

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrických pohonů a trakce



**Testovací přípravek základní desky zásuvného modulu
tranzistorového půlmůstku pro univerzální měnič**

MoMenTik

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Flígl, Ph.D.

Martin Koman

2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektrických pohonů a trakce

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Martin Koman**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Testovací přípravek základní desky zásuvného modulu tranzistorového půlmůstku pro univerzální měnič MoMenTiK**

Pokyny pro vypracování:


- 1) V součinnosti s autory diplomových prací [1] a [2] navrhnete testovací přípravek základní desky zásuvného modulu
- 2) Pro ovládání zkušebního přípravku využijte kromě mechanických ovládacích prvků z důvodu zjednodušení i modul Arduino Micro
- 3) Navrhnete způsob otestování adresace a odeslání zprávy
- 4) Připravte zkušební předpis a formulář pro dokumentaci výsledků testu provedeného za pomoci navrženého zkušebního přípravku
- 5) Pro návrh plošného spoje zkušebního přípravku respektujte topologii konektorů z backplane
- 6) Připravte kompletní výrobní dokumentaci pro plošný spoj umožňující zhotovení jednotky u externích výrobců
- 7) Po celou dobu vývoje ukládejte podklady ve verzovacím systému Mercurial

Seznam odborné literatury:

- [1] JAKUB, Klinger. *Návrh základní desky zásuvného modulu tranzistorového půlmůstku pro univerzální měnič*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [2] TOMÁŠ, Lněnička. *Návrh a realizace řídicí a silové sběrnice modulárního měniče*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [3] ZÁHLAVA, Vít. *Metodika návrhu plošných spojů*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, Elektrotechnická fakulta, 2000, 81 s. ISBN 80-01-02193-9.

Vedoucí: Ing. Stanislav Flígl, Ph.D.

Platnost zadání: do konce ~~letního~~ semestru 2015/2016


prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 10. 2014

Prehlásenie

Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o dodržovaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prác.

V Prahe dne: 22.05 2015

Martin Koman

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Stanislavovi Flíglovi, Ph.D. za odbornú pomoc, cenné rady a informácie a ochotu, pánovi Ing. Janu Bauerovi, Ph.D. za užitočné rady a podporu.

Taktiež by som chcel poďakovať kolegom Bc. Jakubovi Klingerovi a Bc. Tomášovi Lněničkovi, s ktorými som spolupracoval a úspešne zavřil projekt.

Anotácia

Táto bakalárska práca sa zaoberá popisom, návrhom a návodom na použitie testovacieho prípravku základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK vyvíjaného na Katedre elektrických pohonov a trakcie ČVUT.

Abstract

This bachelor project deals with the design of a testing platform for a half-bridge mother-board plug-in card of modular inverter MoMenTiK, which is being developed at the Department of Electrical Drives and Traction, FEE, CTU in Prague. This includes its documentation and corresponding user manuals.

Kľúčové slová

Modulárny menič, backplane, 19“ subrack, 6U ,M-LVDS , adresovanie kariet, Arduino

Modular inverter, backplane, 19“ subrack, 6U ,M-LVDS , addressing of plug-in cards, Arduino

KOMAN, Martin. 2015. *Testovací přípravek základní desky zásuvného modulu tranzistorového půlmůstku pro univerzální měnič MoMenTiK*. Praha. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Stanislav Flígl, Ph.D.

Obsah

Úvod.....	1
1 Modulárny menič.....	2
1.1 Subrack	3
1.2 Backplane.....	3
1.3 Modulárne karty	7
1.3.1 Tranzistorová karta	7
1.4 Komunikácia.....	10
1.4.1 Adresovanie kariet.....	10
1.4.2 M-LVDS	12
1.4.3 Formát správy	14
2 Testovací prípravok základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK	15
2.1 Testovacia karta M0001T1.0	16
2.1.1 Adresovanie	17
2.1.2 Komunikácia štandardu M-LVDS	17
2.1.3 Testovacie body	20
2.2 Arduino Micro	20
2.3 Blokové schéma	24
2.4 Rozsah testovaní.....	24
2.4.1 Testovanie adresy	24
2.4.2 Testovanie odoslania správy.....	25
2.4.3 Testovanie prijatia správy	26
2.4.4 Nastavenie frekvencie	27
3 Záver	28
4 Použitá literatúra	29
5 Zoznam obrázkov a grafov.....	30
6 Zoznam tabuliek.....	31
7 Prílohy	32

Úvod

V práci sa budem zaoberať popisom, návrhom a návodom na použitie testovacieho prípravku základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK.

V prvých kapitolách popíšem samotný modulárny menič a jeho fyzikálne princípy, na ktorých pracuje. V ďalších častiach prezentujem testovací prípravok základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK, jeho konštrukciu a princíp funkcie, výrobné podklady, testovací predpis a v závere predkladám formulár na protokol pre záznam výsledku testu.

1 Modulárny menič

Modulárny menič navrhovaný na pôde katedry elektrických pohonov a trakcie K13114 je určený pre študijné účely a výskum. Má zaručiť odolnosť a bezpečnú prevádzku študentmi a zároveň modularitu použitia.

Modularita zaručuje flexibilné možnosti úprav. Jedná o zmenu výkonu, opravy chybných súčastí, alebo pridanie nových funkcií – v zmysle úspory času a financií.

Modulárny menič je zabudovaný do štandardizovaného 19" subracku o výške 6U so zásuvnými kartami. Do neho budú vkladané samostatné moduly (karty) s niekoľkými funkciami

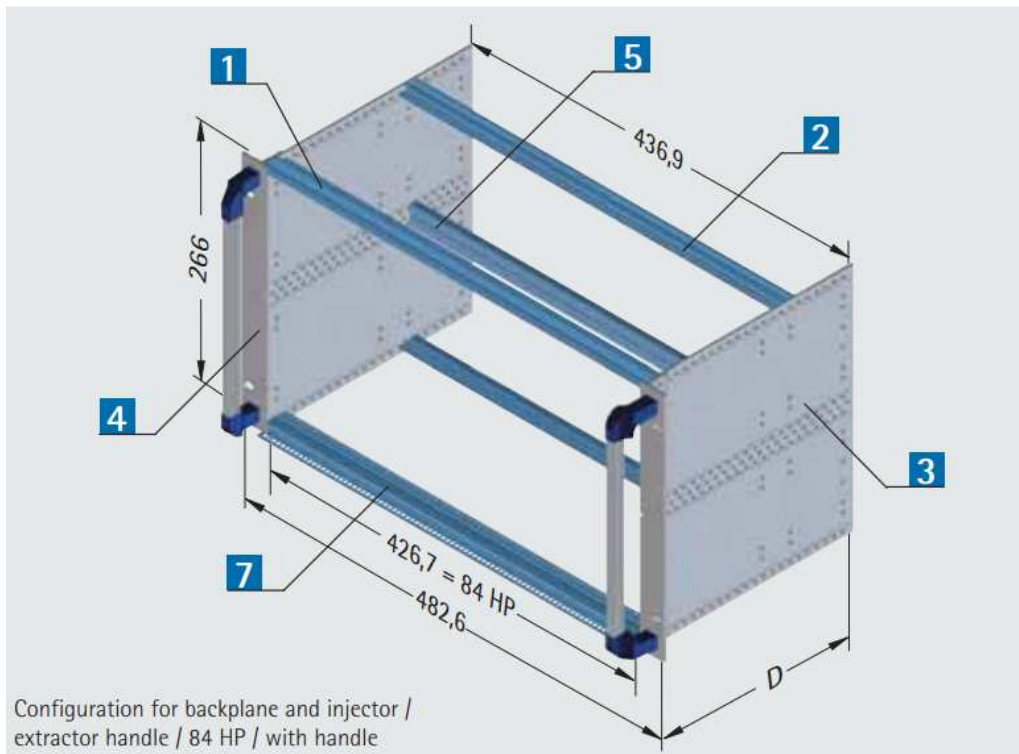
Karta	Popis
Riadiaca karta	zásuvná karta s riadiacim počítačom
Prepojovacie karty	umožňuje vyvedenie signálov z backplane a prepojenie viacerých rackov
Zakončovacie karty	na začiatku a na konci reťazca s funkciou ukončenia zberníc a vyvedením signálu z backplane
Meracie karty	karty na meranie elektrických veličín
Silové karty	tranzistorový polmostík striedača, usmerňovač, chopper pre brzdný odpor, atd.
Signal backplane	prepojovacia karta v racku – signálová časť
Power backplane	prepojovacia karta v racku – signálová napájacia časť

Tabuľka 1 Zoznam kariet [5]

Tieto subracky sa budú môcť pomocou prepojovacích spájať do reťazcov a dodávať ľubovoľný výkon.

1.1 Subrack

Jedna sa o štandardizovaný 19" subrack o výške 6U podľa noriem EN60297 [1] a IEEE 1101.10/1101.11 [2]. V nej bude uchytená backplane a zásuvné karty. Pre zlepšenie chladenia súčastí subracku, je možné vybaviť subrack chladiacou kartou s ventilátormi. Výhodou týchto subrack jednotiek je možnosť skladania do skriňových rack jednotiek.



Obrázok 1 19" rack jednotka o výške 6U [3]

Podľa Obrázku 1 sú rozmery 482,6 x 236 x 266 mm. Podľa rozmeru 7 sa v subracku nachádza 84 dier. Tieto diery sa nachádzajú vo vzájomnej vzdialenosti 5,08 mm. V záujme zachovania modulárnosti a technickej uskutočniteľnosti sa najmenšia výška jednej zásuvnej karty odvodila ako 6násobok vzdialenosti dier ($6n$), pre potreby väčšej výšky sa dajú požiť násobky najmenšej vzdialenosti ($12n$, $18n$, ...). Z toho vyplýva, že najväčší počet zásuvných kariet je 14 (pre výšku $6n$).

1.2 Backplane

Backplane sa nachádza v subrack jednotke a sú na ňom uložené konektory pre komunikáciu, silové obvody a pre napájanie.

Každá zo zásuvných kariet disponuje dvojicou konektorov. K signálovému prepojeniu jednotlivých zásuvných kariet v subrack jednotke slúži signálová časť backplanu. K pripojeniu k signálovej časti backplanu slúžia 96pinové 3řádé konektory DIN 41612 typ C, ktoré sú kompatibilné s normou IEC 60603-2 [4] a nachádzajú sa v hornej polovici zásuvnej karty.

Upper connector – signal backplane terminal

pin #	row A P = pulses	pin #	row B V = voltage	pin #	row C C = current
	A1		B1		C1
1	P0	1	V0	1	C0
2	P0	2	V0	2	C0
3	P1	3	V1	3	C1
4	P1	4	V1	4	C1
5	P2	5	V2	5	C2
6	P2	6	V2	6	C2
7	P3	7	V3	7	C3
8	P3	8	V3	8	C3
9	P4	9	V4	9	C4
10	P4	10	V4	10	C4
11	P5	11	V5	11	C5
12	P5	12	V5	12	C5
13	P6	13	V6	13	C6
14	P6	14	V6	14	C6
15	P7	15	V7	15	C7
16	P7	16	V7	16	C7
17	P8	17	V8	17	C8
18	P8	18	V8	18	C8
19	P9	19	V9	19	C9
20	P9	20	V9	20	C9
21	P10	21	V10	21	C10
22	P10	22	V10	22	C10
23	P11	23	V11	23	C11
24	P11	24	V11	24	C11
25	F	25	E	25	D
26	F	26	E	26	D
27	ERR	27	L	27	Supply - 3,3V
28	R	28	GND	28	Supply - 24V
29	LE	29	GND	29	Supply - 24V
30	C	30	GND	30	Supply - 24V
31	LO	31	GND	31	Supply - 24V
32	LI/ITE	32	GND	32	Supply - 24V

Tabuľka 2 Rozloženie a funkcie jednotlivých pinov konektorov na signálovej časti backplanu [5]

■ Takto označené piny sú určené pre rýchle diferenciálne signály M-LVDS (Multipoint Low Voltage Differential Signaling, TIA/EIA), ktoré majú umožňovať rýchlu komunikáciu s riadiacou jednotkou. Signál s označením P_x je určený k prijímaniu riadiacich pulzov pre tranzistory. Signály s označením V_x a C_x sú

určené pre odosielanie hodnôt napätia a prúdu na tranzistoroch spať do riadiacej jednotky. Pre každú zásuvnú kartu je k dispozícii jedna trojica diferenciálnych signálov, dokopy 6 pinov. Maximálne je v 1 subracku možné pripojiť 12 kariet do rýchlej komunikácie.

■ Takto označené piny sú v štandarde M-LVDS a sú stanovené ako podporné signály pre kanály P_x , V_x a C_x . Kanál F udáva frekvenciu zbernice M-LVDS a kanál E (Enable) je určený pre synchronizačný signál.

■ Takto označený pin je určený pre sériovou komunikáciu typu CAN (Controller Area Network, ISO 11898).

■ Takto označené piny sú napäťovej hladiny 24 V. Signál ERR (General Error) signalizuje hlavnú chybu, signál R signalizuje hlavný reset a spolu so signálom LE (Load Enable) sa podieľajú na adresovaní zásuvných kariet.

■ Takto označené piny napäťovej hladiny 3,3 V. Signál C (Clock) udáva frekvenciu adresovania zásuvných kariet. Signál LO (Load Output) odosiela informáciu o adresách do ďalšieho pripojeného subracku. Signál LI/ITE (Load In/ Include This Electric unit) hlási svoju prítomnosť v systéme adres zásuvných kariet. V prípade krajnej pozície prijíma informáciu o adresách kariet v predchádzajúcom subracku ($LO=LI$).

■ Takto označený pin je stanovený k napájaniu logiky napäťovej úrovne 3,3 V.

■ Takto označené piny sú určené k napájaniu súčiastok vyžadujúcej napäťovú úroveň 24 V.

■ Takto označené piny sú určené pre zem (GND).

Zásuvné karty sa k silovej napájacej časti pripájajú pomocou 48pinového 3rádého konektoru DIN 41612 typ E, ktorý je kompatibilný s normou IEC 60603-2 [4] a pre lepší prístup sa nachádza v dolnej polovici zásuvnej karty.

Lower connector - backplane terminal

pin #	row A	pin #	row C	pin #	row E
	A2		C2		E2
1	Supply +	1	Supply +	1	Supply +
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5	Insulation	5	Insulation	5	Insulation
6		6		6	
7	Supply -	7	Supply -	7	Supply -
8		8		8	
9		9		9	
10		10		10	
11	Insulation	11	Insulation	11	Insulation
12		12		12	
13	Terminal	13	Terminal	13	Terminal
14		14		14	
15		15		15	
16		16		16	

Tabuľka 3 Rozloženie a funkcia jednotlivých pinov konektorov na silovej napájacej časti backplanu [5]

■ Takto označené piny sú pripojené ku kladnému pólu jednosmernej silovej napájacej zbernice.

■ Takto označené piny sú pripojené k zápornému pólu jednosmernej silovej napájacej zbernice.

■ Takto označené piny slúžia ako jeden z vývodov meniča a sú na silovej napájacej časti backplanu pripojené k silovým konektorom SV 7.62HP/02/180SF firmy Weidmüller.

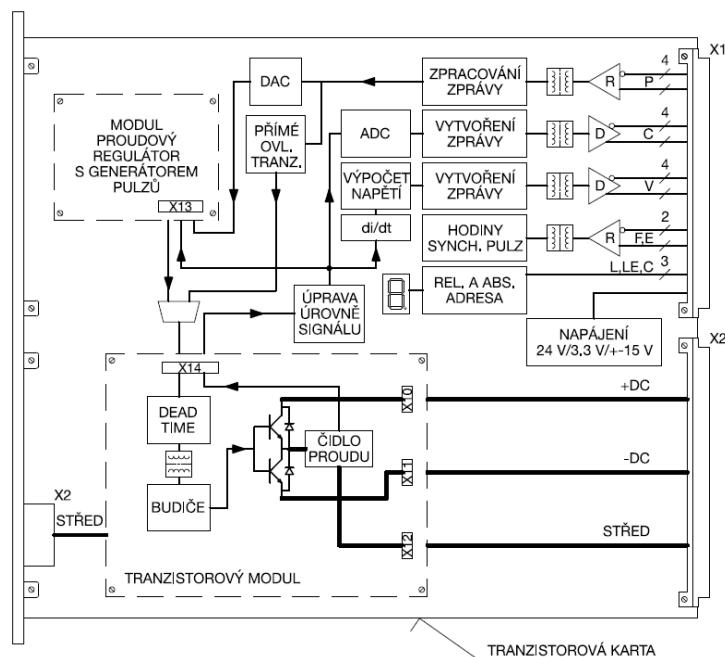
■ Takto označené piny nie sú zapojené a tvoria izolačnú vzdialenosť medzi kladným, záporným pólom jednosmernej silovej napájacej zbernice a vývodom meniča.

1.3 Modulárne karty

Modulárne karty sú karty, ktoré sa zasúvajú do základnej dosky. Prvá karta je prepojovacia a posledná karta je zakončovacia. Tieto karty umožňujú komunikáciu s ďalšími stojanmi za účelom zvýšenia výkonu. Počet zvyšných zásuvných kariet bude rôznorodý, bude záležať od potrieb a podľa hrúbky kariet. Maximálny počet „najužších“ kariet je 12.

1.3.1 Tranzistorová karta

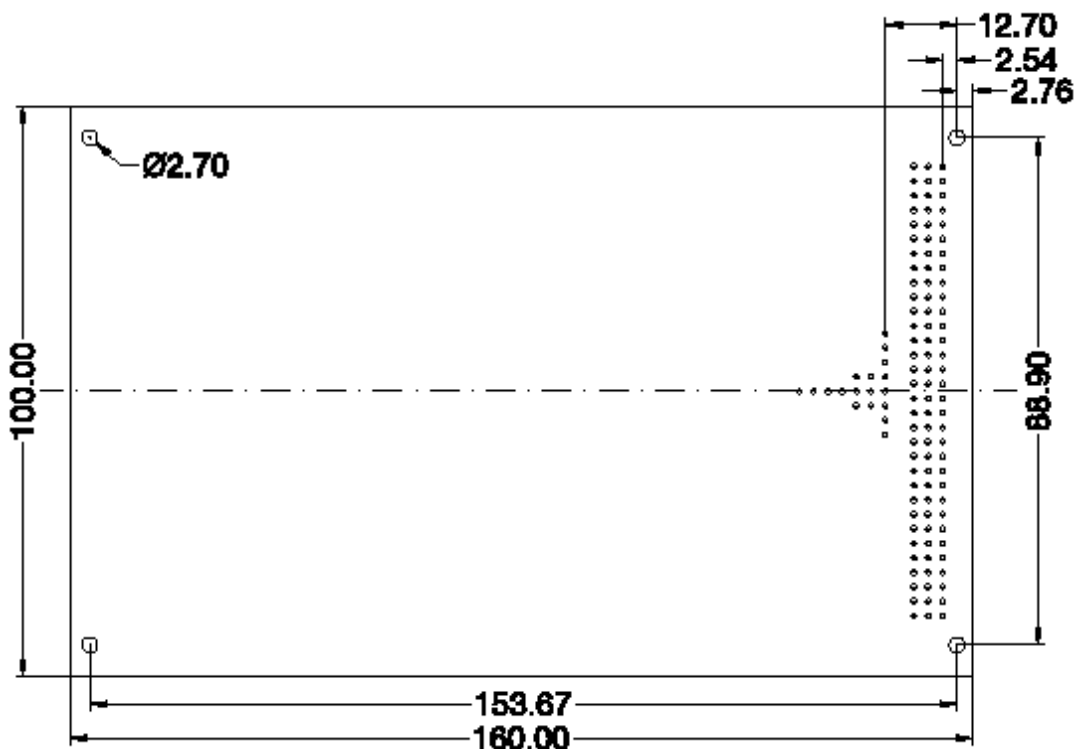
Tranzistorová karta je základným typom zásuvných kariet. Ďalej sa budem venovať popisu zásuvnej tranzistorovej karty T0001M1 [7], pre ktorú bol v rámci tejto bakalárskej práce vyvinutý testovací prípravok. Táto karta slúži ako platforma pre tranzistorový polmostík striedača. Spracováva povely z riadiaceho systému pre ovládanie tranzistoru a druhým smerom odosiela merané hodnoty prúdu a vypočítané napätie. Toto prebieha na rýchlych zberniciach M-LVDS. Zároveň karta má relatívnu a absolútnu adresu. Bližšie sa komunikácii venujem v kapitole 1.4.



Obrázok 2 Blokové schéma tranzistorovej karty T0001M1.0 [7]

Karta sa pripája k backplanu pomocou konektoru DIN 41612 typ C pre signálovú časť a konektorom DIN 41612 typ E pre napájaciu časť. Silový vývod karty je vyvedený do backplanu a do štítiku karty pomocou konektor z rady OMNIMATE od firmy Weidmüller(SV 7.62HP/2/90SF). Toto usporiadanie je navrhnuté pre lepší prístup k vývodom karty.

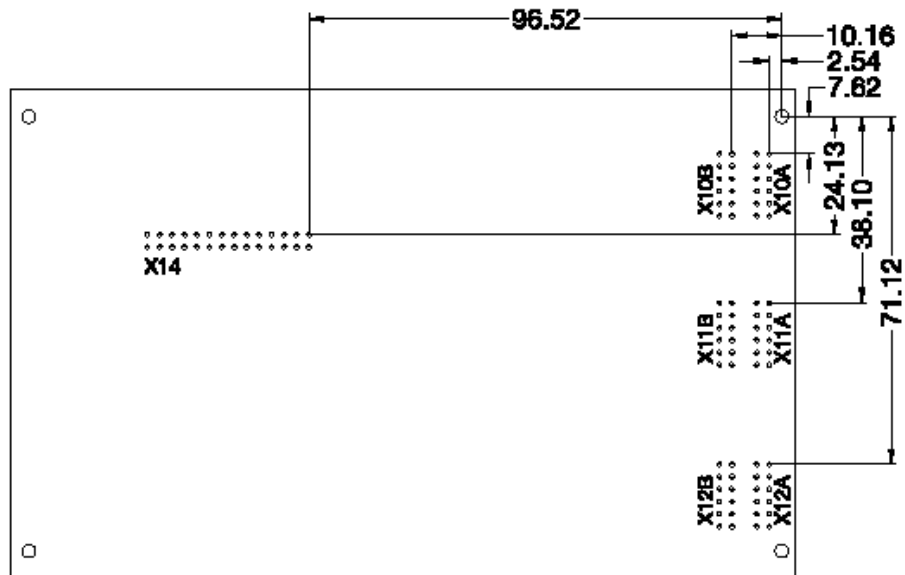
K tranzistorovej karte je možné pridať 2ks rozširujúcich modulov normovanej veľkosti Eurocard 160 ×100 mm. Tieto karty je možné kúpiť v elektrotechnických obchodoch, nie je potrebné zákazkové riešenie výroby. Rozmery vychádzajú z noriem [1] a [2] , kde výška je daná 3U (100mm) a šírka je 160mm. Karty Eurocard sa dajú kúpiť s predvrtanými otvormi s rastrom 2,54mm. Konektory na tranzistorovej karte prepojujúce modul ku karte sú umiestnené tak, aby zohľadnili tento raster. Moduly sa k tranzistorovej karte pripevňujú pomocou 4 otvorov pre šrúbky s distančnými stĺpikmi umiestnenými na rohoch modulov.



Obrázok 3 Rozmery modulu s vyznačením rastu predvrtaných otvorov Eurocard 160 ×100 [7]

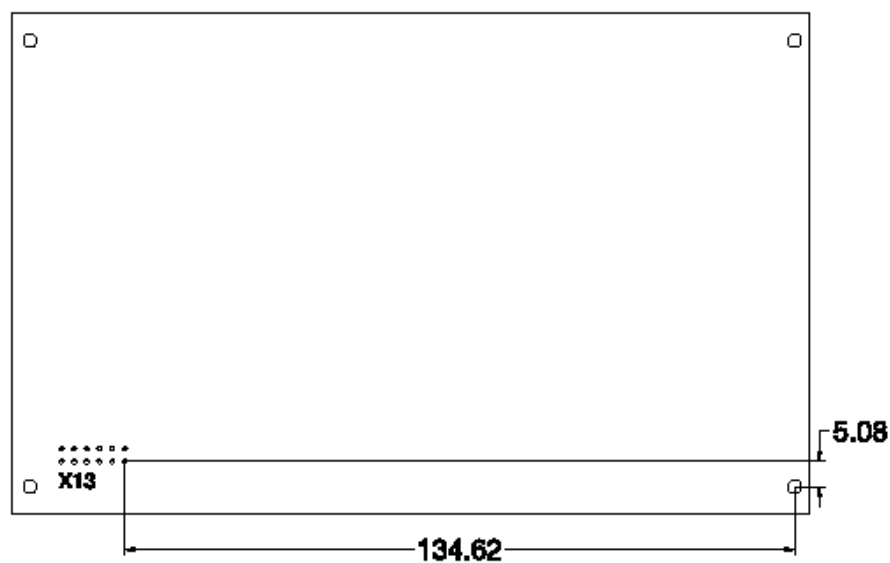
Výkonové tranzistory s budiacimi obvodmi pre zaistenie mŕtvych dôb sú umiestnené v spodnom slotu pre moduly na tranzistorovej karte. Toto riešenie umožňuje prispôbienie tranzistorovej karty pre veľký rozsah výkonov, od tých

najmenších až po hornú výkonovú hranicu celého systému MoMenTiK, obvyčajnou výmenou modulu s výkonovými tranzistormi. Na modulu s tranzistormi je tiež umiestené čidlo prúdu, ktoré tak môže byť prispôbené výkonovej rade tranzistoru, tým sa zvyšuje presnosť merania prúdu.



Obrázok 4 Rozmery a umiestnenie konektorov na tranzistorom module [7]

Voliteľne sa dá pripojiť na tranzistorovú kartu druhý modul (horní slot pre moduly), ktorý slúži k pripojeniu analógového prúdového regulátora alebo prúdového obmedzovača. Na tomto module sú generované riadiace pulzy pre výkonové tranzistory na základe požadovaného prúdu od riadiaceho systému.



Obrázok 5 Rozmery a umiestnenie konektorov na module regulatoru prúdu [7]

1.4 Komunikácia

Dôležitým prvkom modulárneho meniča je komunikácia. Tá zaručuje reálnu funkčnosť modularity. Po pripojení karty musí komunikácia zaručiť bezproblémovú komunikáciu medzi zásuvnými kartami a riadiacou jednotkou.

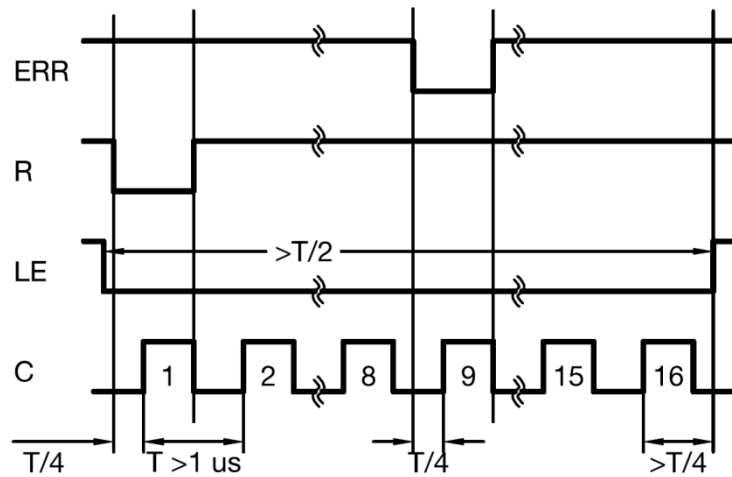
1.4.1 Adresovanie kariet

Adresovanie kariet zabezpečuje, aby riadiaca jednotka vedela o počte a poradí zasunutých kariet, a zároveň aby zasunuté karty vedeli svoju pozíciu. V modulárnom meniči existujú dva druhy adres - absolútna a relatívna.

Absolútna adresa udáva poradové číslo karty v reťazci subrack jednotiek. Adresa sa prideluje od 0 a zvyšuje sa vždy o 1. Má tvar 8-bitového čísla. Prvé 4 bity udávajú poradie samotnej subrack jednotky v reťazci. Zvyšné 4 bity udávajú poradie jednotlivých kariet v subrack jednotke. Poradie je nasledovné. Pozíciu 0 má zabratý backplane, pozíciu 1 má zabratá prepojovacia alebo ukončovacia karta. Ďalších 12 pozícií majú funkčné zásuvné karty a poslednú pozíciu má prepojovacia alebo ukončovacia karta.

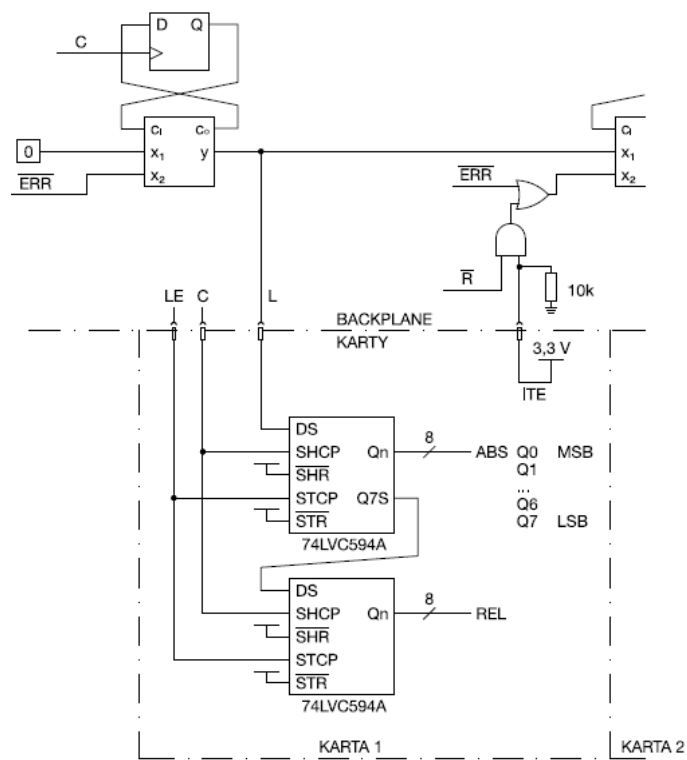
Relatívna adresa umožňuje postupné zaberania rýchlych kanálov M-LVDS. Má tiež tvar 8-bitového čísla. Adresa sa prideluje od 0 a zvyšuje sa vždy o 1. V jednej subrack jednotke sa nachádza maximálne 12 rýchlych kanálov, tzn. že iba niektoré oprávnené karty majú pravo zaberať relatívnu adresu. Prepojovacia karta, ukončovacia karta alebo backplane nezaberajú relatívnu adresu, lebo ju nepotrebujú k činnosti. V prípade, že vložená karta chce získať relatívnu adresu, musí mať na pine ITE pripojenou logickú hodnotu „1“.

Načítanie adres do kariet prebieha pomocou synchronizačného signálu na pine C. Adresy sa začnú pridelovať po stiahnutí signálu LE (Load Enable) na hodnotu „0“. Signál nemusí byť v hodnote „0“ po celý čas adresovania, stačí len jedná perióda synchronizačného signálu. Zároveň dôjde k stiahnutiu signálu R (Reset) na hodnotu „0“ počas jednej periódy synchronizačného signálu. Prvých 8 bitov je pridelovaná relatívna adresa. Následne dôjde k stiahnutiu signálu ERR (Error) na hodnotu „0“ počas jednej periódy synchronizačného signálu. Tým sa začne pridelovať absolútna adresa. Po 8 periódach sa adresovanie ukončí.



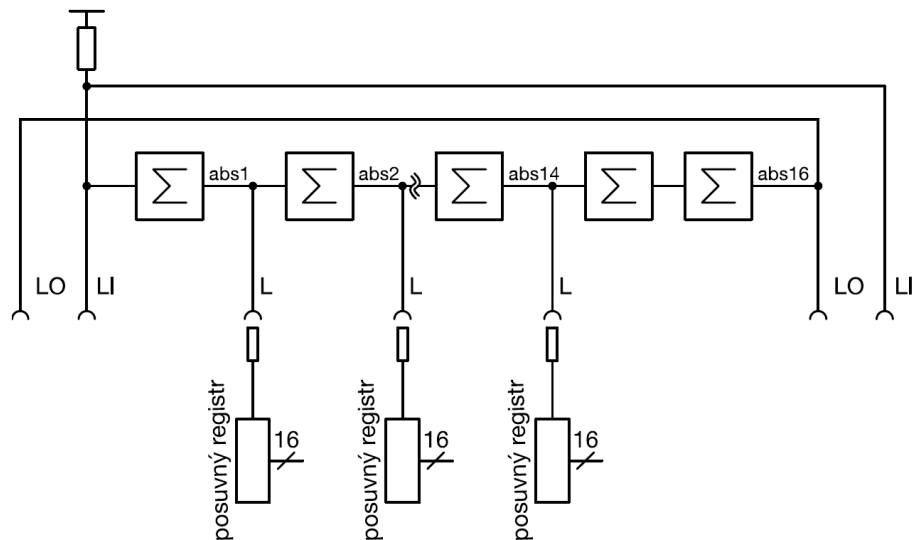
Obrázok 6 Riadiace impulzy pre riadenie adresovania [7]

Zaberanie adres prebieha na backplane pomocou rozrezanej sčítacky.



- | | |
|------|----------------------|
| DS | SÉR. DATA VSTUP |
| SHCP | POSUV. REG. HODINY |
| SHR | POSUV. REG. RESET |
| STCP | PARALEL. REG. HODINY |
| STR | PARALEL. REG. RESET |
| Q7S | SÉR. DATA VÝSTUP |
| Qn | PARALEL. DATA VÝSTUP |

Obrázok 7 Schéma adresovania [7]

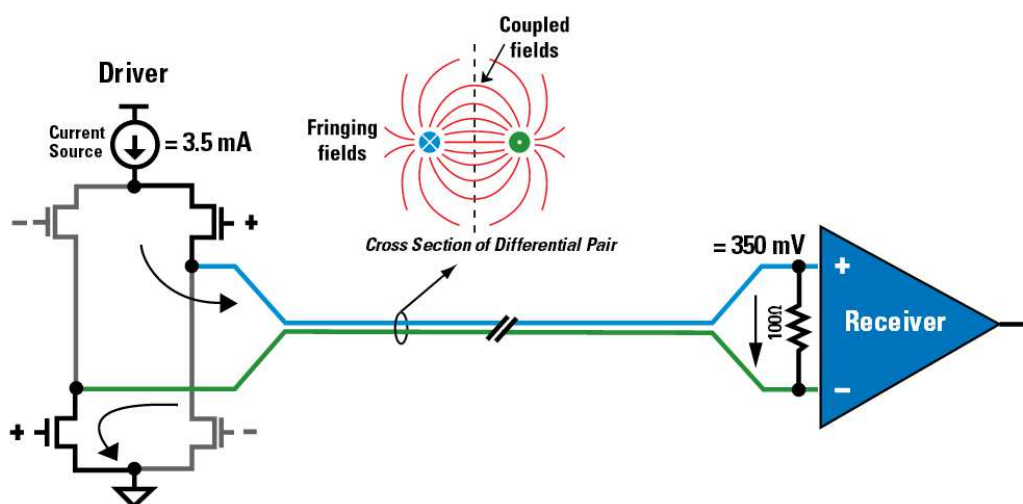


Obrázok 8 Schéma prepojovania adres [7]

1.4.2 M-LVDS

Rýchla komunikácia je zabezpečená štandardom LVDS (Low Voltage Differential Signaling), presnejšie M-LVDS (Multipoint Low Voltage Differential Signaling). Medzi výhody využitia patrí vysoká rýchlosť, nízke energetické požiadavky a elektromagnetická odolnosť.

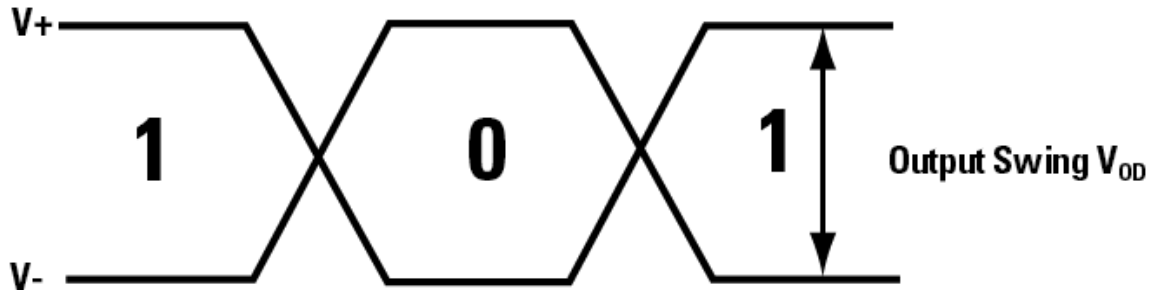
Na Obrázok 9 je znázornená dvojica vysielača a prijímača. Vysielač sa chová ako prúdový zdroj a generuje prúd 3,5 mA (pre M-LVDS je to 5,5 mA). Tento prúd preteká zakončovacím odporom 100 Ω a vytvára diferenciálne napätie 350 mV.



Obrázok 9 Vysielač a prijímač LVDS [6]

Na zaručenie nízkeho vyžarovania vysielač pre zmenu logickej hodnoty zmení plynule smer toku prúdu. Tým sú obmedzené napäťové špičky pri rýchle

spínaných tranzistoroch. Zároveň sa jedná o dva vodiče v tesnej blízkosti, s opačným smerom prúdu o rovnakej veľkosti, kde sa vyruší elektromagnetické vyžarovanie.



Obrázok 10 Diferenciálny signál [6]

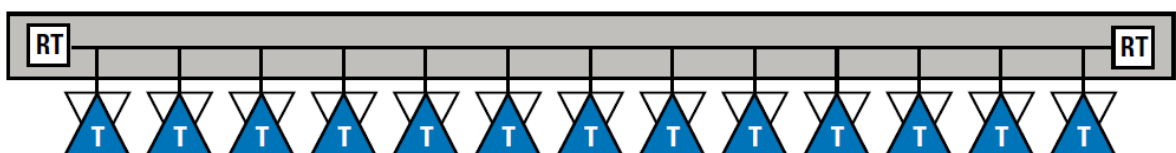
Na zaručenie vysokej odolnosti voči rušeniu je signál diferenciálnej povahy, tzn. každé rušenie ovplyvňuje logickú „0“ a aj „1“. Tým pádom sa rušenie pri prijímači odfiltruje.

	Industry Standard	Maximum Data Rate	Output Swing (V_{OD})	Power Consumption
LVDS	TIA/EIA-644	3.125 Gbps	± 350 mV	Low
LVPECL	N/A	10+ Gbps	± 800 mV	Medium to High
CML	N/A	10+ Gbps	± 800 mV	Medium
M-LVDS	TIA/EIA-899	250 Mbps	± 550 mV	Low
B-LVDS	N/A	800 Mbps	± 550 mV	Low

Obrázok 11 Prehľad priemyselných štandardov LVDS [6]

Ďalším dôležitým parametrom komunikácie založenej na princípoch LVDS je dátová priepustnosť. Tá u štandardu LVDS dosahuje maximálnej hodnoty až 3,125 Gbps a u štandardu M-LVDS až 250 Mbps.

M-LVDS na rozdiel od LVDS má viac vysielač a prijímačov na jednej zbernici. Technológia dovoľuje až 32 uzlov na jednu zbernicu.



Obrázok 12 Schéma M-LVDS [6]

Nasledujúci dôležitý parameter ovplyvňujúci priepustnosť je kontrolovaná impedancia prostredia, v ktorej sa signál šíri. Pre LVDS je to v teoretickej rovine impedancia zakončovacieho odporu, t.j. 100Ω . V reálnom svete je to docieľiť

ťažšie. A pri M-LVDS je to ešte ťažšie, keďže sa na jednej zbernici nachádza viacero vysielačov alebo prijímačov.

1.4.3 Formát správy

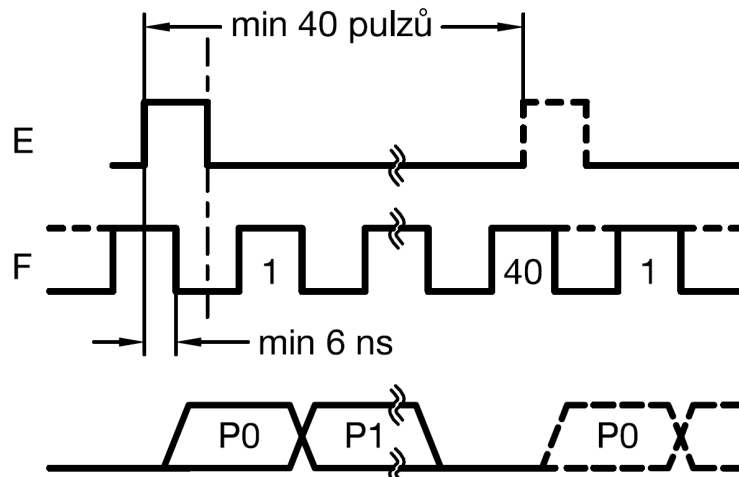
Rýchla komunikácia štandardu M-LVDS sa bude prevádzkovať na zberniciach P, V a C. Zbernica s označením P je určená k prijímaniu radiacich pulzov pre tranzistory. Zbernice s označením V a C sú určené pre odosielanie hodnôt napätia a prúdu na tranzistoroch späť do radiacej jednotky. Na odosielanie a prijímanie správ je zavedený štandard.

P0	P1	T0	T1	L	Data 16/32 bit	P
----	----	----	----	---	----------------	---

Tabuľka 4 Štandard správy pre M-LVDS [7]

Správa má dĺžku 22, alebo 38 bitov. Prvých 5 bitov je radiacich.

P0, P1	označujú zabezpečenie správy
	[P0,P1] = [0,0] - bez zabezpečenia správy, nepárna parita nie je kontrolovaná, resp. nie je generovaná
	[P0,P1] = [0,1] - správa je zabezpečená generovaním, resp. kontrolovaním nepárnej parity na konci správy
	[P0,P1] = [1,X] - rezervované do budúcnosti
T0, T1	stavové bity, záleží na konkrétnej aplikácii, nastavujú pokročilé nastavenia, napr. zapínajú prúdový tranzistor, spínajú tranzistory
L	určuje dĺžku dát
	0 - data budú o dĺžke 16 bitov
	1 - data budú o dĺžke 32 bitov
Data	dátová časť správy, nastavovaná bitom L, data sú zarovnané naľavo
P	paritný bit, kontrola nepárnej parity, t.j. či sa v celej správe nachádza nepárny počet „1“



Obrázok 13 Časovanie komunikácie [7]

Signál E (Enable) synchronizuje odoslanie, resp., prijímanie správ na zberniciach P,V a C. Maximálna dĺžka správy je 38 bitov, preto sa odporúča odosielať správy nie častejšie ako 40 polperiód hodín F. Pri frekvencii hodín F 40 MHz sa potom dá odosielať, resp. prijímať správy s maximálnou frekvenciou 1 MHz. Hodiny F nemusia vysielat' nepretržite. Stačí aby vysielali iba počas komunikácie po zberniciach, mimo to môžu byť úrovni „1“. Nábežná hrana E musí predbehať zostupnú hranu hodín F minimálne o 6 ns. Zostupná hrana E by mala byť v polovici polperiódy úrovne „0“. Odosielanie dát prebieha so zostupnou hranou hodín F a načítanie dát prebieha s nábežnou hranou hodín F.

2 Testovací prípravok základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK

Testovací prípravok základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK má otestovať funkčnosť komunikácie medzi zásuvným modulom a riadiacou kartou. Jedná sa o adresovanie karty v backplane, posielanie a prijímanie správ na rýchlych zberniciach štandardu M-LVDS.

Testovací prípravok sa skladá z Arduina Micra a z testovacej karty M0001T1.0. Testovací prípravok sa bude ovládať pomocou Arduina Micra, ktoré sa zasunie do testovacej dosky M0001T1.0.

2.1 Testovacia karta M0001T1.0

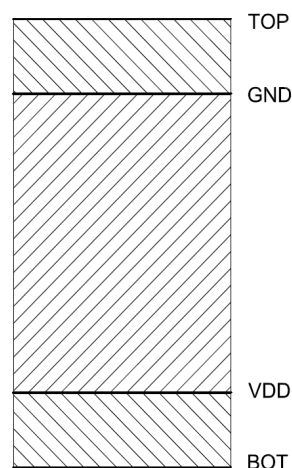
Arduino Micro riadi testovací prípravok základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK. Vzhľadom na hardwarové obmedzenia nie je Arduino Micro schopný sám o sebe otestovať plné schopnosti zásuvného modulu. Z toho dôvodu vznikla testovacia karta M0001T1.0 ako prostriedok na otestovanie otestovať plné schopnosti zásuvného modulu.

M	0001	T	1.0
---	------	---	-----

Tabuľka 5 Typové označenie

Význam názvu M0001T1.0 sa môžeme dozvedieť z Tabuľka 5. Prvý stĺpec popisuje charakteristické označenie testovanej časti M – MoMenTiK. Druhý stĺpec popisuje číselné označenie typu. Tretí stĺpec značí typové označenie T – testovací prípravok. Posledný stĺpec popisuje označenie revízie.

Na tejto karte sa nachádzajú konektory na pripojenie Ardiuna Micro a pre tranzistorovú kartu T0001M1.0. Arduino Micro je pripojené pomocou dvoch dutinkových líšt s dutinkami po 2x17. Je to z dôvodu možného sledovania signálu z druhej voľnej rady dutiniek. Tranzistorová karta T0001M1.0 sa pripája pomocou 96pinové 3řádé konektory DIN 41612 typ C pre signálovú časť a 48pinového 3řádého konektoru DIN 41612 typ E pre silovú časť (obdobne ako na backplanu). Na karte sa taktiež nachádza trojica silových konektorov 2x2x6 pinu, ktoré sú prepojené so silovým konektorom tranzistorovej karty. Je to určené pre možné budúce rozšírenie testovania.



Tabuľka 6 Vrstvy M0001T1.0

S ohľadom na výskyt citlivej komunikácie bola zvolená konfigurácia 4-vrstvej dosky plošných spojov. Vrchná vrstva TOP a spodná vrstva BOT sú signálové, vrstva GND označuje zem a vrstva VDD znamená napájanie. Vrstvy GND a VDD sú riešené rozliatou medťou.

Karta je napájaná externým zdrojom napätia o veľkosti 24V. Toto napätie sa cez napäťový regulátor MC34063A transformuje na hladinu 3,3V pre internú logiku karty a na hladinu 10V pre napájanie Arduina Micro, v prípade, že nebude napájané cez USB kábel.

2.1.1 Adresovanie

Testovanie adres prebieha pomocou dvoch seriovo-paralelných shift registrov 74LVC594A. Do týchto registrov sú posielané dáta z Arduina po sériovej linke. Následne paralelne vysielajú adresy pre tranzistorovú kartu, otvárajú kanály pre rýchlu komunikáciu a nastavujú hodiny F. Adresovanie karty je synchronizované signálom C (hodiny C0) a nie je obmedzené minimálnou rýchlosťou. Z toho dôvodu môže byť adresovanie kariet ovládané priamo z Arduina. Frekvencia odosielania je definovaná frekvenciou posielania dát do seriovo-paralelných shift registrov. Toto odosielanie je v Arduine pozdržané príkazom `delayMicroseconds()`. Z toho je odvodená polperioda C0, kde najmenšie spoľahlivé zastavenie programu je 3 μ s, maximálna teoretická frekvencia je potom 166 kHz.

Pre zvýšenie odolnosti sú signály LE, ERR a R v napäťovej hladine 24V.

2.1.2 Komunikácia štandardu M-LVDS

Odosielanie a prijímanie správy cez štandard M-LVDS je obmedzené minimálnou frekvenciou 500 kHz, ktorá bola stanovená v špecifikáciách stavebnice systému MoMenTiK s ohľadom na požiadavku priamej prepojitelnosti A/D prevodníkov na synchronizačný signál zbernice. Ovládanie testov odosielania a prijímania preto nie je možné robiť priamo s Arduinom. Na pracovanie s vysokými frekvenciami má karta vlastné hodiny F. Testovací prípravok má za úlohu otestovať až na maximálnu možnú frekvenciu, na ktorej je tranzistorová karta komunikovať, a to 40 MHz.

Hodiny F sú generované kryštálom o frekvencii 20 MHz. Táto frekvencia je zvýšená násobičkou hodín ICS 511 na frekvenciu 160MHz. Tá je následne napojená do 4bitovej synchronnej sčítačky 74LVC163. Počiatočná hodnota sčítania sčítačky je ovládaná Arduinoom cez sériovo-paralelné shift registre spomenuté u adresovania. Týmto vieme meniť frekvenciu, na ktorej pracuje komunikácia na štandardu M-LVDS. Za sčítačkou je jeden D klopený obvod 74ALVC74, ktorý z nesymetrického signálu urobí symetrický s dvakrát menšou frekvenciou. Tento signál potom vstupuje do ďalšej násobičky hodín ICS 512, kde sa vytvoria dva signály – F1 a F2. Signál F1 je synchronizačný signál pre komunikáciu štandardu M-LVDS a signál F2 je s dvakrát väčšou frekvenciou ako F1, ktorý slúži na vytvorenie signálu E (viď Obrázok 13). Nevýhoda tohto zapojenia je vytvorenie signálov F1 a F2 s pracovným cyklom v pomere 45/55. Výhoda je možnosť škálovať frekvenciu F1 od 40 MHz do 4,7 MHz (viď Tabuľka 13 Zoznam frekvencií F) a mať obe frekvencie s rovnakým meškaním a fázou.

Odosielanie správy sa realizuje pomocou trojice sériovo-paralelných shift registrov 74LVC594A, do ktorých posiela dáta Arduino. Tieto registre predaju dáta trojici paralelno-seriovým shift registrom 74LV165A. Po prijatí signálu E_PULZ_LATCH sa dáta pošlú frekvenciou NF1 (odosielanie na zostupných hranách F1) do tranzistorovej karty T0001M1.0.

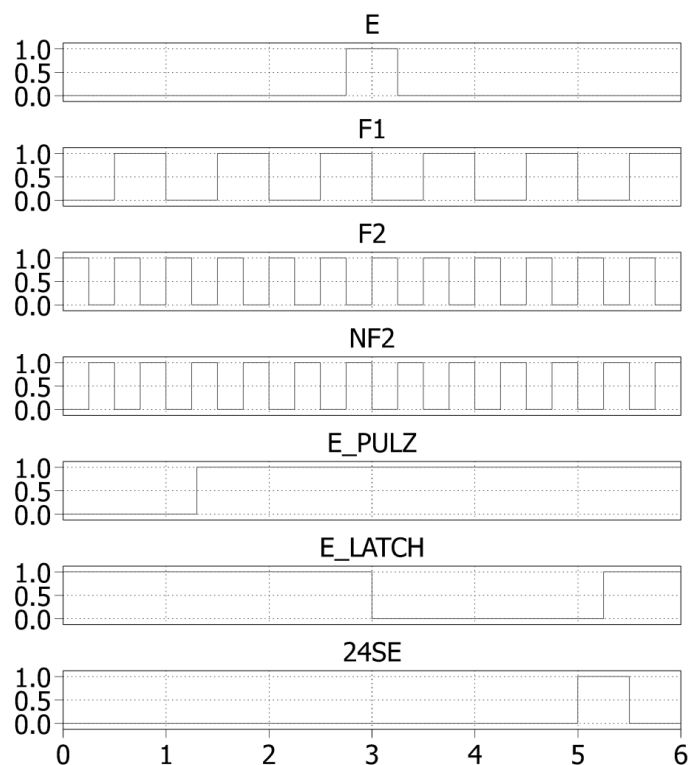
Prijímanie správ sa realizuje pomocou trojice sériovo-paralelných shift registrov 74LVC594A, kde frekvenciou F1 (prijímanie na nábežných hranách F1) prídu dáta a po signáli E_LATCH sa dáta predajú do trojice paralelno-seriovým shift registrom 74LV165A. Tieto registre potom sériovo predajú dáta do Arduina.

Arduino nepriamo spúšťa odosielanie a prijímanie cez štandard M-LVDS nesynchronným signálom E_PULZ. Tento signál je synchronizovaný dvoma D klopenými obvodmi 74ALVC74. Signál sa volá E_PULZ_LATCH a slúži na spustenie odosielania správy. Signál postupuje do záchytného registra tento krát synchronizovaného signálom NF2 (zostupná hrana F2). Odtiaľ signál postupuje paralelne do dvojice NOR gate zapojených ako záchytný register a do D klopeného obvodu synchronizovaného signálom NF2 (zostupná hrana

F2). V záchytnom registre je na pine Set je zapojený prvý D klopený obvod synchronizovaný na NF2 a na pine Reset je druhý paralelne zapojený D klopený obvod synchronizovaný na NF2 so záchytným registrom. Toto zapojenie vytvorí na výstupe zo záchytného registra signál E, ktorého nábežná a zostupná hrana je v strede polperiódy F1 a trvá presne jednu periódu (viď Obrázok 14).

Pri prepnutí signálu E do logickej 1 sa v ďalšom D klopenom obvode synchronizovanom na F2 pripojeným na Set záchytného registra vytvorí signál E_LATCH. Tento signál je celý čas v logickej 1 a len počas posielania dát je v logickej nule. To je z dôvodu, že signál pri nábežnej hrane pošle prijaté dáta z sériovo-paralelných shift registrov 74LVC594A do paralelno-seriovým shift registrom 74LV165A. Signál musí byť v logickej 0 presne 24 pulzov F1 na prijatie celej správy. To je zabezpečené synchronnými sčítačkami 74LVC163, ktoré sa spustia signálom E a so synchronizačným signálom NF1 (zostupná hrana F1) načítavajú 25 pulzov. Po naplnení sčítačky sa pošle signál 24SE do Resetu záchytného registra a E_LATCH sa prepne do logickej 1.

Signál E_PULZ je v logickej 1 po celý čas odosielania/prijímania.



Obrázok 14 Simulacia komunikacie

Pre prepojenie rozhrania diferenciálnych signálov s unipolárnymi sú použité súčiastky ADN4693. Komunikácia štandardu M-LVDS je oddelená od zvyšku časti karty z dôvodu ochrany izolátorom signálu ADUM3440 a izolátorom napájania ADUM5000.

2.1.3 Testovacie body

Na karte sa nachádza niekoľko testovacích bodov pre sledovanie signálov

Meno	Signál	Popis
TP1	3.3	Napájanie +3.3 V
TP2	10V	Napájanie +10 V
TP3	F0	Hodiny F0
TP4	NF2	Negatívne hodiny F1
TP5	F2	Hodiny F2
TP6	F1	Hodiny F1
TP7	GND	Zem
TP8	E_LATCH	Poslanie prijímanej správy do paralelno-seriových registrov
TP9	24SE	24 zostupná hrana F1 prijímanej správy

Tabuľka 7 Zoznam testovacích bodov

2.2 Arduino Micro

Arduino Micro je open-source platforma založená na mikrokontroléry ATmega32u4 vyvinuté v spolupráci s firmou Adafruit. Má 20 digitálnych vstupných/výstupných pinov, z toho môže byť 7 použitých ako PWM a 12 ako analógový vstup.

<i>Mikrokontrolér</i>	<i>ATmega32u4</i>
<i>Pracovné napätie</i>	5V
<i>Napájanie (odporúčané)</i>	7 – 12V
<i>Napájanie (limit)</i>	6 – 20V
<i>Digitálne vstupné/výstupné piny</i>	20

<i>PWM kanály</i>	7
<i>Analógové vstupné kanály</i>	12
<i>Jednosmerný prúd pre vstup/výstup piny</i>	40 mA
<i>Jednosmerný prúd pre napájanie 3,3 V</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (ATmega32u4), 4 KB využíva bootloader
<i>SRAM</i>	2.5 KB (ATmega32u4)
<i>EEPROM</i>	1 KB (ATmega32u4)
<i>Frekvencia hodín</i>	16 MHz
<i>Dĺžka</i>	48 mm
<i>Šírka</i>	18 mm
<i>Váha</i>	13 g

Tabuľka 8 Parametre Arduina Micro [8]

Arduino micro môže byť napájané z micro USB portu alebo cez externé napájanie. Zdroj napájania sa vyberá automaticky.

Externý zdroj napájania môže byť z jednosmerného zdroja napájania alebo z batérie. Tieto zdroje sa pripájajú k pinu Vin a pinu Gnd.

Doska vie operovať s napájaním od 6 V do 20 V. Ak sa dodáva menej ako 7 V, piny napájané 5 V môžu dodávať menej ako 5 V a doska môže byť nestabilná. Ak sa použije viac ako 12 V, regulátor sa môže prehriať a poškodiť dosku. Odporúča sa napájanie od 7 V do 12 V. Preto pre napájanie z testovacieho prípravku bolo zvolené napätie 10V.

Atmega32u4 má 32KB pamäte (s 4KB použitými pre bootloader). Doska má taktiež 2,5KB SRAM pamäte a 1KB EEPROM pamäte.

Arduíno Micro na komunikáciu s počítačom využíva micro USB konektor. ATmega32u4 umožňuje sériovú komunikáciu cez USB a objaví sa ako virtuálny komunikačný port na počítači. Čip sa taktiež chová ako USB 2.0 zariadenie a využíva štandardné USB COM ovládače. Arduino Software obsahuje Serial Monitor, ktorý umožňuje jednoduchú komunikáciu na prijímanie a odosielanie dát medzi počítačom a Arduinom.

Arduino Micro sa dá programovať pomocou Arduino Software. ATmega32u4 na Arduine Micro má predinštalovaný bootloader, ktorý umožňuje nahranie nového kódu bez prítomnosti externého hardvérového programeru.

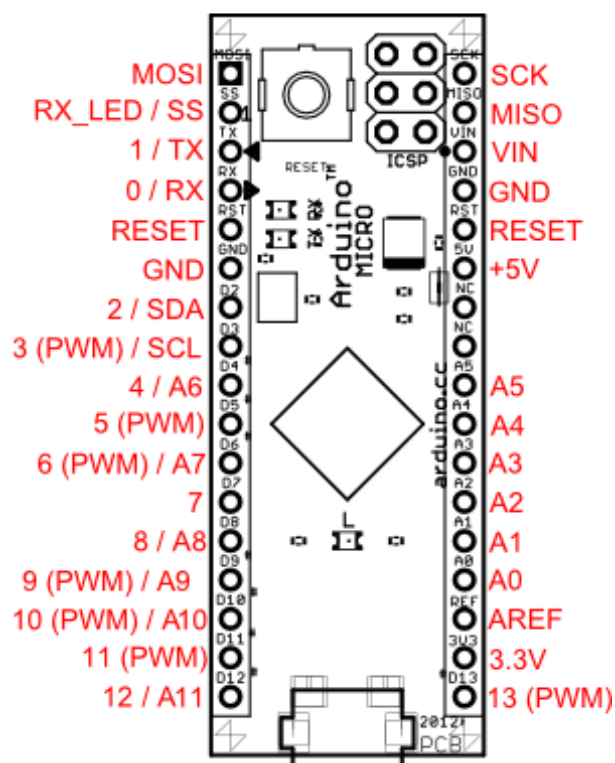
Medzi základné príkazy používané v programe na Arduine Micro ovládajúcim testovací prípravok patria:

<i>Príkaz</i>	<i>Popis</i>	<i>Syntax</i>	<i>Parametre</i>
<i>pinMode()</i>	<i>Konfiguruje špecifický pin aby sa choval ako vstup alebo výstup</i>	<i>pinMode(pin, mode)</i>	<i>Pin - číslo pinu, ktoré si chceme zdefinovať Mode - INPUT (vstup), OUTPUT (výstup)</i>
<i>digitalWrite()</i>	<i>Zapíše logickú 0 (LOW) alebo 1 (HIGH)</i>	<i>digitalWrite(pin, value)</i>	<i>Pin - číslo pinu, ku ktorému sa viaže príkaz Value - logická hodnota 0 (LOW), 1 (HIGH)</i>
<i>digitalRead()</i>	<i>Číta logické hodnoty na vybratom pine</i>	<i>digitalRead(pin)</i>	<i>Pin - číslo pinu, ku ktorému sa viaže príkaz</i>
<i>analogWrite()</i>	<i>Odosiela analógovú hodnotu na pin. Analógová hodnota vytváraná cez 8bitovy PWM</i>	<i>analogWrite(pin, value)</i>	<i>Pin - číslo pinu, ku ktorému sa viaže príkaz Value - pracovný cyklus, od 0 po 255</i>
<i>analogRead()</i>	<i>Číta analógovú hodnotu zo zadaného pinu. Digitálny hodnota získaná pomocou 10bitového analógovo-digitálneho prevodníka</i>	<i>analogRead(pin)</i>	<i>Pin - číslo pinu, ku ktorému sa viaže príkaz</i>
<i>delayMicroseconds()</i>	<i>Zastaví program na množstvo času (v mikrosekundách) zadaných v parametroch. Najkratšie spoľahlivé zastavenie je 3μs, najdlhšie možné je 16383 μs</i>	<i>delayMicroseconds(us)</i>	<i>Us- počet mikrosekund</i>

<code>Serial.print()</code>	Odošle dáta do seriálového portu, zobrazia sa ako ASCII text na počítači	<code>Serial.print(val)</code> <code>Serial.print(val, format)</code>	Val – hodnota, ktorú chcem odoslať Format – v ako formáte (číselnom) sa majú zobrazit'
<code>Serial.available()</code>	Udáva počet bytov prijatých cez serialovú komunikáciu, ktoré sú už pripravené na načítanie, sú to už dáta, ktoré už prišli a sú uložené v seriál buffery	<code>Serial.available()</code>	
<code>Serial.parseInt()</code>	Vracia prvé integer číslo zo serial bufferu, znaky, ktoré nie sú integer sú vynechané	<code>Serial.parseInt()</code> <code>Serial.parseInt(char skipChar)</code>	<code>skipChar</code> – udáva znak, ktorý vynechá znak pri načítaní

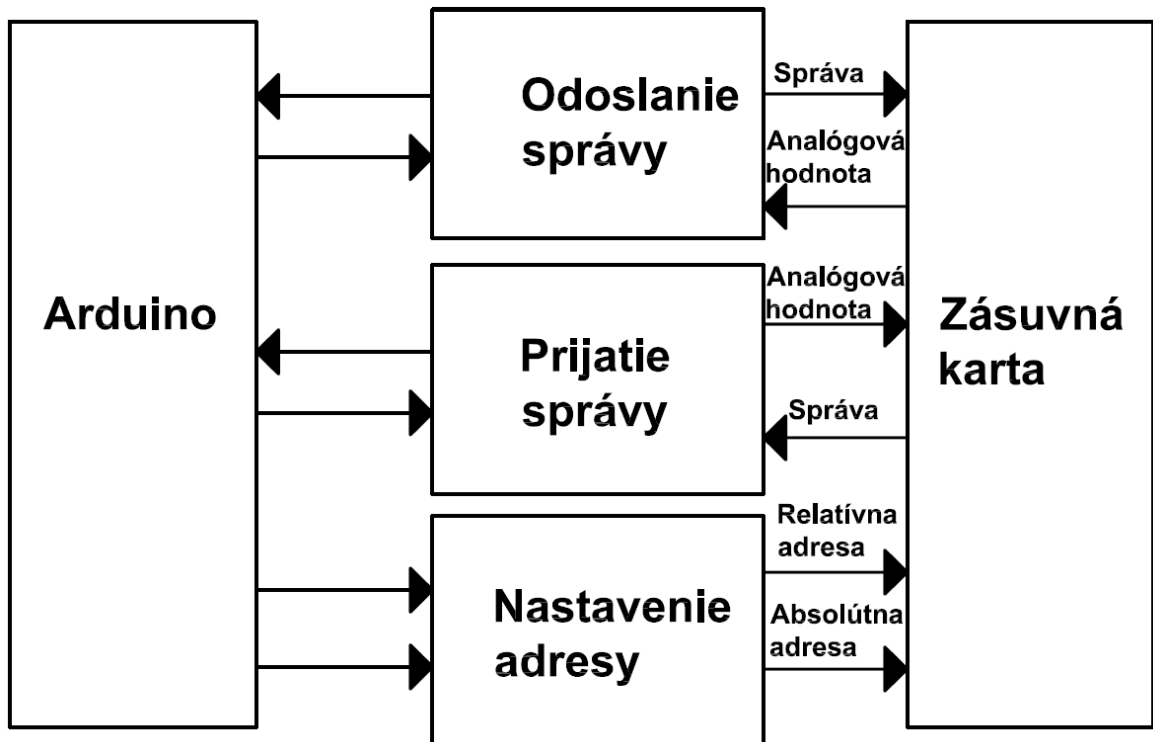
Tabuľka 9 Základné príkazy pre Arduino Micro [8]

Maximálne rozmery dosky Arduino Micra sú 4,8 x 1,7 cm. USB konektor prečnieva cez obrys dosky.



Obrázok 15 Rozloženie pinov Arduino Micro [8]

2.3 Blokové schéma



Obrázok 16 Blokové schéma skúšobného prípravku

2.4 Rozsah testovaní

Štandardný priebeh v automatickom móde je v maximálnej možnej miere automatizovaný (viď kapitola 0). Pre podrobnejšiu analýzu sa dá prejsť do manuálneho módu a každý krok testu (prípadne i s inými parametrami) znovu zopakovať.

2.4.1 Testovanie adresy

V modulárnom meniči existujú dva druhy adres - absolútna a relatívna. Ich funkcie sú bližšie popísané v kapitole 1.4.1. Do testu sa budú zadávať obidve adresy.

Absolútna adresa pre pozíciu racku a pozíciu karty v racku je v rozsahu 0 až 15. Táto adresa neovplyvní test ani funkčnosť tranzistorovej karty.

Relatívnu adresu pre tranzistorovú kartu T0001M1.0 je možné zadávať v rozsahu od 0 do 3, čo odpovedá počtu realizovaných kanálov na testovanej karte (špecifikácia zbernice umožňuje až 12 kanálov). Táto adresa sa zobrazí

na sedem segmentovom display na tranzistorovej karte. Zároveň táto adresa otvára kanály pre rýchlu komunikáciu v štandarde M-LVDS.

Adresovanie je synchronizované pomocou signálu C. Tento signál sa dá samostatne nastaviť. Viac o tom je zmienené v kapitole 2.4.4.

2.4.2 Testovanie odoslania správy

Odoslaním správy sa bude testovať rýchla komunikácia M-LVDS, ktorá je bližšie popísaná v kapitole 1.4.2. Správa bude odosielaná v tvare, ktorý bol popísaný v kapitole 1.4.3. Odosielanie správy sa spúšťa signálom E, ktorý odošle správu do tranzistorovej karty T0001M1. Po kontrole parity sa zložka DATA prevedú do digitálno-analógového prevodníka (DAC), ktorý sa prenáša do modulu analógového regulátora prúdu. Nižšie v Tabuľka 10 je uvedený vzťah medzi hodnotou prúdu a digitálnym signálom. Tento vzťah má lineárnu závislosť. Testovací prípravok tak umožňuje testovať plný rozsah meraní, a to na všetkých štyroch kanáloch implementovaných na testovanej karte.

<i>DATA</i>	<i>I [A]</i>	<i>Analógový výstup z DAC [V]</i>
1111 1111 1111 1111	$2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_N$	3
1100 0000 0000 0000	$\sqrt{2} \cdot I_N$	2,25
1000 0000 0000 0000	0	1,5
0100 0000 0000 0000	$-\sqrt{2} \cdot I_N$	0,75
0000 0000 0000 0000	$-2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_N$	0

Tabuľka 10 Vzťah medzi hodnotou DATA a výstupom z DAC, kde I_N je menovitá hodnota prúdu výkonových tranzistorov na module [7]

Po odoslaní správy testovací prípravok prijíma analógový signál, ktorý prevedie analógovo-digitálny prevodník (ADC) v Arduine do digitálnej hodnoty. V tranzistorovej karte T0001M1.0 je 16bitový digitálno-analógový prevodník a Arduine je 10bitový analógovo-digitálny prevodník. To znamená, že obmedzenia presnosti budú definované Arduinom. 10bitový analógovo-digitálny prevodník v Arduine je pre rozsah 5V, čo znamená 5mV na dielik. Mať takú presnosť merania by bolo ideálne, ale reálne pri prvých revíziách návrhov budeme radi pre 20mV na dielik, čo znamená presnosť merania $\pm 10\text{mV}$. V budúcnosti nevyklúčujem zvýšenie presnosti merania.

Testovací prípravok je schopný odoslať len 16-bitovú časť DATA správy a dokáže generovať ochrannú paritu odosielanej správy. Nachádzajú sa tu dve možnosti testovania- automatizovaný test alebo manuálny test.

Automatizovaný test má predpripravených 5 správ v tvare uvedenej v Tabuľka 11

<i>PO</i>	<i>P1</i>	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>L</i>	<i>DATA</i>	<i>P</i>
0	1	1	1	0	Tabuľka 10	X

Tabuľka 11 Tvar automatických správ pre test odoslania správy

Správy generujú ochrannú paritu, stavové bity T0 a T1 sú 1, dĺžka dát je 16-bitov a DATA sú vybrané z Tabuľka 10. Tento test je pre štandardný postup testovanie tranzistorovej karty T0001M1.0.

V manuálnom teste je možnosť si nastaviť všetky bity ľubovoľne v rámci možnosti tranzistorovej karty T0001M1.0. Tento test nie je pre štandardný postup testovania, je určený pre manuálne hľadanie chýb.

2.4.3 Testovanie prijatia správy

Na tranzistorovej karte T0001M1.0 sa na meranie prúdu predpokladá použitie snímača od firmy LEM s napäťovým výstupom. Napäťový rozsah snímača má lineárnu závislosť a je znázornený v Tabuľka 12.

<i>Napätie [mV]</i>	<i>DATA</i>
1 768	1111 1111 1111 1111
1 327	1100 0000 0000 0000
885	1000 0000 0000 0000
442	0100 0000 0000 0000
0	0000 0000 0000 0000

Tabuľka 12 Vzťah medzi napätím a výstupnou hodnotou DATA [7]

Po odoslaní analógovej hodnoty prípravok prijíma správu na rýchlej zbernici C. Arduino je schopné generovať PWM signál s rozlíšením 8bitov a na tranzistorovej karte T0001M1.0 je 12bitový digitálno-analógový prevodník. Obmedzenia presnosti budú definované tranzistorovou kartou. Arduino je schopné poslať analógový signál s rozlíšením 20mV na dielik, ale RC filter

medzi Arduinom a tranzistorovou kartou má zvlnenie vrchol-vrchol 66 mV. Z toho vyplýva, že v ideálnom prípade budeme môcť prijímať dáta s odchylkou 33 mV.

Prípravok skontroluje ochranu paritou a hodnotu DATA vypíše. Sú dve možnosti testovania- automatizovaný test alebo manuálny test.

Automatizovaný test má predpripravených 5 správ v tvare uvedenej v Tabuľka 12. Tento test je pre štandardný postup testovanie tranzistorovej karty T0001M1.0.

V manuálnom teste je možnosť si nastaviť vlastné hodnoty napätia v rámci hraníc možnosti prípravku. Tento test nie je pre štandardný postup testovania, je určený pre manuálne hľadanie chýb.

2.4.4 Nastavenie frekvencie

Komunikácia medzi testovacím prípravkom a tranzistorovou kartou T0001M1.0 prebieha pomocou synchronizačných signálov F pre komunikáciu štandardu M-LVDS a C pre načítanie adresy. Obidve sa dajú nastaviť v programe.

Signál F sa dá nastaviť pomocou synchronnej sčítačky umiestnenej na testovacom prípravku. Maximálna frekvencia, ktorá sa dá nastaviť je 40 MHz. Táto hodnota je teoretické maximum, ktoré dokáže zvládnuť tranzistorová karta a je prednastavené v programe. Všetky možné frekvencie sú vypísane v Tabuľka 13.

<i>F</i> [MHz]	40,0	26,7	20,0	16,0	13,3	11,4	10,0	8,9	8,0	7,3	6,7	6,2	5,7	5,3	5,0	4,7
----------------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabuľka 13 Zoznam frekvencií F

Signál C je synchronizačný signál pre nastavenie adresy tranzistorovej karty. Pri tomto signáli nie sú obmedzenia na tranzistorovej karte, ale len na testovacom prípravku. Signál sa nastavuje polperiódou signálu. Najmenšia možná nastavitelná je 3 μ s. Horná hranica je 16383 μ s.

3 Záver

V súčinnosti s autormi diplomových prác [5] a [7] som navrhol testovací prípravok základnej dosky zásuvného modulu tranzistorového polmostíka pre univerzálny menič MoMenTiK. Prípravok sa skladá z testovacej karty M0001T1.0 a ovládacej časti Arduina Micra so softwarom TDM00016. Navrhol som testovací predpis a vytvoril protokol TDM00014. Pri návrhu plošného spoja testovacej karty M0001T1.0 som rešpektoval topológiu konektorov z backplanu a pripravil som kompletnú dokumentáciu pre zhotovenie jednotky u externých výrobcov. Počas vypracovania bakalárskej práce som využíval verzovací systém Mercurial.

4 Použitá literatura

- [1] ČSN EN 60297-3-104. *Mechanické konstrukce pro elektronická zařízení - Systém nosných konstrukcí řady 482,6 mm (19 palců) - Část 3-104: Konektory a souvisící rozhraní rozměrů koster a zásuvných jednotek*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 36 s. Dostupné z: <https://csnonline.unmz.cz>
- [2] IEEE 1101 - Standard for Mechanical Core Specifications for Microcomputers Using IEC 60603-2 Connectors.
- [3] APRA-NORM ELEKTROMECHANIK GMBH. *19" Electronic packaging systems: 6 U subracks 245* [online]. 2015 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.apra-norm.de/nextshopcms/cmsspdf.asp?id=699>
- [4] *DIN 41612 / 60603-2 Connectors and completions*
- [5] TOMÁŠ, Lněnička. *Návrh a realizace řídicí a silové sběrnice modulárního měniče*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [6] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. *LVDS Owner's Manual Design Guide: 4th Edition* [online]. 2008 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ml/snla187/snla187.pdf>
- [7] JAKUB, Klinger. *Návrh základní desky zásuvného modulu tranzistorového půlmůstku pro univerzální měnič*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [8] Arduino. [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc>
- [9] ZÁHLAVA, Vít. *Metodika návrhu plošných spojů*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, Elektrotechnická fakulta, 2000, 81 s. ISBN 80-01-02193-9

5 Zoznam obrázkov a grafov

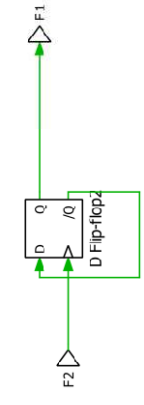
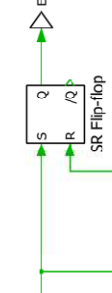
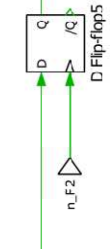
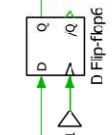
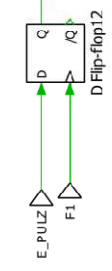
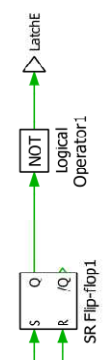
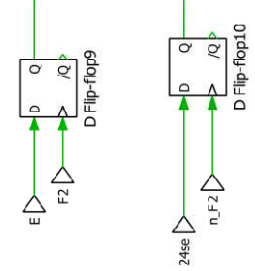
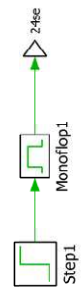
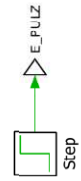
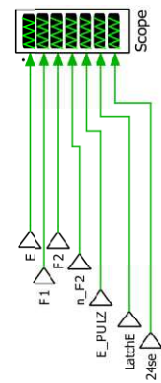
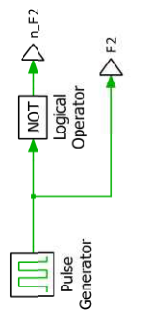
Obrázok 1 19"rack jednotka o výške 6U [3].....	3
Obrázok 2 Blokové schéma tranzistorovej karty T0001M1.0 [7]	7
Obrázok 3 Rozmery modulu s vyznačením rastru predvrtaných otvorov Eurocard 160 ×100 [7]8	
Obrázok 4 Rozmery a umiestnenie konektorov na tranzistorom module [7]	9
Obrázok 5 Rozmery a umiestnenie konektorov na module regulatoru prúdu [7]	9
Obrázok 6 Riadiace impulzy pre riadenie adresovania [7]	11
Obrázok 7 Schéma adresovania [7]	11
Obrázok 8 Schéma prepojovania adres [7].....	12
Obrázok 9 Vysielač a prijímač LVDS [6].....	12
Obrázok 10 Diferenciálny signál [6]	13
Obrázok 11 Prehľad priemyselných štandardov LVDS [6]	13
Obrázok 12 Schéma M-LVDS [6]	13
Obrázok 13 Časovanie komunikácie [7].....	15
Obrázok 14 Simulacia komunikácie	19
Obrázok 15 Rozloženie pinov Arduino Micro [8].....	23
Obrázok 16 Blokové schéma skúšobného prípravku.....	24

6 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Zoznam kariet [5]	2
Tabuľka 2 Rozloženie a funkcie jednotlivých pinov konektorov na signálovej časti backplanu [5]	4
Tabuľka 3 Rozloženie a funkcia jednotlivých pinov konektorov na silovej napájacej časti backplanu [5]	6
Tabuľka 4 Štandard správy pre M-LVDS [7]	14
Tabuľka 5 Typové označenie.....	16
Tabuľka 6 Vrstvy M0001T1.0	16
Tabuľka 7 Zoznam testovacích bodov	20
Tabuľka 8 Parametre Arduina Micro [8]	21
Tabuľka 9 Základné príkazy pre Arduino Micro [8].....	23
Tabuľka 10 Vzťah medzi hodnotou DATA a výstupom z DAC, kde I_N je menovitá hodnota prúdu výkonových tranzistorov na module [7]	25
Tabuľka 11 Tvar automatických správ pre test odoslania správy.....	26
Tabuľka 12 Vzťah medzi napätím a výstupnou hodnotou DATA [7].....	26
Tabuľka 13 Zoznam frekvencií F	27

7 Prílohy

Simulácia komunikácie



Kusovník M0001T1.0



M0001T1.0 -Kusovník

Dok. č.	TDM00015	Připravil	Koman
Rev	A	Přezkoušel	Flígl, Bauer
Datum	2015-05-18	Schválil	Lettl

Mouser obj. č. <i>(není-li uvedené jinak)</i>	Pouzdro	Typ	Popis	Ks	Pozice	Změna
	2X06	Konektor 2,54	MALE	1	X13	
	2X14	Konektor 2,54	MALE	1	X14	
815-ASFL1-20-L-T	5 x 3.2 mm	ASFL1-20.000MHZ-L-T		1	U26	
	C0805	Kondenzátor keramický	100n, 10 %, X7R, 50 V	47	C1, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C22, C23, C24, C28, C29, C30, C31, C36, C37, C40, C41, C42, C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51, C52, C53, C54, C56, C57, C58, C59, C60, C61, C63, C64, C65, C66, C67	
	C0805	Kondenzátor keramický	100p, 10 %, X7R, 50 V	2	C32, C33	
	C0805	Kondenzátor keramický	10n, 10 %, X7R, 50 V	3	C43, C55, C62	
	C0805	Kondenzátor keramický	10u, 10 %, X7R, 10 V	9	C2, C3, C4, C5, C18, C19, C20, C21, C27	
621-1N5819	DO41-7.6	1N5819-T		2	D1, D2	
667-EEU-FR1A101	E2-5	Polarized Capacitor	100u/ 10V	2	C38, C39	
667-EEU-FC1V101	E3,5-8	Polarized Capacitor	100u/ 35V	2	C25, C26	
667-EEU-FR1A152	E5-10,5	Polarized Capacitor	1500u F/10V	2	C34, C35	

534-5001	LSP10	LSP10		7	TP3, TP4, TP5, TP6, TP7, TP8, TP9	
	R0805	Resistor	0R2, 1 %	2	R17, R18	
	R0805	Resistor	100k, 1 %	28	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R24, R25, R26, R27, R29, R30, R33, R34, R35, R36, R37, R38	
	R0805	Resistor	10k, 1 %	3	R19, R20, R21	
	R0805	Resistor	11k, 1 %	1	R22	
	R0805	Resistor	18k, 1 %	1	R31	
	R0805	Resistor	35k, 1 %	1	R32	
	R0805	Resistor	5k, 1 %	1	R23	
652-SDE6603-100M	SDE6603	SDE6603-100M		2	L3, L4	
771-ALVC02D118	SO14	74ALVC02D		2	U38, U39	
771-74ALVC74D	SO14	74ALVC74D		4	U12, U19, U20, U30	
771-74LV165ADQ100J	SO16	74LV165A		6	U21, U22, U23, U35, U36, U37	
771-LVC163PW112	SO16PW	74LVC163W		3	U25, U33, U34	
584-ADUM5000ARWZ	SO16PW	ADUM5000ARWZ		2	U2, U3	
972-512MLF	SO8	512MLF		1	U18	
972-511MLFT	SO8	511MLFT		1	U31	
584-ADN4693EBRZ	SOIC14	ADN4693EBRZ		8	U40, U41, U42, U43, U44, U45, U46, U47	
595-SN74LVC04AD	SOIC14	SN74LVC04AD		1	U11	
584-ADUM3440CRWZ	SOIC16	ADUM3440CRWZ		2	U1, U7	

595-MC34063ADE4	SOIC8	MC34063ADE4		2	U8, U9	
771-2N7002P-215	SOT-23-3	2N7002P		3	U4, U5, U6	
652-SRN1060-101M	SRN1060	SRN1060-101M		2	L1, L2	
595-SN74LVC14APWR	TSSOP14	74LVC14APW		3	U10, U24, U32	
771-LVC594APW118	TSSOP16L	74LVC594A		8	U13, U14, U15, U16, U17, U27, U28, U29	
EPT 304-60064-02*** (alt. ERNI 254015*)	TYPE C Female	ERNI-DIN41612	96 pins	1	X1	
EPT 108-60084*** (alt. ERNI 424812*)	TYPE E Female	ERNI-DIN41612	48 pins	1	X2	
		plastove distancne sloupky-matice x sroub(M3); pristrojove nozicky		6	H3, H4, H5, H6, H7, H8	
811-182 **		pristrojova zdirka, D max 5,5mm		2	H1, H2	
832-107 **		dutinkova lista- rovna, 2*17 pinov, 2,54 mm, max vyska 10 mm		2	X3, X4	
		Arduino Micro (nepájí se, vklada se do konektoru X3 a X4)		1		
		Plochý vícežilový kábel, 1,27 mm, 12 x licna (28AWG)		0,5 m		
		Plochý vícežilový kábel, 1,27 mm, 12 x licna (28AWG)		0,5 m		
		Konektor pro ploché kabely na kabel přímý, rozteč 2,54mm, 2x6 kontaktů (alternativně i více pinů-nevyužité zaslepit)		2		

		Konektor pro ploché kabely na kabel přímý, rozteč 2,54mm, 2x14 kontaktů (alternativně i více pinů-nevyužité zaslepit)		2		
1930820000* ***	SV 7.62HP/ 02/180S F 3.5SN BK BX	Power Connector		3	X5, X6, X15	

Historie revizí

Poznámky:

* značí číslo odpovídající katalogu od firmy ERNI dostupné na:

<http://www.erni.com/fileadmin/medien/downloadcenter/din41612/ERNI-DIN41612-IEC60603-2-e.pdf>

** internetový obchod GM Electronic

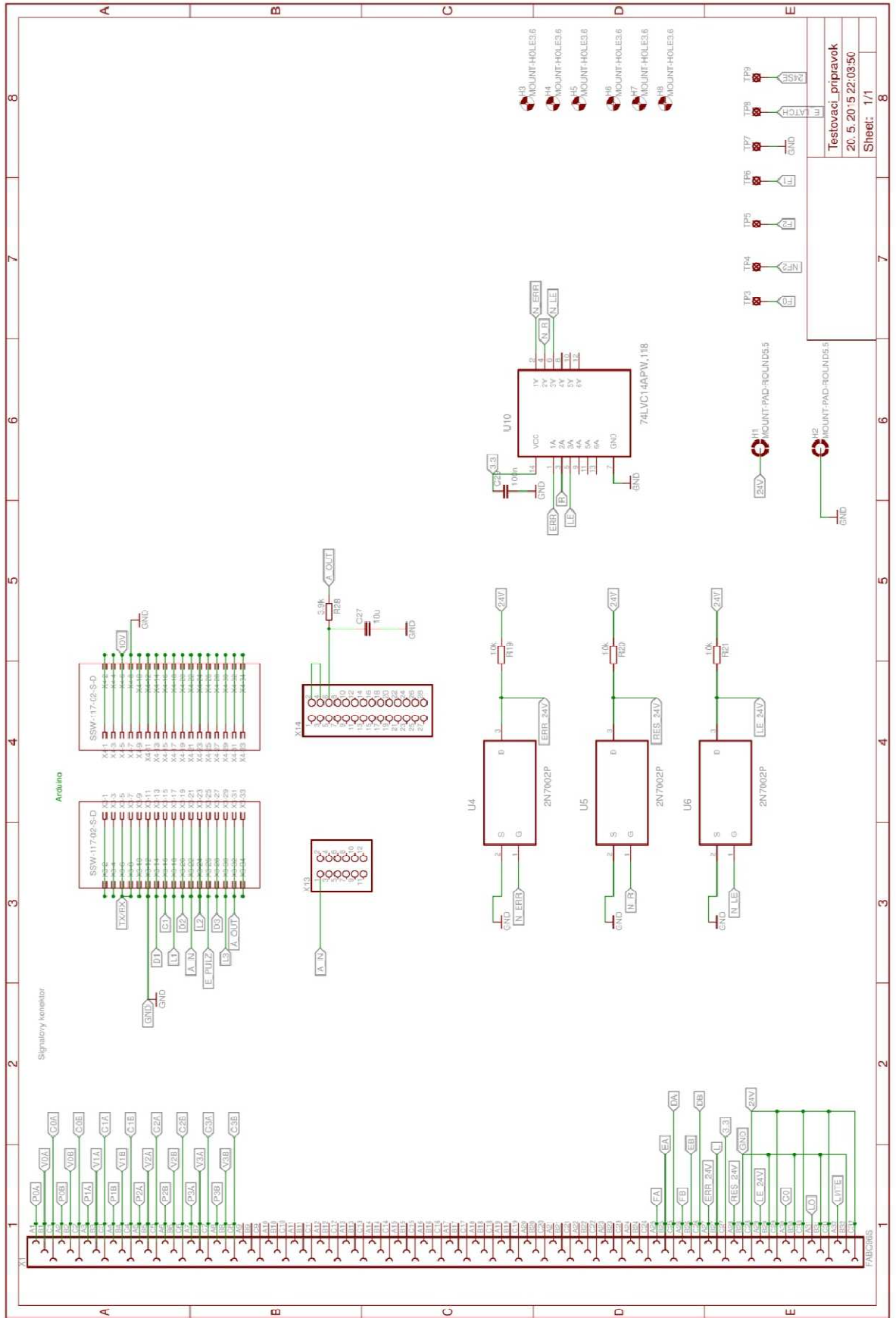
*** značí číslo odpovídající katalogu od firmy EPT dostupné na

<http://www.ept.de/index.php?DIN-41612-de54f9712148c4b>

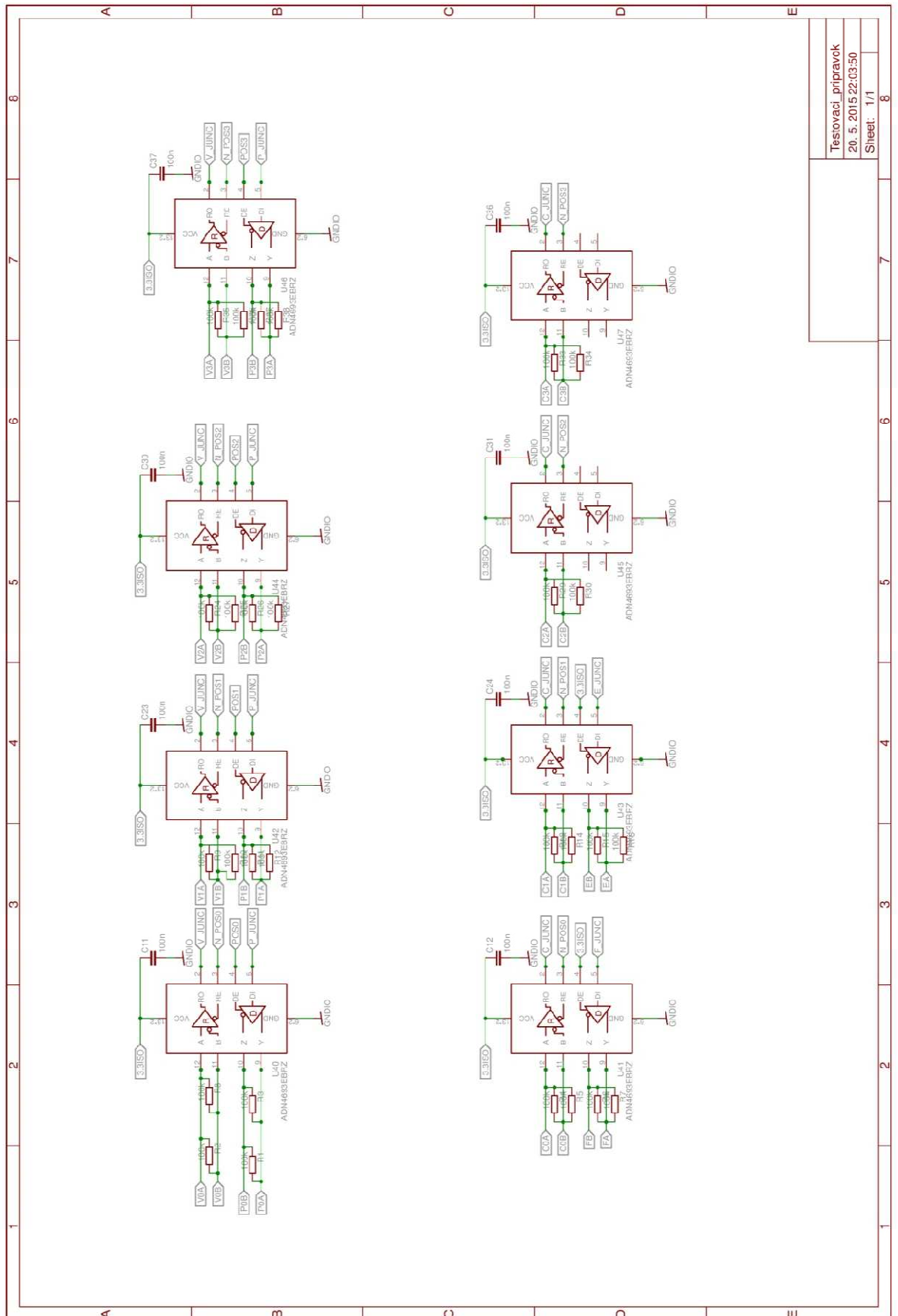
**** značí číslo odpovídající katalogu od firmy Weidmüller dostupné na:

[http://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=C68ECE88D76C0D55F00CA4ACD69A0466?productId=\(%5b1930820000%5d\)&groupId=\(%22group3692202320455%22\)&page=Product](http://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=C68ECE88D76C0D55F00CA4ACD69A0466?productId=(%5b1930820000%5d)&groupId=(%22group3692202320455%22)&page=Product)

Schematické zapojenie

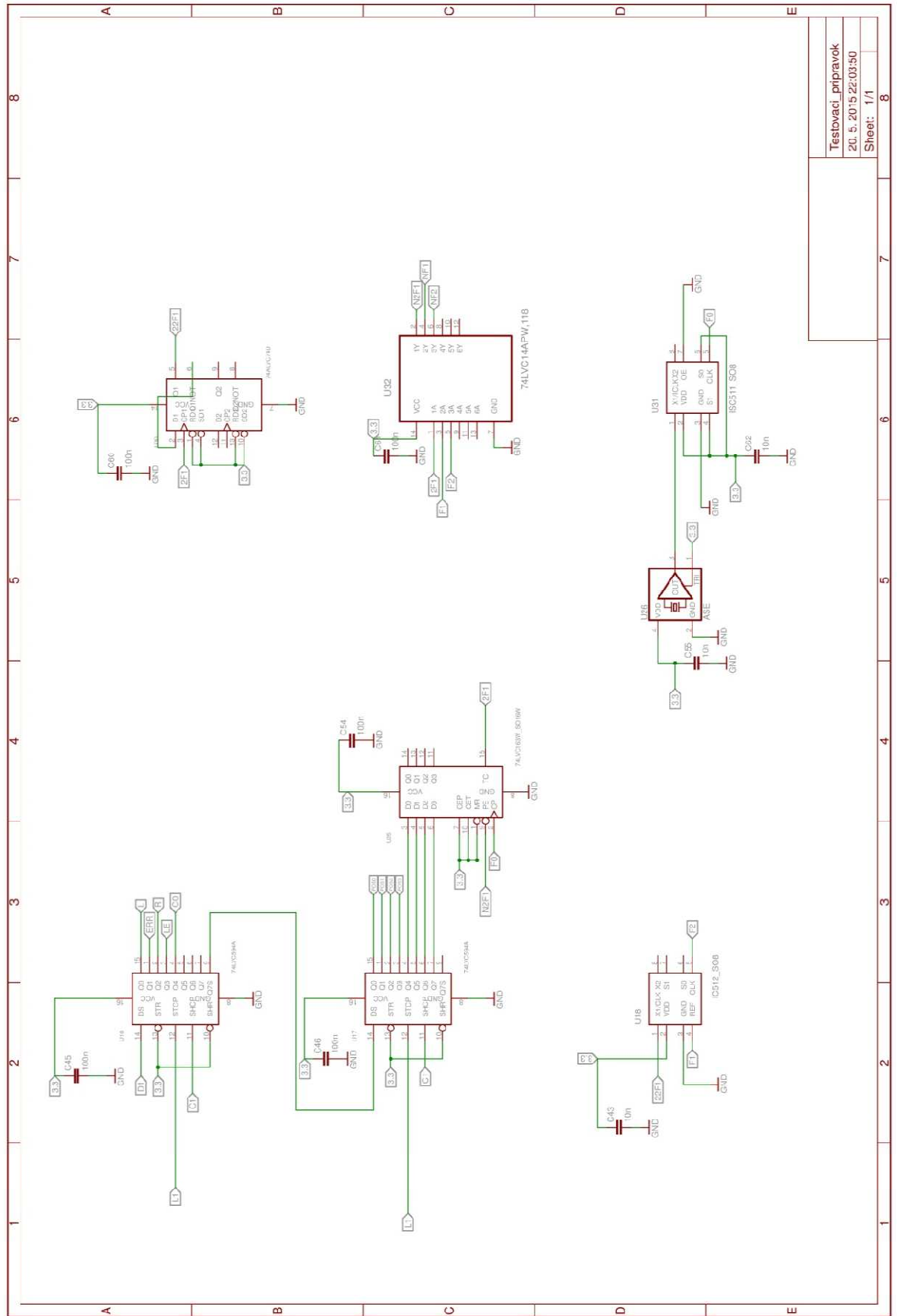


M0001T1.0 Schéma 1

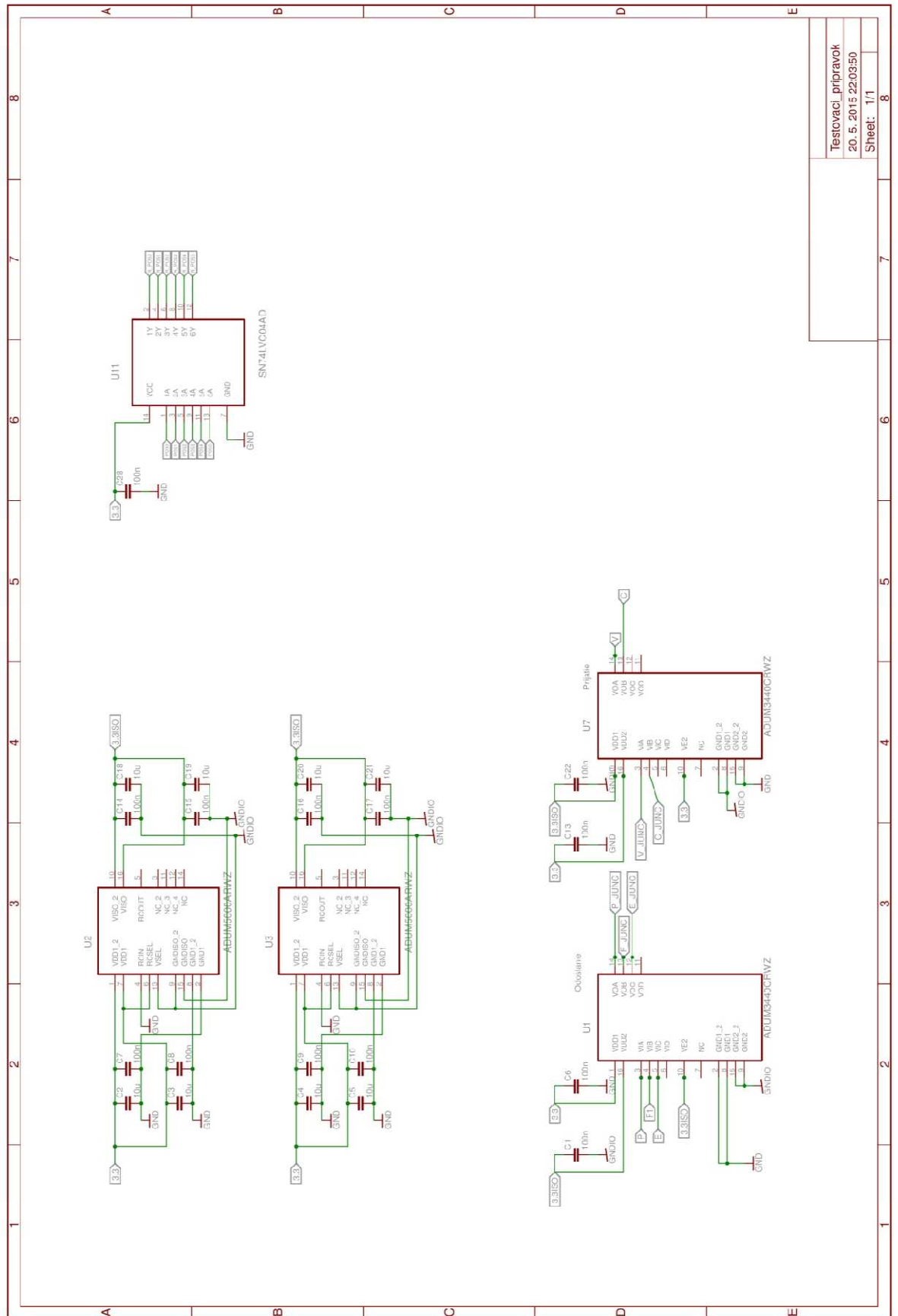


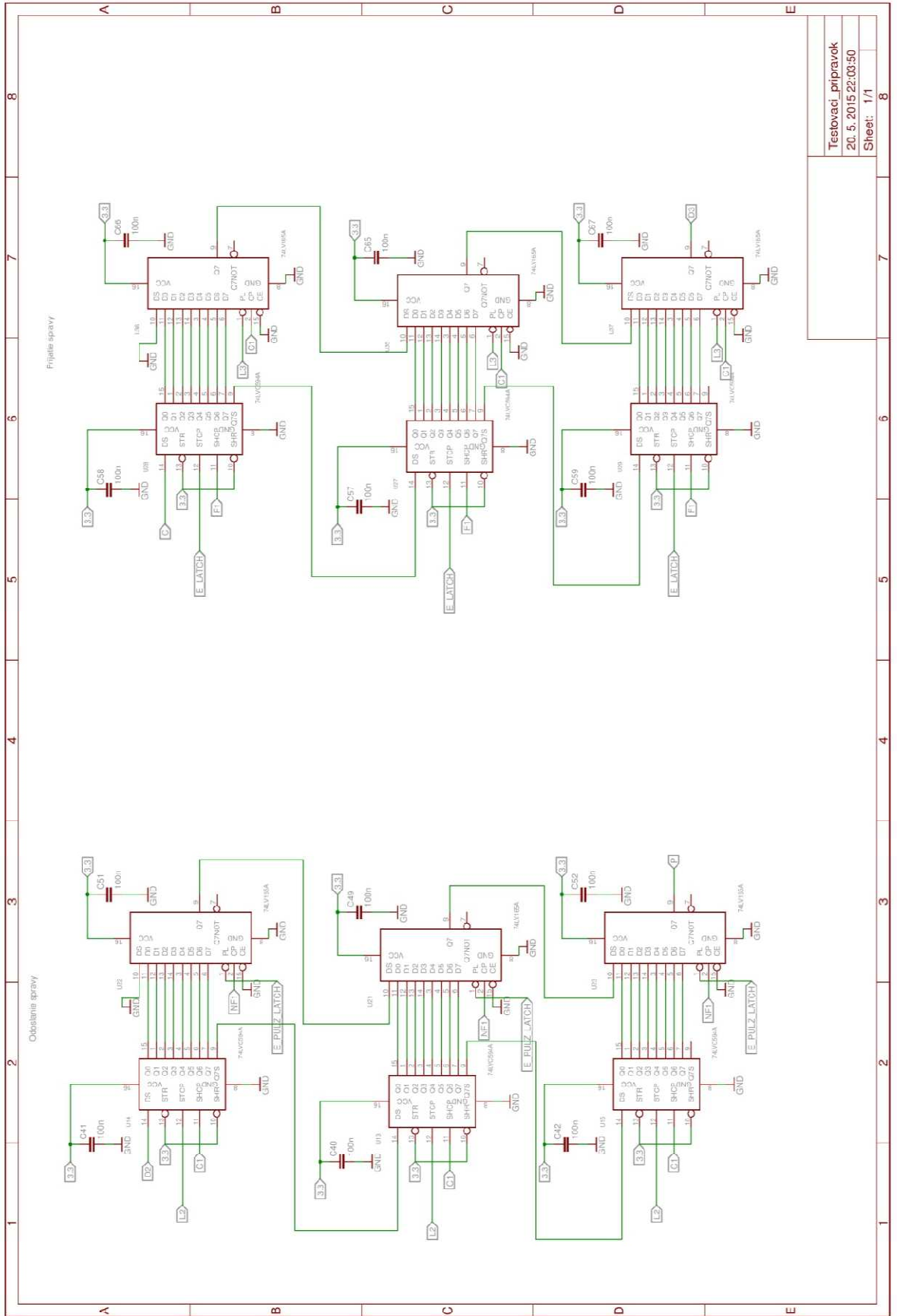
M0001T1.0 Schéma 2

M0001T1.0 Schéma 3



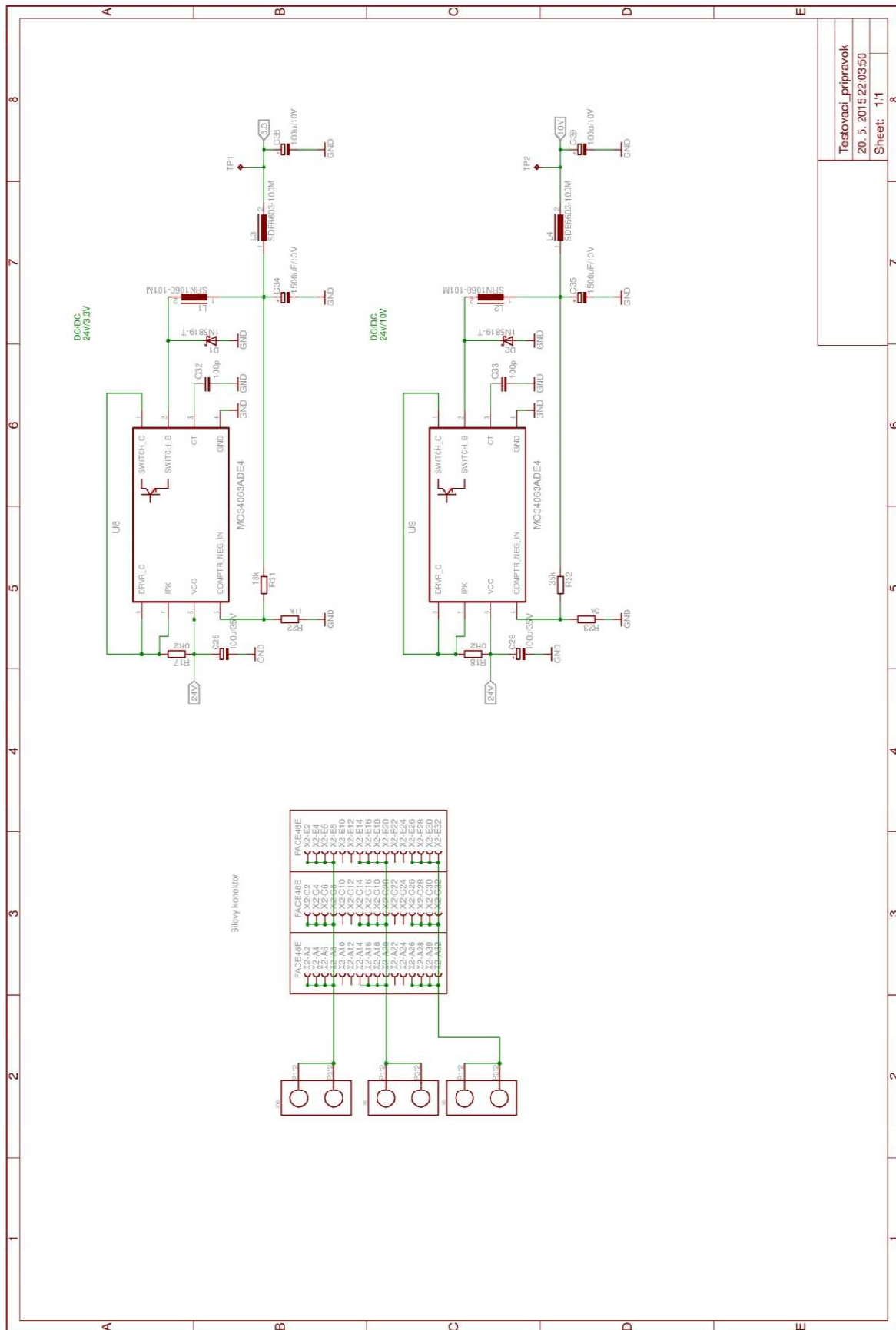
M0001T1.0 Schéma 4



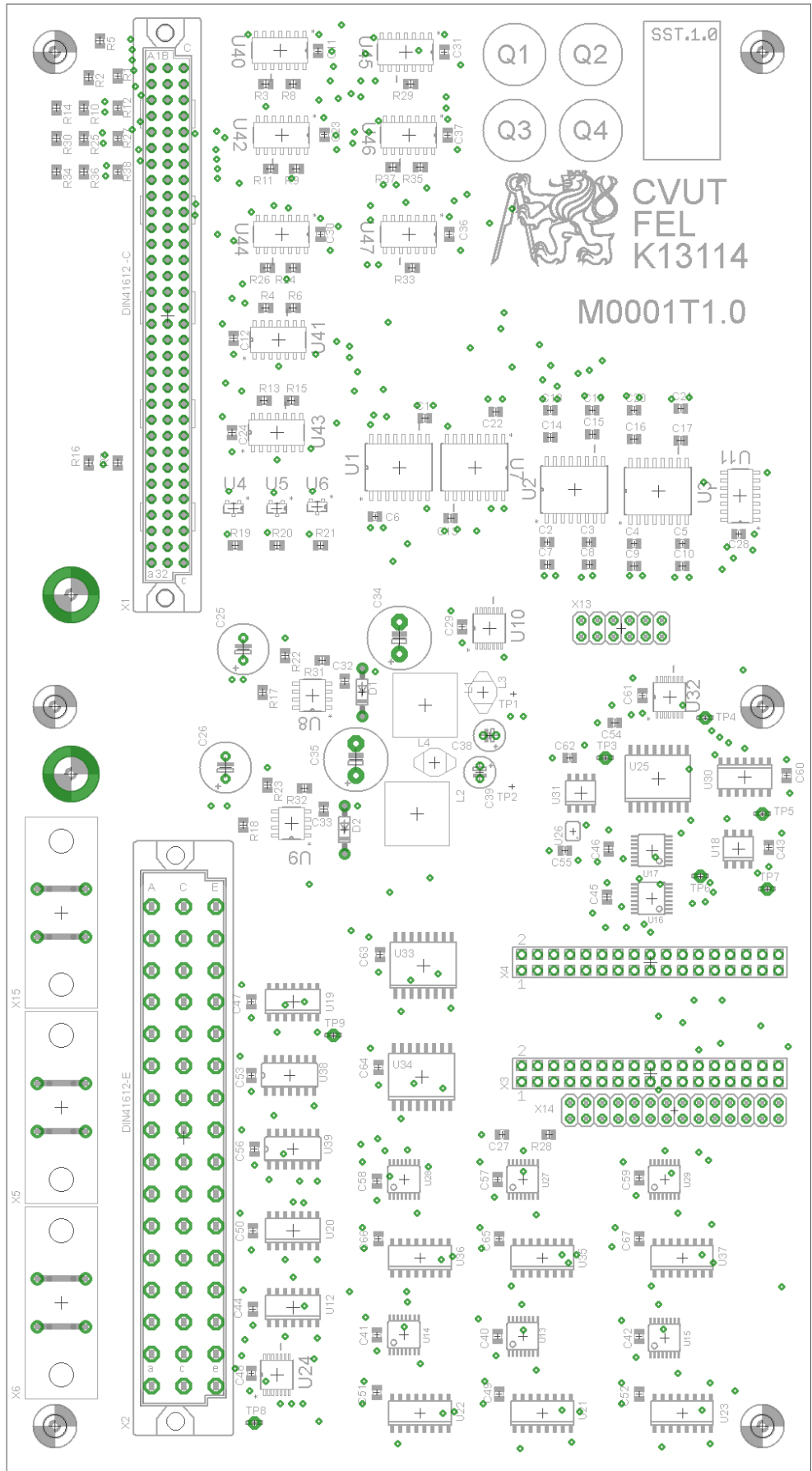


M0001T1.0 Schéma 5

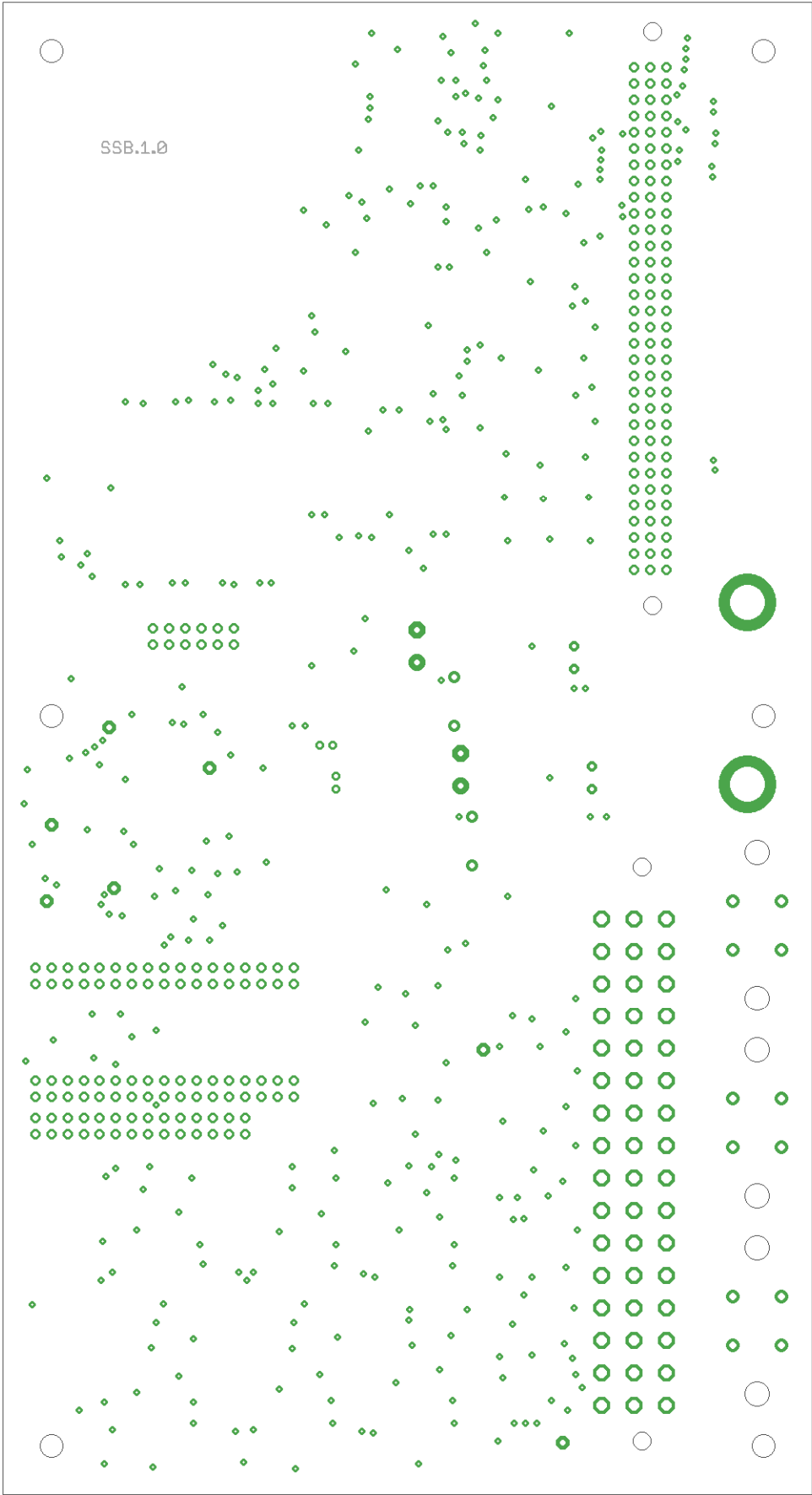
M0001T1.0 Schéma 6



M0001T1.0 osadenie

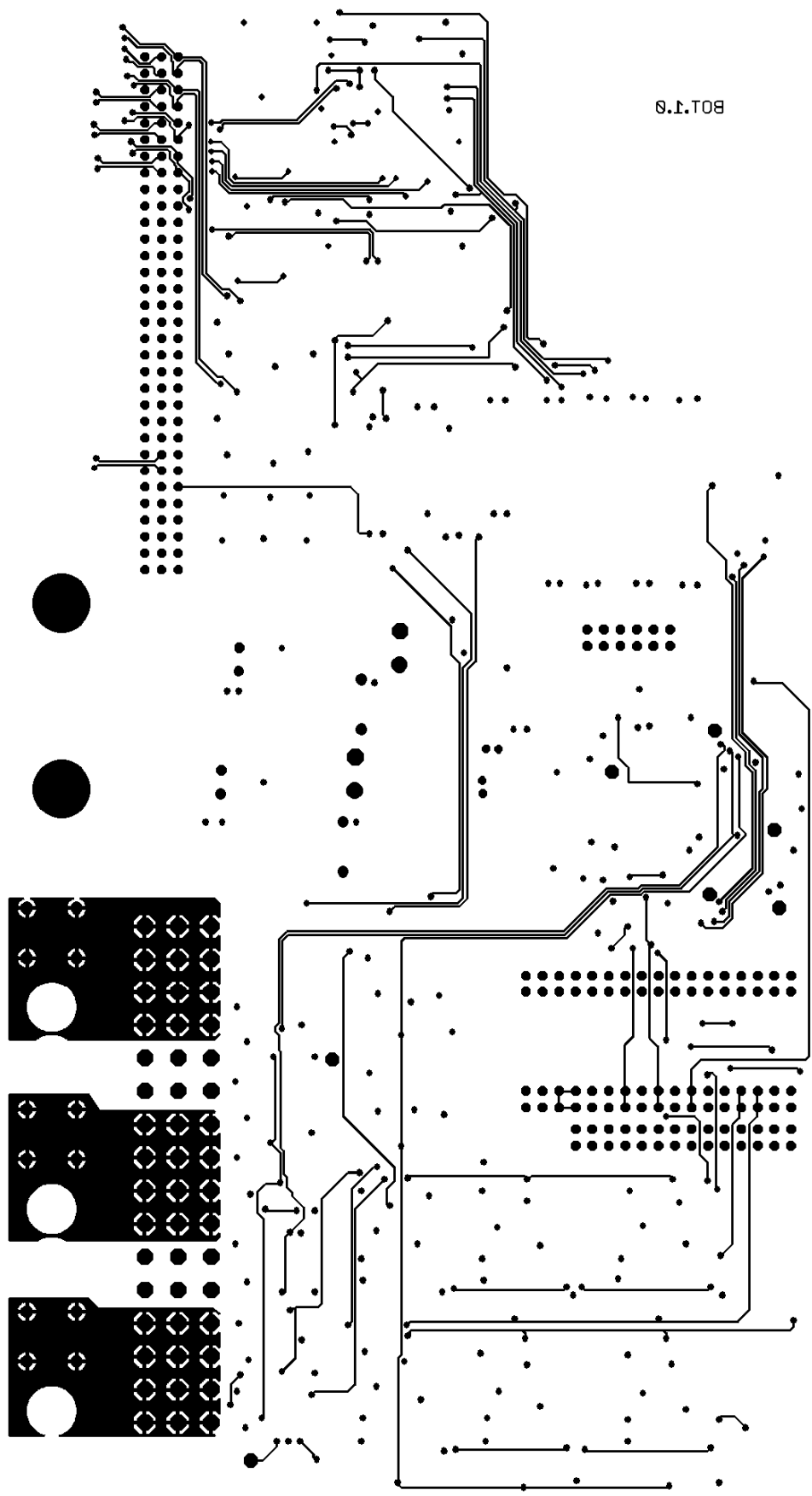


TOP osadenie



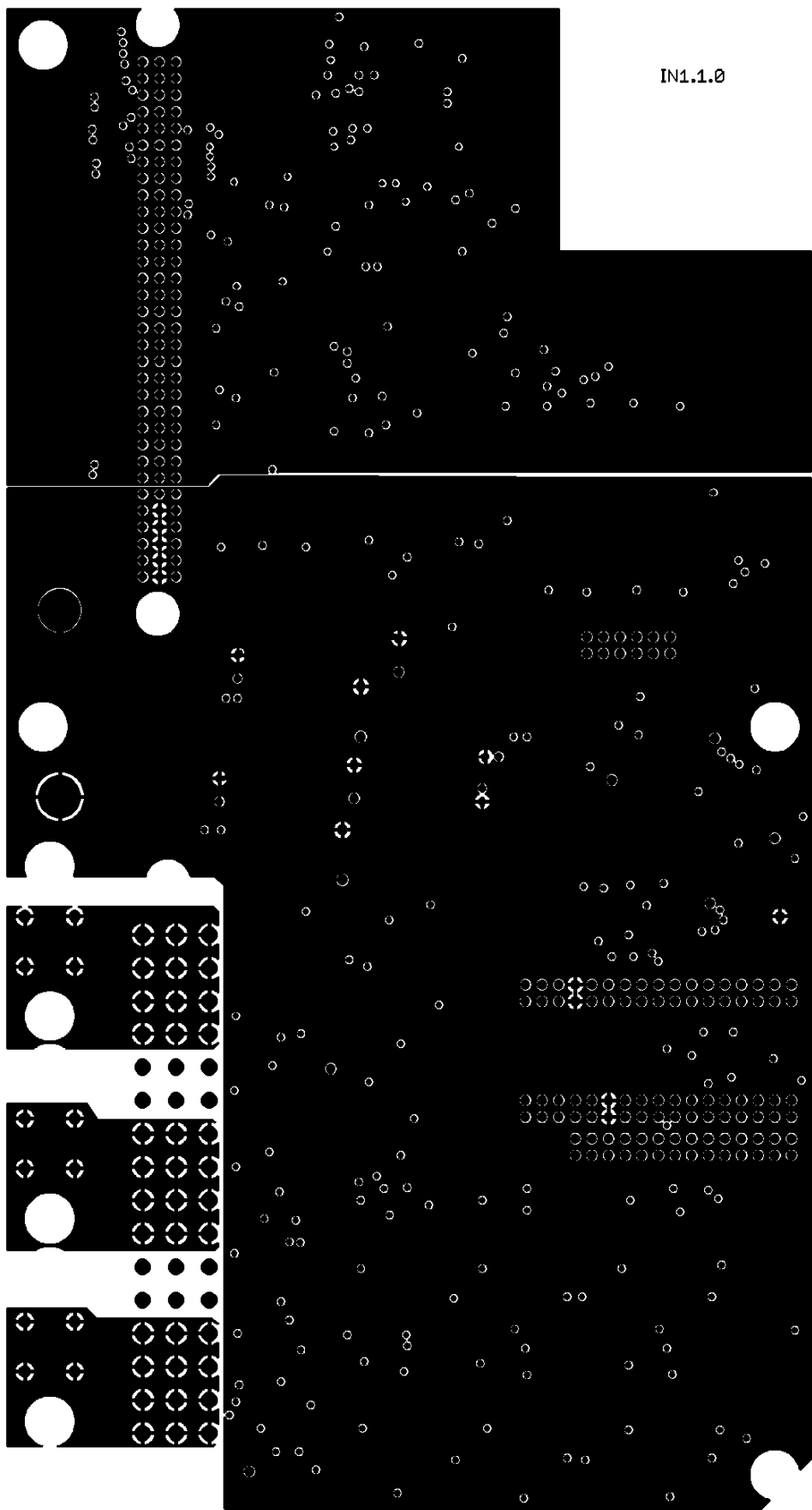
BOT osadenie

M0001T1.0 náhľady



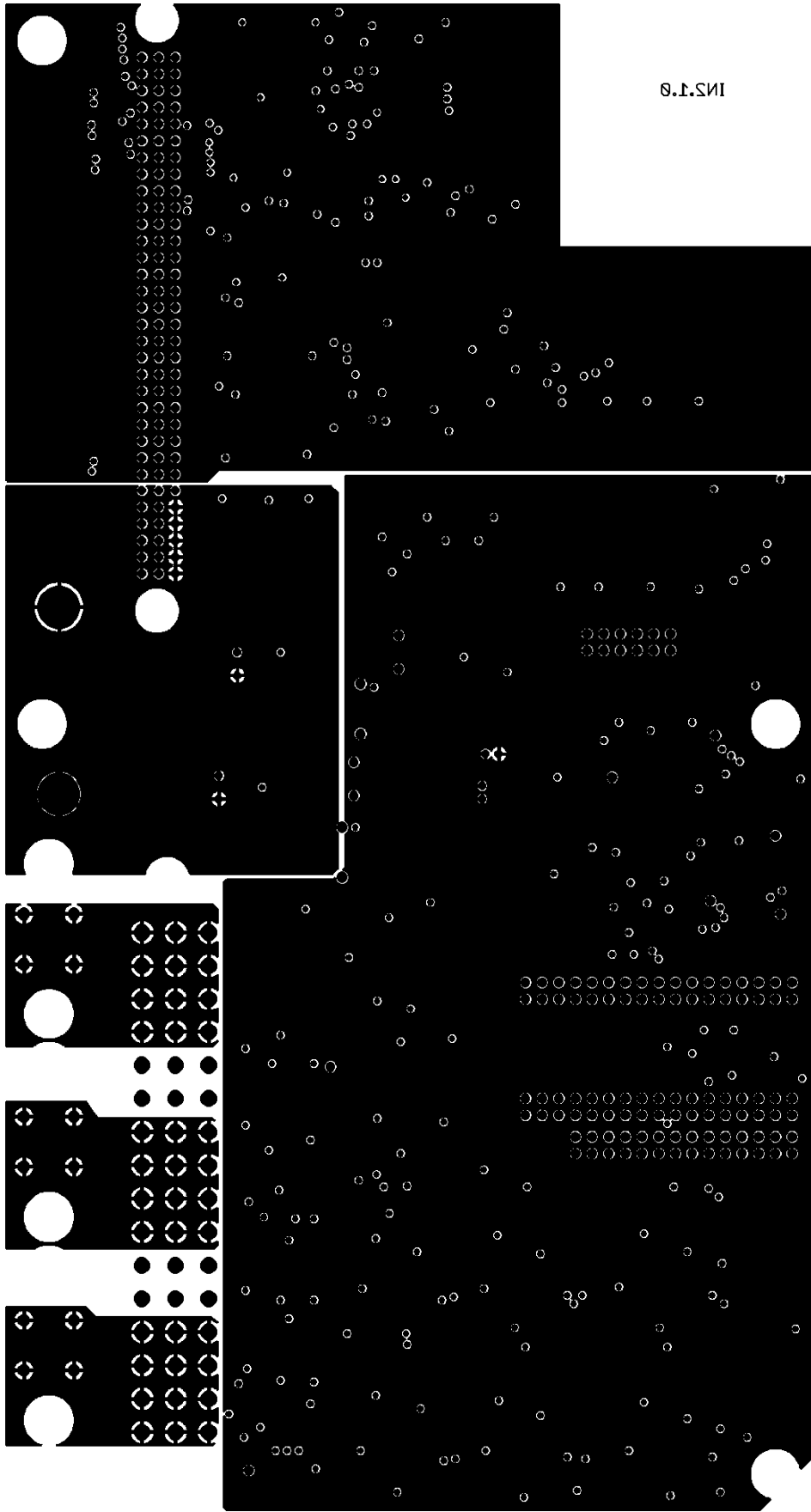
Bot 1.0

Bot 1.0, bez mierky



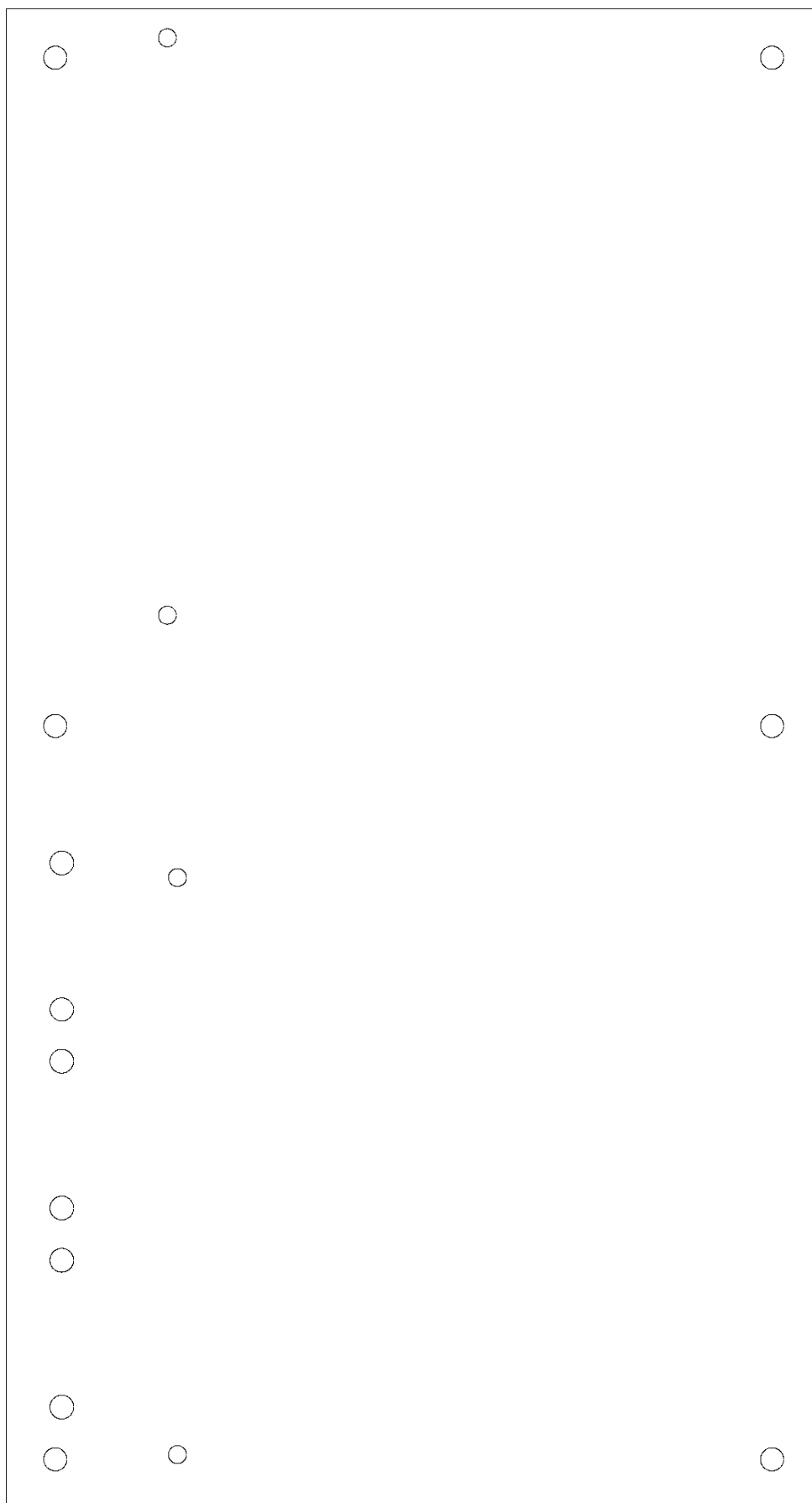
IN1.1.0

IN2 1.0, bez mierky



In3 1.0

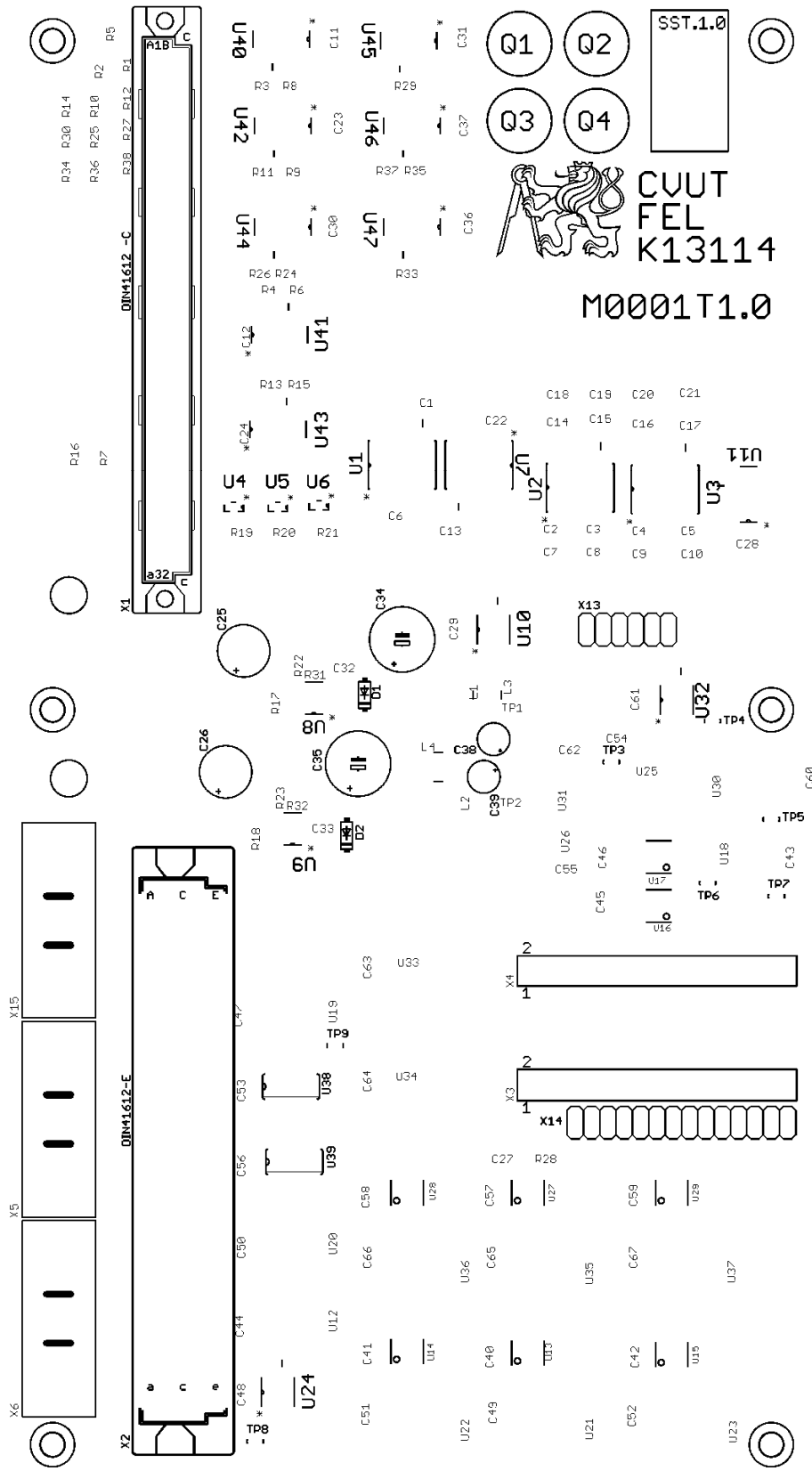
In3 1.0, bez mierky



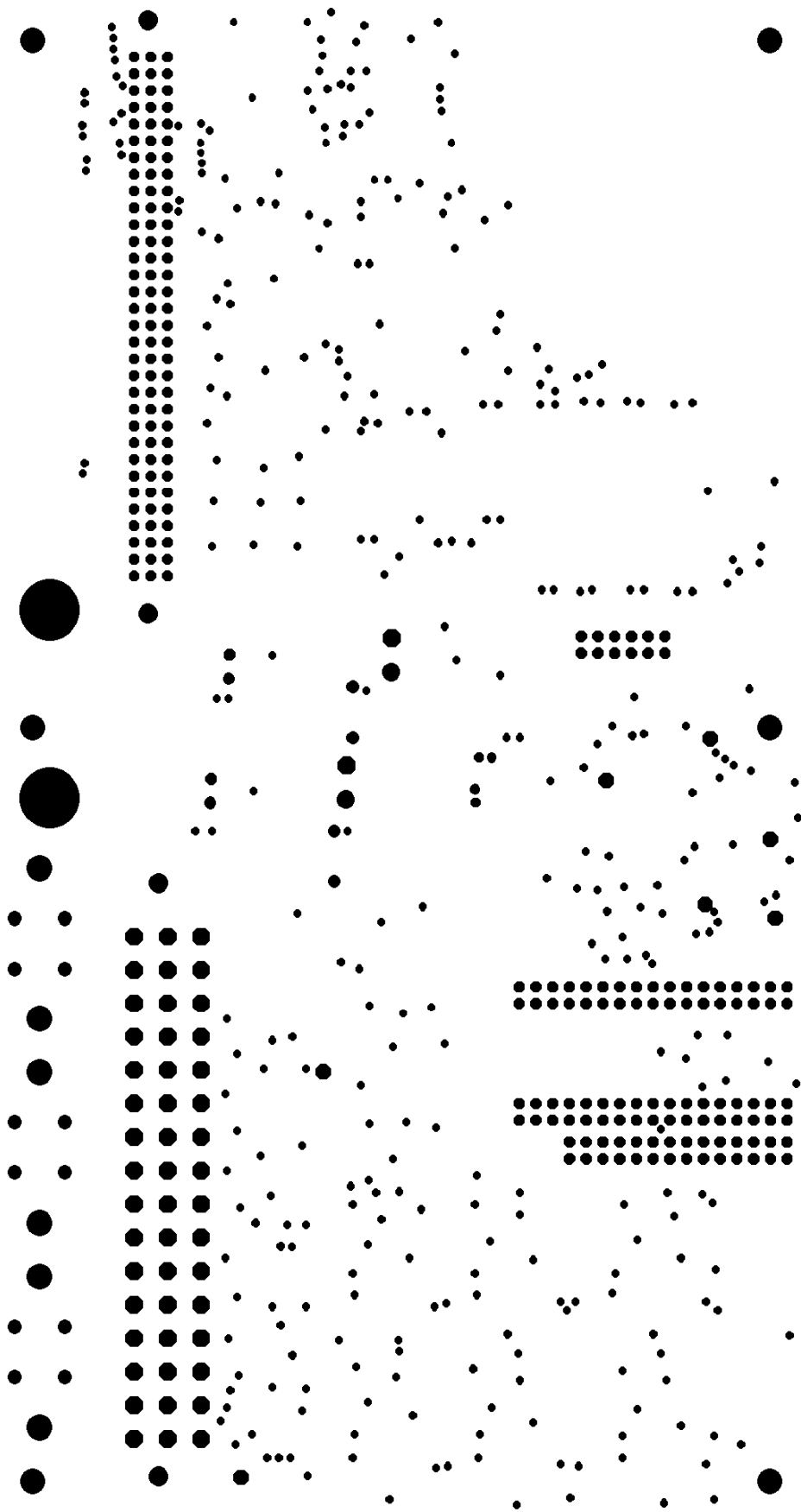
Obrys, bez mierky

0.1.822

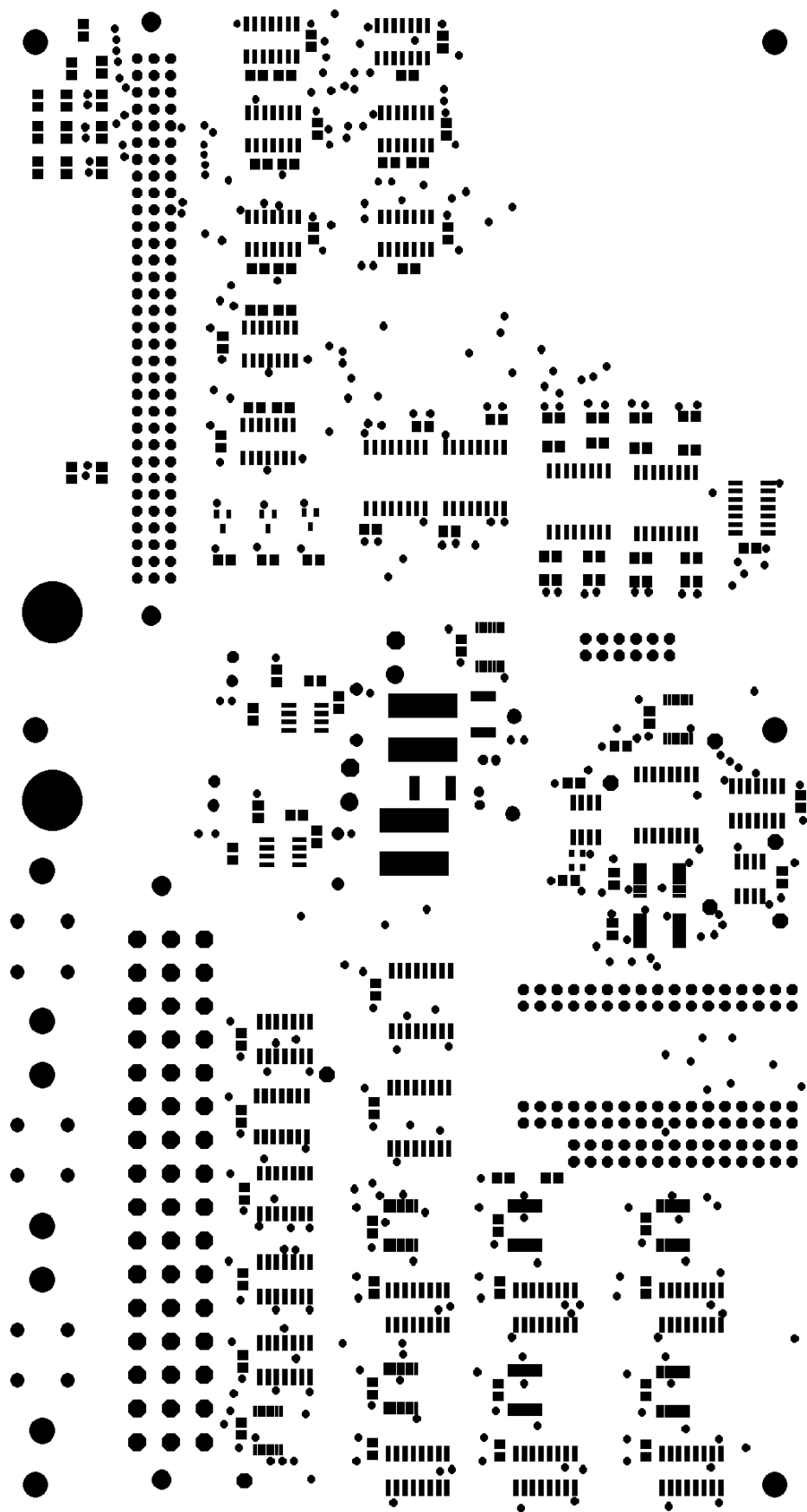
Bot potlač, bez mierky



Top potlač, bez mierky

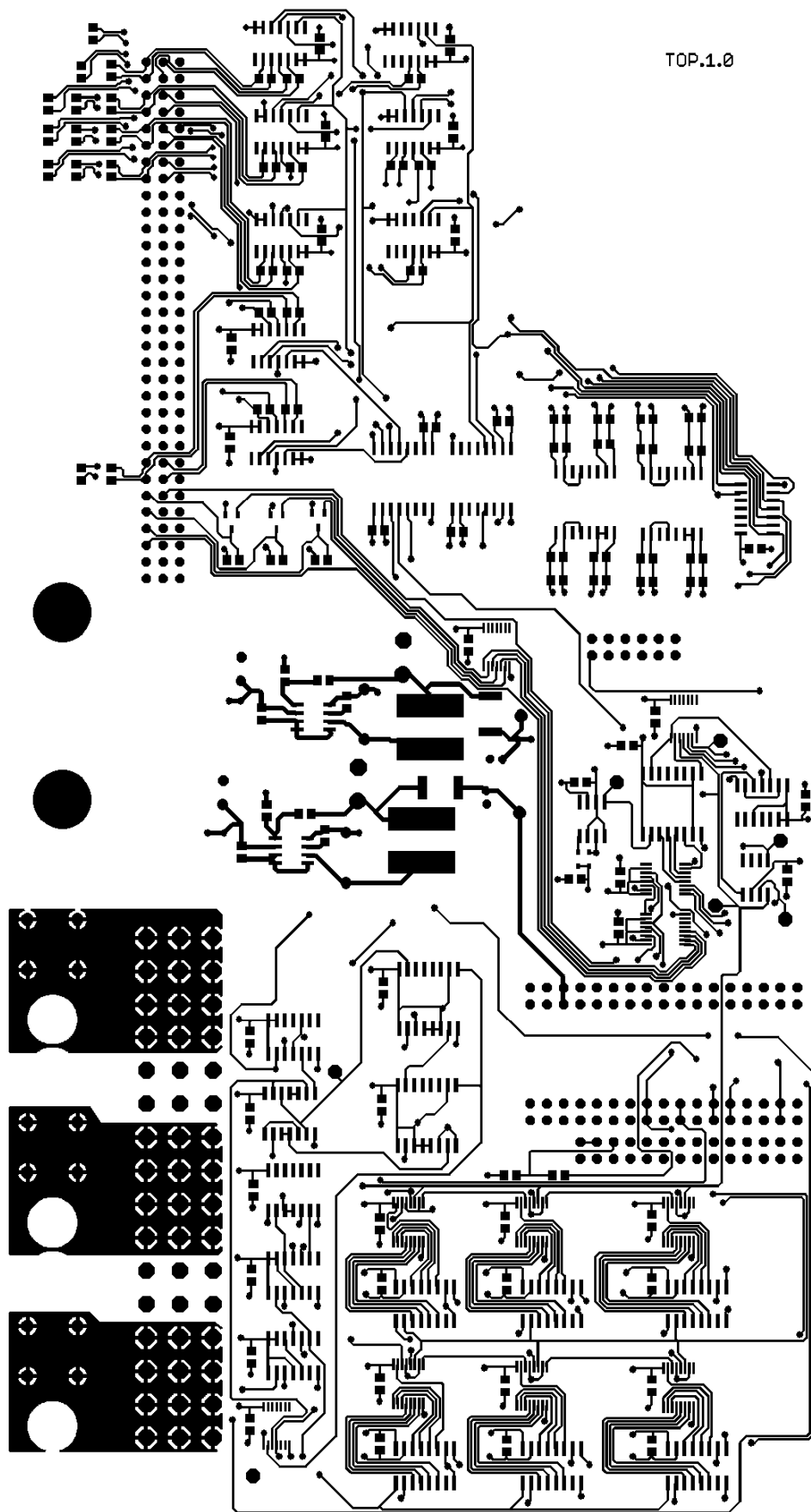


Bot maska, bez mierky



Top maska, bez mierky

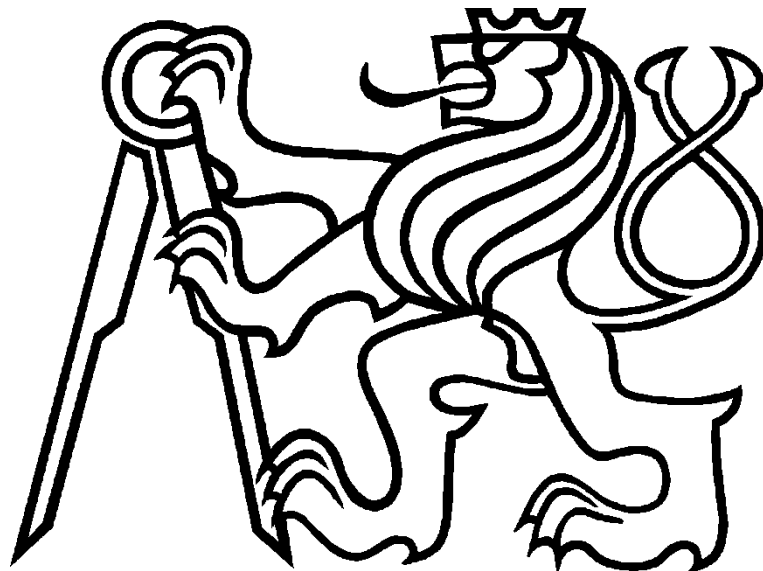
TOP.1.0



Top, bez mierky

Skúšobný predpis a formulár na protokol

Skúšobný predpis a protokol na test tranzistorovej karty T0001M1.0



Zoznam zmien:

Rev. A – prvé vydanie

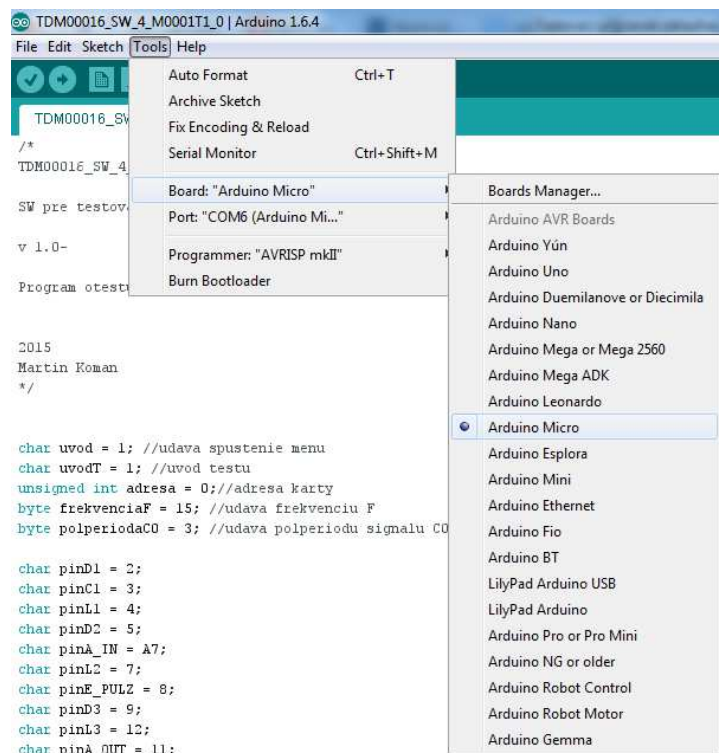
	Spracoval	Preskúšal	Schválil
Meno	Martin Koman		
Dátum	22.05.2015		

Potrebné vybavenie

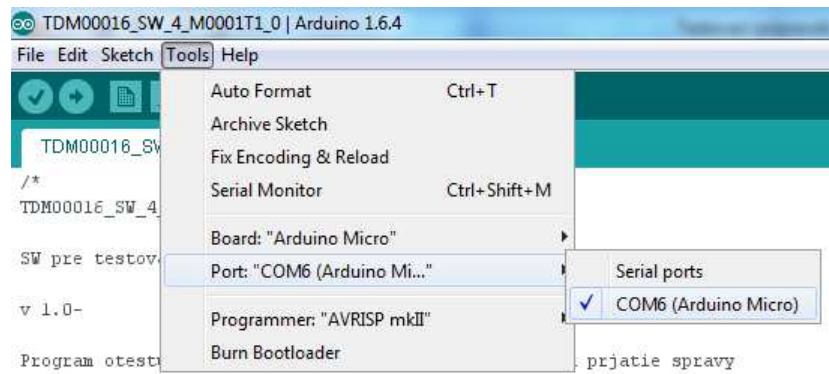
- Tranzistorová karta T0001M1.0
- Arduino Micro s prepojovacím káblom
- Laboratórny zdroj 24 V
- Testovacia karty M0001T1.0
- Počítač s programom TDM00016 a Arduino Software v. 1.6.4

Postup merania

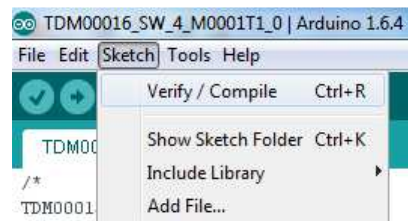
- Zapojte tranzistorovú kartu T0001M1.0 do testovacieho prípravku M0001T1.0
- Prepojte konektory X13 a X14 na karte T0001M1.0 a karte M0001T1.0
- Pripojte laboratórny zdroj 24V
- Pripojte Arduino k testovaciemu prípravku M0001T1.0 a k počítaču
- Na počítači spustíte program Arduino Software a otvorte program TDM00016
- V programe Arduino Software vyberte v **Tools > Board** Arduino Micro



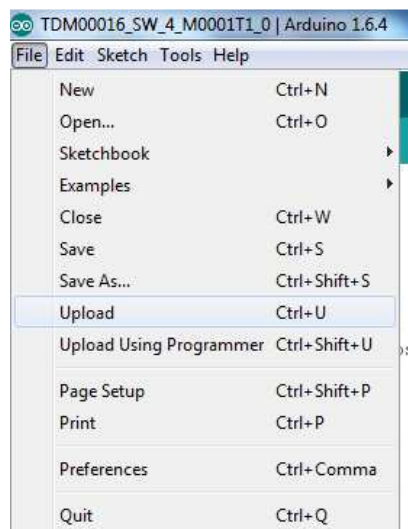
- V programe Arduino Software vyberte v **Tools > Port** USB port na ktorý ste pripojili Arduino



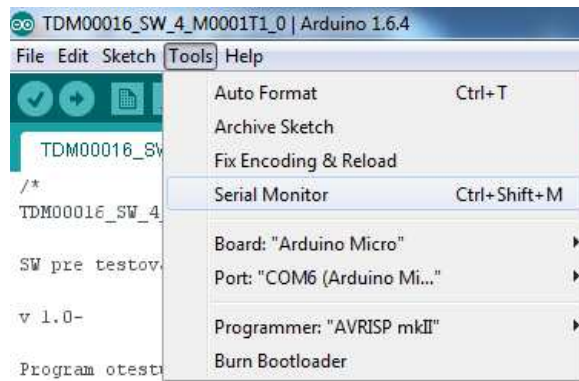
- V programe Aduino Software vyberte **Sketch > Verify / Compile**



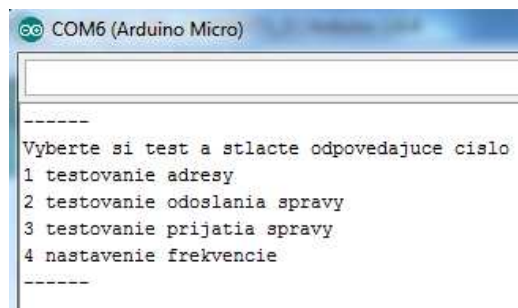
- V programe Aduino Software vyber **File > Upload**



- V programe Aduino Software vyberte v **Tools > Serial Monitor**



- **ak sa Serial Monitor ihneď na prvýkrát nespusti, skúšajte to ďalej*
- Spustite testy



Namerané údaje

Test adresy

- Stlačte 1 pre testovanie adresy a potvrdzte výber
- Zadajte absolútnu adresu podľa vlastného uváženia
- Zadajte relatívnu adresu v rozsahu 0 až 3
- Skontrolujte sedemsegmentový display na tranzistorovej karte T0001M1.0 či sa zhoduje s Vašou zadanou relatívnou adresou
- Ak sa zhoduje zaškrtnite políčko *Správne*, ak nie tak zaškrtnite políčko *Zle*
- Zopakujte test zo zvyšnými relatívnymi adresami

p. č.	Absolútna adresa		Relatívna adresa	Výsledok testu	
	Poradie racku	Poradie v racku		Správne	Zle
A1				[]	[]
A2				[]	[]
A3				[]	[]
A4				[]	[]
			<i>Celkom:</i>	/ 4	/ 4

Test odoslania správy

- Stlačte 2 pre testovanie odoslania správy pre a potvrdte
- Stlačte 1 pre automatický test a potvrdte
- Opíšte zadané hodnoty a výsledok testu
 - v časti *Odoslaná správa* v prípade automatického testu zapíšte pre bity P0 až L čísla 0 1 1 1 0
 - v časti *Odoslaná správa* do políčka *DATA [-]* zapíšte zadanú hodnotu a do políčka *DATA [V]* zapíšte zadanú hodnotu vo V
 - **ak ste nemenili frekvenciu v nastaveniach zadajte 40 000*
 - v časti *Prijatá správa* do políčka *DATA [V]* zapíšte prijatú hodnotu vo V
 - v časti *Výsledok testu* potvrdte do políčka *Správne* ak prijatá správa *VYHOVELA* požiadavkám, do políčka *Zle* ak prijatá správa *NEVYHOVELA* požiadavkám
- Stlačte 0 pre výstup z menu testovania správy a potvrdte
- Stlačte 4 pre vstup do menu nastavenie frekvencie a potvrdte
- Stlačte 1 pre nastavenie frekvencie F a potvrdte
- Vyberte si z možnosti inú frekvenciu a potvrdte
- Stlačte 0 pre výstup z menu nastavenie frekvencie F a potvrdte
- Zopakujte test odoslania správy

p. č.	Odoslaná správa							Frekvencia F [kHz]	Prijatá správa	Výsledok testu	
	Bit P0	Bit P1	Bit T0	Bit T1	Bit L	DATA [-]	DATA [V]		DATA [V]	Správne	Zle
S1										[]	[]
S2										[]	[]
S3										[]	[]
S4										[]	[]
S5										[]	[]
S6										[]	[]
S7										[]	[]
S8										[]	[]
S9										[]	[]
S10										[]	[]
									<i>Celkom</i>	/ 10	

Test prijatia správy

- **Ak pokračujete po predchádzajúcom teste, stlačte 0 pre výstup z menu testovania správy a potvrdte*
- Stlačte 3 pre testovanie prijímania správy a potvrdte

- Stlačte 1 pre automatický test a potvrdte
- Opíšte zadané hodnoty a výsledok testu
 - v časti *Odoslaná hodnota* do políčka *Napätie [mV]* zapíšte zadanú hodnotu v mV
 - v časti *Prijatá hodnota* do políčka *Napätie [mV]* zapíšte prijatú hodnotu v mV
 - v časti *Výsledok testu* potvrdte do políčka *Správne* ak prijatá správa *VYHOVELA* požiadavkám, do políčka *Zle* ak prijatá správa *NEVYHOVELA* požiadavkám

<i>p. č.</i>	<i>Odoslaná hodnota</i>	<i>Prijatá hodnota</i>	<i>Výsledok testu</i>	
	<i>Napätie [mV]</i>	<i>Napätie [mV]</i>	<i>Správne</i>	<i>Zle</i>
<i>R1</i>			[]	[]
<i>R2</i>			[]	[]
<i>R3</i>			[]	[]
<i>R4</i>			[]	[]
<i>R5</i>			[]	[]
<i>R6</i>			[]	[]
<i>R7</i>			[]	[]
<i>R8</i>			[]	[]
		<i>Celkom:</i>	/ 8	/ 8

Záver

Tabuľka výsledkov

<i>p. č.</i>	<i>Kategórie testov</i>	<i>Komentár</i>	<i>Výsledok testu</i>	
			<i>Správne</i>	<i>Zle</i>
<i>A1-A4</i>	výsledky testov Adries		[]	[]
<i>S1-S10</i>	výsledky testu Odoslanie správy		[]	[]
<i>R1-R8</i>	výsledky testu Prijatie správy		[]	[]
<i>Celkový výsledok:</i>			[]	[]

Poznámky:

Test vykonal (meno)	Dátum	Sériové číslo

