

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

**Návrh schématu zapojení a desky plošných
spojů pro pro Workswell SMARTIS gen 2**

**Design of schematic and of printed circuit
board for Workswell SMARTIS gen 2**

Ondřej Brejla

Školitel: Ing. Jan Kovář
Obor: Kybernetika a Robotika
Zaměření: Systémy a řízení
Květen 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brejla** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **456928**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra řídicí techniky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Studijní obor: **Systemy a řízení**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů pro Workswell SMARTIS gen 2

Název bakalářské práce anglicky:

Design of schematic and of printed circuit board for Workswell SMARTIS gen 2.

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte schéma zapojení pro Workswell SMARTIS gen 2 za použití platformy TINYREX
2. Seznamte se s průmyslovým standardem PROFINET a IO LINK a navrhněte schéma zapojení pro implementaci těchto standardů s iMX6 platformou
3. Navrhněte centrální nosnou desku s obslužnými periferiemi, která umožní propojení mezi SOM iMX6, termokamerou 384px, a vstupně-výstupním rozhraním ETHERNET, SERIOVA LINKA RS485, PROFINET a IO Link, Digitálními vstupy, Digitálními a analogovými výstupy

Seznam doporučené literatury:

- [1] Vít Záhlava : Návrh a konstrukce desek plošných spojů
- [2] Josef Šandera : Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Kovář, Workswell s.r.o

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **24.01.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce:

do konce letního semestru 2019/2020

Ing. Jan Kovář
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Janu Kovářovi za pomoc při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat Anně Šantorové a Kateřině Brejlové za trpělivost a pomoc s korekturou.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 23. května 2019

Podpis.....

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem elektrického schématu a následným návrhem desek plošných spojů pro prototyp termokamery. Popisuje fungování komunikací využitých v navrženém zařízení. Následně popisuje navržené schéma a kritéria výběru použitých komponent. V závěrečné části se práce zabývá návrhem desek plošných spojů na základě již navrženého schématu.

Klíčová slova: termokamera, návrh desky plošných spojů, PROFINET, RS485

Školitel: Ing. Jan Kovář
Workswell s.r.o.

Abstract

This thesis focuses on design schematic and subsequent desing of printed circuit boards for a prototype of thermocamera. It describes the functionality of communications used in the designed device. Later it describes the designed schematic and the criteria for the selection of components used in the design. Lastly it outlines the process of the PCB design.

Keywords: thermocamera, design of printed circuit board, PROFINET, RS485

Title translation: Design of schematic and of printed circuit board for Workswell SMARTIS gen 2

Obsah

1 Úvod	1
2 Použité sběrnice	3
2.1 Standard SPI	3
2.2 Standard USART	5
2.3 Standard EIA-485	6
2.4 Standard IO Link	7
2.5 PROFINET	7
3 Schéma	9
3.1 IO Link	9
3.2 RS485	10
3.3 Ethernet	11
3.4 PROFINET	12
3.5 POE+	12
3.6 Digitální výstupy	15
3.7 Digitální vstupy	16
3.8 Analogové výstupy	17
3.9 Izolace vstupní a vnitřní části zařízení	20
3.10 Napájení	20
3.11 Konektory	21
4 Desky plošných spojů	25
4.1 Principy využití při návrhu plošných spojů	25
4.1.1 Řazení vrstev	25
4.1.2 Blokování napájení	25
4.1.3 Input/Output obvody	26
4.1.4 Vodiče	26
4.2 Základní deska	27
4.3 Střední "distanční" DPS	27
4.4 Hlavní IO deska	27
4.4.1 Rozmístění komponent	27
4.4.2 Vnitřní část	28
4.4.3 Vstupní část	29
4.4.4 Izolační bariéra	29
4.5 Deska Analogových a Digitálních IO	30
4.5.1 Rozmístění komponent	30
4.6 Deska konektorů	31
5 Závěr	33
Literatura	35
.1 Elektrické schéma zapojení	36
.1.1 Hlavní IO deska	36
.2 Desky plošných spojů	54

Obrázky

2.1 Ukázka fungování komunikace SPI [1]	3
2.2 Propojení více zařízení pomocí SPI [2]	4
2.3 Odeslání jednoho byte dat pomocí USART standardu [3]	5
2.4 Odeslání jednoho byte dat pomocí EIA-485 standardu [4]	6
3.1 Schéma zapojení IO link	10
3.2 Schéma zapojení RS485	10
3.3 Schéma zapojení oddělujícího transformátoru pro Ethernet	11
3.4 Schéma zapojení čipu MP8008 a flyback konvertoru	13
3.5 Uměrnovací diodové můstky pro POE napájení	14
3.6 Schéma zapojení čip NCV7608 pro ovládání digitálních výstupů	16
3.7 Schéma zapojení čipu NCV7608 pro ovládání digitálních vstupů ..	17
3.8 Schéma zapojení čipu DAC8775	18
3.9 Schéma zapojení pro vnitřní konvertor	19
3.10 Schéma zapojení pro ochranu analogových výstupů	19
3.11 Ukázkové schéma zapojení digitálního izolátoru	20
3.12 Schéma zapojení IL1224S DC/DC konvertoru	21
3.13 Schéma zapojení ochrany napájení	22
3.14 Schéma zapojení pětivodičového konektoru M12	22
3.15 Schéma zapojení osmivodičového konektoru M12	23
3.16 Schéma zapojení dvanáctivodičového konektoru ...	23
4.1 3D model Střední "distanční"desky	28
4.2 3D model Hlavní desky, vrchní strana	29
4.3 3D model Hlavní desky, spodní strana	30
4.4 3D model desky Analogových a Digitálních IO	31
4.5 3D model desky konektorů	32

Tabulky

3.1 Tabulka hodnot klasifikačních odporů pro POE [6]	15
---	----

Kapitola 1

Úvod

Cílem této práce je vytvořit schéma elektronického zapojení a následně navrhnout desku plošných spojů pro prototyp termokamery.

Nejdůležitějšími požadavky pro tento návrh jsou hlavně daná rozhraní, pomocí kterých má termokamera komunikovat s okolím (a umožnit tak ovládání a hlavně sběr dat), ale také minimalizace rozměrů návrhu, a tím i minimalizace rozměrů samotné termokamery.

Za výpočetní jednotku navrhované termokamery byl zvolen modul TinyRex od společnosti FEDEVEL, který využívá procesoru NXP (Freescale) iMX6. Modul sám o sobě nedokáže zpracovávat komunikace, které budou do termokamery připojeny, úkolem navrhovaného hardwaru je tedy zajistit potřebné zpracování vstupních signálů za účelem jejich vyhodnocení v modulu TinyRex a převedení výstupních signálů na výstupy splňující průmyslové standardy.

Navrhovaná kamera musí být schopna komunikovat pomocí standardů PROFINET a IO link. Podpora těchto dvou rozšířených průmyslových komunikací vytvoří možnost jednoduchého začlenění hotového zařízení do již existujících průmyslových sítí. Je tedy nutné navrhnout hardware, který zajistí splnění všech náležitostí vyžadovaných standardy těchto komunikací a umožní jejich spojení s modulem TinyRex. Dále musí být výsledné zařízení schopno komunikovat pomocí obecně používaných standardů jako jsou ethernet a sériová linka RS485. Navíc musí poskytovat možnost připojení digitálních vstupů, digitálních výstupů a analogových výstupů. Vybavením termokamery všemi zmíněnými typy spojení se dosáhne jejího nejširšího možného využití. Větší výběr připojitelných komunikací také přináší lehčí integrovatelnost zařízení do existujících sítí.

Na začátku práce se nachází popis standardů komunikace použitých při návrhu schématu a desky termokamery. Znalost fungování těchto komunikací je nezbytná pro správný výběr použitého hardwaru a následný návrh schématu. V následující části práce jsou popsáno navržené schéma zapojení. Tento popis je opět dělen dle jednotlivých standardů komunikace a popisuje i důvody výběru konkrétních komponent. Jsou zde také popsány další části zapojení, jako jsou elektrické oddělení signálů a způsob napájení termokamery.

Poslední úsek této práce se zabývá návrhem desek plošných spojů na základě již popsaného schématu. Nejprve jsou zde popsána pravidla a omezení na jejichž základě návrh desek probíhal. Jsou zde také vysvětleny volby týkající

se parametrů desek, jejich rozvržení a způsobu vedení vodičů. Potom již následuje popis vytvořených návrhů, doprovazený pro ilustraci jejich 3D modely.

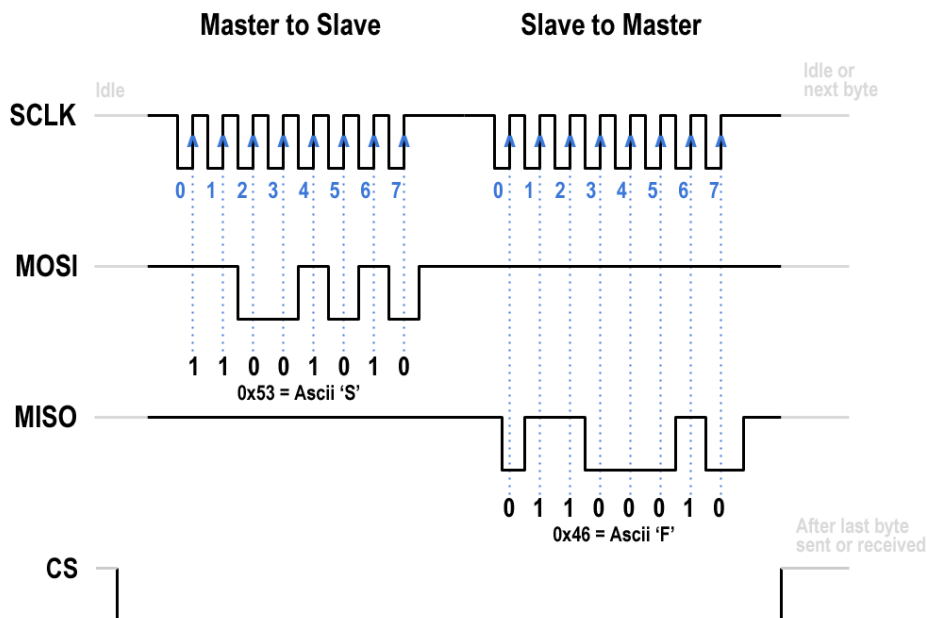
Kapitola 2

Použité sběrnice

2.1 Standard SPI

SPI neboli sériové periferní rozhraní (Serial Peripheral Interface) je způsob komunikace využívaný hlavně mezi řídicím procesorem a jeho periferiemi. Samotná komunikace probíhá po společné sběrnici. Zařízení na SPI sběrnici se dělí na Master a Slave.

Zařízení Master je pouze jedno a řídí komunikaci na sběrnici pomocí vysílání hodinového signálu a samo volí, které Slave zařízení může komunikovat (z důvodu společné komunikační sběrnice jde vždy jen o jedno Slave zařízení zároveň).



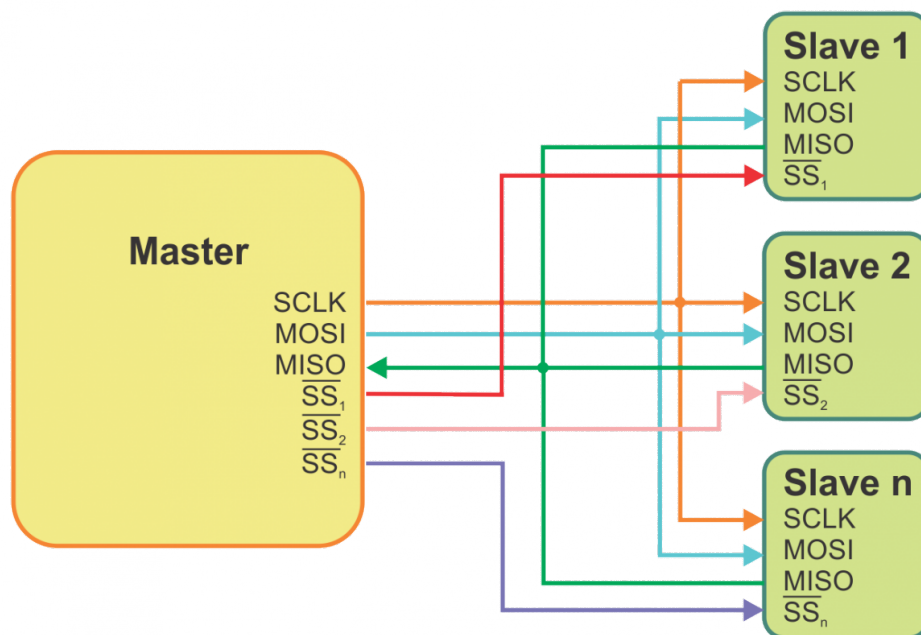
Obrázek 2.1: Ukázka fungování komunikace SPI [1]

Typický počet vodičů potřebných pro funkci komunikace SPI, je vidět na

obrázku 2.1, je čtyři, a to vodiče MOSI (Master out Slave in), MISO (Master in Slave Out), CLK (hodinový signál) a CS (chip select signál aktivní v log. 0, který vybírá komunikující Slave zařízení, někdy též SS jako „slave select“). Všechny vodiče komunikace SPI jsou jednosměrné.

Zařízení Master (zpravidla mikroprocesor) je zodpovědné za vysílání hodinového signálu pomocí vodiče CLK, jímž řídí frekvenci samotného vysílání znaků, dále také pomocí vodičů CS vybírá periferní zařízení, které se má účastnit komunikace a pomocí vodiče MOSI může vybranému perifernímu zařízení posílat data (ta jsou většinou v tomto směru využívána ke konfiguraci či k zaslání příkazů) některé typy periferních čipů připojených SPI nevyžadují připojení vodiče MOSI, tyto potom po překlopení svého CS do aktivní hodnoty vysílají pomocí MISO vodiče svá stavová data (může jít například o čip starající se o signály digitálních vstupů, kterému stačí pouze na žádost odeslat hodnoty signálů a nemusí být nijak dodatečně konfigurován).

Samotná zařízení slave ovládají pouze vodič MISO, na němž v případě žádosti od procesory posílají vyžadovaná data. Celkový počet vodičů SPI je tedy 3 a k tomu jeden navíc za každé připojené periferní zařízení. Způsob takového zapojení můžeme vidět na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Propojení více zařízení pomocí SPI [2]

Výhodou použití sběrnice SPI je hlavně redukce počtu vodičů potřebných pro vyslání všech potřebných signálů. Například u této desky, která potřebuje vést vodiče pro čtyři digitální výstupy, dva analogové výstupy a tři digitální vstupy (celkově tedy teoreticky devět vodičů), pokud využijeme čipů využívajících právě komunikace SPI, potřebujeme pro tyto signály pouze šest vodičů, což vede k úspoře místa. Jelikož každý další čip přidává pouze 1 vodič

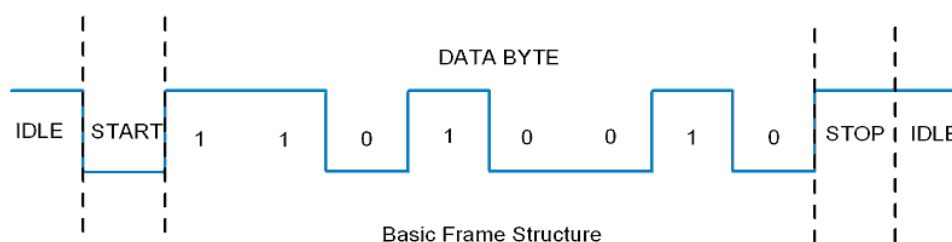
navíc snažíme se jich většinou v případě použití této komunikace vybrat co největší počet.

Nevýhodou toho typu rozhraní je hlavně možnost pouze jedné souběžné komunikace (může být tedy aktivní pouze jeden signál CS, v opačném případě, při aktivaci více signálů, by se snažily využívat sběrnice MISO například 2 čipy a ve výsledku by žádná data nebyla pro procesor čitelná). Komunikace nemá žádný prostředek pro detekci kolizí ani jejich řešení, kolizím tedy musíme předcházet pouze právě striktním hlídáním výběru pouze jednoho zařízení pomocí CS vodiče. Dále pak jelikož jde o typ sériového rozhraní, bude mít SPI nižší přenosovou rychlost než rozhraní paralelní (samozřejmě při mnohem menším počtu vodičů). Zpravidla tedy tohoto rozhraní používáme pro komunikaci s periferiemi, kde není nutná odezva v rámci velmi krátkých časů, nebo pro periferie, které využíváme jen velmi zřídka. Tedy například v případě této desky pro ovládání digitálních výstupů, u těchto můžeme předpokládat, že spouští například sirénu nebo rozsvěcí světlo a rozhodně nemusíme očekávat potřebu spuštění v rámci milisekund ani frekvenci překlápění výstupu častější než v rámci přinejmenším minut.

2.2 Standard USART

Rozhraní USART (Universal synchronous/asynchronous Receiver and Transmitter) je typ sériové komunikace využívající komunikace pomocí zpravidla dvou vodičů. Vodiče komunikace USART jsou zpravidla označovány jako RX (receive - příjem dat) a TX (transmit - vysílání dat), v některých případech může být ještě třetí vodič EN (enable - povolení vysílání).

Komunikace USART může probíhat ve dvou různých módech, a to half duplex a full duplex. Při half duplex konfiguraci mohou dvě zařízení spojená pomocí USART obě data vysílat, ale ne obě zároveň. Komunikace tedy může fungovat vždy jen jedním směrem (jedno zařízení vysílá, druhé přijímá). U full duplex komunikace může komunikace probíhat zároveň, tedy obě zařízení mohou zároveň vysílat i přijímat data. Nevýhodou full duplex módu komunikace je potřeba většího množství vodičů než u jednoduššího half duplex módu.



Obrázek 2.3: Odeslání jednoho byte dat pomocí USART standardu [3]

Na obrázku 2.3 je možno vidět, jak vypadá typický přenos jednoho byte pomocí tohoto typu komunikace. Klidová hodnota signálů standardu USART je log. 1 (typicky se jedná o napětové úrovně buď 5 V nebo 3,3 V). Vyslání

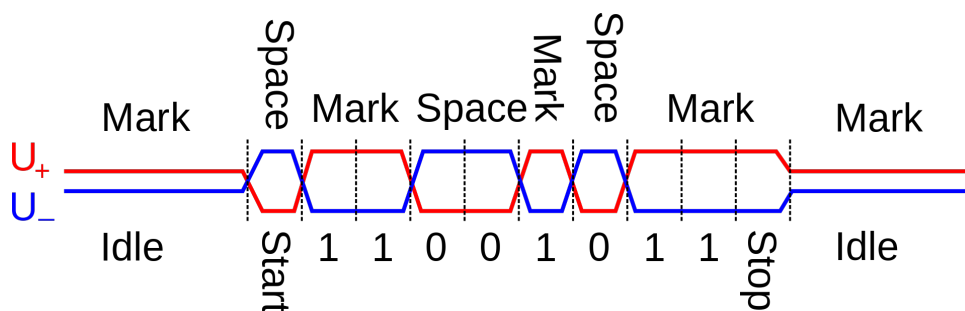
jednoho byte dat pomocí této komunikace, tedy začíná signálem v klidu v log. 1, na označení začátku vysílání se signál TX překlápí na dobu jednoho bitu, čímž se odvíjí tzv. start bit. Po start bitu následuje 8 bitů dat ve formátu LSB (least significant bit), tedy vysílá se od nejnižšího datového bitu po nejvyšší. Vyslání jednoho bitu je zakončeno překlopením signálu do hodnoty log. 0 po dobu jednoho bitu, čímž se odvíjí tzv. stop bit, a tím je příslušný byte odeslán.

2.3 Standard EIA-485

Dalším použitým standardem sériové komunikace je EIA-485 (známý také jako RS485). Jde o standard komunikace používaný především v průmyslovém prostředí. RS485 umožňuje vytvořit poloduplexní (komunikace může vždy probíhat jen jedním směrem, tedy vždy jedno zařízení vysílá a jiné přijímá data) síť až 32 zařízení pro komunikaci na vzdálenost až 1200 m.

Tento standard se využívá pro komunikaci dvou vodičů, zpravidla zvaných A a B. Pro reprezentaci logických úrovní se využívá rozdíl napětí mezi těmito dvěma vodiči. Logickou „1“ (označovanou také „Mark“) rozlišujeme při rozdílu napětí $(A - B) < -200 \text{ mV}$ (tedy na vodiči B je alespoň o 200 mV větší napětí než na vodiči A), za logickou „0“ považujeme stav, kdy je rozdíl napětí $(A - B) > 200 \text{ mV}$ (na vodiči A je alespoň o 200 mV vyšší napětí než na vodiči B), tento stav označujeme též jako „Space“.

Při přenosu jednoho byte dat, jehož ukázkou je možno vidět na obrázku 2.4, probíhá komunikace obdobně jako v případě například standardu USART. Tedy klidovým stavem sběrnice je log. 1, počátek vysílání je potom označen Start bitem ve formě logické 0. Následuje odeslání samotných dat (zpravidla osm bitů ve formátu LSB) zakončených jedním či více Stop bity (případně i tzv. paritním bitem, využívaným pro kontrolu integrity přijímaných dat).



Obrázek 2.4: Odeslání jednoho byte dat pomocí EIA-485 standardu [4]

Při použití spojení pomocí dvou dvojic vodičů je možno dosáhnout i plně duplexní verze standardu a zároveň tedy vysílat oběma směry. Standard RS485 je tedy schopen využívat i čtyř vodičového spojení, v praxi je často ale vidět verze využívající dvou vodičů, respektive tří, kdy se při vysílání na větší vzdálenosti přidává ještě vodič GND kvůli možným rozdílům potenciálu zemních vodičů na obou koncích komunikace.

2.4 Standard IO Link

Standard komunikace IO link je v průmyslu hojně užívaný pro připojení různých typů senzorů a akčních členů. Topologií sítě využívající komunikace IO link je tzv. „hvězda“, tedy ve středu je zařízení zvané IO-link Master, které navazuje a řídí komunikaci s připojenými Slave zařízeními. Standard IO link typicky vyžaduje propojení tří vodičů typicky nazývaných L+ , L- a C/Q. Lze se setkat i s verzí pěti vodičů, kdy se poslední dva vodiče používají pro izolované napájení připojeného akčního prvku.

Komunikace probíhá pomocí již známého standardu pro přenos dat UART a je kódována pomocí metody NRZ (Non return to zero), kdy logickou 1 poznáme jako napětí 24 V mezi vodiči L+ a C/Q a logickou 0 poznáme jako rozdíl napětí 0V mezi těmito vodiči.

Připojení IO link funguje typicky ve dvou různých módech IO-Link režimu, kdy komunikace mezi Master jednotkou a Slave zařízením probíhá pomocí UART komunikace. Druhý mód je nazýván IO režimem. V tomto režimu je C/Q vodič využíván jako spínaný výstupní signál ze Slave zařízení (využitelný hlavně pro připojení senzorů, jejichž výstup je možno popsat právě jednou binární hodnotou ON/OFF).

2.5 PROFINET

PROFINET je průmyslový komunikační standard využívající pro přenos dat vrstvu Ethernet, jak je definován ve standardu IEEE 802.3. Komunikaci PROFINET je možno rozdělit na tři typy. Standardní komunikaci využívající známé protokoly jako je TCP/IP, která zajišťuje přenos dat, u nichž není přenos časově kritický. Jde tedy například o data zajišťující konfiguraci zařízení, u kterých je jisté malé zpoždění doručení bezproblémové. Data, která jsou časově kritická (je u nich vyžadováno jejich rychlé doručení), může se jednat například o pravidelně zasílaná uživatelská data nebo neočekávaná přerušení procesu na základě externích událostí, zde lze využít přenosu zvaného RT (Real Time komunikace). Zprávy zasílané pomocí přenosu RT dostávají v komunikaci PROFINET prioritu a jejich časová odezva se pohybuje do 10ms. Posledním typem komunikace tohoto standardu je komunikace IRT, tzv. Isochronous Real Time. Využívání této komunikace již vyžaduje speciální dedikované ASIC čipy a je vhodné pokud je potřeba komunikovat se zařízeními, u kterých je vyžadována nejrychlejší možná odezva, tedy například chceme-li řídit pohyb. Je-li přítomen IRT přenos, potom je PROFINET komunikace dělena na cykly, kde v každém cyklu je vyhrazen čas právě pro přenos IRT dat, standard tak dosahuje rychlosti odezvy <1ms.

V síti PROFINET se dělí zařízení na 3 typy, a to IO controller, řídicí automatizovaný provoz, IO device, řízené jednotky přidělené IO controlleru, který zodpovídá za jejich řízení v rámci provozu a tzv. IO supervisor, programovací jednotku, která má za úkol uvádět systém do provozu a například poskytovat diagnostické funkce.

Velkou výhodou tohoto standardu je tedy to, že je postaven na často používané komunikaci pomocí standardu Ethernet a poskytuje tak možnost jednoduchého připojení zařízení do již existující průmyslové sítě bez eliminace možnosti využití ethernetové komunikace. Díky využití již existujícího standardu je také možné integrovat PROFINET do zařízení čistě pomocí úpravy softwaru. Tímto způsobem ale není možné využívat komunikace IRT, protože v tomto případě není možné zajistit požadovanou krátkou časovou odezvu. Pokud tedy pro potřeby zařízení stačí využívat přenosu RT, může být PROFINET implementován čistě softwarově. Na trhu ale existují čipy již vybavené programem zajišťujícím příjem a vysílání PROFINET komunikace (využitelné jak pro RT tak IRT přenos), které jsou využitelné pokud například jako u tohoto projektu není vhodné zatěžovat procesor dalšími funkcemi nebo není vhodné zasahovat do již existujícího softwaru, který zajišťuje komunikaci pomocí standardu Ethernet.

Kapitola 3

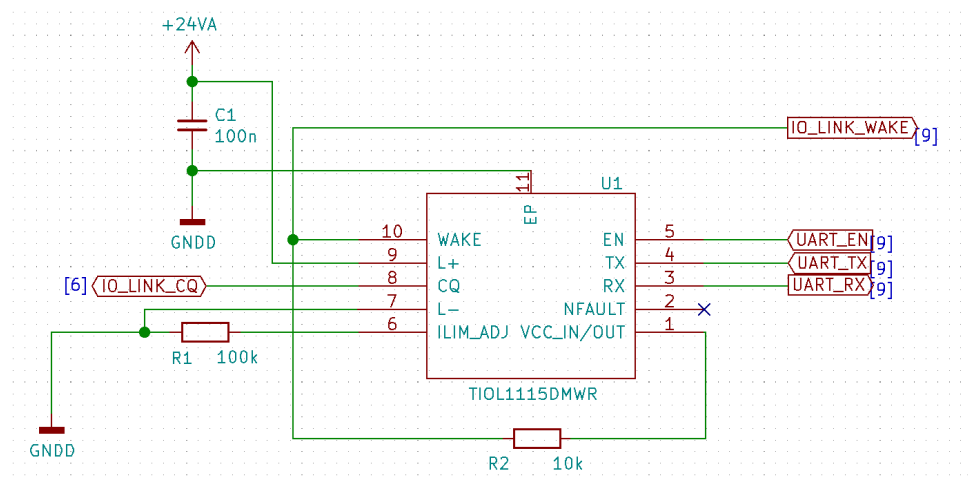
Schéma

Veškerá schémata použitá v této práci byla vytvořena ve volně dostupném programu KiCAD(<http://kicad-pcb.org/>). Kompletní elektrické schéma všech součástí práce je k nahlédnutí v první příloze.

3.1 IO Link

Komunikaci IO link obsahuje projekt hlavně z důvodu jejího rozšíření v průmyslovém prostředí. Jde o jednoduchou všestrannou komunikaci, jejíž velkou výhodou je i to, že obsahuje možnost napájet zařízení pomocí jejího vedení L+ a L-, čehož je v projektu také využito (tato část zapojení je popsána v kapitole Napájení). Stejně jako u velké části jiných komunikací i u IO linku je zpravidla použit tzv. transceiver čip, tedy čip, který funguje jako mezistupeň mezi vysíláním IO link a samotnou řídicí jednotkou TINYREX, která s transceiverem komunikuje v našem případě pomocí UART sběrnice.

Použité zapojení pro komunikaci IO link je vykresleno na obrázku 3.1. Čip použitý v tomto projektu je TIOL-1115. Jde o IO link transceiver od společnosti Texas Instruments. Čip může být napájen pomocí napětí 7 V – 36 V (obsáhne tedy typické hodnoty napětí vyskytující se v průmyslu, typicky 12 V, 24 V nebo 36 V). Další výhodou je jeho odolnost proti výkyvům napětí až do hodnoty 65V. TIOL-1115 je uzavřen v pouzdře VSON10, vede z něj tedy 10 pinů. Piny 7, 8 a 9 slouží pro připojení napájení IO link a vodiče C/Q. Piny 3, 4 a 5 pak slouží pro připojení komunikace UART vedoucí poté do procesoru. Napěťová úroveň této komunikace je řízena pomocí vnitřního LDO 5V regulátoru (na trhu jsou dostupné i verze čipu TIOL-111 bez LDO regulátoru a TIOL-1113 s LDO regulátorem na 3,3 V), což je úroveň, na které je snaha vést všechny signály z důvodu jednoduššího oddělení vstupní a vnitřní výpočetní části zařízení, výstup tohoto vnitřního regulátoru se nalézá na pinu 1. Další funkce, kterými se čip vyznačuje, je omezení výstupního proudu na hodnotu mezi 50 mA a 350 mA pomocí odporu mezi pinem 6 ILIM_ADJ a napájecím pinem L-. V našem případě je zvolena hodnota 100 kΩ. Pin NFAULT umožňuje čipu vyslat pomocí jeho překlopení na log. 0 zprávu buď o špatné hodnotě napájecího napětí nebo o přehřívání. V tomto projektu však tato funkce není využita. Pin č. 10 WAKE zajišťuje funkci vyžadovanou standardem IO link, a to že při zahájení komunikace (oznámené



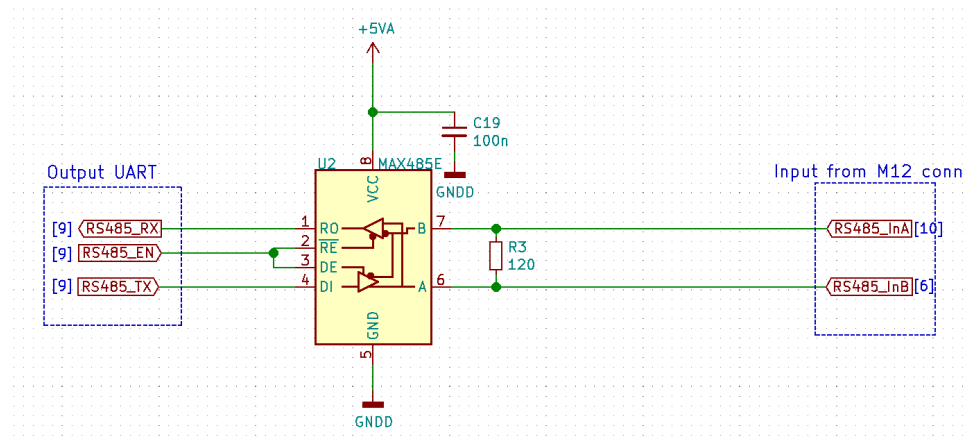
Obrázek 3.1: Schéma zapojení IO link

překlopením C/Q vodiče na opačnou hodnotu a buď odběrem nebo dodáním proudu většího než 500 mA po určitou definovanou dobu, většinou 80 μ s) se musí přijímající zařízení do 500 μ s připravit na přijímání dat.

Odpor R2 funguje jako pull-up odpor udržující signál Wake při neaktivitě v log. 1, dle doporučeného zapojení má hodnotu 10 k Ω . Odpor R1 určuje výše popsaný proudový limit, jeho hodnota 100 k Ω omezuje výstupní proud na spodní hranici 50mA. Kondenzátor C1 je přiřazen pro omezení výkyvů napájecího napětí.

3.2 RS485

Dalším oblíbeným průmyslovým standardem využitým v tomto projektu je RS485. Podobně jako v případě komunikace IO link je použit jako mezistupeň transciever. V tomto případě je převáděna komunikace RS485 na komunikaci UART na napěťové úrovni 5V. Schéma zapojení pro komunikaci RS485 je



Obrázek 3.2: Schéma zapojení RS485

vidět na obrázku 3.2. Transciever využitý v tomto případě je čip MAX485 od společnosti Maxim Integrated. Jde o polo duplexní transciever zvládající datový přenos až o rychlosti 2,5Mbps. Napájení tohoto čipu je zajištěno pomocí 5V napětí a s tím je tedy vyřízeno i napětí pro logickou úroveň komunikace.

MAX485 je uzavřen v pouzdře 8 SO, jde tedy o pouzdro s osmi piny. Piny 1 a 4 slouží pro připojení komunikace UART, piny 2 a 3 slouží pro připojení vodiče UART Enable a jsou spojeny dohromady. Piny 6 a 7 slouží pro připojení vodičů RS485 a zbývající piny 5 a 8 jsou využity pro napájení čipu.

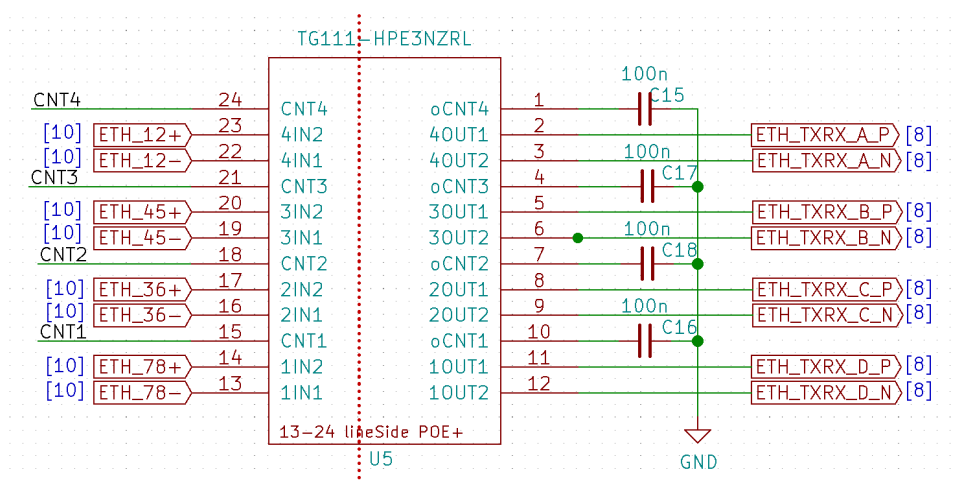
Odpor R3 je doporučeno přidávat na konec delšího vedení sběrnice RS485, dále je ještě na vstup signálů RS485 přiřazena ochrana proti transienčním napětím realizovaná pomocí SM712-02HTG, asymetrické 600W TVS dvojité diody, navržené právě pro použití ochrany RS485. Kondenzátor C19 je přiřazen pro vyrovnání výkyvů napájecího napětí.

3.3 Ethernet

Nepostradatelnou komunikací v tomto projektu je komunikace Ethernet. Má zde trojí využití, zaprvé může termokamera využívat klasickou ethernetovou komunikaci, která zajistí bezproblémové připojení pro veškeré potřeby komunikace s termokamerou či jejího nastavení například pomocí webové aplikace, čímž je dosaženo velkého zjednodušení uživatelského přístupu k ovládání samotné výsledné kamery.

Druhým možným využitím Ethernetové komunikace je komunikace pomocí průmyslového standardu PROFINET podporovaného hlavně společností Siemens. Jde o standard, který umožňuje nové zařízení které připojení PROFINET podporuje, zapojit bez větších komplikací do již existující sítě.

Posledním využitím tohoto připojení je standard POE+ , tedy Power Over Ethernet+ , který slouží jako jedna z možností napájení zařízení. Na



Obrázek 3.3: Schéma zapojení oddělovacího transformátoru pro Ethernet

vstupní straně zařízení je veden tzv. 1000base ethernet, tedy všechny 4 typické diferenciální páry, vedoucí do oddělujícího transformátoru, který lze vidět na obrázku ??, který zajišťuje oddělení od vnitřní části zařízení hlavně z důvodu její ochrany.

3.4 PROFINET

Zařízení poskytuje možnost výběru mezi komunikací pomocí standardu Ethernet nebo PROFINET. Tato možnost byla přidána hlavně z důvodu nižší přenosové rychlosti dat v případě komunikace PROFINET a je realizována pomocí přepínače MAX4890ETJ, který funguje jako SPDT (single pole double throw) switch umožňující zasílat ethernetová data buď přímo do procesoru nebo do řídicího ASIC PROFINET čipu, který poté komunikuje s procesorem pomocí sběrnice SPI.

Vybraný PROFINET čip je řady TPS-1 společnosti Renesas. Tento čip dokáže zajistit veškerou komunikaci PROFINET (i v IRT módu) a zpracovaná data poté odesílá řídicí jednotce pomocí sběrnice SPI. Způsob komunikace TPS-1 pomocí SPI není úplně standardní, jelikož využívá dva vodiče navíc, které u většiny SPI zařízení nejsou přítomny. Bohužel díky nutnosti rychlých změn jednoho z těchto signálů (signál se překlápí na začátku každého paketu 8 bitů dat) a omezené rychlosti změny hodnot GPIO pinů jednotky TinyRex, je rychlost přenosu dat mezi TPS-1 a procesorem značně omezena. Toto omezení nehraje pro přenos PROFINET dat velkou roli, jelikož typický objem těchto dat je v řádech kilobitů za sekundu. Při obvyčejné komunikaci se zařízením přes ethernet je však lepší využít možnosti spojení v plné rychlosti.

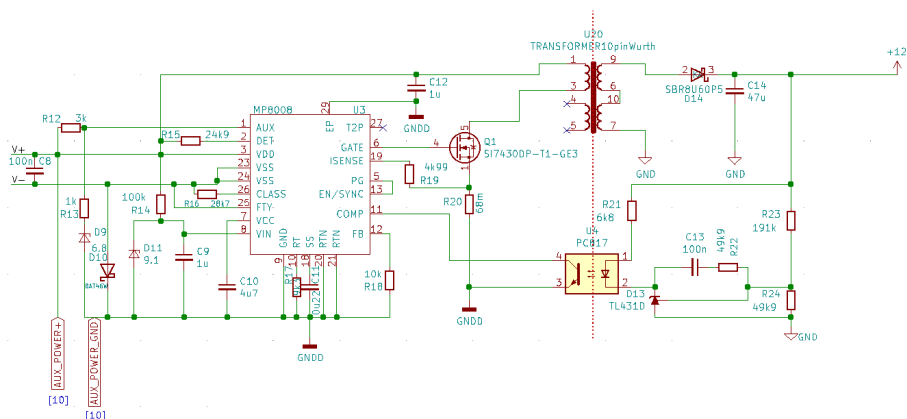
Schéma zapojení čipu TPS-1 bylo vytvořeno na základě technických dokumentací dostupných na webových stránkách společnosti Renesas [9]. Čip TPS-1 obsahuje většinu potřebných částí pro svoji funkci již vnitřně. Jediné externí přidané komponenty jsou flash paměť AT25SF081-SSHD-T, hodinový krystal TSX3225 a LDO regulátor potřebný pro vytvoření napájecího napětí 1V nutného pouze pro potřeby čipu TPS-1 (byl vybrán regulátor TLV75510PDQNR). Dále bylo ještě nutné vyvést pin N12 na dostupné místo na desce jako odhalenou plošku, protože přístup k tomuto signálu je vyžadován při testování správné funkce čipu v procesu certifikace PROFINET.

3.5 POE+

Power over ethernet je definovaný podle standardů IEEE 802.3af a 802.3at (dále potom ještě existují jiné verze s větším maximálním výkonem). Ve standardu s koncovkou af je definované tzv. POE což je způsob napájení dosahující maximálního výkonu 13W, v tomto projektu je ale využít standard 802.3at, jehož maximální výkon dosahuje až 30W. Rozdíl oproti standardu af je v dalším stupni kontroly při zahájení napájení, kdy zdrojové zařízení zjišťuje, zda je připojené zařízení připraveno odebírat vyšší výkon než dokáže dodat právě nižší standard.

Jak již bylo zmíněno, pro zahájení napájení je potřeba, aby zařízení nejdříve prošlo kontrolami, zda dokáže být pomocí těchto standardů vůbec napájeno, a poté jaký výkon mu má být poskytnut. Nejjednodušším způsobem, jak zajistit u zařízení kompatibilitu s těmito kontrolami, jsou samozřejmě integrované obvody, jichž pro tyto účely existuje velké množství, a oproti snaze vytvořit schéma, které by se o tyto kontroly staralo, uspoří využití integrovaného obvodu jak místo na samotné výsledné desce tak nejspíš i peníze.

Po zahájení samotného napájení tedy dostáváme po průchodu usměrňovacím diodovým můstkem stejnosměrné napětí, jehož hodnota je dle standardu mezi 44V a 57V (typicky je vidět 48V). Ve většině aplikací potom následuje flyback konvertor, který zařídí jak snížení hodnoty úrovně napětí na vybranou hodnotu, která je v aplikaci využitelná, tak i oddělení zdroje pomocí použitého transformátoru. Existují dvě možnosti, buď využít integrované obvody, jeden pro počáteční testy a klasifikaci POE a druhý pro řízení flyback konvertoru, nebo jako v případě tohoto projektu je možno využít obvod jako MP8008, který obsáhne funkcionalitu obou čipů v jednom. Další výhodou MP8008 je i možnost jednoduchého připojení tzv. AUX napájení, je tedy možno konvertoru využít i pro napájení z jiného zdroje, pokud k POE není přístup nebo z nějakého jiného důvodu není využito. V našem případě můžeme tedy napájet ještě pomocí obyčejného externího napájení, nebo pomocí napájení IO link. Aby projekt mohl využívat napájení POE, je pro oddělení ethernetu

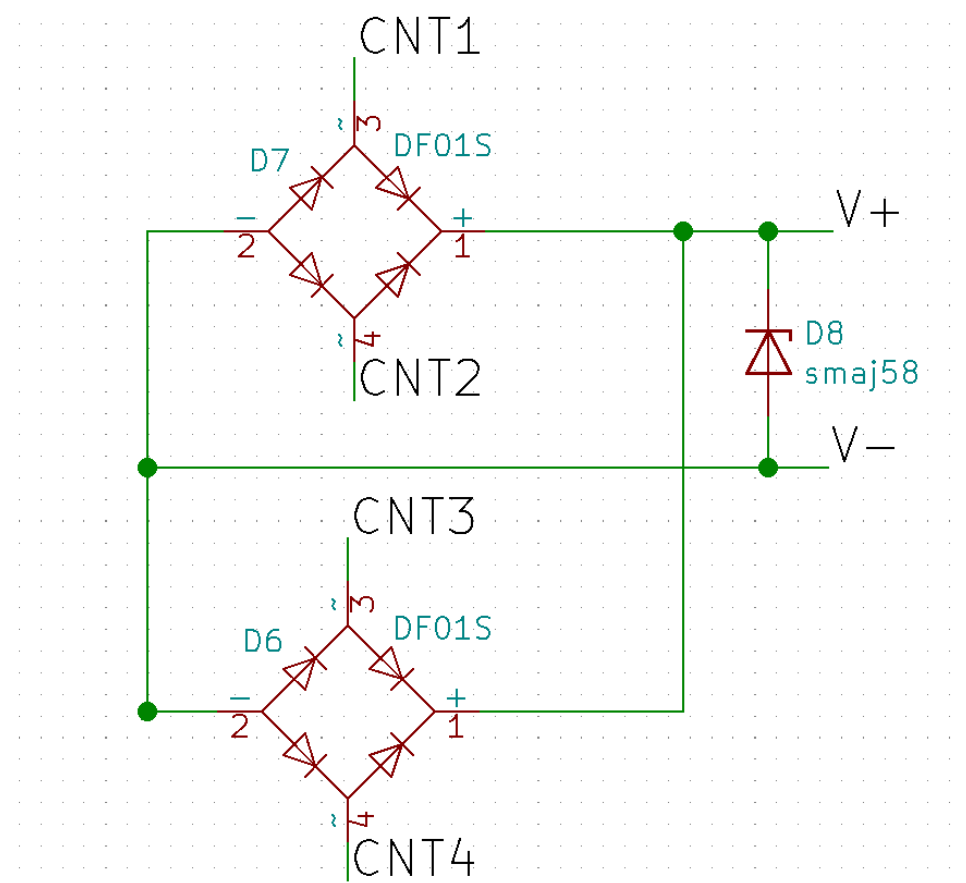


Obrázek 3.4: Schéma zapojení čipu MP8008 a flyback konvertoru

použit transformátor s vyvedenými středovými vývody, na kterých je právě možné najít napájení POE. Tyto vývody poté procházejí skrz plné diodové můstky, čímž je obvod účinně nezávislý na polaritě vstupního napětí. Dále již následuje obvod MP8008 a výstupní transformátor flyback konvertoru, který musí zvládnout až očekávaných 30W, které může POE+ dodat. Jde tak tedy o největší součástku na celé desce. Výstupní napětí je nastaveno pomocí zpětné vazby, v případě této aplikace na 12V.

Schéma zapojení MP8008 bylo vytvořeno na základě doporučeného zapojení dostupného v datasheetu volně dostupného na internetu a schématu EV8008-V-00A[5] (ukázková PCB pro test funkce čipu). Výsledné zapojení je

vykresleno na obrázku 3.4. POE vodiče vycházejí ze středových vývodů ethernetového transformátoru U5 a následně procházejí přes 2 diodové můstky D7 a D6. Tyto můstky, které lze vidět na obrázku 3.5, zároveň zaručují pokrytí veškerých možností kombinací vedení po ethernetových párech a zajistí správnou polaritu napětí přivedeného na čip a transformátor. Dioda D8 SMAJ58 poskytuje čipu ochranu proti přepětí a neočekávaným výbojům přicházejícím ze zdroje. Po vodičích V+ a V- je tedy přivedeno napájení POE a pomocí vodičů AUXPOWER+ a GND jsou přivedeny alternativní způsoby napájení (tedy externí napájení a napájení IO link).



Obrázek 3.5: Uměrnovací diodové můstky pro POE napájení

Důležitou částí schématu je odpor R16, jehož hodnota určuje při klasifikaci zařízení tzv. "Class", což je charakteristika určující, jaký výkon bude zdrojem pomocí POE zařízení dodáván. Hodnoty tohoto odporu pro jednotlivé možnosti jsou dostupné v datasheetu čipu [6] v tabulce č. 1. Čip pomocí vývodu Gate ovládá tranzistor Q1 čímž řídí funkci flyback konvertoru. Pomocí odporů R23 a R24 nastavujeme zpětnou vazbu realizovanou pomocí optočlenu U4, postup výpočtu jejich hodnot je dostupný z datasheetu [6]. V tomto projektu využíváme výstup o hodnotě 12V a hodnota těchto je v dokumentaci přímo dostupná pomocí poměru odporů 3,8 jako 49,9kΩ a 191kΩ. Kondenzátor C14 je přiřazen jako filtr pro usměrnění výstupního napětí. Očekávané výstupní

Class	Max input power[W]	R class[Ω]
0	12.85	578
1	3.84	110
2	6.49	62
3	12.95	41.2
4	25.5	28.7

Tabulka 3.1: Tabulka hodnot klasifikačních odporů pro POE [6]

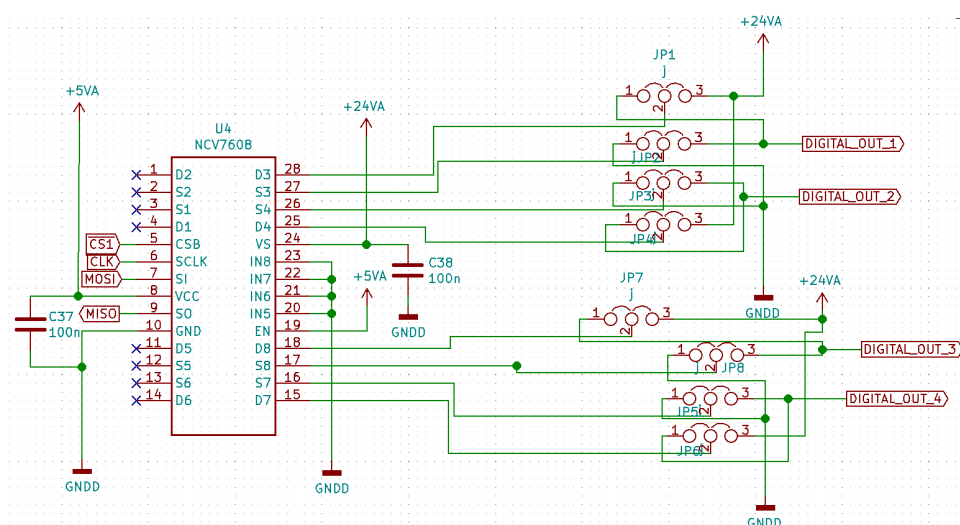
napětí je již zmíněných 12V a výstupní proud 2,1A, celkově tedy konvertor poskytuje výkon zhruba 25W.

3.6 Digitální výstupy

Digitální výstupy v průmyslu jsou většinou využívány pro spínání různých spotřebičů (například světelná signalizace, siréna či sepnutí signálu pro řídicí jednotku). Samotný digitální výstup je tedy většinou realizován spínaným tranzistorem v jednom ze dvou typických zapojení, nazývaných High side a Low side switch.

V případě zapojení Low side switch, jak název napovídá, sepnutím tranzistoru je digitální výstup připojen na zem. Maximální výkon sepnutého spotřebiče je tedy omezen maximálním povoleným proudem, který může protékat tranzistorem. V případě High side switch je po sepnutí tranzistoru na digitální výstup připojeno zdrojové napětí a spotřebič je napájen přímo ze zařízení. Maximální výkon spotřebiče je tedy omezen proudem, který je zařízení schopné dodat. Aby nemusela být všechna zařízení poskytující digitální výstupy naddimenzována, z důvodu možnosti připojení náhodného výkonového spotřebiče, jsou digitální výstupy v obou typech zapojení často používány pro spínání externích relé, která již jsou vybrána přesně pro zařízení, která mají za úkol spínat. Používání jednoho či druhého typu zapojení je otázkou preference, která je závislá na trhu pro který je výrobek určen, na evropském trhu se setkáme častěji s Low side zapojením například na Americkém naopak s High side spínáním.

V tomto projektu je využito čipu NCV7608, který u každého tranzistoru vyvádí jak pin drain tak source, a to pomocí dvou přepínacích jumperů pro každý tranzistor (jumpery jsou realizovány pomocí nulových odporů s dvěma možnými umístěními, tak jak je znázorněno na obrázku 3.6). Tak je tedy možné, aby výsledné zařízení poskytovalo digitální výstupy jak v zapojení Low side tak High side pro různé trhy. V High side zapojení je ale maximální proud poměrně limitovaný výkonem DC/DC konvertoru Tento typ zapojení je tedy vhodný hlavně pro spínání signálu pro připojenou řídicí jednotku. Jumpery JP1 - JP8 poskytují zmíněné přepínače mezi High a Low side spínáním, pro přepínač v pozici spojující piny 1 a 2 je využito Low side spínání pro pozice 2 a 3 potom High side spínání. Pro správnou funkci výstupu musí být oba přepínače příslušné tranzistoru ve stejné pozici, v opačném případě by docházelo k připojení napájení přímo na zem. Pro zjednodušení vedení



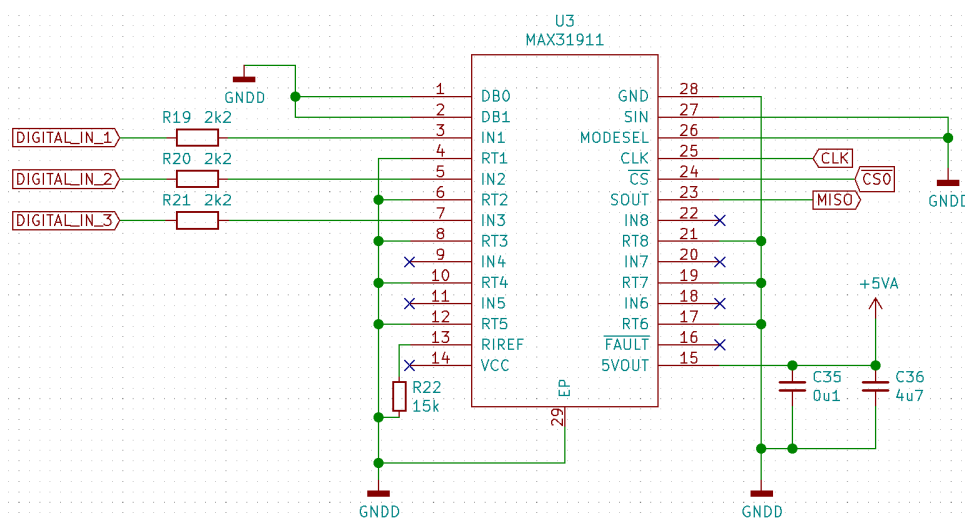
Obrázek 3.6: Schéma zapojení čip NCV7608 pro ovládání digitálních výstupů

signálů pro digitální výstupy používá projekt čip komunikující pomocí sběrnice SPI. V tomto případě stačí připojení SPI pouze pomocí tří vodičů, jelikož komunikace mezi čipem a procesorem není nutná, jediná nutná komunikace je mezi procesorem a čipem, kdy procesor určuje, které výstupy mají být sepnuty.

3.7 Digitální vstupy

Projekt počítá s připojením tří externích digitálních vstupů (tedy vstupních signálů nabývajících hodnot log. 0 a 1). Pro redukci počtu vodičů a usnadnění jejich vedení byl opět vybrán pro příjem těchto vstupů čip poskytující funkci serializace těchto vstupů pro použití komunikace s procesorem pomocí sběrnice SPI. Za tímto účelem byl vybrán čip MAX31911 od společnosti Maxim integrated vyznačující se právě funkcí komunikace pomocí SPI a nízkou spotřebou. Čip je možné napájet pomocí pinu VCC a napětí v rozmezí 7V a 36V (v tomto případě je využít 5V regulátor, který je v čipu obsažen), nebo je možné využít napájení pomocí pinu 5VOUT a napájecího napětí 5V. V tomto projektu je využito napájení pomocí napětí 5V, jelikož v této konfiguraci vykazuje čip menší spotřebu energie než při napájení pomocí pinu VCC. Jediným úskalím tohoto způsobu napájení je možná chybovost signálu FAULT (funkce signálu FAULT není při tomto napájení výrobcem garantována)informujícího o přehřátí a nízké úrovni napájecího napětí, jelikož ale tento výstup není v projektu využit, je možné k napájení toto napětí využít.

Schéma zapojení vykreslené na obrázku 3.7, je vytvořeno na základě doporučených zapojení dostupných v technické dokumentaci[7] k čipu MAX31911 a na základě komunikace s technickou podporou Maxim Integrated, která poskytla data měření spotřeby při různých typech napájení čipu a o zakončení nevyužitých digitálních vstupů.



Obrázek 3.7: Schéma zapojení čipu NCV7608 pro ovládání digitálních vstupů

3.8 Analogové výstupy

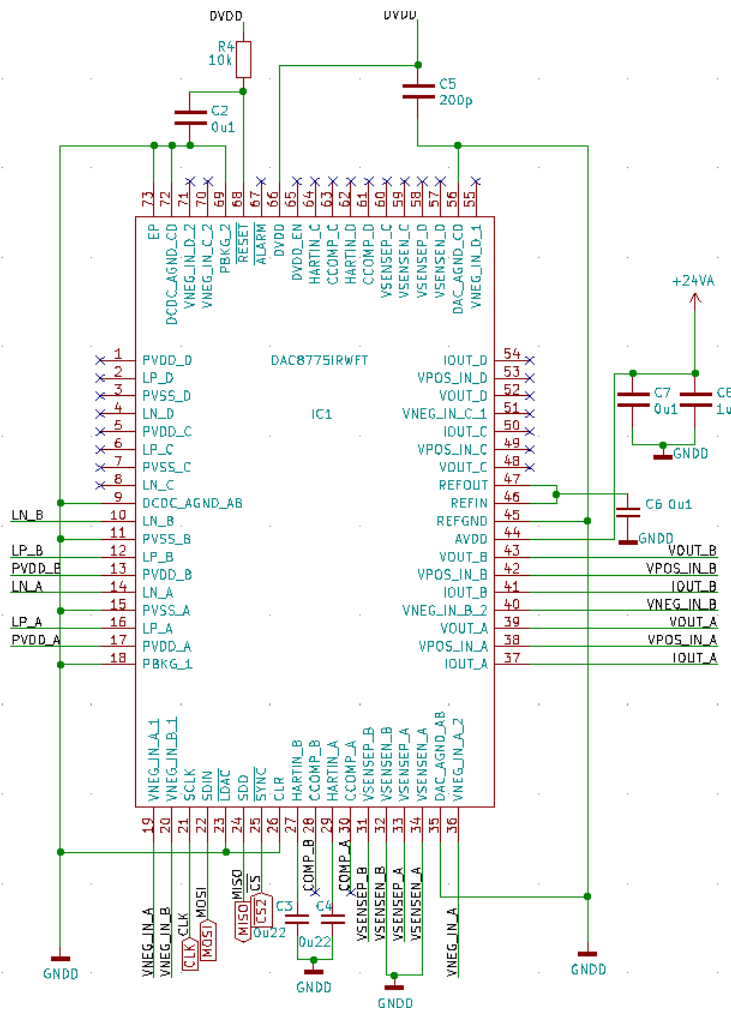
Typické analogové výstupy realizujeme buď pomocí proudového výstupu (často proudová smyčka o rozsahu 4mA až 20mA) nebo pomocí napětí v určeném rozsahu (například 0V až 10V). Používané napětové rozsahy často zasahují i do záporných hodnot napětí. Pro co nejširší uplatnění výsledného zařízení byl tedy čip ovládající analogové výstupy vybrán tak aby dokázal produkovat co největší množství těchto typů výstupů.

Projekt počítá s dvěma nezávislými analogovými výstupy, pro úsporu prostoru na desce byl tedy vybrán čip DAC8775, který dokáže vytvořit až 4 jednotlivé výstupy. Výhodou je opět možnost komunikace s čipem pomocí sběrnice SPI. Čip obsahuje pro každý kanál výstupu využitelný konvertor schopný vytvořit negativní napětí, dosáhneme tak tedy možnosti vytvořit výstupy například o rozsahu -5V až 5V, které by jinak nebylo možné používat. Schéma pro zapojení tohoto čipu bylo vytvořeno na základě referenčního schématu dostupného na webových stránkách společnosti Texas Instruments [8].

Na obrázku 3.9 je vykreslené schéma zapojení pro správnou funkci vnitřního buck konvertoru. Tento konvertor je v čipu obsažen pro každý kanál, v tomto projektu se tedy toto zapojení vyskytuje dvakrát. Na obrázku 3.8 je schéma zapojení pro čip, napájení je zajištěné pomocí napětí 24V na vývodu AVDD. Logické napětí DVDD je vytvořeno vnitřním 5V regulátorem obsaženým v DAC8775. Kondenzátory C7 a C8 jsou využity pro filtrování výkyvů napájecího napětí.

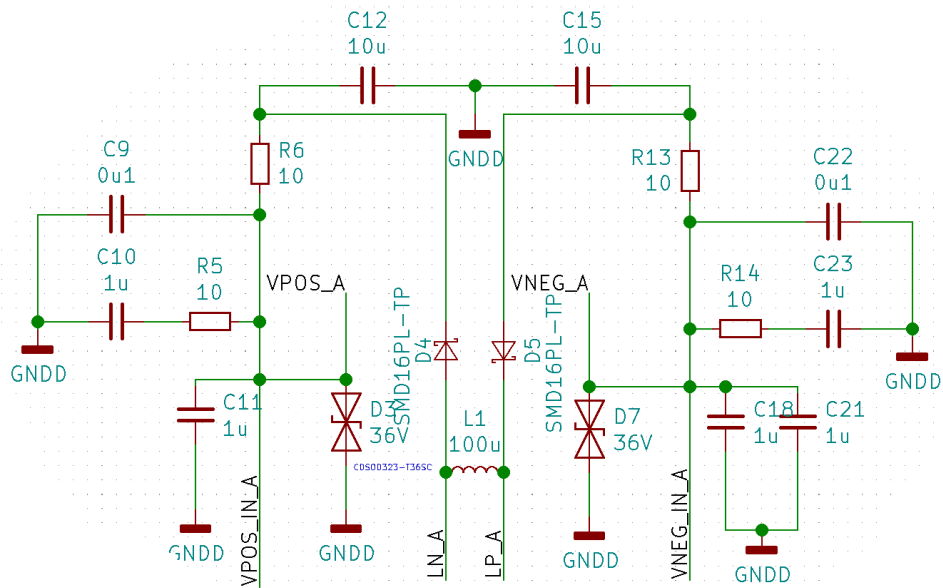
Analogový výstup je tvořen spojením proudového a napětového výstupu pro každý kanál přes malé odpory (odpory R7 - R12 na obrázku 3.10). Diody D6,D8,D9 a D10 poskytují ochranu proti přechodným výkyvům napětí a omezují maximální hodnoty napětí. Feritové perličky L2 a L3 a kondenzátory C19 a C20 poskytují další možnosti filtrování výkyvů výstupu a omezení vy-

3. Schéma

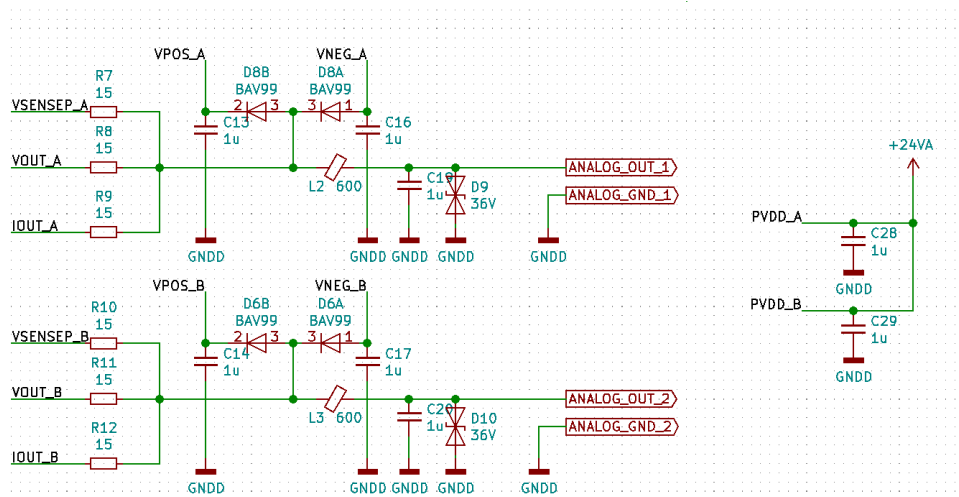


Obrázek 3.8: Schéma zapojení čipu DAC8775

sokofrekvenčního rušení. Kondenzátory C28 a C29 jsou osazeny pro filtrování zdrojového napětí pro vnitřní buck konvertory.



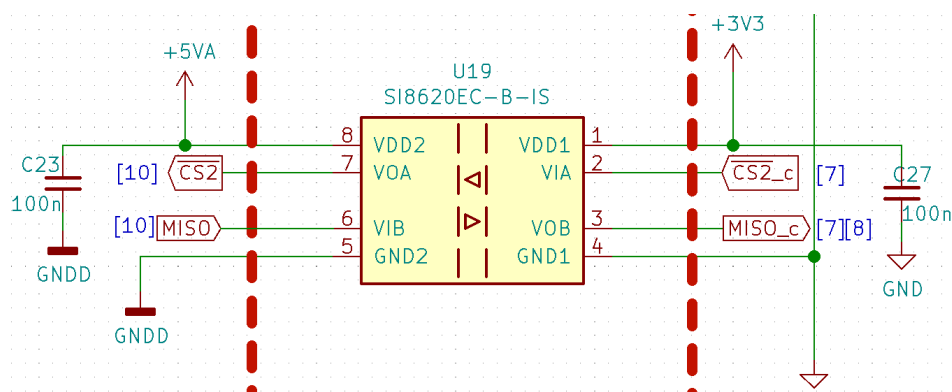
Obrázek 3.9: Schéma zapojení pro vnitřní konvertor



Obrázek 3.10: Schéma zapojení pro ochranu analogových výstupů

3.9 Izolace vstupní a vnitřní části zařízení

Z důvodu ochrany vnitřní výpočetní části zařízení je vhodné izolovat vstupní signály a napájení před připojením těchto signálů do výpočetní části. Tímto je zároveň zajištěna úprava napětových úrovní signálů z hodnot, jichž nabývají ve vstupní části zařízení (v tomto projektu hodnoty 5V) na hodnotu 3,3V, kterou očekává výpočetní jednotka TinyRex. Je potřeba oddělit čtrnáct digitálních



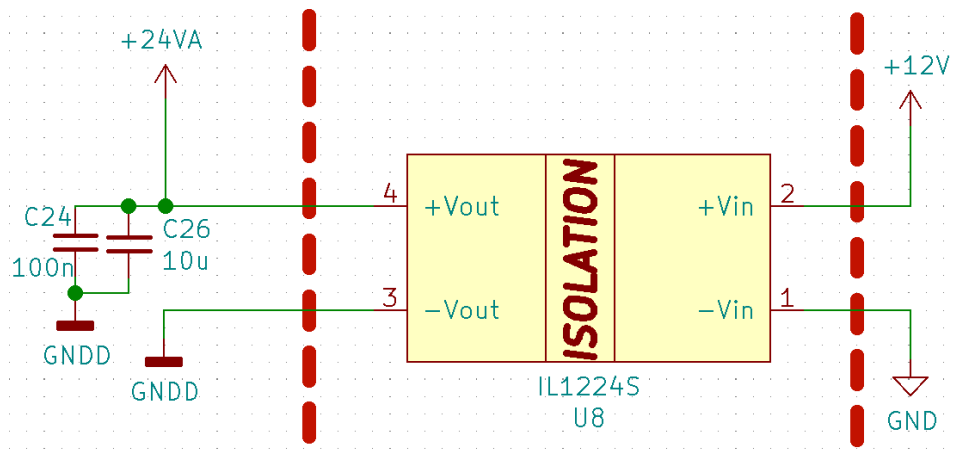
Obrázek 3.11: Ukázkové schéma zapojení digitálního izolátoru

signálů v různých směrech. Pro tento úkol byly vybrány tři digitální izolátory z řady SI86xx společnosti Silicon Labs. Ukázkové zapojení jednoho z izolátorů je vykresleno na obrázku 3.11. Napájení všech izolátorů je na obou stranách opatřeno filtračním kondenzátorem pro zajištění stálého napájení.

Napájecí napětí 24V (ve schématech značeno 24VA) je vytvořeno pomocí DC/DC konvertoru (obrázek 3.12) z napájecího napětí 12V vnitřní části zařízení. Toto napětí je získáno jako výstup flyback konvertoru řízeného pomocí čip MP8008 popsaného v kapitole 3.5. Pro tuto funkci byl vybrán 2W DC/DC konvertor IL1224S vhodný pro svůj malý rozměr a možnost vytvořit výstupních 24V přímo z nižších 12V. Výstup konvertoru je osazen kondenzátory pro vyfiltrování výkyvů a dosažení co nejstálejšího výstupu.

3.10 Napájení

Zařízení poskytuje tři možnosti napájení. První možností je již popsané napájení POE+ (v kapitole 3.5). Pro případy, kdy není z nějakého důvodu toho napájení možné použít, je možné napájet zařízení pomocí externího napájení označeného na obrázku 3.13 jako +PWR_IN a -PWR_IN. Poslední možností napájení je napájení pomocí připojení IO link. Tento typ napájení je možné použít pouze v případě, že síť obsahuje IO controller s příslušnou schopností poskytnout dostatečný výkon pro pokrytí spotřeby zařízení. Standard IO link ve své specifikaci vyžaduje schopnost zdroje dodávat pomocí vodičů L+ a L- minimálně 200mA proudu (tedy necelých 5W výkonu). Na trhu ale existují i zařízení dodávající výkon, který je pro chod zařízení dostatečný. Diody D2 a D3 poskytují ochranu proti toku proudu ve směru ven ze zařízení v případě



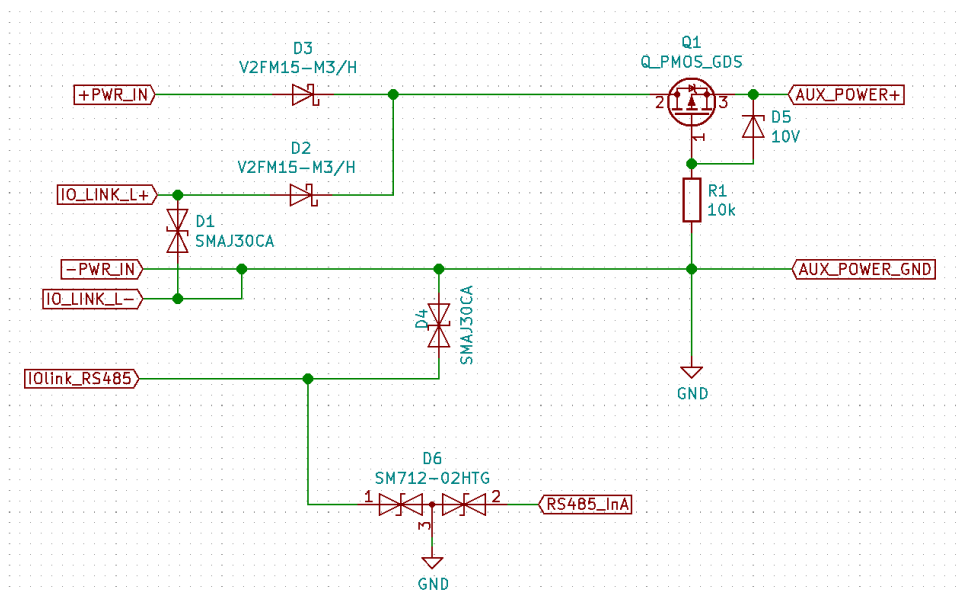
Obrázek 3.12: Schéma zapojení IL1224S DC/DC konvertoru

napájení pomocí jiného zdroje napětí. Jsou vybrány tak, aby zabránily toku proudu při nejvyšším možném napětí (tedy 58V z POE). Diody D1 a D4 poskytují ochranu proti výkyvům napětí na vodičích IO link, dvojitá dioda D6 plní tu samou funkci pro ochranu komunikace RS485.

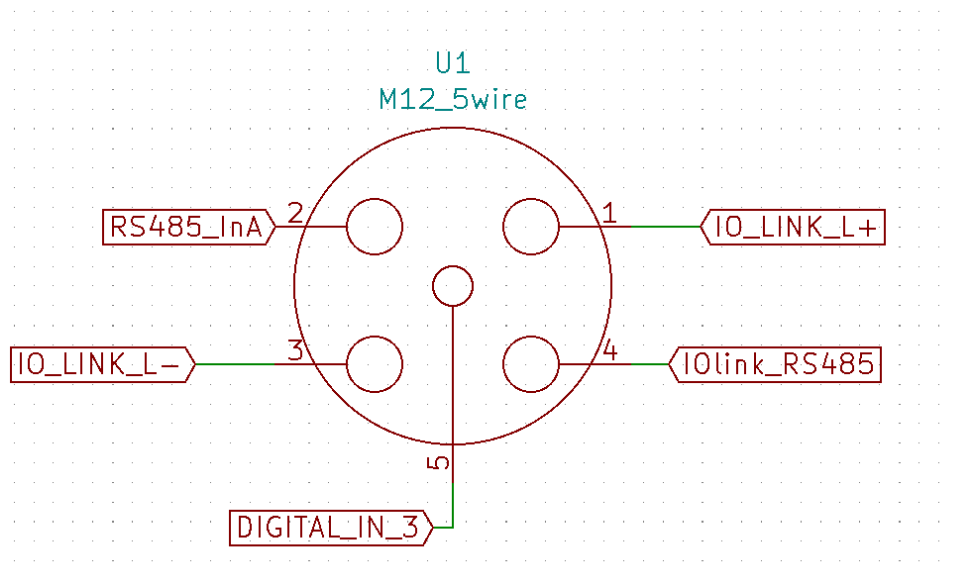
Spojení tranzistoru Q1, odporu R1 a zenerovy diody D5 tvoří typické zapojení ochrany proti opačné polaritě napětí. Toto zapojení je nutné pro ochranu čipu MP8008 a jeho přítomnost umožňuje spojení zemí všech typů napájení, které je nutné pro správné fungování vstupů a výstupů, které musí být vždy vztažené ke správné zemi (v doporučeném zapojení čipu MP8008 jsou zem externího napětí a zem zařízení odděleny pomocí diody). Tato zapojení lze vidět na obrázku 3.13.

3.11 Konektory

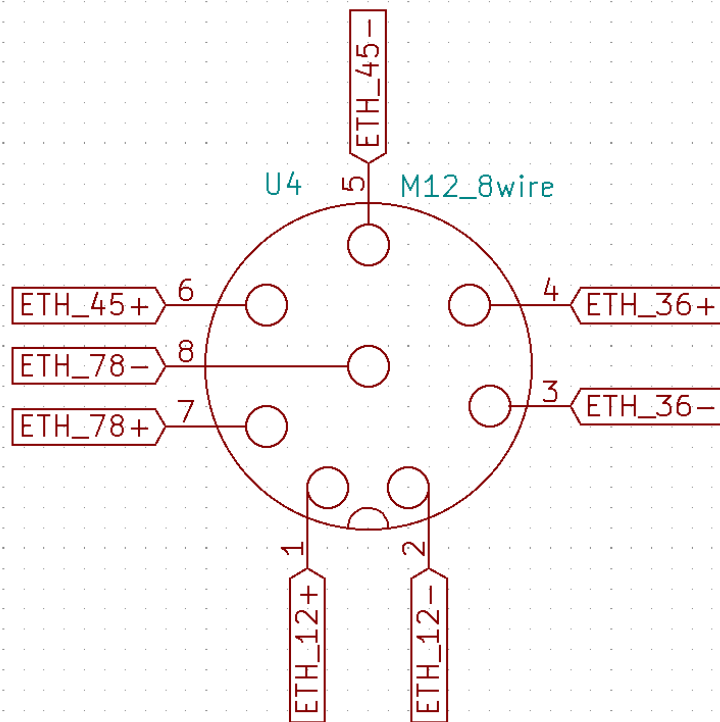
Pro připojení k periferiím a řídicím zařízením jsou připraveny tři konektory typu M12. Pětivodičový konektor M12, jehož schéma je na obrázku 3.14, slouží pro připojení komunikací IO link, RS485 a jednoho digitálního vstupu. Konektor je tedy možné použít i jako napájecí. Z důvodu nedostatku vodičů je možné používat pouze IO link nebo RS485, nikdy ale obě komunikace zároveň. Osmivodičový konektor M12, jehož schéma je na obrázku 3.15, je využit pro připojení komunikace Ethernet. Zároveň tedy slouží i pro napájení pomocí Power Over Ethernet a pro připojení k průmyslovému ethernetu PROFINET. Poslední M12 konektor disponuje 12ti vodiči využitými pro dva analogové výstupy, čtyři digitální výstupy, dva digitální vstupy a externí napájení PWR_IN. Schéma je vidět na obrázku 3.16. Zařízení je tedy možné napájet pomocí kteréhokoliv z těchto tří konektorů.



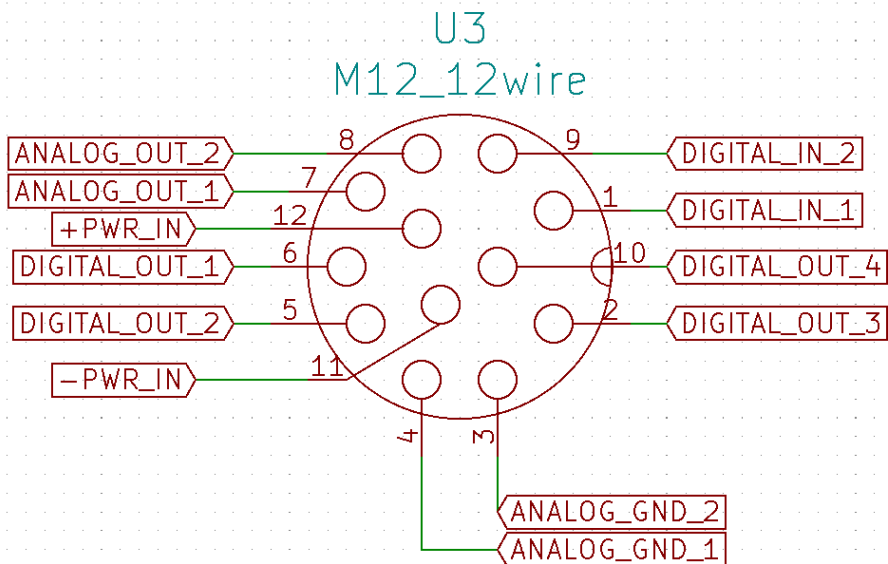
Obrázek 3.13: Schéma zapojení ochrany napájení



Obrázek 3.14: Schéma zapojení pětivodičového konektoru M12



Obrázek 3.15: Schéma zapojení osmivodičového konektoru M12



Obrázek 3.16: Schéma zapojení dvanáctivodičového konektoru

Výsledné zařízení je tvořeno pěti jednotlivými DPS, je tedy nutné osadit také konektory pro propojení těchto desek. Dvě dvojice propojovacích konektorů byly vybrány z řady M55 od společnosti Harwin. Zbývající dvě dvojice použité pro připojení k základní desce (a pro zvýšení mezery mezi deskami) byly vybrány z řad DF40 a DF12 od společnosti Hirose. Dále je deska ještě osazena USB-C receptacle konektorem připraveným pro přímé připojení termokamery.

Kapitola 4

Desky plošných spojů

Veškeré návrhy desek plošných spojů popisovaných v této práci, byly provedeny v programu KiCAD. 3D modely desek byly vytvořeny programem KiCAD, obrázky jejich modelů byly generovány pomocí volně dostupného programu FreeCAD (<https://www.freecadweb.org/>). Veškeré Gerber soubory všech desek jsou přiloženy v externí příloze.

4.1 Principy využití při návrhu plošných spojů

4.1.1 Řazení vrstev

Všechny desky plošných spojů, navržené pro tento projekt, obsahují čtyři vodivé vrstvy. Rozvržení funkcí jednotlivých vrstev je vždy stejné. Obě krajní vrstvy jsou využity pro vedení signálů a osazení komponent, vnitřní vrstvy jsou využity jedna pro vytvoření vodivé plochy GND a druhá pro vytvoření plochy napájení.

Toto rozložení vrstev je všeobecně doporučované, protože splňuje požadavek aby každá signálová vrstva sousedila s nějakou vodinou plochou[10] (buď GND nebo napájecí plocha). Toto pravidlo vychází z potřeby vytvářet na navrhované desce co nejmenší proudové smyčky. Umístěním vodivé plochy co nejbližší k signálové vrstvě (tedy ideálně přímo do sousední vrstvy) se docílí nejmenším možných ploch smyček. Toto je hlavní výhoda, kterou má čtyřvrstvá deska oproti dvouvrstvé, taková deska má v ideálním případě stejný prostor pro umístění součástek a vedení spojů, ty ale díky vnitřním vodivým plochám tvoří menší proudové smyčky.

Důležitým požadavkem pro redukci proudových smyček je co nejvyšší celistvost vnitřních vodivých ploch, ty jsou narušovány průchodkami a v horším případě i signálovými cestami. Pro co nejlepší fungování výsledné desky je výhodné jakékoliv zásahy do vnitřních vrstev minimalizovat[10].

4.1.2 Blokování napájení

Častými komponentami používanými při návrhu plošných spojů jsou tzv. blokovací kondenzátory. Použití těchto kondenzátorů, které najdeme připojené prakticky u každé napájené komponenty na desce, řeší problémy s nestabilním

napětím napájecího zdroje a problémy vzniklé na základě impulzní spotřeby jednotlivých komponent. Blokovací kondenzátor se chová jako záložní zdroj napájené komponenty a poskytuje jí energie pokud například velká impulzní spotřeba, na kterou by sám stabilizátor napětí nemusel být schopen dostatečně rychle zareagovat. V takovém případě by tedy bez použití blokovacího kondenzátoru mohlo docházet ke kolísání hladiny napájecího napětí a tak i k neočekávanému či nechtěnému chování napájených komponent.

Aby blokovací kondenzátor fungoval správně jako zdroj pro jednu konkrétní komponentu, musí být umístěn co nejbližší k jejímu napájecímu vývodu[10]. Při nedodržení tohoto požadavku přestává takto umístěný kondenzátor fungovat jako zdroj pro konkrétní komponentu.

Dalším pravidlem při propojování blokovacích kondenzátorů, je co nejkratší propojení s vodivými plochami napájení a GND. V praxi tedy ideálně co nejbližší k vývodům kondenzátoru umístíme průchodky, které spojení s vnitřními vrstvami zajistí. V případě použití více blokovacích kondenzátorů by měl mít každý svou vlastní průchodku.

■ 4.1.3 Input/Output obvody

Jakákoliv spojení s "okolním světem" vytváří místa pro přenos rušení. Jak pro rušení zařízení externím elementem, tak potom rušení externího elementu zařízením. Toto rušení se může projevat jako obyčejný šum na signálových vodičích, ale také může jít o silný elektrostatický výboj.

Je tedy vhodné vstupní a výstupní obvody elektricky oddělit od vnitřní části zařízení. Tohoto oddělení dosahujeme pomocí fyzického oddělení pomocí izolačního příkopu (oblasti ve, které nejsou vedeny žádné vodiče ani vodivé plochy) a použitím oddělovacích čipů, transformátorů a DC/DC konvertorů.

Jako další vrstva ochrany proti rušivým výbojům jsou využívány tzv. transily (anglicky TVS diode). Tyto komponenty se při vzniku přepětí zkratují a tím svedou vzniklý výboj přímo na zem, zbytek zařízení je tak proti výbojům chráněn. Transily jsou využity například pro ochranu vodičů IO link a RS485.

■ 4.1.4 Vodiče

Parametry použitých vodičů byly rozděleny do tří skupin. Obyčejné signálové vodiče jsou vedeny v šířce 0,2 mm, pro některé signály (spojené s čipem TPS-1) musela být volena šířka 0,15 mm z důvodu nedostatku prostoru mezi jednotlivými vývody čipu.

Vodiče využívané pro připojení napájecích napětí byly vedeny, z důvodu jejich většího zatížení, v šířce 0,4 mm. Parametry vedení diferenciálních párů byly počítány pomocí kalkulačky programu PCB Toolkit V7.04 (společnosti Saturn PCB design, volně dostupné na stránkách www.saturnpcb.com), tak aby vzájemná impedance vodičů byla co nejbližší hodnotě 100 Ω . Na základě těchto výpočtů byla vybrána šířka vodičů 0,15 mm a mezera mezi jednotlivými vodiči diferenciálního páru byla zvolena také jako 0,15 mm.

Pro eliminaci problémů vznikajících díky různé délce vodičů v páru, byly tyto vodiče upraveny. Kratší vodič byl vždy prodloužen, tak aby jeho délka

ospodívala druhému vodiči z páru. Zároveň u vedení jednotlivých diferenciálních párů komunikace ethernet, byly všechny páry upraveny na stejnou délku aby nedocházelo k nestejně rychlosti přenosu dat na jednotlivých párech.

4.2 Základní deska

Základní deska obsahující řídicí modul TinyRex byla vytvořena na základě projektu již dříve vytvořeného ve firmě Workswell pouze jeho zjednodušením a odstraněním částí, které toho zařízení nevyužívá. Tato deska tedy, i když je součástí tohoto projektu, není součástí mé vlastní práce.

Deska obsahuje komponenty potřebné pro správnou funkci modulu TinyRex a regulátory vytvářející napětí následně využívané i pro napájení připojených desek.

4.3 Střední "distanční" DPS

V původním projektu, pro který byla základní deska vytvořena, byly připojené desky menších rozměrů než v případě tohoto projektu. Připojením desky většího rozměru tak vznikly problémy s kolizemi některých komponent spojených desek. Jako řešení tohoto problému byla vytvořena střední deska obsahující pouze dvě dvojice konektorů, díky jejíž přítomnosti byla zvýšena vzdálenost připojených desek tak, aby ke kolizím nedocházelo

Jedná se o čtyřvrstvou desku, kde krajní desky byly využity pro vedení signálů a dvě vnitřní vrstvy byly použity pro vedení napájení 5V a zemního potenciálu GND.

4.4 Hlavní IO deska

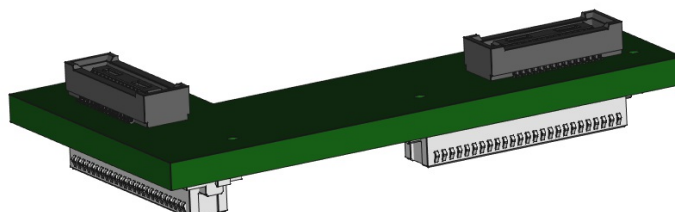
Hlavní IO deska je čtyřvrstvá deska, kde dvě krajní vrstvy jsou vyhrazené pro vedení signálů a vnitřní vrstvy jsou vyhrazeny pro vedení napájení a země. Deska je připojena na Střední distanční desku a přes ní potom na desku základní. Tato deska také zajišťuje oddělení vstupní a vnitřní části zařízení.

Tvar této desky byl zvolen tak aby výsledné zařízení poskytovalo prostor pro umístění termovizního jádra, které je připojené pomocí USB-C konektoru umístěného v pravé části desky.

4.4.1 Rozmístění komponent

Rozmístění komponent na této desce podléhá několika omezením. Zaprvé konektory spojující tuto desku se Střední deskou mají pevně danou neměnnou pozici u pravé hrany desky. Díky tomu je i určeno, že pravá strana desky patří k vnitřní části zařízení. USB-C konektor P1 je také pevně umístěn, tak aby připojené termovizní jádro nekolidovalo s deskami spojů.

Dalším omezením je potřeba vytvoření izolačního příkopu mezi vnitřní a vstupní částí zařízení (jde o oblast, ve které se nevyskytují žádné vodiče).



Obrázek 4.1: 3D model Střední "distanční"desky

Komponenty použité pro vytvoření izolaci vyžadují velký prostor. Není tak například možné umístit použité transformátory na spodní stranu desky jelikož by opět docházelo ke kolizím a zároveň k horšímu chlazení těchto komponent. Další typický požadavek vztahující se k těmto rozměrným komponentám je také jejich umístění ve středu desky pro jednodušší vytvoření obalu zařízení (typicky je vyžadované zkosení po stranách obalu).

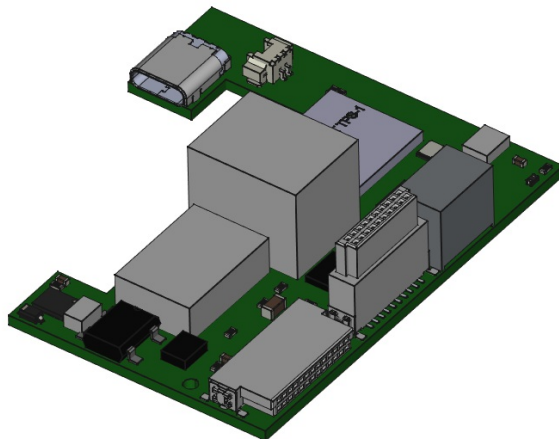
Finální rozmístění komponent na této desce tedy je jedinou vhodnou možností jejich umístění. Na začátku práce na projektu měla tato deska obsahovat i komponenty pro obsluhu analogových výstupu a digitálních vstupů a výstupů. V průběhu práce ale musela být vytvořena samostatná deska nesoucí tyto komponenty z důvodu nedostatku prostoru.

■ 4.4.2 Vnitřní část

Pravá část desky obsahuje komponenty patřící k vnitřní části zařízení. Obsahuje již popsané fixně umístěné konektory pro propojení se Střední deskou a pro připojení termokamery, dále ještě obsahuje konektor J1 použitý pro přivedení napájecího napětí 12V na základní desku, který obsahuje regulátory vytvářející potřebná napětí 5 V, 3.3 V a 2.5V.

Dále tato část obsahuje přepínač MAX4890 sloužící pro přepínání mezi komunikací PROFINET a standardní ethernetovou komunikací. Dále je zde umístěn čip TPS-1 a jeho periferie sloužící pro řízení komunikace pomocí standardu PROFINET.

Velikost průchodek použitých v tomto projektu byla volena ideálně s průměrem 0.6 mm a vrtáním 0.4 mm. Na této desce ale z důvodu použití čipu



Obrázek 4.2: 3D model Hlavní desky, vrchní strana

TPS-1 musely být použity průchodky s průměrem 0.5 mm, aby se zamezilo kolizím mezi ploškami při umístění průchodky v prostoru této komponenty.

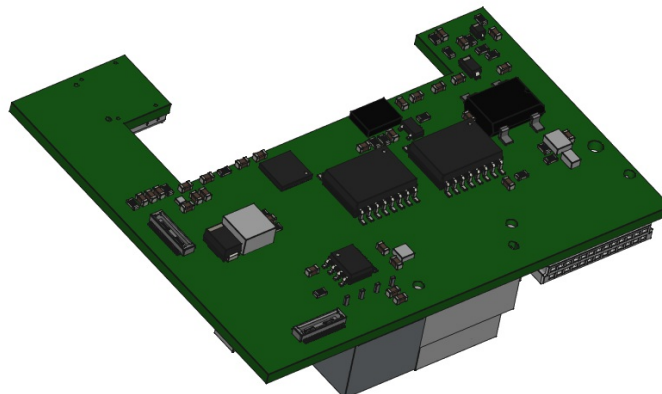
■ 4.4.3 Vstupní část

Levá část desky obsahuje komponenty patřící k vstupní části zařízení, z důvodu nedostatku prostoru jsou zde umístěny čipy pro komunikaci IO link, komunikaci RS485 a veškeré komponenty potřebné pro ovládání napájení POE+. Prostor v této části desky je značně omezen umístěním dvou konektorů pro propojování desek U6 a J4. Konektor U6 je horizontální konektor využitý pro kolmé připojení desky konektorů, slouží zde tedy pro přivedení vstupních signálů a napájení. Svislý konektor J4 je využitý pro připojení desky obsahující čipy pro práci se vstupy a výstupy (analogovými a digitálními). Jeho umístění bylo určeno v souladu s požadavky na umístění nejvyššího bodu zařízení do jeho středu.

Na levé straně deska ještě obsahuje uzemněný montážní otvor korespondující s montážním otvorem umístěným v základní desce, pomocí spojení těchto dvou otvorů pomocí například distančního sloupku je dosaženo lepší stability výsledného propojení desek.

■ 4.4.4 Izolační bariéra

Větší část desky je zabrána komponentami použitými pro izolaci signálů a napájení. Transformátory U5 a U20 jsou příklady komponent, jejichž umístění je prakticky dáno. Musí totiž být umístěny na vrchní straně desky a nejlépe



Obrázek 4.3: 3D model Hlavní desky, spodní strana

v jejím středu, jiné umístění je tedy u těchto komponent nereálné. Umístění zbylých izolačních komponent bylo vybráno již v závislosti na vedení k nim připojených signálů, tak aby se dosáhlo co nejmenšího počtu křížení signálů, a tak co nejmenšího počtu průchodek skrz vrstvy.

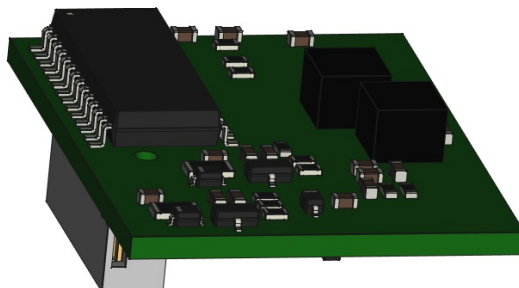
Umístění DC/DC konvertoru U8, jako jediné tzv. Through hole komponenty, bylo vybráno co nejbližší k okraji desky tak aby jeho otvory co nejméně bránily ve vedení signálů.

4.5 Deska Analogových a Digitálních IO

Z důvodu nedostatku prostoru na Hlavní desce musela být v průběhu práce na projektu vytvořena zvláštní deska pro umístění komponent použitých pro ovládání analogových výstupů a digitálních vstupů a výstupů. Jedná se opět o čtyřvrstvou desku se stejným rozložením funkcí vrstev jako v ostatních případech, tedy vnitřní vrstvy slouží pro vedení napájení a krajní vrstvy pro vedení signálů.

4.5.1 Rozmístění komponent

Na desce je umístěn konektor pro připojení k Hlavní desce, ten musí samozřejmě být umístěn na spodní straně desky u jejího kraje, aby nekolidoval s kolmou deskou konektorů. Umístění ostatních komponent na desce bylo vybráno hlavně s cílem vytvořit rozměrovou malou desku, aby zbytečně nekomplikovala návrh obalu zařízení.



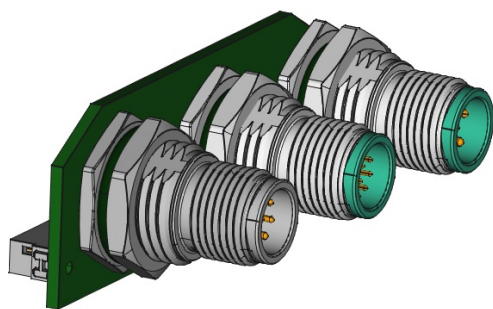
Obrázek 4.4: 3D model desky Analogových a Digitálních IO

Jediným dalším problémem bylo umístění induktorů potřebných pro funkci buck konvertoru čipu DAC8775 starajícího se o analogové výstupy. V prvotní verzi projektu byly tyto induktory umístěny na spodní straně desky, při propojení desek ale potom kolidovaly s transformátory na Hlavní desce. Musí tedy být umístěny na vrchní straně desky. Další omezení již spočívala jen v udržení k sobě patřících komponent co nejbližší u sebe, typicky umístění blokovacích kondenzátorů k vývodům, ke kterým patří.

4.6 Deska konektorů

Deska konektorů je čtyřvrstvá deska připojená kolmo k Hlavní desce pomocí kombinace horizontálního a svislého konektoru. Rozmístění komponent na desce bylo voleno tak, aby spoje byly co nejkratší, jelikož se většinou jedná o diody připojené přímo na napájení, a spoji tak bude protékat poměrně velký proud. Umístění konektorů M12 bylo zvoleno tak, aby jejich středy měly rozteč 24mm. Jediným omezením v umístování komponent na této desce byla možná kolize rozměrnějších komponent na spodní straně desky s deskou zajišťující Analogové a digitální vstupy a výstupy. V praxi jedinou omezenou komponentou byl MOSFET tranzistor, který nemohl být umístěn u horní hrany desky.

Horní rohy desky byly zkoseny podle kraje konektorů, aby nekolidovaly s návrhem obalu zařízení.



Obrázek 4.5: 3D model desky konektorů

Kapitola 5

Závěr

Cílem této práce bylo popsat postup návrhu schématu elektrického zapojení a desek plošných spojů, vytvořených na jeho základě, pro prototyp termokamery.

Jedním z hlavních požadavků zadání práce byl návrh připojení prototypu termokamery k průmyslové síti PROFINET. Při řešení této části práce bylo zváženo několik možností implementace tohoto standardu. Jako první byla prozkoumána možnost implementovat řízení komunikace PROFINET softwarově přímo v modulu TinyRex. Bohužel toho řešení se ukázalo jako nevhodné, jelikož cena na trhu dostupných kódů pro tento účel je nastavena pro zařízení vyráběná ve velkých objemech. Musela být tedy vybrána druhá možnost, a to implementovat komunikaci PROFINET hardwarově pomocí čipu věnovaného tomuto účelu. I zde se ale vyskytly problémy. Použité řešení této komunikace tak dokáže přenášet data modulu TinyRex jen omezenou rychlostí. Při využívání zařízení v síti zařízení PROFINET je ale toto omezení nepodstatné a tak lze toto řešení považovat za vyhovující.

Na základě výše popsaných komplikací byl v zařízení dodatečně implementován přepínač, jehož úkolem je směřovat ethernetovou komunikaci buď čipu TPS-1 ovládajícímu komunikaci PROFINET, nebo přímo do modulu TinyRex. Díky této úpravě tak získává potenciální uživatel termokamery možnost výběru, zda využít možnost připojit zařízení k síti PROFINET, nebo využívat plné rychlosti ethernetové komunikace.

Návrh zapojení u ostatních použitých komunikací proběhl, na rozdíl od PROFINETu, bez větších potíží. Hlavním důvodem tohoto rozdílu je počet různých čipů, řešících jednotlivé komunikace, na trhu. Například různých transceiverů pro komunikaci RS485 je, od různých výrobců, dostupných nepřehledné množství. Čipy pro komunikaci PROFINET, ale vyrábí víceméně jen dvě firmy. U RS485 tak mohl být vybrán čip přesně odpovídající požadavkům zadání, u PROFINETu musel být návrh uzpůsoben potřebám dostupného čipu.

Požadavky zadání se ale i přes zmíněná omezení dají považovat za splněné. Výsledkem práce je návrh termokamery s širokými možnostmi připojení, dobře využitelnými v průmyslovém prostředí.

V budoucnu by jistě bylo možné upravit implementaci komunikace PROFINET a zvýšit tak maximální možný průtok dat. Jedním ze zvažovaných řešení tohoto problému je připojit mezi modul TinyRex a čip TPS-1 mikrokontroler,

který by zajistil možnost rychlé změny hodnoty řídicího signálu a eliminoval by tak problém vzniklý "pomalostí" modulu TinyRex. Pro tento projekt bylo ale toto řešení vyhodnoceno jako zbytečné.

Dalším možným zlepšením je výběr jiných propojovacích konektorů mezi Základní a Hlavní IO deskou. Při výběru dostatečně vysokých konektorů by bylo možné odebrat z projektu střední desku, která slouží jen pro zvýšení odstupu desek a jako "redukce" propojovacích konektorů. V případě potřeby by také bylo možné v budoucnu nahradit M12 pětivodičový konektor například osmivodičovým a poskytnout tak uživatelům zařízení možnost využívat zároveň komunikace IO link a sériové linky RS485.

Zařízení navrhnuté v této práci je koncipováno pro připojení termovizní kamery o rozlišení 386px. Omezení rozlišení vyplývá z výpočetních hlavně možností modulu TinyRex. V případě potřeby připojení kamery s vyšším rozlišením by bylo možné jako budoucí úpravu vyměnit modul TinyRex za výkonnější model. Možným řešením by také mohlo být použití čipu FPGA, který by zpracování dat z termokamery zařídil a mohl by se tak dosáhnout vyššího výkonu i za použití modulu TinyRex.



Literatura

- [1] AUTOR NEUVEDEN. <https://developer.electricimp.com> [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: <https://developer.electricimp.com/resources/spi>
- [2] AUTOR NEUVEDEN. <http://dlnware.com> [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: <http://dlnware.com/theory/SPI-Bus>
- [3] AUTOR NEUVEDEN. www.electronicwings.com [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: <https://www.electronicwings.com/8051/8051-uart>
- [4] OVESEN, Roy Vegard. wikipedia.org [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RS-485__waveform.svg
- [5] MONOLITHICPOWER. monolithicpower.com [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: <https://www.monolithicpower.com/en/ev8008-v-00a.html>
- [6] MONOLITHICPOWER. monolithicpower.com [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: https://www.monolithicpower.com/pub/media/document/MP8008_r1.0.pdf
- [7] MAXIM INTEGRATED. maximintegrated.com [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31911.pdf>
- [8] TEXAS INSTRUMENTS. ti.com [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: <http://www.ti.com/lit/df/tidrq84/tidrq84.pdf>
- [9] RENESAS. renesas.com [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupný na WWW: <https://www.renesas.com/eu/en/products/factory-automation/profinet.html#documents>
- [10] ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-266-4

■ **.1 Elektrické schéma zapojení**

■ **.1.1 Hlavní IO deska**

SMARTIS gen. 2 386px IO board

v 1.0.0

BlockDiagram

[2]

BlockDiagram.sch

IOlink

[3]

IOlink.sch

RS485

[4]

RS485.sch

Ethernet

[5]

Ethernet.sch

Connectors

[6]

Connectors.sch

BaseConn

[7]

BaseConn.sch

TPS-1

[8]

TPS-1.sch

Isolation

[9]

Isolation.sch

Misc

[10]

Misc.sch

[2] – Block Diagram

[3] – IO link

[4] – RS485

[5] – Ethernet
– POE +

[6] – Power Out Connector
– RS485 / IOlink switch

[7] – Motherboard connectors

[8] – TPS-1
PROFINET

[9] – Data and power Isolation

[10] – AUX board connectors (Dig/Analog output board + Connectors board)
Camera USB C connector
Mounting holes

Workswell s.r.o.

www.workswell.cz

Sheet: /
File: PCB_SMARTIS_GEN2_386px.sch

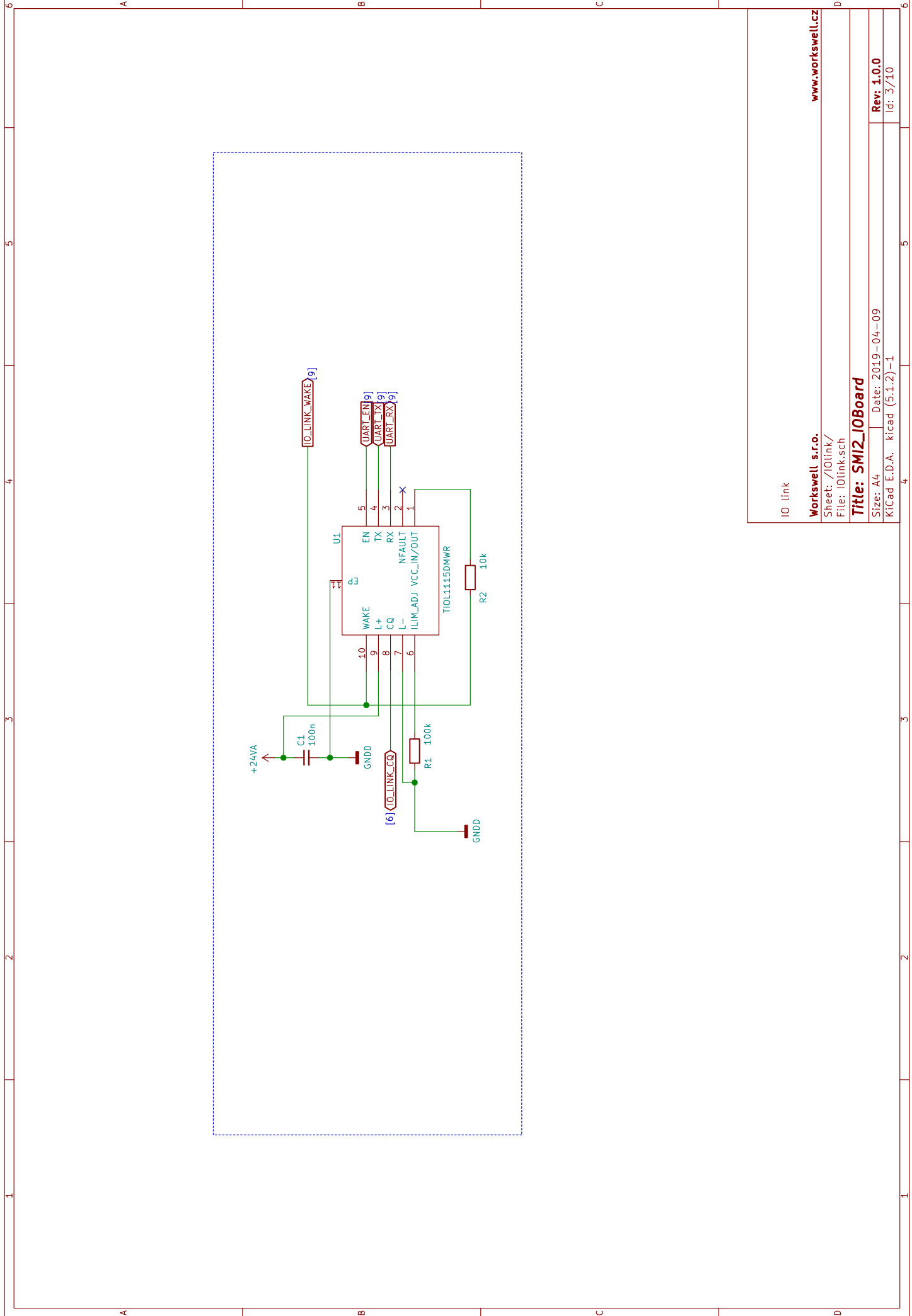
Title: **SMI2_IOBoard**

Size: A4 Date: 2019-04-09

KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

Rev: 1.0.0

Id: 1/10



IO link

Workswell s.r.o.

Sheet: /IOlink/

File: IOlink.sch

Title: SM12_IOBoard

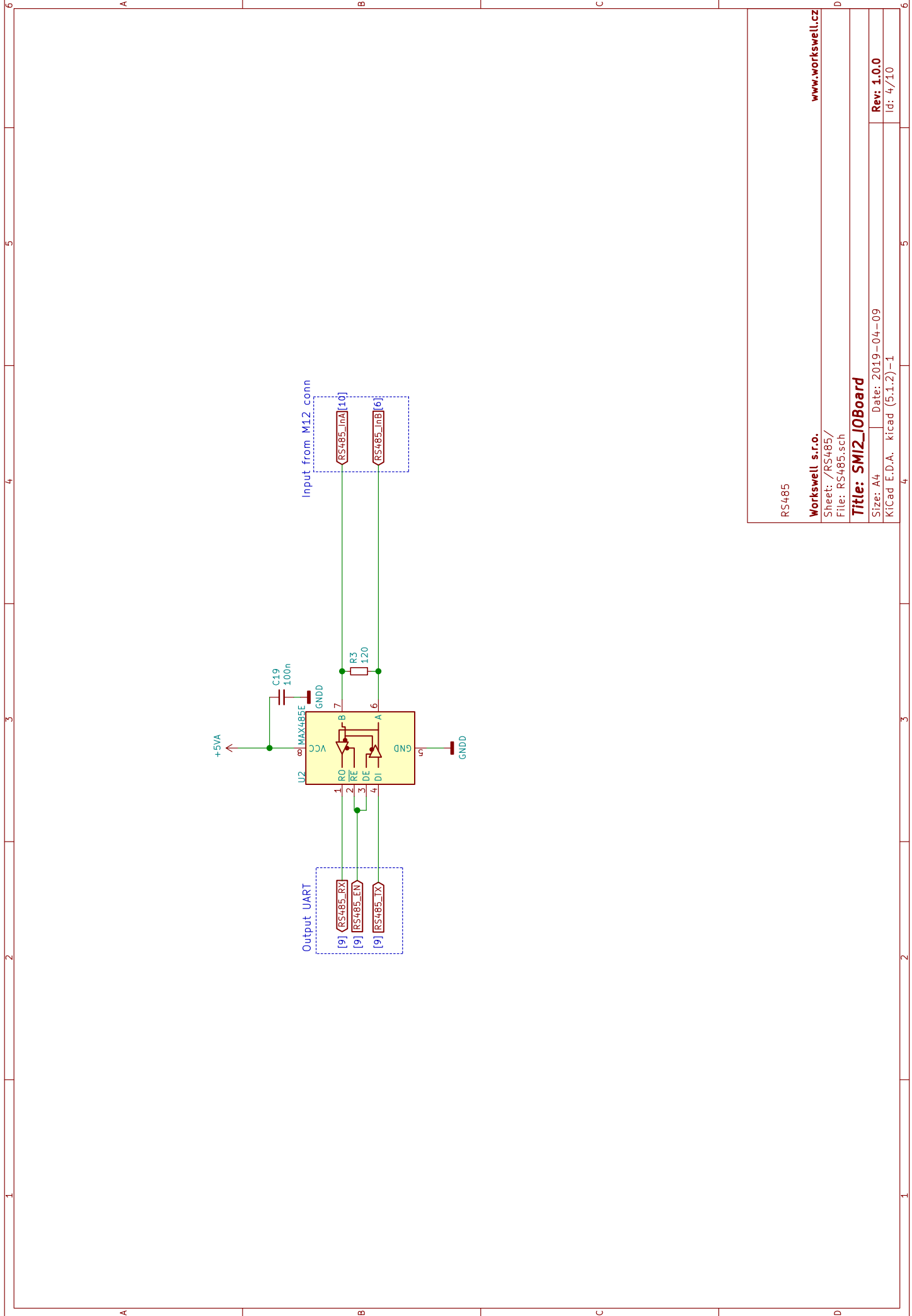
Size: A4 Date: 2019-04-09

KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

Rev: 1.0.0

Id: 3/10

www.workswell.cz



RS485

Workswell s.r.o.

Sheet: /RS485/

File: RS485.sch

Title: SM12_IOBoard

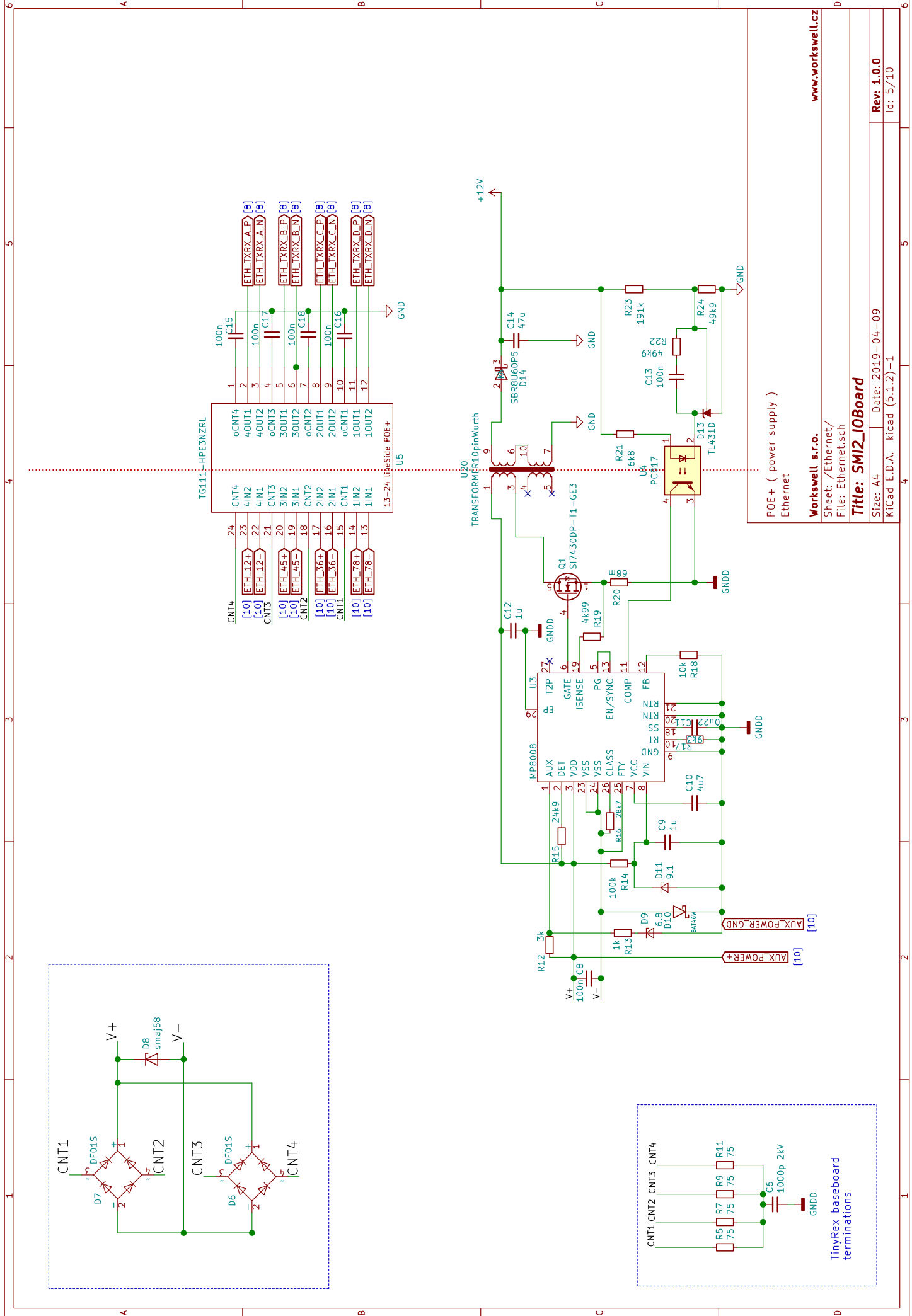
Size: A4 Date: 2019-04-09

KiCad E.D.A. kicad (5:1.2)-1

Rev: 1.0.0

Id: 4/10

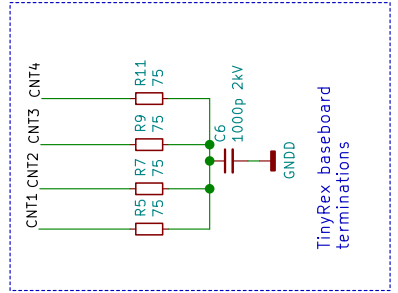
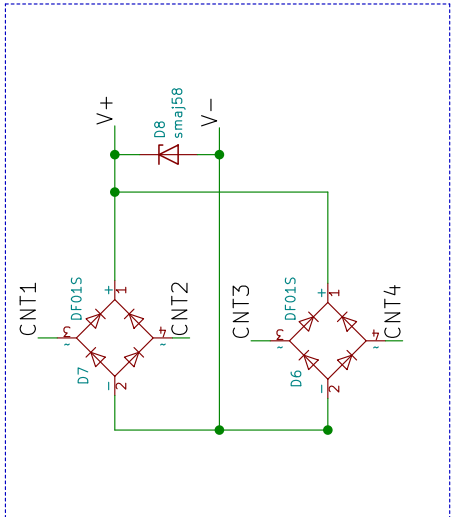
www.workswell.cz



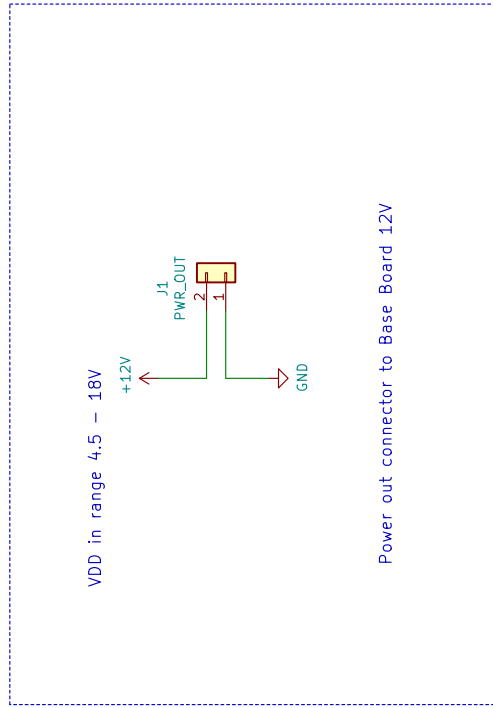
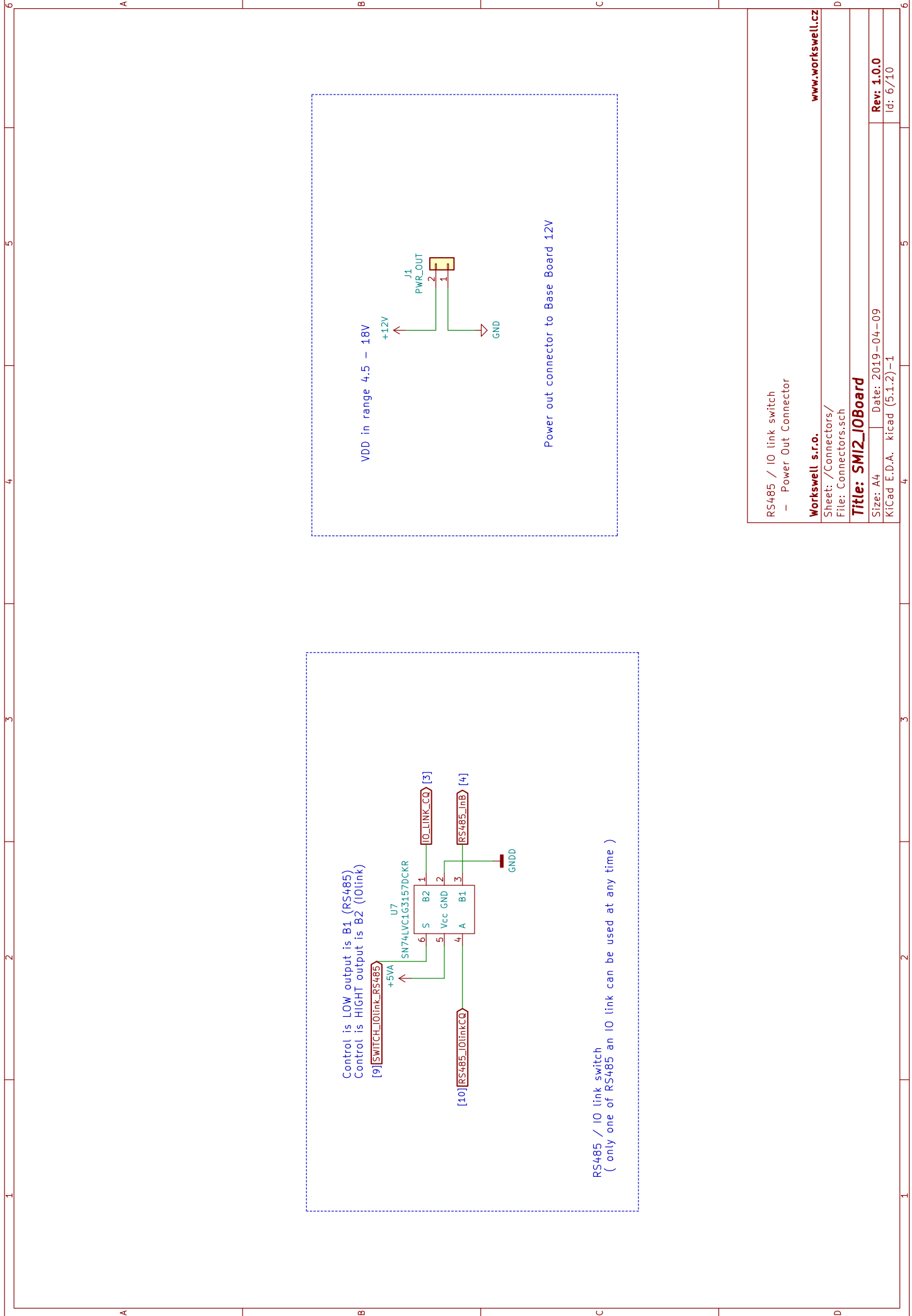
POE+ (power supply)
Ethernet

Workswell s.r.o.
 Sheet: /Ethernet/
 File: Ethernet.sch
Title: SM12_I0Board
 Size: A4 | Date: 2019-04-09
 KiCad E.D.A. | kicad (5.1.2)-1

www.workswell.cz

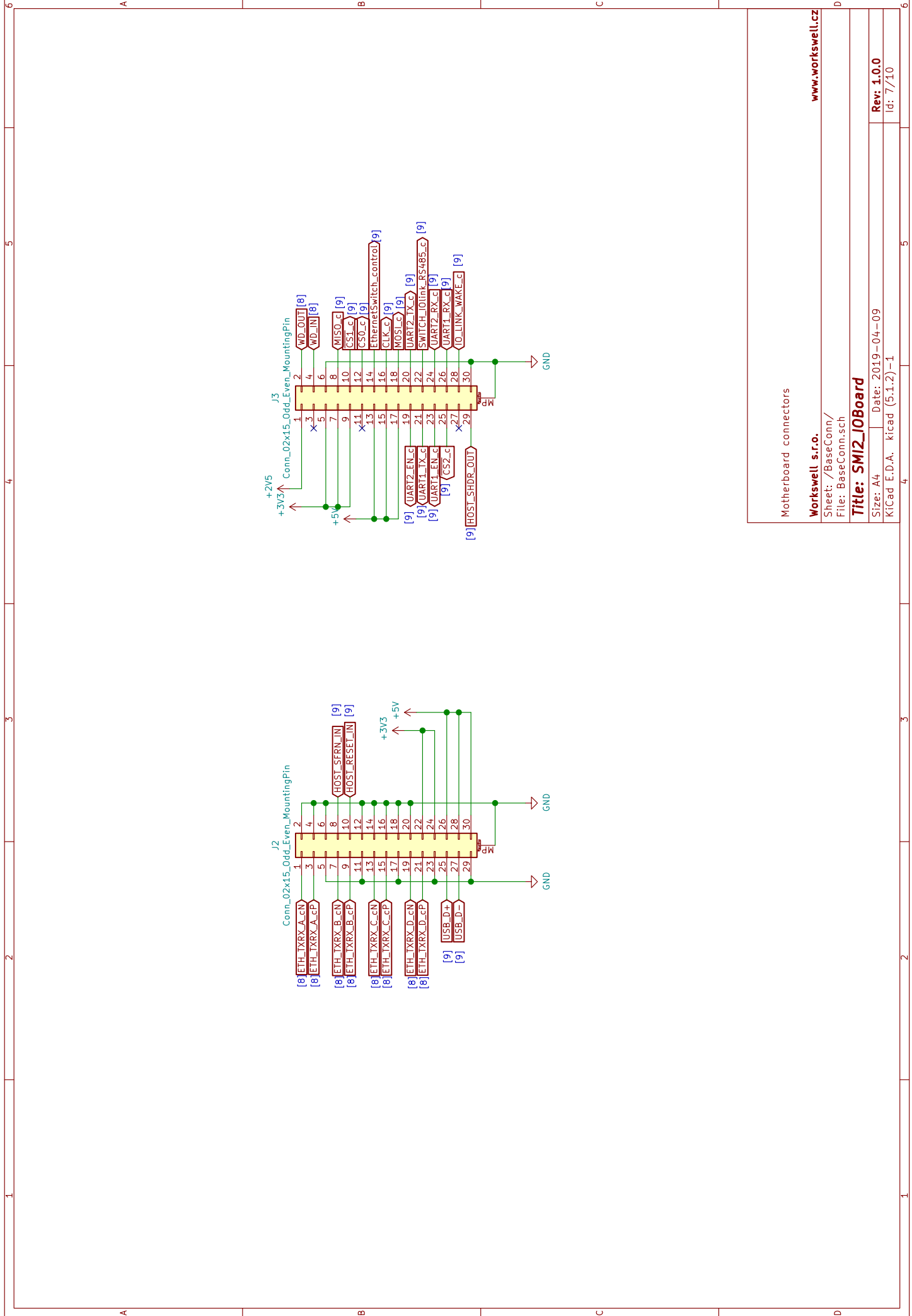


TinyRex baseboard
terminations



RS485 / IO link switch
- Power Out Connector

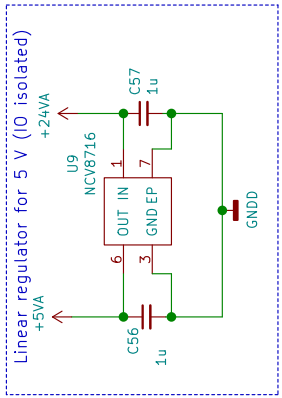
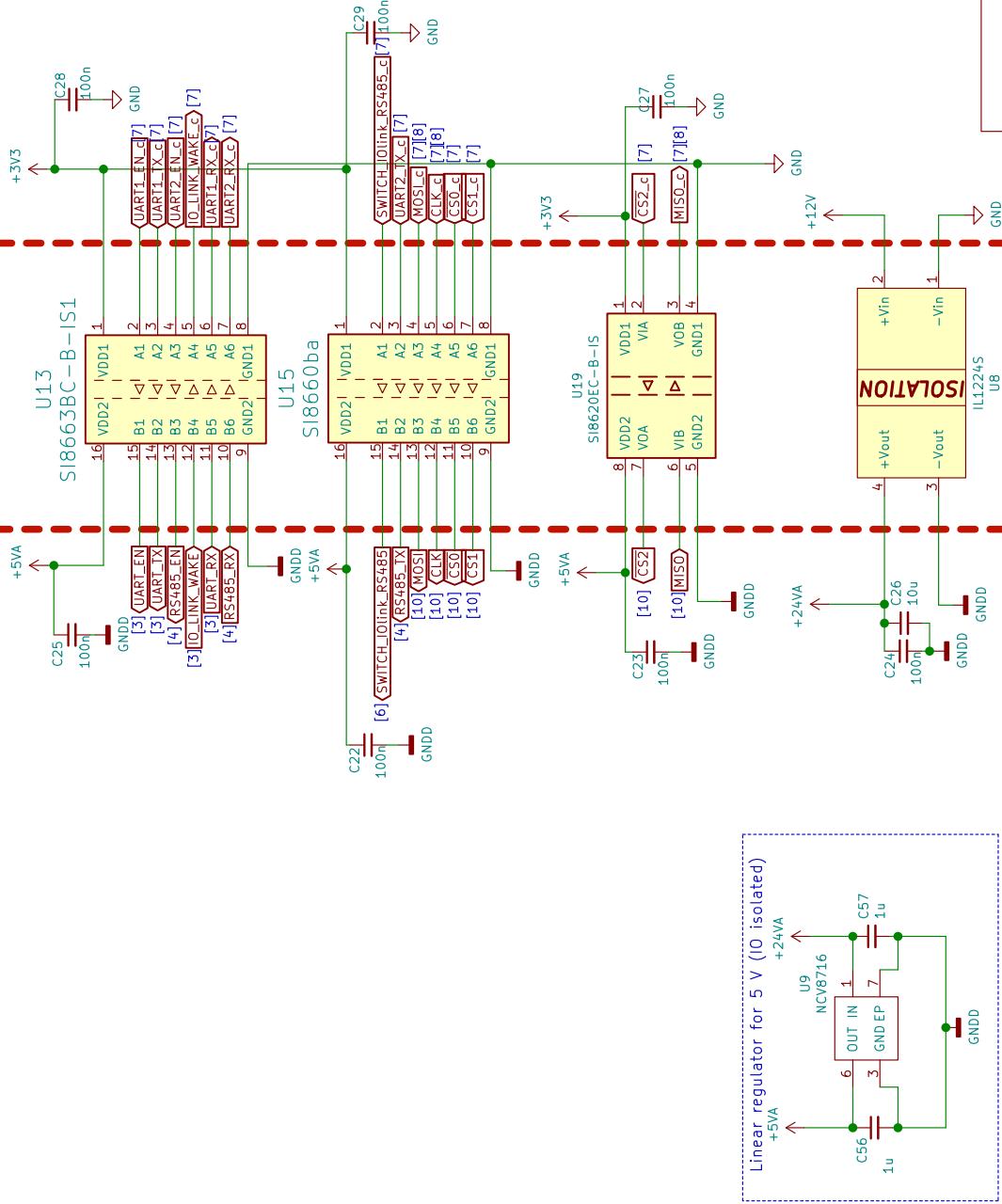
Workswell s.r.o.		www.workswell.cz	
Sheet: /Connectors/		D	
File: Connectors.sch			
Title: SM12_IOBoard			
Size: A4	Date: 2019-04-09	Rev: 1.0.0	
KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1		Id: 6/10	



Motherboard connectors

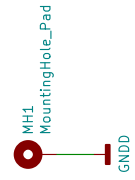
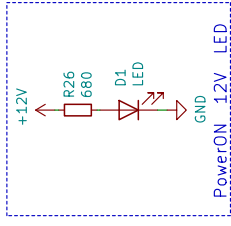
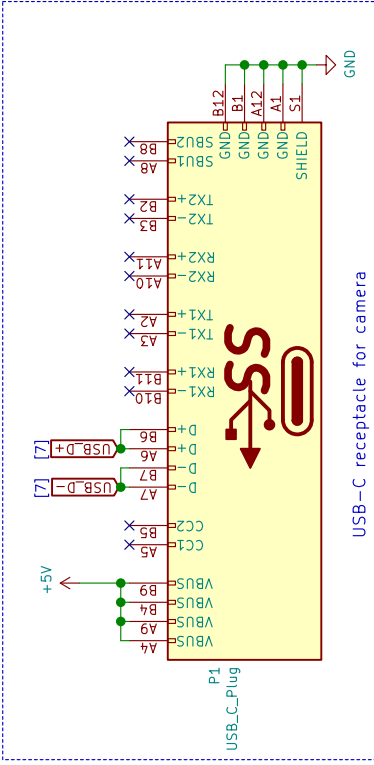
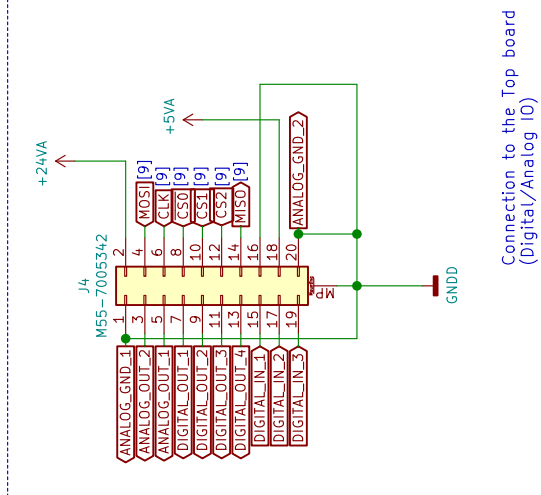
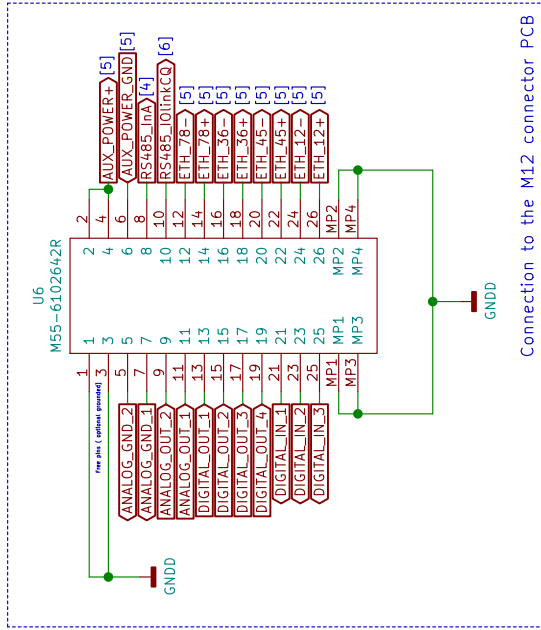
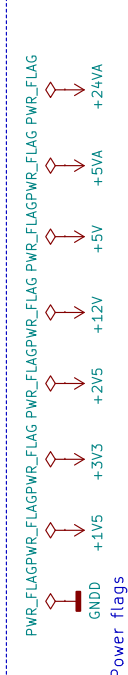
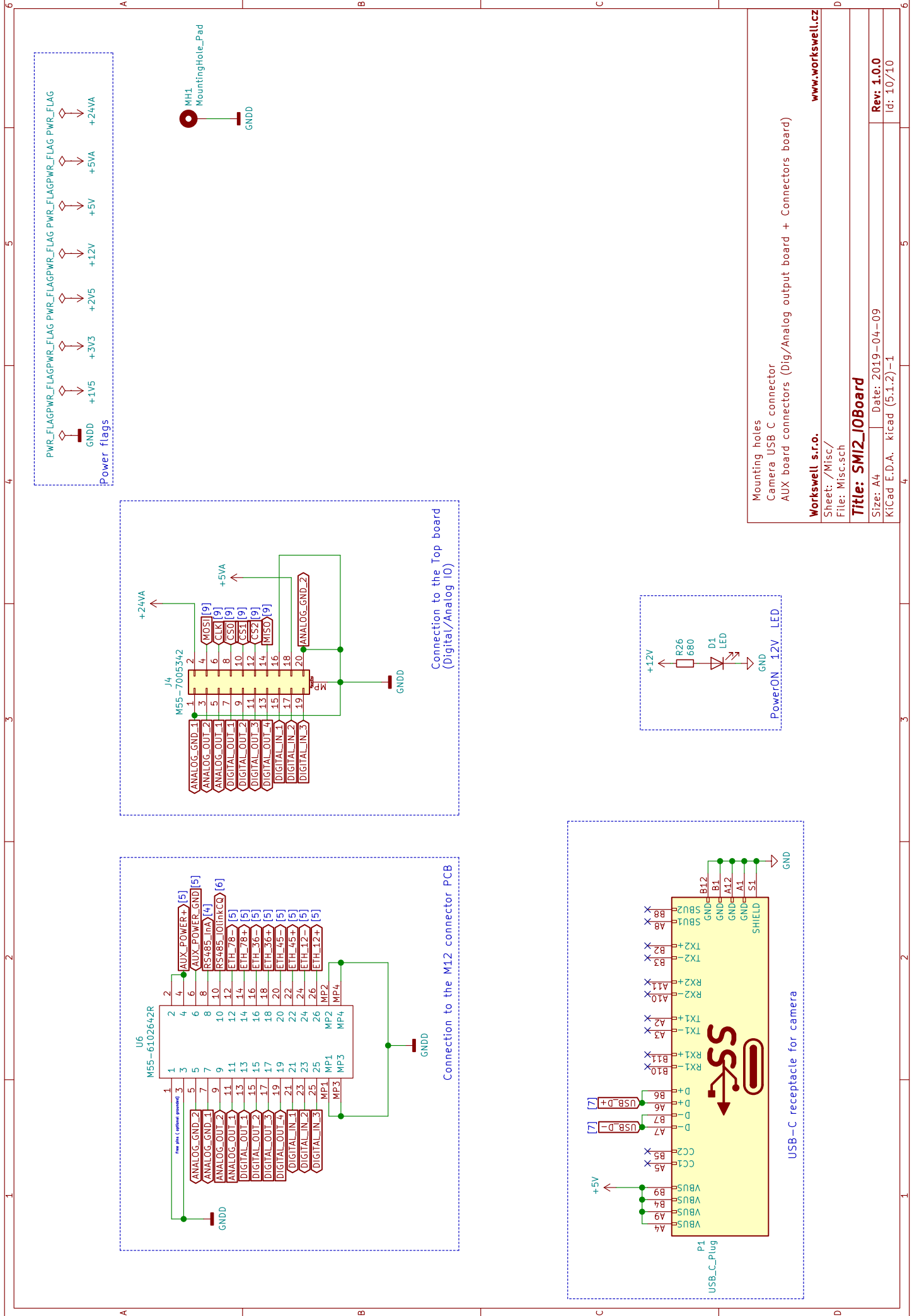
Workswell s.r.o. www.workswell.cz	
Sheet: /BaseConn/ File: BaseConn.sch	
Title: SM12_IOBoard	
Size: A4	Date: 2019-04-09
KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1	
	Rev: 1.0.0
	Id: 77/10

Isolation



Data and power isolation

www.workswell.cz	
Workswell s.r.o.	Sheet: /Isolation/
	File: Isolation.sch
Title: SM12_IOBoard	
Size: A4	Date: 2019-04-09
KiCad E.D.A.	kiCad (5.1.2)-1
	Id: 9/10



Mounting holes
 Camera USB C connector
 AUX board connectors (Dig/Analog output board + Connectors board)

www.workswell.cz

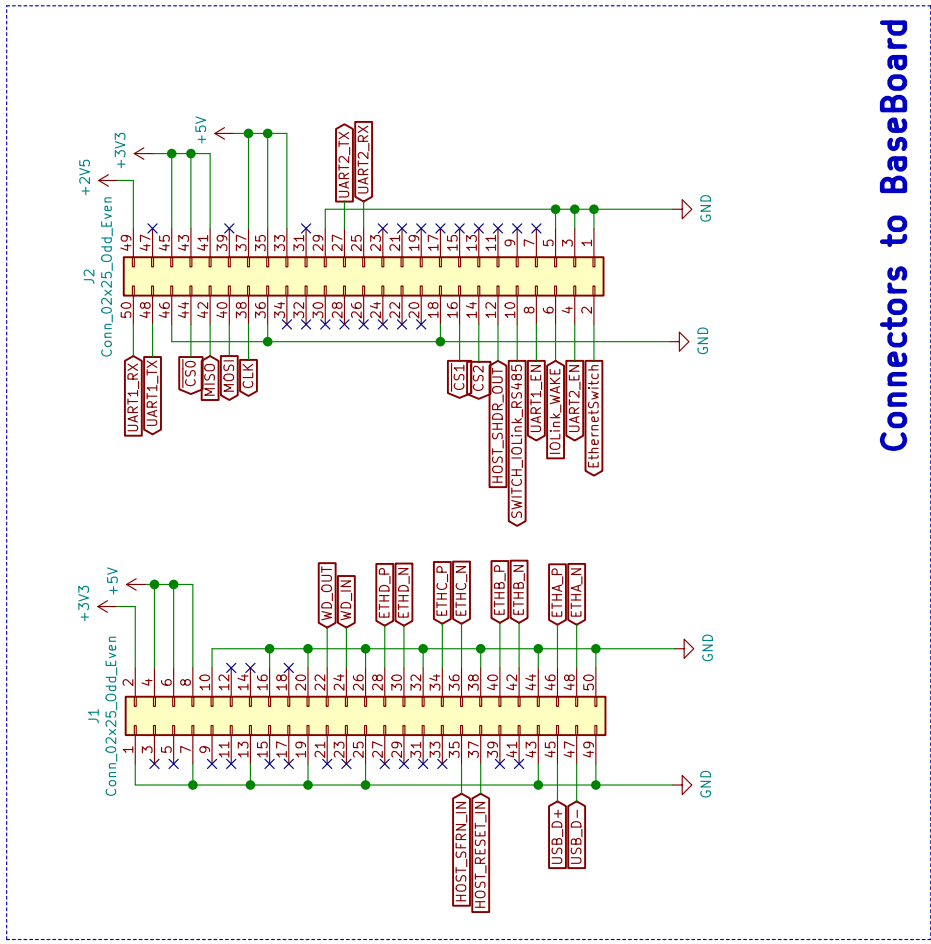
Sheet: /Misc/
 File: Misc.sch

Title: SM12_IOBoard

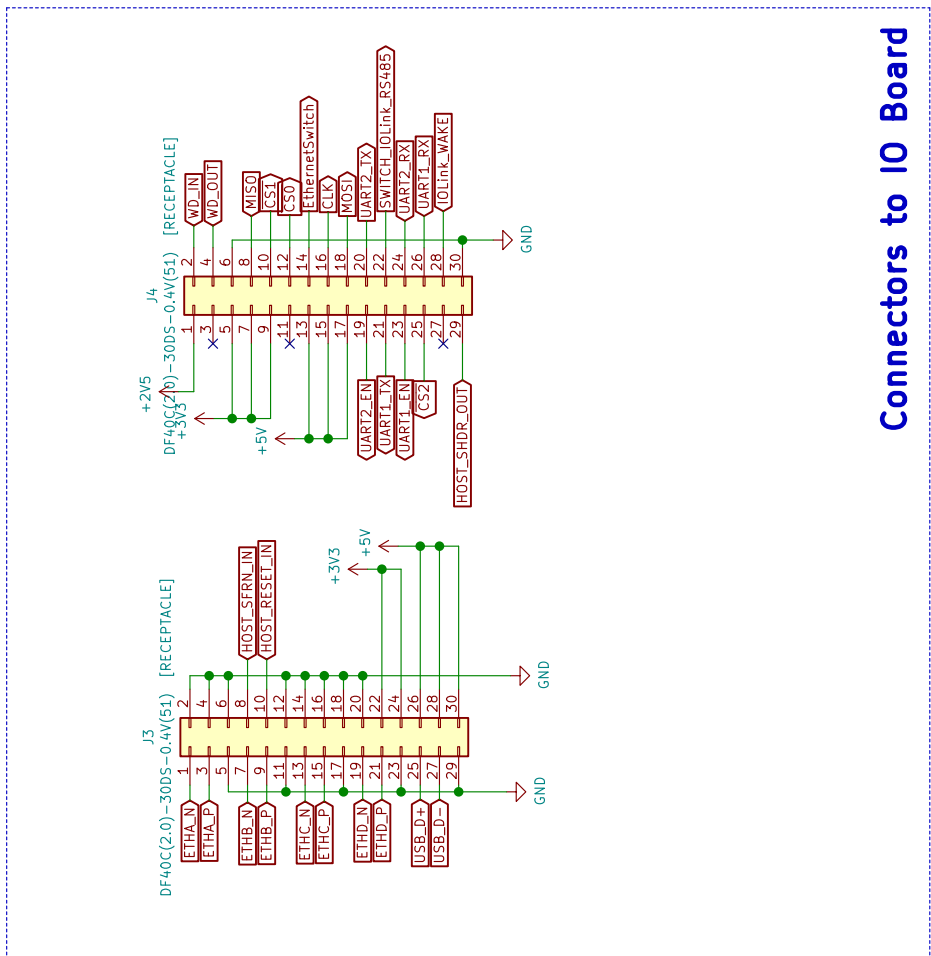
Size: A4 | Date: 2019-04-09
 Kicad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

Rev. 1.0.0
 Id: 10/10

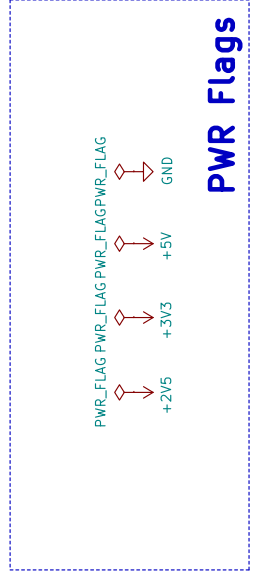
SMARTIS gen. 2 386px Middle board (increment of distance between base and IO) v 1.0.0



Connectors to BaseBoard



Connectors to IO Board



PWR Flags

Sheet: /	Date:
File: Middle.sch	
Title:	
Size: A4	Rev: /
KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1	Id: 1/1

SMARTIS gen. 2 386px Top board (Analog and digital IO) v 1.0.0

ProtAnalog2

[1]

ProtAnalog2.sch

[1] - DAC8775
2 Analog outputs

ProtDig

[2]

ProtDig.sch

[2] - Digital outputs
Transistors configurable as High or Low side switches
Digital inputs
3 DI read by SPI

Sheet: /
File: Top_Board.sch

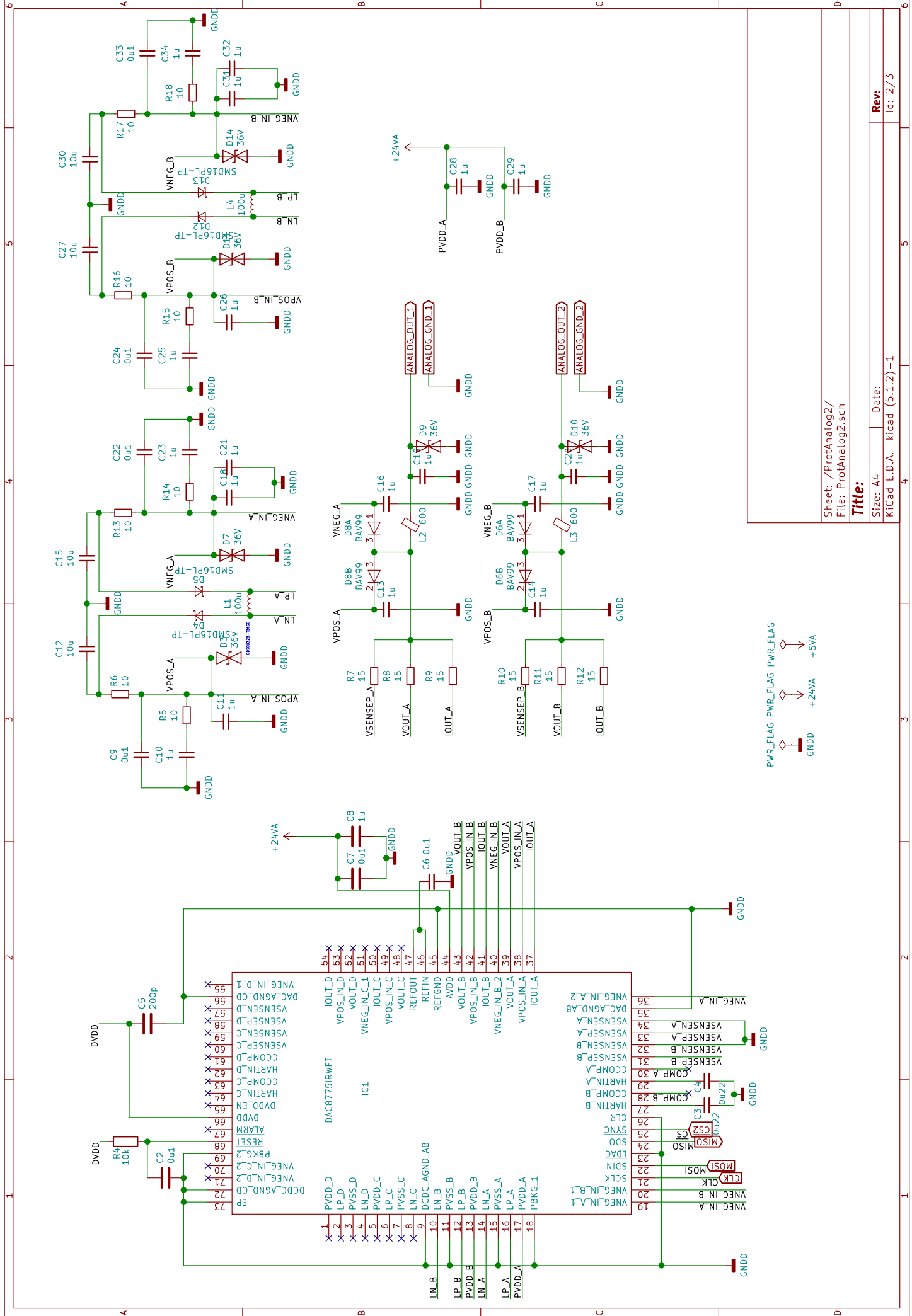
Title:

Size: A4 Date:

KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

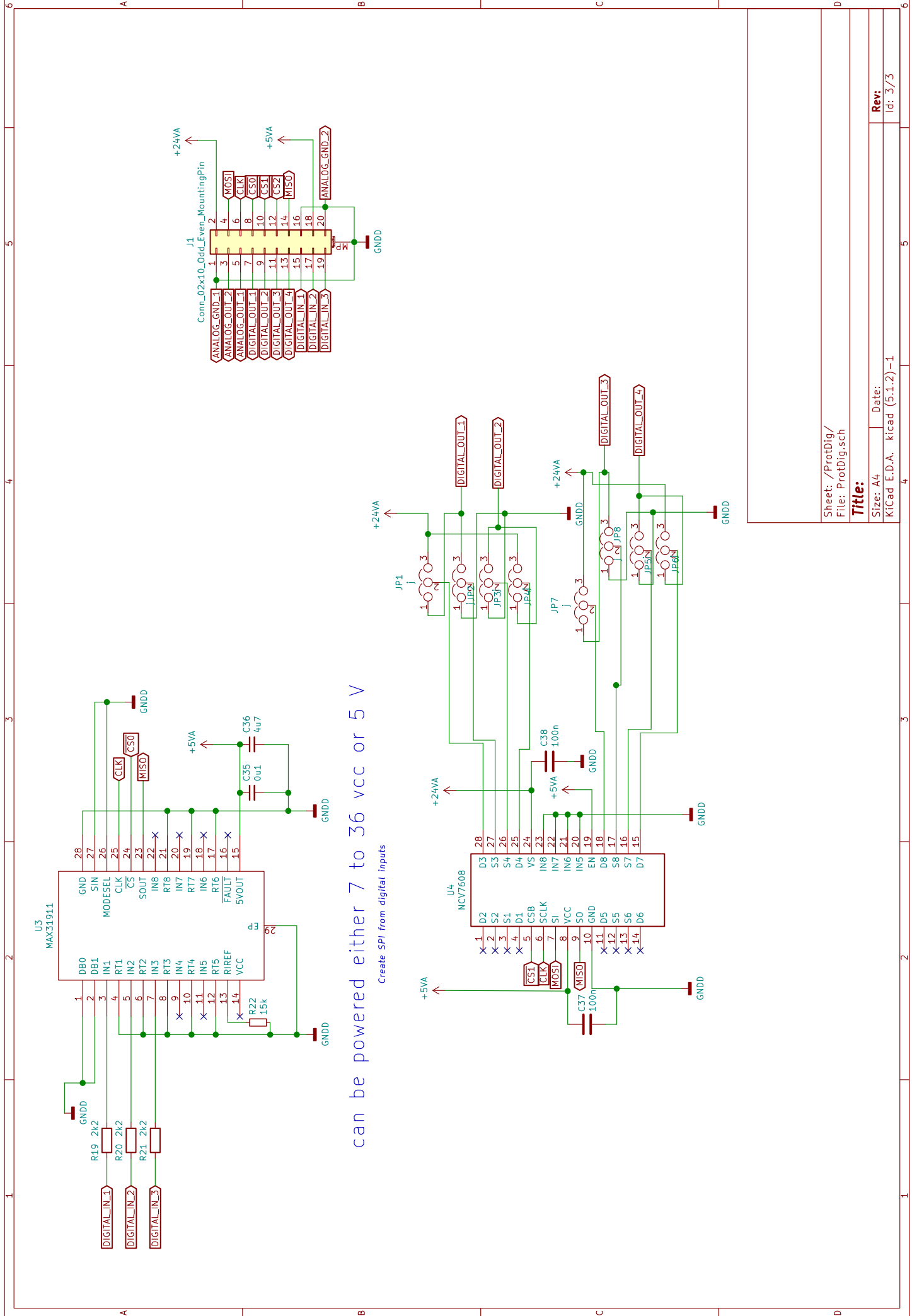
Rev:

Id: 1/3



Sheet: /ProtAnalog2/
 File: ProtAnalog2.sch
Title:
 Size: A4 | Date:
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

Rev:
 Id: 2/73



can be powered either 7 to 36 vcc or 5 V

Create SPI from digital inputs

Sheet: /ProtDig/
 File: ProtDig.sch
Title:
 Size: A4 | Date:
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

Rev: 3/3
 Id: 3/3

SMARTIS gen. 2 386px Connector Board

v 1.0.0

Connectors

[1]

Connectors.sch

- [1] - Input connectors
 - M12 5 pin – IO link, RS485, DI
 - M12 8 pin – Ethernet/Profinet
 - M12 12 pin – Aux power, DI , DO, A0
- Output connectors
- 26 straight pin connector to IO board

Power

[2]

Power.sch

- [2] - TVS protection diodes
- Reverse polarity protection (MOSFET)

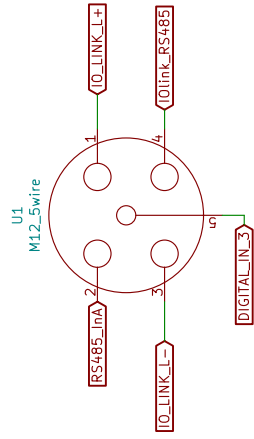
Sheet: /
File: Connector_Board.sch

Title:

Size: A4 | Date:
KICad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

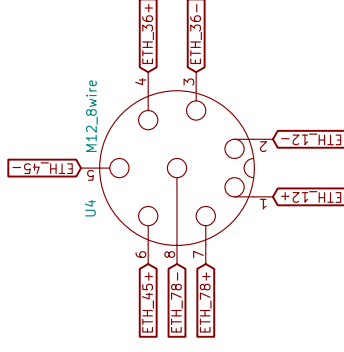
Rev:
Id: 1/3

IO LINK



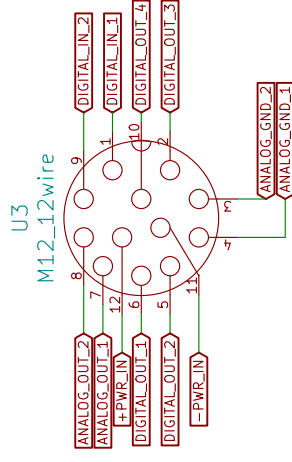
IO_LINK_AuxPwr2
IO_LINK_AuxPwr5

ETHERNET/PROFINET

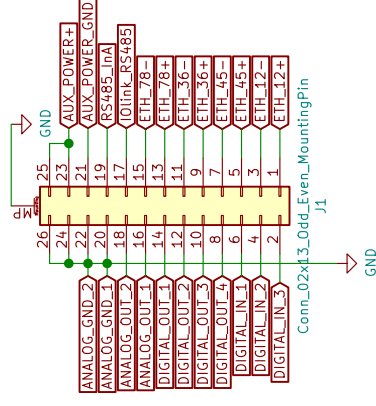


M12 konektor pro Ethernet nebo PROFINET 8 pin

RS485/POWER/DIGITAL_IO/ANALOG_IO



M12 konektor 12 pin (2 – RS485, 2 – POWER, 4 – DIGITAL_IO, 4 – ANALOG_IO)



Sheet: /Connectors/
File: Connectors.isch

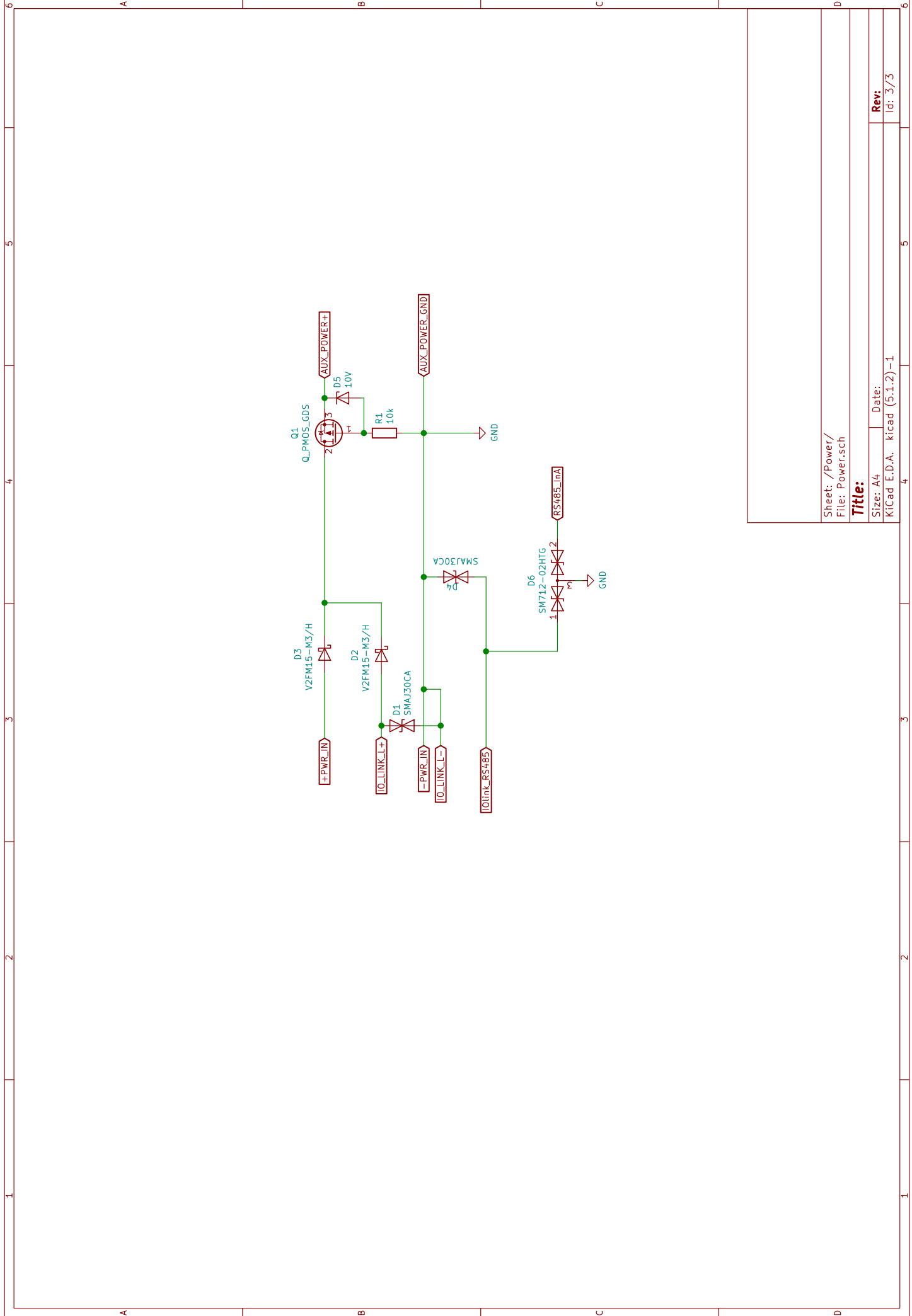
Title:

Size: A4 Date:

KiCad E.D.A. kicad (5.1.2)-1

Rev:

Id: 2/73



Sheet: /Power/
 File: Power.sch
Title:
 Size: A4 | Date:
 KICad E.D.A. kicad (5.1.2)-1
Rev:
 Id: 3/3

■ .2 Desky plošných spojů

Gerber soubory popisující navržené plošné spoje jsou umístěny v externí příloze.