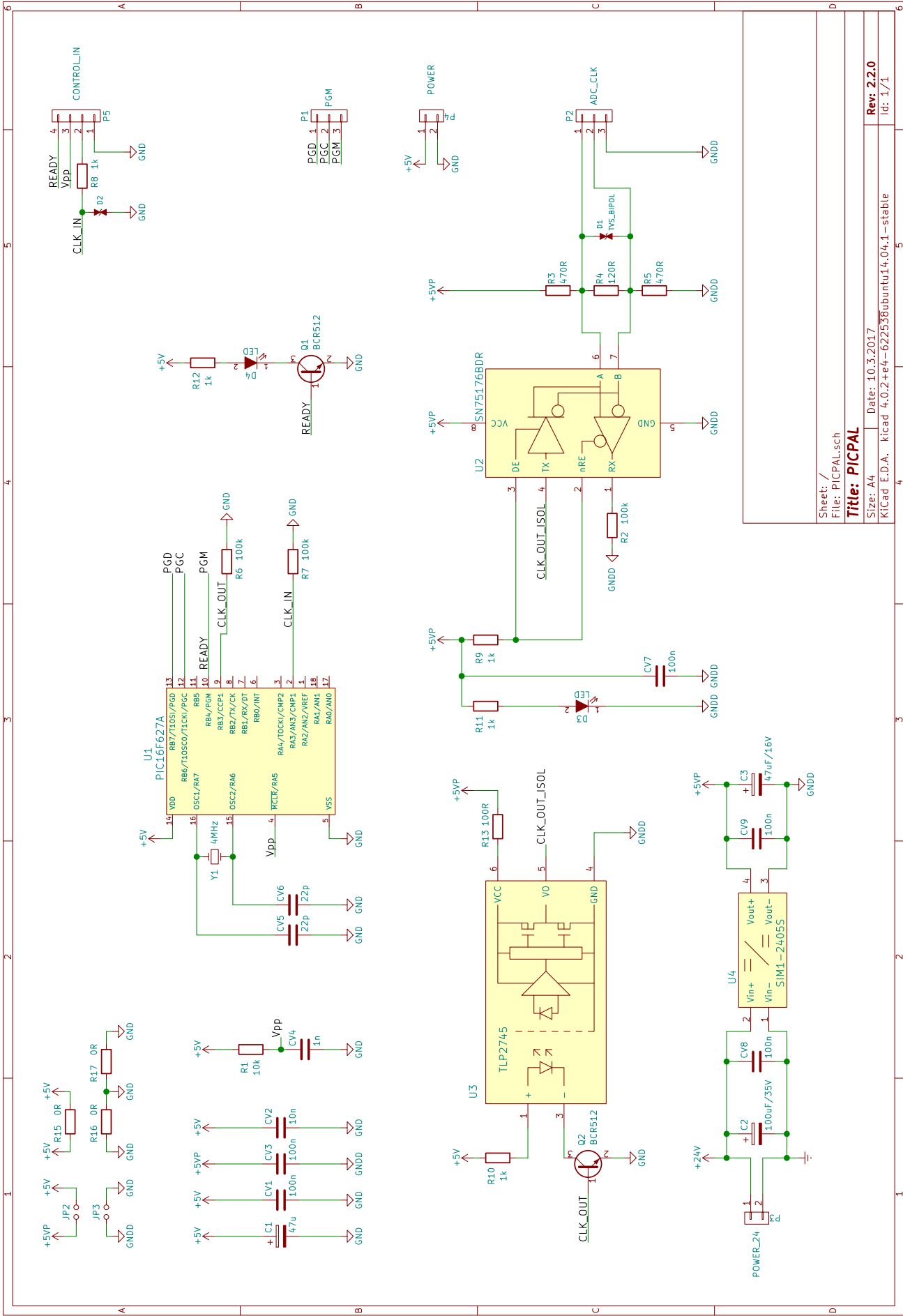


Sheet: /
 File: TempUnit.sch
Title: TempUnit
 Size: A4 Date: 3.3.2017
 KiCad E.D.A. kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable
 id: 1/1



Příloha G

Schéma zapojení generátoru synchronizace

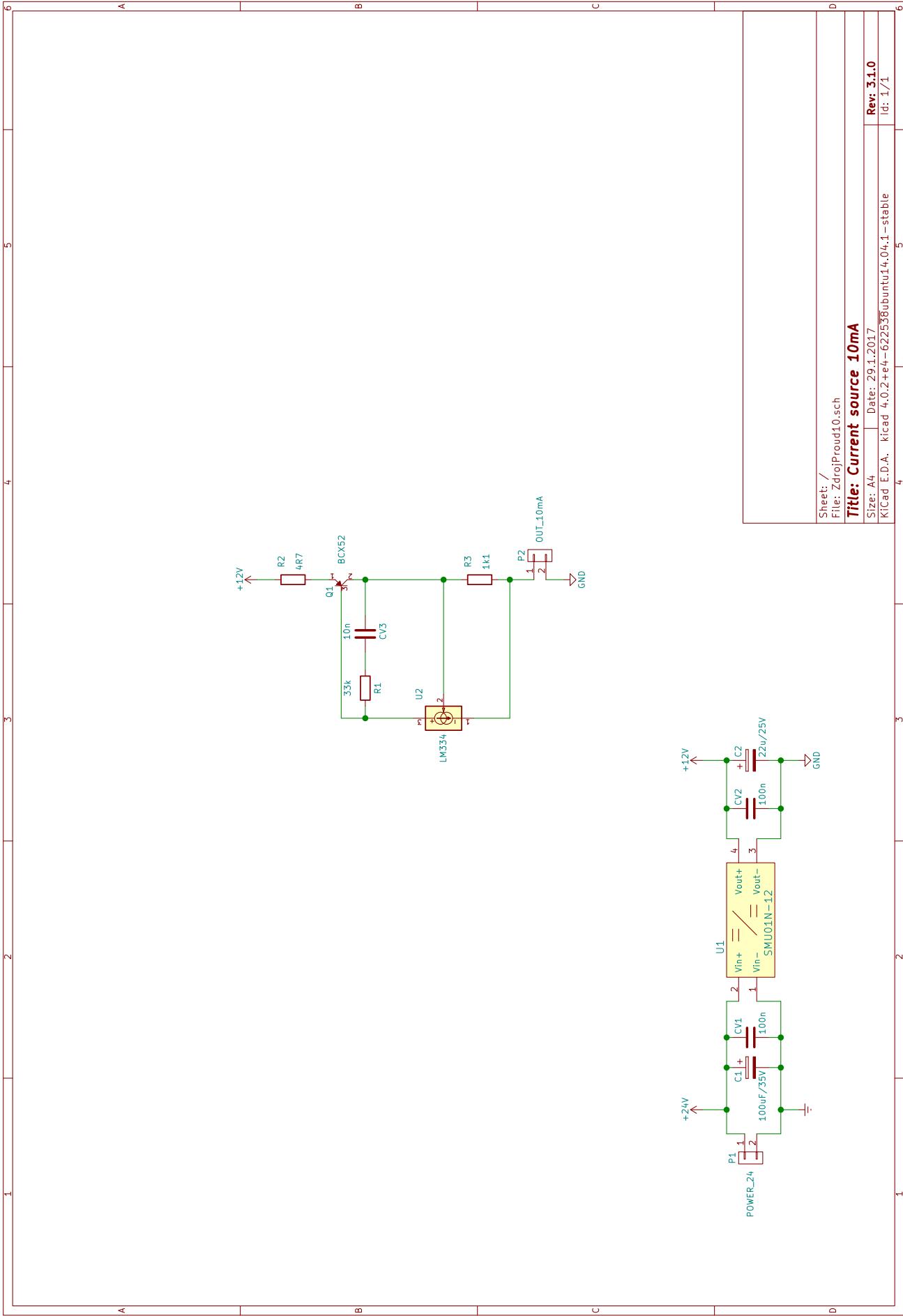


Sheet: /
 File: PICPAL.sch
Title: PICPAL
 Size: A4 Date: 10.3.2017
 KiCad E.D.A. - kicad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable
 id: 1/1



Příloha H

Schéma zapojení zdroje proudu 10 mA

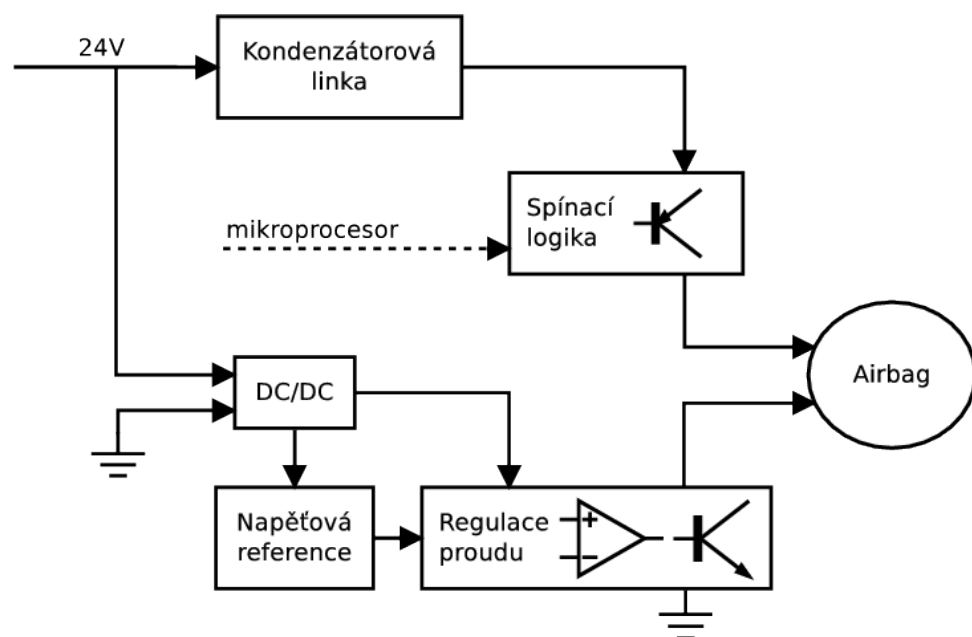


Sheet: /	File: ZdrojProud10.sch
Title: Current source 10mA	
Size: A4	Date: 29.1.2017
KiCad E.D.A.	KiCad 4.0.2+e4-622538ubuntu14.04.1-stable
	Rev: 3.1.0
	Id: 1/1



Příloha I

Blokové schéma impulzního zdroje



Obrázek I.1: Blokové schéma impulzního zdroje