

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

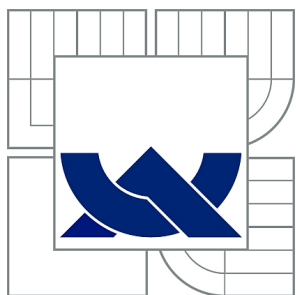
ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO DÁLKOVOU LASEROVOU SPEKTROSKOPII

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

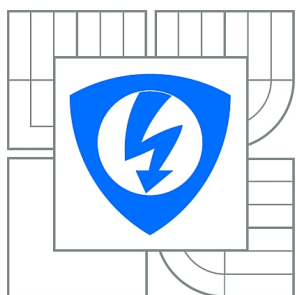
Bc. MICHAL PETRILAK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO DÁLKOVOU LASEROVOU SPEKTROSKOPII

CONTROL SYSTEM FOR REMOTE LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL PETRILAK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KUBÍČEK, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Michal Petrilak

ID: 106709

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém pro dálkovou laserovou spektroskopii

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s požadavky na systém řízení dálkového laserového spektroskopu (rLIBS). Na základě požadavků navrhnete koncepci systému řízení a následně jeho hardwarového řešení. Realizujte navržený systém řízení, ověřte jeho vlastnosti.

Provedte zkušební měření systému. Navrhnete software, který bude obsahovat grafické uživatelské rozhraní a umožní poloautomatická spektroskopická měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] CREMERS, D., A., RADZIEMSKI, L., J. Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. 1st ed. New York: Wiley, 2006.

[2] ALCIATORE, D. Introduction to Mechatronics and Measurement Systems. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2003.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce pojednává o návrhu řídicí elektroniky pro řízení měřící sestavy pro měření prvkového složení metodou LIBS. Elektronika je řešena modulárně pro snadnou upravitelnost a variabilitu. Skládá se z několika samostatných zásuvných modulů. Každý z modulů řeší svoji část řízení a mezi sebou komunikují po sběrnici I2C. V práci jsou popsány základní součásti a moduly zejména pro řízení krokových motorů a pro komunikaci s objektivem od firmy Canon.

KLÍČOVÁ SLOVA

rLIBS, automatizace, řízení krokového motoru, objektiv Canon

ABSTRACT

The work deals with the design of the control electronics for measuring set-up for elemental composition analysis using remote LIBS techniques. The electronics is designed in modular way for light interchangeability and variability. It consists of several separate plug-ins; each plug-in solves its part of the problem and communicates with others over the I2C bus. The work describes the basic components and concepts; a special care is taken to describe the modules for stepper motors control and for communication with focusing lens from Canon company.)

KEYWORDS

rLIBS, automation, stepper motor control, Canon lens

PETRILAK, Michal *Řídicí systém pro dálkovou laserovou spektroskopii*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2013. 73 s. Vedoucí práce byl Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Řídicí systém pro dálkovou laserovou spektroskopii“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	9
1 Sestava	10
1.1 Základní uspořádání	10
1.2 Elektronika	10
2 Moduly	15
2.1 Společné vlastnosti	15
2.2 Komunikační protokol	15
2.3 modul USB	18
2.4 modul MOT	19
2.5 modul KROK	20
2.6 modul DC	21
2.7 modul TRI a ObjCanon	21
2.7.1 Komunikační protokol TRINAMIC	22
3 Software	24
3.1 Základní členění	24
3.2 Knihovny pro systémovou sběrnici	24
3.2.1 Společné a pro podřízené moduly	24
3.2.2 Pro řídicí modul	27
3.2.3 Fungování komunikace na systémové sběrnici	28
3.3 Software v jednotlivých modulech	29
3.3.1 modul KROK	29
4 Výroba	32
4.1 Mechanická konstrukce	32
4.2 Desky plošných spojů	32
5 Závěr	34
Literatura	35
Seznam symbolů, veličin a zkratk	37
Seznam příloh	38

A	Výrobní dokumentace	39
A.1	modul USB	39
A.2	modul MOT	45
A.3	modul TRI	49
A.4	modul ObjCanon	53
A.5	modul KROK	57
A.6	modul DC	62
A.7	výkresy	66
B	Fotografie	68
C	Struktura složek na přiloženém CD	73

SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Celková sestava pro LIBS (převzato z [3])	9
1.1	Blokové zapojení řídicí elektroniky	12
2.1	Povel GetStatus, přijímací modul neodpovídá	16
2.2	Povel GetStatus, přijímací modul odpovídá	17
B.1	Celé zařízení rLIBS při testování optické části	68
B.2	Testování optické části, vzdálenost 90 metrů	69
B.3	Sestavená řídicí elektronika, přední strana	70
B.4	Sestavená řídicí elektronika, zadní strana	70
B.5	Sestavená řídicí elektronika, zapnuto	71
B.6	vnitřní uspořádání, pohled seshora	71
B.7	Moduly, strana součástek, nahoře: USB, TRI, dole: DC, KROK	72
B.8	Moduly, strana spojů, nahoře: USB, TRI, dole: DC, KROK	72

SEZNAM TABULEK

1.1	Zapojení systémového konektoru DIN41612C	14
2.1	Struktura datového rámce na sběrnici I ² C	17
2.2	Systémové zprávy na sběrnici I ² C	18
2.3	Struktura datového rámce protokolu Trinamic	23
2.4	Struktura dat pro objektiv Canon	23
3.1	chybové kódy při inicializaci modulu (STATUS byte)	28
3.2	Povely pro modul KROK	31
4.1	Obráběcí parametry použité při opracování dílů skříně	32

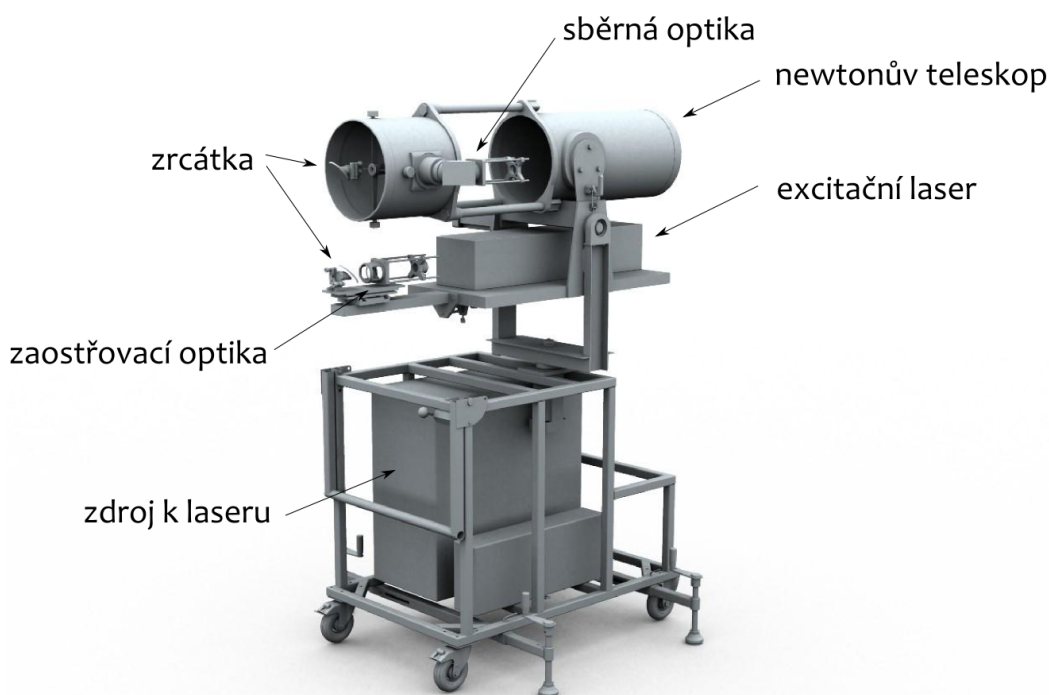
ÚVOD

Tato práce pojednává o řídicí elektronice k systému pro prvkovou analýzu na dálku pomocí laserem buzeného plazmatu. Fyzikální princip metody je popsán například v [1]. Dále v [2] a [3].

Konkrétně systém na vzdálený LIBS je dobře popsán v [4].

Současně je zařízení vyvíjeno v rámci grantu VaVpI, reg. číslo CZ.1.05/3.1.00/13.0273.

Laserová spektroskopie je téměř nedestruktivní diagnostická metoda. Umožňuje provádět prvkovou analýzu bez jakékoliv předchozí přípravy vzorků. Spočívá v zachycení spektra světelného záření, které je vydáváno plazmatem vytvořeného z části vzorku. Plazma je vytvářeno velmi intenzivním světelným zábleskem zaostřeném na malou plochu. Zachycené spektrum záření plazmatu obsahuje charakteristické spektrální čáry pro jednotlivé prvky. Metoda je označována jako nedestruktivní, i když k malému poškození zkoumaného vzorku dochází. Z plochy o průměru několik desítek mikrometrů se odpaří část povrchu, která se posléze změní na plazma. Běžně jsou dosahovány průměry kráterů 10 - 100 μm .



Obr. 1: Celková sestava pro LIBS (převzato z [3])

1 SESTAVA

1.1 Základní uspořádání

Základní mechanické uspořádání a součásti byly navrženy v rámci diplomové práce na Ústavu konstruování FSI ([5]). Měřicí zařízení sestává ze základového vozíku a na něm umístěné otočné měřicí hlavy (viz obr. 1). Na spodním vozíku se nalézá zdroj k laseru, spektrometr, řídicí PC a další potřebné součásti. Měřicí hlava sestává z laserové hlavice, zaostřovací a sběrné optiky a zaměřovací kamery s objektivem. Je vhodné aby měřicí hlava měla co nejmenší hmotnost, zejména z důvodu co nejmenšího momentu setrvačnosti. Je tedy vhodné co nejvíce součástí umístit na spodní vozík, včetně řídicí elektroniky. Horní otočná část se může otáčet kolem svislé osy v rozsahu $\pm 40^\circ$. Rozsah otáčení je limitován kabelem spojujícím laserovou hlavici se zdrojem. Kabel obsahuje hadice pro chlazení laserové hlavice a je dosti neohebný. Není tedy problém propojit elektronické komponenty v horní a spodní části libovolným kabelem. Délka kabelu je přibližně 1,5 metru.

Polohování měřicí hlavy je prováděno dvojicí třífázových krokových motorů s integrovaným budičem. Motory byly zvoleny v rámci návrhu celé sestavy s ohledem na potřebný výkon a kroutící moment.

Tím, že je řídicí elektronika umístěna na vozíku, nejsou příliš důležité její rozměry ani její hmotnost. Celé zařízení podléhá neustálému vývoji a řídicí systém by měl být modulární, aby ho bylo možné rychle přizpůsobovat aktuálním potřebám. Je lepší, aby se řídicí systém skládal z několika nezávislých částí, čímž bude možné jej jednoduše rozšiřovat a přizpůsobovat.

Odolnost řídicí elektroniky na vnější vlivy není příliš potřeba řešit. Použitý laser a spektrometr jsou samy o sobě dosti citlivá zařízení, takže celkové zakrytí celé sestavy je podmínkou spolehlivého fungování. Také odolnost na otřesy řídicí elektroniky bude vždy lepší než u spektrometru. Použitá přístrojová skříň má sama o sobě dobrou mechanickou pevnost.

1.2 Elektronika

Řídicí elektronika sestává z jednotlivých zásuvných modulů velikosti malé eurokarty (100x100 mm, viz [6]). Zvolené řešení je standardizované, nebyl problém koupit hotovou skříň. Jedná se o přístrojovou skříň, která je zevnitř shodná s 19" subrackem. Skříň však nemá plnou délku, ale podle předpokládaného využití byla zakoupena skříň jen s šířkou 42 HP. Její výška je nejčastěji používavá výška 3 U. Hloubka byla zvolena 315,5 mm s ohledem na umístění napájecího zdroje do zadní části. Napevno je do skříně umístěn jen napájecí zdroj +24V a síťový vypínač. Jednotlivé moduly

se zasouvají do vodičích lišt. Celkové označení skříně v katalogu firmy Schroff je „ratiopacPRO complete case 24572-003“.

Z přední strany se na jednotlivé pozice umísťují zásuvné moduly. Proti vypadnutí jsou všechny moduly zajištěny šrouby. Ze zadní strany se umísťují panýlky se vstupně výstupními konektory. Pokud je potřeba do sestavy umístit úplně nový modul s novou funkcí, je třeba vyrobit příslušný zadní panýlek s případnými konektory a připojit jej k systémovému konektoru na příslušné pozici.

Standardní skříň s vyjímatelnými moduly umožňuje snadnou opravitelnost a rozšířitelnost. Dále se do standardní skříně dají v případě potřeby umístit hotové vyráběné moduly.

Napájení zajišťuje modulový napájecí zdroj, určený pro zabudování od firmy MeanWell. Jedná se o typ RS-200-24 s výstupním napětím +24 V a proudovou zatížitelností 8,4 A. Zdroj musí napájet nejenom samotnou řídicí elektroniku, ale i všechny motory umístěné na zařízení. Polohovací motory mají odběr dohromady kolem 3,5 A. Ty tvoří asi největší zátěž. Výstupní napětí zdroje bylo zvoleno právě s ohledem na napájecí napětí polohovacích motorů. Navíc je výhodné pro další motory. Pro napájení elektroniky není příliš vhodné, není však problém je dále zmenšit spínaným měničem.

Základním stavebním kamenem každé zásuvné karty je mikrokontrolér řady ATmega [7]. Tento mikrokontrolér je velmi dobře dostupný, levný a nabízí dostatek možností. Má v sobě integrovány 3 sériové komunikační moduly. Jedná se o USART, SPI a I²C.

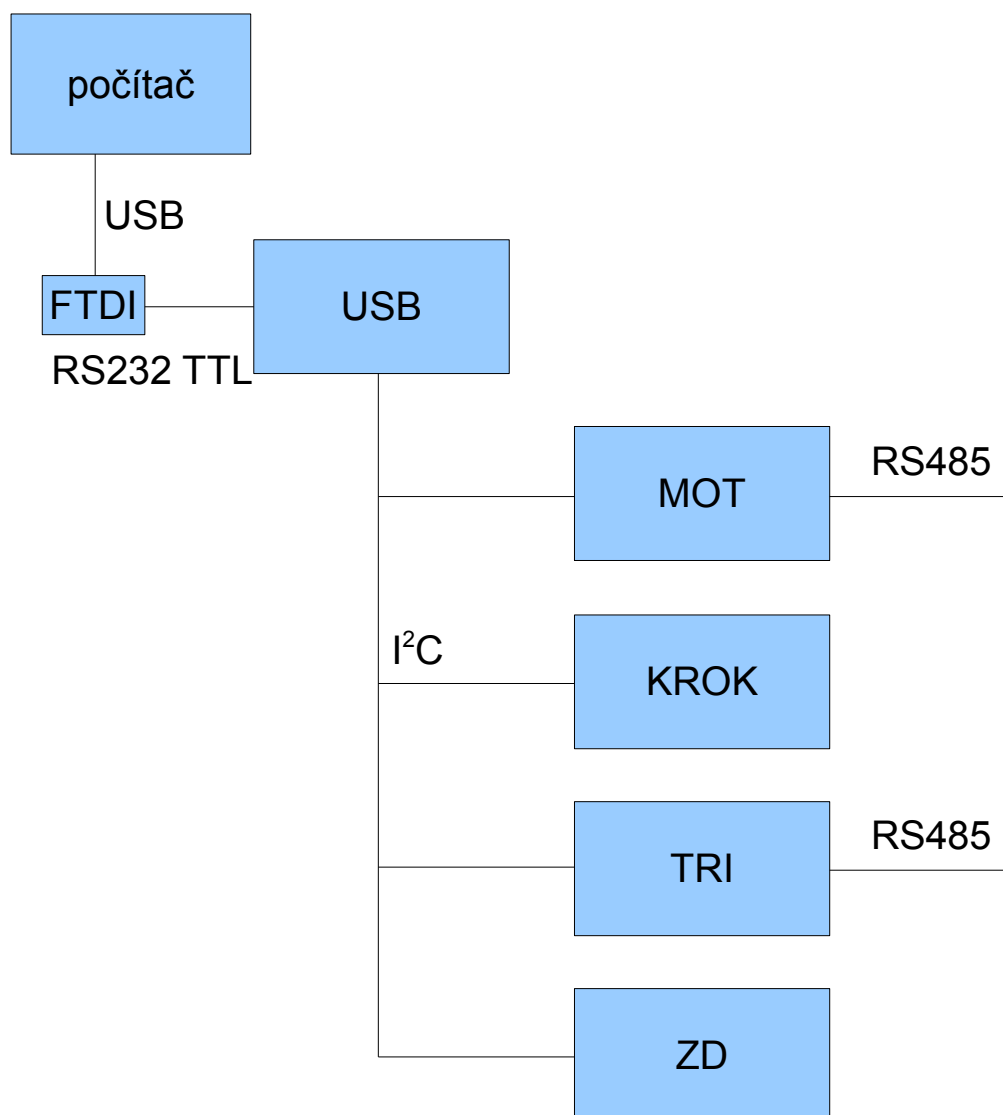
USART je vhodné ponechat nevyužitý pro komunikaci s vnějšími periferiemi (komunikace s laserem, ...).

Sběrnice SPI vyžaduje spojení jednotlivých zařízení buď sériově (kaskádně) nebo vyžaduje signály Chip Select pro každé připojené zařízení. Není proto příliš vhodná pro variabilní zařízení, kde se může počet modulů časem měnit. Tyto nevýhody nemá poslední zmiňovaná sběrnice I²C. Jednotlivé moduly jsou připojeny paralelně - vytažením jednoho modulu nedojde k přerušení komunikace s ostatními moduly.

Jak vyplývá z předchozího, je očividné, že použití rozhraní I²C pro mezimodulovou komunikaci je u daných MCU nejvýhodnější řešení. Tato sběrnice umožňuje dokonce i multi-master režim, kdy komunikace není řízena jedním radičem. V našem případě však bude vhodnější použít koncepci master-slave, kdy bude jeden modul nadřazený všem ostatním, bude kontrolovat přítomnost a funkčnost ostatních modulů a realizovat komunikaci s PC.

Blokové schéma celého řídicího systému je znázorněno na obr. 1.1. Systém je tvořen průmyslovou skříní pro vkládání jednotlivých modulů. Skříň obsahuje napájecí zdroj a propojení jednotlivých modulů mezi sebou (tzv. backplane). Dále jsou na zadní straně umístěny výstupní konektory. Ty jsou propojeny se systémovými

konektory na jednotlivých pozicích.



Obr. 1.1: Blokové zapojení řídicí elektroniky

Moduly mezi sebou komunikují pomocí sběrnice I²C (specifikace uvedena například v [8]). Jako komunikační rychlost byla zvolena základní rychlost I²C sběrnice, tj. 100kbit/s. Větší rychlostí budou více náchylné na kvalitu signálu, nižší rychlost zase způsobí velkou odezvu systému. Systém nebude řídit žádné časově kritické děje, takže zvolená rychlost je dostatečná.

Všechny moduly jsou na zadní straně opatřeny standardním konektorem dle normy **DIN 41612 C** s 32 piny. Přiřazení signálů jednotlivým pinům je uvedeno v tab 1.1. Zapojení konektoru neodpovídá žádnému průmyslovému standardu. Jednotlivé signály můžeme rozdělit do tří skupin.

První skupinu tvoří rozvod napájení. Počítá se s napájecími napětími +24V, +5V, +12V, -12V. Na napájecí napětí, u kterých se předpokládá větší proudové zatížení, jsou použity vždy 2 piny z konektoru pro zvýšení spolehlivosti a snížení přechodového odporu.

Další skupinu tvoří signály BUS a ADDR. BUS SDA a BUS SCL je již zmíněná sběrnice I²C pro mezimodulovou komunikaci.

Aby bylo možné jednoduše rozlišit jednotlivé připojené moduly, musí mít každý z nich přiřazenou adresu. V úvahu připadají dva hlavní koncepty - adresa může být přiřazena buď modulu samotnému nebo jen pozici pro modul. Koncept s adresou přiřazenou modulu je konstrukčně trochu jednodušší, adresa je uložena v paměti mikrokontroléru na modulu. Navíc nezáleží do jaké pozice je modul zasunut, vždy má stejnou adresu. Změna adresy je možná přeprogramováním mikrokontroléru. Nevýhoda tohoto řešení se objeví ve chvíli, kdy je potřeba některý modul vyměnit za náhradní. Pokud budou v sestavě 3 stejné moduly, museli bychom mít 3 další náhradní moduly, každý s adresou odpovídající jednomu normálnímu modulu. Také lze adresu volit mechanickým přepínačem, DIP spínači, či zkratovacími propojkami. Hrozí však nebezpečí, že bude dvěma modulům přiřazena stejná adresa.

Jiným řešením je přiřazovat adresy podle fyzického umístění modulu - adresa přidělena pozici. Je nutné modul nějakým způsobem informovat, na které pozici se nachází, aby se mohl hlásit správnou adresou. Na druhé straně však není problém s případnou výměnou jednoho modulu za náhradní kus. Všechny moduly jednoho typu pak mohou být hardwarově i softwarově shodné. Nevýhoda je, že nemůžeme moduly přehazovat mezi jednotlivými pozicemi bez změny nastavení řídicího softwaru. Z každé pozice však budou vyvedeny určité signálové vodiče k zařízení, o které se modul bude starat. Přehodit tedy modul pro řízení motoru z pozice např 1 na pozici 3 je svázáno i s přepojením vodičů od motoru z jedné pozice na druhou. Změna nastavení řídicího softwaru je jen malá obtíž, která nebude nijak ztěžovat provádění budoucích změn v sestavě.

Stejně je pozice jednotlivých typů modulů určena zapojením vstupně/výstupních konektorů na zadní stěně skříně. Rychlá změna pozice, kde je daný modul umístěn stejně není možná.

Pro úplnou identičnost modulů jednoho typu je nutné, aby modul v sobě neměl uložené žádné nastavení. Toho lze jednoduše dosáhnout uložením nastavení všech modulů na jednom centrálním místě. Jelikož se v sestavě vždy musí nalézat hlavní modul pro komunikaci s počítačem, bude tento hlavní modul sloužit jako master na sběrnici I²C a zároveň může v sobě uchovávat nastavené parametry pro jednotlivé dílčí moduly.

číslo pinu	název signálu	popis
2A	+24V	napájecí sběrnice
2C	+24V	napájecí sběrnice
4A	+5V	napájecí sběrnice
4C	+5V	napájecí sběrnice
6A	+12V	napájecí sběrnice
6C	-12V	napájecí sběrnice
8A	USR_00	individuální signál
8C	USR_01	individuální signál
10A	USR_02	individuální signál
10C	USR_03	individuální signál
12A	USR_04	individuální signál
12C	USR_05	individuální signál
14A	USR_06	individuální signál
14C	USR_07	individuální signál
16A	USR_08	individuální signál
16C	USR_09	individuální signál
18A	USR_10	individuální signál
18C	USR_11	individuální signál
20A	USR_12	individuální signál
20C	USR_13	individuální signál
22A	USR_14	individuální signál
22C	USR_15	individuální signál
24A	BUS_SDA	systémová sběrnice I ² C
24C	BUS_SCL	systémová sběrnice I ² C
26A	ADDR_0	adresa modulu
26C	ADDR_1	adresa modulu
28A	ADDR_2	adresa modulu
28C	ADDR_3	adresa modulu
30A	ADDR_4	adresa modulu
30C	-	nepoužito
32A	GND	napájecí sběrnice
32C	GND	napájecí sběrnice

Tab. 1.1: Zapojení systémového konektoru DIN41612C

2 MODULY

2.1 Společné vlastnosti

Všechny moduly v sestavě se vyznačují některými společnými prvky. Základním společným prvkem je MCU ATmega8 s krystalem 7,3728 MHz. Tento krystal umožňuje generovat signál se standardními bitovými rychlostmi (9600, 19200, 115000 baudů). Dále se jedná o indikační LED diody na předním panelu a rozhraní pro zjišťování adresy modulu.

Indikační diody jsou na všech běžných modulech minimálně 3. První (zelená) indikuje napájecí napětí na modulu. Další (žlutá) indikuje komunikaci systémové sběrnice s modulem. Dioda indikuje jak individuální povely tak i systémové povely. Třetí (žlutá) svítí, pokud modul vykonává nějaký příkaz. Pokud je potřeba, jsou na modulech i další led diody. Pokud modul neobsahuje procesor a nekomunikuje po systémové sběrnici, stačí jen dioda indikující napájecí napětí.

Pro základní kontrolu zda modul pracuje či nikoliv, slouží dioda indikující komunikaci. Při běžném provozu poblikává, jak je modul cyklicky dotazován USB modulem. V případě zaseknutí procesoru na daném modulu bude dioda buď trvale svítit nebo bude trvale zhasnutá. Na modulu USB dioda poblikává ve stejném rytmu, jak jsou moduly dotazovány. Pokud modul samotný vykonává nějaký povel, svítí dioda 3. indikační dioda. Podle ní lze poznat, zda se například motor nehýbe, protože nefunguje, nebo zda modul ani neví, že má s motorem hýbat.

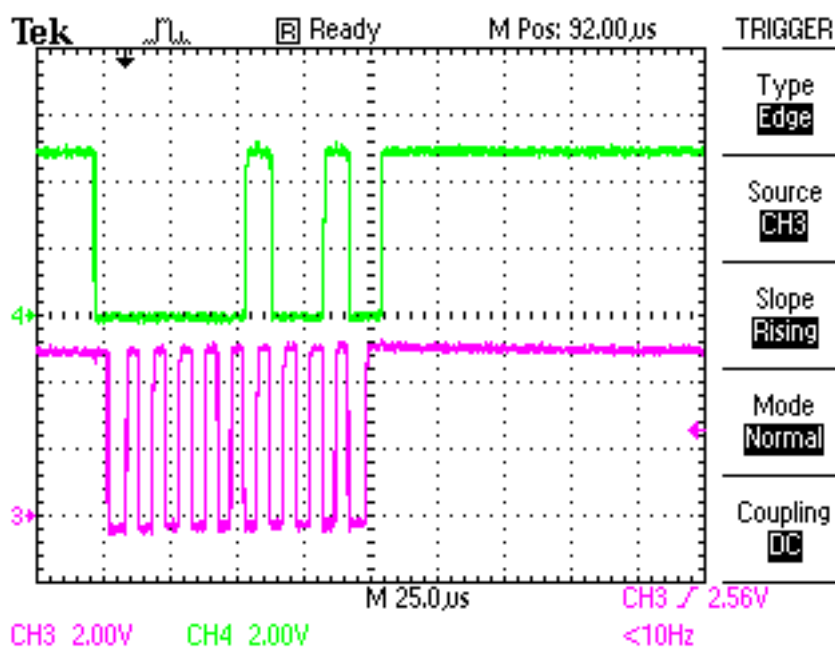
Dalším společným znakem je detekce adresových signálů na systémovém konektoru. Základní zapojení je pomocí posuvného registru typu PISO. Registr potřebuje připojení pomocí 3 vodičů (hodiny, načtení vstupů, datový výstup). Aby se ušetřily nutné signály z procesoru, jsou hodinový a načítací signál sloučeny pomocí jednoduchého RC článku. Rychlé hodinové impulzy se dostanou jen přímo na hodinový vstup. Dlouhý impuls, který projde přes filtrační článek se dostane i na vstup „načtení vstupů“. Hodnoty součástek byly zvoleny $C = 10 \text{ nF}$ a $R = 100 \text{ k}\Omega$. Časová konstanta vychází dle vzorce $\tau = R \cdot C$ [s; Ω ; F], $\tau = 1 \text{ ms}$. Impulzy určené pro hodinový vstup mají délku v řádu jednotek mikrosekund i při použití softwarové emulace SPI rozhraní pro obsluhu posuvného registru. Nulovací impuls je volen v řádu desítek milisekund, aby spolehlivě prošel filtračním RC členem.

2.2 Komunikační protokol

Komunikace mezi moduly probíhá po sběrnici I²C formou dotazované komunikace. Modul USB, který se stará o veškerou komunikaci a vystupuje vždy jako master (viz [8]), cyklicky posílá požadavky ostatním modulům. Moduly odesílají odpovědi

vždy po obdržení výzvy od modulu USB. Tím je zajištěno bezkolizní prostředí. Nevýhodou dotazované sběrnice je pomalost komunikace při velkém počtu připojených modulů. V našem případě však nepřichází v úvahu více jak 20 připojených modulů, čímž je zajištěno, že k problémům s rychlostí nedojde.

Modul USB bude periodicky sbírat informace z ostatních modulů a důležité zprávy bude dále předávat do řídicího počítače. Počítač tedy nebude zbytečně vytěžován cyklickým dotazováním jednotlivých modulů. Každý z modulů se bude starat o svou dílčí úlohu. Množství zpráv, které jsou posílány mezi počítačem a modulem USB je tímto způsobem redukováno na minimum.



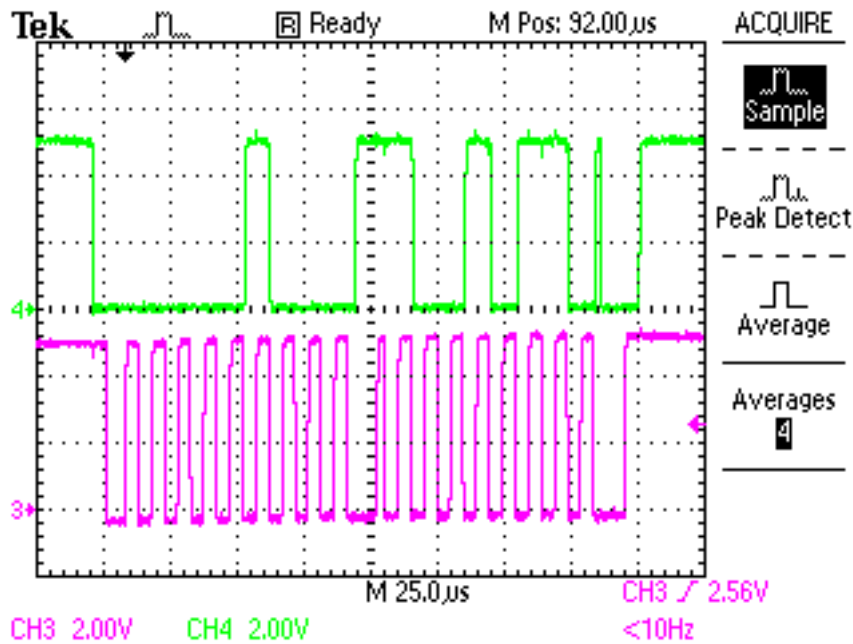
Obr. 2.1: Povel GetStatus, přijímací modul neodpovídá

Komunikace s moduly probíhá na úrovni 2. vrstvy modelu OSI. Komunikace s PC odpovídá 3. vrstvě. Všechny zprávy z PC jsou adresovány buď modulu USB nebo jinému konkrétnímu modulu. Zprávy do modulu USB spouští předpřipravené sekvence povelů, které se provádí s více dílčími moduly. Jednoduché povely pro testování a nastavování budou adresovány vždy konkrétnímu modulu. Modul USB tyto zprávy jen přepoše na sběrnici I²C a opatří je správným formátem rámce.

Samotná sběrnice I²C vyžaduje aby přijímací modul potvrdil každý přijatý byte. Při odesílání zprávy lze tedy vyhodnocením stavu integrovaného I²C rozhraní zjistit, že nikdo zprávu nepřijímá. Příklad signálů na sběrnici je uveden na obr. 2.1. Horní průběh zobrazuje linku SDA, spodní linku SCL. Na začátku a konci vysílání datové zprávy je start a stop podmínka (viz [8]). Poslední bit (9., při posledním kladném impulzu na SCK) není vysílán řídicím modulem ale jedná se o potvrzení příjmu.

Pokud přijímací modul nereaguje, je linka v základním stavu neboli v log. 1 (udržovaná vnějším přidržovacím rezistorem na modulu USB). Pokud modul odpovídá, nastane případ uvedený na obr. 2.2, kontrolní bit má hodnotu log. 0. Na obrázku je zobrazena datová zpráva obsahující povel **GET_STATUS**.

Z uvedených průběhů také vyplývá, že signál na sběrnici má ostré hrany a nevykazuje žádné poškození ani významné rušení.



Obr. 2.2: Povel GetStatus, přijímací modul odpovídá

adresa	kód povelu	[1. parametr]	...	XOR
--------	------------	---------------	-----	-----

Tab. 2.1: Struktura datového rámce na sběrnici I²C

Základní formát datového rámce na sběrnici I²C je uveden v tab. 2.1. Délka každého rámce je v rozmezí 3 až 11 bytů. Stejný formát se používá pro oba směry komunikace. Velké omezení maximální délky rámce umožní malé využití paměti RAM v jednotlivých modulech pro vstupně/výstupní vyrovnávací paměť. Pole „adresa“ vždy obsahuje číslo modulu, který je účastníkem komunikace. Druhým účastníkem je vždy modul USB. V poli „kód zprávy“ je důležitý 7. bit, který signalizuje, zda se jedná o běžný nebo systémový povel. Když je 7. bit roven 0, jedná se o běžný příkaz pro daný modul. Systémové zprávy jsou uvedeny v tab. 2.2 a každý modul je musí umět zpracovat.

Systémové zprávy slouží pro inicializaci, kontrolu správné činnosti modulů a umožňují jednoduše realizovat obousměrnou komunikaci. Když chce modul poslat

název	kód	popis
NULL	0x80	bez významu, jako odpověď značí chybu příjmu dat
IDENT	0x81	vrátí identifikační údaje modulu
SEND	0x82	posílá velkoobjemová data (více jak 7 bytů)
RCV	0x83	přijímá velkoobjemová data z modulu
STATUS	0x84	žádost o STATUS byte
RCV_SIZE	0x85	vrátí celkovou velikost velkoobjemových dat k odeslání
SEND_SIZE	0x86	informuje modul, kolik mu bude posláno velkoobj. dat
FLUSH	0x89	vymaže vyrovnávací paměti v modulu

Tab. 2.2: Systémové zprávy na sběrnici I²C

datovou zprávu do modulu USB/PC, signalizuje nastalou situaci právě v jedné z odpovědí na systémový povel. Mimo řídicích zpráv se do modulu posílají i běžné povely, které jsou pro každý modul specifické a určují, co má daný modul právě vykonat.

Každý modul tak má k dispozici 127 povelů, z nichž každý může mít až 8 bytů parametrů. Pro navrhovaný systém je toto množství plně dostatečné.

Všechny zprávy jsou zabezpečeny proti chybám kontrolním bytem počítaným bytovým exkluzivním součtem (XOR). Při příjmu dat, kde se nebude shodovat kontrolní součet, dojde k znovuodeslání celého datového rámce. Na sběrnici je riziko poškození dat tímto mechanismem značně minimalizováno.

Povely přenášené mezi moduly mají omezenou maximální délku na celkem 9 bytů. V případě požadavku na přenos většího objemu dat je možno využít pomocný komunikační kanál. Data určená k přenosu se umístí do pomocné vyrovnávací paměti a při periodickém dotazování na množství dat k odeslání (povel **RCV_SIZE**) modul vrátí nenulové číslo. Řídící modul v tomto případě začne data přenášet. Přenos je rozprostřen mezi ostatní povely, aby nenarušil rychlost odezvy na běžné povely. Přenos dat tedy není příliš rychlý, což ale není na škodu, neboť hlavní je přenos řídicích povelů a přenos dat je podružná záležitost.

2.3 modul USB

Hlavní modul celé sestavy. Stará se o komunikaci řídicího počítače a všech ostatních modulů. Na sběrnici I²C vystupuje jako master - řídicí člen. Zajišťuje dvě funkce. Jednak kontroluje činnost ostatních modulů a předává datové zprávy mezi PC a moduly. Dále má vyjímatelnou paměť EEPROM (v patici), ve které mají jednotlivé moduly uložené nastavení. Po zapnutí systému tedy všem modulům pošle jejich konfigurační data, které si jednotlivé moduly poté drží v paměti RAM. Při

poruše jednoho modulu jej jednoduše vyměníme za nový, identický. Změnu nastavení můžeme provádět jednak pomocí ovládacího software z připojeného PC nebo fyzickou výměnou paměti EEPROM.

Pro komunikaci s PC je využit obvod FT232RL firmy FTDI. Jedná se o převodník mezi USB a sériovým portem. V počítači se hlásí jako virtuální sériový port. Jedná se o jedno z nejjednodušších a velmi spolehlivých řešení připojení k PC. Jádrem modulu je mikrokontroler ATmega8. Ačkoliv se modul stará o řízení sběrnice I²C, modul jen předává data mezi PC a dalšími moduly. Není proto třeba používat výkonnější mikrokontrolér. Převodník FT232RL je galvanicky oddělený od mikrokontroléru, aby celé zařízení nebylo galvanicky spojeno s připojeným počítačem. Oddělení zajišťují optočleny. Převodník FT232R je napájen z USB portu počítače, zbytek modulu je již napájen ze zdroje celého zařízení. Zapojení převodníku je převzaté z [9]. Modul se ihned při připojení k PC přihlásí, i když je napájení zbytku zařízení vypnuto. Při komunikaci ve vypnutém stavu se data odeslaná do zařízení ztrácejí a zařízení neodpovídá.

Dvě indikační LED diody, které indukují stav převodníku FTDI a jsou umístěny na předním panelu, jsou spínány také pomocí optočlenů. K přednímu panelu tak není třeba přivádět signály spojené s PC. Na plošném spoji je jen jedna obdélníková oblast, která je na všech stranách oddělena izolační mezerou 2 mm. Samotné indikační diody jsou napájeny ze zdroje elektroniky. Pro Zobrazení indikací tak musí být zapnutý hlavní napájecí zdroj, převodník však funguje ihned po připojení k PC.

Po zapnutí systému modul prohledá systémovou sběrnici a ověří přítomnost všech potřebných modulů (nastaveno opět v EEPROM). Poté do nich nahraje konfigurační data.

Modul se opakovaně dotazuje ostatních modulů na jejich STATUS byte. Z něj posléze určuje, zda se nějaký modul nezasekl nebo zda nějaký modul nechce poslat zprávu do PC. Příchozí zprávy z PC jsou většinou přeposílány jinému modulu ke zpracování.

Modul umožňuje dva režimy napájení. Jednak z rozvodu +5V nebo variantně stabilizací napájecího napětí +24V. Variantní napájení bylo použito v počátcích testování, když ještě nebyl hotov modul pro konverzi napětí +24V na +5V (modul DC). V současném stavu se jedná o nepotřebnou součást, která bude z další verze modulu odstraněna.

2.4 modul MOT

Modul pro řízení motorů na zaměřování měřící hlavy. Motory firmy Schneider electric jsou vybaveny integrovanou řídicí elektronikou. Modul MOT zprostředkovává

předávání datových zpráv mezi motory a systémovou sběrnicí. Použité motory mají označení **ILS1F573**. Připojovací datové rozhraní je Profibus DP a RS485. Nominální napájecí napětí je 24V. Je použito rozhraní RS485.

Hardwarově modul realizuje převodník I²C na RS485. Dále se modul stará o překlad povelů do protokolu určeného pro řídicí elektroniku na motoru.

Modul umožňuje dva režimy napájení. Jednak z rozvodu +5V nebo variantně stabilizací napájecího napětí +24V. Variantní napájení bylo použito v počátečních testování, když ještě nebyl hotov modul pro konverzi napětí +24V na +5V (modul DC). V současném stavu se jedná o nepotřebnou součást, která bude z další verze modulu odstraněna. Na schématu již není uvedeno.

2.5 modul KROK

Jedná se o řídicí modul a budič dvou bipolárních krokových motorů. Jako řídicí člen je použit procesor ATmega8. Na vlastní buzení motorů jsou použity moduly POLOLU-1182 s integrovaným budičem A4988 (viz [10]). Jde o kompletní integrovaný budič bipolárních motorů na proud 2A s podporou mikrokrokování. Bez přídatného chladiče se obvod dá použít pro výstupní proudy až 1A. Na modulu jsou integrovány všechny součástky pro základní fungování a odporový trimr pro nastavení výstupního proudu. Modul pracuje s napájecím napětím 8 až 35 V pro výkonovou část a 3 - 5.5 V pro řídicí část. Nastavením logických vstupů se nastavuje mikrokrokování v rozsahu 1/1 až 1/16 kroku. Pro samotné řízení otáčení motoru slouží vstupy STEP a DIR.

Procesor řídí 2 budiče motorů. Signály STEP, kde je potřeba přenášet rychlé sledy impulsů, jsou k procesoru připojeny přímo. Ostatní signály jsou připojeny přes posuvné registry 74HC595.

Modul také obsahuje 8 univerzálních digitálních vstupů pro připojení koncových spínačů a případně manuálních ovládacích prvků. Vstupy jsou chráněny sériovými rezistory. Další rezistory definují základní úroveň log. 1. Pro aktivaci vstupu jej tedy stačí připojit na potenciál GND. K MCU jsou vstupní linky připojeny přes posuvný registr typu PISO.

Posuvné registry plní na modulu dvojí účel. Jednak umožňují připojit velký počet vstupně-výstupních signálů, i když to pouzdro mikrokontroleru neumožňuje. Druhým neméně důležitým úkolem je základní ochrana MCU. Pokud například by se na některý z digitálních vstupů dostalo větší napětí než 5V a ochranný rezistor by nestačil k omezení nebezpečného proudu, dojde k zničení levného posuvného registru a nikoliv MCU.

Posuvné registry jsou připojeny na hardwarové SPI rozhraní v MCU. Stejně je

připojen i posuvný registr pro zjišťování adresy modulu. Jelikož se toto rozhraní používá i k nahrávání software do MCU, je potřeba „zkratovací propojkou“ vždy při programování odpojit posuvný registr na desce. Při provozu musí být propojka spojená.

2.6 modul DC

Modul zajišťuje konverzi napájecího napětí +24V na +5V. Je osazen monolitickým DC-DC měničem FDD15-05S2. Deska dále obsahuje indikační LED diody (+24V a +5V) a blokovací kondenzátory. Vstup +24V je chráněn diodou proti přepólování. Žádný modul zatím nepotřebuje +12V ani -12V, proto se s těmito napájecími napětími zatím nepočítá. V budoucnu, až vyvstane potřeba, bude další napětí vytvářet další modul.

DC-DC měnič umožňuje odebrat z výstupu maximální proud 3A. Tato hodnota by měla postačovat na všechny připojené moduly a další zařízení, která budou napájena (např. objektiv na zaměřovací kameře).

Modul neobsahuje žádný procesor a nepotřebuje tedy vlastní adresu. Je možné jej umístit na kteroukoliv pozici ve skříni zařízení.

2.7 modul TRI a ObjCanon

Modul zajišťuje komunikaci s fotografickým objektivem firmy Cannon. Objektiv umožňuje elektronicky řídit clonu, zaostřovat a zjistit aktuální ohniskovou vzdálenost. Jelikož je objektiv určen pro ruční fotoaparáty, není konstruován na automatickou změnu ohniskové vzdálenosti (zoom). Ohniskovou vzdálenost však bude potřeba měnit povely z PC, proto je objektiv umístěn do speciální objímky, která umožňuje krokovým motorem otáčet kroužkem pro změnu ohniskové vzdálenosti.

Objektiv komunikuje po 4-vodičovém datovém spojení, které vychází ze sběrnice SPI. Původní sběrnice však neumožňuje signalizovat zaneprázdněnost podřízeného zařízení na sběrnici podřízené zařízení na sběrnici SPI (SPI slave). Objektiv zjevně obsahuje mikrokontroler s velmi malým výkonem a zpracování i jednoduchých povelů mu zabere určitý čas. Objektiv potřebuje hlásit nadřazenému systému, že probíhá zpracování a není schopen přijímat další povel. Tento stav „zaneprázdněný“ se objevuje po každém přijatém datovém bytu.

Tak jako standardní rozhraní SPI se objektiv připojuje signály SCK, MISO, MOSI. Linka SCK slouží k posílání hodinového signálu z řídicího zařízení do podřízeného. V případě objektivu však tato linka funguje obousměrně. Objektiv hlásí stav „zaneprázdněný“ nastavením této linky do stavu L. Řídicí systém musí tento

stav rozpoznat a počkat s odesláním dalšího datového bytu, než objektiv opět linku uvolní do stavu HiZ.

Modul pro komunikaci s objektivem sestává ze 2 částí. Jedna odesílá SPI povely do objektivu a je umístěna v jeho blízkosti. Důvodem je malá odolnost sběrnice SPI proti rušení. Druhá část je umístěna v hlavní skříni s elektronikou. Obě části spolu komunikují po sběrnici RS485. Protokol mezi moduly vchází z komunikačního protokolu řídicích modulů firmy Trinamic, neboť se uvažuje o použití modulu TRI i na jiném zařízení, kde budou použity právě řídicí moduly firmy Trinamic. Protokol je navržen pro maximální jednoduchost a výsledné řešení pro zařízení rLIBS to nijak nekomplikuje.

Obě části disponují mikrokontrolerem ATmega8. Modul v hlavní skříni používá rozhraní I²C a UART - RS485. Modul u objektivu komunikuje pomocí UART - RS485 a SPI. Každé komunikační rozhraní tedy využívá integrované hardwarové moduly v mikrokontroleru.

Komunikace s objektivem probíhá po celých bytech. SPI modul v mikrokontroleru je nastaven na režim 3 (aktivní úroveň linky SCK je H, snímání probíhá na vzestupné hraně). Snímání stavu linky SCK je přivedeno na pin PB1. Povely pro objektiv a zapojení jednotlivých pinů je převzato z [11].

Originální fotoaparáty připojují napájecí napětí pro polohovací motorky jen po dobu nezbytně nutnou. Praktické zkoušky ukázaly, že objektiv se po několika minutách připojeného napájecího napětí jaksí „zasekne“ o nereaguje na povely. Na modulu ObjCanon je tedy napájení pro elektroniku i silovou část spínáno MOSFET tranzistorem. Použitý tranzistor IRLML6402 umožňuje spolehlivě spínat proud až 2A (viz [12]).

2.7.1 Komunikační protokol TRINAMIC

Protokol definuje jeden typ datové zprávy s pevnou délkou 9 bytů. Jeho specifikace je převzata z [13] V tabulce 2.3 je uvedena struktura datové zprávy (rámce). Na sběrnici se jiné rámce nevyskytují.

Pro řízení objektivu se používá povel 7 (set axis parametr) dle protokolu Trinamic. Všechny povely jsou popsány v [13]. „Typ“ udává číslo nastavovaného parametru a hodnota jeho hodnotu. Pro čtení se používá povel 6 (get axis parametr) a hodnota může mít libovolný údaj. Modul u objektivu vždy odpoví rámcem se stejnou strukturou. Hodnota, na kterou byl vyslán požadavek, se vyskytne v poli „hodnota“, ostatní údaje jsou stejné jako v požadavku. Modul v hlavní skříni s elektronikou se chová jako řídicí systém a modul u objektivu je podřízený.

Kontrolní součet je tvořen aritmetickým součtem všech předchozích bytů. V případě přijetí rámce s nesprávným součtem je vyslána odpověď s příslušným chybovým

pozice	název	popis
0	adresa	adresa cílového zařízení
1	povel	příkaz k vykonání
2	typ	doplňující parametr
3	číslo motoru	číslo motoru pro víceosé řídicí moduly
4	hodnota (MSB)	parametr příkazu (4byte)
5	hodnota	
6	hodnota	
7	hodnota (LSB)	
8	sum	kontrolní součet zabezpečující data proti chybám

Tab. 2.3: Struktura datového rámce protokolu Trinamic

kódem ([13]).

Modul u objektivu se stará o přeposílání požadavků přímo do objektivu Canon. Odesílání spočívá v poslání jednoho bytu přes SPI rozhraní, poté pozorovat SCK linku, zda je v L nebo H. Jakmile je H, odeslat další byte. Povel, co se používají, jsou shrnuty v tabulce 2.4. Pokud je potřeba přijmout odpověď, pošle se příslušný počet nulových bytů, aby došlo k přečtení hodnoty. Kritická část zdrojového kódu je uvedena v příloze.

Číselné hodnoty jsou do objektivu posílány v přímé binární reprezentaci. Záporná čísla jsou poněkud netradičně řešena 1. doplňkem. Pohyb clony i ostření se zadává relativně vůči aktuální pozici. Objektiv umožňuje přečíst pozici ostření, ta je však vztažena k pozici při zapnutí napájení, takže údaj nemá žádnou vypovídací hodnotu.

Měřením bylo zjištěno, že objektiv odebírá v klidu 50 mA, několik vteřin po příjmu povelu je odběr přibližně 120 mA. Pokud se hýbe zaostřovacím motorkem, je odběr v době přeastřování až 1,3 A. Měření bylo provedeno vestavěným voltmetrem v laboratorním zdroji, nejedná se tedy o přesné údaje.

data	popis
0x07 0x13 0xkk	změna závěrky o k kroků (kladné i záporné)
0x44 0xkk 0xkk	změna ostření o k kroků (kladné i záporné)
0x0A	dotaz na připravenost objektivu, objektiv odpoví 0xAA
0xA0 0x00 0x00	dotaz na nastavení ohniskové vzdálenosti (zoom), vrací 2 byte
	parametr příkazu (4byte)

Tab. 2.4: Struktura dat pro objektiv Canon

3 SOFTWARE

3.1 Základní členění

Software pro jednotlivé moduly se dělí na společné knihovny a individuální soubory. Společné knihovny řeší komunikaci mezi moduly a starají se o hardware, který je na modulech společný. Zejména se jedná o rozhraní pro zjišťování adresy (pozice) a obsluha indikačních LED diod. Individuální soubory popisují vlastní chování daného modulu a konfigurační soubor pro společné knihovny. Nejprve jsou popsány společné knihovny.

3.2 Knihovny pro systémovou sběrnici

3.2.1 Společné a pro podrízené moduly

Jelikož musí všechny moduly na systémové sběrnici umožňovat komunikaci s hlavním řídicím modulem, byly vytvořeny jednotné knihovny pro snadnou implementaci společných funkcí do každého modulu. Knihovny sestávají ze souborů:

- **i2c** - základ I²C komunikace, převzato z [14] a upraveno. Nízkoúrovňové funkce pro I²C
- **SUB_lib** - základní funkce pro všechny moduly, vyšší funkce pro komunikaci, zjišťování adresy
- **SUB_var** - sdílené proměnné pro systémové knihovny
- **SUBM** - pouze pro master modul, funkce pro správu ostatních modulů a master komunikaci
- **SUBM_var** - sdílené proměnné pro master modul

Každá část se skládá z definičního souboru s koncovkou `.h` a vlastního kódu s koncovkou `.c`. Definice společných proměnných je řešena tak, že v souboru `.c` jsou nadefinované jednotlivé proměnné. Tím, že je definice vždy jen v jednom `.c` souboru se zajistí, že kompilátor nebude vytvářet duplicitní proměnné se stejnými názvy. V příslušném souboru `.h` jsou tyto proměnné deklarovány jako externí. Při použití proměnné v nějakém souboru tedy stačí příkazem `#include` připojit soubor `.h` a kompilátor bude vědět, že proměnné jsou definovány na nějakém společném místě. Linker pak zajistí správné přiřazení adres.

Klasický přístup k předávání dat v jazyce C většinou předpokládá předávání dat jako parametry funkcí. Tato metoda, která umožňuje přísnou kontrolu nad daty, která funkce do nich může a nemůže zasahovat, však v malých mikrokontrolérech není příliš vhodná. Předávání parametrů funkce je zdlouhavé a zbytečně nepřehledné (ve zkompileované formě). Knihovny proto používají k předávání informací globální

proměnné. Každá proměnná plní funkci nějakého spojovacího místa mezi několika funkcemi. Jelikož v tomto případě kompilátor nemůže kontrolovat téměř vůbec, zda je s proměnnými správně v programu nakládáno, je tato úloha plně na programátorovi. Hrozí tedy nebezpečí, že při špatně napsaném programu budou větší následky. Na druhou stranu je tento přístup pro procesor velmi rychlý na vykonání, nemusí složitě počítat adresu parametrů funkce, ale má pevně dané adresy proměnných již při kompilaci.

Každý modul potřebuje jako nutné minimum soubory **i2c**, **SUB_lib**, a **SUB_var**. Ty zajišťují komunikaci s řídicím modulem a vykonání základních systémových povelů (viz tab. 2.2). Funkce v souborech **i2c** jsou používány interně funkcemi z **SUB_lib** a není potřeba je externě volat samostatně.

Používané globální proměnné definované v **SUB_var** jsou:

- **byte** subI2Ctimeout = 0
- **byte** BusyTimeOut = 0
- **byte** CommTimeOut = 0
- **byte** SUB_addr = 0
- **byte** subBufR[8]
- **byte** subBufR_len
- **byte** subBufR_int[8]
- **byte** subBufR_int_len
- **byte** subBufT[8]
- **byte** subBufT_len
- **byte** subBufT_int[8]
- **byte** subBufT_int_len
- **struct** {byte SendFull: 1; byte RecvFull: 1; } subState

Proměnné **BusyTimeOut** a **CommTimeOut** odměřují dobu svitu indikačních LED „Busy“ a „Comm“ na předním panelu. Pokud má nenulovou hodnotu, je odměřován časový okamžik. Při dosažení nulové hodnoty je LED dioda zhasnuta. Nastavování provádí funkce **SUB_Busy()**, **SUB_Comm()** a přerušení z časovače.

SUB_addr obsahuje adresu modulu zjištěnou ze systémového konektoru - odpovídá tedy pozici modulu v sestavě. Může sloužit pro libovolné funkce při běhu programu.

subBufR je oblast pro celou datovou zprávu. Slouží pro příjem dat z řídicího modulu. Pokud řídicí modul nějaká data poslal, je potřeba zavolat funkce **SUB_Receive()** a přijatá data jsou přesunuta do této proměnné. Její velikost (9 bytů) odpovídá maximální velikosti zprávy na systémové sběrnici. Skutečná délka dat je uložena v **subBufR_len**.

Data z řídicího modulu jsou přijímána uprostřed přerušení. Nově přichozí data tedy nemohou být ihned zapsána do proměnné **subBufR**, aby nemohlo dojít ke

změně obsahu uprostřed vykonávání jedné funkce. Data jsou tedy nejprve dočasně umístěna do proměnné **subBufR_int**, kde vyčkávají na zavolání funkce **SUB_Receive()**. Délka dat je uložena v příslušné proměnné **subBufR_int_len**.

Obdobnou úlohu mají i proměnné **subBufT**, **subBufT_len**, **subBufT_int** a **subBufT_int_len**, slouží však k odesílání dat do řídicího modulu. Data jsou nejprve naskládána do **subBufT** a je nastavena jejich délka do **subBufT_len**, poté je zavolána funkce **SUB_Send()**. Tato funkce zkontroluje, že fronta povelů čekajících na odeslání není již plná a v případě úspěchu data předsune do proměnné **subBufR_int** a nastaví příznak v STATUS bytu modulu. Řídicí modul při pravidelném dotazování zjistí nastavení tohoto příznaku a zajistí odeslání dat. Program v modulu má však ihned po zavolání odesílací funkce proměnnou **subBufT** uvolněnou k sestavování další datové zprávy na odeslání.

Proměnná **subState** je bitovým polem obsahujícím příznaky indukující, že je fronta zpráv (přijímací/odesílající) plná. Je používána opět interně.

Soubor **SUB_lib** zpřístupňuje funkce:

- **void SUB_init()** - inicializace I²C rozhraní a základních funkcí modulu
- **byte SUB_getAddr()** - zjistí aktuální adresu modulu (z pozice modulu)
- **void SUB_Busy()** - blikne příslušnou LED diodou na předním panelu
- **void SUB_Error()** - rozsvítí příslušnou LED diodu na předním panelu
- **byte SUB_Send()** - odešle data do řídicího modulu
- **byte SUB_Send_int(u08 transmitDataLengthMax, u08* transmitData)** - pro interní použití
- **byte SUB_Receive()** - přijme data z řídicího modulu
- **void SUB_Receive_int(u08 receiveDataLength, u08* recieveData)** - pro interní použití
- **void SUB_setAddr(u08 addr)** - nastaví adresu pro komunikaci (pro I²C rozhraní)

SUB_init() inicializuje I²C rozhraní, rozhraní pro zjišťování adresy modulu a další společné hardwarové znaky modulu (LED diody, ...).

Adresa modulu plynoucí z pozice v sestavě je zjištěna funkcí **SUB_getAddr()**. Funkce používá k přečtení adresy posuvný registr, nalézající se na většině modulů. Pokud má modul zjišťování adresy zajištěno nějakou nestandardní cestou (použití hardwarového SPI rozhraní), je potřeba při kompilaci nastavit příznak preprocesoru **NON_STANDART_ADDR_INTERFACE** a definovat tuto funkci samostatně v uživatelské části programu (mimo knihovnu).

Každý modul je vybaven indikační LED pro signalizaci využití modulu. Pro základní použití je možné zavolat funkci **SUB_Busy()**, která způsobí krátký záblesk (0,8 ms) této indikační LED diody. Doba záblesku byla experimentálně stanovena tak, aby byl dobře zřetelný a zároveň aby i docela rychlý sled záblesků nesplýval

dohromady.

Funkce **SUB_Receive()** a **SUB_Send()** slouží v uživatelských funkcích ke komunikaci s řídicím modulem. Jejich užití je popsáno výše. Oproti tomu funkce **SUB_Receive_int** a **SUB_Send_int** jsou volány automaticky při událostech na I²C sběrnici. Jsou volány v přerušení, asynchronně.

Adresa modulu pro komunikaci může a nemusí být známa v době inicializace (**SUB_init**). Pokud je pro zjištění adresy použita nějaká jiná metoda než softwarové SPI a posuvný registr, je její zjištění knihovnou nemožné. Je tedy nutné vždy při startu modulu nastavit adresu pro příjem/vysílání pomocí funkce **SUB_setAddress(addr)**. Při standardním zapojení modulu stačí zavolat nejprve funkci **SUB_init()** a ihned poté **SUB_setAddr(SUB_addr)**. Adresa by se měla nastavit jen 1x při startu modulu, řídicí modul nepředpokládá, že by se adresa měnila v průběhu fungování.

3.2.2 Pro řídicí modul

Pro řídicí modul jsou určeny další knihovny, které slouží jako nádstavba ke knihovnám základním. Jedná se o soubory:

- **SUBM** - Funkce pro správu dat na sběrnici
- **SUBM_var** - sdílené proměnné pro SUBM knihovnu

Řídicí modul potřebuje proměnné, kde si uchovává stav jednotlivých modulů, jedná se konkrétně o proměnné:

- **byte** ScanPosition
- **byte** ModuleStatus[ScanMax+1]
- **byte** ModuleOverflow[ScanMax+1]
- **byte** PendingData[ScanMax+1]

Proměnná **ScanPosition** uchovává číslo modulu se kterým se aktuálně pracuje. Moduly jsou postupně dotazovány v hlavní programové smyčce. Při každém průchodu se řídicí modul dotáže jednoho podřízeného modulu na STATUS byte a počet dat k odeslání, tím se neustále aktualizují pole **ModuleStatus** a **PendingData**.

Pole **ModuleOverflow** slouží k záznamu, kolikrát došlo při komunikaci s daným modulem k chybě. Nejčastější výskyt chyby je odesílání příliš mnoho příkazů v rychlém sledu za sebou. Údaj je určen pro ladící účely.

Funkce v souborech **SUBM** jsou:

- void **SUBM_init()** - inicializace všech modulů
- void **ScanPendingData()** - aktualizuje jeden prvek pole PendingData
- void **ScanStatus()** - aktualizuje jeden prvek pole ModuleStatus
- byte **SUBM_Send()** - odesílá data do modulů
- byte **SUBM_Receive()** - přijímá data z modulů

- void **SUBM_send_config()** - odešle konfiguraci jednomu modulu

Kromě funkce **SUBM_init** se všechny ostatní funkce týkají vždy jednoho konkrétního podružného modulu. Jeho adresu je potřeba před zavoláním funkce nastavit do proměnné **ScanPosition**. Všechny funkce opět používají k předávání parametrů sdílené proměnné. Jen funkce pro přímé posílání dat vrací návratovou hodnotu. Buď 0 značící úspěch nebo nenulové hodnoty znamenající kód chyby. Chybové kódy jsou popsány vždy v komentáři na začátku těla funkce v souboru **.c**. Jelikož není potřeba v řídicím modulu volat funkce pro příjem/odesílání dat, které jsou určeny pro podřízené moduly, používají funkce **SUBM_Send()** a **SUBM_Receive()** proměnné pro výměnu dat nadefinované v souboru **SUB_var.h**.

Funkce pro příjem/odesílání dat nepoužívají na rozdíl od podřízených modulů systém přerušování, ale jsou vykonány okamžitě. Tato strategie je výhodná, neboť jsou povely odeslány bezprostředně po zavolání funkce a po návratu z funkce můžeme ihned vyžadovat odpověď od modulu. Na druhé straně je třeba při používání knihovny pamatovat na to, že při odeslání většího množství povelů jednomu modulu bez vložených mezer, nemusí modul zpracovat všechny povely.

Řídicí modul dále komunikuje se sériovou pamětí typu EEPROM. Knihovna pro komunikaci byla převzata z [15].

3.2.3 Fungování komunikace na systémové sběrnici

Při inicializaci nejprve řídicí modul počká přibližně 1 sekundu, aby se všechny ostatní moduly stihly zinicilizovat. Poté postupně všem modulům pošle požadavek na STATUS byte a kontroluje odpovědi. Pokud modul nepotvrdí přijetí požadavku, řídicí modul předpokládá, že na dané adrese se žádný modul nenachází. Pokud je povel potvrzen (ACK), tak se přejde ke kontrole odpovědi od modulu. Pokud je odpověď v pořádku, máme aktuální stav existujícího modulu. Pokud odpověď není v pořádku, je modul označen za nefunkční. Tabulka tab. 3.1 shrnuje všechny chybové kódy, které se mohou vyskytnout místo STATUS bytu.

kód	popis
0xf0	na dané pozici je řídicí modul
0xfe	modul neodpověděl na povel SUB_SMD_STATUS - neexistuje
0xfd	modul neodpověděl na povel SUB_SMD_STATUS - neexistuje
0xfc	modul neodpověděl na povel SUB_CMD_FLUSH
0xfb	modul neodpověděl na povel SUB_CMD_NULL
0xfa	modul vrátil nesprávnou odpověď na dotaz SUB_CMD_STATUS

Tab. 3.1: chybové kódy při inicializaci modulu (STATUS byte)

Jak již bylo popsáno výše, řídicí modul neustále dotazuje podružné moduly požadavkem na jejich STATUS byte. Z něj se dá poznat, zda modul nechce odeslat nějakou odpověď do PC. Dále je dotazován počet dat k přenosu (PendingData).

Povely, které lze přenášet mezi moduly mají omezenou délku na 7 datových bytů. Pro přenos většího množství dat (například konfigurační data pro modul) se používá pomocný komunikační kanál. O jeho realizaci se stará jak řídicí modul, tak i podružné moduly. Nejprve popíšeme situaci, kdy chce řídicí modul poslat data podružnému modulu.

Řídicí modul oznámí přenos dat posláním povelu SEND_SIZE (viz tab. 2.2). Jako parametr pošle počet bajtů určených k přenosu. Poté začne posílat data v povelu SEND. Parametrem je číslo aktuálního bloku a vlastní data. Neustálou kontrolou STATUS bytu se zjišťuje, zda byla data dobře doručena. Po odeslání všech bloků dat se komunikace nijak neuzavírá.

Při zpětné komunikaci z libovolného modulu do řídicího je fungování trochu odlišné. Řídicí modul se neustále dotazuje všech modulů povelu RCV_SIZE na množství dat k přenosu. Pokud není třeba nic přenášet, modul vrátí v odpovědi hodnotu 0. Pokud se v odpovědi vrátí nenulová hodnota, začne řídicí modul data vyžadovat povelu RCV. Parametrem je opět číslo bloku k přenosu. Pokud při přenosu dojde k chybě, řídicí modul si vyžádá daný blok znovu.

Na tomto asynchronním přenosu se musí řídicí modul dohodnout s daným modulem pomocí dalších povelů. Například řídicí modul pošle do daného modulu konfigurační data a pak pošle povel informující modul, že ve vyrovnávací paměti pro velké objemy dat má svoje konfigurační data.

3.3 Software v jednotlivých modulech

3.3.1 modul KROK

Modul využívá knihovnu pro generování impulzů pro budiče krokových motorů driver_KROK. Knihovna potřebuje ke své činnosti čítač/časovač 1, mikrokontroleru ATmega8. Pomocí něj odměřuje časové intervaly, ve kterých softwarově generuje impulzy na zvolených pinech procesoru. Knihovna je napsána pro obsluhu dvou krokových motorů, není však problém ji v případě potřeby rozšířit na větší počet ovládaných motorů.

Knihovna umožňuje generovat určitý počet impulzů s nastavenými časovými rozestupy a jednoduše nastavovat řídicí signály pro volbu režimu budiče. Základní funkce, které jsou určeny pro volání z vnějšku jsou:

- void **DRV_init()** - inicializace knihovny, nastaví časovač
- void **DRV_transfer()** - nastaví výstupy, přijme vstupy

- void **DRV_output()** - pouze odešle výstupy
- void **DRV_Enable()** - zapne budiče motorů
- void **DRV_Disable()** - vypne budiče motorů
- void **DRV_Reset()** - nastaví nulovací signál
- void **DRV_Reset_off()** - zruší nulování
- void **DRV_Sleep()** - nastaví režim spánku
- void **DRV_Sleep_off()** - zruší režim spánku
- void **DRV_SetMode_DRV1(byte mode)** - nastaví mikrokrokování motoru 1
- void **DRV_SetMode_DRV2(byte mode)** - nastaví mikrokrokování motoru 2
- void **DRV_GenPulse1(int a)** - otočí motorem 1 o **a** kroků
- void **DRV_GenPulse2(int a)** - otočí motorem 2 o **a** kroků

Před začátkem používání je nutné zavolat funkci **DRV_init()**, která nastaví čítač/časovač 1 a všechny vnitřní proměnné do výchozích hodnot. Funkce pro nastavování (Enable/Disable/Sleep/Reset) neprovedou změnu okamžitě, ale jen nastaví příslušné bity ve stavových proměnných. Jejich odeslání na výstupy se děje až funkcí **DRV_output()**. Pokud potřebujeme i načíst vstupy, použijeme místo ní funkci **DRV_transfer()**. Stav vstupu jsou načteny do proměnných **SUB_addr** a **drv_INPUT**. Přímé nastavení všech signálů do budičů je možné přes proměnné **drv_DRV1_setting** a **drv_DRV2_setting**. Jedná se o strukturu s následujícím uspořádáním:

```
union uDRV_setting {
    byte data;
    struct {
        byte nc    : 1;
        byte enI   : 1;
        byte ms2   : 1;
        byte ms3   : 1;
        byte rstI  : 1;
        byte slpI  : 1;
        byte ms1   : 1;
        byte dir   : 1;
    };
};
```

Jednotlivé bitové proměnné odpovídají signálům na budiči motoru. Velké písmeno „I“ značí, že daný signál je aktivní v log. 0. Bit **nc** je nevyužitý, doplňuje však datovou strukturu na délku 8 bitů. Asi nejdůležitější je bit **dir**, který určuje směr

otáčení motoru. Je vhodné jej nastavit vždy před zahájením generování impulzů.

Rychlost otáčení lze nastavit pro každý motor zvlášť v proměnných **drvTimer1** a **drvTimer2**. Číslo udává počet tiků, do kterých má časovač 1 napočítat mezi dvěma následujícími pulzy. Jedná se tedy o dělitel základního kmitočtu 7372,8 kHz, který je dán použitým krystalem na modulu a nastavením předděličky u časovače (v našem případě 0).

Vlastní pohyb motoru se zahájí zavoláním funkce **DRV_GenPulse1(int a)** nebo **DRV_GenPulse2(int a)**. Jako parametr se předá počet impulzů, které se mají vygenerovat. Pokud je mikrokrokování nastaveno na 1:1, odpovídá počet implzů počtu kroků o které se motor otočí.

Nastavení pinů MCU, kde jsou generovány impulzy pro budiče, se provádí definicí v souboru **driver_KROK.h**. Jedná se konkrétně o hodnoty **DRV_PULSEx_PORT** a **DRV_PULSEx_PIN**.

Modul přijímá ze systémové sběrnice povely pro řízení motorů. Seznam povelů a jejich význam je uveden v tab. 3.2. Povely pro vypnutí, zapnutí a vynulování se vždy týkají obou budičů, žádné dodatečné parametry se neposílají. Ostatní povely potřebují následující parametr typu byte, který určuje se kterým motorem chceme danou operaci provést. Pro první motor se posílá číslo 0 a pro druhý motor lze odeslat libovolné jiné číslo. Nastavení mikrokrokování je v rozsahu 0 až 7. Přičemž 0 odpovídá vypnutému mikrokrokování. Rychlost se nastavuje v periodách časovače 1. Počet kroků lze zadat kladný i záporný, modul sám nastaví správný směr.

Pokud je alespoň jeden z obou motorů v pohybu, je nastaven bit BUSY v STATUS bytu. Pokud modul přijme povel pro otočení o určitý počet kroků, je automaticky okamžitě zastaveno provádění povelu předchozího.

povel	1. parametr	2 parametr	popis
'0'	-	-	vypne oba budiče
'1'	-	-	zapne oba budiče
'X'	-	-	vynuluje oba budiče
'S'	byte motor	word rychlost	nastaví jednomu motoru rychlost
'R'	byte motor	word kroky	otočí jedním motorem o daný počet kroků
'M'	byte motor	byte režim	nastaví mikrokrokování jednomu motoru

Tab. 3.2: Povely pro modul KROK

4 VÝROBA

4.1 Mechanická konstrukce

Základem zařízení je přístrojová skříň ve formátu subracku zakoupená od firmy Schroff. Spolu s ní byly zakoupeny přední a zadní panýlky ze slitiny hliníku, eloxované. Potřebné otvory byly vyfrézovány dvoubřitou frézou o průměru 2 mm a délce břitů 7 mm, na malé CNC frézce GV21 zakoupené od firmy Gravos. Frézované byly jak obdélníkové díry na konektory, tak i kulaté díry na LED. Použitá fréza zanechává ve všech vnitřních rozích rádius 1 mm. Ten ve většině případů nepřekáží. V případě potřeby není problém vnitřní rohy dopilovat jehlovým pilníkem ručně.

Výkresy jednotlivých dílů byly zhotoveny v programu AutoCAD (Autodesk). Poté byl výkres ve formátu .dwg načten v CAM softwaru MasterCAM. Software typu CAM je určen pro editaci drah nástrojů pro obráběcí stroje podle 2D nebo 3D výkresů.

Otvory byly nejprve předfrézovány s hrubovacími parametry. Frézování probíhá rychleji, ale obráběný povrch je hrubší. Poté byly přefrézovány na finální rozměr s parametry, které sice znamenají delší obrábění, ale zajišťují lepší kvalitu výsledného povrchu.

Použité hodnoty byly zkusmo zjištěny při výrobě jiných dílů na stejném stroji a stejným nástrojem. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.1.

parametr	hodnota	jednotka
řezná rychlost (hrubování)	1300	mm/s
řezná rychlost - svislá	300	mm/s
řezná rychlost	300	mm/s
úběr (hrubování)	0,1	mm
úběr	0,3	mm

Tab. 4.1: Obráběcí parametry použité při opracování dílů skříně

Fréza byla vždy chlazena chladicí emulzí na bázi oleje a vody.

4.2 Desky plošných spojů

Desky plošných spojů byly vyráběny leptáním. Předloha byla přenesena fotocestou.

Motiv celého rozkladu byl ve formátu .pdf vytisknut na laserové tiskárně na průhlednou fólii. Toner z tiskárny však na povrchu fólie tvoří oddělené shluky a místa, která by měla být plně pokryta tonerem jsou značně průsvitná. Proto byla

fólie umístěna do výparů acetonu na dobu 1 hodiny. Výpary toner rozpouští a zbůsobí jeho „slití“ do jednotného celku. Nevýhodou je jisté rozmazání ostrých hran. Nejvíce patrné je rozmazání v ostrých rozích (vnějších i vnitřních). Velikost nepřesnosti je ale menší jak 0.15 mm a nemá zásadní vliv na kvalitu předlohy.

Poté je fólie s vytisknutým motivem umístěna na budoucí desku plošného spoje. Deska byla zakoupena již s naneseným fotorezistem. Celek byl ze vzdálenosti 30 cm osvětlen „horským sluncem“ po dobu 20 minut. Skutečná doba expozice je kratší, neboť prvních 3-5 minut se UV výbojka zahřívá a nesvítí na plnou intenzitu.

Fotorezist byl vyvolán v 2% roztoku NaOH (ředěno vodou). Vyvolání trvá 2 minuty. Po vyvolání byla deska opláchnuta čistou vodou a odmaštěna technickým benzínem.

Samotné leptání probíhá v roztoku chloridu železitého (obchodní název ELCHEM-CO). Deska byla položena na hladinu roztoku, leptanou stranou dolů. Vlivem velkého povrchového napětí se deska udrží na hladině. Leptání trvá zpravidla 40 - 70 minut, podle toho, jak je leptací roztok čerstvý. Půl litru roztoku zvládne vyleptat přibližně 15 rozkladů (200x150). Vyčerpaný roztok leptá pomaleji a méně stejnoměrně, některá místa tak zůstávají nedoleptaná a jiná přeleptaná.

Po vyleptání byla deska opět opláchnuta čistou vodou a opatřena nátěrem kalafuny rozpuštěné v acetonu. Zamezí se tím případné oxidace mědi a zlepší pájitelnost desky. Dojde však ke zhoršení povrchu desky (povrch není hladký). Téměř hotová deska byla upnuta do CNC obráběcí frézky, kde byly vyvrtány otvory dle návrhu DPS. Dále byly pomocí frézy 2mm desky rozfrézovány. Tím se zajistí správné rozměry a hladký povrch desky ze stran. Další metodou dělení je stříhání na pákových nůžkách, které však nejsou nijak přesné a hrana desky je trochu olámaná.

5 ZÁVĚR

V rámci studentské práce byla navržena základní koncepce řídicí elektroniky pro měřicí systém dálkové spektroskopie (rLIBS). Z důvodu vývoje celého zařízení nebylo dlouho jasné, které součásti budou v sestavě umístěny a co všechno bude potřeba řídit. Systém je z toho důvodu navržen modulárně, aby byl velmi univerzální. Navíc vychází z průmyslového standardu, což umožňuje do skříně elektroniky umístit hotové moduly zakoupené jako celky.

V současné době není stále známa konečná verze celého měřicího systému. Probíhá návrh sběrné optické soustavy a dalších důležitých celků. S měřicím systémem bylo tedy provedeno několik zkoušek, avšak v současné podobě není schopen měření spekter. Zkoušky řídicí elektroniky byly provedeny přes jednoduchý terminálový program. Vlastní software pro PC na ovládání zatím vytvořen nebyl. Nebylo možné ani provést měření s celým systémem, některé jeho části ještě nejsou vyrobeny.

V rámci řešení bylo navrženo několik základních modulů, které byly sestaveny a otestovány. V současné době jsou otestovány všechny základní funkce. Změny na zařízení v průběhu řešení ukázaly, že zvolená modulová koncepce je dobrá. Zatím realizované moduly jsou také schopny plnit svou funkci.

Jedná se o modul pro komunikaci s pohony pro natáčení zaměřovací hlavy (modul MOT). Dále o modul pro komunikaci s objektivem od firmy Canon, který je umístěn na zaměřovací kameře (modul TRI a ObjCanon). Další modul umožňuje ovládat 2 malé krokové motory (modul KROK). Poslední modul slouží k napájení elektroniky (modul DC).

Všem výkonným modulům je nadřazený modul s označením USB, který zajišťuje správu mezimodulové komunikace a připojení celé elektroniky k PC pomocí USB rozhraní.

LITERATURA

- [1] CREMERS, D., A., RADZIEMSKI, L., J. *Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*. 1st ed. New York: Wiley, 2006.
- [2] VÍTKOVÁ, G., NOVOTNÝ, K., PROKEŠ, L., HRDLIČKA, A., KAISER, J., NOVOTNÝ, J., MALINA, R., PROCHAZKA, D. *Fast identification of biominerals by means of remote laser-induced breakdown spectroscopy using linear discriminant analysis and artificial neural networks*. *Spectrochimica Acta Part B*, 2012, vol. 73, p. 1–6.
- [3] NOVOTNÝ, J., KAISER, J., MALINA, R., PROCHAZKA, D., LIŠKA, M., NOVOTNÝ, K., GALIOVÁ, M., HRDLIČKA, A. *Vývoj a vybrané aplikace aparatur pro laserovou spektroskopii na Ústavu fyzikálního inženýrství FSI VUT v Brně*. Sborník 14. Česko-Slovenské Spektroskopické Konference. 1. 2010. s. A2 (A2 s.) ISBN: 978-80-7395-282- 2.
- [4] NOVOTNÝ, Jan. *Dálkově řízená laserová spektroskopie (LIBS): Remote laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)*. Brno, 2012. 97 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jozef Kaiser, Ph.D.
- [5] BRADA, M. *Polohovací jednotka pro laserovou spektroskopii*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojínského inženýrství, 2012. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D.
- [6] IEEE 1101.1. *IEEE Standard for Mechanical Core Specifications for Microcomputers Using IEC 60603-2 Connectors..* revision 1991. New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1998. Dostupné z URL: <http://ph-dep-ese.web.cern.ch/ph-dep-ese/crates/standards/1101_1.pdf>.
- [7] Atmel. *Datasheet Atmega8A*. [online]. 2011 [cit. 27. 3. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.atmel.com/images/doc8159.pdf>>.
- [8] Philips Semiconductors *THE I 2C-BUS SPECIFICATION* [online]. 2000 [cit. 20. 5. 2013]. Dostupné z URL: <www.nxp.com/documents/other/39340011.pdf>.
- [9] FTDI *Datasheet FT232R* [online]. 2010 [cit. 31. 3. 2013]. Dostupné z URL: <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf>.

- [10] *Stepper motor driver* [online]. 2013 [cit. 20. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.pololu.com/catalog/product/1182/>>.
- [11] *Canon EF-S lens Protocol*. [online]. 2011 [cit. 24. 3. 2013]. Dostupné z URL: <<http://pickandplace.wordpress.com/2011/10/05/canon-ef-s-protocol-and-electronic-follow-focus/>>.
- [12] International Rectifier *Datasheet IRLML6402* [online]. [cit. 22. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlml6402.pdf>>.
- [13] *TMCL™ FIRMWARE MANUAL* [online]. 2012 [cit. 24. 3. 2013]. Dostupné z URL: <http://www.trinamic.com/tmctechlibcd/modules/TMCM-1021/TMCM-1021_TMCL_firmware_manual.pdf>.
- [14] STANG, P. *Procyon AVRlib* [online]. 2005 [cit. 12. 12. 2012]. Dostupné z URL: <<http://www.procyonengineering.com/embedded/avr/avr-lib/>>.
- [15] *Software I2C Library for AVR MCUs*. In: *EXtreme Electronics* [online]. 2011 [cit. 7. 3. 2013]. Dostupné z URL: <<http://extremeelectronics.co.in/avr-tutorials/software-i2c-library-for-avr-mcus/>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

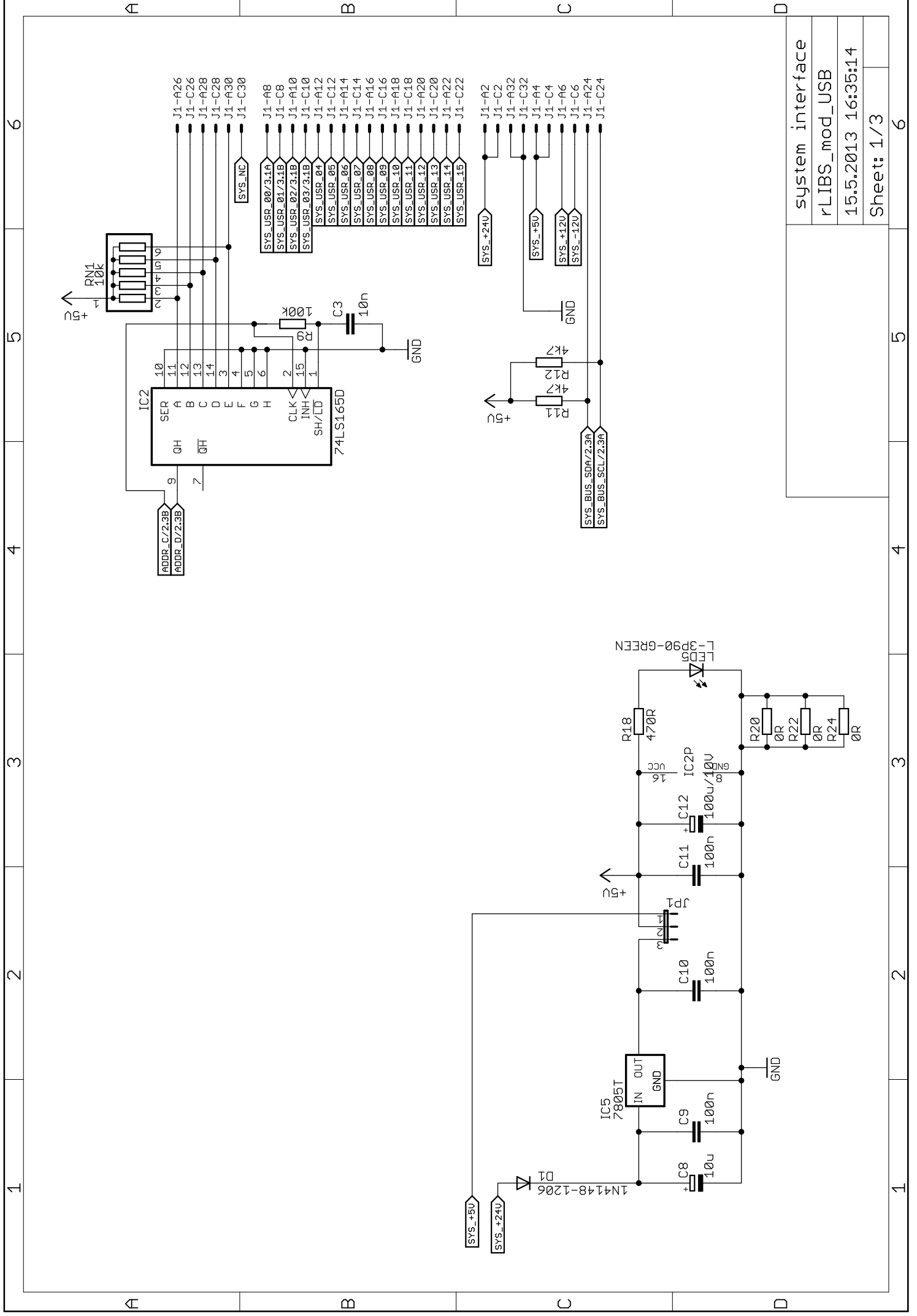
- SPI Serial Peripheral Interface - standardizovaná sběrnice
- SPI slave podřízené zařízení na sběrnici SPI
- I²C standardizovaná sběrnice
- UART universal asynchronous receiver/transmitter
- RS485 poloduplexní průmyslová sběrnice
- PISO parallel in serial out - typ posuvného registru s paralelním vstupem a sériovým výstupem
- PC Personal computer - osobní počítač
- MCU microcontroller unit - mikrokontrolér
- CAM Computer Aided Machining - počítačem podporované obrábění
- FSI Fakulta strojního inženýrství
- HP horizontal pitch - délková jednotka v 19"rozvaděčích, 1 HP = 5,08 mm (0,2 palce)
- U rack unit - délková jednotka v 19"rozvaděčích, 1 U = 44,45 mm (1,75 palce)
- USB Universal serial bus - rozhraní na PC pro připojení libovolných zařízení

SEZNAM PŘÍLOH

A	Výrobní dokumentace	39
A.1	modul USB	39
A.2	modul MOT	45
A.3	modul TRI	49
A.4	modul ObjCanon	53
A.5	modul KROK	57
A.6	modul DC	62
A.7	výkresy	66
B	Fotografie	68
C	Struktura složek na přiloženém CD	73

A VÝROBNÍ DOKUMENTACE

A.1 modul USB



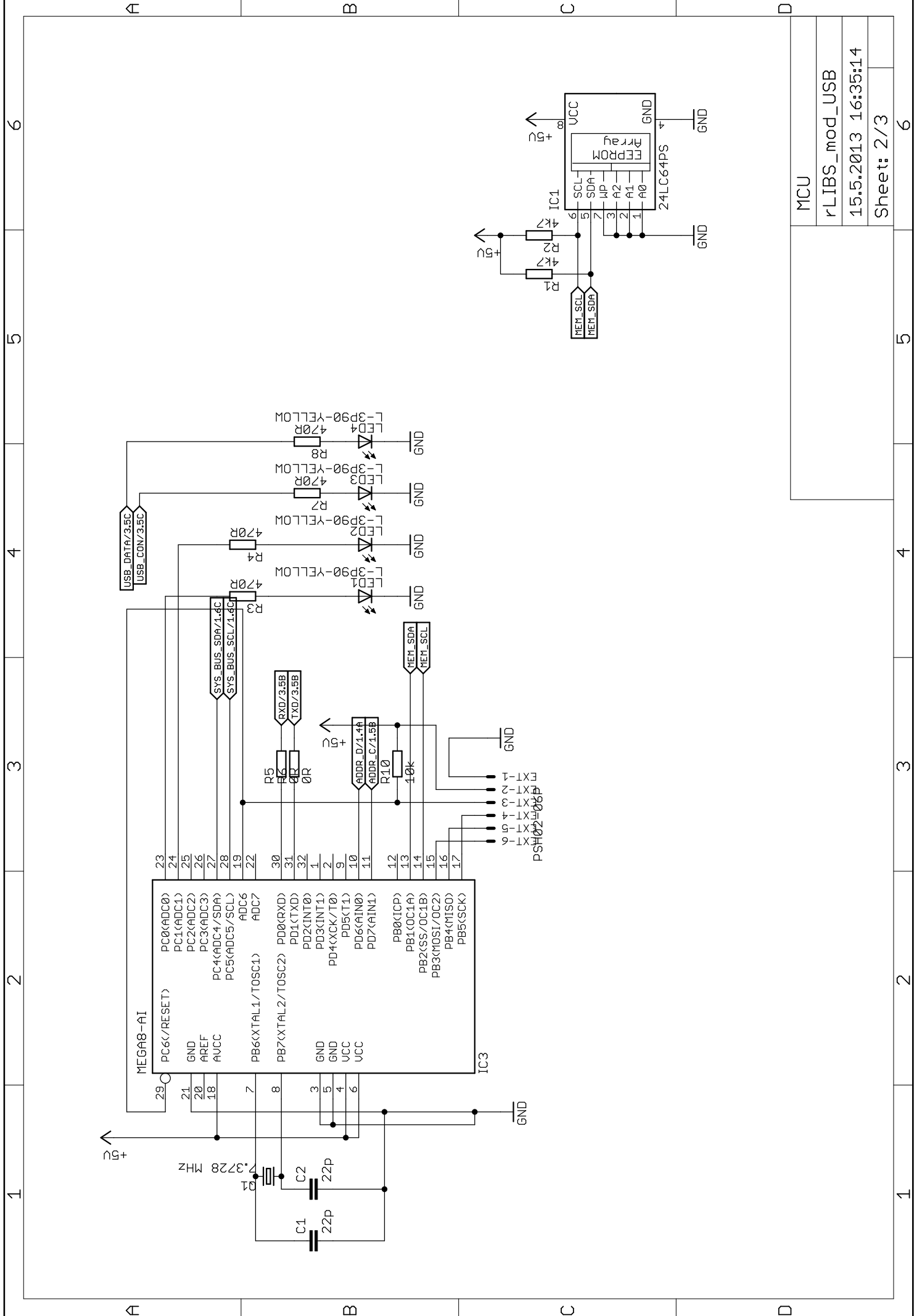
1 2 3 4 5 6

A B C D

system interface	
rLIBS_mod_USB	
15.5.2013 16:35:14	
Sheet: 1/3	6

1 2 3 4 5 6

A B C D



MCU	
rLIBS_mod_USB	
15.5.2013 16:35:14	
Sheet: 2/3	

6

5

4

3

2

1

A

B

C

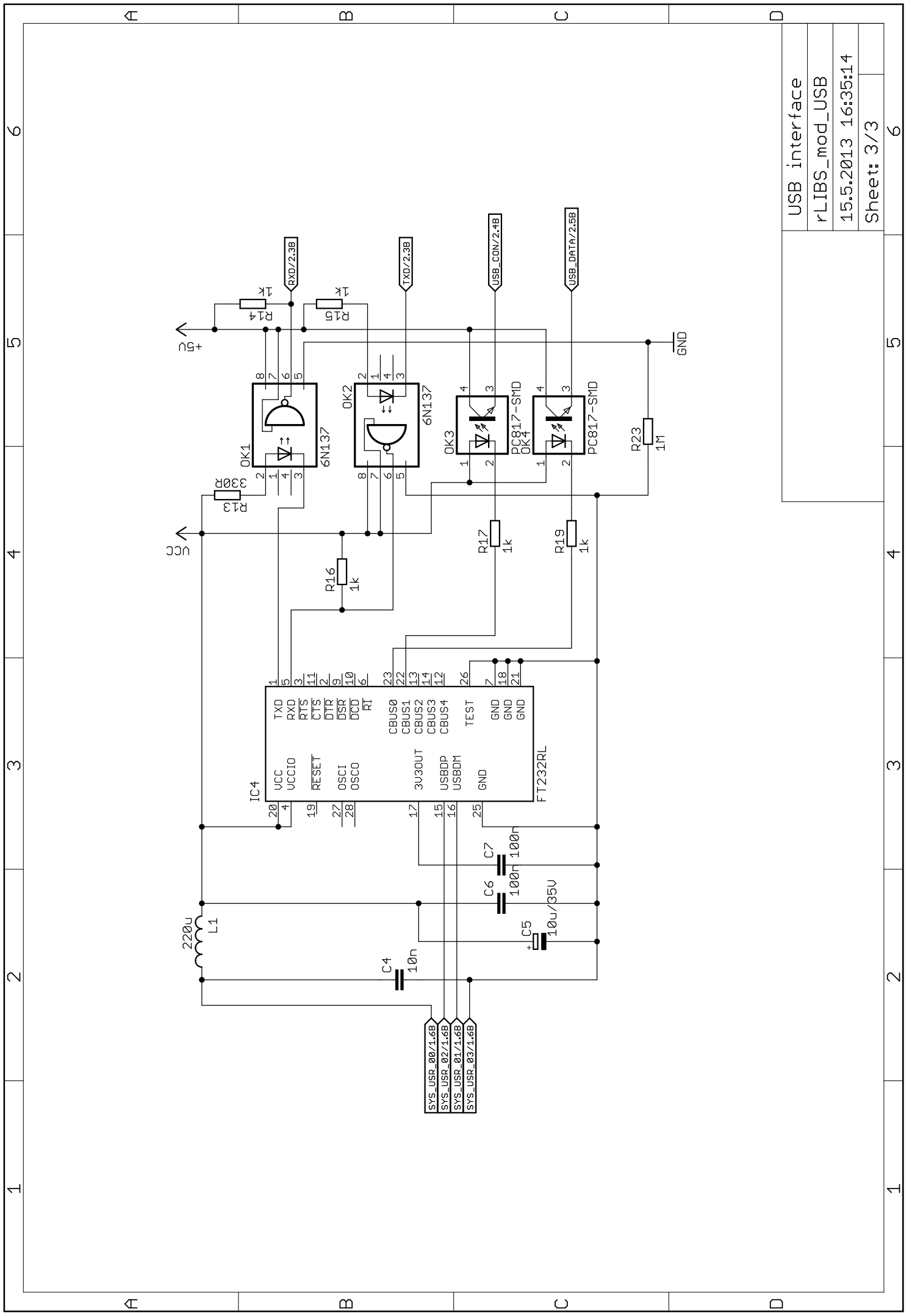
D

A

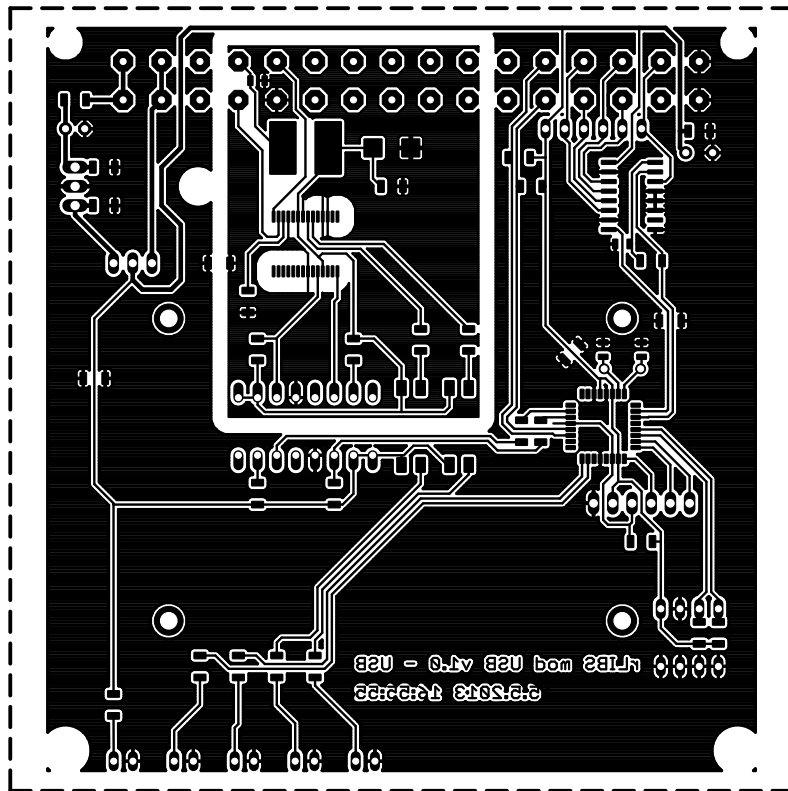
B

C

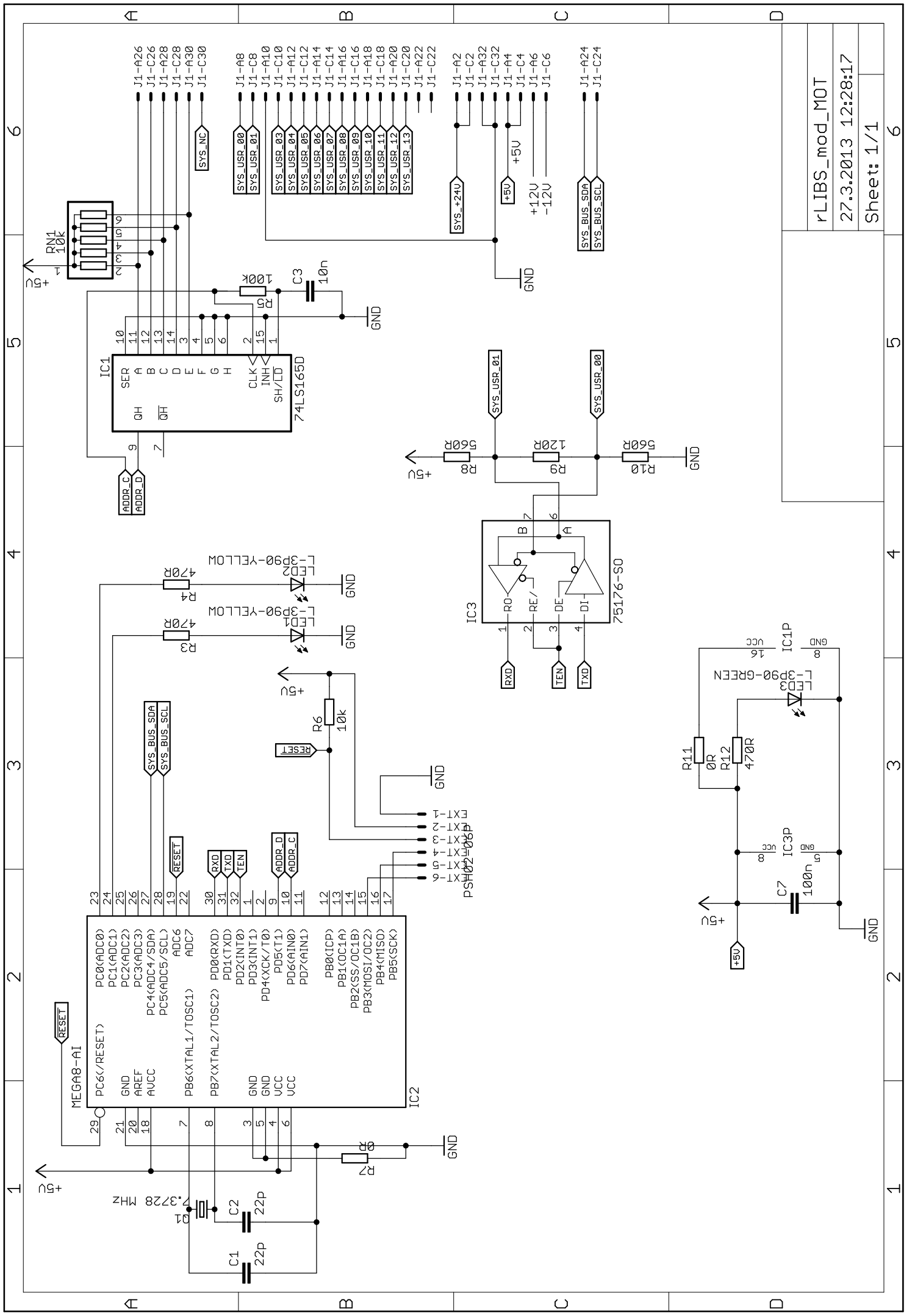
D



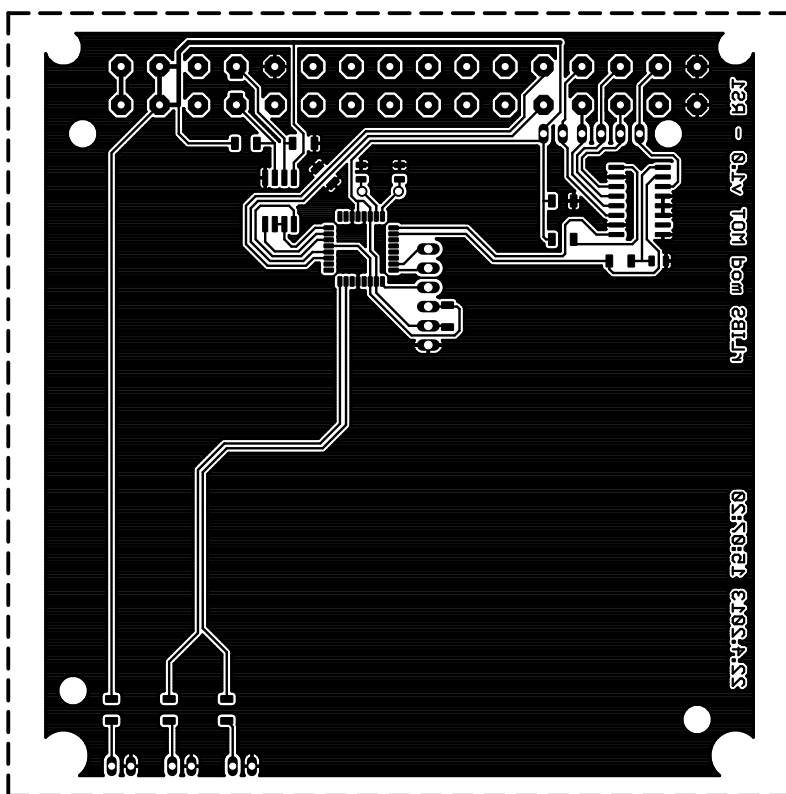
USB interface	
rLIBS_mod_USB	
15.5.2013 16:35:14	
Sheet: 3/3	6

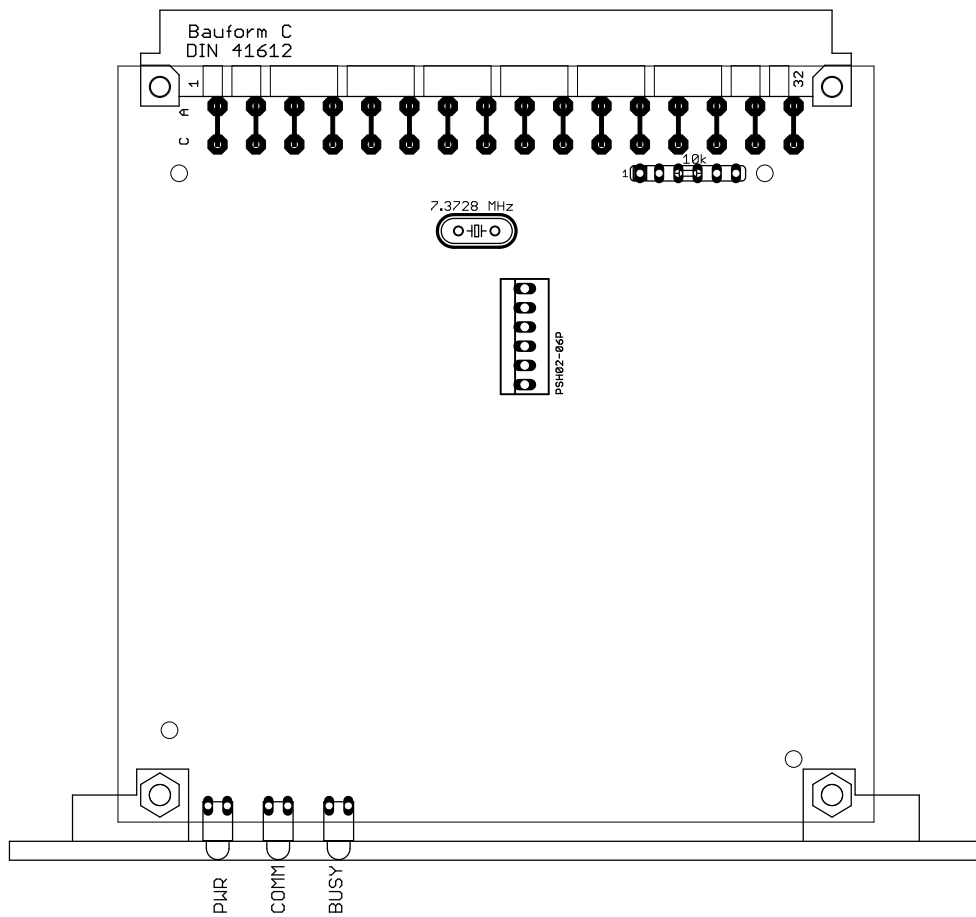
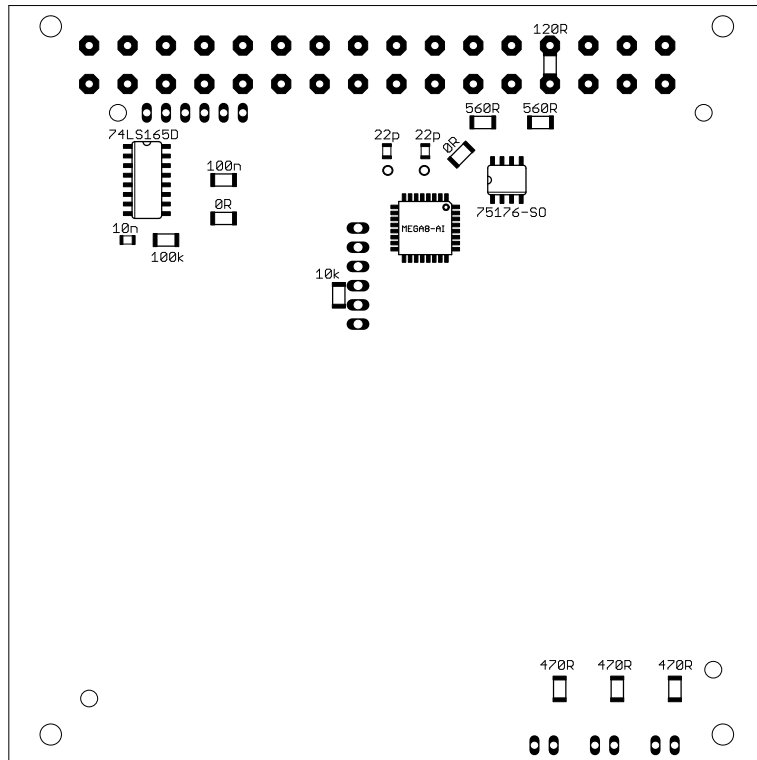


A.2 modul MOT

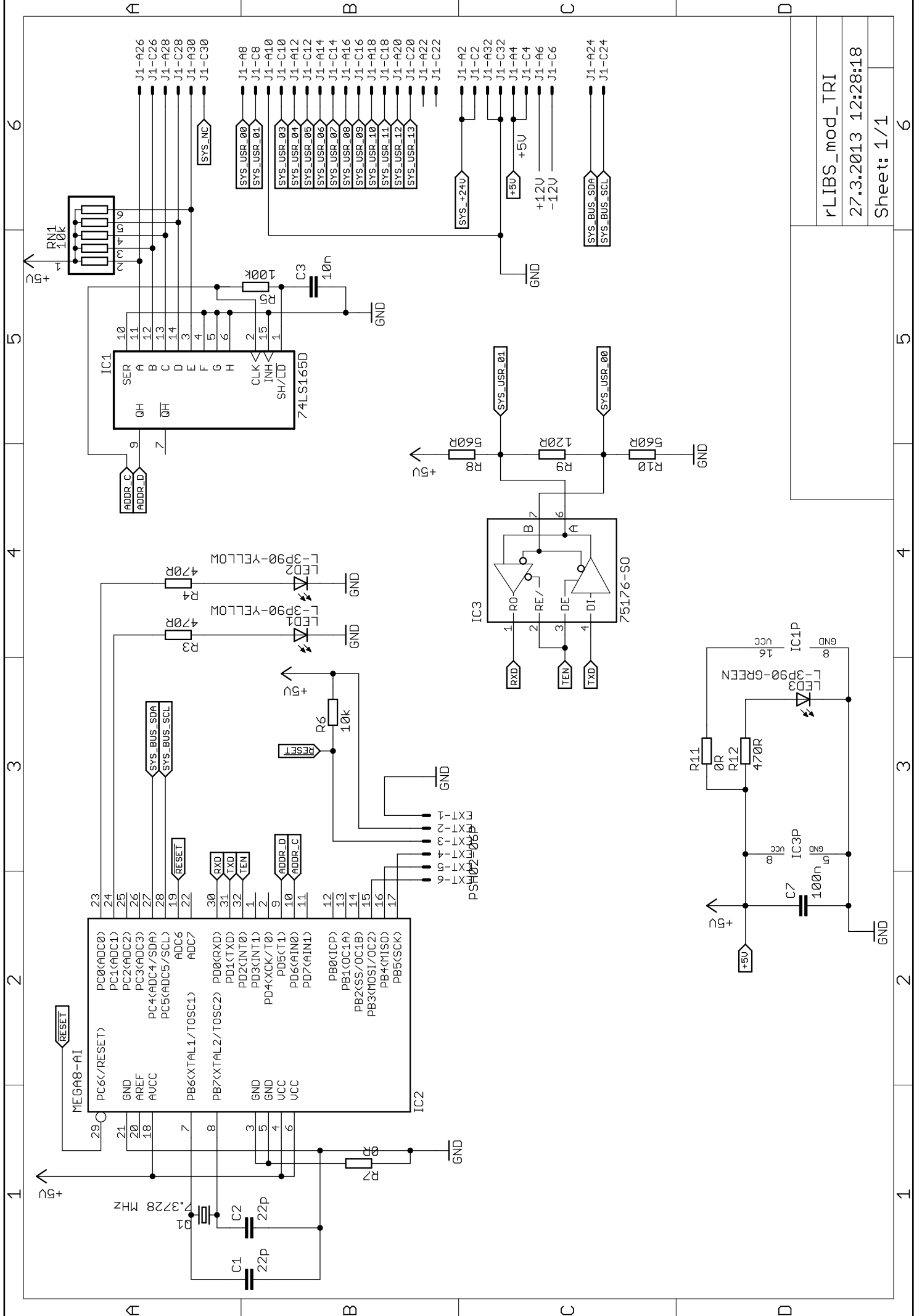


rLIBS_mod_M0T
 27.3.2013 12:28:17
 Sheet: 1/1

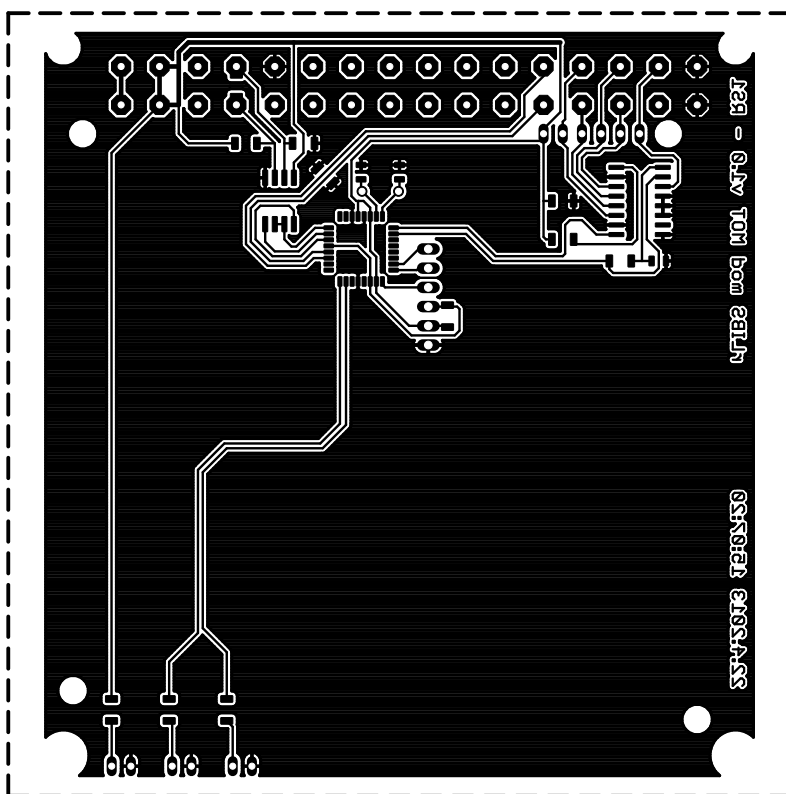


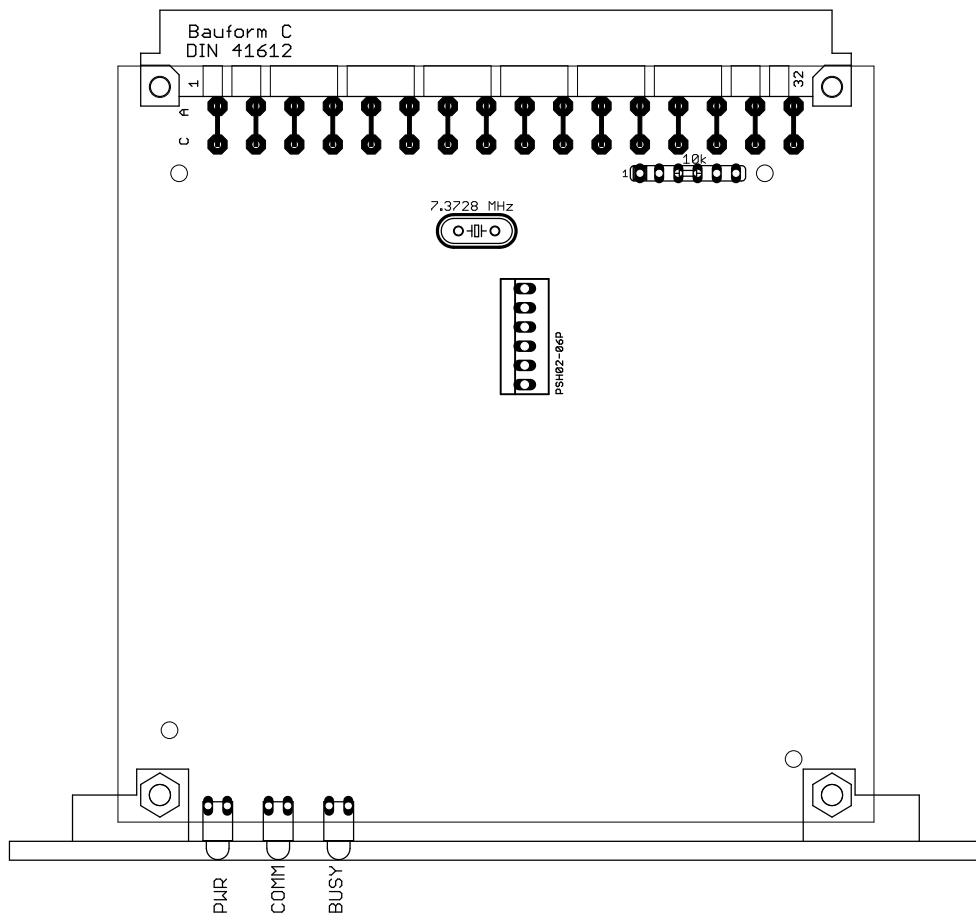
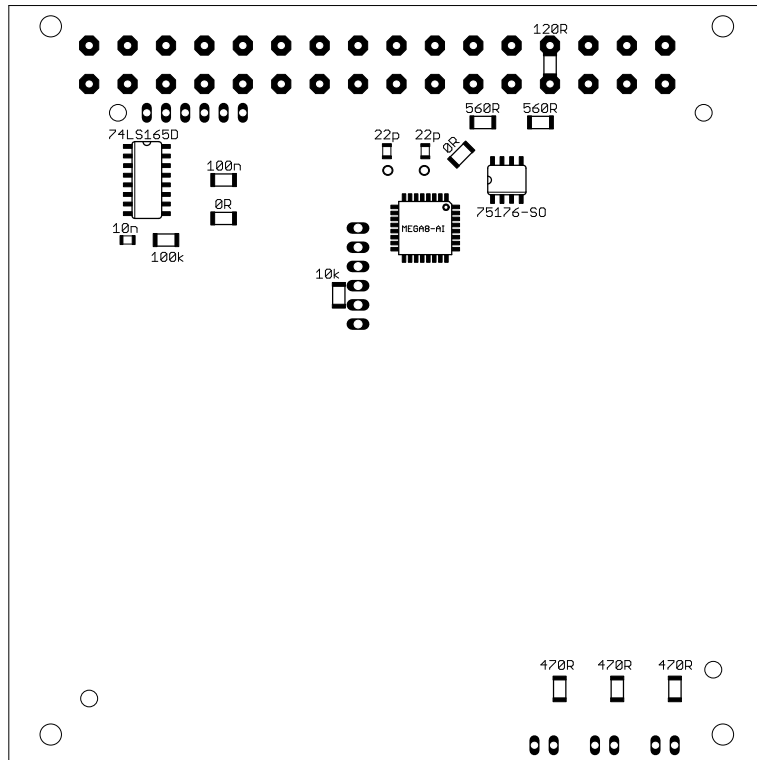


A.3 modul TRI

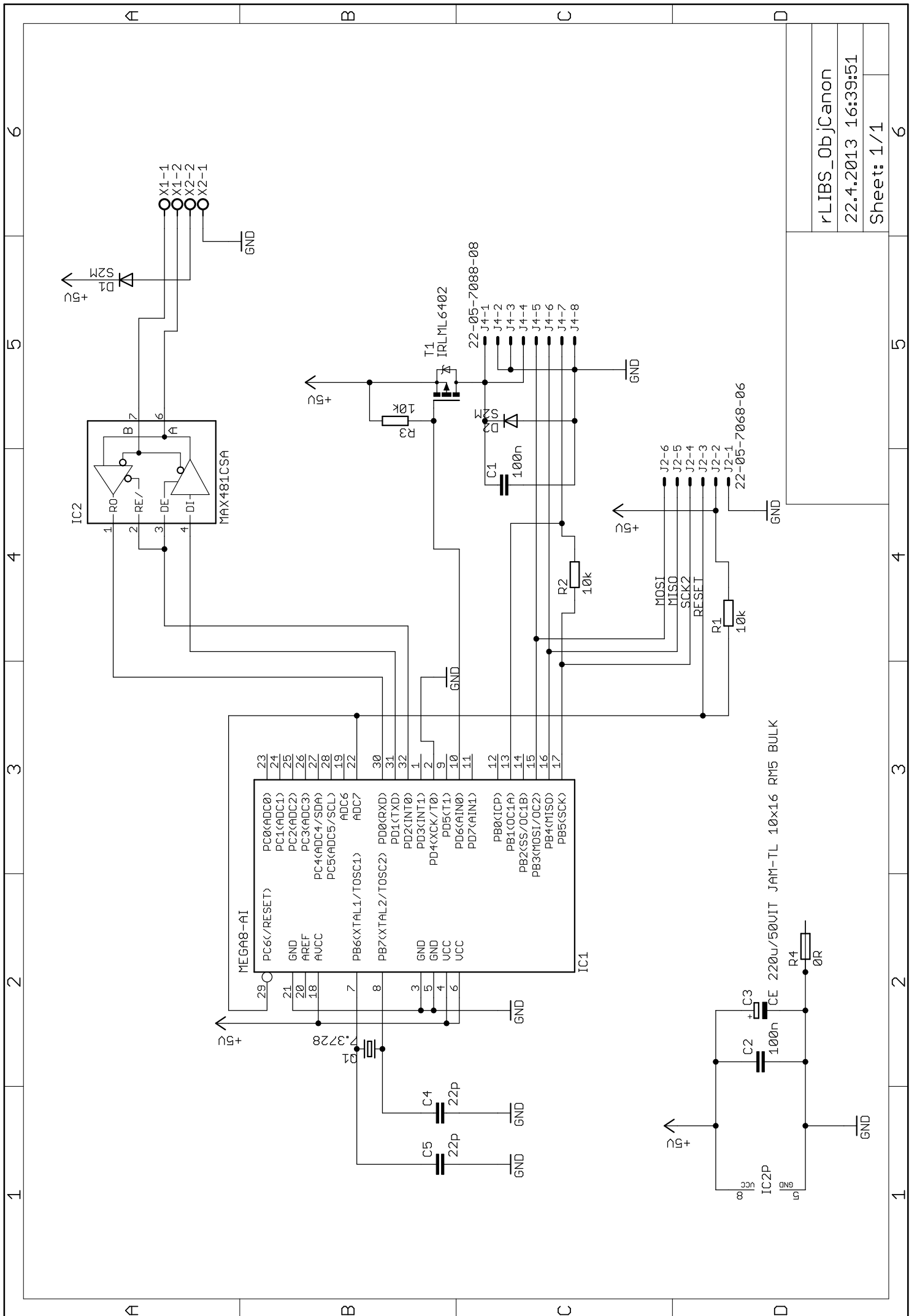


rLIBS_mod_TRI
 27.3.2013 12:28:18
 Sheet: 1/1

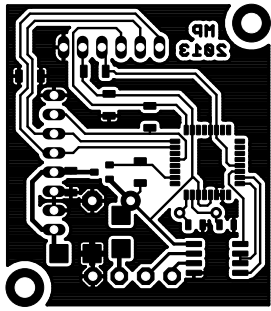


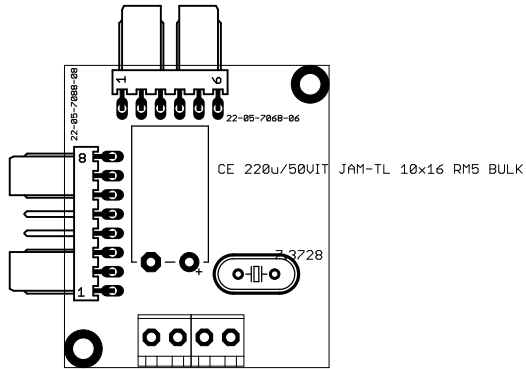
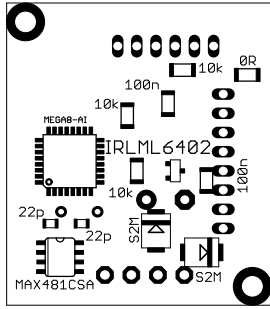


A.4 modul ObjCanon

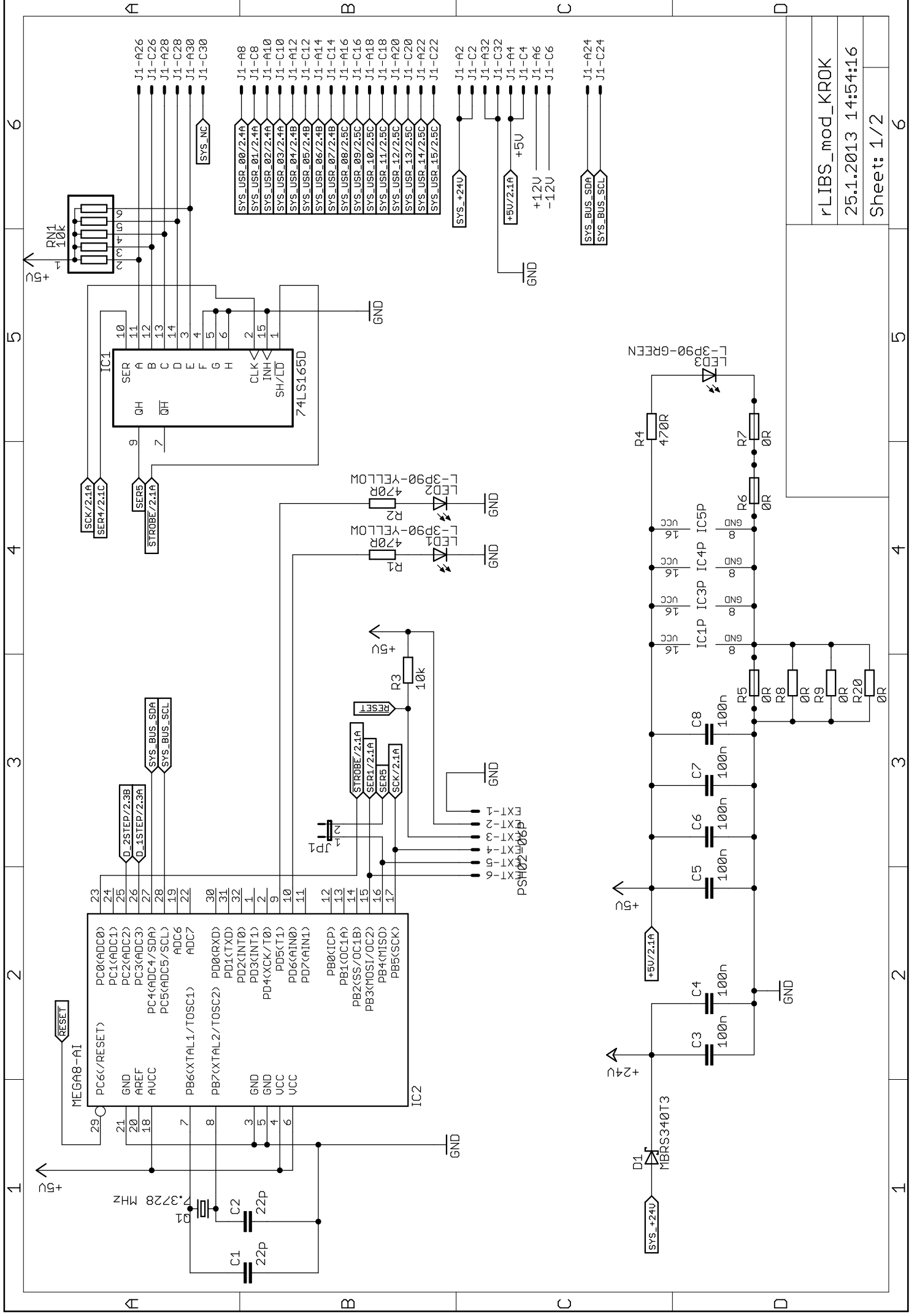


rLIBS_0bjCanon
 22.4.2013 16:39:51
 Sheet: 1/1

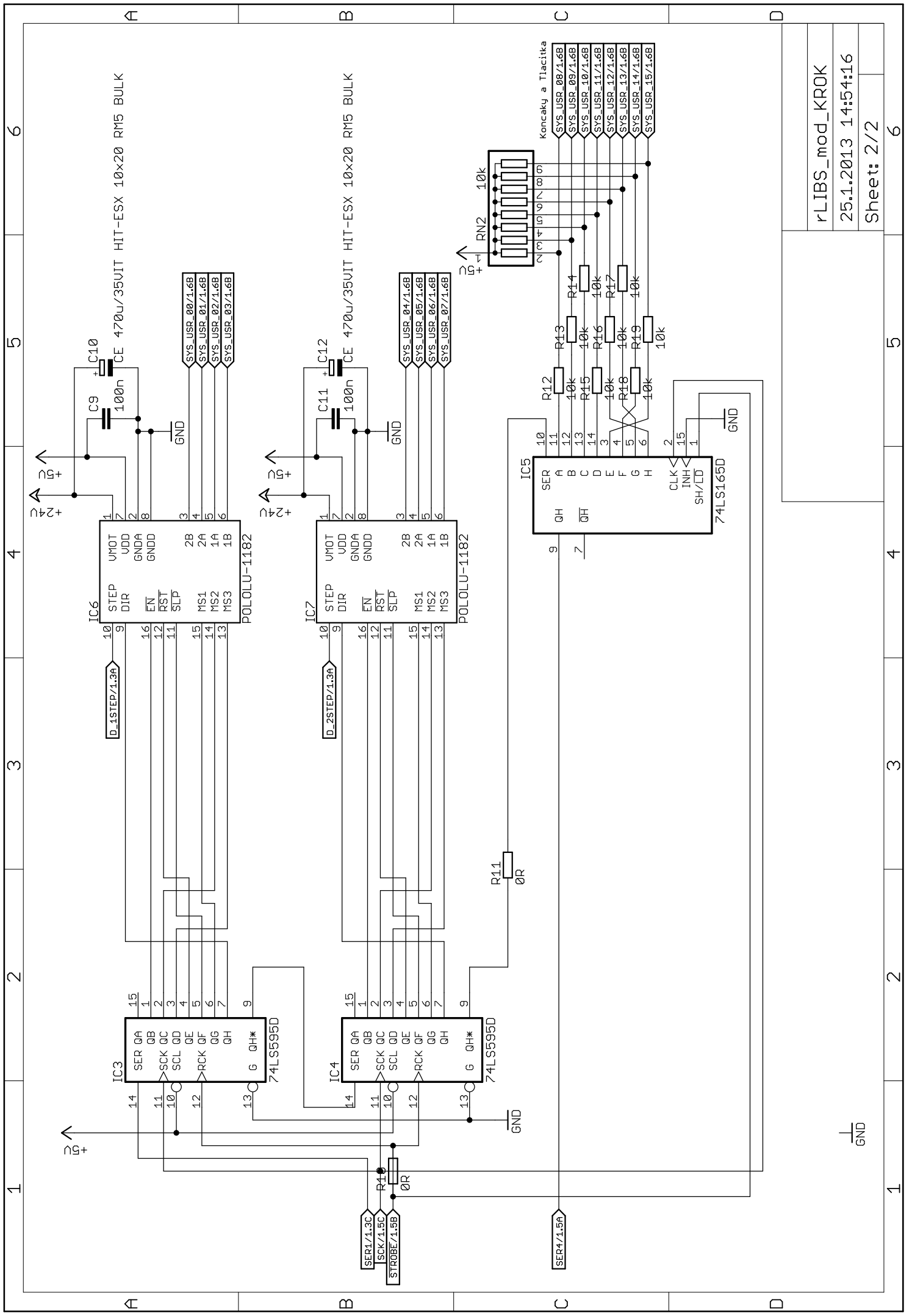


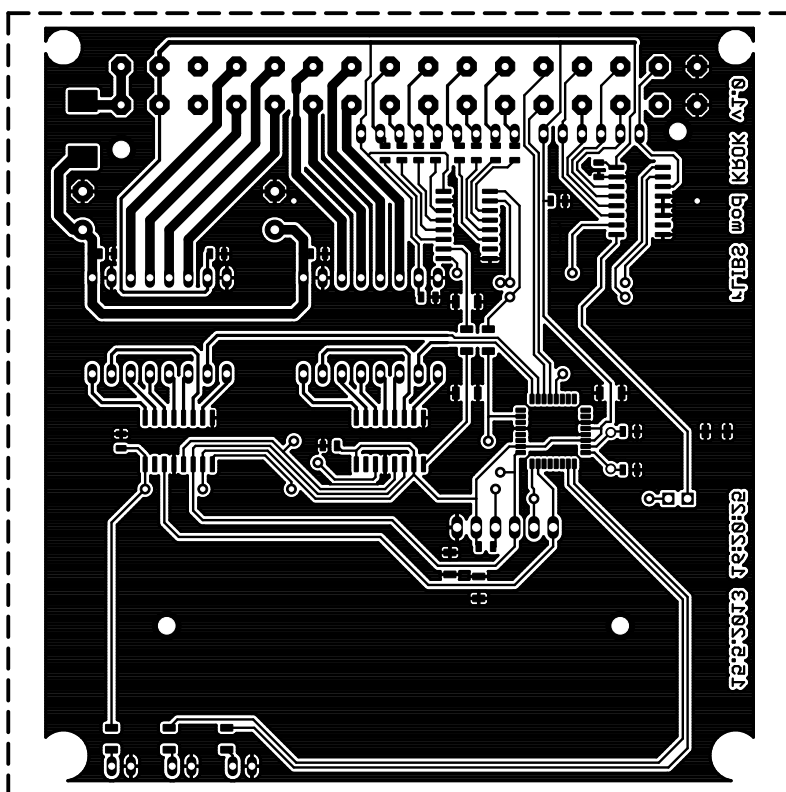


A.5 modul KROK

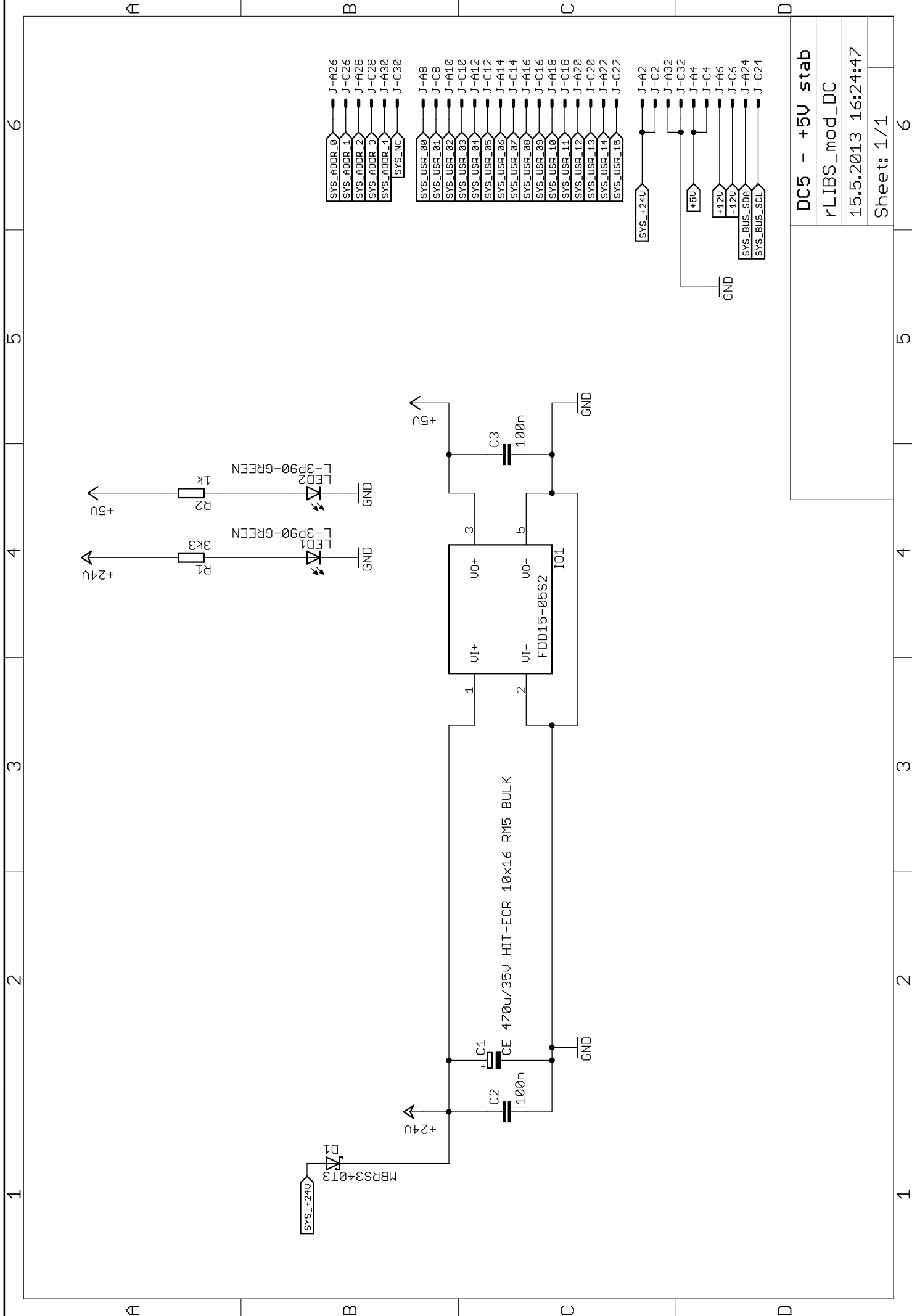


rLIBS_mod_KROK
 25.1.2013 14:54:16
 Sheet: 1/2





A.6 modul DC



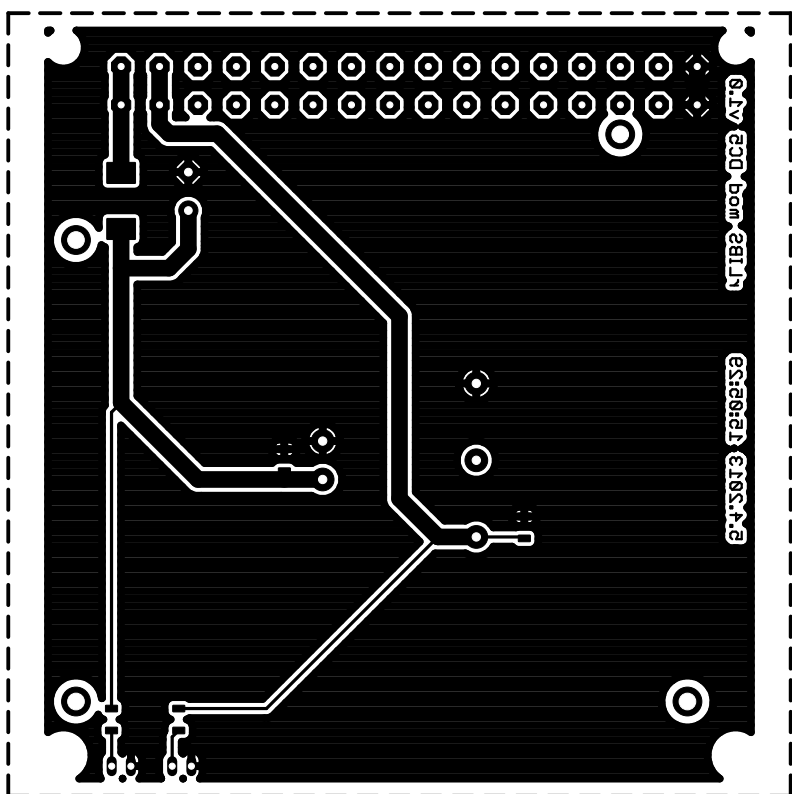
- J-A26 SYS_ADDR_0
- J-C26 SYS_ADDR_1
- J-A28 SYS_ADDR_2
- J-C28 SYS_ADDR_3
- J-A30 SYS_ADDR_4
- J-C30 SYS_NE
- J-A8 SYS_USR_00
- J-C8 SYS_USR_01
- J-A10 SYS_USR_02
- J-C10 SYS_USR_03
- J-A12 SYS_USR_04
- J-C12 SYS_USR_05
- J-A14 SYS_USR_06
- J-C14 SYS_USR_07
- J-A16 SYS_USR_08
- J-C16 SYS_USR_09
- J-A18 SYS_USR_10
- J-C18 SYS_USR_11
- J-A20 SYS_USR_12
- J-C20 SYS_USR_13
- J-A22 SYS_USR_14
- J-C22 SYS_USR_15

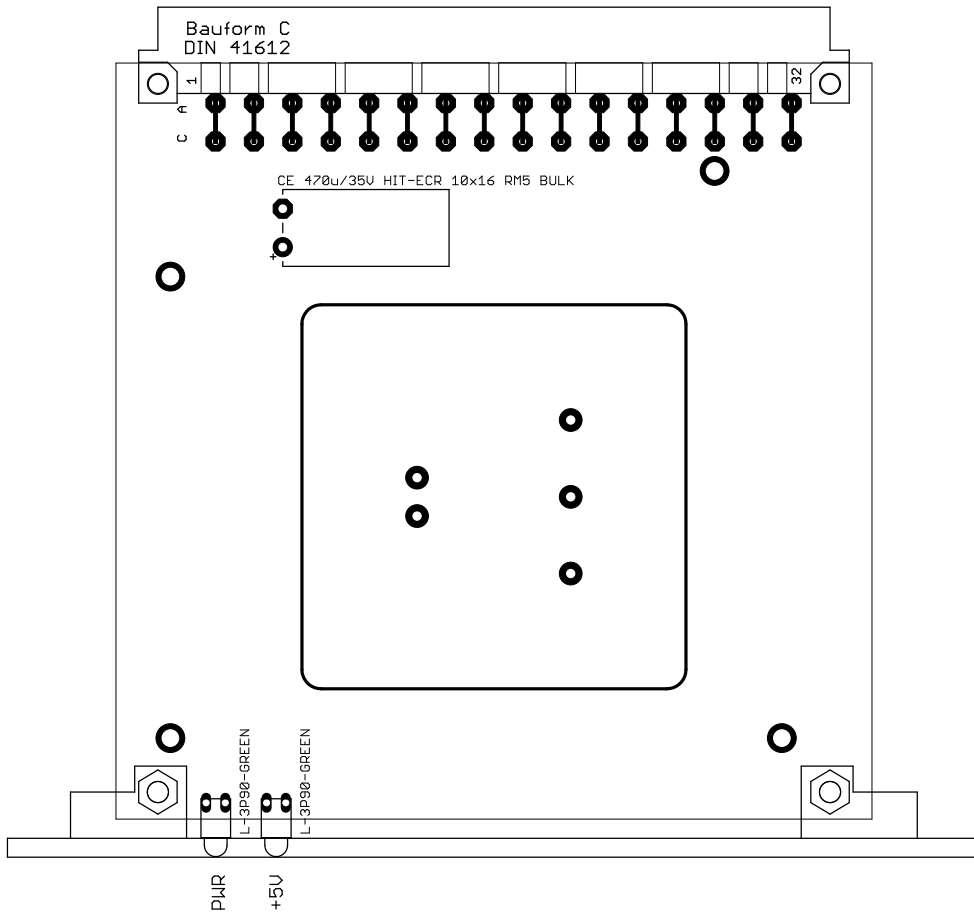
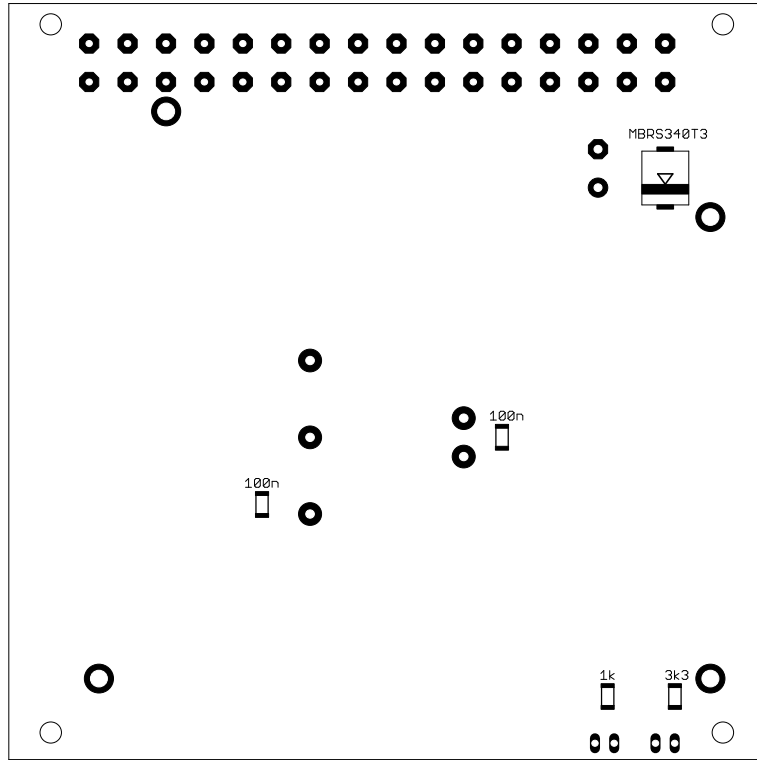
- J-A2 SYS_+24V
- J-C2 GND
- J-A32 +5V
- J-C32 GND
- J-A4 +12V
- J-C4 -12V
- J-A6 SYS_BUS_SDA
- J-C6 SYS_BUS_SCL
- J-A24 GND
- J-C24 GND

DC5 - +5V stab
rLIBS_mod_DC
15.5.2013 16:24:47
Sheet: 1/1

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

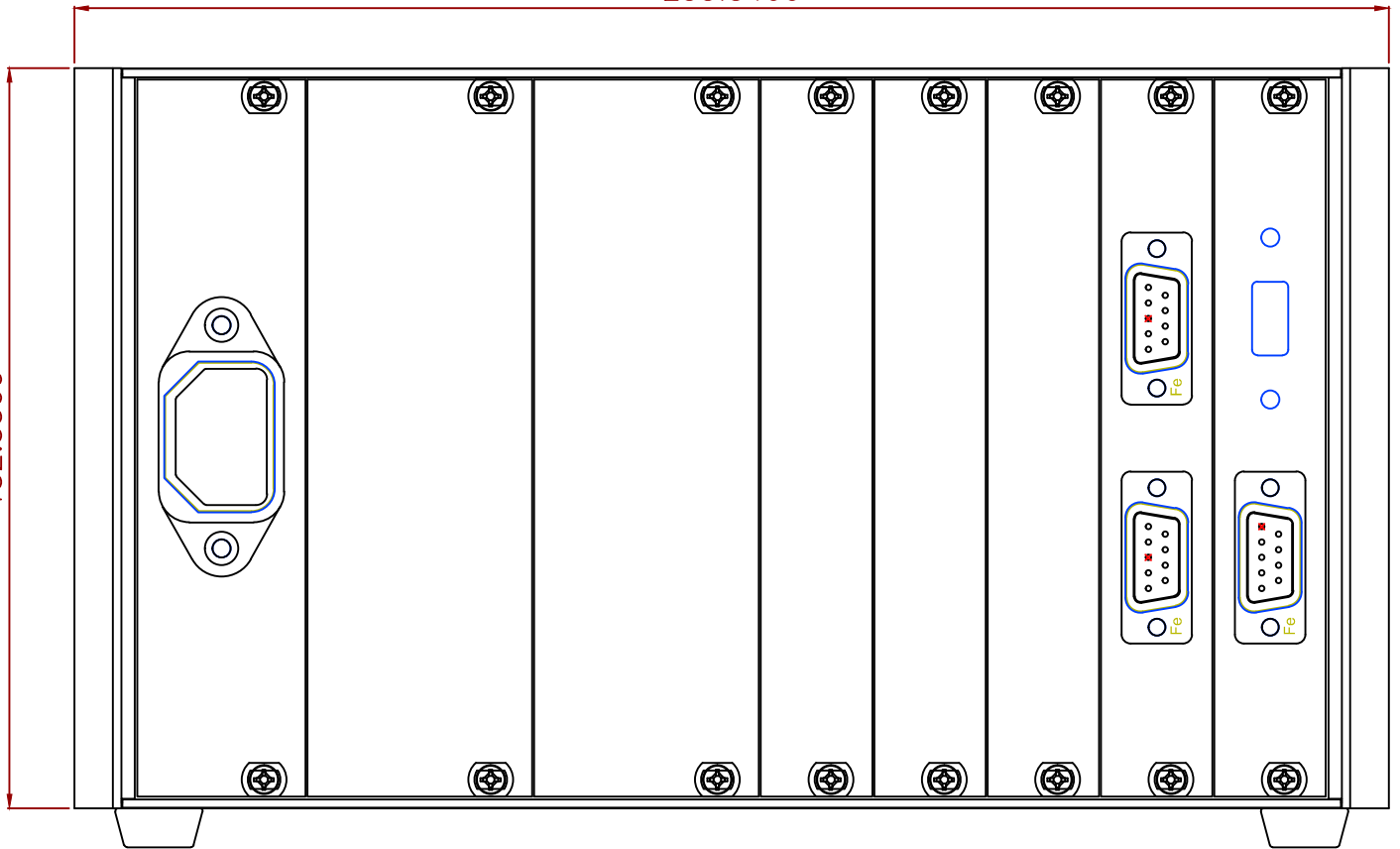




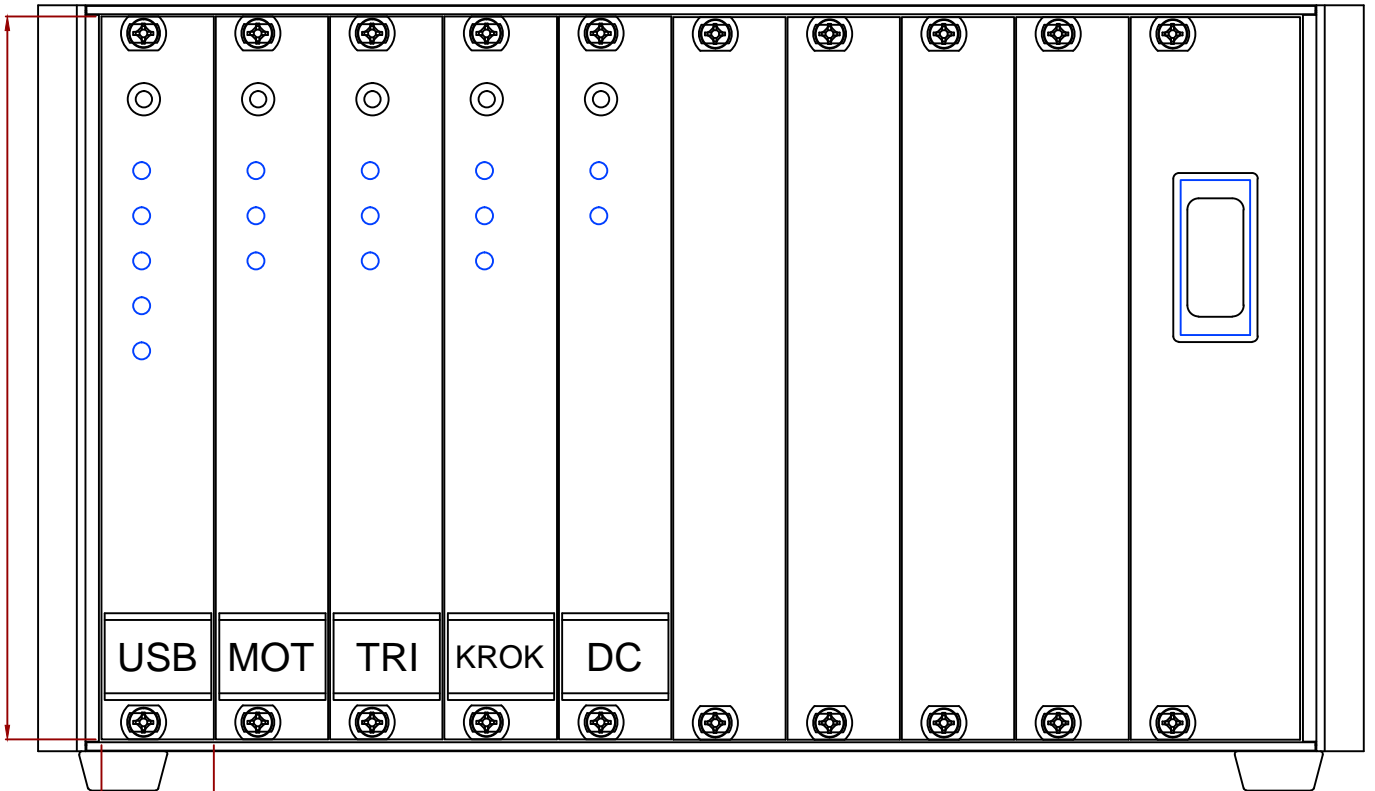
A.7 výkresy

235.5400

132.5500



128.4000



19.9800



B FOTOGRAFIE



Obr. B.1: Celé zařízení rLIBS při testování optické části



Obr. B.2: Testování optické části, vzdálenost 90 metrů



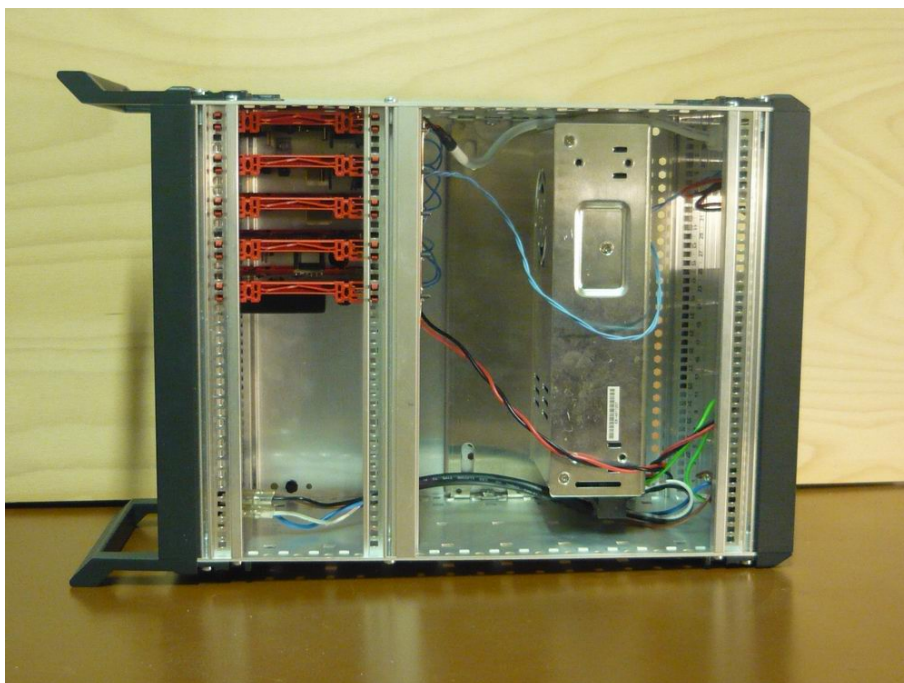
Obr. B.3: Sestavená řídicí elektronika, přední strana



Obr. B.4: Sestavená řídicí elektronika, zadní strana



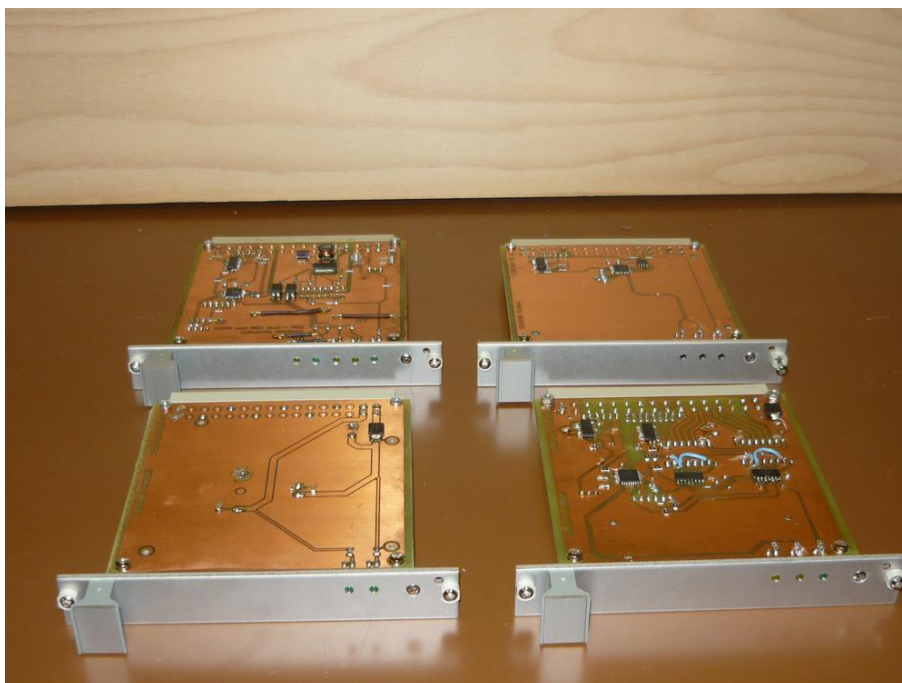
Obr. B.5: Sestavená řídicí elektronika, zapnuto



Obr. B.6: vnitřní uspořádání, pohled seshora



Obr. B.7: Moduly, strana součástek, nahoře: USB, TRI, dole: DC, KROK



Obr. B.8: Moduly, strana spojů, nahoře: USB, TRI, dole: DC, KROK

C STRUKTURA SLOŽEK NA PŘILOŽENÉM CD

- DPS - plošné spoje ve formátu Eagle 5.6.0
 - DPS_mod_DC - modul DC
 - DPS_mod_KROK - modul KROK
 - DPS_mod_MOT - modul MOT
 - DPS_mod_TRI - modul TRI
 - DPS_mod_USB - modul USB
 - DPS_ObjCanon - modulek ObjCanon, 2. část modulu TRI
- FW - zdrojové kódy pro AVRstudio (jazyk C)
 - FW_KROK - modul KROK
 - FW_KROK - modul KROK
 - FW_MOT - modul MOT
 - FW_ObjCanon - modulek ObjCanon, 2. část modulu TRI
 - FW_PC - modul USB
 - FW_TRI - modul TRI
- NC - soubory pro CAM software a nc soubory pro frézku
- src - zdrojový kód vlastního textu diplomové práce pro \LaTeX
 - loga - loga školy a fakulty
 - obr - obrázky
 - pdf - titulní list a zadání z informačního systému
 - pril - přílohy
 - text - text práce, rozdělený na jednotlivé kapitoly