

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

**Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Modulární distribuovaný měřicí systém

Autor práce: Bc. David Mrňavý
Vedoucí práce: Ing. Petr Krist, Ph.D.

Plzeň 2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David MRŇAVÝ**
Osobní číslo: **E14N0107P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Modulární distribuovaný měřicí systém**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte distribuovaný měřicí systém pro monitorování provozních veličin a parametrů s ohledem na použití pro včelaření. Zařízení bude sestávat z lokálních měřicích uzlů, komunikujících se základnovou řídicí stanicí, umožňující ukládání přijatých dat od jednotlivých stanic a jejich selektivní vizualizaci a případnou redistribuci a další zpracování.

1. Zvolte vhodný způsob komunikace mezi komponentami distribuovaného systému a popište základní vlastnosti použité komunikace.
2. Navrhněte a realizujte hardwarový návrh základnové řídicí stanice s výše uvedenou funkcionalitou - zejména vizualizaci naměřených hodnot a možnost přepínání mezi měřicími jednotkami.
3. Navrhněte a realizujte hardwarový návrh lokální měřicí jednotky umožňující snímání a vyhodnocování všech potřebných provozních veličin.
4. Do řídicích mikrokontrolérů všech komponent distribuovaného systému implementujte software realizující požadavky zadání.
5. Zvažte a diskutujte možnost propojení zařízení s osobním počítačem a výměnu dat mezi počítačem a interní pamětí základnové řídicí stanice.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Krist, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr magisterského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

Datum: 14. 5. 2014

.....

podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem distribuovaného měřicího systému pro monitorování provozních veličin a parametrů s ohledem na použití pro včelaření. Zařízení je rozděleno do dvou hlavních částí. První z nich je řídicí stanice, která se stará o sběr naměřených dat a následnou vizualizaci uživateli. Druhou částí jsou lokální stanice, které měří provozní veličiny jako je váha úlu a vnitřní i venkovní teplota. Celý systém komunikuje po sběrnici CAN.

Klíčová slova

Sběrnice, měření, displej, mikrokontrolér, komunikace, teplota, hmotnost, včelstvo, AD převodník, budič, systém, galvanické oddělení, nízkošumový, lineární stabilizátor, spínaný zdroj.

Abstract

This thesis is about concept of distributed metering system for monitoring of operation values and parameters. It considers beekeeping. The device is split into two main parts. The first of them is control station which takes care about collecting of metered data and following visualization of them to the user. The second of them are local stations which meters operation values such as mass of beehive or inner and outer temperature. Whole system communicates on CAN bus.

Keywords

Bus, metering, display, microcontroller, communication, temperature, weight, beehive, AD converter, transceiver, system, galvanic isolation, low noise, linear regulator, boost converter.

Obsah

Seznam použitých symbolů	8
Úvod	9
1 Měřicí systém a jednotlivé funkční bloky	10
1.1 Měřicí systém	10
1.2 Sběrnice SPI	11
1.3 Princip činnosti sběrnice SPI	11
1.4 Sběrnice CAN	12
1.4.1 Základní vlastnosti	13
2 Návrh řídicí stanice	15
2.1 Blokové uspořádání řídicí stanice	15
2.2 Napájení řídicí jednotky a displeje	16
2.3 Mikrokontrolér STM32F107VCT	18
2.4 Vizualizace a ovládací prvky	19
2.4.1 Grafický displej EADOGL128B-6	19
2.4.2 Ovládání řídicí jednotky	21
3 Návrh lokální měřicí jednotky	22
3.1 Blokové uspořádání	23
3.2 Zdroje napětí	23
3.3 Měření provozních veličin	24
3.3.1 Měření teplot	25
3.3.2 Měření hmotnosti	26
3.4 Mikrokontrolér STM32F103C8T	28
3.4.1 AD převodník	29
4 Software	30
4.1 Program řídicí jednotky	30
4.1.1 Nastavení RCC	30
4.1.2 Vizualizace dat	30
4.1.3 Nastavení sběrnice CAN	34
4.2 Program lokální jednotky	34
4.2.1 Vizualizace	34
4.2.2 AD převod a nastavení DMA	34
5 Možnosti propojení s osobním počítačem	35

Závěr	36
Seznam obrázků	37
Seznam tabulek	37
Reference	38
Přílohy	40

Seznam použitých symbolů

A_u	Napěťové zesílení.
A/D	Analog to Digital. Analogově číslicový převodník.
AC	Alternating Current. Střídavý proud.
CAN	Controller Area Network.
D/A	Digital to Analog. Číslicově analogový převodník.
DC	Direct Current. Stejnoseměrný proud.
DMA	Direct Memory Access. Přímý přístup do paměti.
f	Frekvence [Hz]
FET	Field Effect Transistor. Tranzistor řízený polem
I	Elektrický proud [A].
I/O	Input or Output. Vstup nebo výstup.
LCD	Liquid Crystal Display. Displej z tekutých krystalů.
LED	Light Emitting Diode. Světlo emitující dioda.
LSB	Least Significant Bit. Nejméně významný bit.
MCU	Microcontroller Unit. Mikrokontrolér.
MIPS	Milion Instruction Per Second. Milion instrukcí za sekundu.
MISO	Master In Slave Out. Master vysílá Slave naslouchá.
MOSFET	Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor. Tranzistor s izolovaným hradlem řízený polem.
MOSI	Master Out Slave In. Master naslouchá Slave vysílá.
MSB	Most Significant Bit. Nejvýznamnější bit.
OZ	Operační Zesilovač.
ρ	Měrný odpor [$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$].
R	Elektrický odpor [Ω].
RAM	Random Access memory. Paměť s libovolným přístupem.
SCK, SCL	Serial Clock. Hodinový signál.
SDI	Serial Data Input. Vstupní datový signál.
SDO	Serial Data Output. Výstupní datový signál.
SIB	Serial Input Buffer. Datový záchytný registr.
SPI	Serial Peripheral Interface. Sériové fyzické rozhraní.
SR	Shift Register. Posuvný registr.
SRAM	Static Random Access Memory. Statická paměť s libovolným přístupem
T	Perioda [s].
U	Elektrické napětí [V].
U_{in}	Vstupní napětí [V].
U_{out}	Výstupní napětí [V].

Úvod

Elektronické systémy dnes pronikají i do oblastí, kde zdánlivě nemají své opodstatnění. Touto oblastí včelaření dozajista je. Nicméně se zdá být užitečné některé věci ze života včel během roku sledovat a zaznamenávat. Je tendencí člověka si práci co nejvíce zjednodušovat, proto se tato práce zabývá návrhem elektronického systému, který bude měřit a zaznamenávat v pravidelných intervalech provozní veličiny jednotlivých včelstev. Tyto údaje si dříve musel včelař zaznamenávat sám, což bylo časově náročné a nezvladatelné. Hodnoty je nutné zaznamenávat v závislosti na čase a okolním prostředí. Během dne se může hmotnost jednoho úlu měnit až o sedm kilogramů, podle toho jak včely vylétávají ven a vrací se s nákladem. Teplota uvnitř úlu, teplota okolního prostředí, hmotnost a čas jsou nejpodstatnější veličiny pro to, aby včelař byl schopen stav včelstva.

Informace o teplotě je stěžejní hlavně v zimních měsících, kdy se sleduje zda včelstvo dokáže dostatečně vyhrát potřebný prostor. Hmotnost je velmi důležitá informace po celý rok, na jaře se sleduje přírůstek hlavně v počtu včel, dále se pak včelstvo začne zprudka rozvíjet a shromažďovat nektar a pyl. Náhlý pokles hmotnosti hlavně v pozdním jarním rozvoji a letních měsících znamená, že se včelstvo mohlo vyrojit nebo bylo vykradeno jinými kolegyňkami z cizího úlu. Pokud známe hmotnost včelstev v podletí (srpen a září), kdy se začíná s krmením tak máme přehled nad tím, že se zásoby spravedlivě rozdělí do všech včelstev a budeme vědět, že ke ztrátám zásob nedošlo. Včely pak budou mít vysokou šanci na překonání zimních měsíců. Včelaři tak tento systém ušetří spoustu práce. Hlavně bude moci své zákroky přizpůsobit informacím z měřicích stanic. Hned bude mít představu o tom, v jakém je včelstvo stavu či co se v něm asi děje. Nebude tak pokaždé nucen včelstvo vyrušovat a kontrolovat ho vizuálně.

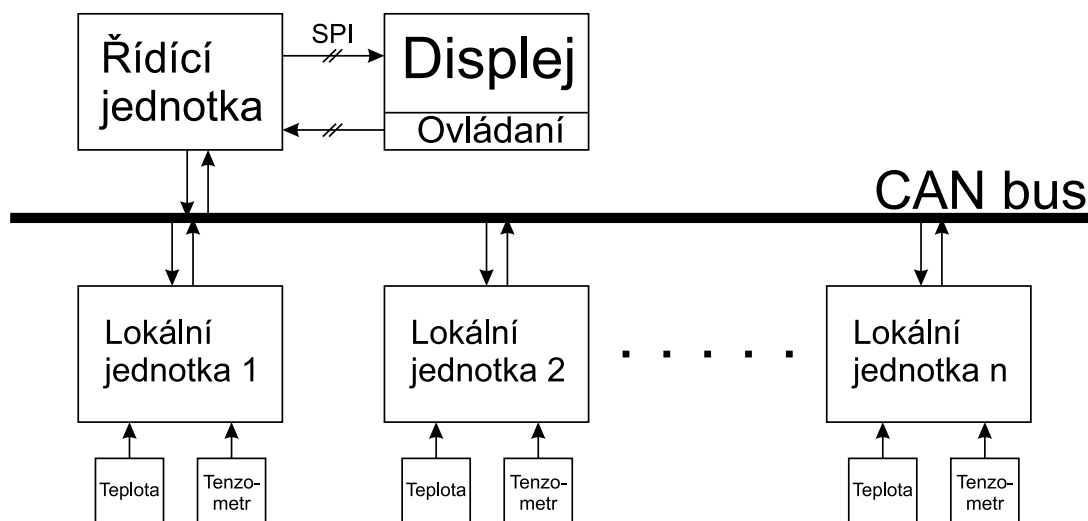
Práce je rozdělena do několika kapitol, kde se čtenář dozví o realizaci elektronického měřicího systému. V první části je uveden celkový pohled na měřicí systém a jeho základní vlastnosti. V dalších dvou kapitolách jsou rozebrány hardwarové návrhy všech systémových komponent. Předposlední kapitola je věnována popisu programů obsažených v jednotlivých mikrokontrolérech. V poslední kapitole jsou uvedeny možné způsoby připojení zařízení k osobnímu počítači.

1 Měřicí systém a jednotlivé funkční bloky

V této kapitole se budu zabývat celkovým pohledem na návrh měřicího systému. Jsou zde uvedena bloková schémata a vysvětlení jednotlivých funkčních bloků, včetně jejich základních principů.

1.1 Měřicí systém

Na obrázku níže je vidět blokové schéma celého systému. Hlavními součástmi jsou řídicí jednotka, displej, sběrnice CAN a v neposlední řadě lokální jednotky, ke kterým jsou připojeny snímací prvky. Lokální měřicí jednotky vyhodnocují provozní veličiny. V tomto případě se jedná o teplotu a hmotnost včelích úlů.



Obr. 1: Blokové schéma měřicího systému.

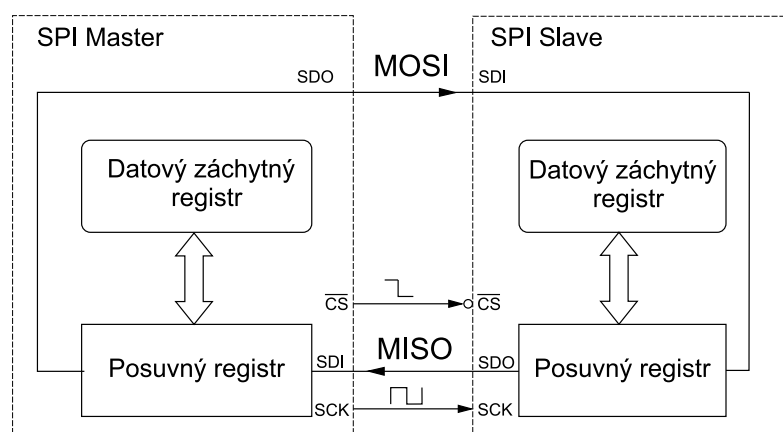
Avšak systém může být použit i pro monitorování jiných provozních veličin. Jednotlivé jednotky si potřebná data ukládají do vnitřní paměti mikrokontroléru. Ta jsou pak po vyžádání od řídicí jednotky vysílána na sběrnici CAN. Řídicí jednotka si přijatá data uloží nejprve do vnitřní paměti, při zaplnění volné paměti se všechna data mohou ukládat na microSD kartu, pokud je připojena. K řídicí jednotce je také připojen displej, na kterém se mohou zobrazovat provozní veličiny všech připojených jednotek. To poskytuje včelaři okamžitou informaci co se, se včelstvem stalo od poslední kontroly, ještě před tím než se do něj fyzicky podívá. Mikrokontrolér s displejem komunikuje pomocí sériové sběrnice SPI. Komunikace bude detailněji probrána později v této kapitole. Dále jsou k řídicí jednotce připojeny ovládací prvky sloužící k výběru potřebných údajů. Při návrhu hardware bylo počítáno i s budoucí možností posílání dat ven pomocí ethernetového rozhraní.

1.2 Sběrnice SPI

V této podkapitole bude rozebrán princip Sběrnice SPI. Zkratka SPI (Serial Peripheral Interface) znamená Sériové periferní rozhraní, je určena ke komunikaci mezi blízkými součástmi na desce plošného spoje. Nejčastěji se jedná o komunikaci mezi mikrokontroléry nebo mikrokontrolérem a jinými zařízeními např.: řadič displeje, paměti, čtečky karet, SD karty atd.. Komunikační vzdálenost je řádově maximálně ve stovkách mm. Zařízení komunikující po sběrnici se dají rozdělit do dvou typů master a slave. Master je na sběrnici vždy pouze jeden a řídí celou komunikaci, tzn.: generuje hodinový signál a vybírá zařízení, se kterým komunikuje tedy slave.

1.3 Princip činnosti sběrnice SPI

Nejlépe je vidět princip sběrnice na obr.: 2. Pro jednoduchost jsou zde vyobrazena pouze dvě zařízení. Jedno ve funkci master, které generuje hodinový signál a hodnotou na pinu /CS povoluje komunikaci s druhým zařízením slave. Tyto dva moduly bývají součástí mikrokontrolérů, kde se v nastavení periférií určí zda se jedná o zařízení slave či master. Posuvný registr SR (Shift Register) slouží jako FIFO paměť, která se s každým hodinovým pulzem posune o jeden bit. To znamená, že s každým hodinovým taktem se vyšle ze strany mastera na pinu SDO (Serial Data Output) 1 bit, který se na straně slave přijme na pinu SDI (Serial Data Input). Tato datová linka má označení MOSI (Master Out Slave In) master vysílá slave přijímá.

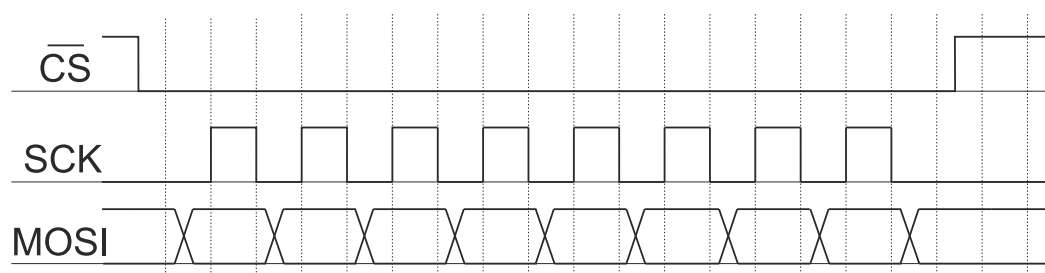


Obr. 2: Princip sběrnice SPI

Zároveň při stejném hodinovém tiku se toto děje i na druhém datovém vodiči, slave na SDO pinu vyšle 1 b a master na SDI pinu jeden přijme. Tento signál se označuje MISO (Master In Slave Out) master přijímá slave vysílá. Novější řadiče mají možnost zvolit si SR jako 16 b či 8 bitový. Uživatel si musí zvolit délku slova, většinou je daná připojeným zařízením. Po přenesení celého slova do posuvného registru se jeho obsah přenesou do

datového registru SPI komunikace. Z tohoto registru už si je uživatel vyčte a naloží s nimi dle potřeby.

Nevýhodou této komunikace se stává v rozsáhlejších systémech pinová náročnost u stanice master, protože každý slave musí být nejprve vybrán signálem CS (Chip Select). Další nevýhodou může být, že se komunikace SPI dá použít pouze na krátké vzdálenosti, jak už bylo uvedeno výše. Limitní je v tomto případě hodinový signál, který se nedá vést po dlouhých vedeních, tak aby nebyl příliš zkreslen. Na tohle navazuje ještě další problém, a to že vysílací stanice nemá žádnou informaci o tom zda byla data přenesena správně, není zde žádné potvrzení o správnosti přijatých dat. Nicméně na krátké vzdálenosti, pro které je tato komunikace určena, tyto problémy nenastávají. Příklad časového diagramu přenesení jednoho 8 b slova je na obr.: 3 je zde znázorněno pouze vyslání jednoho bytu, proto pouze signál MOSI.



Obr. 3: Časový diagram SPI komunikace.

Při nastavování periferie SPI uvnitř mikrokontroléru se ještě musí zvolit jaký bit se bude vysílat jako první, zda MSB nebo LSB. Po té se ještě musí nastavit fázování hodinového signálu, kde jsou čtyři možnosti. Vzorkovat se může při náběžné nebo sestupné hraně hodinového signálu a ten může být v klidové úrovni v logické H nebo L. [9]

1.4 Sběrnice CAN

Tato podkapitola je věnována vysvětlení sběrnice CAN (Controller Area Network). Jedná se o sériový komunikační protokol vyvinutý firmou Bosch, původně pro užití v automobilech. Nicméně se CAN ve stále větší míře prosazuje i v jiných oblastech např.: v průmyslu. Dále jsou zde uvedeny základní principy jak přenosového protokolu v linkové vrstvě ISO/OSI modelu tak i požadavky na vedení a budiče, které jsou součástí fyzické vrstvy. Hlavním rozdílem od předchozí sběrnice je to, že se jedná o komunikaci navrženou ne k interní komunikaci mezi blízkými celky, ale ke komunikaci na velkou vzdálenost odolnou vůči rušení okolního prostředí. Dalším rozdílem může být multi-master protokol. Každý uzel může kdykoliv vyslat data na sběrnici, proto je nutný systém udělující právo vysílání na sběrnici. Tento systém umožňuje distribuované řízení. Dalším rozdílem je absence hodinového signálu. Komunikace se tedy musí nastavit na

určitou rychlost, kterou si pak komunikující uzly synchronizují od vysílací stanice podle přijímaných dat.

1.4.1 Základní vlastnosti

Zprávy vysílané po sběrnici CAN jsou přijímány všemi uzly na sběrnici. Jedná se o sběrnici s náhodným přístupem. K řízení přístupu na sběrnici je využívána arbitráž velikosti identifikátoru. Každá zpráva obsahuje identifikátor, který určuje prioritu vysílajících stanic. Čím je velikost identifikátoru nižší, tím má daná zpráva větší prioritu. Sběrnice se může nacházet ve dvou stavech a to v dominantním nebo recesivním. Recesivní stav, tedy klidový stav, je na sběrnici reprezentován hodnotou log. H. Tento stav je na sběrnici pokud se nic nevysílá nebo pokud se vysílá úroveň log. H. Dominantním stavem je tedy opačná logická úroveň. Pokud jakýkoliv uzel vysílá dominantní stav, pak na sběrnici je vždy úroveň log. L. Jedná se tedy o sběrnici, na které jsou uzly připojeny přes otevřený kolektor. Ke sběrnici lze teoreticky připojit nekonečně mnoho uzlů. Omezujícím parametrem je maximální velikost identifikátoru, který může být buď 11 bitový nebo rozšířený 29 bitový. Tyto jsou definovány ve standardech CAN2.0A pro standardní identifikátor a CAN2.0B pro rozšířený identifikátor. Maximální přenosová rychlost na sběrnici je 1 Mb/s do vzdálenosti 40 m. Rychlost je velmi závislá na délce vedení, s rostoucí délkou klesá. Charakter závislosti přenosové rychlosti na délce vedení je vidět v tabulce č.: 1.

Tabulka 1: Přenosová rychlost sběrnice CAN v závislosti na délce. [7]

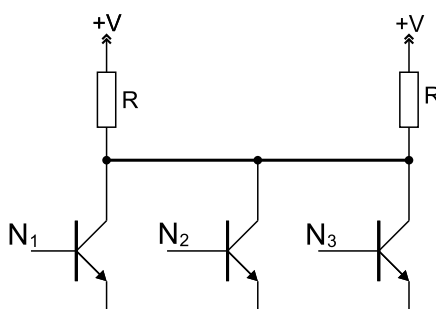
Přenosová rychlost	Maximální délka sběrnice
5 kb/s	10 km
20 kb/s	3,3 km
125 kb/s	530 m
500 kb/s	130 m
1 Mb/s	40 m

Mezi další základní charakteristiky patří také zaručená doba odezvy a autonomní odpojení poškozených jednotek. Každá jednotka sleduje stav na sběrnici při vysílání jednotlivých bitů. Pokud dojde k vyslání recesivního bitu a přečte se dominantní vygeneruje se chybový rámec, k tomu dojde jen, když se to nestane během vysílání identifikátoru. Pokud se na sběrnici vyše po sobě pět stejných bitů, proloží se vysílaná data jedním bitem opačným, tento proces se nazývá bit stuffing.

Standard CAN nedefinuje přenosová médium ve fyzické vrstvě, je na uživateli jaké si zvolí. Vedení však musí být schopno přenést dvě logické úrovně, a to dominantní a recesivní stav. V recesivním stavu je sběrnice i pokud je v nečinnosti. Výsledný stav na sběrnici je určen logickým součinem vysílaných signálů. Přenosové média mohou být:

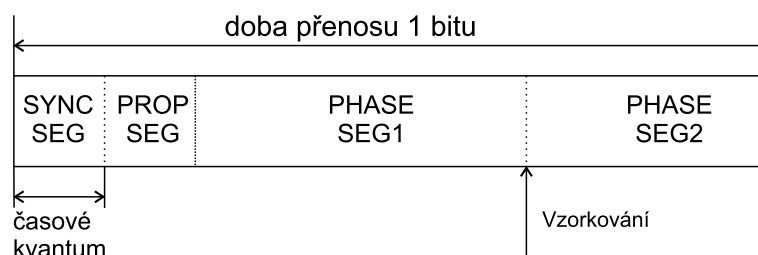
- elektrické - kroucená dvoulinka,
- optické.

Na obrázku 4 je vidět princip připojení uzlů na sběrnici. Toto zapojení umožňuje jakékoli stanici uvést sběrnici do dominantního stavu.



Obr. 4: Princip připojení uzlů na sběrnici - otevřený kolektor.[7]

Vyslání jednoho bitu na sběrnici je rozděleno do několika částí, takzvaných časových kvant. Nejlépe je rozložení jednotlivých časových kvant vidět na obrázku 5.



Obr. 5: Časové rozložení jednoho bitu na CAN sběrnici.[7]

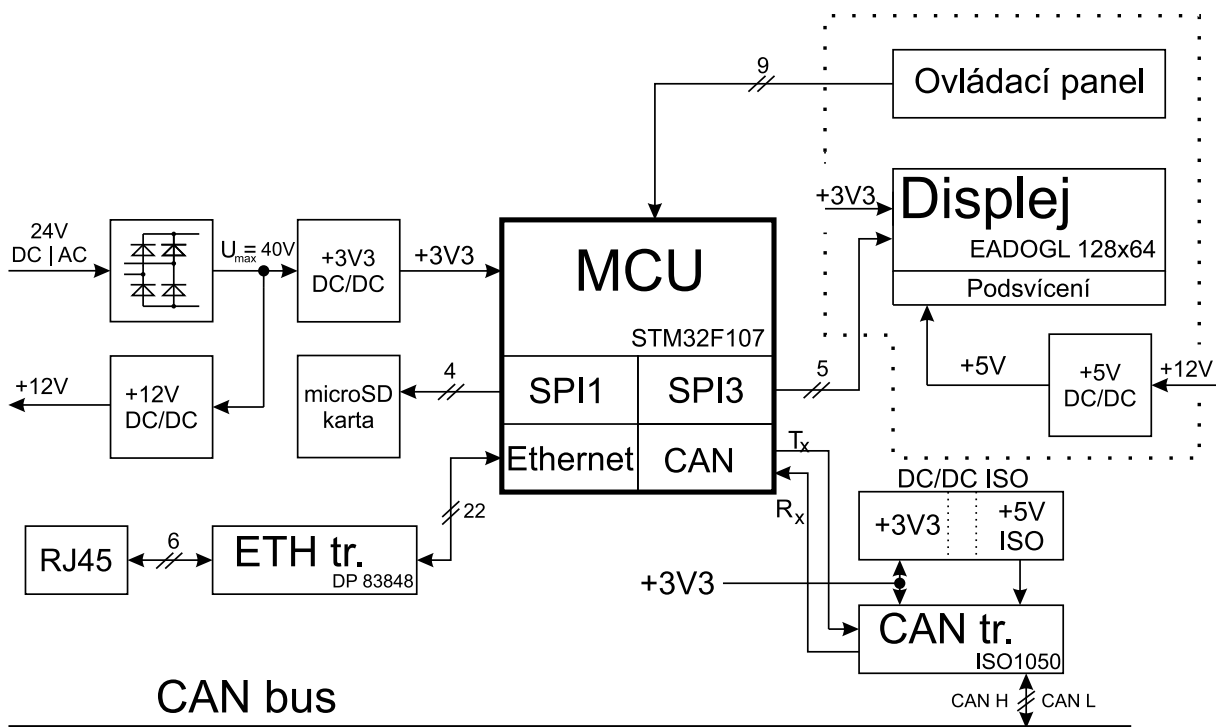
První část označená SYNC SEG značí očekávání hrany signálu. Druhý v pořadí je segment s označením PROP SEG, ten slouží ke kompenzaci doby zpoždění signálu. Mezi částmi s označením PHASE SEG1 a PHASE SEG2 se vzorkuje. Pokud se hrana signálu neobjeví v první části, konfiguruje se nastavení fázového závěsu změnou právě těchto dvou, o programovatelný počet časových kvant.[3], [7]

2 Návrh řídicí stanice

V této kapitole bude ukázán celkový pohled na řídicí stanici v podobě blokového schématu. Dále je zde uveden podrobný popis jednotlivých funkčních bloků. Na konci kapitoly je popsán použitý mikrokontrolér a jeho základní součásti.

2.1 Blokové uspořádání řídicí stanice

Na obr.: 6 je vidět blokové schéma samotné řídicí jednotky. Vlevo nahoře je blok s Graetzovým usměrňovačem. Tento je připojen přes vstupní filtr symetrického rušení přímo na napájecí svorky. Jeho funkce je zde primárně ochrana proti přepólování. Nicméně toto zapojení umožňuje zařízení napájet i střídavým napětím. Za tímto blokem jsou připojeny dva snižující DC/DC měniče. Jeden s výstupem 12 V pro napájení lokálních jednotek a plošného spoje s displejem, druhý s výstupním napětím 3,3 V vytváří systémové napětí řídicí stanice. Značení v blokovém schématu 24 V AC | DC znamená, že zařízení může bezproblémově pracovat pokud se napájí 24 V AC nebo 24 V DC. To umožňuje zařízení připojit i k transformátoru. Výstupní napětí transformátoru však nesmí být vyšší než 29,3 V, aby po usměrnění nedošlo k přetížení spínaných regulátorů napětí, které mohou pracovat s hodnotou napětí na vstupní straně maximálně 40 V. Minimální hodnota kdy jednotka pracuje správně je 13,4 V DC a 9,5 V AC.



Obr. 6: Blokové schéma řídicí jednotky.

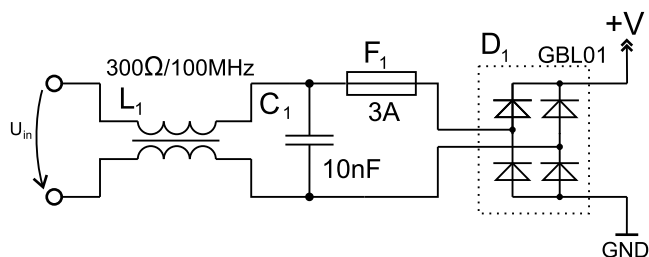
Blok s označením MCU vyobrazuje samotný mikrokontrolér. Jsou zde patrné i jed-

notlivé využití periférie. Jedno z SPI rozhraní je použito pro komunikaci s displejem a druhé je připojeno ke slotu na MicroSD kartu pro budoucí použití k ukládání provozních veličin. Dále je fyzicky realizováno propojení s ethernetovým budičem a jeho konektorem RJ45 se zabudovaným magnetickým obvodem. V neposlední řadě je použit i vnitřní řadič CAN sběrnice, který je připojen k budiči CAN sběrnice. Tento budič obsahuje galvanické oddělení. Galvanicky oddělená strana sběrnice potřebuje napájení a to je realizováno pomocí izolovaného DC/DC měniče NKE0305SC.

Buňka s názvem ovládací panel v sobě skrývá 6 ovládacích tlačítek a jeden n-kodér. Tyto jsou připojeny přímo na piny mikrokontroléru. Ovládací panel je součástí plošného spoje s displejem.

2.2 Napájení řídicí jednotky a displeje

Každá jednotka snese na napájecím vstupu napětí až 41,4 V DC a 29,3 V AC. Požadavek na minimální napájecí napětí je 13,4 V DC. Tento plyne z minimálního vstupního napětí, které je pro použité DC/DC měniče 12 V, a součtu úbytku na ochraně proti přepólování, která je tvořena Graetzovým můstkovým usměrňovačem, aby bylo možné zařízení napájet i ze zdroje střídavého napětí.

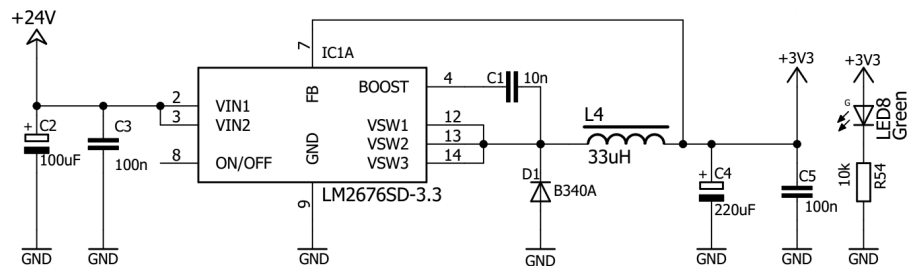


Obr. 7: Ochrana proti přepólování s Graetzovým usměrňovačem, příloha A4.

Dále je napětí rozvedeno a přeměněno na požadované hodnoty. Systém napájení se dá rozdělit do několika částí.

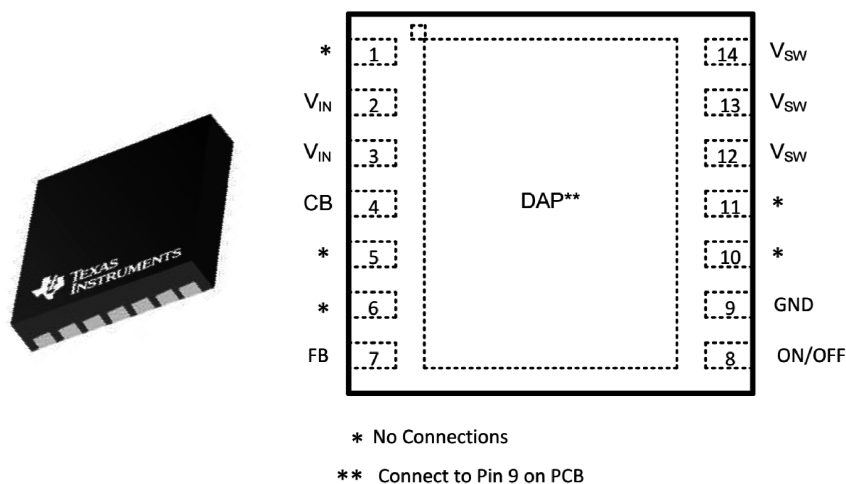
- Napájení MCU, displeje a ovládacích prvků 3,3 V
 - sběrnice CAN z 3,3 V na 5 V izolovaně
- napájení lokálních jednotek 12 V
 - napájení podsvícení displeje 5 V

Napájení řídicí stanice je realizováno pomocí spínaného snižujícího měniče patřícího do rodiny LM2676 od společnosti Texas Instruments s pevným výstupním napětím 3,3 V a proudem až 3 A. Tyto měniče jsou v řídicí části použity hned tři, pokaždé s jinou hodnotou výstupního napětí. Zapojení je vidět na obrázku (8). Jelikož v řídicí stanici není žádná analogová část, není nutné použít pro napájecí napětí MCU lineární stabilizátor.



Obr. 8: Schéma zapojení zdroje 3.3 V, příloha A1.

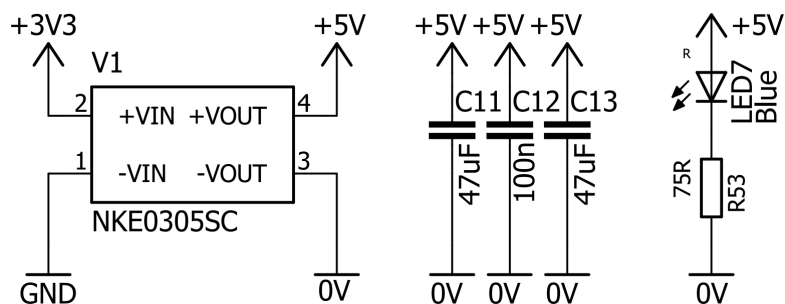
Stejný integrovaný obvod, jen s pevnou hodnotou napětí 12 V, je použit pro základní rozvod napětí v systému, z kterého jsou napájeny další stanice. Zapojení je takřka stejné jako v předchozím případě. Zde je využit ještě ON/OFF pin, najdeme ho v příloze A1. Tímto pinem se dá integrovaný obvod vyřadit a tím odpojit všechna k němu připojená zařízení od napětí. Výrobce uvádí hodnotu účinnosti až 94 %. Pracovní frekvence těchto integrovaných obvodů je 260 kHz. Integrovaný obvod pracuje s vnitřní referencí 1,21 V. Zapojení je velmi jednoduché, avšak při návrhu PCB je důležité dodržet určitá pravidla. Jedno z nich určuje, že pod pracovní indukčností se nesmí vést cesta se zpětnou vazbou. Dalším předpokladem je použití kvalitních součástek. U diody se sleduje její rychlost a doba zotavení, těmto požadavkům nejlépe vyhovují rychlé Schottkyho diody. U kondenzátorů musí být zase sériový odpor co nejnižší, běžně se pro malá napětí dají použít keramické kondenzátory s dostatečnou kapacitou, tantalové kondenzátory, nebo elektrolytické kondenzátory s nízkou hodnotou sériového odporu.



Obr. 9: Pouzdro LM2676 a jeho pinout.[5]

Využití pouzdro, které ukazuje obr.: 9, umožňuje velmi dobrý odvod tepla do plošného spoje pomocí DAP pinu. To je výhoda díky, které se ušetří hodně místa na plošném spoji. Samotné pouzdro má velmi malé rozměry pouze 5x6 mm a 1 mm vysoké.

Což vypovídá o vysokém stupni integrace. Avšak pájení takovéto součástky není úplně jednoduché, je třeba dávat pozor na to aby se obvod nezničil příliš dlouhým pájením. Nejlépe se dá obvod pájet pomocí horkovzdušné pájecí stanice. Na obr.: 8 je vidět také indikační dioda LED8. Zajímavý je ovšem rezistor R54, který má hodnotu $10\text{ k}\Omega$, což je pro diodu s pracovním proudem 5 mA poněkud vysoká hodnota a mohlo by se zdát, že jde o chybu ve schematu. Nicméně při jakékoliv nižší hodnotě rezistoru dioda nepříjemně oslňuje. Napájení izolované strany sběrnice CAN je realizováno pomocí obvodu NKE0305SC. Jedná se o zvyšující DC/DC měnič. Nevýhodou tohoto obvodu je, že nedokáže naprázdno udržet na výstupu přesně 5 V . Musí se zatížit na 10% jmenovitého výstupního proudu, což je v tomto případě 20 mA . Jmenovitý proud je tedy 200 mA . Jako zátěž je použita modrá LED dioda.



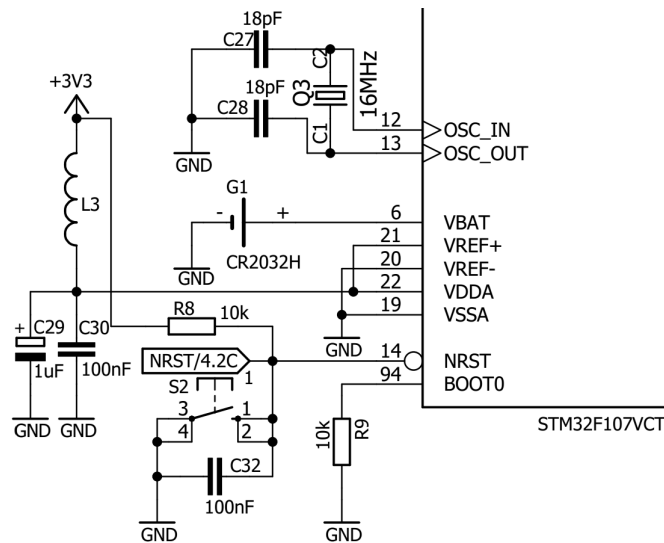
Obr. 10: Schéma izolovaného DC/DC měniče z 3.3 V na 5 V , příloha A1.

2.3 Mikrokontrolér STM32F107VCT

S ohledem na požadavky zadání práce a zkušenosti nabyté během studia se zdál být nejvhodnější volbou mikrokontrolér SMT32F107VCT od společnosti STMicroelectronics. Jedná se o 32 bitový mikrokontrolér založený na ARM Cortex M3 jádře. Bylo vybráno pouzdro LQFP100 s 80 piny použitelných jako GPIO. Tento mikrokontrolér dále nabízí dva samostatné CAN řadiče, dva 12 bitové AD převodníky každý s 16 kanály. CPU může být taktováno až na 72 MHz přes interní fázové závěsy, dokonce i bez použití externího oscilátoru. Napájecí napětí při, kterém mikrokontrolér dokáže pracovat, musí být minimálně 2 V a maximálně $3,6\text{ V}$. Pracovní teplota je v rozsahu $-40^{\circ}\text{C} \div 85^{\circ}\text{C}$, což vyhovuje i s rezervou pro venkovní použití v celé Evropě. Velikost RAM paměti je u tohoto typu mikrokontroléru 64 kB , flash paměť pak 256 kB .

Na obrázku 11 je vidět zapojení napájecích obvodů analogové části mikrokontroléru. Dále pak zapojení externího krystalového oscilátoru s pracovní frekvencí 16 MHz . K pinu VBAT je připojena baterie pro napájení BackUp domény, tento pin je aktivní pouze pokud není přítomno hlavní napájecí napětí. Pin BOOT0 určuje z jaké paměti bude mikrokontrolér načítat program. Externí pull down rezistor na tomto pinu znamená, že se

bude bootovat z vnitřní flash paměti. [1],[2]



Obr. 11: Zapojení HSE oscilátoru a napájení analogové části mikrokontroléru. Podrobněji v příloze A2.

Obvody resetování jsou napájeny z analogové části, proto je velmi důležité připojení napájecího napětí na pin VDDA. Celkové zapojení mikrokontroléru je v příloze A2.

2.4 Vizualizace a ovládací prvky

V této části kapitoly bude podrobně popsán použitý grafický displej a ovládací prvky systému. Bude zde zmíněno adresování zobrazovaných dat v paměti řadiče displeje, komunikace s displejem a její základní vlastnosti.

2.4.1 Grafický displej EAD0GL128B-6

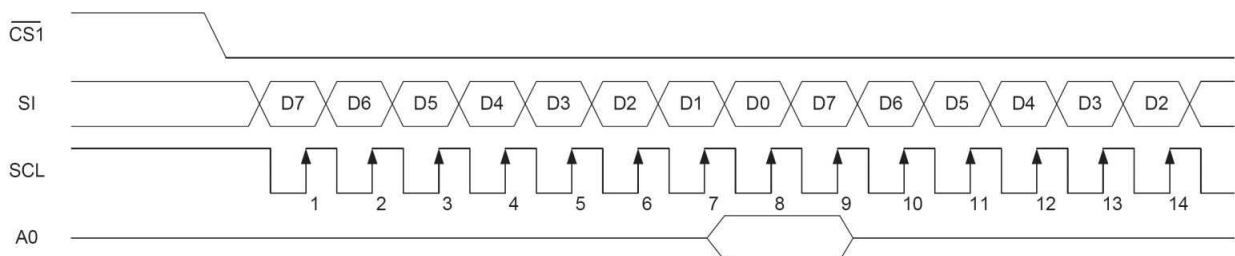
Použitý grafický LCD displej s rozlišením 128×64 bodů je vidět na obr.: 12. Toto rozlišení je dostatečné pro zobrazení potřebných dat o stavu včelstev. Displej nevyžaduje ke své funkci mnoho pinů mikrokontroléru, jak tomu bývá u složitějších grafických zařízení. Připojení k mikrokontroléru je velmi jednoduché a postačují k tomu pouze 4 signály, jak už bylo popsáno v předchozích kapitolách. Byl zvolen typ displeje, který ke své funkci vyžaduje podsvícení, takzvaný transmisní displej. To znamená, že podsvícení prosvěcuje pixely, které jsou v paměti reprezentovány jako logické úrovně H. Zbytek displeje je neprůhledný. Podsvícení je bohužel stejně drahé jako samotný displej, nicméně umožňuje uživateli velmi pohodlnou montáž. Rozložení pinů podsvícení se shoduje s pinoutem displeje. Zde je displej montován do svorkovnice, kvůli snadné výměně a také proto, aby bylo možné se dostat k součástem na plošném spoji pod displejem. Podsvícení vyžaduje napájení 5 V a je spínáno digitálním tranzistorem BCR521, který je připojen na



Obr. 12: Display EA DOGL128B-6.[8]

pin mikrokontroléru. 5 V pro podsvícení je realizováno stejným spínaným regulátorem jako v předchozích případech. Zapojení je vidět v příloze A6.

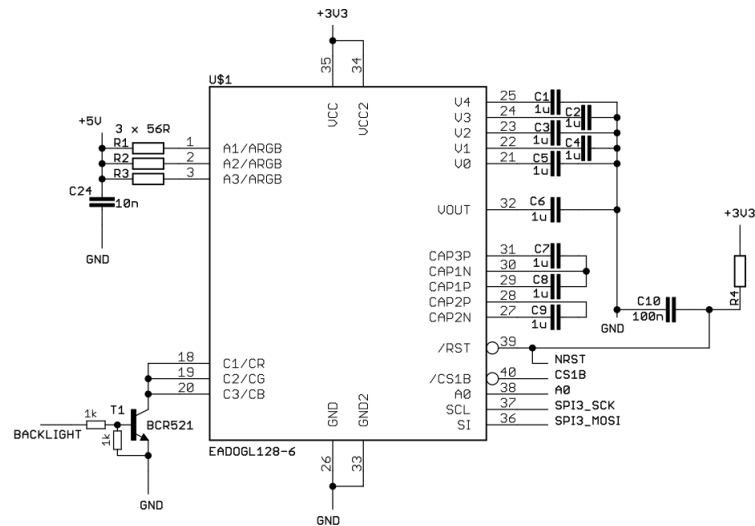
Komunikace s displejem probíhá po SPI sběrnici. Maximální rychlost hodin jakou řadič displeje dokáže zpracovat je 20 MHz. Displej umožňuje pouze zapisovat data do paměti RAM, dále nejdou vyčíst. Paměť displeje je rozdělena do sedmi sektorů nazvaných stránka. Každá stránka obsahuje 128 sloupců po 8 bitech. Stránek je celkem 8. Zobrazovací pole je velké $64 \times 36 \text{ mm}$. Na obr.: 13 je vidět časový diagram SPI sběrnice. Signál A0 dává informaci řadiči displeje zda se jedná o příkaz či data k zobrazení. Příkazy mohou být různé, například nastav adresu stránky, sloupce a další pro vnitřní nastavení displeje. Pokud je signál v log. L jedná se o příkazy, pokud je v log. H jedná se o data. Když se vysílají data, automaticky se inkrementuje adresa sloupce na příslušném řádku. Aplikace obsluhující displej musí vědět jaká je aktuální adresa na řádku, aby nedošlo k přetečení. Komunikaci zahájí mikrokontrolér uvedením log. L na pinu /CS1.



Obr. 13: Komunikace SPI s displayem - časový diagram.[8]

Na časovém diagramu je vidět i fázování hodinového signálu. Což je důležitá informace při nastavení řídicích registrů SPI v mikrokontroléru. Klidový stav na hodinovém pinu SCL je v log. H. Data se vzorkují vždy na náběžnou hranu hodin. První je vysílán

MSB bit. Komunikace probíhá klasicky v 8 bitovém režimu. Zapojení displeje ukazuje obrázek 14. [8]



Obr. 14: Schema zapojení displeje.

2.4.2 Ovládání řídicí jednotky

K ovládání řídicí jednotky slouží šest mikropínačů a n-kodér umístěných pod displejem. Tlačítka jsou rozmístěna ve dvou řadách po třech, a na pravé straně je umístěn n-kodér. Funkce jednotlivých tlačítek:

- Escape - návrat na úvodní obrazovku
- Up - pohyb v menu směrem nahoru
- Back - v menu přejde o úroveň zpět
- Left - pohyb kurzoru vlevo, výběr jednotek
- Down - pohyb v menu dolů
- Right - pohyb kurzoru vpravo, výběr jednotek.

Pokud uživatel zapomene rozložení a funkčnost tlačítek, může se kdykoliv po zapnutí zařízení dvojitým stiskem ENTER dostat do menu legendy. ENTER je součástí n-kodéru jako třetí kontakt po stisknutí hřídelky. Při otáčení n-kodéru se generuje na každém pinu obdélníkový signál fázově posunutý o 90 stupňů. Rozlišení směru otáčení se určuje podle úrovní signálů. Zvolený mikrokontrolér nabízí možnost použití timer v n-koder módu. Je třeba n-kodér připojit na správné piny v tomto případě na PE9 a PE11, což jsou vstupy TIM1_CH1 a TIM1_CH2. Obrázek 15 zobrazuje rozložení ovládacích prvků společně s displejem, schema zapojení ovládacích prvků nalezneme v příloze A6.



Obr. 15: Rozložení ovládacího panelu se zobrazenou legendou tlačítek.

3 Návrh lokální měřicí jednotky

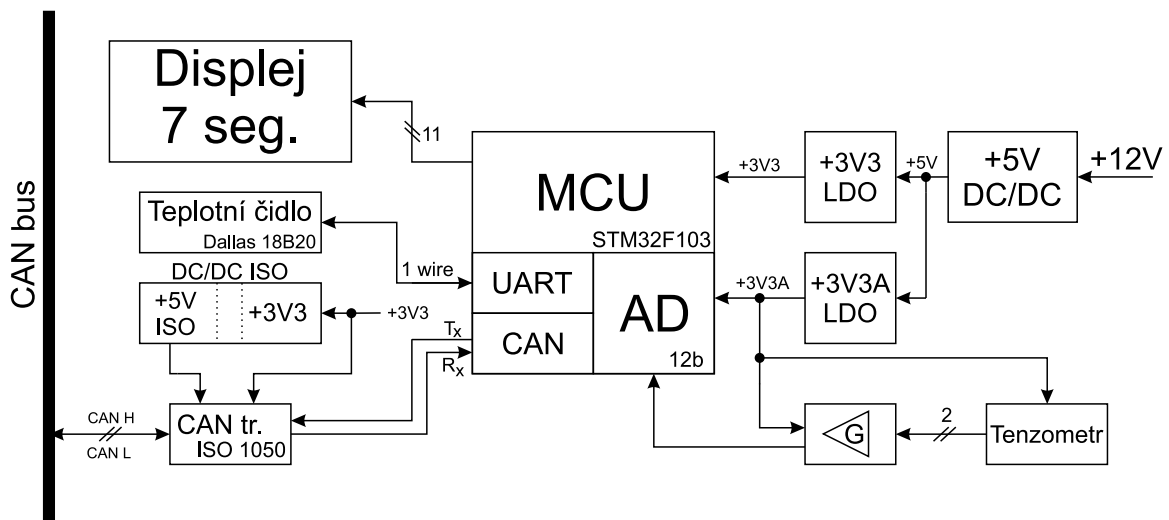
V této kapitole je popsán návrh a realizace hardwaru lokální měřicí jednotky. Pod každým včelstvem je ocelová konstrukce, k níž je připevněn tenzometrický snímač zatížení. Konstrukci můžeme vidět na obrázku 16. Každá lokální jednotka je vybavena třiciferným sedmi segmentovým displejem, na kterém se může zobrazovat informace primárně o hmotnosti daného úlu, to znamená celkovou hmotnost úlu nebo diferenci od poslední kontroly včelstva. Dvěma tlačítky se dá navolit zda se má zobrazovat aktuální celková hmotnost nebo pouze přírůstek od poslední kontroly, případně aktuální teplota v úlu.



Obr. 16: Ocelová konstrukce váhy s namontovaným tenzometrem.

3.1 Blokové uspořádání

Obrázek 17 vyobrazuje blokové schéma lokální měřicí jednotky. Na pravé straně je vidět, že měřicí jednotka je napájena napětím 12 V přivedeným po sběrnici. Toto napětí je dále sníženo spínaným snižujícím měničem na 5 V, pro menší výkonovou ztrátu na LDO stabilizátorech snižujících napětí pro analogovou a digitální část měřicí jednotky. V tomto případě jsou pro napájení použité dva stabilizátory oba s hodnotou výstupního napětí 3,3 V. Jeden napájí analogové obvody uvnitř mikrokontroléru a přístrojový zesilovač

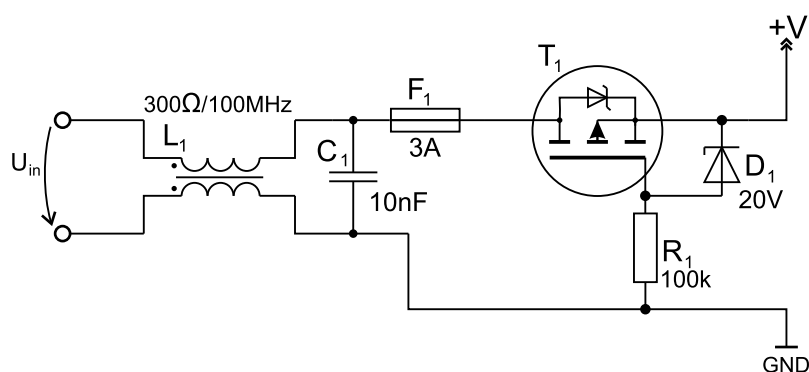


Obr. 17: Blokové schéma měřicí jednotky.

INA333 v bloku s označením G společně s tenzometrickým snímačem zatížení. Signál z tenzometrického snímače je třeba zesílit na úroveň změřitelnou mikrokontrolérem, k tomuto účelu slouží právě zmíněný přístrojový zesilovač. K mikrokontroléru je připojen zelený třímístný sedmissegmentový displej se společnou katodou. Dále je k němu připojeno teplotní čidlo Dallas 18B20, které komunikuje pomocí 1-wire sběrnice a udává rovnou údaj o teplotě. Stejně jako v řídicí jednotce je CAN sběrnice galvanicky oddělená od zbytku systému.

3.2 Zdroje napětí

Jak už bylo řečeno výše, měřicí jednotka je napájena stejnosměrným napětím o velikosti 12 V. Nicméně hardware je koncipován tak, že buď se toto napětí přivede z řídicí stanice, nebo se můžou lokální jednotky napájet externím zdrojem např.: solárním systémem. Je zde vyveden konektor, pro připojení externího zdroje napětí. Aby byl systém odolný, byla realizována ochrana proti přepólování pomocí PMOSFET tranzistoru obr.: 18. Tato ochrana má výhodu v tom, že nedochází k úbytku napětí na diodách a tím ke ztrátám na nich, jako v případě použití Graetzova usměrňovače, ale zařízení není



Obr. 18: Ochrana proti přepólování s MOSFET tranzistorem.

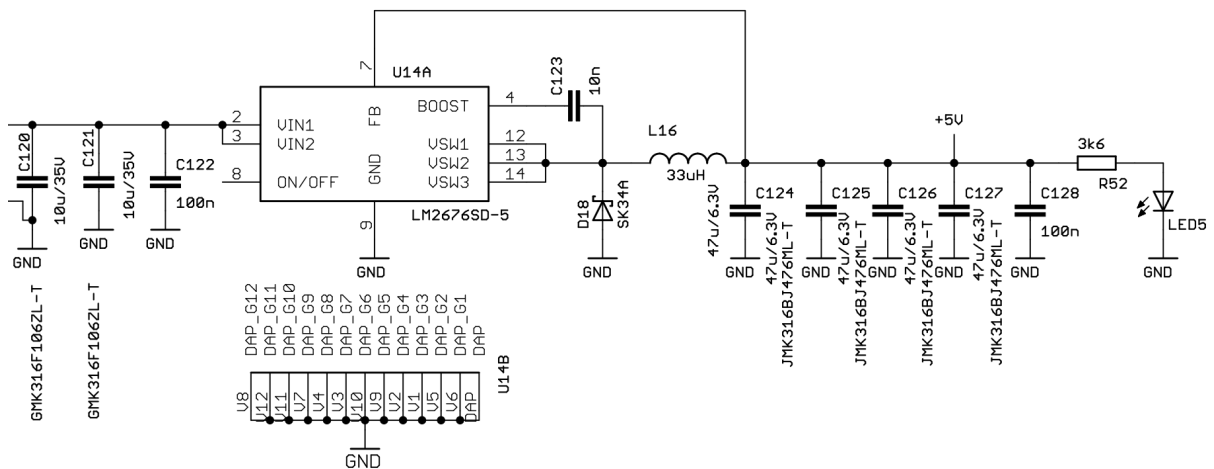
funkční pokud k přepólování dojde. Velikost úbytku je závislá pouze na typu tranzistoru, respektive na jeho odporu kanálu v sepnutém stavu R_{DSon} , který bývá v řádu desítek $m\Omega$. Pokud dojde k připojení napětí o správné polaritě, pak začne vést parazitní dioda uvnitř tranzistoru, s náběhem napětí se začne zvětšovat napětí U_{SG} a tím se začne otevírat tranzistor T_1 , ten překlene diodu a úbytek vlivem procházejícího proudu bude mnohem menší než $0,7\text{ V}$, jak by tomu bylo, pokud by se použila jako ochrana pouze samostatná dioda.

Pokud k přepólování dojde tak bude napětí U_{SG} opačné polarity a k otevření tranzistoru T_1 nedojde. Zenerova dioda D_1 je zde pouze proto, aby nedošlo k překročení maximálního povoleného napětí U_{GS} v tomto případě je to -20 V . Vstupní napětí je dále sníženo DC/DC měničem na hodnotu 5 V . Zapojení integrovaného obvodu je vidět na obrázku 19. Zapojení se oproti předchozím případům liší v použitém výstupním filtru. Je zde použita pracovní indukčnost s menším maximálním pracovním proudem, což vede k úspoře fyzických rozměrů. Dále jsou místo tantalových kondenzátorů použity keramické.

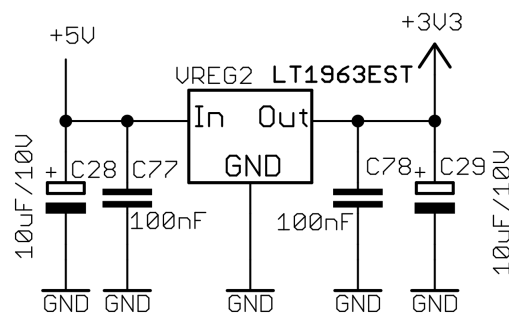
Na výstupní napětí z obvodu LM2676 jsou připojeny dva nízkošumové LDO stabilizátory s výstupním napětím $3,3\text{ V}$. Nízkošumové LDO byly vybrány, protože se jedná o měřicí jednotku a je nežádoucí, aby měřená veličina byla zatížena šumem od napájecího napětí. Zapojení LDO je vidět na obr.: 20. Jedná se o integrované obvody od firmy Texas Instruments TL1963. Analogová a digitální zem jsou odděleny přes indukčnost o hodnotě $10\ \mu\text{H}$.

3.3 Měření provozních veličin

V této podkapitole bude rozebrán způsob měření provozních veličin. V systému se budou zaznamenávat čtyři veličiny teplota okolního prostředí, teplota uvnitř každého úlu, hmotnost jednotlivých včelstev a čas. Teplota okolního prostředí je důležitá hlavně v letních měsících. Na základě informace o teplotě můžeme předpovídat aktivitu včelstva.



Obr. 19: Zapojení spínaného stabilizátoru napětí LM2676-5 s výstupní hodnotou napětí 5 V, příloha A7.



Obr. 20: Zapojení LDO stabilizátoru s pevným výstupním napětím 3,3 V.

Pokud bude chladno nebo po dešti tak jsou včely méně aktivní než za slunečných podmínek.

3.3.1 Měření teplot

K měření teploty bylo vybráno čidlo DS18B20, které s mikrokontrolérem komunikuje po sériovém rozhraní 1 wire. Výhoda v použití tohoto čidla je, že nepotřebuje žádné součástky upravující signál a poskytuje rovnou údaj o změřené teplotě. Mezi další výhody patří to, že se jich dá paralelně zapojit hned několik, každé čidlo má svůj unikátní identifikátor uložený v interní ROM paměti, přes který se prezentuje na sběrnici. Obvod pracuje v rozmezí napájecího napětí $3\text{ V} \div 5,5\text{ V}$, v tomto případě je připojen na napětí 3,3 V. Informaci o teplotě umí tento integrovaný obvod měřit s rozlišením až 12 bitů. Rozsah měřené teploty je $-55^{\circ}\text{C} \div 125^{\circ}\text{C}$. Při tomto rozsahu je přesnost měření 2°C . V rozsahu teplot od -10°C do 85°C je přesnost čidla 1°C , v tomto rozsahu se bude teplota pohybovat po celý rok a přesnost jeden stupeň je tedy dostatečná. [10]

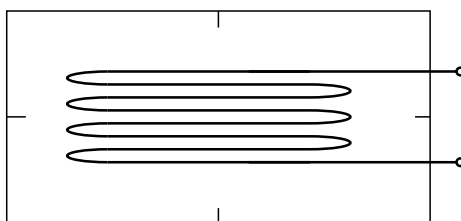
3.3.2 Měření hmotnosti

Měření hmotnosti se dá realizovat pomocí tenzometrického odporového snímače. Tenzometrické snímače pracují na principu změny fyzických rozměrů nalepeného vodiče na deformačním prvku. Nejčastěji se měří protažení nebo smrštění ve směru ohybu. Pokud se vodič natahuje nebo naopak smršťuje mění se jeho délka, průřez a vlivem strukturálních změn i měrný odpor. Z obecně známého vztahu (1) je vidět, že elektrický odpor materiálu je nepřímo závislý na průřezu vodiče a přímo závislý na jeho délce.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (1)$$

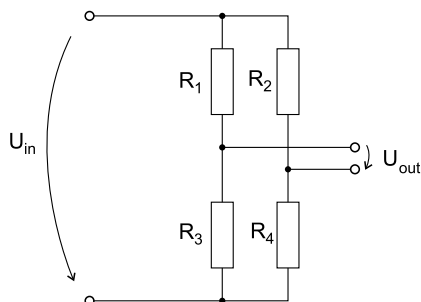
kde: ρ Měrný odpor,
 l délka vodiče,
 S průřez vodiče.

Relativní změna u kovových tenzometrů je přímo úměrná relativnímu prodloužení. Aby se docílilo co největší fyzické změny kovového drátku, jsou tyto realizovány do meandrů, rozložení ukazuje obr.: 21. Tenzometrické snímače jsou uchycené na folii a ta je připevněná speciálním lepidlem většinou na hliníkový profil. Dva snímače na horní straně a dva snímače na spodní straně zapojené do Wheatstonova můstku.



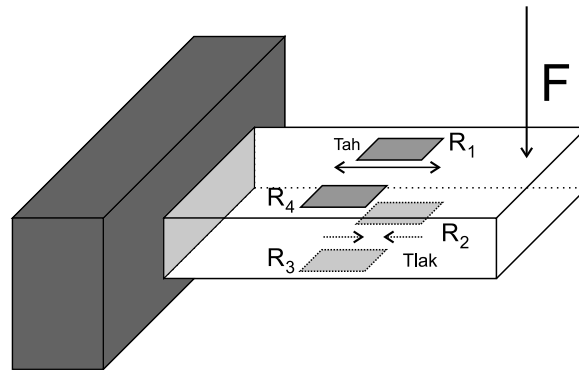
Obr. 21: Tvar kovového tenzometrického snímače.

Toto zapojení se používá kvůli tomu, že relativní změna odporů je velmi malá a měřit přímo tuto změnu by bylo velmi obtížné. Můstek se skládá ze dvou odporových děličů spojených paralelně, obr.: 22.



Obr. 22: Principiální zapojení Wheatstonova odporového můstku.

Další výhodou tohoto zapojení může být teplotní kompenzace, protože teplota působí na všechny tenzometry stejně. Jejich rozložení je pak klíčové k potlačení teplotního vlivu a zvětšení citlivosti samotného senzoru. Rozložení tenzometrů ilustruje obr.: 23.



Obr. 23: Fyzické uspořádání senzoru.

Ze vztahu 2 pro vyvážený můstek můžeme vidět jak na sebe vzájemně působí jednotlivé tenzometry.

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (2)$$

Výrobce single point senzoru ZEMIC L6E použitého v této práci udává citlivost 2 mV/V vztahenou k napájecímu napětí. Pokud je napájecí napětí senzoru $3,3 \text{ V}$ pak citlivost bude $6,6 \text{ mV}$ při plném zatížení senzoru 300 kg . Výrobce udává i možné trvalé přetížení senzoru až 150% , nicméně v této aplikaci by k přetížení nemělo nikdy dojít. Výstupní napětí ze senzoru je třeba zesílit na hodnotu srozumitelnou pro mikrokontrolér. Vstupní rozsah AD převodníku je $0 \div 3,3 \text{ V}$. Požadavek na zesílení tedy vychází takto:

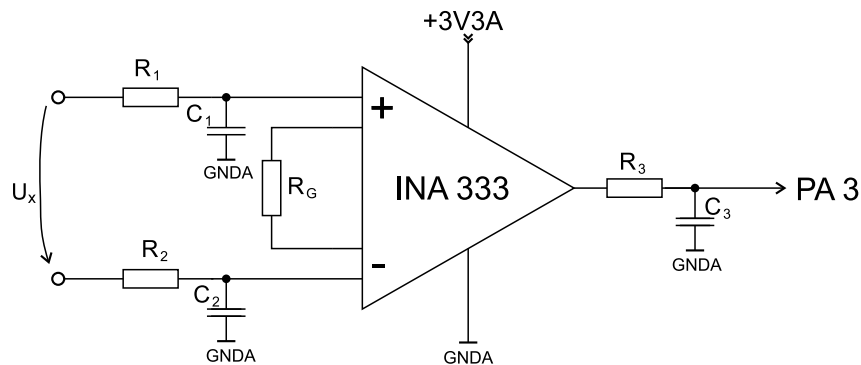
$$A = \frac{U_{ADmax}}{C \cdot V_{DDA}} = \frac{3,3}{0,002 \cdot 3,3} = 500 \quad (3)$$

kde: A zesílení,
 U_{ADmax} maximální změřitelné napětí AD převodníku,
 C citlivost senzoru,
 V_{DDA} napájecí napětí senzoru.

Na obrázku 24 je vidět zapojení přístrojového zesilovače INA333, který byl vybrán právě k zesílení signálu ze senzoru. Tento zesilovač je napájen napětím $3,3 \text{ V}$ stejným jako senzor. Dále jsou vyjmenovány některé důležité vlastnosti použitého přístrojového zesilovače.

- Rail to Rail výstup
- nízký napěťový offset max. $25 \mu\text{V}$

- nízký šum $50 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- rozsah pracovní teploty $-40^\circ\text{C} \div 125^\circ\text{C}$
- doporučení pro senzoriku vah



Obr. 24: Ilustrační zapojení přístrojového zesilovače INA333, podrobněji v příloze A10.

Hodnotu zesílení A už jsme určili dříve, nyní musíme určit velikost rezistoru R_G , kterým se nastaví zesílení podle vztahu 5 takto:

$$A = \frac{R_{in}}{R_G} + 1 \quad (4)$$

Po úpravě a dosazení vypočteme hodnotu rezistoru R_G , hodnota $R_{in} = 100 \text{ k}\Omega$ je uvedena v aplikačních listech zesilovače INA333.

$$R_G = \frac{R_{in}}{A} + 1 = \frac{100 \cdot 10^3}{500} + 1 = 201\Omega \quad (5)$$

Jelikož je na plošném spoji rezistor R_G realizován jako sériové spojení dvou odporů, můžeme tuto hodnotu nastavit velmi přesně. Integrovaní články na vstupu zesilovače jsou určeny k potlačení rušení od vyšších frekvencí. [4], [6]

3.4 Mikrokontrolér STM32F103C8T

Tento mikrokontrolér má s předchozím hodně společných vlastností. Budou tedy zmíněny pouze ty hlavní, v kterých se liší od mikrokontroléru použitého v řídicí stanici. Jedním z nich je použité pouzdro LQFP48, to má pouze 48 pinů. Vnitřní paměť SRAM je velikosti 20 kB , flash paměť je 64 kB . Jedná se o jednodušší celek, chybí například ethernetový radič, má i méně ostatních komunikací. Nicméně stále se jedná o jádro ARM Cortex M3. Důležitým kritériem bylo aby byl mikrokontrolér co nejvíce podobný použitému v řídicí jednotce kvůli přenositelnosti kódu. Usnadní to implementaci CAN komunikace a různých nastavení. Zapojení mikrokontroléru je uvedeno v příloze A8. [11]

3.4.1 AD převodník

V tomto případě je klíčovou součástí mikrokontroléru použitý interní AD převodník. Tento konkrétní typ je vybaven 12 bitovým AD převodníkem, to poskytuje rozlišení 4096 hodnot vztaženou k napájecímu napětí. Pokud zanedbáme veškeré rušivé vlivy, jako je šum a rušení z venku, vyjde nám minimální rozlišitelné napětí na vstupu AD převodníku $0,806\text{ mV}$. Tato hodnota vztažená na váhu pak určuje citlivost váhy $0,073\text{ kg}$. Jelikož je na napájení analogové části použit nízkošumový LDO stabilizátor a zemní polygon na plošném spoji je oddělen od zemního polygonu digitálního, je šum zanedbatelný a měřená veličina nekmitá.

4 Software

V této kapitole bude rozepsán postup při návrhu firmware jednotlivých mikrokontrolérů. Kapitola je rozdělena do dvou hlavních částí, popis programu v řídicí stanici a na popis programu v lokální měřicí jednotce. Všechny zde uvedené ukázky kódu se dají dohledat v přílohách na přiloženém CD ve složce Firmware. Adresářová struktura programu je stejně jako tato kapitola rozdělena do dvou částí, na program lokální měřicí jednotky a program pro řídicí jednotku. Všechny zdrojové kódy a hlavičkové soubory k řídicí jednotce nalezneme na přiloženém CD zde: `CD:\Firmware\RCUST\src\`. Zdrojové kódy k měřicí jednotce pak nalezneme zde: `CD:\Firmware\SCALE\src\`.

4.1 Program řídicí jednotky

Program řídicí jednotky je koncipován tak, že v hlavní funkci běží smyčka s navrženým MENU a vše ostatní se provádí obsluhou rutin od přerušení. Nejvíce času proto zabralo samotné nastavení řídicích registrů mikrokontroléru. V následujících kapitolách bude uvedeno jak jsou nastavené jednotlivé řídicí registry pro přenos dat. A také komunikace s displejem a vizualizovaná data na něm.

4.1.1 Nastavení RCC

Tento mikrokontrolér je navržen tak, že se dají hodiny do jednotlivých periférií vypínat. Je tomu tak kvůli požadavkům na co nejnižší spotřebu. V počáteční inicializaci je tedy třeba zvolit zdroj hodin. Dále je třeba zapnout hodiny do všech potřebných periférií. V souboru `CD:\Firmware\RCUST\src\RCUST_APP_init.c` ve funkci `GPIO_init()` jsou zapnuty systémové hodiny pro většinu použitých periférií. .

4.1.2 Vizualizace dat

Použitý grafický LCD displej DOGL128B-6 rozeznává dva typy příchozích dat. Jedním z nich je příjem příkazů. V těchto instrukcích je nutné obsluhovat signál A0, ten musí mít úroveň log. L pokud se jedná o příkaz. Jelikož vybraný mikrokontrolér umožňuje bitový přístup k jednotlivým obecně použitým pinům, je tento úkon časově nenáročný. Ukažme si příklad maker k tomu určených.

Ukázka kódu 1: Makra znázorňující bitový přístup k periférii

```
#define A0_COMMAND          GPIOE->BRR = GPIO_BRR_BR5;
#define A0_DATA             GPIOE->BSRR = GPIO_BSRR_BS5;
```


Tato makra jsou součástí uživatelské knihovny, určené k definování maker řídicí stanice, adresa souboru na přiloženém CD je `CD:\Firmware\RCUST\src\RCUST_APP_defines.h`. Makro s názvem `A0_COMMAND` nuluje ovládací bit pinu PE5. Makro `A0_DATA` pak tento bit nastavuje do log. H. Analogicky je tomu i u ostatních maker ovládajících přímo výstupní piny. Funkce odesílání na displej jsou v základu rozděleny do dvou typů. V obou typech se musí manuálně ovládat signál /CS1B stejně jako A0, který povoluje komunikaci. Prvním typem je odesílání příkazu a druhým typem je odesílání dat. Jediným rozdílem je zřejmý, signál A0.

Ukázka kódu 2: Funkce odesílající příkaz na displej

```

/** sending command to display */
void SPI_data_out_command(unsigned char data) {
    CS_DISP_ON;
    LED1_SET;
    A0_COMMAND;
    __NOP();
    SPI3->DR = data;
    while (SPI3->SR & SPI_SR_BSY)
        ;
}

```

Funkce má pouze jednu vstupní hodnotu `data` značící jeden byte, který se má odeslat jako příkaz. Funkce nemá žádnou návratovou hodnotu. Nejprve se nastaví pin /CS1B do log. L, po té se nastaví pin A0 do log. L. Zapiší se data do datové registru SPI3. Potom se čeká na dokončení odesílání.

Displej se musí při každém spuštění inicializovat. V inicializaci displeje se nastavují jednotlivými příkazy například tyto parametry:

- počáteční adresa paměti RAM
- zda pixel bude zhasínat nebo svítit
- poloha natočení
- kontrast
- zapnutí displeje

Displej umožňuje provoz ve dvou polohách vzájemně posunutých o 180°. Po nastavení všech pracovních registrů se displej musí zapnout. Jednotlivé příkazy jsou popsány v referenci [8]. V inicializační funkci `DISP_init()` displeje vidíme, že po proběhnutí základního nastavení se displej ještě vymaže a zapíše se na něj uvítací obrazovka funkcí `disp_welcome()`.

Ve funkci `disp_field_char` je vidět postup zobrazení řetězce znaků na displej.

Ukázka kódu 3: Příklad inicializace displeje.

```
void DISP_init(void) {
    SUPPLY_12V_ENABLE;
    BACKLIGHT_ON;
    SPI_data_out_command(0xe2);
    wait_us(15);
    SPI_data_out_command(0x40);
    SPI_data_out_command(0xa1);
    SPI_data_out_command(0xc0);
    SPI_data_out_command(0xa6);
    SPI_data_out_command(0xa2);
    SPI_data_out_command(0x2f);
    SPI_data_out_command(0xf8);
    SPI_data_out_command(0x00);
    SPI_data_out_command(0x27);
    SPI_data_out_command(0x81);
    SPI_data_out_command(0x10);
    SPI_data_out_command(0xac);
    SPI_data_out_command(0x00);
    SPI_data_out_command(0xaf);
    wait_us(30);
    /*clear all display*/
    disp_clr();
    /* welcome screen */
    disp_welcome();
    wait_ms(2);
}
```

Prvním vstupním parametrem je ukazatel na začátek zobrazovaného pole znaků, druhým parametrem je adresa řádku displeje a posledním vstupním parametrem je adresa na řádku. Funkce nejprve nastaví adresu řádku a po té adresu na řádku. Pak posílá jednotlivé znaky na displej než přijde znak ukončení řetězce. Pro správnou funkci byla vytvořena pomocná proměnná s názvem `position`, která je po každém průchodu inkrementovaná, právě dokud nepřijde ukončovací znak.

Dále je pomocí základních funkcí displeje a obsluhy tlačítek vytvořeno MENU řídicí jednotky. Po startu systému se objeví uvítací obrazovka. Po stisku tlačítka ENTER se vejde do MENU. Kde se pak intuitivně pohybuje směrovými tlačítky a výběr je vždy klávesou ENTER.

Ukázka kódu 4: Funkce zobrazující řetězec znaků na displej.

```
/** Display string */  
void disp_field_char(char *char_field, unsigned char page,  
    unsigned char commun_adress) {  
    unsigned char position = 0;  
    SPI_data_out_command(0xb0|page);  
    set_column_adress(commun_adress);  
    do{  
        disp_char(char_field[position]);  
        position++;  
    }  
    while(!(char_field[position]=='\0'));  
}
```

4.1.3 Nastavení sběrnice CAN

Nastavení CAN periférií je v souboru na přiloženém CD v `RCUST_APP_init.c`, cesta k tomuto souboru již byla uvedena výše. Nejprve se zapnou hodiny v RCC registrech. Po té se spustí požadavek na inicializaci CAN1 registrů. Zde se nastaví před dělička hodinového signálu pro časové kvantum. Po té se nastaví poloha vzorkování a zapne se přerušování generující se když čeká nevyzvednutá zpráva vstupní FIFO paměti. Nakonec se vypne inicializační sekvence.

Pro odesílání a přijímání zpráv je nutné nastavit jednotlivé mail boxy. Nejprve se nastavuje zda se jedná o standardní nebo rozšířený identifikátor a počet vysílaných bitů, maximálně 8. Nakonec se musí nastavit filtrování příchozích zpráv.

Zpráva vyžadující příjem dat je vysílána v rutině přerušování od Timer 2 s periodou 30 sekund. Je vyslán globální požadavek na poskytnutí dat od měřicích stanic. Dále je vysílána zpráva o potvrzení přítomnosti řídicí jednotky na sběrnici. Ta je vysílána s periodou 500 ms. Jsou použité dva mail boxy 0 a 1.

4.2 Program lokální jednotky

Program lokální jednotky se liší hlavně v tom, že jsou zde využity analogové převodníky. Dále je zde realizován jiný způsob vizualizace, jednodušší.

4.2.1 Vizualizace

Vizualizace v měřicí jednotce je řešena pouze sedmisegmentovým displejem. Zapojení displeje je vidět v přílohách A8 a A9. V první zmíněné je vidět připojení k mikrokontroléru a v druhé je samotné zapojení displeje. Jednotlivá čísla odpovídají výstupní kombinaci horních 7 pinů brány GPIOB. Pro co nejjednodušší zobrazení čísla bylo navrženo deseti prvkové pole, kde poloha v poli je rovna zobrazované cifře. Jelikož se jedná o tříciferný displej, postačuje zobrazované číslo rozdělit na tři části desetiny, jednotky a desítky. K tomu je určená funkce `zobrazeni(cislo)`. Jejím vstupním parametrem je celočíselná proměnná, která je rozložena na jednotlivé cifry a zapsána do globálních proměnných, které jsou pak v přerušování postupně zobrazovány na displeji. V následující ukázce je znázorněno jak probíhá rozložení čísla pomocí celočíselného dělení.

4.2.2 AD převod a nastavení DMA

AD převodník je nastaven na manuální spuštění od softwarové události, v tomto případě od přerušování v TIM2. Jsou zde využity dva kanály převodníku ADC1. V inicializaci se zde volí počet převáděných kanálů, čas vzorkování, mód skenování, počet konverzí a požadavek na DMA přenos po skončení převodu. Jeden kanálu ADC1 s číslem

Ukázka kódu 5: Funkce rozkladu čísla pro zobrazení.

```
void zobrazeni(int cislo){
    desetiny = (cislo)%10;
    jednotky = (cislo/10)%10;
    desitky = (cislo/100)%10;
    return;
}
```

16 je určen k převodu vnitřní teploty mikrokontroléru. Druhý na kanále 3 je připojen k přístrojovému zesilovači a převádí hodnotu na pinu PA3 na informaci o váze včelstva. Vždy po skončení převodu je vyvolán požadavek na DMA přenos. V inicializaci DMA kanálu se musí zvolit počet přenášených bytů, adresa periferie, ze které se data přenáší, adresa paměti kam se data zapisují a priorita přenosu. Jelikož je zde použit pouze jeden DMA kanál není třeba prioritu určovat. Dále se nastavuje mód DMA přenosu v tomto případě kruhový.

5 Možnosti propojení s osobním počítačem

Tento měřicí systém by bylo velmi vhodné nějakým způsobem propojit i s okolním světem, minimálně však s osobním počítačem. Nejednodušší by bylo zařízení propojit s PC pomocí UART rozhraní v mikrokontroléru a dokoupit převodník na USB. Avšak použitý mikrokontrolér obsahuje řadič i na USB. Bohužel tyto vývody nebyly vyvedeny při návrhu desky plošného spoje. V této práci byla při návrhu hardware provedena příprava pro připojení pomocí ethernetového rozhraní. Dále by byla možnost dokoupit bezdrátové rozhraní, co by šlo připojit již na vyvedené periferie jako je SPI či UART. Na trhu jsou dostupné SPI Wi-Fi moduly.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout měřicí systém, který bude monitorovat provozní veličiny včelích úlů, jedná se o teplotu a hmotnost. Systém byl koncipován na tři různé desky plošných spojů (DPS). První z nich je řídicí jednotka. Jedná se o čtyřvrstvou DPS, kde jsou realizovány obvody pro komunikaci na sběrnici CAN, obvody pro napájení ostatních jednotek, konektor pro připojení ovládacího panelu s grafickým displejem, slot na Micro-SD kartu a ethernetový řadič. Druhou částí je dvouvrstvá deska s analogovými měřicími obvody s vyhodnocením provozních veličin. Je zde také realizováno připojení na sběrnici CAN a jednoduché zobrazení provozních veličin na sedmisegmentovém tříciferném displeji. Poslední částí je také dvouvrstvá DPS s grafickým displejem a ovládacími prvky připojená k řídicí desce přes 24 pinový konektor. Při návrhu zařízení byl brán ohled na venkovní použití, hlavně z hlediska teplotních rozsahů použitých součástek.

Další ne méně důležitou součástí je ocelová konstrukce váhy s namontovaným senzorem zatížení s maximální zátěží 300 kg. Celkový pohled na konstrukci i s usazeným úlem je vidět v příloze C1.

Obvod pro měření zatížení byl navržen dobře. Měřená veličina nekmitá. Použitý tenzometr vyhovuje svými parametry použité aplikaci. Bohužel nebyla možnost senzor zkalibrovat, měřená veličina je tedy pouze přibližná. Doposud byl také vyroben pouze jeden vzorek měřicí jednotky a zakoupen pouze jeden tenzometr. V budoucnu je plánováno systém rozšířit na celý včelín.

V současnosti je vyroben a oživen hardware. A je implementován základní firmware, na kterém probíhají práce na dokončení a odladění programu. Práce na tomto projektu odevzdáním diplomové práce nekončí. Je třeba celý systém zapouzdit a poskytnout elektronice dostatečné krytí proti vnějším vlivům. Dále by bylo vhodné měřicí systém zpřístupnit i z internetu, pro tuto možnost byl hardwarově realizován ethernetový řadič. Dají se však použít i jiné vyvedené periferie jako je SPI a UART a doplnit systém o modul komunikující např.: přes WiFi.

Seznam obrázků

1	Blokové schéma měřicího systému.	10
2	Princip sběrnice SPI	11
3	Časový diagram SPI komunikace.	12
4	Princip připojení uzlů na sběrnici - otevřený kolektor.[7]	14
5	Časové rozložení jednoho bitu na CAN sběrnici.[7]	14
6	Blokové schéma řídicí jednotky.	15
7	Ochrana proti přepólování s Gratzovým usměrňovačem, příloha A4.	16
8	Schéma zapojení zdroje 3.3 V, příloha A1.	17
9	Pouzdro LM2676 a jeho pinout.[5]	17
10	Schéma izolovaného DC/DC měniče z 3.3 V na 5 V, příloha A1.	18
11	Zapojení HSE oscilátoru a napájení analogové části mikrokontroléru. Podrobněji v příloze A2.	19
12	Display EA DOGL128B-6.[8]	20
13	Komunikace SPI s displejem - časový diagram.[8]	20
14	Schema zapojení displeje.	21
15	Rozložení ovládacího panelu se zobrazenou legendou tlačítek.	22
16	Ocelová konstrukce váhy s namontovaným tenzometrem.	22
17	Blokové schéma měřicí jednotky.	23
18	Ochrana proti přepólování s MOSFET tranzistorem.	24
19	Zapojení spínaného stabilizátoru napětí LM2676-5 s výstupní hodnotou napětí 5 V, příloha A7.	25
20	Zapojení LDO stabilizátoru s pevným výstupním napětím 3,3 V.	25
21	Tvar kovového tenzometrického snímače.	26
22	Principiální zapojení Wheatstonova odporového můstku.	26
23	Fyzické uspořádání senzoru.	27
24	Ilustrační zapojení přístrojového zesilovače INA333, podrobněji v příloze A10.	28

Seznam tabulek

1	Přenosová rychlost sběrnice CAN v závislosti na délce. [7]	13
---	--	----

Reference

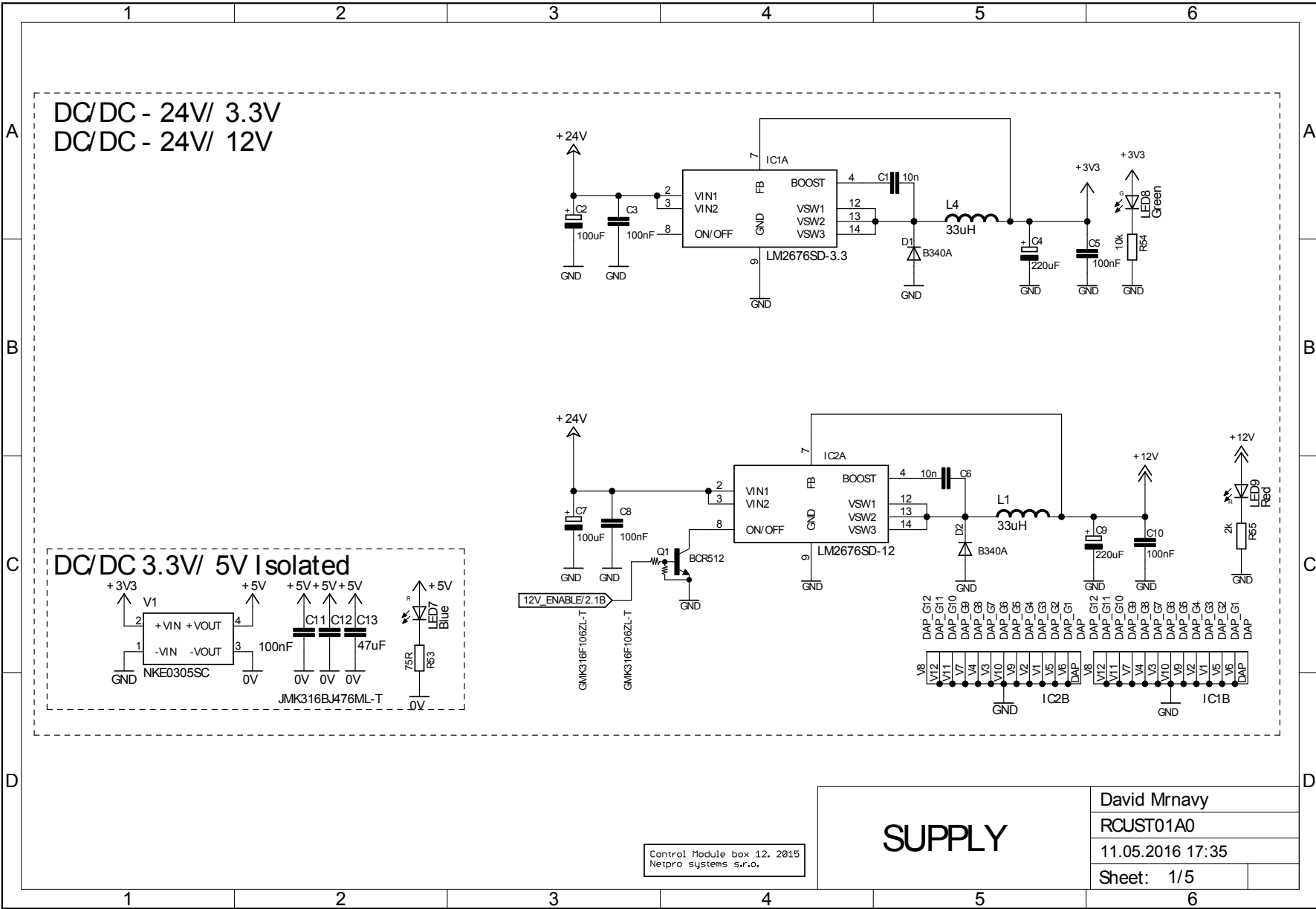
- [1] STMicroelectronics. STM32F105xx, STM32F107xx: 32-bit Microcontroller [online]. 2015 [cit. 2016-27-03]. Dostupné z: <http://www2.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/e4/f3/1a/89/5a/02/46/ae/CD00220364.pdf/files/CD00220364.pdf/jcr:content/translations/en.CD00220364.pdf>
- [2] STMicroelectronics. RM0008 Reference manual [online]. 2015 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: http://www2.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf
- [3] Ing. POLÁK, Karel. Ústav telekomunikací, VUT FEKT Brno. Sběrnice CAN [online]. 2003 [cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- [4] Zemic Europe B.V.. Type L6E Load Cell [online]. 2013 [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: http://www.zemiceurope.com/media/Documentation/L6E_Datasheet.pdf
- [5] TEXAS INSTRUMENTS. LM2676 Datasheet [online]. 2013 [cit. 2016-20-04]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/405/lm2676-485114.pdf>
- [6] TEXAS INSTRUMENTS. INA333 Micro-Power (50uA), Zero-Drift, Rail-to-Rail Out Instrumentation Amplifier [online]. 2008 [cit. 2016-09-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/sbos445c/sbos445c.pdf>
- [7] KOSTURIK, Kamil. Controller Area Network. Plzeň, 2014. Přednáška KAE/RIS. ZČU.
- [8] ELECTRONIC ASSEMBLY. DOGL GRAPHIC SERIES: 128x64DOTS [online]. 2012 [cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/127/dogl128-6e-3984.pdf>
- [9] TIŠNOVSKÝ, Pavel. ROOT.CZ. Externí sáriové sběrnice SPI a IIC [online]. 2008 [cit. 2016-01-05]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/#k04>
- [10] Maxim integrated. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, DS18B20 [online]. 2015 [cit. 2016-07-05]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

- [11] STMicroelectronics. STM32F103x8, STM32F103xB [online]. 2015 [cit. 2016-09-05]. Dostupné z: <http://www2.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/33/d4/6f/1d/df/0b/4c/6d/CD00161566.pdf/files/CD00161566.pdf/jcr:content/translations/en.CD00161566.pdf>

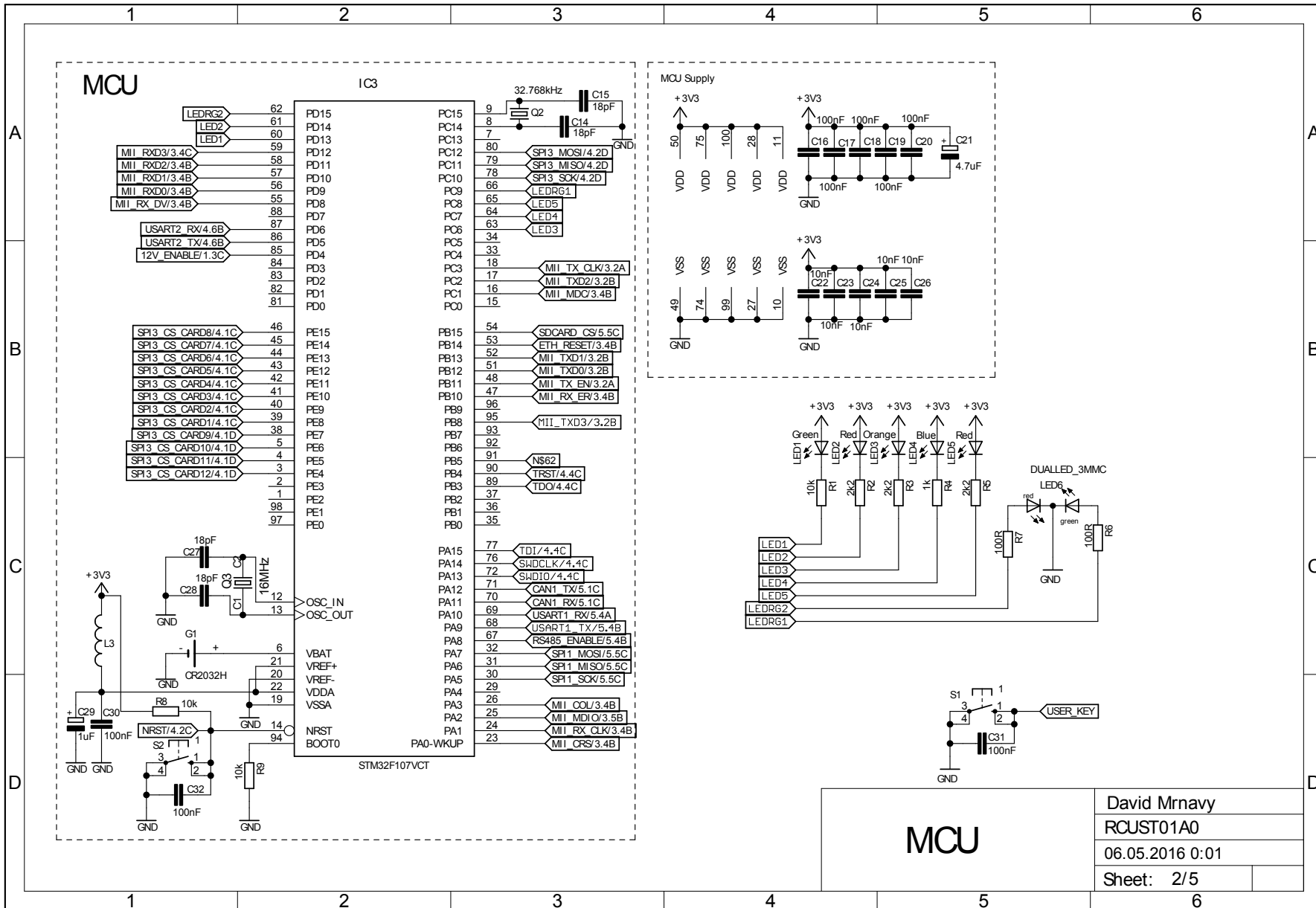
Seznam Příloh

příloha A:	A1	Schéma zapojení zdrojové části řídicí jednotky
	A2	Schéma zapojení mikrokontroléru řídicí jednotky
	A3	Schéma zapojení budičů sběrnic a konektoru MicroSD karty
	A4	Schéma zapojení konektorů řídicí jednotky
	A5	Schéma zapojení ethernetového budiče
	A6	Schéma zapojení displeje a ovládacích prvků
	A7	Schéma zapojení zdrojové části měřicí jednotky
	A8	Schéma zapojení mikrokontroléru měřicí jednotky
	A9	Schéma zapojení sedmsegmentového displeje měřicí jednotky
	A10	Schéma zapojení přístrojového zesilovače
	A11	Schéma zapojení budiče CAN měřicí jednotky
příloha B:	B1	Deska plošného spoje řídicí jednotka horní strana
	B2	Deska plošného spoje řídicí jednotka vnitřní vrstva 1
	B3	Deska plošného spoje řídicí jednotka vnitřní vrstva 2
	B4	Deska plošného spoje řídicí jednotka spodní strana
	B5	Deska plošného spoje ovládacího panelu horní strana
	B6	Deska plošného spoje ovládacího panelu spodní strana
	B7	Deska plošného spoje měřicí jednotky horní strana
	B8	Deska plošného spoje měřicí jednotky spodní strana
příloha C:	C1	Fotografie ocelové konstrukce s úlem.
příloha D:	Příložené CD ...	Diplomová práce Firmware řídicí jednotky Firmware měřicí jednotky Schemata a DPS

Příloha A1: Schéma zapojení zdrojové části řídicí jednotky

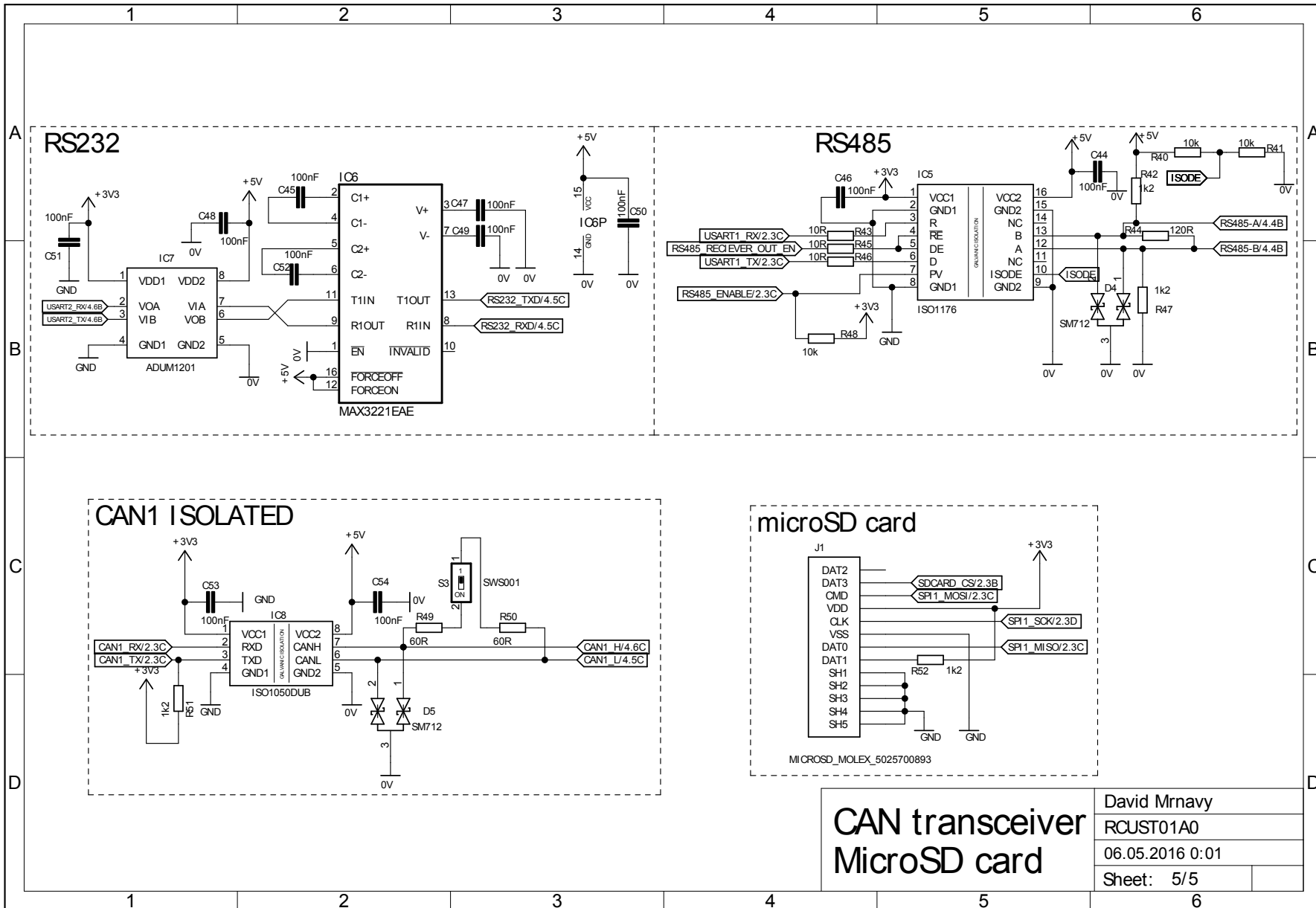


Příloha A2: Schéma zapojení mikrokontroléru řídicí jednotky



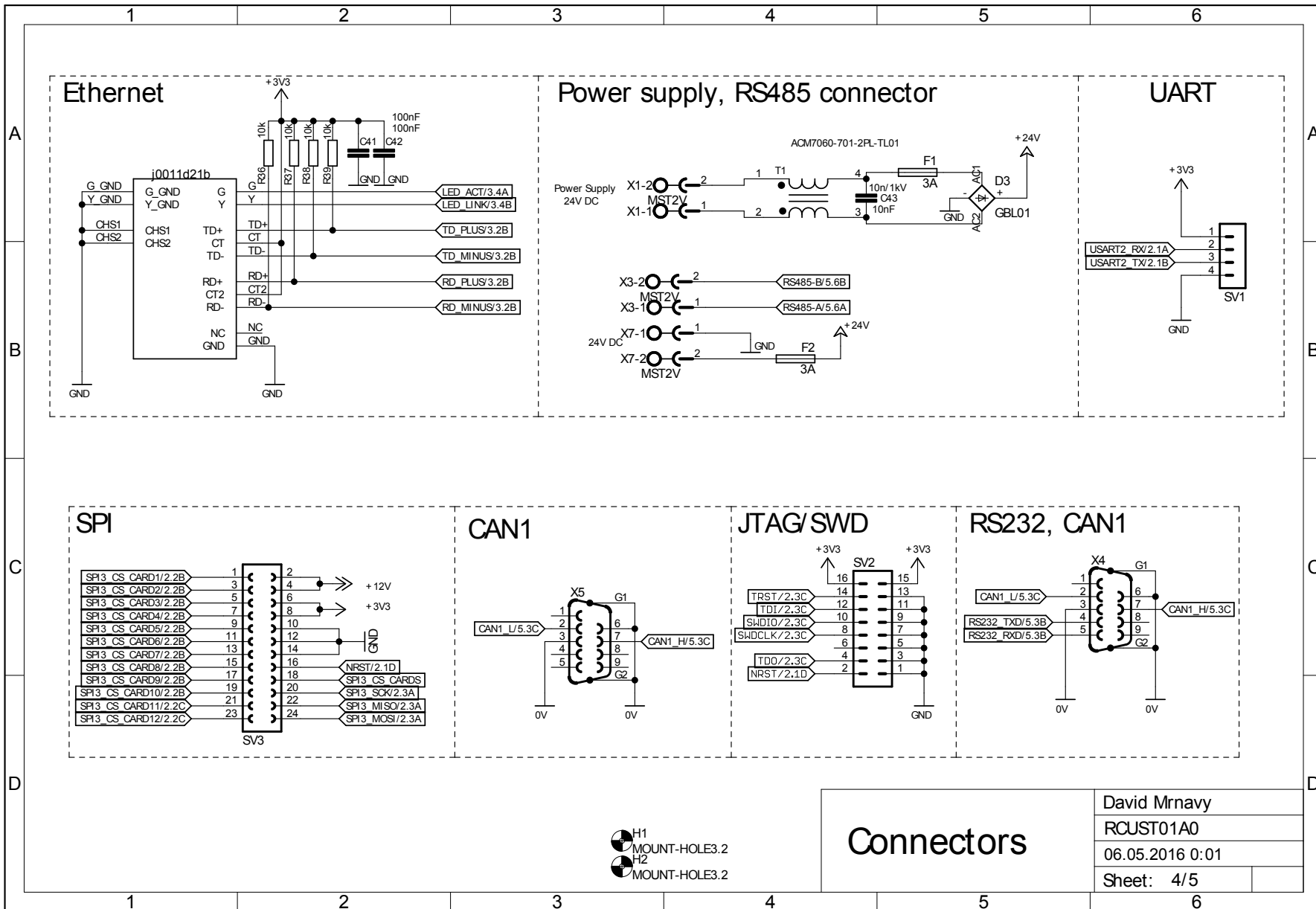
David Mrnavy
RCJST01A0
06.05.2016 0:01
Sheet: 2/5

Příloha A3: Schéma zapojení budičů sběrnice a konektoru MicroSD karty

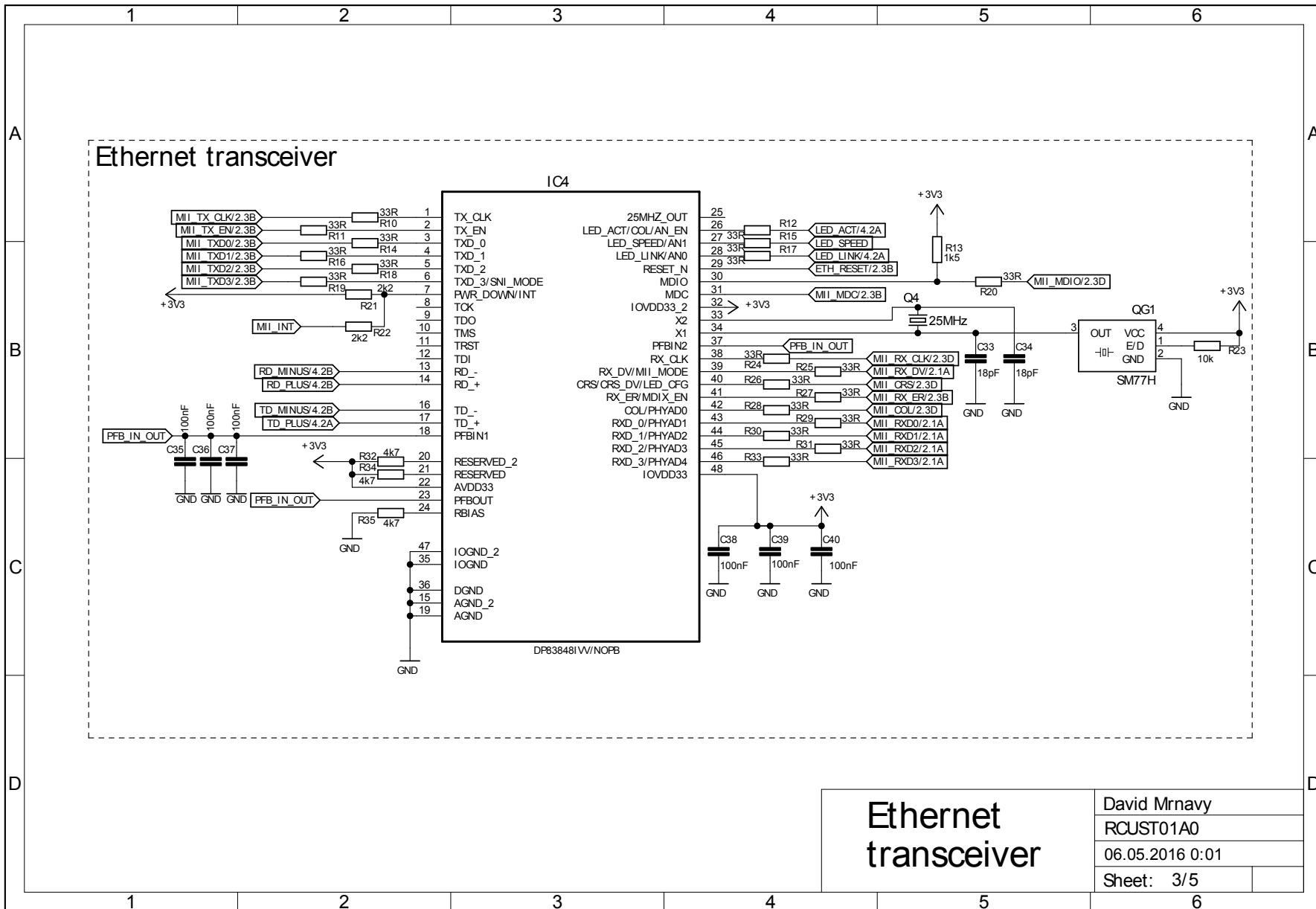


CAN transceiver		David Mrnavy	
		RCJST01A0	
MicroSD card		06.05.2016 0:01	
		Sheet: 5/5	

Příloha A4: Schéma zapojení konektoru řídicí jednotky



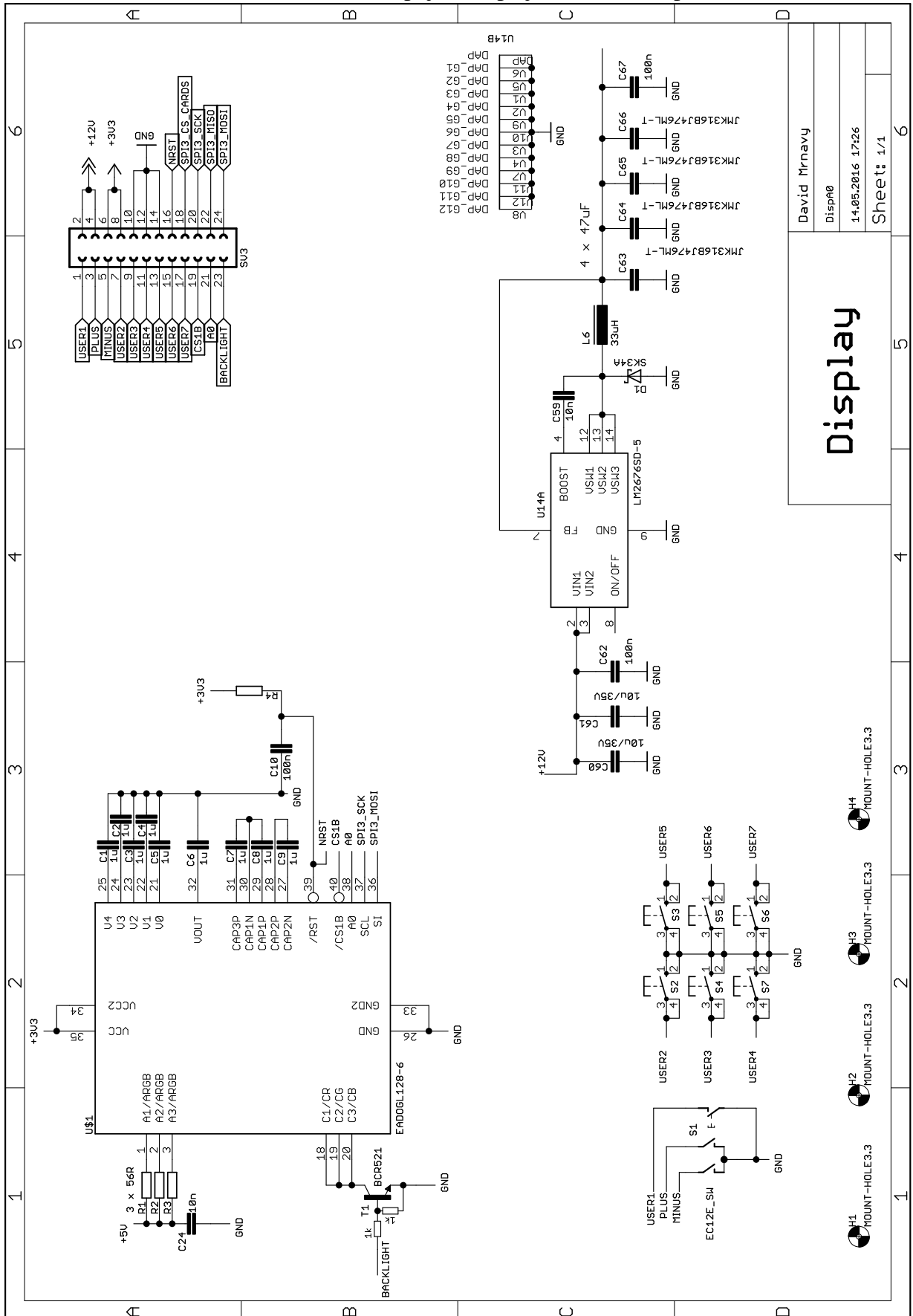
Příloha A5: Schéma zapojení ethernetového buďiče



Ethernet transceiver

David Mrnavy
RCJUST01A0
06.05.2016 0:01
Sheet: 3/5

Příloha A6: Schéma zapojení displeje a ovládacích prvků

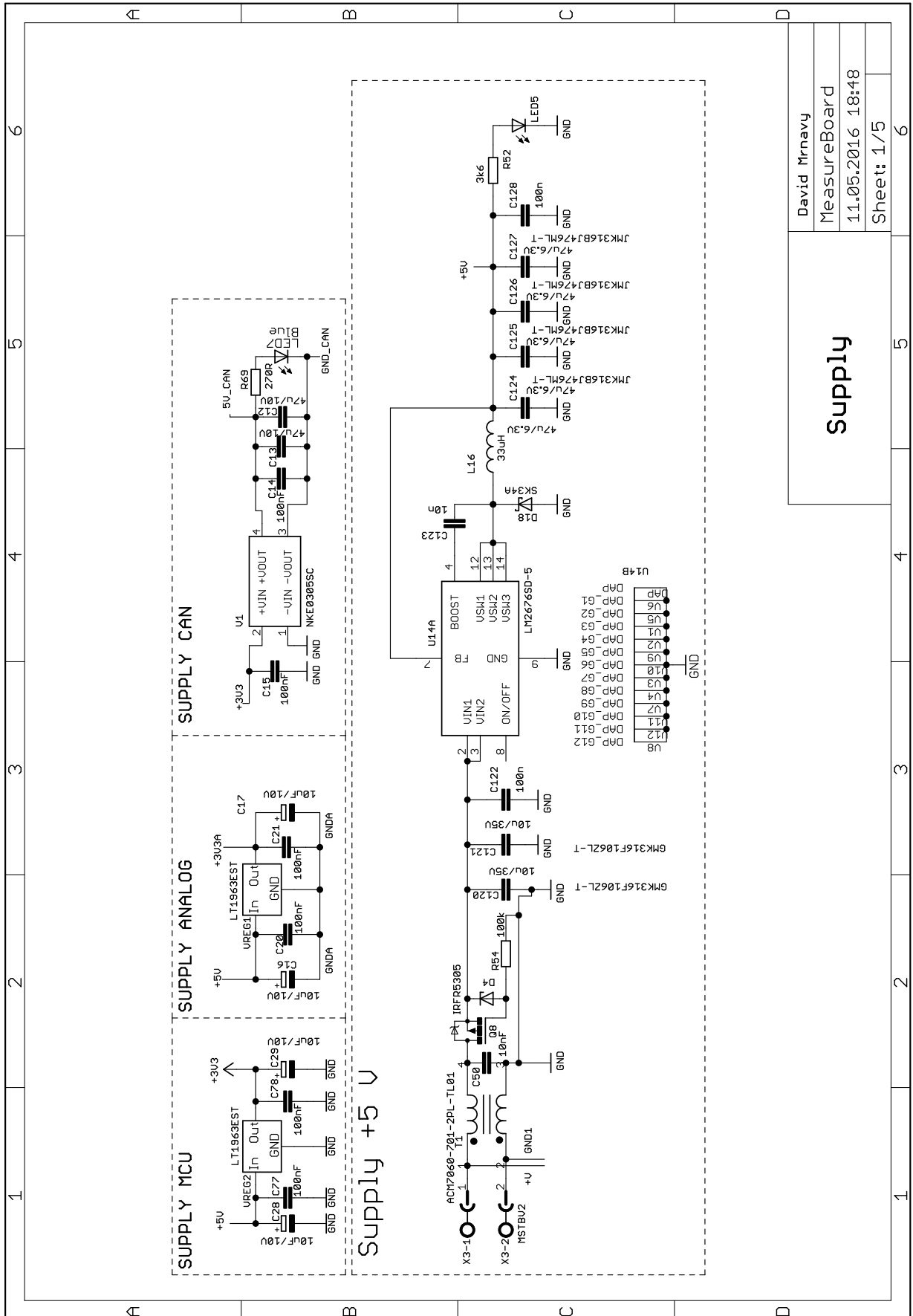


David Mrnavy
Dispr#0
1.4.05.2016 17:26
Sheet: 1/1

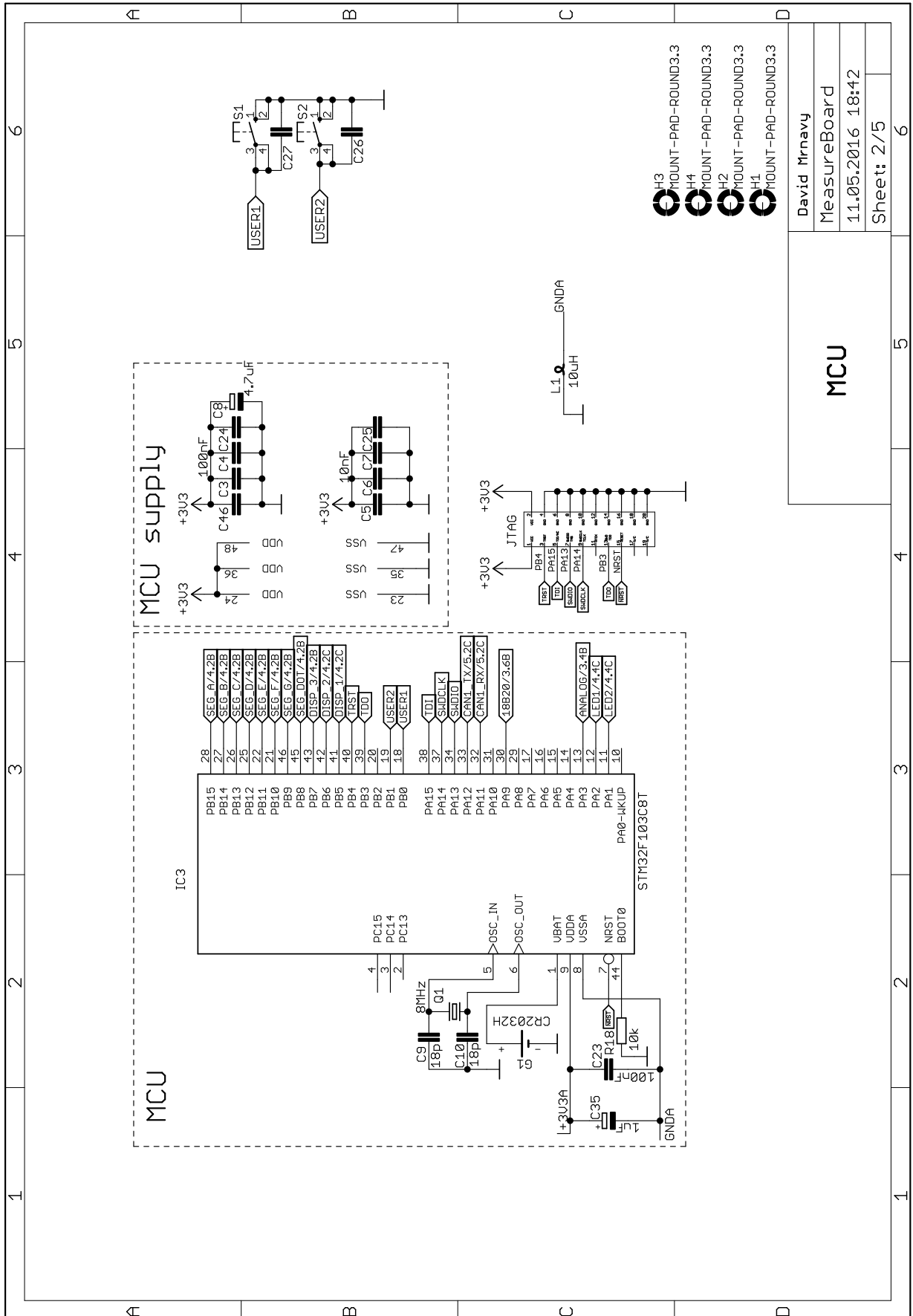
Display

- H1 MOUNT-HOLE3.3
- H2 MOUNT-HOLE3.3
- H3 MOUNT-HOLE3.3
- H4 MOUNT-HOLE3.3

Příloha A7: Schéma zapojení zdrojové části měřicí jednotky

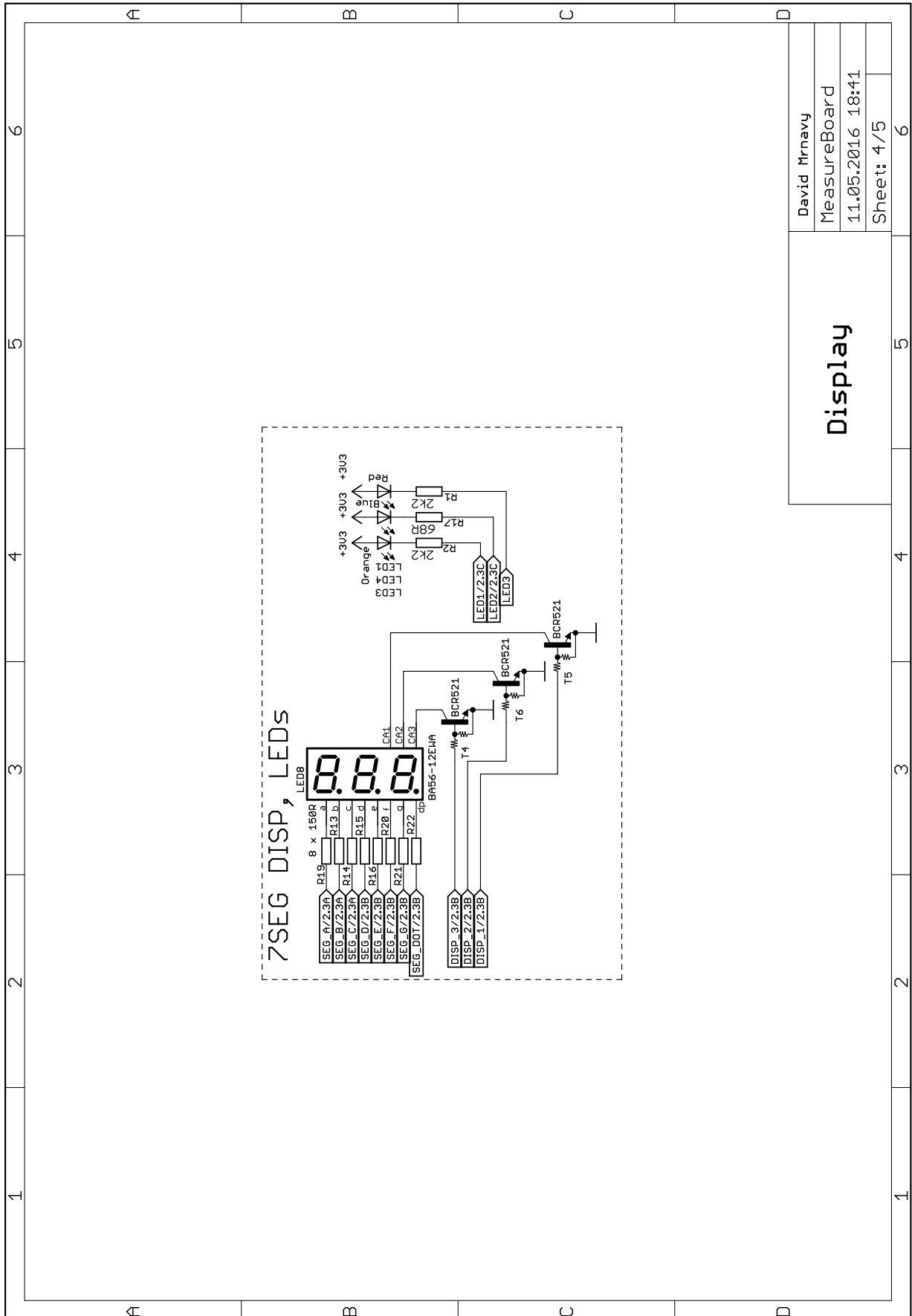


Příloha A8: Schéma zapojení mikrokontroléru měřicí jednotky

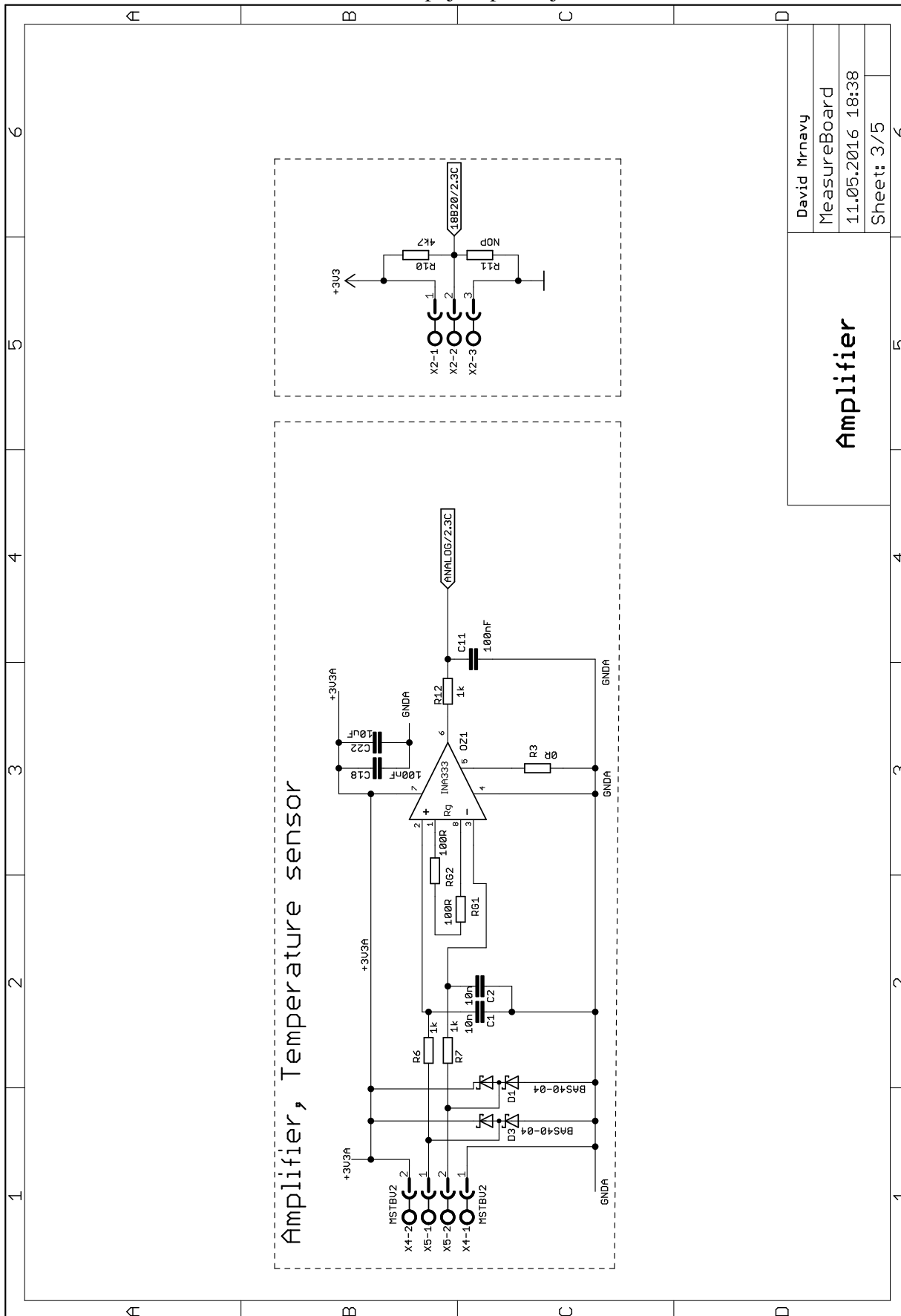


MCU		David Mrnavy	6
		MeasureBoard	5
		11.05.2016 18:42	4
		Sheet: 2/5	3

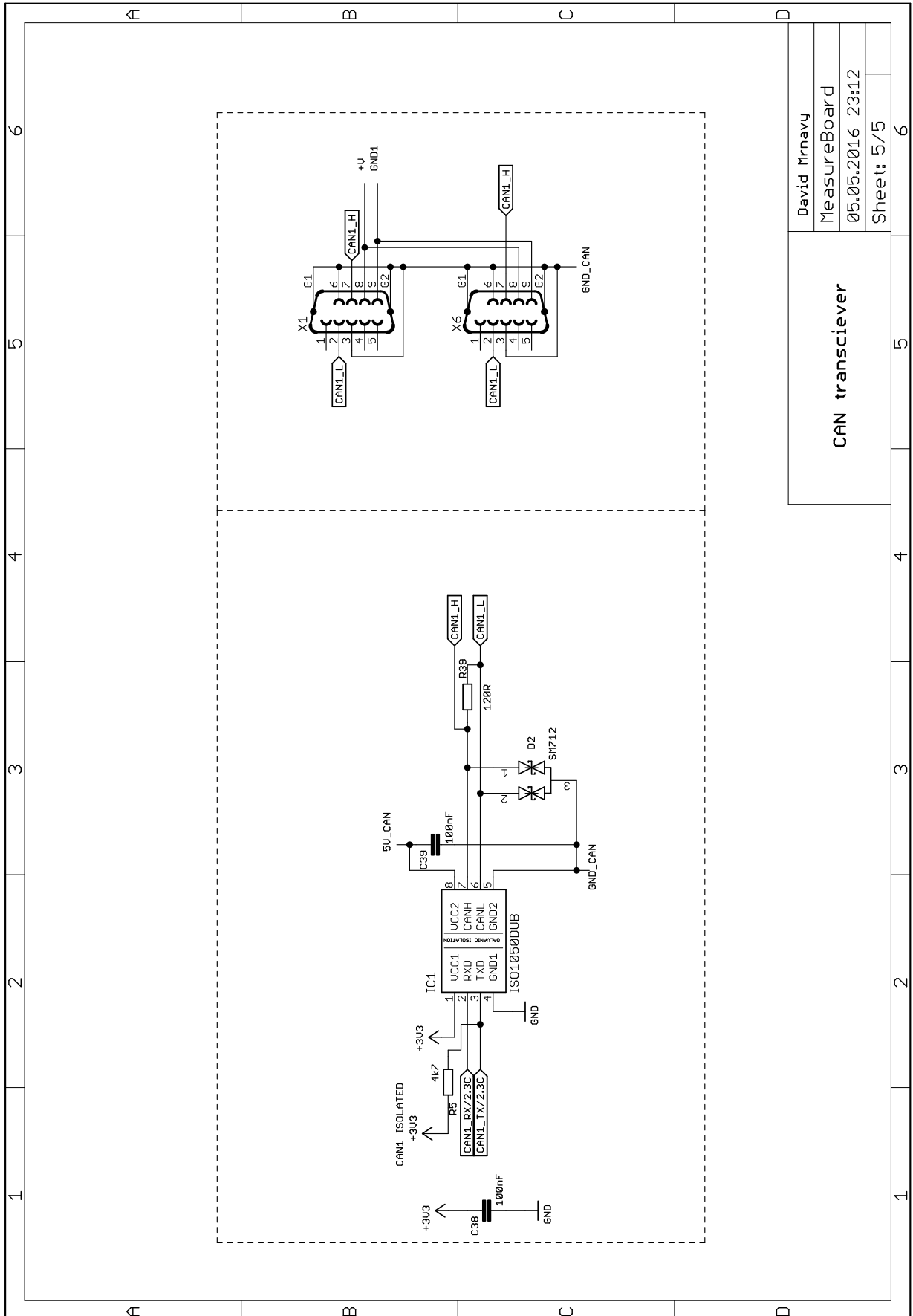
Příloha A9: Schéma zapojení sedmissegmentového displeje měřicí jednotky



Příloha A10: Schéma zapojení přístrojového zesilovače

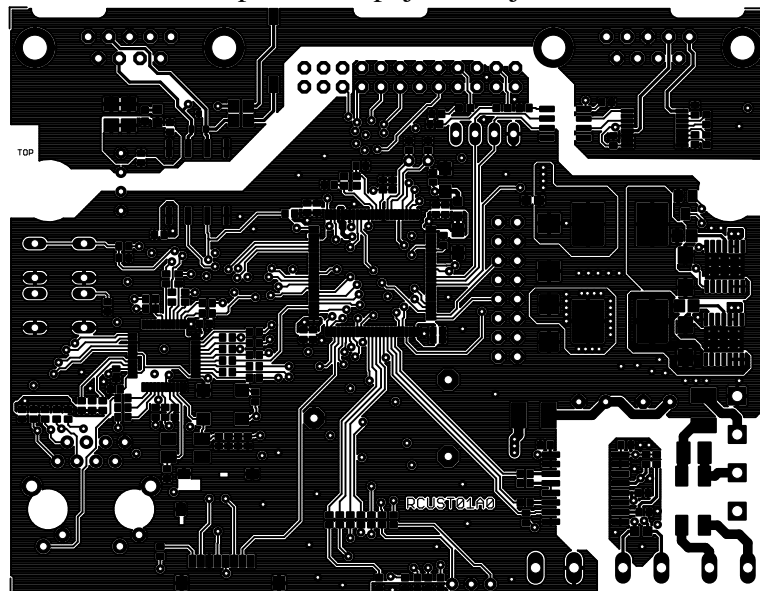


Příloha A11: Schéma zapojení budiče CAN měřicí jednotky

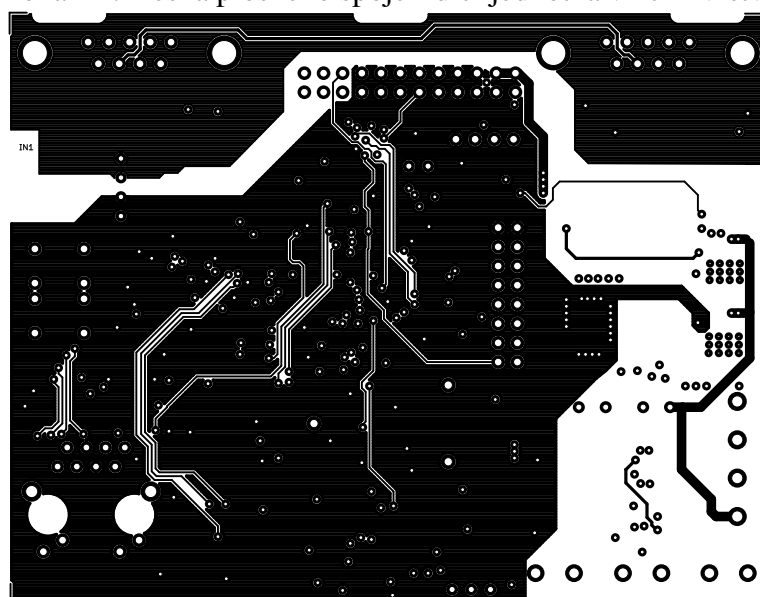


CAN transceiver		David Mrnavy	6
		MeasureBoard	6
		05.05.2016 23:12	6
		Sheet: 5/5	6

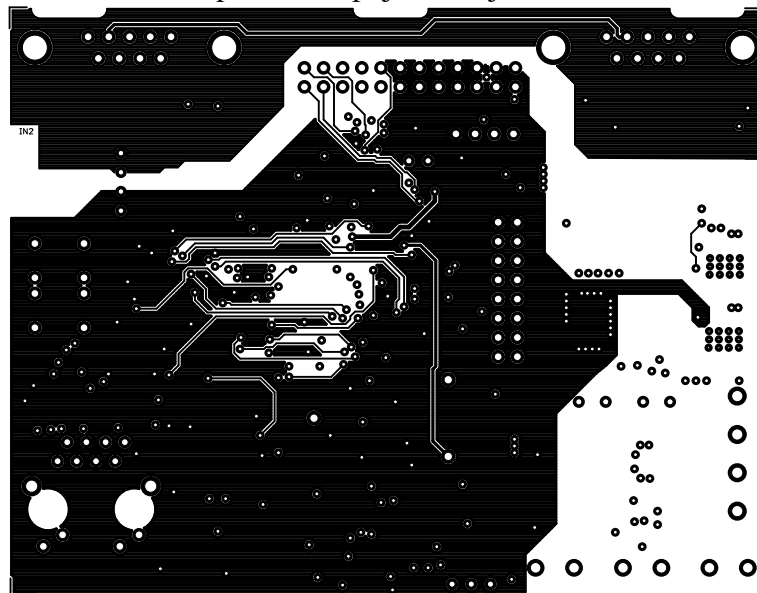
Příloha B1: Deska plošného spoje řídicí jednotka horní strana



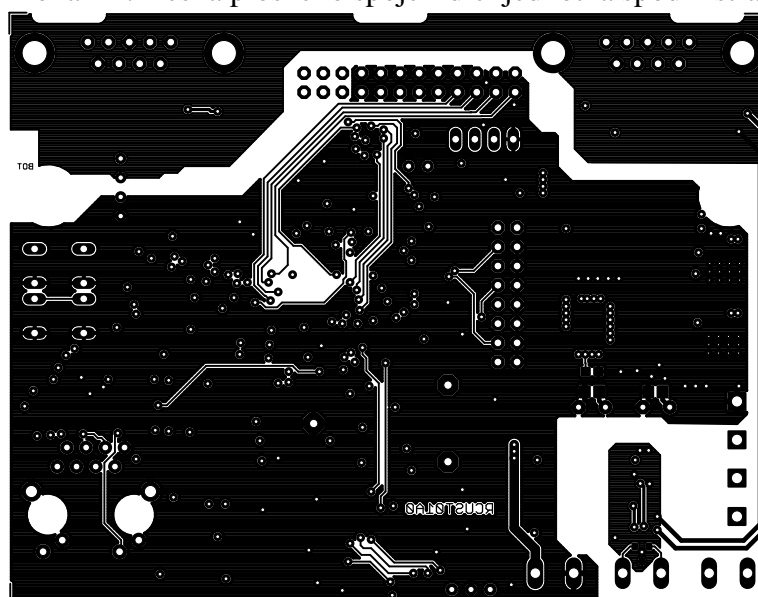
Příloha B2: Deska plošného spoje řídicí jednotka vnitřní vrstva 1



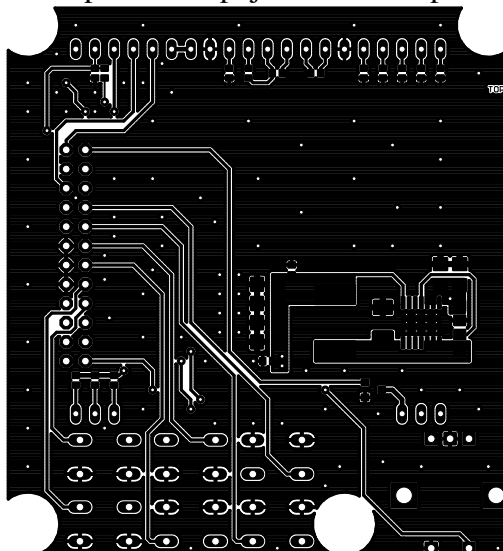
Příloha B3: Deska plošného spoje řídicí jednotka vnitřní vrstva 2



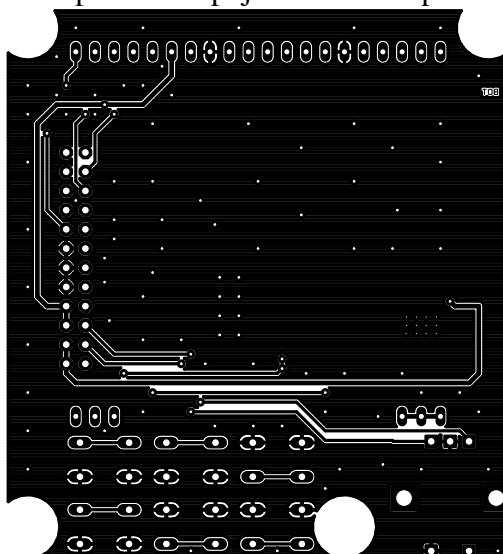
Příloha B4: Deska plošného spoje řídicí jednotka spodní strana



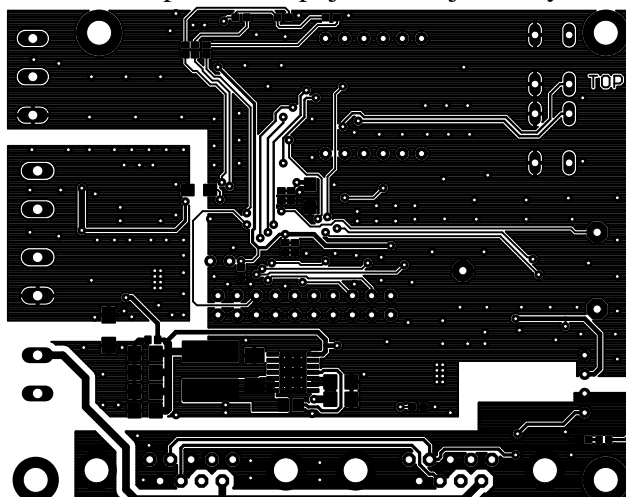
Příloha B5: Deska plošného spoje ovládacího panelu horní strana



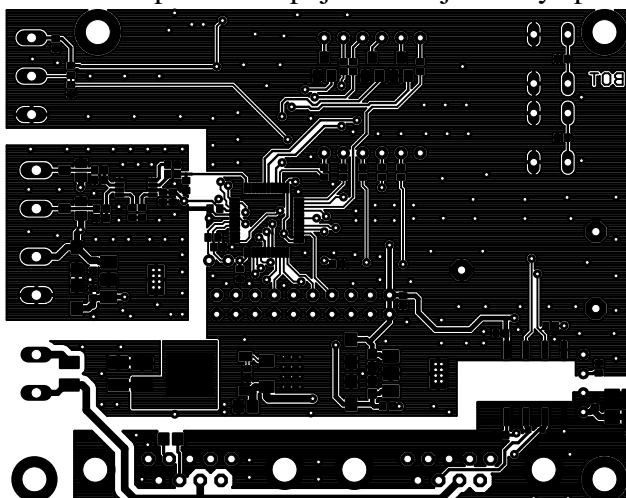
Příloha B6: Deska plošného spoje ovládacího panelu spodní strana



Příloha B7: Deska plošného spoje měřicí jednotky horní strana



Příloha B8: Deska plošného spoje měřicí jednotky spodní strana



Příloha C1: Fotografie ocelové konstrukce s úlem

