

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Řídicí jednotka kolejových úseků modelové železnice**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Patrik ALBRECHT**  
Osobní číslo: **E17B0234P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Téma práce: **Řídicí jednotka kolejových úseků modelové železnice**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**Zásady pro vypracování**

Navrhněte a realizujte řídicí jednotku kolejových úseků kompatibilní se stávajícím systémem modelové železnice.

1. Prostudujte způsob řízení a interní komunikace v rámci modelové železnice instalované na katedře aplikované elektroniky. Analyzujte možnosti detekce obsazenosti kolejových úseků.
2. Navrhněte zapojení řídicí jednotky, která bude umožňovat detekovat obsazenost alespoň čtyř kolejových úseků. Jednotka musí umožňovat komunikaci po sběrnici CAN se zbytkem systému.
3. Navržené řešení realizujte.
4. Vytvořte příslušný firmware pro řídicí jednotku.
5. Detailně zdokumentujte jak vytvořený hardware, tak zejména funkce firmware včetně komunikačního protokolu.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

## Seznam doporučené literatury:

1. Vlaky TT [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: [http://projekty.fel.zcu.cz/index.php/Vlaky\\_TT](http://projekty.fel.zcu.cz/index.php/Vlaky_TT).

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**



**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



**Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

## Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je zdokonalení současné řídicí jednotky kolejových úseků modelové železnice. Tato práce uvádí jednotlivé způsoby detekce obsazenosti kolejových úseků. Rozebrán je navržený hardware a program pro řídicí jednotku. Jednotka zastává funkci zesilovače DCC, ale dokáže také detekovat obsazenost kolejových úseků. Jednotka využívá dva způsoby detekce obsazenosti. První způsob je založen na měření úbytku na odporu, který je využíván na současné řídicí jednotce. Druhým způsobem je využití úbytku na diodě. Řídicí jednotka komunikuje s nadřazeným systémem pomocí sběrnice CAN. V závěru je navržené řešení zhodnoceno.

## Klíčová slova

modelová železnice, detekce obsazenosti kolejových úseků, DCC, CAN, měření procházejícího proudu, zesilovač, komunikační protokol

## **Abstract**

The content of this bachelor's thesis is to improve the current control unit of railway tracks model. This work presents individual methods of detecting the occupancy of railway sections. The designed hardware and program for the control unit are analyzed. The unit acts as a DCC amplifier, but can also detect the occupancy of track sections. The unit uses two methods of occupancy detection. The first method is based on measuring the resistance drop, which is used on the current control unit. The second way is to use the loss on the diode. The control unit communicates with the higher-level system via the CAN bus. In the end, the proposed solution is evaluated.

## **Key words**

model railway, occupancy of track sections, DCC, CAN, current flow measurement, amplifier, communication protocol

## Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 15.6.2020

Patrik Albrecht

## **Poděkování**

Na tomto místě je mou milou povinností poděkovat Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Žahourovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za jejich pomoc a odborné rady při řešení zadané problematiky.

Mé díky patří i mé rodině, která mě po celou dobu studia a psaní práce podporovala a povzbuzovala.

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>11</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>12</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>2 MODELOVÁ ŽELEZNICE .....</b>	<b>14</b>
2.1 PROVEDENÍ MODELU ŽELEZNICE .....	14
2.2 MOŽNOSTI ŘÍZENÍ ŽELEZNICE.....	15
2.2.1 Řízení analogové .....	15
2.2.2 Řízení digitální.....	15
2.3 SYSTÉM ŘÍZENÍ ŽELEZNICE .....	16
2.3.1 Převodník USB na CAN.....	16
2.3.2 DCC Generátor .....	16
2.3.3 DCC Zesilovače.....	17
2.3.4 Kontroléry výhybek a návěstidel.....	17
2.3.5 Využití kabelu UTP.....	17
2.4 DIGITÁLNÍ PŘÍKAZOVÉ ŘÍZENÍ .....	18
2.4.1 Parametry signálu DCC.....	18
2.4.2 DCC paket .....	20
2.4.3 Elektrická specifikace .....	20
<b>3 ZPŮSOBY DETEKCE OBSAZENÍ KOLEJOVÝCH ÚSEKŮ.....</b>	<b>22</b>
3.1 OPTICKÁ DETEKCE .....	22
3.1.1 Využití odrazu infračerveného záření.....	23
3.1.2 Optická závora.....	23
3.2 DETEKCE PROTÉKAJÍCÍHO PROUDU.....	24
3.2.1 Využití úbytku na diodě .....	24
3.2.2 Využití úbytku na rezistoru .....	25
3.2.3 Využití Hallova jevu .....	25
3.3 OSTATNÍ ZPŮSOBY DETEKCE .....	26
3.3.1 Kontaktní kolej.....	26
3.3.2 Jazyčkový kontakt .....	26
3.3.3 Ultrazvukový senzor .....	26
3.3.4 RFID čip .....	27
3.3.5 Obousměrná komunikace .....	27
<b>4 NÁVRH ZAPOJENÍ ŘÍDÍCI JEDNOTKY .....</b>	<b>29</b>
4.1 ZDROJE NAPÁJENÍ.....	29
4.2 ZESILOVAČ DCC.....	31
4.3 OBOUSMĚRNÝ BUDIČ CAN SBĚRNICE .....	34
4.4 ZAPOJENÍ PRO DETEKCI PROUDOVÉHO ODBĚRU .....	35
4.5 ZAPOJENÍ PRO MĚŘENÍ VELIKOSTI PROUDOVÉHO ODBĚRU .....	36
4.6 ZAPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU .....	38



<b>5</b>	<b>KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL .....</b>	<b>40</b>
5.1	VYTVOŘENÍ IDENTIFIKÁTORU ZPRÁVY .....	40
5.2	ZPRÁVY PRO KONFIGURACI ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY .....	43
5.2.1	<i>Resetování řídicí jednotky .....</i>	<i>43</i>
5.2.2	<i>Nastavení prodlevy odesílání naměřených hodnot proudového odběru .....</i>	<i>44</i>
5.2.3	<i>Resetování H-můstku .....</i>	<i>44</i>
5.2.4	<i>Nastavení napájecího zdroje 15V/3A .....</i>	<i>45</i>
5.2.5	<i>Měření na zvolených měřicích kanálech .....</i>	<i>45</i>
5.2.6	<i>Přečtení aktuálního stavu řídicí jednotky .....</i>	<i>46</i>
5.2.7	<i>Nastavení čísla řídicí jednotky .....</i>	<i>46</i>
5.3	ZPRÁVY ODESÍLANÉ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKOU .....	47
5.3.1	<i>Aktuální stav řídicí jednotky .....</i>	<i>47</i>
5.3.2	<i>Hlášení chyby .....</i>	<i>48</i>
5.3.3	<i>Odesílání naměřeného proudového odběru .....</i>	<i>48</i>
5.4	ZNAČENÍ CHOVÁNÍ RGB LED .....	49
<b>6</b>	<b>PROGRAM PRO ŘÍDÍCÍ JEDNOTKU .....</b>	<b>50</b>
6.1	INICIALIZACE A NEKONEČNÁ SMYČKA.....	50
6.2	FUNKCE PRO ODESÍLÁNÍ DAT PO SBĚRNICI CAN .....	53
6.3	FUNKCE PRO MĚŘENÍ PROUDOVÉHO ODBĚRU .....	54
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>56</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>58</b>

## Seznam obrázků

OBR. 2.1: KONCEPCE ŘÍZENÍ ŽELEZNICE .....	16
OBR. 2.2: ZAPOJENÍ KONEKTORU RJ-45 SE ZAKRESLENÝM BAREVNÝM ROZLIŠENÍM VODIČŮ [3] .....	18
OBR. 2.3: PRŮBĚHY SIGNÁLU DCC REPREZENTUJÍCÍ STAVY LOG.0 A LOG.1 .....	19
OBR. 2.4: PŘÍKLAD PRŮBĚHU SIGNÁLU DCC V KOLEJNICÍCH, ZOBRAZENÁ POSLOUPNOST LOGICKÝCH HODNOT 1011 1011 .....	19
OBR. 2.5: PŘÍKLAD KOMPLETNÍHO DCC PAKETU .....	20
OBR. 4.1: ZAPOJENÍ ZDROJŮ 5V/1A A 15V/3A.....	30
OBR. 4.3: ZAPOJENÍ DCC ZESILOVAČE S H-MŮSTKEM .....	32
OBR. 4.2: JEDNOFÁZOVÝ NAPĚŤOVÝ MŮSTKOVÝ STRÍDAČ .....	32
OBR. 4.4: ZAPOJENÍ OBOUSMĚRNÉHO BUDIČE CAN SBĚRNICE .....	34
OBR. 4.5: ZAPOJENÍ OBOUSMĚRNÉHO BUDIČE DCC SIGNÁLU.....	35
OBR. 4.6: ZAPOJENÍ PRO DETEKCI PROUDOVÉHO ODBĚRU [2].....	36
OBR. 4.7: ZAPOJENÍ PRO MĚŘENÍ VELIKOSTI PROUDOVÉHO ODBĚRU [1].....	37
OBR. 4.8: ZAPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU A PŘÍSLUŠNÝCH PERIFERÍÍ .....	39
OBR. 6.1: VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU PRO ŘÍDÍCÍ JEDNOTKU .....	52

## Seznam tabulek

TAB. 2.1: PŘIŘAZENÍ PINŮ KONEKTORU RJ-45 .....	17
TAB. 5.1: ROZDĚLENÍ TYPŮ ZPRÁV MEZI JEDNOTLIVÉ ŘÍDÍCI JEDNOTKY .....	41
TAB. 5.2: VYTVOŘENÍ IDENTIFIKÁTORU PRO KONKRÉTNÍ ŘÍDÍCI JEDNOTKU .....	42
TAB. 5.3: PŘIŘAZENÍ IDENTIFIKÁTORŮ ŘÍDÍCI JEDNOTCE.....	42
TAB. 5.4: PŘIŘAZENÍ IDENTIFIKÁTORŮ JEDNOTLIVÝM TYPŮM ZPRÁV .....	42
TAB. 5.5: FORMÁT ZPRÁVY PRO KONFIGURACI ŘÍDÍCI JEDNOTKY .....	43
TAB. 5.6: TYPY ZPRÁV PRO KONFIGURACI ŘÍDÍCI JEDNOTKY .....	43
TAB. 5.7: FORMÁT ZPRÁVY PRO RESETOVÁNÍ ŘÍDÍCI JEDNOTKY .....	43
TAB. 5.8: FORMÁT ZPRÁVY PRO NASTAVENÍ PRODLEVY ODESÍLÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PROUDOVÉHO ODBĚRU .....	44
TAB. 5.9: FORMÁT ZPRÁVY PRO RESETOVÁNÍ H-MŮSTKU .....	44
TAB. 5.10: FORMÁT ZPRÁVY PRO NASTAVENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE 15V/3A.....	45
TAB. 5.11: FORMÁT ZPRÁVY PRO ZVOLENÍ MĚŘÍCÍCH KANÁLŮ .....	45
TAB. 5.12: FORMÁT ZPRÁVY PRO PŘEČTENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU ŘÍDÍCI JEDNOTKY .....	46
TAB. 5.13: FORMÁT ZPRÁVY PRO NASTAVENÍ ČÍSLA ŘÍDÍCI JEDNOTKY.....	46
TAB. 5.14: FORMÁT ZPRÁVY PRO AKTUÁLNÍ STAV JEDNOTKY A HLÁŠENÍ CHYB.....	47
TAB. 5.15: FORMÁT ZPRÁVY AKTUÁLNÍHO STAVU ŘÍDÍCI JEDNOTKY .....	47
TAB. 5.16: FORMÁT ZPRÁVY PRO HLÁŠENÍ CHYBY .....	48
TAB. 5.17: FORMÁT ZPRÁVY PRO ODESÍLÁNÍ NAMĚŘENÉHO PROUDOVÉHO ODBĚRU .....	49
TAB. 5.18: ZNAČENÍ CHOVÁNÍ RGB LED.....	49

## Seznam symbolů a zkratek

A/D	Analog to Digital Converter	Analogově digitální převodník
CAN	Controller Area Network	Sériová datová sběrnice
CANH	Controller Area Network High	Vysoká úroveň napětí CAN
CANL	Controller Area Network Low	Nízká úroveň napětí CAN
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor	Polovodič na bázi kovu a oxidu
DCC	Digital Command Control	Digitální ovládání příkazy
DPS		Deska plošných spojů
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	Elektronicky vymazatelná paměť pouze pro čtení
GND	Ground	Zemní svorka
ID	IDentifier	Identifikátor
IR	Infrared Radiation	Infračervené záření
LED	Light Emitting Diode	Světlo emitující dioda
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor	Tranzistor řízený polem
NMRA	National Model Railroad Association	Národní asociace modelových železnic
PTC	Positive Temperature Coefficient	Termistor s kladným koeficientem odporu
RAM	Random Access Memory	Paměť s náhodným přístupem
RFID	Radio Frequency Identification	Identifikace na rádiové frekvenci
RGB	Red-Green-Blue	Červená-zelená-modrá
RXD	Receive Data	Přijetí dat
SMD	Surface Mount Device	Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
SRS	System Reset Status register	Registrace stavu resetování systému
TT	Table Top	Deska stolu
TTL	Transistor-Transistor-Logic	Tranzistorově tranzistorová logika
TXD	Transmit Data	Odeslání dat
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
UTP	Unshielded Twisted Pair	Nestíněná kroucená dvoulinka
XOR	eXclusive OR	Logická operace exkluzivní disjunkce

# 1 Úvod

Hlavním důvodem vzniku této bakalářské práce bylo zdokonalení současné řídicí jednotky úseků modelové železnice, které je umístěno na katedře Aplikované elektroniky Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Tato modelová železnice je využívána za účelem rozšíření praktických vědomostí v oblasti elektroniky a programování. Současná řídicí jednotka úseků modelové železnice byla navržena v rámci bakalářské práce v roce 2018 [1], z které tato práce vychází.

Cílem této bakalářské práce bylo realizovat, vylepšit stávající řídicí jednotku kolejových úseků pro modelovou železnici a zdokonalit detekci obsazenosti železnice. Jednotka má za úkol zesílit DCC signál pro ovládání lokomotiv. Pro možnost řízení lokomotiv je nutno dostatečně zesílit DCC signál na potřebnou výkonovou úroveň. Tímto signálem jsou poté lokomotivy řízeny i napájeny. Dále jednotka zajišťuje zjišťování obsazenosti jednotlivých izolovaných úseků železnice a předání informace o obsazenosti nadřazenému systému – řídicímu počítači. Komunikace mezi nadřazeným systémem a řídicí jednotkou je zajištěna pomocí sběrnice CAN.

Na začátku práce je rozebrána teoretická část problematiky. Popsána je struktura železnice, její uspořádání, způsob komunikace a řízení železnice. Dále jsou rozebírány jednotlivé možnosti detekce obsazenosti kolejových úseků a je detailněji vysvětleno navržené řešení řídicí jednotky kolejových úseků. Na konci práce jsou uvedeny a rozebrány stěžejní části programu vytvořeného pro řídicí jednotku.

## 2 Modelová železnice

### 2.1 Provedení modelu železnice

Jedná se o modelovou železnici v měřítku TT, což odpovídá měřítku 1:120 s rozchodem kolejnic 12 mm. Železnice se skládá ze tří stanic, pracovně nazvaných jako Beroun, Karlštejn a Lhota. První stanice, pracovně Karlštejn, umožňuje nákladní provoz v malém množství, jelikož trať obsahuje pouze sedm kolejových úseků. Zatímco druhá stanice, pracovně nazvaná Beroun, největší ze všech tří stanic, poskytne možnost hustějšího provozu a pohyb vlaků s vícero pevně spojenými soupravami, poněvadž se skládá z dvanácti izolovaných úseků a obsahuje i točnu s depem pro přiblížení se ke skutečnému fungování na trati. Třetí a poslední stanice, Lhota, představuje podhorskou stanici v Čechách. Je zde možný osobní běžný provoz a manipulační nákladní provoz. Vede do ní pouze jedna kolej, která se rozděluje do čtyř izolovaných úseků, oproti předchozím tratím, kde je trať vystavěna jako dvojkolejový okruh. Koleje ve stanici Lhota jsou zakončené zarážkami, což znamená nemožnost otočení vlaku. Je tu i přiveden nájezd na testovací okruh, který disponuje kompletně odděleným napájením železnice a řízením určeným pro zkoušení řídicí elektroniky a lokomotiv, aniž by došlo k narušení či přerušení provozu na hlavní trati. Zarážky jsou umístěné i ve stanicích Beroun a Karlštejn pro možnost odstavení soupravy či celého vlaku.

Napájení lokomotiv a jejich řízení je realizováno pomocí kontaktu mezi vodivými kolejnicemi a dvojkolí soupravy, které jsou od sebe elektricky izolovány. Jednotlivé úseky železnice jsou od sebe taktéž navzájem izolovány. Úseky jsou od sebe co nejlépe oddělené, například před výhybkami, aby bylo možné zjistit, na kterém úseku se lokomotiva nachází. Každá souprava, ať už stojící nebo jedoucí, odebírá elektrický proud. Proudový odběr je způsoben dekodérem v lokomotivě a zatěžovacími odpory ve dvojkolí vagónů. Tohoto je využito v řídicí jednotce kolejových úseků. Jednotka detekuje odběr proudu na jednotlivých úsecích železnice a ohlásí nadřazenému systému, že je úsek obsazen. Na celé železnici se nachází přibližně 300 izolovaných úseků.

Dále je na železnici možno ovládat výhybky, návěstidla a také točnu.

## 2.2 Možnosti řízení železnice

### 2.2.1 Řízení analogové

U této možnosti řízení železnice jsou kolejnice napájeny stejnosměrným napětím. Přičemž je v lokomotivě stejnosměrný motor napájen tímto napětím. Změna amplitudy způsobí změnu rychlosti motoru neboli regulaci otáček motoru lokomotivy. Se zvětšujícím se napětím roste rychlost lokomotivy, respektive počet otáček motoru, a s klesajícím napětím počet otáček motoru klesá. Změna polarity napětí v kolejnicích způsobí změnu směru jízdy lokomotivy. Pro jízdu vpřed je nutno zajistit připojení kladné polarity napětí z pohledu lokomotivy na pravou kolejnici.

Tato možnost řízení má mnohé nevýhody. Nejzávažnější nevýhoda je nemožnost řízení každé lokomotivy separátně. Připojené stejnosměrné napětí uvede do pohybu všechny lokomotivy nacházející se na železnici. Jedno z přijatelných řešení je rozdělení železnice na jednotlivé úseky a každý napájet samostatně. Připojené napětí na určitý úsek způsobí rozjetí vlaku. Z pohledu automatizace by bylo nutno navrhnout takový systém, který by byl schopen připojení následujícího úseku pro jedoucí lokomotivu a vypnutí napájení po uvolnění úseku. Takovýto systém by bylo možno jednoduše realizovat jen pro menší počet úseků železnice.

Další nevýhodou je, že tato možnost řízení nedovoluje ovládání výhybek a návěstidel na železnici. Ovládání by muselo být realizováno pomocí speciálních vodičů nezávislých na řízení lokomotiv.

Celkově, tato možnost řízení neposkytuje takové schopnosti jako řízení digitální.

### 2.2.2 Řízení digitální

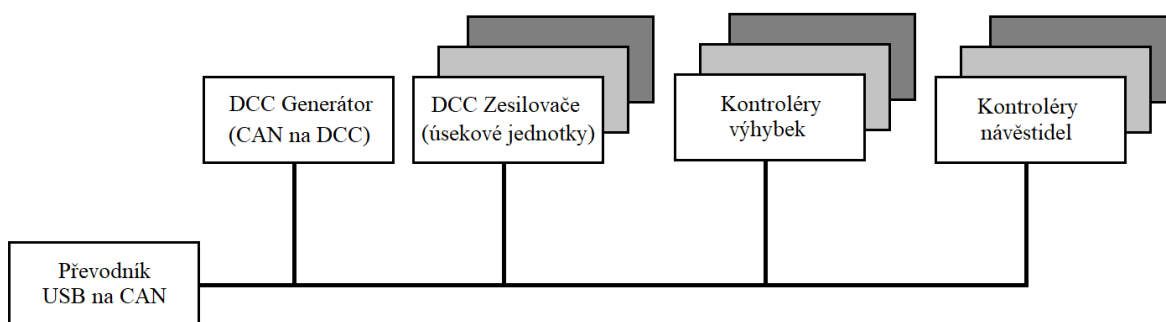
Při volbě řízení digitálního je použita konstantní amplituda napětí narozdíl od řízení analogového. Využívá se tu tzv. DCC signálu, ve kterém je zakódována informace o změně polarity napětí a intervalu mezi těmito změnami. Tento signál musí být patřičně zesílen na dostačující výkonovou úroveň. Poté je signál usměrněn a využit na napájení ostatních zařízení, jako například výhybky, návěstidla, lokomotivy a jiné zařízení. Všechna připojená zařízení obsahují dekodér, který v DCC signálu nalezne adresu. Pokud se nalezená adresa shoduje s uloženou adresou v dekodéru, vykoná se akce podle datového bajtu obsaženého ve zprávě.

Signál se šíří pomocí dvou vodičů, respektive dvou kolejnic. Tudíž je zapojení přehlednější a značně se ušetří materiál. Pomocí adresovaných signálů je možno provozovat

více lokomotiv na jednom úseku železnice. Příslušná lokomotiva se dá do pohybu, jakmile přijme zprávu s příslušnou adresou a příslušnými datovými instrukcemi. Každé zařízení musí být zapojeno paralelně ke dvěma vodičům s DCC signálem. Pro spolehlivé rozpoznání obsazenosti úseku je možno využít několik způsobů, které jsou detailněji popsány v kapitole 3.

## 2.3 Systém řízení železnice

Systém je sestaven z několika úrovní. Rozděluje se na jednodušší úrovně, respektive prvky, které jsou řízeny a diagnostikovány pomocí sběrnice CAN. Jednotlivé prvky jsou mezi sebou navzájem propojeny standardním osmižilovým UTP kabelem. Struktura řízení je znázorněna na *Obr. 2.1*.



Obr. 2.1: Koncepce řízení železnice

### 2.3.1 Převodník USB na CAN

Celému systému je nadřazen řídicí počítač, na kterém je spuštěn ovládací software. Zde je to stolní počítač připojený na převodník USB na CAN. Využít se může i jiný nadřazený systém, například jednodeskový počítač typu Raspberry Pi, či mikrokontrolér.

### 2.3.2 DCC Generátor

Je jednotka přijímající instrukce od nadřazeného řídicího počítače přes sběrnici CAN a převádí je na signál DCC, který slouží pro řízení lokomotiv. Tato jednotka je pouze jedna na celé železnici, jelikož DCC signál je pro všechny úseky na železnici jednotný. Signál je nutno patřičně zesílit na dostačující výkonovou úroveň před přivedením přímo do kolejnic. Zmíněnou funkci obstarávají DCC Zesilovače.



### 2.3.3 DCC Zesilovače

Tyto jednotky zesilují signál DCC na potřebnou výkonovou úroveň. Současně provádějí měření odběru proudu na jednotlivých úsecích železnice a zpětně zasílají zprávu o obsazenosti úseků nadřazenému systému, respektive řídicímu počítači. Návrh a realizace DCC zesilovače je hlavní náplní této práce.

### 2.3.4 Kontroléry výhybek a návěstidel

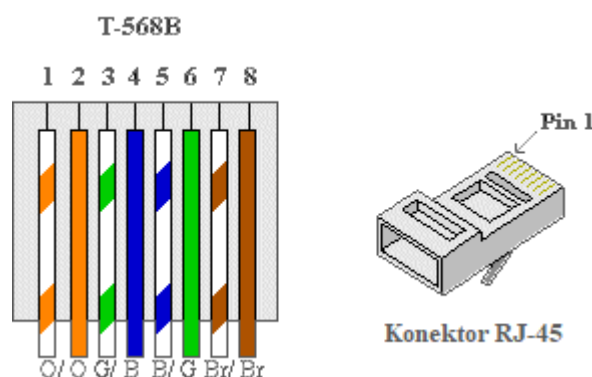
Tyto jednotky využívají, oproti předchozím jednotkám, komunikaci výhradně přes sběrnici CAN. Sníží se tím nároky na DCC Generátor, který je využíván pouze pro řízení lokomotiv. V současné chvíli je projektován výhybkový kontrolér s využitím servopohonů pro spolehlivější přehození přestavníků. Kontrolér návěstidel slouží pro ovládání světelných signálů návěstidel. Další jednotkou je například kontrolér pro manipulaci s točnou.

### 2.3.5 Využití kabelu UTP

Zapojení kabelu UTP, respektive konektoru RJ-45, popisuje Tab. 2.1 a Obr. 2.2. Sběrnice CAN, po které komunikuje nadřazený řídicí systém s ostatními jednotkami, má vyhrazené piny 1 a 2. Pro připojení napájení 24 V jsou vyhrazeny piny 3 a 5, piny 4 a 6 slouží pro připojení nulového potenciálu. Na zbylé piny 7 a 8 je přiveden signál DCC. Prostřednictvím jediného UTP kabelu je nadřazený řídicí systém propojen se všemi jednotkami.

Tab. 2.1: Přirazení pinů konektoru RJ-45

Číslo pinu	Signál
1	CAN_H
2	CAN_L
3	24 V
4	GND
5	24 V
6	GND
7	DCC +
8	DCC -



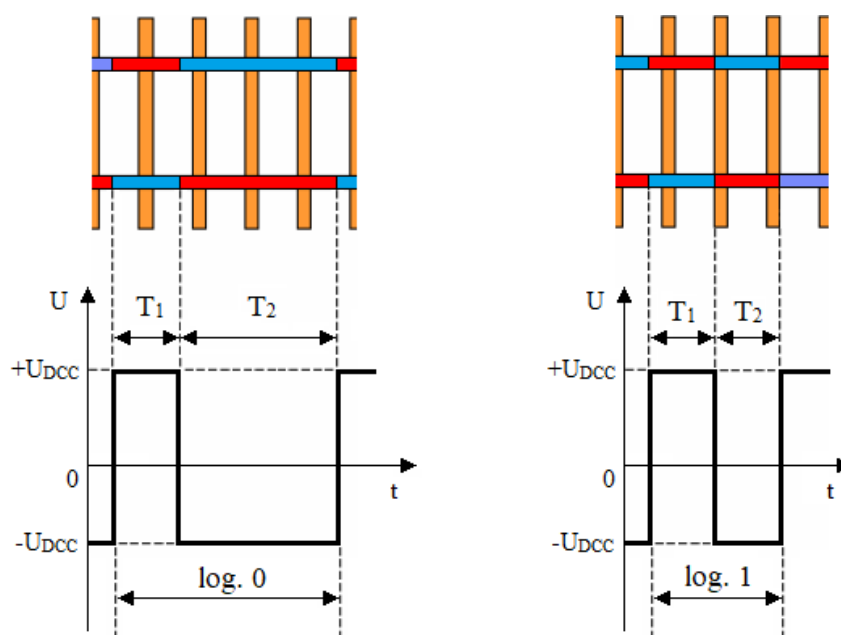
Obr. 2.2: Zapojení konektoru RJ-45 se zakresleným barevným rozlišením vodičů [3]

## 2.4 Digitální příkazové řízení

Digitální příkazové řízení neboli také DCC standart, je systém používaný při řízení lokomotiv definovaný společností NMRA. Jelikož se jedná o adresovou komunikaci, umožňuje takovýto systém nejenom řízení lokomotiv na železnici, ale taktéž jednoduše ovládat příslušenství železnice, mezi něž patří výhybky, návěstidla, točna nebo i osvětlení budov v okolí tratě. Spojení lokomotivy s DCC generátorem je provedeno pomocí dvou vodičů, respektive dvou kolejnic.

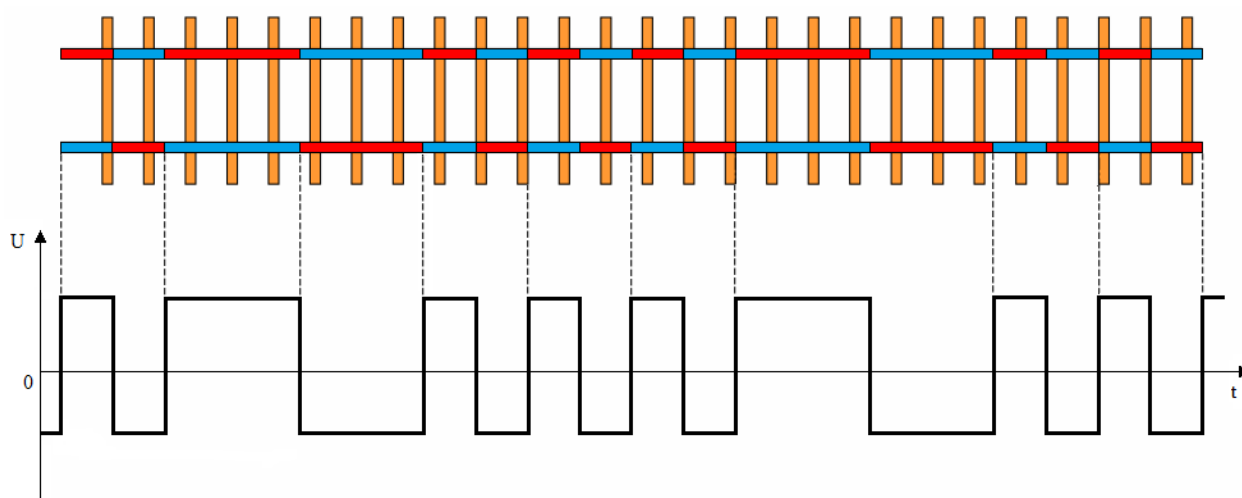
### 2.4.1 Parametry signálu DCC

Jedná se o symetrický signál obdélníkového tvaru, který je přepínán v čase pro vyjádření logických hodnot signálu. Díky symetrickému signálu nedojde při fyzickému otočení lokomotivy na železnici k poškození jeho logiky. V kolejnicích je využíván signál kódovaný prostřednictvím šířky impulzu. Logická jednička je zakódována v periodě, která je složená ze dvou intervalů s totožnou délkou trvání. Logická jednička je reprezentována jako kladný signál v pravé kolejnici v délce intervalu  $T1$   $58 \mu\text{s}$  (přesněji  $55$  až  $61 \mu\text{s}$ ) a v levé kolejnici taktéž v délce intervalu  $T2$   $58 \mu\text{s}$ . V druhé kolejnici je po tuto dobu přítomna záporná část signálu. Kdežto u logické jedničky se délky intervalu  $T1$  a  $T2$  nesmí lišit, u logické nuly se intervaly lišit smí (viz Obr. 2.3). Logická nula je reprezentována jako kladný signál v pravé kolejnici po dobu rovnou nebo větší než  $100 \mu\text{s}$  (přesněji  $95$  až  $9900 \mu\text{s}$ ) a poté kladný signál v levé kolejnici po dobu  $100 \mu\text{s}$  (taktéž platí rozsah  $95$  až  $9900 \mu\text{s}$ ) [4].



Obr. 2.3: Průběhy signálu DCC reprezentující stavy log.0 a log.1

Dlouhý časový rozsah logické nuly v DCC signálu umožňuje zpětnou kompatibilitu s běžnými analogovými lokomotivami. Schopnost ovlivnění poměru intervalů pro logickou nulu zajišťuje možnost ovlivnění stejnosměrné složky signálu. Zvýšením poměru  $T_1$  ku  $T_2$  lze docílit rozdílu potenciálu mezi kolejnicemi a rozběhnutí stejnosměrného motoru v analogových lokomotivách. Naopak snížení poměru  $T_1$  ku  $T_2$  způsobí změnu směru jízdy lokomotivy. Příklad průběhu lze vidět na Obr. 2.5. Zmiňovaný signál se nachází v jedné z kolejnic. Jelikož se jedná o symetrický signál, je v druhé kolejnici přítomen stejný poměr mezi intervaly, jenomže s opačnou polaritou. Tudíž je dekodér schopen spolehlivě rozpoznat logickou hodnotu v kolejnicích.

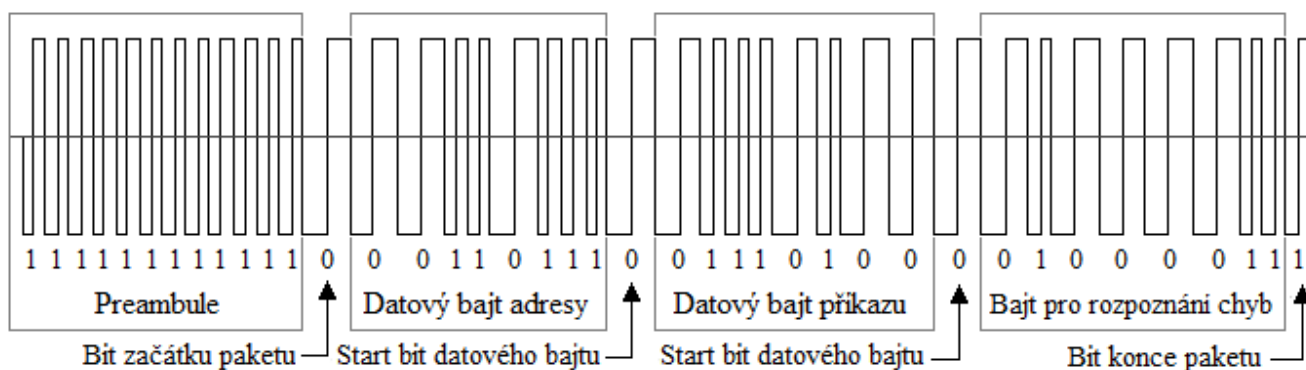


Obr. 2.4: Příklad průběhu signálu DCC v kolejnicích, zobrazená posloupnost logických hodnot

1011 1011

## 2.4.2 DCC paket

Aby byla spolehlivě zajištěna bezpečná komunikace, využívá se tzv. paketů. Paket je zpráva, která má definovaný začátek a konec, aby byla jednoznačně rozeznatelná v toku dat. Pakety mají přesně stanovenou strukturu. Skládají se ze čtyř částí, z preamble, adresové části, datové části a kontrolní části. Jednotlivé části paketu mají stejnou délku, přesněji v násobcích 8 bitů, kromě preamble, ta musí obsahovat více než 10 jedniček přijatých těsně za sebou. Za preambuli následuje bit s logickou hodnotou nula, který preambuli ukončí. Takovýto bit je nazýván jako „bit začátku paketu“. Hned za tímto bitem následuje bajt, který určuje, komu je zpráva určena, tzv. „datový bajt adresy“. Z důvodu, aby nedocházelo k řadě několika jedniček, je za tímto bajtem oddělovací bit s logickou hodnotou nula. Tento bit se označuje jako „start bit datového bajtu“, občas nazývaný jako „separátor“. Poté následuje prostor pro dalších maximálně 6 datových bajtů, opět oddělených nulovým bitem. Poslední bajt slouží pro rozpoznání chyb. K jeho vytvoření se používá logická funkce XOR všech předcházejících bajtů v paketu. Za tímto bajtem se nachází bit, s logickou hodnotou jedna, který ukončuje paket [4].



Obr. 2.5: Příklad kompletního DCC paketu

## 2.4.3 Elektrická specifikace

Z důvodu korektnosti funkčnosti zařízení byly zavedeny zvláštní normy, které specifikuje norma Standart S-9.1. Na základě této normy musí být celý systém funkční již při velikosti výstupního napětí od 7 V. Amplituda výstupního napětí od DCC zesilovače závisí na měřítku modelové železnice. Pro měřítko TT je doporučená hodnota napětí 14 až 16 V. Maximální amplituda výstupního napětí zesilovače nesmí překročit 22 V. Zároveň se musí respektovat napěťové minimum. Poněvadž jsou v lokomotivách používány stejnosměrné motory, je nezbytné počítat se vznikem indukovaného napětí. Z tohoto důvodu musí každá komponenta v systému odolat napěťovým špičkám až o velikosti 27 V.

Nároky jsou kladeny i na strmost hran, rychlost strmosti v oblasti od -4 do +4 V nesmí být menší než 2,5 V/ $\mu$ s na výstupu z DCC generátoru, kdežto na vstupu dekodéru je rychlost strmosti minimálně 2 V/ $\mu$ s.

Dále je nezbytné dodržet délku logických hodnot v levé i pravé kolejnici. Aby dekodér na vstupu správně rozeznal logickou hodnotu, musí být rozdíl mezi trváním jednotlivých hodnot menší jak 6  $\mu$ s. Jinak je tomu u výstupu z DCC generátoru, kde rozdíl mezi trváním nesmí být větší jak 3  $\mu$ s.

## 3 Způsoby detekce obsazení kolejových úseků

Pro detekování obsazení úseků na modelové železnici se používají různé postupy. Některé postupy mohou být vhodné pouze pro řízení železnice pomocí systému DCC, avšak jiné mohou být použity nezávisle na systému řízení. Tyto postupy se dělí podle:

- Přesnosti polohy
  - Detekce bloků – detekováno obsazení celého kolejového úseku
  - Detekce blízkosti – kolejové vozidlo (lokomotiva) se vyskytuje v blízkosti konkrétního bodu
  - Detekce polohy – je známa přesná poloha kolejového vozidla na železnici
- Předávané informace
  - Obecná informace – je rozpoznán libovolný typ kolejového vozidla
  - Klasifikace – je detekován pouze určitý typ kolejového vozidla
  - Identifikace – kolejové vozidlo rozpoznáno podle identifikačního čísla
- Způsobu detekce
  - Optická detekce – podrobněji popsáno v kapitole 3.1
  - Detekce protékajícího proudu – vysvětleno v kapitole 3.2
  - Ostatní způsoby detekce – uvedeny v kapitole 3.3

### 3.1 Optická detekce

Tento způsob detekce je využíván velmi často. Běžně se využívá fotorezistorů, fototranzistorů nebo IR detektorů. Výhodou je nezávislost na použitém systému řízení a možnost provozu bez nutnosti zasahování do elektrického rozvodu kolejí. Naopak nevýhodou je, že přerušení paprsku způsobí libovolný předmět umístěný do dráhy světelného paprsku, tudíž nelze rozpoznat o jaký předmět se jedná. Rozeznání směru jízdy lokomotivy lze zajistit rozmístěním několika detektorů podél trati.

### 3.1.1 Využití odrazu infračerveného záření

Tento způsob detekce využívá odrazu infračerveného světla od podvozku projíždějící soupravy, které vyzařuje LED dioda, umístěná v kolejnicích a nakloněná pod určitým úhlem. V předpokládaném místě dopadu odraženého infračerveného paprsku je v kolejnicích umístěn fototranzistor. Dopad infračerveného světla způsobí nárůst proudu protékajícího fototranzistorem. K zjištění obsazenosti konkrétního úseku lze v zapojení využít analogového komparátoru.

Fototranzistor je velmi citlivý na vlnovou délku, pro kterou byl navržen, což je u tohoto zapojení výhodou. Díky tomu není fototranzistor citlivý na jiné vlnové délky, a tudíž nemusí být detektor stíněn proti okolnímu osvětlení. Problémové je spřáhlo mezi vagóny. Může způsobovat krátké výpadky v dopadu infračerveného světla a možné chybné hlášení o obsazenosti úseku železnice.

### 3.1.2 Optická závora

Tento způsob zapojení využívá změny intenzity dopadajícího světla. Na jedné straně kolejí je umístěn zdroj světla v podobě LED diody. Na druhé straně kolejí se nachází snímací článek, tím může být fotorezistor nebo fototranzistor. Projíždějící souprava způsobí snížení dopadajícího světla z LED diody na snímací článek. To zapříčiní zvýšení odporu v případě fotorezistoru, v případě tranzistoru dojde k jeho sepnutí. Pro detekování obsazenosti konkrétního úseku je využito porovnání velikosti napětí na fotorezistoru s referenčním napětím přes napěťový dělič pomocí potenciometru. Zapojení s tranzistorem využívá průchod proudu tranzistorem po jeho sepnutí. Rozdíl hodnot dále vyhodnocuje analogový komparátor.

Narozdíl od fototranzistoru musí být fotorezistor, kvůli jeho citlivosti na dopadající světlo, stíněn vůči okolnímu osvětlení. Změna osvětlení v místnosti by mohla zapříčinit nesprávné vyhodnocení obsazení úseku. Taktéž jako při odrazu infračerveného světla je spojení vagónů projíždějící soupravy problematickým místem. V tomto krátkém čase může být úsek železnice chybně označen jako volný úsek. Spíše kosmetickou vadou je i vzhled a umístění detektoru podél trati.

## 3.2 Detekce protékajícího proudu

V případě použití takovéto detekce, je nutno rozdělit trať na vzájemně izolované úseky. Tento princip se využívá pro řízení železnice se systémem DCC. Dle velikosti protékajícího proudu lze určit obsazení úseku železnice, eventuálně rozpoznat, zda se souprava pohybuje či stojí. Nezávislost na okolním osvětlením je v tomto případě samozřejmě výhodou. Lze rozpoznat i směr jízdy soupravy, díky znalosti uspořádání jednotlivých izolovaných úseků železnice. Tento způsob detekce dokáže detekovat kterýkoli vůz, který je upravený tak, aby z napájecích kolejnic odebíral elektrický proud. To zajišťuje zatěžovací rezistor ve dvojkolích jednotlivých vozidel. Úsek, kde se nachází vozidlo, které neodebírá elektrický proud, systém vyhodnotí jako volný úsek. Návrh takového systému zaleží na použitém způsobu řízení. Při použití systému DCC bude návrh složitější, oproti systému se stejnosměrným řízením.

### 3.2.1 Využití úbytku na diodě

Tato metoda využívá dvojici antiparalelně zapojených diod vložených do obvodu každého úseku železnice. Takovéto zapojení diod je použitelné pro systém řízení pomocí DCC, jelikož diody propouští proud v obou směrech toku. Protékající proud vyvolá na diodách úbytek. Na křemíkové diodě 1N4007 při proudu 10 mA je úbytek napětí 0,6 V a při proudu 1 A je úbytek napětí kolem 0,93 V [6]. Úbytek na jedné diodě lze změřit nebo použít pro otevření tranzistoru a následné signalizaci o stavu úseku železnice. V případě poruchy na železnici musí dioda zvládnout zkratový proud, který přes ní poteče. Jakmile by došlo k zničení jedné z diod, byla by za detektorem pouze jedna polarita DCC signálu. V takovém případě by dekodér uvnitř lokomotivy přešel do analogového režimu, a to by vedlo ke ztrátě kontroly nad lokomotivou.

Nevýhodou jsou úbytky na diodách, ty způsobují poklesy napětí při napájení lokomotivy z kolejnic.

Pokud by byl opět požadavek na možnost rozeznání stojící a jedoucí lokomotivy, je nutné počítat s nelinearitou diod. Stojící souprava odebírá malé proudy v jednotkách miliampérů, to způsobuje malý úbytek napětí a ten je poté dobře měřitelný. Naopak u jedoucí soupravy se zvýší odběr proudu na stovky miliampérů, ale úbytek napětí na diodě se změní pouze o několik desetin voltu. Tuto neznatelnou změnu může být náročně spolehlivě rozpoznat.



### 3.2.2 Využití úbytku na rezistoru

Namísto antiparalelně zapojených diod se v zapojení popsaném v kapitole 3.2.1 využívá rezistor. Důležité je zvolit malou hodnotu odporu, aby na rezistoru nevznikal velký úbytek napětí a přílišnému snížení napětí pro lokomotivu. Snížením hodnoty odporu se sníží i jeho ztrátový výkon. Taktéž je důležité, aby byl rezistor správně výkonově nadimenzovaný, jelikož by mohlo docházet k jeho nadměrnému zahřívání, a to by vedlo ke zničení rezistoru. Pokud by byl požadavek na možnost rozeznání stojící nebo jedoucí lokomotivy, je potřeba brát v úvahu velký rozdíl mezi procházejícími proudy při jedoucí nebo stojící soupravě. Jelikož napětí na rezistoru má nízkou úroveň, je potřeba ho patřičně zesílit vhodným zesilovačem, aby ho A/D převodník v mikrokontroléru spolehlivě rozpoznal. Tudíž správné fungování zapojení zaleží na volbě vhodné velikosti odporu rezistoru. Malá hodnota odporu, respektive malý úbytek na rezistoru nebude ani po zesílení spolehlivě A/D převodníkem rozeznán, naopak velká hodnota odporu způsobí nadměrné zahřívání rezistoru.

Výhodou rezistoru je jeho lineární charakteristika.

### 3.2.3 Využití Hallova jevu

Hallova sonda využívá pro měření magnetického pole. Zdrojem magnetického pole je zde vodič, kterým protéká proud. Na výstupu sondy lze změřit napětí, které je úměrné protékajícímu proudu. Toto napětí by bylo patřičně zesíleno a přivedeno na A/D převodník mikrokontroléru, obdobně jak bylo uvedeno v kapitole 3.2.1. Hallovy sondy se vyrábějí jako integrované obvody, které je možno umístit přímo na DPS, nebo taktéž jako návlek na vodič. Existují sondy pro měření stejnosměrného i střídavého proudu. Výhodou je oddělení od obvodu napájení v kolejnicích, tudíž nezpůsobuje poklesy napětí při napájení lokomotiv. Zmíněnou metodu detekce lze využít pro stejnosměrné řízení i pro systém řízení pomocí DCC.

## 3.3 Ostatní způsoby detekce

Následující způsoby využívají fyzikálních jevů nebo obsahují komplikovanější zapojení obvodů. Některé z nich jsou schopny rozeznávat jednotlivá identifikační čísla lokomotiv. Proto je nebylo možné zařadit do výše uvedených způsobů detekování obsazenosti úseků železnice.

### 3.3.1 Kontaktní kolej

Jedná se o speciální druh koleje. Na vnitřní straně kolejnice je umístěn kovový kontakt, který je při průjezdu lokomotivou zkratován. Rozeznáním zkratovaného kontaktu lze využít k detekci obsazení úseku či k ovládání závor na přejezdu.

### 3.3.2 Jazyčkový kontakt

Jedná se o mechanický kontakt, který je ovládán magnetickým polem. Skládá se z dvou feromagnetických jazyčků umístěných v hermeticky utěsněné skleněné trubičce. Takovýto kontakt je vhodně umístěn mezi kolejnice. Kontakty jsou v klidovém stavu nespojeny a k jejich propojení dojde po přiblížení magnetického pole. Propojení způsobí magnet připevněný na podvozku kolejového vozidla. Protékající proud skrz jazyčky kontaktu lze využít pro signalizaci obsazení pomocí LED diody či přivedení signálu do mikropočítače k dalšímu zpracování.

Výhodou je použití minimálního množství elektronických součástek. Nevýhodou je nutnost instalace magnetů na podvozky všech kolejových vozidel, vozidlo bez připevněného magnetu nebude detekováno.

### 3.3.3 Ultrazvukový senzor

Princip senzoru je založený na odrazu zvuku od překážky. Ze známé rychlosti šíření zvuku a času mezi vyslaným a odraženým zvukem, lze zjistit přesnou polohu kolejového vozidla od senzoru. Při průjezdu soupravy bude čas mezi vyslaným a odraženým zvukem velmi krátký, naopak při volném úseku bude čas několikrát větší. Nevýhodou je velikost senzoru, což by u menších měřítek mohla být komplikace.

### 3.3.4 RFID čip

Tato metoda detekce využívá RFID čipů umístěných na podvozku kolejového vozidla. Pod kolejnicemi nebo v přilehlých budovách je umístěna RFID čtečka. Obsah čipu se přečte po přiblížení k RFID čipu. Po přečtení dojde k odeslání přečteného unikátního čísla čipu na podvozku vozidla do nadřazeného řídicího počítače. Určité typy čipů mají přidanou paměť pro možnost zápisu do paměti a následné přečtení jejího obsahu. V řídicím počítači je uloženo unikátní výrobní číslo čipu odpovídající konkrétnímu vozidlu. Díky tomu je umožněno zjistit polohu a z databáze přečíst příslušné informace, například typ kolejového vozidla, složení projíždějící soupravy a další. Výhodou je možnost použití nezávisle na vybraném systému řízení. Další výhodou je jedinečný identifikátor každého kolejového vozidla.

### 3.3.5 Obousměrná komunikace

Prvním zástupcem tohoto způsobu komunikace je systém Digitrax Transponding vytvořený firmou Digitrax. Tento systém umožňuje dekodéru v lokomotivě zpětně zasílat informace řídicímu počítači. Používá se speciální dekodér umístěný v lokomotivě nebo v různých příslušenstvích na železnici. Jakmile dekodér zachytí DCC paket s příslušnou adresou, zašle řídicímu počítači zpětnou vazbu. Zpětná vazba řídicímu počítači je realizována pomocí změny odběru proudu kolejového vozidla na železnici, v podobě velmi rychlého zapínání a vypínání osvětlení vozidel. V těchto jednotlivých časových změnách proudu jsou zakódována data, které zachytí speciální detektor, tzv. transpondér, doplněný jednotkou pro detekování obsazení jednotlivých kolejových úseků. Jednotka kolejových úseků odešle data o obsazenosti úseků doplněná o data z transpondéru do řídicího počítače. V odeslané zprávě je obsažena informace o obsazení úseků a o poloze dekodéru, respektive vozidla. Takto lze přesně zjistit konkrétní typ vozidla a na jakém kolejovém úseku se nachází. Systém Digitrax Transponding je navržený tak, aby transpondéry nemuseli být rozmístěny po celé železnici, ale jen na určitých úsecích. V těchto úsecích je kolejové vozidlo identifikováno, jeho adresa se uloží v řídicím počítači, a vozidlo je dále sledováno pouze jednotkami pro detekci obsazenosti jednotlivých úseků. Využitím návaznosti úseků je odvozována informace o adrese konkrétního typu kolejového vozidla [7].

Druhého zástupce vyvinula firma Lenz. Systém RailCom je standardizován a doporučován v normách NMRA. Systém umožňuje číst data, které vyslal dekodér. Data obsahují adresu dekodéru, rychlost kolejového vozidla a také informaci o tom, jak je zatížen

motor lokomotivy. Funkčnost systému zajišťuje dekodér, který dokáže vysílat data zpět a jednotka, která tato data zvládne přečíst. Systém dále doplňuje přerušovač, který odpojí koleje na velmi krátký okamžik od zdroje signálu DCC a připojí jednotku pro přečtení zpětných dat. Jednotka pro čtení dat je přerušovačem (relátkem) periodicky připojována po dobu 488  $\mu\text{s}$ , tedy jednotka plní funkci ampérmetru. Pokud jednotkou prochází proud vyšší jak 10 mA, je vyhodnocen jako logická nula, pokud prochází proud nižší jak 6 mA, je vyhodnocen jako logická jednička. Tímto způsobem jsou data z kolejových vozidel zasílána zpět do řídicího počítače. Systém RailCom při přidání nového vozidla automaticky zjistí jeho adresu, je tím usnadněna obsluha celé modelové železnice bez toho, aniž by musel uživatel zasahovat do železnice [8].

## 4 Návrh zapojení řídicí jednotky

Pro navržení zapojení řídicí jednotky byl použit počítačový program Altium Designer 18. Navržení vychází ze vzorového projektu, který lze nalézt na internetových stránkách Projekty FEL [3]. V projektu je standardizována deska DPS, zejména rozměr desky a umístění konstrukčních rozměrů. Standardizován je taktéž konektor RJ-45 pro propojení DPS pomocí UTP kabelu s nadřazeným systémem (viz kapitola 2.3.5). Vzhledem k nedostupnosti konektoru používaném ve vzorovém projektu, bylo zapojení konektoru RJ-45 v návrhu desky lehce pozměněno, podle již zakoupeného a do budoucna plánovaného konektoru. Jeden port konektoru RJ-45 slouží pro připojení předchozí jednotky a druhý port konektoru slouží pro připojení následující jednotky. V návrhu se nachází header 2x4 P2 s roztečí 2,54 mm s pevně stanovenou pozicí na desce. Díky tomuto je umožněno vrstvit jednotky na sebe a není nutno je propojovat UTP kabelem. Využije se to u jednotek, které se nachází v blízkosti vedle sebe. V blízkosti headeru jsou další dva headery 1x2 P5 a P6 se stejnou roztečí. Ty slouží k připojení zakončovacích rezistorů o velikosti 120  $\Omega$  na oba konce sběrnice pro zajištění impedančního přizpůsobení. Pokud by byly přidány další jednotky na sběrnici, čímž dojde ke změně topologie sítě, lze tyto zakončovací rezistory odpojit zkratovací propojkou a na jiné jednotce je opět připojit.

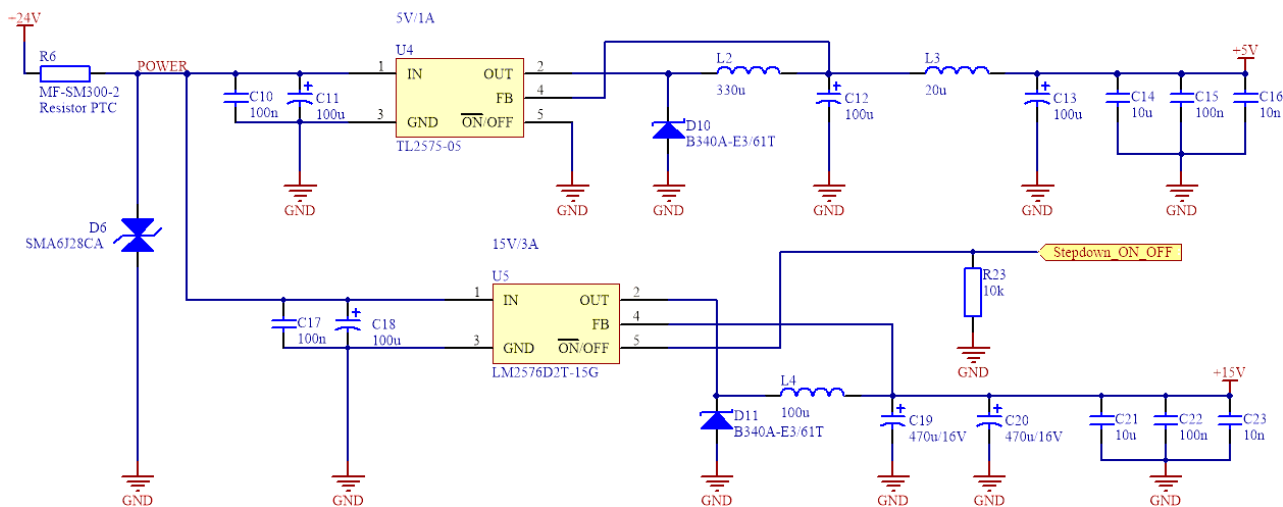
Těsně vedle konektoru RJ-45 jsou umístěny dva napájecí konektory. Ty jsou určeny k napájení desky, kdyby byl UTP kabel proudově přetěžován. K indikaci jednotky pod napětím slouží LED dioda vedle napájecího konektoru. Vzorový projekt je rozšířen o další zapojení, které jsou v této kapitole detailněji popsány.

### 4.1 Zdroje napájení

Celý systém modelové železnice je napájen 24 V. Toto napětí je nutno snížit na vhodnou úroveň napětí, aby byli zajištěny podmínky popsané v kapitole 2.4.3. Doporučená hodnota napětí je 14 až 16 V. Touto úrovní napětí jsou napájeny kolejnice, z nichž jsou zároveň napájeny lokomotivy. Nezanedbatelný je taktéž příkon kolejových vozidel, především lokomotiv. Jedna lokomotiva odebírá proud v rozsahu 100 mA až 1 A, přičemž odběr závisí na jejím typu a jejím zatížení. Řídící jednotka je navržena tak, aby byla schopna detekovat obsazenost osmi kolejových úseků. Nicméně se neočekává obsazení všech osmi kolejových úseků. Z těchto důvodů je použit jako zdroj napájení snižující spínaný regulátor napětí

s výstupním napětím 15 V a výstupním proudem 3 A, přesněji spínaný step down regulátor LM2576D2T-15G. Zvolený regulátor má vysokou účinnost, až 88 %.

Zapojení regulátoru (viz Obr. 4.1) bylo navrženo podle doporučeného zapojení v katalogovém listu [9]. Základní činnost regulátoru zajišťují čtyři externí součástky. Na vstupu integrovaného obvodu U5 je připojen vstupní kapacitor C18. Podle doporučení katalogového listu byl zvolen hliníkový elektrolytický SMD kapacitor s nízkou hodnotou ekvivalentního sériového odporu a s velikostí kapacity 100  $\mu\text{F}$ . Kapacitor chrání integrovaný obvod před napětovými špičkami. K němu je paralelně připojen keramický SMD kapacitor C17 s kapacitou 100 nF pro zvýšení stability regulátoru. Na výstupu je podle katalogového listu připojen induktor L4 s indukčností 100  $\mu\text{F}$  a dioda D11. Dioda musí mít krátkou dobu zotavení, z tohoto důvodu je použita Schottkyho dioda. Jelikož byl výstupní kapacitor s kapacitou 1000  $\mu\text{F}$  rozměrově příliš velký, jsou použity dva paralelně spojené kapacitory C19 a C20 s kapacitou 470  $\mu\text{F}$  s nízkou hodnotou ekvivalentního sériového odporu. Tyto kapacitory slouží k vyhlazení průběhu výstupního napětí. Za nimi se nachází trojice filtračních SMD keramických kapacitorů C21, C22 a C23 s velikostí kapacit 10  $\mu\text{F}$ , 100 nF a 10 nF.



Obr. 4.1: Zapojení zdrojů 5V/1A a 15V/3A

Princip funkce zapojeného regulátoru 15V/3A je následující. Zátěž je připojena paralelně ke kapacitorům C19 a C20, respektive C21, C22 a C23. Pokud integrovaný obvod U5 má na zpětnovazebním pinu FB (feedback) velmi nízkou úroveň, sepne se tranzistor uvnitř U5. Ten zajistí elektrické propojení vstupního pinu 1 a výstupního pinu 2. Procházející proud naakumuluje energii v induktoru L4. Taktéž roste napětí na kapacitorech C19 a C20 a na zátěži. K rozeptnutí tranzistoru uvnitř U5 dojde po překročení určité meze napětí. Po rozeptnutí začne klesat proud procházející induktorem L4, ten se uzavírá přes zátěž a

diody D11. Energie akumulovaná v induktoru se začne uvolňovat do zátěže a začne klesat napětí na kapacitorech C19 a C20. Jakmile dojde k poklesu napětí pod určitou mez, opětovně sepne tranzistor uvnitř U5 a celý cyklus se opakuje. Výstupní napětí má pilovitý průběh.

Integrovaný obvod je uvnitř rozšířen o nadproudovou ochranu a o ochranu proti přehřátí. Omezení výstupního proudu je na 5,8 A. Po překročení určité teploty se zdroj sám vypne. V bezporuchovém stavu je integrovaný obvod zapnutý. Regulátor lze vypínat a zapínat pomocí mikrokontroléru. Přivedením logické nuly na pin 5 je obvod zapnut, to zajišťuje rezistor R23 připojený na nulový potenciál. Pro vypnutí U5 je potřeba přivést na pin 5 logickou jedničku. Zdroj je určen k napájení H-můstku.

Podobným způsobem je navržen druhý zdroj s výstupním napětím 5 V a výstupním proudem 1 A. Tento zdroj je určen pro napájení mikrokontroléru, obousměrných budičů CAN sběrnice a optočlenů. Při navrhování byl opět brán ohled na katalogový list [10]. Rozdíl oproti zdroji 15V/3A je pouze ve výstupním filtru L3 a C13, který zmenšuje zvlnění výstupního napětí.

Tyto dvě zapojení zdrojů jsou doplněna o obousměrný transil D6, který je zapojený paralelně k oběma vstupům. Zajišťuje ochranu před přepětím na vstupech zdrojů. Před transil je připojený PTC termistor R6, který plní funkci vratné pojistky.

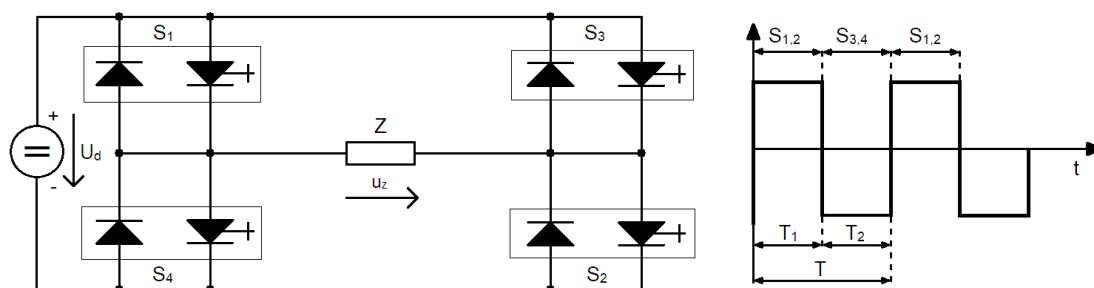
## 4.2 Zesilovač DCC

Pro vytvoření zesilovače DCC signálu bylo navrženo zapojení s H-můstkem, konkrétně je použit integrovaný obvod MC34931EK. Ten je určen pro řízení induktivních zátěží s odběrem proudu až 5 A. H-můstek umožňuje jeho ovládání pomocí mikrokontroléru, jelikož jeho vstupu jsou kompatibilní s 3 V a 5 V logikou TTL/CMOS [11].

Rozhodující při výběru byla maximální spínací frekvence H-můstku, aby byly splněny požadavky na DCC signál (viz kapitola 2.4.3). Nejkratší délku trvání intervalu má stav logické jedničky. V jedné kolejnici musí signál trvat minimálně 55  $\mu$ s a poté v druhé kolejnici taktéž 55  $\mu$ s. Celková doba periody je 110  $\mu$ s. Výslednou frekvenci lze spočítat podle vztahu 4.1, kde  $f$  je výsledná frekvence a  $T$  je celková doba periody signálu. Zvolený H-můstek je možno používat do frekvence 20 kHz.

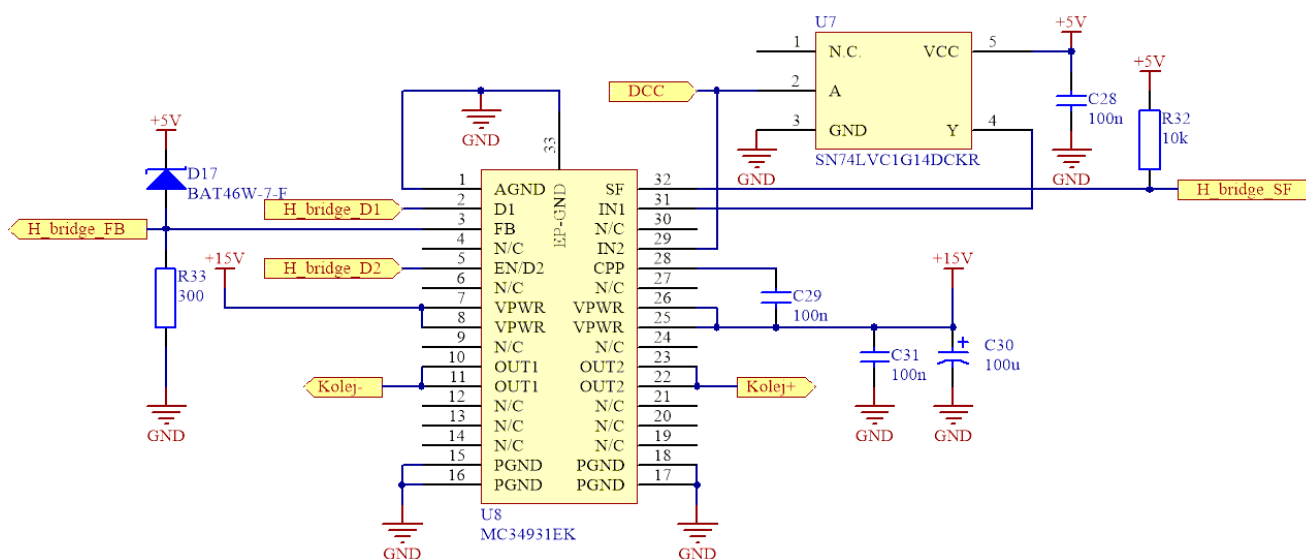
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{110 \cdot 10^{-6}} \doteq 9090,91 \text{ Hz} \quad (4.1)$$

H-můstek funguje jako jednofázový napěťový můstkový střídač. Zjednodušený princip funkce lze vidět na Obr. 4.2. Střídač je složen ze čtyř spínačů, které připojují zátěž ke kladnému nebo zápornému pólu stejnosměrného zdroje. Pokud sepne spínač  $S_1$  současně se spínačem  $S_2$ , začne protékat zátěží kladný proud  $i_z$  ve směru vyznačené šipky. Rozepnutím spínačů  $S_1$  a  $S_2$  a současným sepnutím spínačů  $S_3$  a  $S_4$  začne proud procházet v opačném směru. Rychlostí přepínání spínačů se řídí kmitočet napájecího napětí a proudu zátěže [12]. Nesmí současně sepnout spínače  $S_1$  a  $S_4$  nebo  $S_2$  a  $S_3$ , byl by zkratován stejnosměrný zdroj a zničili by se spínače.



Obr. 4.3: Jednofázový napěťový můstkový střídač

Schéma zapojení zesilovače DCC lze vidět na Obr. 4.2. H-můstek je napájen ze zdroje napětí 15V/3A (viz kapitola 4.1). Zapojení H-můstku je navrženo s respektováním katalogového listu [11]. K pinům pro napájení VPWR je nutno připojit dva filtrační kondensátory, jeden keramický C31 s kapacitou 100 nF a druhý elektrolytický C30 s kapacitou 100  $\mu$ F. Tyto kondensátory slouží k vyhlazení napájecího napětí při přepínání H-můstku. Pro správnou funkci H-můstku musí být připojen kondensátor k pinům CPP a VPWR o kapacitě



Obr. 4.2: Zapojení DCC zesilovače s H-můstkem



100 nF. Pin CPP je výstupním pinem pro externí kapacitor nábojové pumpy, bez připojeného kapacitoru C29 by H-můstek nefungoval správně.

Signál DCC je přiváděn na vstup H-můstku U8 a na vstup invertoru U7 od jednotky generátoru DCC. Invertor SN74LVC1G14DCKR slouží k otáčení fáze signálu DCC, aby bylo zajištěno plnohodnotné řízení H-můstku. Tento invertovaný signál DCC společně s původním signálem DCC jsou přivedeny na vstupy IN1 a IN2 H-můstku. Pokud je na vstupní pin IN1 přivedena logická jednička, je na výstupní pin OUT1 připojeno napájecí napětí VPWR. A pokud je na pin IN1 přivedena logická nula, je výstupní pin OUT1 uzemněn přes PGND. Stejná logika platí i pro vstupní pin IN2 a výstupní pin OUT2. Výkonové výstupní piny OUT1 a OUT2 jsou připojeny přes zapojení pro detekci proudového odběru (viz kapitola 4.4) a zapojení pro měření velikosti proudového odběru (viz kapitola 4.5) do kolejnic. Přivedením logické jedničky na vstupní pin D1 se přepnou výstupní piny OUT1 a OUT2 do stavu vysoké impedance. Logická jednička přivedená na vstupní pin EN/D2 způsobí přepnutí výstupních pinů do stavu vysoké impedance a způsobí přepnutí H-můstku do režimu spánku, logická nula přehodí H-můstek do provozního stavu. Ve výchozím režimu je H-můstek v režimu spánku, jelikož vstupní pin EN/D2 má interní pull-down rezistor. Výstupní pin FB poskytuje aktuální zpětnou vazbu o proudu procházejícím výstupními piny. Na tento pin je přivedeno 0,24 % velikosti proudu procházejícím výstupními piny. Prostřednictvím použití externího rezistoru R33 je proud převeden na odpovídající velikost napětí. Pro lineární funkci pinu FB musí být zvolen rezistor v rozsahu 100  $\Omega$  až 300  $\Omega$ . Ekvivalentní výstupní napětí z pinu FB měří A/D převodník mikrokontroléru. Podle velikosti napětí je vyhodnocováno, zda je spínaný zdroj, který napájí H-můstek, přetěžován. Dioda D17 omezuje maximální výstupní napětí pinu na +5 V. Výpočet ekvivalentního výstupního napětí pinu FB odebíraného ze spínaného zdroje lze vypočítat podle rovnice 4.2.

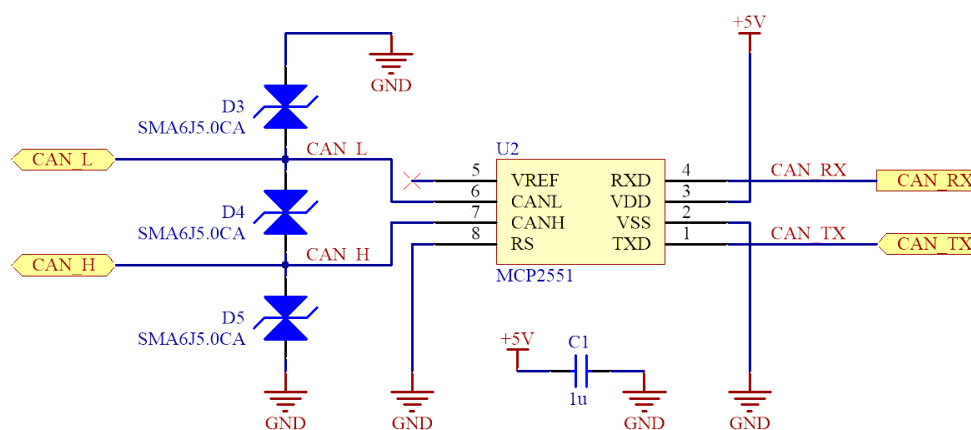
$$U_{FB} = R33 \cdot I_{max} \cdot 0,0024 = 300 \cdot 3 \cdot 0,0024 = 2,16 V \quad (4.2)$$

H-můstek dokáže detekovat zkrat mezi výkonovými výstupy, omezit výstupní proud a obsahuje ochranu proti přehřátí. Jakmile H-můstek zaznamená jeden z těchto chybových stavů, přenastaví výstupní pin SF (status flag) z logické jedničky do logické nuly a výstupní piny OUT1 a OUT2 přepne do stavu vysoké impedance. Pro správnou funkci je potřeba připojit k pinu SF pull-up rezistor R32. Pro přepnutí H-můstku do původního stavu je potřeba provést jeho reset. A to tím způsobem, že dojde k vypnutí a opětovnému zapnutí

napájecího napětí VPWR nebo změnou logického stavu na vstupních pinech D1 a EN/D2 a následným vrácením do původního stavu [11].

### 4.3 Obousměrný budič CAN sběrnice

Mikrokontrolér je schopen komunikovat po sběrnici CAN. Jeho připojení na sběrnici je realizováno pomocí obousměrného budiče sběrnice MCP2551. Budič převádí signály, které vygeneroval mikrokontrolér, na signály vhodné pro komunikaci po sběrnici. Taktéž chrání mikrokontrolér před rušením a napětěovými špičkami vzniklými na sběrnici. Budič umožňuje komunikovat po sběrnici rychlostí až 1 Mb/s. Je schopný fungovat jako přijímač i jako vysílač. Schéma zapojení budiče lze vidět na Obr. 4.4.



Obr. 4.4: Zapojení obousměrného budiče CAN sběrnice

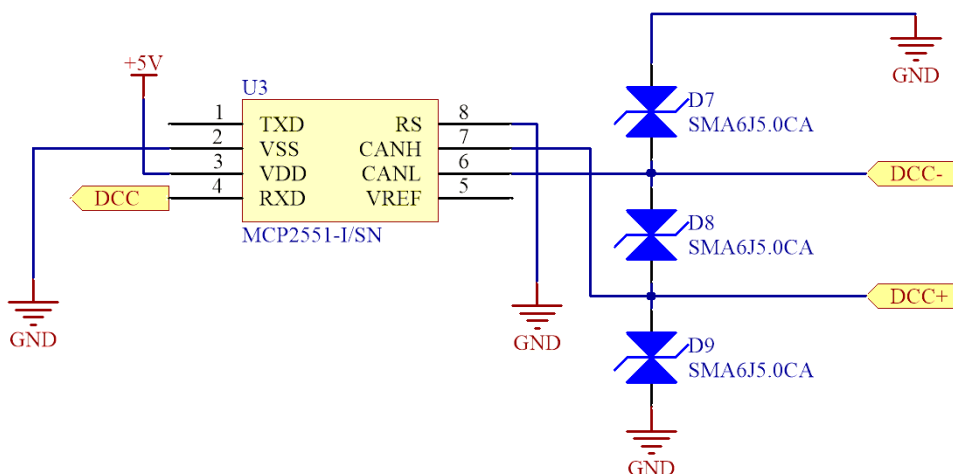
Na sběrnici CAN se mohou nacházet dva stavy, dominantní a recesivní. Dominantní stav nastane tehdy, pokud je rozdílové napětí mezi CANH a CANL větší jak definované napětí, například 1,2 V. Recesivní stav nastane tehdy, pokud je rozdílové napětí nižší jak definované napětí, typicky 0 V. Dominantní a recesivní stavy odpovídají příslušným logickým stavům. Jestliže je na vstupním pinu TXD logická nula, je budičem uvedena sběrnice do dominantního stavu. Recesivní stav je vyvolán logickou jedničkou na vstupním pinu TXD [13].

Výstupní pin RXD neustále sleduje rozdíl mezi CANH a CANL. Jestliže je na sběrnici dominantní stav, je na výstupním pinu RXD logická nula. V opačném případě, kdy je na sběrnici recesivní stav, se objeví na výstupním pinu RXD logická jednička.

Vstupní pin RS umožňuje výběr mezi třemi režimy budiče. První režim je režim High-Speed. Ten je vybrán, pokud je pin RS připojený k pinu VSS. Tento režim umožňuje maximální přenosovou rychlost. Druhý režim Slope-Control redukuje elektromagnetické rušení omezením náběžných a sestupných hran CANH a CANL. Tento režim lze zvolit

připojením externího rezistoru mezi pin RS a zem. Třetí režim, Standby mode, lze vybrat připojením logické jedničky na pin RS. V tomto režimu budič pouze přijímá [13].

Obdobným způsobem je zapojený budič pro připojení DCC signálu z generátoru DCC do jednotek kolejových úseků (viz Obr. 4.5). Rozdíl oproti budiči sběrnice CAN uvedeného na Obr. 4.4 je, že budič DCC signálu komunikuje pouze jedním směrem. Využívá pouze výstupní pin RXD, který je připojený k zesilovači DCC (viz Obr. 4.2).



Obr. 4.5: Zapojení obousměrného budiče DCC signálu

Tyto dvě zapojení obousměrných budičů mají na svých pinech CANH a CANL připojené paralelně obousměrné transily, které potlačují napětí z přechodových jevů na sběrnici. Kapacitor C1 na Obr. 4.4 slouží k vyhlazení napájecího napětí.

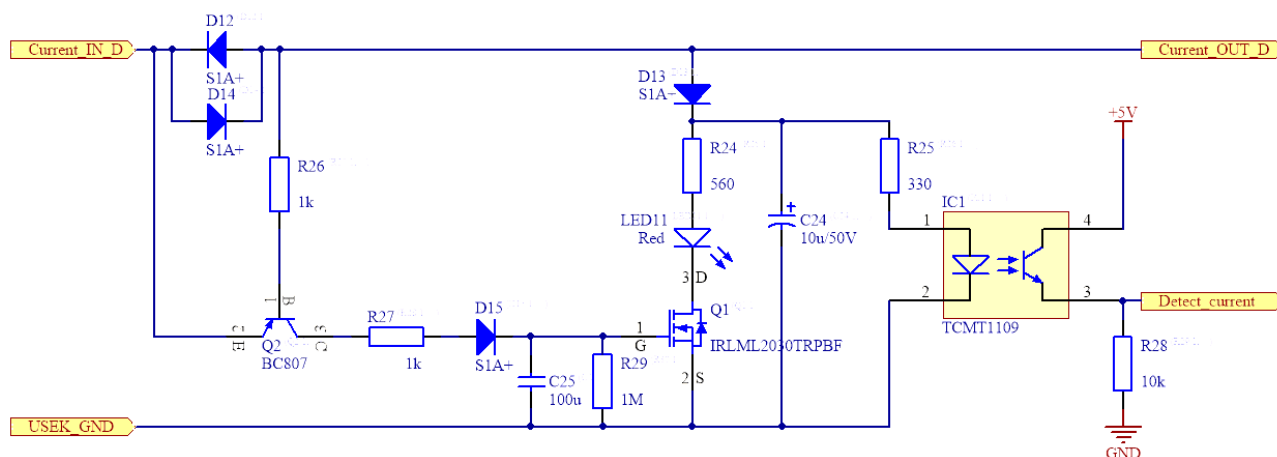
## 4.4 Zapojení pro detekci proudového odběru

Pro detekování proudového odběru je použita metoda pro využití úbytku na diodě, uvedené v kapitole 3.2.1. Toto zapojení má za úkol detekovat odběr proudu na jednotlivých izolovaných kolejových úsecích železnice. Pro správnou funkci této metody musí mít každé kolejové vozidlo všechna dvojkolí kovová a musí odebírat proud minimálně 1 mA. Bylo tedy potřeba zjistit odpory dvojkolí kolejových vozidel. Naměřené hodnoty odporu dvojkolí se pohybovaly v rozmezích od 2 k $\Omega$  do 6 k $\Omega$ . S napájecím napětím 15 V a nejvyšším odporem dvojkolí 6 k $\Omega$  po dosazení do Ohmova zákona, vyšla velikost odebíraného proudu 2,5 mA. Tudiž toto zapojení, které je na Obr. 4.6, spolehlivě rozpozná průjezd kolejového vozidla. Zapojení se vyskytuje na řídicí jednotce kolejových úseků celkově osmkrát. Řídicí jednotka je tedy schopna detekovat obsazení až osmi kolejových úseků.

Výstup OUT1 (Kolej-) zesilovače DCC (viz Obr. 4.2) je připojen na vstup USEK\_GND a druhý výstup OUT2 (Kolej+) je připojen na vstup Current\_IN\_D. Výstup Current\_OUT\_D

je dál veden k zapojení pro měření velikosti proudové odběru (viz Obr. 4.7). Průchodem vyššího proudu jak 1 mA vznikne na diodě D14 úbytek, který otevře tranzistor Q2. Otevřením tohoto tranzistoru dojde k nabití RC članku R29 a C25, který slouží k úmyslnému zpoždování hlášení o uvolnění úseku během krátkodobých výpadků, ke kterým může dojít při nadskakování jedoucí soupravy na kolejnicích. V takovýchto případech bude úsek správně detekován jako stále obsazený. Po nabití kapacitoru C25 dojde k otevření tranzistoru Q1. Rozsvítí se LED11, začne se nabíjet kapacitor C24, optočlenem TCMT1109 začne procházet proud a sepne fototranzistor uvnitř optočlenu. Mikrokontrolér poté vyhodnotí změnu stavu na výstupu optočlenu. Kapacitor C24 zabraňuje problikávání LED11.

Vyhodnocování odběru proudu je uskutečňováno pouze v jedné polovině periody DCC signálu, aby v druhé polovině periody signálu se zajistilo napájení, případně vybití, všech potřebných součástek pro správnou funkci obvodového zapojení [2].



Obr. 4.6: Zapojení pro detekci proudového odběru [2]

## 4.5 Zapojení pro měření velikosti proudového odběru

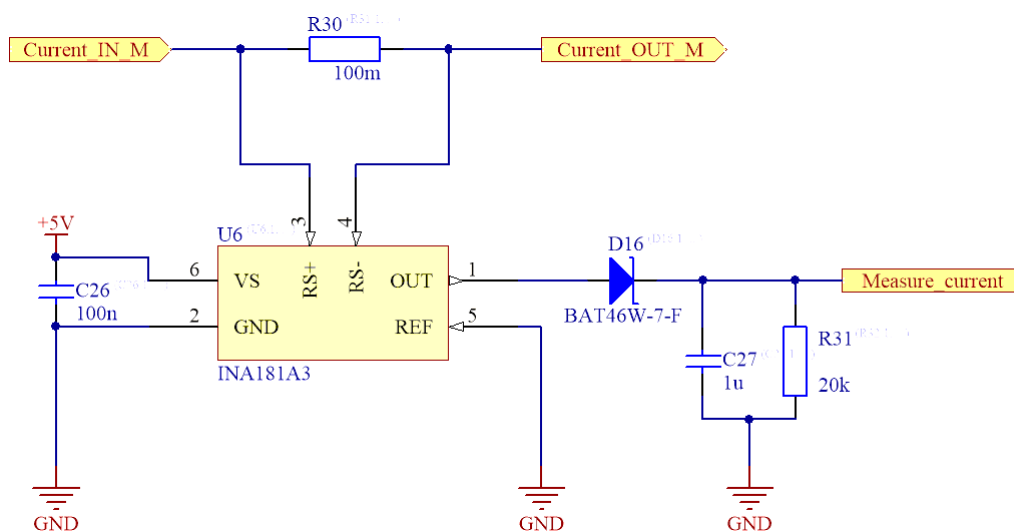
Toto zapojení využívá metody měření úbytku napětí na rezistoru, která je popsána v kapitole 3.2.2. Hlavním úkolem tohoto zapojení je měření odebíraného proudu na jednotlivých izolovaných úsecích železnice. Díky tomu je poté možno rozeznat o jaký typ kolejového vozidla se jedná. Toto zapojení doplňuje zapojení pro detekci proudového odběru, uvedeného v kapitole 4.4.

V přechodí kapitole byla vypočítána minimální velikost odebíraného proudu 2,5 mA jednoho dvojkolí kolejového vozidla. Takovýto proud musí být tímto zapojením spolehlivě rozeznán. Na vozidlu se nenachází pouze jedno dvojkolí, tudíž výsledná velikost odporu celého vozidla bude paralelní kombinací odporů dvojkolí. Je tedy očekávána menší velikost odporu, respektive větší velikost odebíraného proudu. S tím nelze počítat, pokud se vozidlo

nachází na rozhraní dvou úseků. Při přejezdu z jednoho úseku na druhý se počet dvojkolí na předchozím úseku zmenšuje a tím se snižuje velikost odebíraného proudu.

Pro správnou volbu snímacího odporu je nutno změřit maximální proudový odběr lokomotivy. K jeho změření je potřeba zablokovat rotor motoru v lokomotivě, ten se během měření nesmí otáčet. Tehdy má motor největší proudový odběr. Velikost odběru záležela na typu lokomotivy. Průměrný odběr se pohyboval okolo 450 mA [1].

Schéma zapojení pro měření odběru proudu je na Obr. 4.7. Dohromady je těchto zapojení na řídicí jednotce kolejových úseků osm. Řídicí jednotka je tedy schopna měřit proudový odběr na osmi kolejových úsecích.



Obr. 4.7: Zapojení pro měření velikosti proudového odběru [1]

Od zapojení pro detekci proudového odběru (viz Obr. 4.6) teče proud přes rezistor R30 do kolejových vozidel vyskytujících se na konkrétním úseku. Procházející proud způsobí úbytek napětí na rezistoru R30. Polarita napětí na rezistoru je závislá na polaritě DCC signálu. Úbytek na rezistoru je velmi malý, a proto je potřeba jej zesílit. Bez použití vhodného zesilovače by bylo toto napětí neměřitelné. Proto vybraný zesilovač musí bezpečně zvládat rychlé změny polarity DCC signálu a dostatečně zesílit napětí o této frekvenci. Z těchto důvodů je použit zesilovač INA181A3, který je využitelný do frekvence 150 kHz [14].

Změnou polarity DCC signálu se mění i směr proudu protékající odporem R30, proto je výstupní pin OUT zesilovače závislý na průběhu DCC signálu. Nejprve je na výstupním pinu OUT úbytek napětí na rezistoru R30 stokrát zesílený. Poté, po změně polarity DCC signálu, je na výstupním pinu OUT napětí 0 V. Jelikož okamžik vzorkování A/D převodníku mikrokontroléru není nijak synchronizován s průběhem DCC signálu, může docházet k navzorkování nulového napětí a vyhodnocení úseku jako neobsazeného, i přesto, že

obsazený byl. K tomu slouží připojený RC článek složený z rezistoru R31 a kondenzátoru C27. Během jízdy může jedoucí souprava nadskakovat na kolejnicích. To může způsobovat krátkodobou ztrátu kontaktu s kolejnicemi a chybné rozpoznání obsazenosti úseku. RC článek zabrání nechtěnému vyhodnocování úseku jako neobsazeného. Dioda D16 slouží k zabránění nechtěnému vybíjení RC článku.

Poté je zesílené napětí přivedeno na A/D převodník mikrokontroléru (výstupní port `Measure_current`), kde je napětí přepočítáno na proud. Velikost proudového odběru jednoho kolejového úseku lze vypočítat podle vztahu 4.3. Kde  $U_{REF}$  je referenční napětí A/D převodníku,  $N$  je hodnota naměřená A/D převodníkem a  $n$  je počet bitů A/D převodníku.

$$I = \frac{U_{REF} \cdot N}{100 \cdot R31 \cdot (2^n - 1)} [A] \quad (4.3)$$

Vstupním pinem REF se nastavuje hodnota referenčního napětí, které je nejčastěji nastavené na polovinu napájecího napětí VS. Toto je využitelné, pokud má zesilovač rozpoznat směr i velikost proudového odběru. V tomto zapojení je vstupní pin REF uzemněn. Jelikož úkolem zesilovače je pouze rozpoznání velikosti proudového odběru.

## 4.6 Zapojení mikrokontroléru

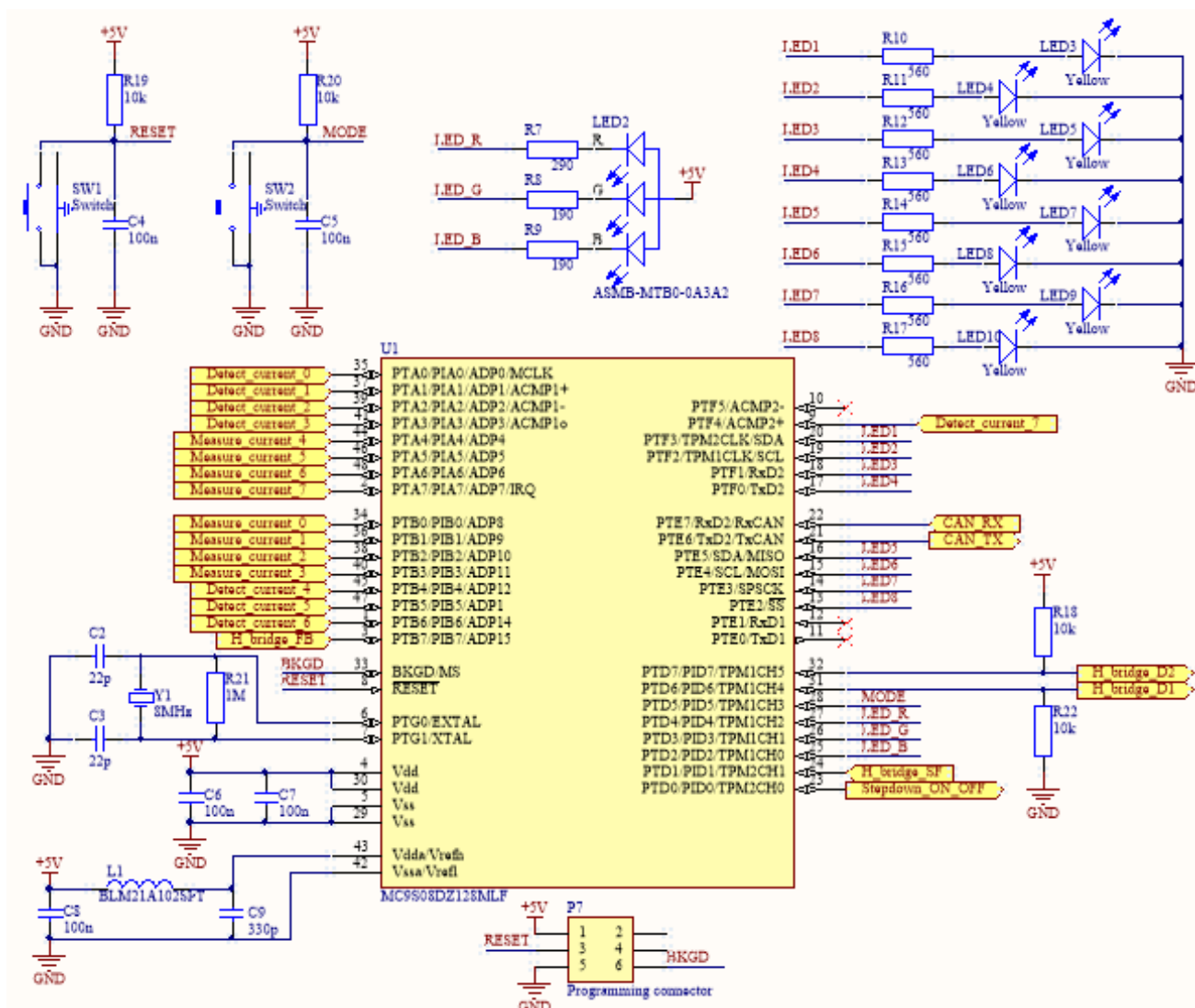
Hlavní komponentou celé jednotky je mikrokontrolér MC9S08DZ128MLF od výrobce NXP Semiconductors (viz Obr. 4.8). Tento mikrokontrolér má 48 pinů, programovací paměť o velikosti 128 kB, 8 kB paměť RAM a osmibitovou datovou sběrnici.

S ohledem na katalogový list [15] je k mikrokontroléru na vstupní piny PTG0/EXTAL a PTG1/XTAL připojený krystalový oscilátor Y1 s frekvencí 8 MHz. Napájení je přivedeno na vstupní piny Vdd a Vss. Mezi tyto piny jsou umístěny kapacitory C6 a C7 pro vyhlazení připojeného napájecího napětí. Na vstupní piny Vdda/Vrefh a Vssa/Vrefl je připojeno referenční napětí pro A/D převodník mikrokontroléru. K vyhlazení referenčního napětí slouží LC filtr složený z induktoru L1 a dvou kapacitorů C8 a C9.

Na vstupní piny mikrokontroléru ADP0 až ADP3, ADP12 až ADP14 a PTF4 jsou přiváděny jednotlivé výstupy optočlenů od obvodů pro detekci proudového odběru (viz Obr. 4.6) Dále na vstupní piny ADP4 až ADP11 jsou přiváděny jednotlivé naměřené úbytky napětí od obvodů pro měření velikosti proudového odběru (viz Obr. 4.7). Zpětná vazba od H-můstku je přivedena na vstupní pin ADP15. Zpětnou vazbu od H-můstku a naměřené

úbytky na jednotlivých kolejových úsecích je nutno převést A/D převodníkem pro jejich možné vyhodnocení mikrokontrolérem. O stavu H-můstku informuje připojený výstup můstku SF (Status Flag) (viz *Obr. 4.3*) na vstupní pin PTD1. Ovládání H-můstku je zajištěno pomocí pinů PTD6 a PTD7, které jsou připojeny přes pull-up, respektive pull-down, rezistor R18 a R22 k vstupním pinům H-můstku D1 a D2. Pinem PTD0 lze ovládat zapnutí a vypnutí spínaného step down regulátoru (viz *Obr. 4.1*). Pro komunikaci se sběrnici CAN slouží piny RxCAN a TxCAN.

Součástí zapojení je i programovací konektor a tlačítko pro případné resetování mikrokontroléru (RESET). Pro případné manuální ovládání jednotky slouží tlačítko MODE. K signalizaci informace o obsazenosti jednotlivých kolejových úseků slouží osm žlutých LED diod (LED1 až LED8). Pro signalizaci informace o stavu jednotky je využita RGB LED dioda LED2. Jednotlivé barvy a jejich význam je uveden v kapitole 5.4.



Obr. 4.8: Zapojení mikrokontroléru a příslušných periférií

## 5 Komunikační protokol

Komunikace mezi řídicím počítačem a řídicí jednotkou je zajištěna pomocí sběrnice CAN. Sběrnice CAN umožňuje přenos až osmi datových bajtů. Jakákoliv zpráva vyslaná po sběrnici CAN musí mít přiřazený identifikátor. Využívá se standardní formát identifikátoru. Tento formát je dlouhý 11 bitů. Každá jednotka má přiřazený identifikátor pro přijetí zprávy a pro vysílání zprávy. Jednotka tedy může přijímat zprávy a vysílat zprávy s různým identifikátorem. Je tím zajištěna přesná adresace zpráv. Komunikace mezi nadřazeným systémem a řídicí jednotkou probíhá oboustranně.

V této kapitole je popsáno, jakým způsobem probíhá komunikace řídicí jednotky s nadřazeným systémem po sběrnici CAN. Dále jsou přiřazeny řídicí jednotce kolejových úseků identifikátory zpráv a je uveden formát komunikačních zpráv. Obousměrný budič sběrnice CAN je zapojen tak, aby byl zvolen režim High Speed (viz *Obr. 4.4*). Komunikační rychlost budiče sběrnice CAN je nastavena na 500 kbit/s.

### 5.1 Vytvoření identifikátoru zprávy

Systém komunikace na železnici využívá přiřazení identifikátorů jednotlivým zprávám s ohledem na to, která jednotka je vyslala a komu jsou určeny. Tento jedenácti bitový identifikátor neboli také ID, je rozdělen na dvě části. Horní čtyři bity identifikátoru slouží pro určení typu zprávy. Je v nich zakódována informace o typu jednotky a informace o směru přenosu zprávy. Pokud nadřazený systém posílá zprávu, která je určena řídicí jednotce, označuje se jako W (z anglického slova write). V opačném případě, kdy je zpráva vyslána řídicí jednotkou a je určena nadřazenému systému, označuje se jako R (z anglického slova read). Takovýchto typů jednotek může být až šestnáct. V Tab. 5.1 je uvedeno rozdělení typů zpráv mezi jednotlivé řídicí jednotky modelové železnice. Typ zprávy označen číslem 0 je využit pro vysílání nouzového stavu, a to v případě, že by bylo potřeba okamžitě zastavit veškerý provoz na celé železnici. Typy zpráv označené čísly 12 až 15 jsou zatím nevyužity.



Tab. 5.1: Rozdělení typů zpráv mezi jednotlivé řídicí jednotky

Horní čtyři bity ID [dec]	Typ jednotky	Směr přenosu zprávy
0	Nouzový stav	Zápis do jednotky (W)
1	DCC Generátor	Zápis do jednotky (W)
2		Výpis z jednotky (R)
3	DCC Zesilovač	Výpis z jednotky (R)
4		Výpis z jednotky (R)
5		Zápis do jednotky (W)
6		Zápis do jednotky (W)
7	Kontrolér výhybek	Zápis do jednotky (W)
8		Výpis z jednotky (R)
9	Kontrolér návěstidel	Zápis do jednotky (W)
10	Kontrolér točny	Zápis do jednotky (W)
11		Výpis z jednotky (R)
12	Nevyužito	–
13		–
14		–
15		–

Zbylých sedm dolních bitů jedenácti bitového identifikátoru je vyhrazeno pro přesnou identifikaci řídicích jednotek. Každý typ jednotky má přiřazen specifické číslo, pod kterým lze jednotku jednoduše identifikovat. Dolních sedm bitů identifikátoru umožňuje mít až 128 jednotek stejného typu. Nadřazený systém dokáže zasílat tři druhy zpráv. Prvním druhem zprávy je již zmíněné nouzové vysílání, které umožňuje zaslání zprávy všem jednotkám. Druhý druh zprávy umožňuje zaslání zprávy jednotkám stejného typu. Posledním, třetím druhem zprávy, je zpráva určená konkrétní řídicí jednotce.

Příklad vytvoření identifikátoru zprávy pro konkrétní řídicí jednotku popisuje Tab. 5.2. Příklad je uveden pro výpis zprávy z jednotky DCC zesilovače s identifikačním číslem 1. Tento směr přenosu zprávy pro jednotku DCC zesilovače má hodnotu horních čtyř bitů identifikátoru vyjádřenou v dekadické soustavě číslem 3. Tudíž v binární soustavě má podobu 0011. DCC zesilovač má identifikační číslo 1, v binární podobě je reprezentováno také číslem 1. Toto číslo je doplněno zleva nulami pro zaplnění dolních sedmi bitů identifikátoru. Pro vytvoření kompletního identifikátoru je nutno spojit horní čtyři bity s dolními sedmi bity identifikátoru. Kompletní identifikátor pro tento příklad má v binární soustavě podobu 001 1000 0001 (viz Tab. 5.2). Převedením čísla do hexadecimální soustavy vznikne číslo 0x181.

Tab. 5.2: Vytvoření identifikátoru pro konkrétní řídicí jednotku

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Typ zprávy				Číslo jednotky							hex
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0x181

Pro snadnější ovládání je využívána hexadecimální podoba identifikátoru. V Tab. 5.3 jsou přiřazeny identifikátory v hexadecimální podobě konkrétním typům zpráv DCC zesilovače. Identifikátory jsou vytvořeny způsobem popsáným v kapitole 5.1. Pro zjištění, pod jakým identifikátorem (ID) bude řídicí jednotka vypisovat zprávy či pod jakým ID do jednotky zapisovat, stačí k přiřazeným ID přičíst příslušné číslo jednotky v hexadecimální podobě. Identifikátory jsou přiřazeny jednotce DCC zesilovače s identifikačním číslem 1.

Tab. 5.3: Přiřazení identifikátorů řídicí jednotce

První 4 bity [dec]	ID [hex]	Typ jednotky	Směr vysílání dat
3	0x181	DCC Zesilovač	Výpis z jednotky (R)
4	0x201		Výpis z jednotky (R)
5	0x281		Zápis do jednotky (W)
6	0x301		Zápis do jednotky (W)

Hlavním úkolem řídicí jednotky kolejových úseků je zjišťování obsazenosti jednotlivých izolovaných úseků železnice a předání informace o obsazenosti nadřazenému systému. Pro zaslání této informace má jednotka přiřazený identifikátor 0x181. Formát této zprávy je popsán v kapitole 5.3.3. Dále poskytuje informaci o stavu řídicí jednotky pod identifikátorem 0x201. Jednotlivé stavy řídicí jednotky jsou specifikovány v kapitole 5.3.1. Řídicí jednotku lze, pokud je to potřeba, konfigurovat z nadřazeného systému. Pro konfiguraci jednotky je vyhrazen identifikátor 0x281. Nastavení řídicí jednotky je popsáno v kapitole 5.2. Každý typ zprávy má přesně stanovenou délku (viz Tab. 5.4). Identifikátory jednotlivých zpráv jsou vytvořeny v souladu s Tab. 5.2 a Tab. 5.3.

Tab. 5.4: Přiřazení identifikátorů jednotlivým typům zpráv

ID [hex]	Délka [byte]	Význam dat	Směr vysílání dat
0x181	8	Naměřené proudy na kanálech	Výpis z jednotky (R)
0x201	4	Zprávy o stavu řídicí jednotky	Výpis z jednotky (R)
0x281	4	Nastavení řídicí jednotky	Zápis do jednotky (W)

## 5.2 Zprávy pro konfiguraci řídicí jednotky

Řídicí jednotku kolejových úseků lze konfigurovat zprávami z nadřazeného systému po sběrnici CAN. Formát zprávy je znázorněn v Tab. 5.5. Konfigurace řídicí jednotky je uskutečněna pomocí čtyř bajtové zprávy. Typy zpráv pro konfiguraci řídicí jednotky popisuje Tab. 5.6. V následujících kapitolách jsou vysvětleny jednotlivé funkce řídicí jednotky.

Tab. 5.5: Formát zprávy pro konfiguraci řídicí jednotky

ID	byte 0	byte 1	byte 2	byte 3
0x281	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3

Tab. 5.6: Typy zpráv pro konfiguraci řídicí jednotky

Data	Hodnota [hex]	Funkce
Data 0	0x01	Resetování řídicí jednotky
	0x02	Nastavení prodlevy odesílání naměřených hodnot proudů
	0x03	Resetování H-můstku
	0x04	Nastavení napájecího zdroje 15V/3A
	0x05	Měření na zvolených měřicích kanálech
	0x10	Přečtení aktuálního nastavení řídicí jednotky
	0x20	Nastavení čísla řídicí jednotky

### 5.2.1 Resetování řídicí jednotky

V případě, že by došlo k závažnější chybě na řídicí jednotce, je možno provést reset řídicí jednotky, respektive mikrokontroléru. V programu jednotky je periodicky resetován tzv. Watchdog timer. Princip tohoto časovače spočívá v jeho periodickém resetování. Pokud jednotka bezchybně komunikuje s nadřazeným systémem, časovač je vždy resetován. Časovač je resetován při zapsání 0x0055 a 0x00AA v tomto pořadí do registru SRS během časového limitu časovače. Jakmile je do registru SRS zapsána jiná hexadecimální hodnota, mikrokontrolér se okamžitě resetuje. Formát zprávy pro resetování jednotky je v 7.

Tab. 5.7: Formát zprávy pro resetování řídicí jednotky

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x01	Resetování řídicí jednotky
Data 1	0x01	Hard reset potvrzen
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

## 5.2.2 Nastavení prodlevy odesílání naměřených hodnot proudového odběru

Jednou z hlavních funkcí řídicí jednotky kolejových úseků je měření proudového odběru na jednotlivých úsecích železnice a periodické odesílání o stavu obsazenosti těchto úseků. Pomocí zprávy znázorněné v Tab. 5.8 je umožněno nastavení periody odesílání naměřených hodnot proudů. Hodnotou v Data 1 se násobí základní časová jednotka prodlevy odesílání. Základní časová jednotka je nastavena na 10 ms. Ve výchozím stavu je časová prodleva odesílání nastavena na 100 ms. Prodlevu lze volit od 10 ms do 2500 ms. Zapsáním hodnoty 0x00 do Data 1 jsou naměřené hodnoty proudů odeslány pouze jednou. V případě zapsání hodnoty 0xFF do Data 1 je odesílání vypnuto.

Tab. 5.8: Formát zprávy pro nastavení prodlevy odesílání naměřených hodnot

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x02	Nastavení prodlevy odesílání naměřených hodnot proudů
Data 1	0x00	Odesílání na vyžádání
	0x01	Odesílání v periodě 10 ms
	0xFA	Odesílání v periodě 2500 ms
	0xFF	Odesílání vypnuto
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

## 5.2.3 Resetování H-můstku

Poté co H-můstek zaznamená nějaký z chybových stavů, přenastaví výstupní pin SF z logické jedničky do logické nuly (viz kapitola 4.2). Pro přepnutí H-můstku do původního stavu je potřeba provést jeho reset. Ten je automaticky proveden, pokud má výstupní pin SF H-můstku hodnotu logické nuly. Reset je možno provést i pomocí zprávy popsané v Tab. 5.9. Touto zprávou je zapříčiněna změna logického stavu na vstupních pinech D1 a EN/D2 a následně jsou piny vráceny do výchozího stavu. Taktéž vypnutí napájecího zdroje 15V/3A způsobí resetování H-můstku (viz kapitola 5.2.4).

Tab. 5.9: Formát zprávy pro resetování H-můstku

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x03	Resetování H-můstku
Data 1	0x01	Reset H-můstku potvrzen
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

## 5.2.4 Nastavení napájecího zdroje 15V/3A

Napájecí zdroj 15V/3A slouží pouze k napájení H-můstku (viz Obr. 4.3). Jakmile dojde k jakékoli chybě H-můstku, lze ho uvést do bezporuchového stavu také vypnutím a opětovným zapnutím napájecího napětí VPWR. K tomu je využit formát zprávy znázorněný v Tab. 5.10. Ve výchozím stavu je napájecí zdroj zapnut.

Tab. 5.10: Formát zprávy pro nastavení napájecího zdroje 15V/3A

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x04	Nastavení napájecího zdroje 15V/3A
Data 1	0x00	Vypnutí zdroje napájení
	0x01	Zapnutí zdroje napájení
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

## 5.2.5 Měření na zvolených měřících kanálech

Pokud by nastala situace, že by nebylo využito všech osm měřících kanálů na řídicí jednotce kolejových úseků, může se na nepřipojených kanálech objevovat rušení. Toto rušení by bylo změřeno A/D převodníkem v mikrokontroléru a odesláno nadřazenému systému. Při větší hodnotě rušení by mohl nadřazený systém vyhodnotit příslušný úsek jako obsazený, což je nežádoucí. Z tohoto důvodu je umožněno zapnutí nebo vypnutí jednotlivých měřících kanálů (viz Tab. 5.11). Výběr jednotlivých kanálů odpovídá osmi bitům. Pořadí bitů se shoduje s pořadím měřících kanálů, tudíž nultý bit je přiřazen prvnímu kanálu a sedmý bit je přiřazen poslednímu osmému kanálu. Logická nula značí vypnutí příslušného kanálu a logická jednička zapnutí kanálu. Tedy pro výběr prvních čtyř kanálů budou mít Data 1 v binární soustavě podobu 0000 1111. Po převedení do hexadecimální soustavy vznikne číslo 0x0F.

Tab. 5.11: Formát zprávy pro zvolení měřících kanálů

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x05	Měření na zvolených měřících kanálech
Data 1	0x00	Vypnuté měření na všech měřících kanálech
	0xFF	Zapnuté měření na všech měřících kanálech
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

## 5.2.6 Přečtení aktuálního stavu řídicí jednotky

Aby nebyla CAN sběrnice nadměrně přehlcována zpětnými zprávami od řídicí jednotky po provedení změn v nastavení jednotky, byl navržen formát zprávy, podle kterého lze sdělit nadřazenému systému kompletní konfiguraci a stav řídicí jednotky (viz kapitola 5.3.1). Pro přečtení aktuálního nastavení řídicí jednotky je potřeba zaslat řídicí jednotce zprávu s tímto požadavkem. Formát této zprávy je vysvětlen v Tab. 5.12.

Tab. 5.12: Formát zprávy pro přečtení aktuálního stavu řídicí jednotky

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x10	Přečtení aktuálního nastavení řídicí jednotky
Data 1	0x01	Odeslání zpětné vazby s aktuálním nastavením
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

## 5.2.7 Nastavení čísla řídicí jednotky

Každá řídicí jednotka kolejových úseků má své identifikační číslo, které je uloženo v EEPROM paměti mikrokontroléru. Ve výchozím nastavení má jednotka přednastavené číslo 1. Dolních sedm bitů identifikátoru umožňuje mít až 128 jednotek (viz Tab. 5.2). Proti nechtěnému změnění čísla jednotky je zavedena kontrola, v podobě bitové negace čísla jednotky, která musí být zapsána v Data 2. Pro změnění čísla jednotky je potřeba zapsat do Data 1 číslo, jaké má mít jednotka, a do Data 2 zapsat negaci tohoto čísla (viz Tab. 5.13), poté se provede změna čísla jednotky.

Tab. 5.13: Formát zprávy pro nastavení čísla řídicí jednotky

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x10	Nastavení čísla řídicí jednotky
Data 1	0x00	Číslo jednotky: 0
	0x7F	Číslo jednotky: 127
Data 2	0xFF	Bitová negace čísla jednotky 0
	0x80	Bitová negace čísla jednotky 127
Data 3	–	Nevyužito

## 5.3 Zprávy odesílané řídicí jednotkou

Řídicí jednotka kolejových úseků je schopna zasílat zprávy o stavu jednotky a obsazenosti jednotlivých úseků nadřazenému systému po sběrnici CAN. V kapitole 5.1 byl uveden postup vytvoření identifikátoru jednotlivých zpráv a přiřazen identifikátor jednotlivým zprávám. Řídicí jednotka odesílá nadřazenému systému dva typy zpráv. První typ je využit pro výpis aktuálního stavu řídicí jednotky hlášení chyb s identifikátorem 0x201. Druhý typ je určen pro odesílání naměřeného proudového odběru nadřazenému systému s identifikátorem 0x181. Formát zprávy pro první typ zprávy je čtyřbajtový (viz Tab. 5.14) a pro druhý typ zprávy je znázorněn v Tab. 5.17.

Tab. 5.14: Formát zprávy pro aktuální stav jednotky a hlášení chyb

ID	byte 0	byte 1	byte 2	byte 3
0x201	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3

### 5.3.1 Aktuální stav řídicí jednotky

Po přijetí zprávy popsané v kapitole 5.2.6, pošle řídicí jednotka zprávu ve formátu uvedeném v Tab. 5.15. Hodnota 0x10 v Data 0 značí, že jde o zprávu s aktuálním stavem řídicí jednotky. V Data 1 se nachází aktuální nastavení odesílání hodnot naměřených proudových odběrů kolejových úseků (viz kapitola 5.2.2). Dále v Data 2 je využito binárního značení stavu, prostor je až pro osm různých stavů jednotky, zatím jsou využity pouze dva nejvyšší bity Data 2. Poslední Data 3 slouží pro informování aktuálně zapnutých či vypnutých měřících kanálů řídicí jednotky.

Tab. 5.15: Formát zprávy aktuálního stavu řídicí jednotky

Data	Hodnota [hex]	Význam
Data 0	0x10	Aktuální stav
Data 1	0x00	Odesílání pouze „na vyžádání“
	0x01	Odesílání v periodě 10ms
	0xFA	Odesílání v periodě 2500ms
	0xFF	Odesílání vypnuto
Data 2	bit 7	Přetížení H můstku za provozu (log.1=KO., log.0=OK.)
	bit 6	Vypnutý zdroj 15V/3A (log.1=vyp., log.0=zap.)
	bit 5 – bit 0	Nevyužito
Data 3	0x00	Všechny kanály jsou vypnuty
	0x0F	Zapnuté kanály 1-4, vypnuté kanály 5-8
	0xFF	Zapnuto všech 8 kanálů

### 5.3.2 Hlášení chyby

Řídicí jednotka je schopna detekovat chyby při nesprávné konfiguraci jednotky, ale hlavně dokáže rozpoznat provozní chyby (viz Tab. 5.16). Stejně jako v předchozí kapitole je využito binárního značení. Jednotlivé chyby se zapisují změnou logické hodnoty v příslušném bitu v Data 1 nebo Data 2. Po zaznamenání chyby se do příslušného bitu zapíše logická jednička. Logická jednička v konkrétním bitu značí, že byla detekována chyba. V bezporuchovém stavu je v příslušném bitu zapsána logická nula. Do Data 1 se zapisují provozní chyby, které jsou závažnější. Pokud nastane nějaká z provozních chyb, zastaví se periodické odesílání naměřených hodnot proudových odběrů, zahlásí se chyba nadřazenému systému a na DPS se rozsvítí RGB LED příslušnou barvou (viz kapitola 0). V Data 2 se nachází pouze chyby, které mohou nastat během konfigurace řídicí jednotky. Zpráva je na začátku i na konci ohraničena hodnotou 0xFF, aby bylo možné vizuálně ihned rozpoznat, že se jedná o chybové hlášení.

Tab. 5.16: Formát zprávy pro hlášení chyby

Data	Hodnota [hex]	Význam chyby
Data 0	0xFF	
Data 1	bit 7	Přetížení H můstku za provozu
	bit 6	Vypnutý zdroj 15V/3A
	bit 5	Chyba při odesílání proudu
	bit 4 – bit 0	Nevyužito
Data 2	bit 7	Chyba při hard resetu
	bit 6	Chyba při nastavení prodlevy odesílání
	bit 5	Chyba při resetování H můstku
	bit 4	Chyba při nastavení napájecího zdroje 15V/3A
	bit 3	Chyba při vybírání měřících kanálů
	bit 2	Chyba při čtení aktuálního nastavení
	bit 1	Chyba při nastavení čísla jednotky
	bit 0	Nevyužito
Data 3	0xFF	

### 5.3.3 Odesílání naměřeného proudového odběru

Formát zprávy pro odesílání naměřeného proudového odběru má délku osm bajtů. Každý bajt obsahuje velikost odebíraného proudu ve sledovaném kolejovém úseku. Tato zpráva je odesílána periodicky, podle zvolené prodlevy dle kapitoly 5.2.2. Nultý bajt je přiřazen měřicímu kanálu 1 a sedmý bajt je přiřazen kanálu 8 (viz Tab. 5.17).



Tab. 5.17: Formát zprávy pro odesílání naměřeného proudového odběru

byte	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>ID</b>	<b>CH.1</b>	<b>CH.2</b>	<b>CH.3</b>	<b>CH.4</b>	<b>CH.5</b>	<b>CH.6</b>	<b>CH.7</b>	<b>CH.8</b>
0x181	0x00– 0xFF	0x00– 0xFF	0x00– 0xFF	0x00– 0xFF	0x00– 0xFF	0x00– 0xFF	0x00– 0xFF	0x00– 0xFF

Velikost naměřených proudových odběrů je v rozsahu od 0 do 255. Přepočtení na reálnou hodnotu proudu lze provést dle rovnice 4.3 v kapitole 4.5. Pro zjištění přibližné velikosti proudu je potřeba hodnotu N, změřenou A/D převodníkem, vynásobit konstantou  $1,96 \cdot 10^{-3}$ . A/D převodník měří proud v rozmezí od 0 do 510 mA. Velikost jednoho bitu odpovídá 1,96 mA.

## 5.4 Značení chování RGB LED

Stav řídicí jednotky kolejových úseků signalizuje RGB LED umístěná na DPS. Bliknutí zelené barvy označuje odeslání zprávy nadřazenému systému. V bezporuchovém stavu bliká zelená barva v periodě prodlevy odesílání naměřených hodnot proudů, to značí odeslání naměřených hodnot proudů. Bliknutí modré barvy značí přijetí zprávy pro konfiguraci řídicí jednotky. Pokud trvale svítí azurová barva znamená to, že došlo k chybě během odesílání naměřených hodnot proudů. V případě, že svítí žlutá barva, je vypnut napájecí zdroj 15V/3A. Trvale svítící červená barva oznamuje přetížení H můstku během provozu.

Tab. 5.18: Značení chování RGB LED

Barva RGB	Význam
Bliká zelená	Odeslání zprávy
Bliká modrá	Přijetí zprávy
Svítí azurová	Chyba při odesílání proudu
Svítí žlutá	Vypnutý zdroj 15V/3A
Svítí červená	Přetížení H můstku za provozu

## 6 Program pro řídicí jednotku

Hlavním úkolem řídicí jednotky kolejových úseků je zesílení signálu DCC a periodické zasílání informace o obsazenosti jednotlivých kolejových úseků nadřazenému systému.

Program je napsán v jazyce C a byl k tomu využit počítačový program CodeWarrior. Inicializace periférií mikrokontroléru probíhá přes aplikaci Processor Expert. V této kapitole jsou popsány stěžejní části kódu a pomocí vývojového diagramu demonstrována hlavní smyčka programu.

### 6.1 Inicializace a nekonečná smyčka

Na začátku kódu je provedena deklarace proměnných a nastavení výchozích hodnot. Poté jsou inicializovány podprogramy, zapnut napájecí zdroj 15V/3A a resetován H-můstek. Od této chvíle je řídicí jednotka v plném provozu.

V nekonečné smyčce je na začátku resetován Watchdog timer (viz kapitola 5.2.1). Dále je kontrolováno tlačítko MODE na DPS, zda došlo k jeho stisknutí. Pokud bylo stisknuto v bezporuchovém stavu, kdy H-můstek není přetížen, dojde ke změně periody odesílání naměřených hodnot proudového odběru. K dispozici je pět různých prodlev odesílání. V případě, že tlačítko bylo stisknuto a H-můstek byl přetížen, dojde k resetu H-můstku.

Následuje kontrola přijetí nové zprávy po sběrnici CAN. Jakmile je přijata nová zpráva hardwarem, je přenastavena příslušná proměnná na logickou jedničku a dojde k probliknutí modré barvy RGB LED. Podle obsahu příchozí zprávy je vybrána funkce a provedena akce. Jednotlivé zprávy pro konfiguraci řídicí jednotky jsou uvedeny v kapitole 5.2.

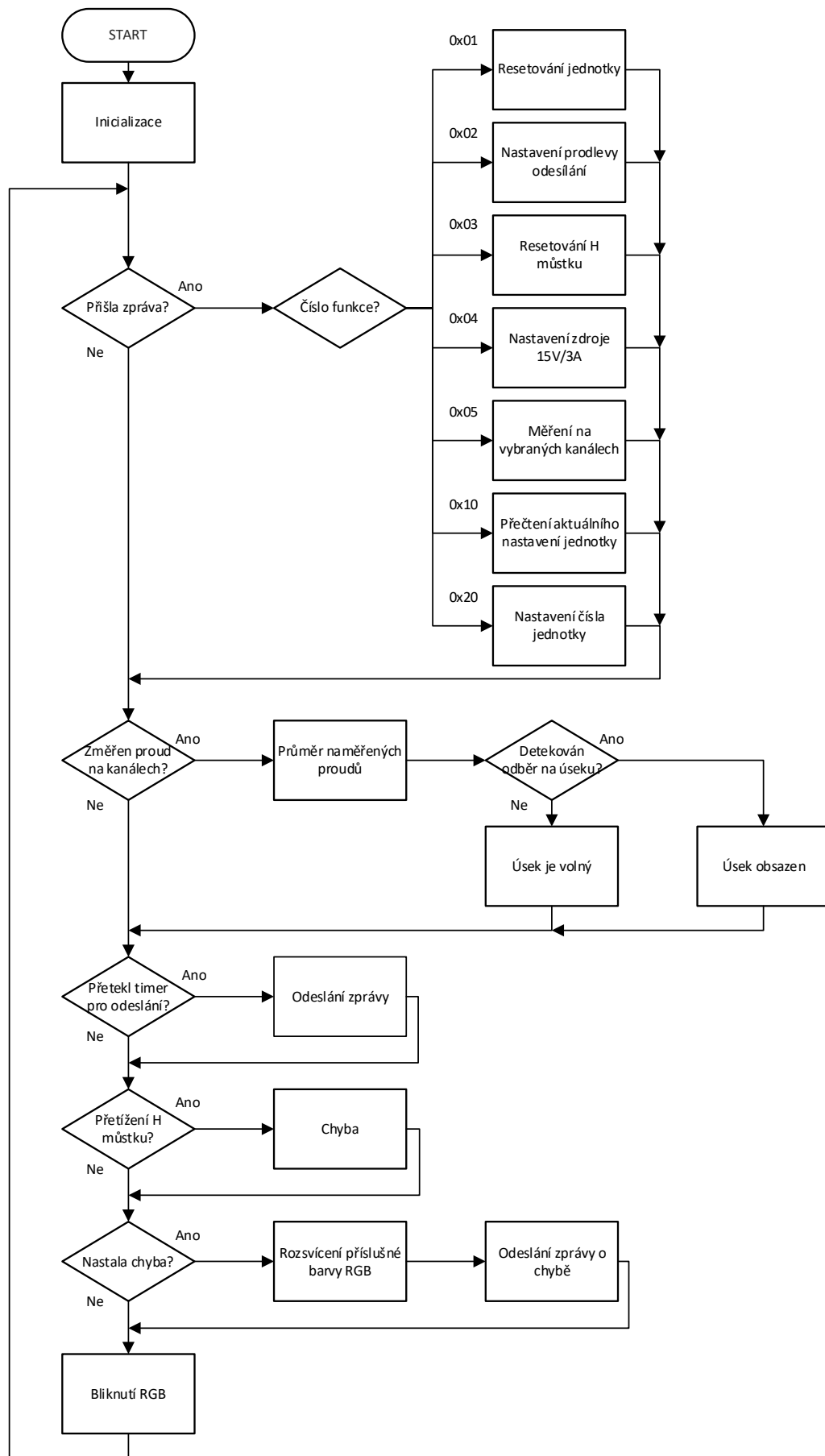
V následujícím kroku se kontroluje celkový odebíraný proud. Zpětnovazební výstupní pin FB H-můstku je připojen na A/D převodník mikrokontroléru. Dle rovnice 4.2 bylo vypočítáno maximální zpětnovazební napětí pinu FB. Pokud dojde k překročení napětí 2,16 V, je nastavena chyba o přetížení H-můstku. Toto napětí je kontrolováno periodicky každých 30 ms a to i po resetu H-můstku, kvůli ustálení přechodových jevů na kolejišti, jelikož při resetování na krátkou dobu přeroste proudový odběr stanovenou maximální hodnotu.

Pravidelně po 10 ms přeteče časovač TPM1. Při větším počtu přetečení, než je stanovená mez, jednotka změří na všech osmi kanálech velikost proudového odběru. Prvně je změřen první kanál a poté na sebe navazuje měření na zbývajících kanálech. Hodnoty jednotlivých odběrů jsou uloženy do paměti. Toto měření je provedeno celkově osmkrát,

poté jsou hodnoty průměrovány, z důvodu eliminace rušení, a po sběrnici odeslány nadřazenému systému. Systém poté vyhodnotí na základě velikosti jednotlivých proudových odběrů obsazenost daného úseku. Pokud jednotka detekuje proudový odběr na kanálu, respektive detekuje ho zapojení popsané v kapitole 4.4, způsobený úbytek napětí rozsvítí LED11 na Obr. 4.6. Tento signál je veden do mikrokontroléru. Pokud je detekován odběr proudu a má měřitelnou velikost, rozsvítí se příslušné LED kanálů na pravé straně DPS, označené jako CH.1 až CH.8.

Na konci smyčky je sledován stav H-můstku. Pokud by byl H-můstek přetížen za provozu, dojde k nahlášení chyby. Poté je signalizována chyba příslušnou barvou RGB LED. Všechny chyby a příslušné barvy jsou popsány v kapitole 5.4. V případě chyby je po sběrnici odeslána chybová hláška nadřazenému systému.

Funkci celého programu znázorňuje vývojový diagram na Obr. 6.1.



Obr. 6.1: Vývojový diagram programu pro řídicí jednotku

## 6.2 Funkce pro odesílání dat po sběrnici CAN

Při volání této funkce je nutno zadat čtyři argumenty. Prvním argumentem je identifikátor zprávy (CAN\_ID), očekáván je standardní 11bitový identifikátor, ale je možno zadat i rozšířený rámeček identifikátoru. Proto je potřeba do druhého argumentu ID\_Map zapsat buďto ID\_stand nebo ID\_exten. ID\_stand značí standardní 11bitový identifikátor a ID\_exten značí, že je očekáván rozšířený rámeček identifikátoru, tudíž 29bitový identifikátor (podrobněji v kapitole 5.1). Ukazatel data obsahuje adresu dat určených pro vysílání a argument data\_length slouží pro určení délky vysílaných dat v bajtech.

Na začátku funkce je vytvořena pomocná proměnná i pro počítání, kolikrát byl vykonán cyklus while. Poté je kontrolováno, zda je vysílací buffer zaplněný, pokud ano, funkce se ukončí. Pokud není zaplněný, pokračuje na nastavení identifikátoru, délky dat a odeslání dat. V cyklu while jsou na adresu registru CANTDSR0 postupně uloženy data určená k odeslání z ukazatele data. Cyklus while je zopakován maximálně osmkrát. Zároveň se v něm kontroluje délka příchozích dat. Jakmile jsou všechna data uložena, dojde k jejich odeslání a vyprázdnění vysílacího bufferu. Bliknutí zelené barvy RGB LED značí odeslání dat.

```

/===== ODESILANI PO CANU =====
//          ID zpravy | standartni/rozsireny | data k odeslani | delka dat
uint8_t CAN_TX(uint32_t CAN_ID, uint8_t ID_Map, uint8_t *data, uint8_t data_length){
    uint8_t i = 0; //pocet cyklu while
    if (CANTFLG == 0x00) { //kontrola zaplneneho bufferu
        return 1;
    }
    if (ID_Map == 0) { //standartni ramec ID
        CANTIDR0 = (uint8_t) (CAN_ID >> 3); //nastaveni identifikatoru
        CANTIDR1 = (uint8_t) (CAN_ID << 5); //nastaveni identifikatoru
    } else { //rozsireny ramec ID
    }
    CANTDLR = data_length; //nastaveni delky dat
    while (i < 8) { //ulozeni dat k odeslani
        if (i >= data_length) { //kontrola maximalni delky dat
            break;
        }
        *(&CANTDSR0 + i) = *(data + i); //naplneni registru
        i++;
    }
    CANTBSEL = 0x01; //odeslani dat z bufferu 1
    CANTFLG = 0x01; //vyprazdneni bufferu
    LED_RGB_blink = 1; //bliknuti RGB
    LED_RGB_color(0, 1, 0); //blikne zelene
    return 0;
}

```

## 6.3 Funkce pro měření proudového odběru

Po změření proudového odběru na všech měřících kanálech je nastavena proměnná `meas_current_flag` do logické jedničky. Poté jsou naměřené hodnoty přičteny k hodnotám naměřeným v předchozím měření. Jakmile je toto měření provedeno osmkrát, je vypočítán průměr z naměřených hodnot. Tyto hodnoty jsou uloženy do pole `send_meas_current`, které je v další části kódu odesláno. Následuje porovnání naměřeného proudového odběru s předem stanovenou hodnotou odběru, která značí přítomnost kolejového vozidla na kolejovém úseku. Zároveň se porovnává, zda zapojení pro detekci zaznamenalo proudový odběr na kanálu. Pokud jsou tyto dvě podmínky splněny, rozsvítí se příslušná LED kanálu (CH.1 až CH.8) na pravém okraji DPS. Jestliže podmínky nejsou splněny, příslušná LED zůstane zhasnutá. Porovnání je provedeno pro všechny měřící kanály a podle výsledků jsou rozsvíceny nebo zhasnuty diody. Na konci funkce je pole s průměrnými hodnotami vynulováno.

```
//===== DETEKCE PROUDU NA KANALECH =====
if (meas_current_flag == 1) {          //změřen odběr na všech kanálech
    for (i = 0; i < 8; i++) {          //uložení ze všech osmi hodnot z kanálů
        avg_current[i] += meas_current[i];
    }
    meas_count++;                      //počet měření
    detect_current();                  //funkce pro detekování proudu
    if (meas_count >= 8) {             //kontrola osmi naměřených hodnot na kanálu
        for (i = 0; i < 8; i++) {
            avg_current[i] /= 8;       //zprůměrování hodnot
            send_meas_current[i] = avg_current[i]; //uložení hodnoty

            //je detekován odběr proudu kolejovým vozidlem?
            if ((send_meas_current[i] > rail_train_current) &&
                (detect_current_channel[i] == 1)) {
                LEDS_occupancy(i, 1);  //rozsvícení příslušné LED
            } else {                    //nedetekován odběr proudu
                LEDS_occupancy(i, 0);  //zhasnutí příslušné LED
            }
            avg_current[i] = 0;        //vynulování průměrných hodnot
        }
        meas_count = 0;                //vynulování počtu měření
    }
    meas_current_flag = 0;              //vynulování pro další měření odběru
}
```

## 7 Závěr

Po prostudování a zhodnocení možností detekce obsazenosti kolejových úseků modelové železnice a v kombinaci s předcházející bakalářskou prací [1] byla vybrána kombinace detekce obsazenosti s využitím úbytku na diodě a s využitím úbytku na rezistoru.

Tyto dva způsoby detekce byly použity při navrhování zapojení první verze řídicí jednotky. Před navržením první verze řídicí jednotky byla vyzkoušena a ověřena funkce zapojení pro detekci proudového odběru kolejového úseku (kapitola 4.4), která byla poté do první verze implementována. Navržená řídicí jednotka umožňovala detekci obsazenosti osmi kolejových úseků. První verze řídicí jednotky byla osazena pro tři měřící kanály, naprogramována a následně byla vyzkoušena komunikace po sběrnici CAN. Jakmile řídicí jednotka umožňovala komunikaci po sběrnici CAN, byla navržena druhá verze řídicí jednotky.

Druhá verze řídicí jednotky eliminovala chyby vyskytující se v první verzi, například špatně použitý footprint kondenzátoru C24 (viz Obr. 4.6). V druhé verzi byl kladen důraz na efektivnější a úspornější uspořádání součástek na desce. Přičemž bylo využito umístění obou napájecích zdrojů do dolního levého rohu DPS, a to z důvodu snadnějšího umístění chladiče na desku. Druhá verze byla realizována pouze do stádia návrhu řídicí jednotky. Příčinou byla pandemie COVID-19 a tudíž nemožnost realizace navrženého řešení.

Vytvořený firmware pro první verzi řídicí jednotky je plně kompatibilní s druhou verzí řídicí jednotky. Firmware umožňuje komunikaci po sběrnici CAN, odesílání naměřených proudových odběrů na osmi měřících kanálech a přijímání zpráv pro konfiguraci řídicí jednotky kolejových úseků nadřazeným systémem.

V této práci je detailně zdokumentován navržený hardware, popsány jednotlivé funkce firmwaru a vysvětlena komunikace po sběrnici CAN pomocí komunikačního protokolu.

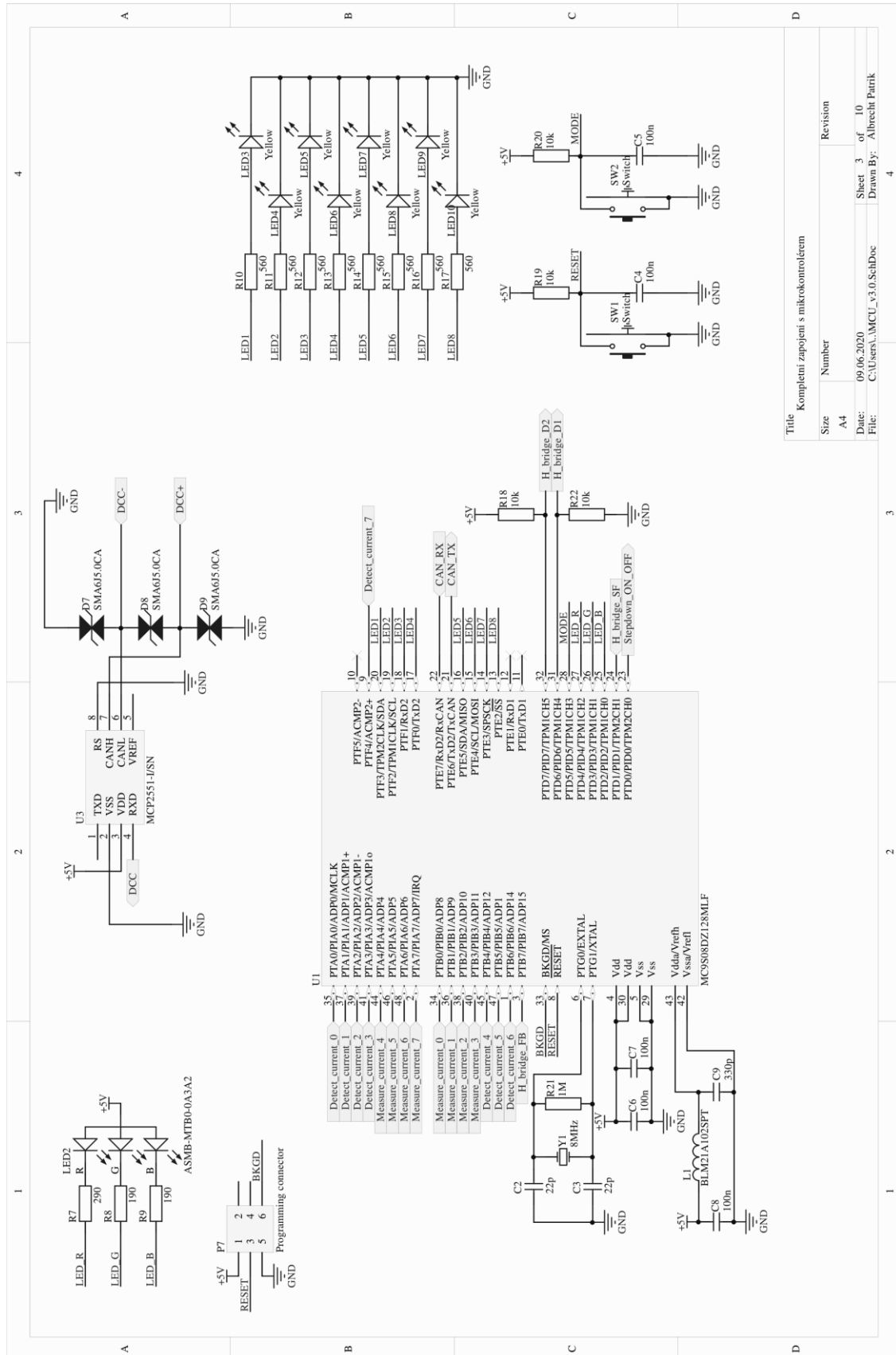
## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MALENA, Ondřej. *Řídicí jednotka kolejových úseků pro modelovou železnici*. 2018. Dostupné také z: [http://projekty.fel.zcu.cz/images/d/df/BP\\_Malena\\_2018\\_DCC\\_Repeater.pdf](http://projekty.fel.zcu.cz/images/d/df/BP_Malena_2018_DCC_Repeater.pdf). Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [2] SUNEK, Petr. *Návrh systému počítačového řízení modelového kolejiště*. 2006. Dostupné také z: [http://projekty.fel.zcu.cz/images/1/1c/DP\\_Sunek2006\\_Rizeni\\_kolejiste.pdf](http://projekty.fel.zcu.cz/images/1/1c/DP_Sunek2006_Rizeni_kolejiste.pdf). Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [3] WEISSAR, Petr, Jiří ŽAHOUR a Ondřej LUFINKA. *Vlaky TT: Projekty FEL* [online]. 9. 10. 2018 v 15:10 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://projekty.fel.zcu.cz/index.php/Vlaky`TT>
- [4] *RoboDoupě – web nejen o robotice: Digitální řízení modelové železnice – DCC* [online]. 2016, 2016-03-28 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/digitalni-rizeni-modelove-zeleznice-dcc/>
- [5] *RoboDoupě – web nejen o robotice: Digitální řízení modelové železnice – DCC* [online]. 2016-03-30 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/digitalni-rizeni-modelove-zeleznice-dcc-2-cast/>
- [6] *Fairchild Semiconductor Corporation: 1N4001 – 1N4007 – General-Purpose Rectifiers* [online katalogový list]. 2003 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/149/1N4007-888322.pdf>
- [7] *DCCWiki: Transponding* [online]. 20. 3. 2016 v 22:35 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://dccwiki.com/Transponding>
- [8] *DCCWiki: Term:RailCom* [online]. 4. 5. 2020 v 17:49 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://dccwiki.com/Term:RailCom>
- [9] *Semiconductor Components Industries: LM2576* [online katalogový list]. 2006 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.onsemi.cn/PowerSolutions/document/LM2576-D.PDF>
- [10] *Texas Instruments: TL2575, TL2575HV* [online katalogový list]. 2007 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://datasheet.octopart.com/TL2575-33IKTTR-Texas-Instruments-datasheet-14166871.pdf>
- [11] *NXP Semiconductors: MC34931* [online katalogový list]. 2016 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MC34931.pdf>
- [12] KŮS, Václav. *Elektrické pohony a výkonová elektronika*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-422-8.

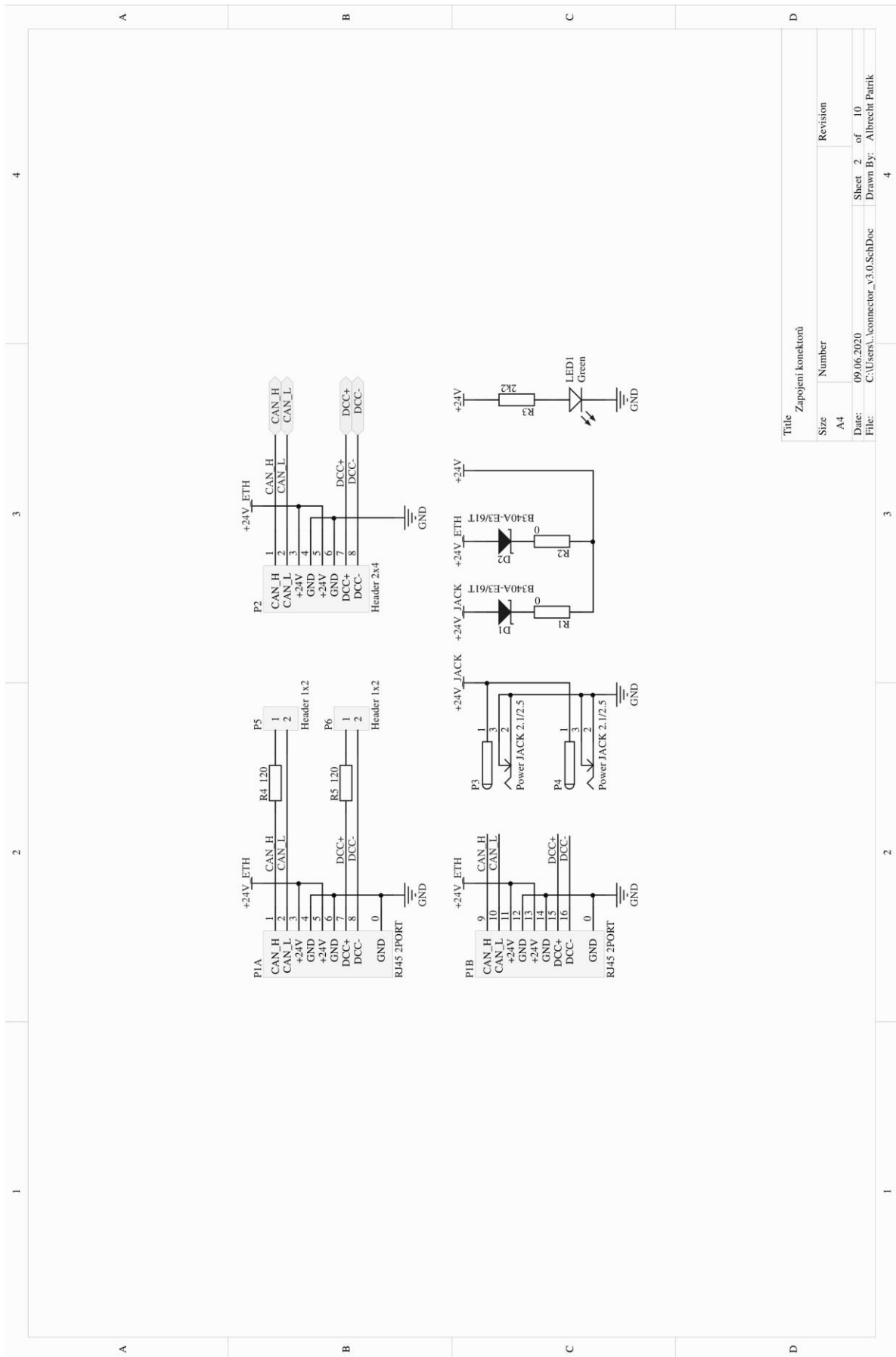


- [13] *Microchip Technology Inc.: MCP2551* [online katalogový list]. 2016 [cit. 2020-05-06].  
Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/268/20001667G-1115479.pdf>
- [14] *Texas Instruments: INAx181* [online katalogový list]. 2020 [cit. 2020-05-07].  
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina181.pdf?ts=1588866919109>
- [15] *Freescale Semiconductor, Inc.: MC9S08DZ128* [online katalogový list]. 2015 [cit. 2020-05-07].  
Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/302/MC9S08DZ128-1126879.pdf>

# Přílohy



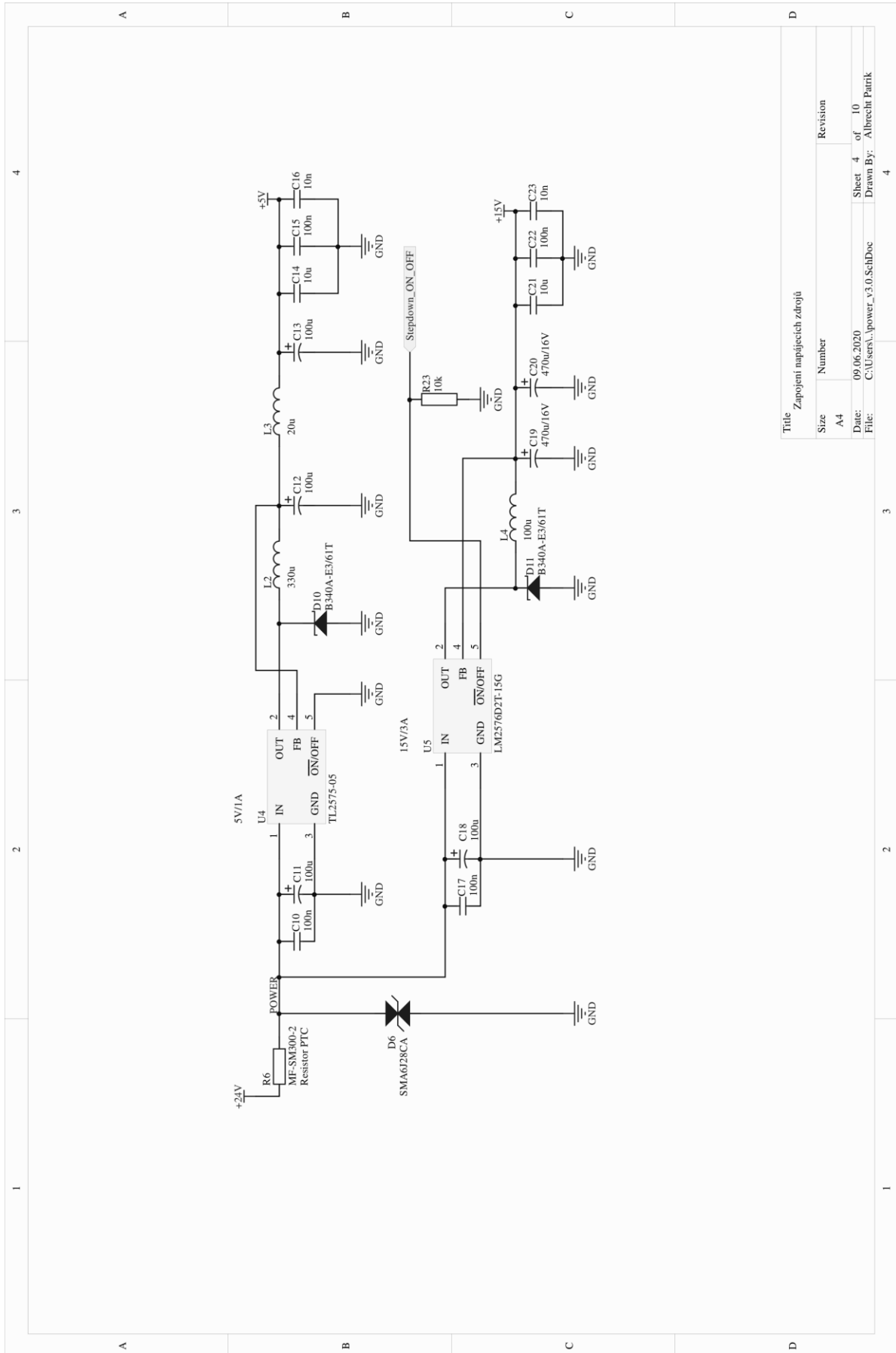
Příloha A: Kompletní schéma zapojení mikrokontroléru a příslušných periferií



Title: Zapojení konektorů

Size	Number	Revision
A4		
Date:	09.06.2020	Sheet 2 of 10
File:	C:\Users\A. Vonnector\3.0.SchDoc	Drawn By: Albrecht Patrik

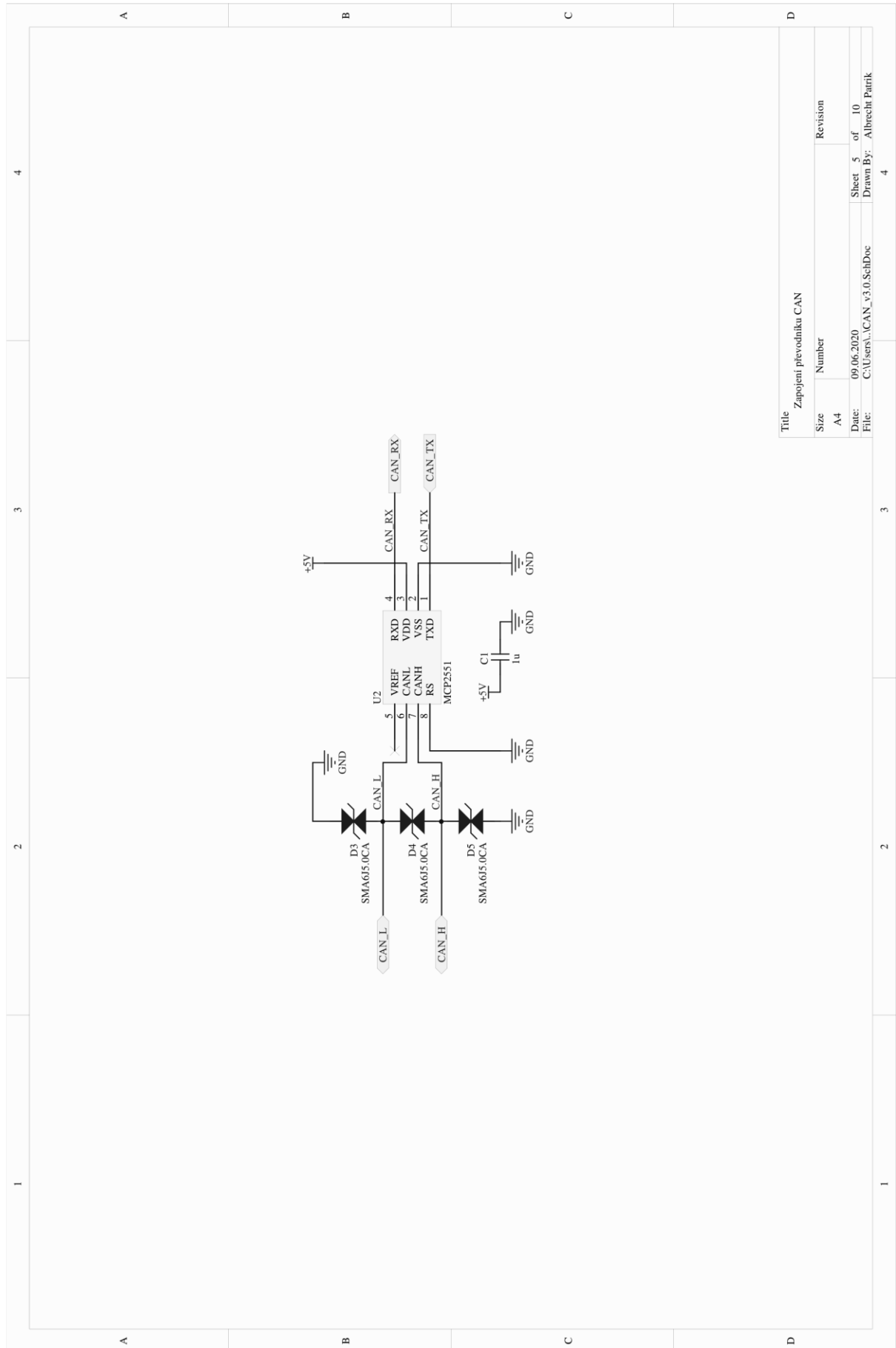
Příloha B: Kompletní schéma zapojení konektorů



Title: Zapojení napájecích zdrojů

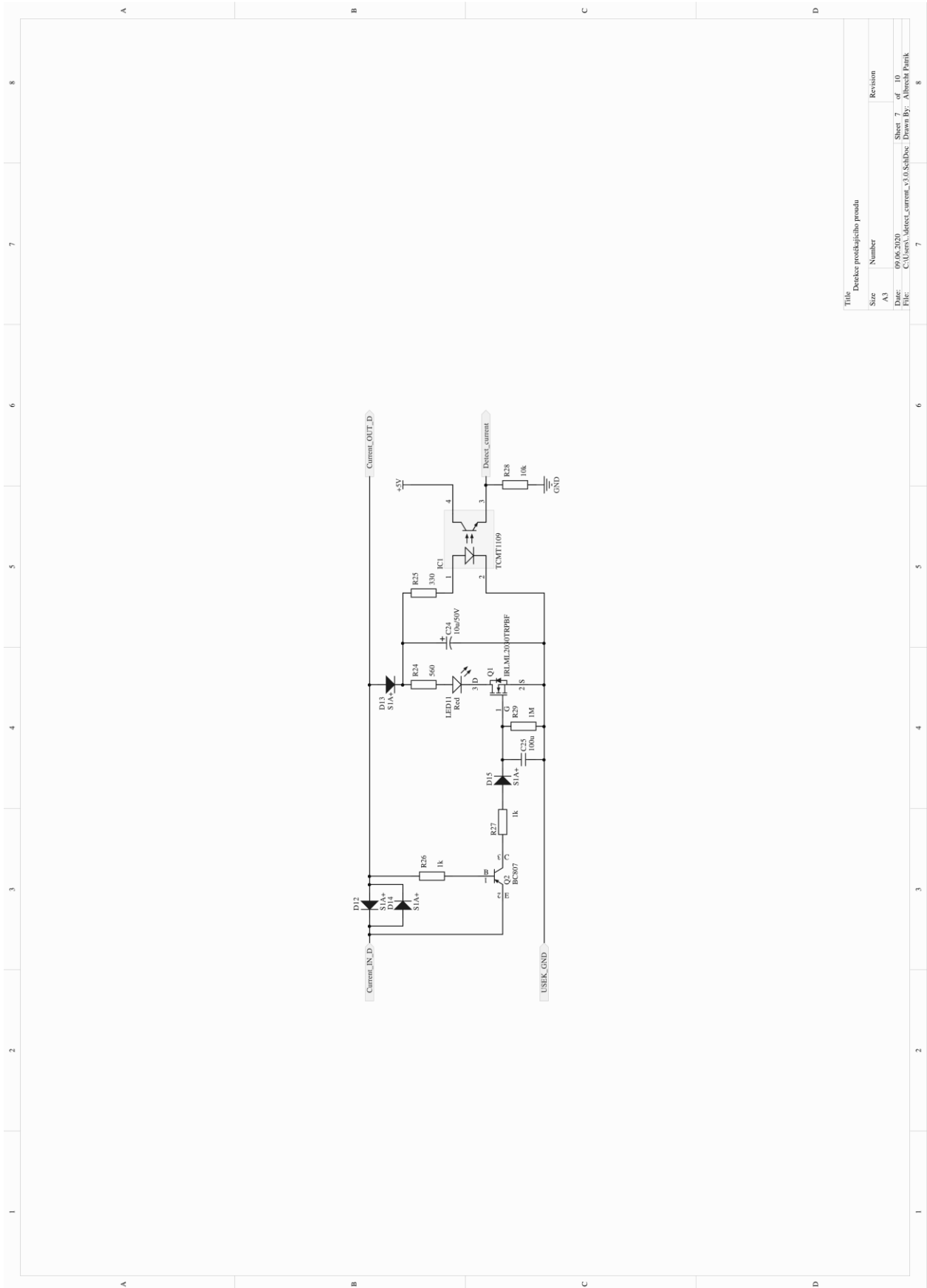
Size	Number	Revision
A4		
Date:	09.06.2020	Sheet 4 of 10
File:	C:\Users\...power_v3.0.SchDoc	Drawn By: Albrecht Patrik

Příloha C: Kompletní schéma zapojení napájecích zdrojů



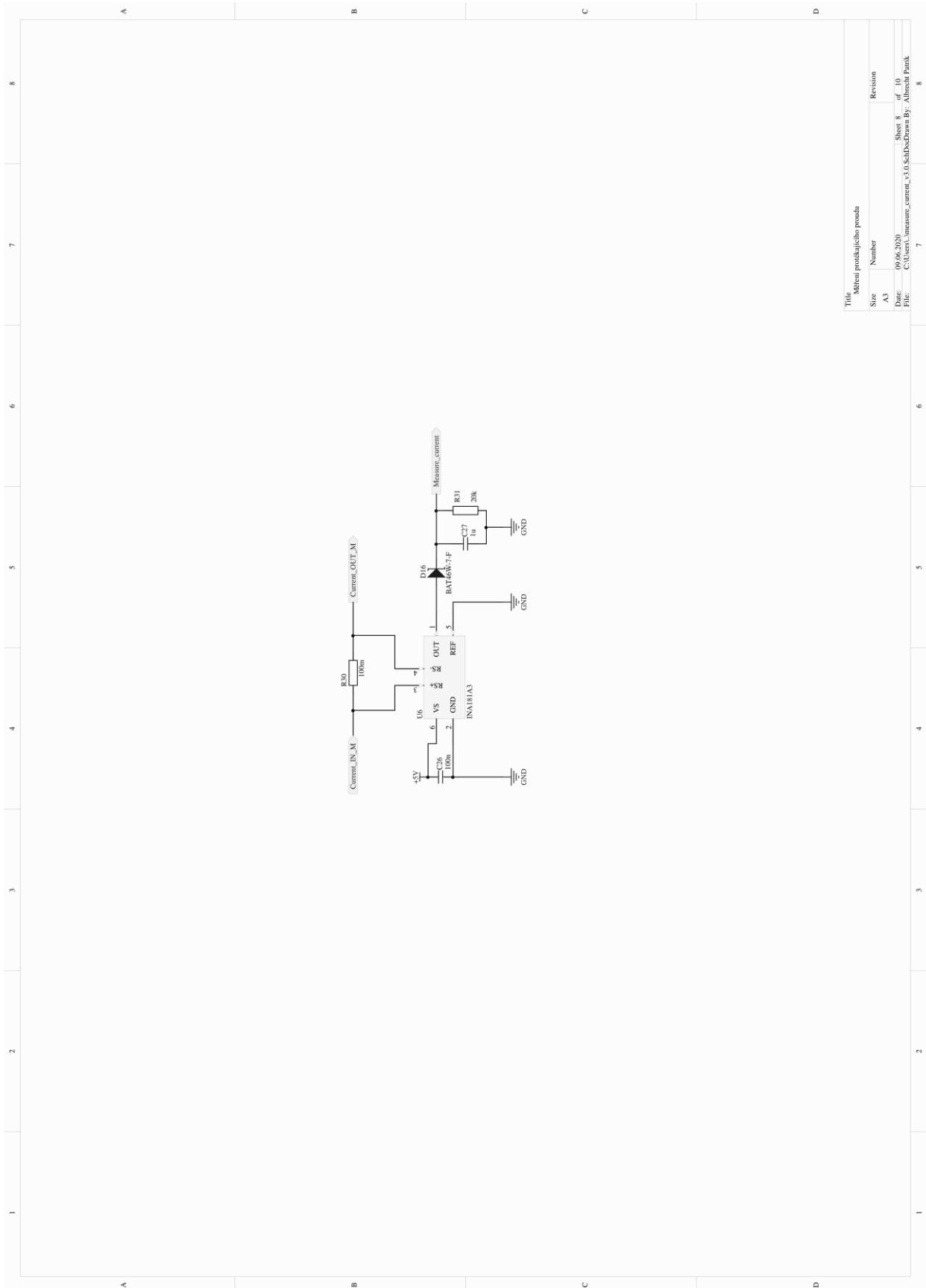
Title		Zapojení převodníku CAN	
Size	Number	Revision	
A4			
Date:	09.06.2020	Sheet	5 of 10
File:	C:\Users\...\CAN_v3.0.SchDoc	Drawn By:	Albrecht Patrik

Příloha D: Kompletní schéma zapojení obousměrného buďiče CAN sběrnice

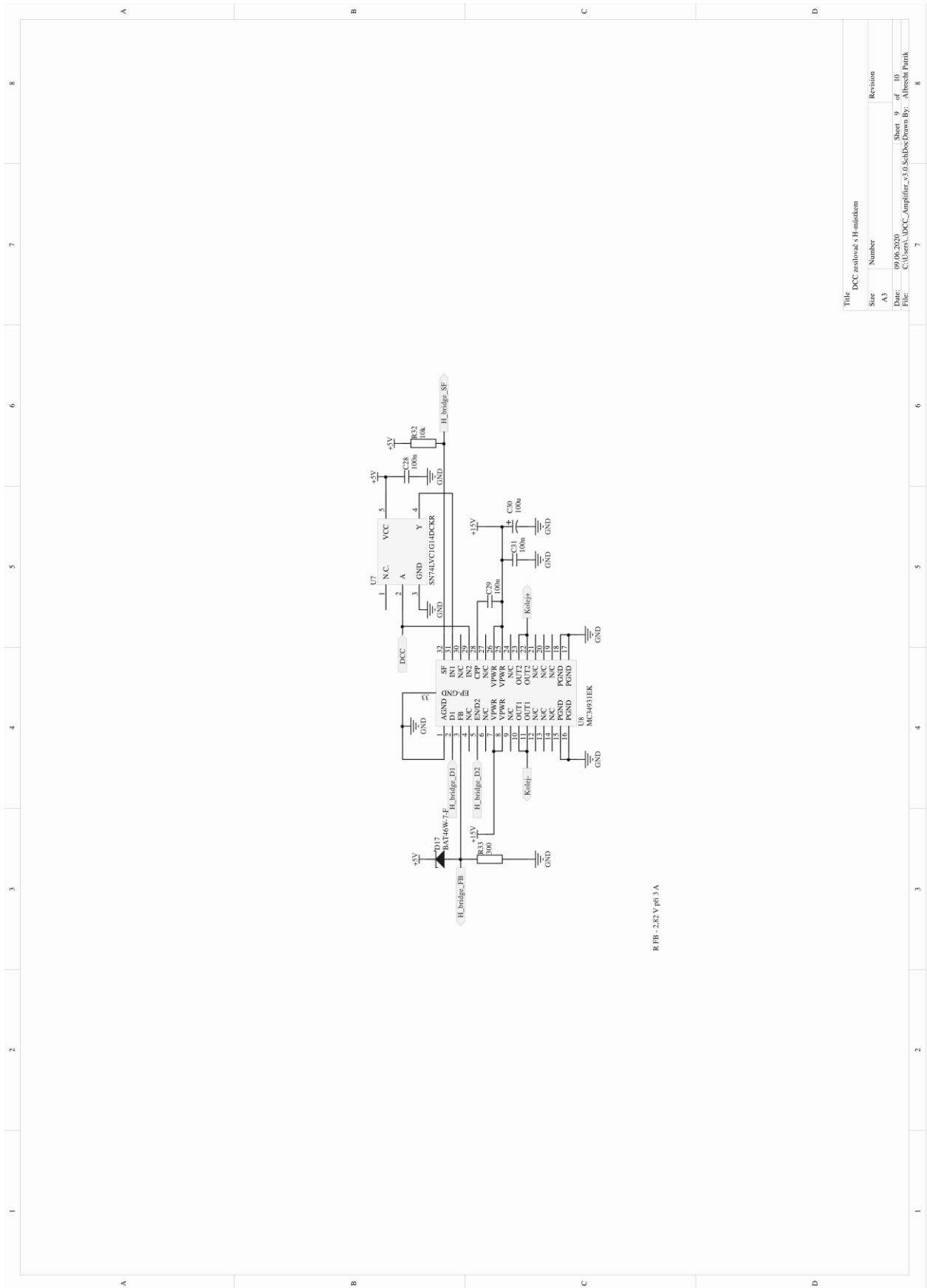


Title		
Detekce protijichového proudu		
Size	Number	Revision
A3		
Date:	09.06.2020	Sheet 7 of 10
File:	C:\Users\albrecht\current_v3.0.SchDoc	Drawn By: Albrecht Patrik

Příloha E: Kompletní schéma zapojení pro detekci proudového odběru



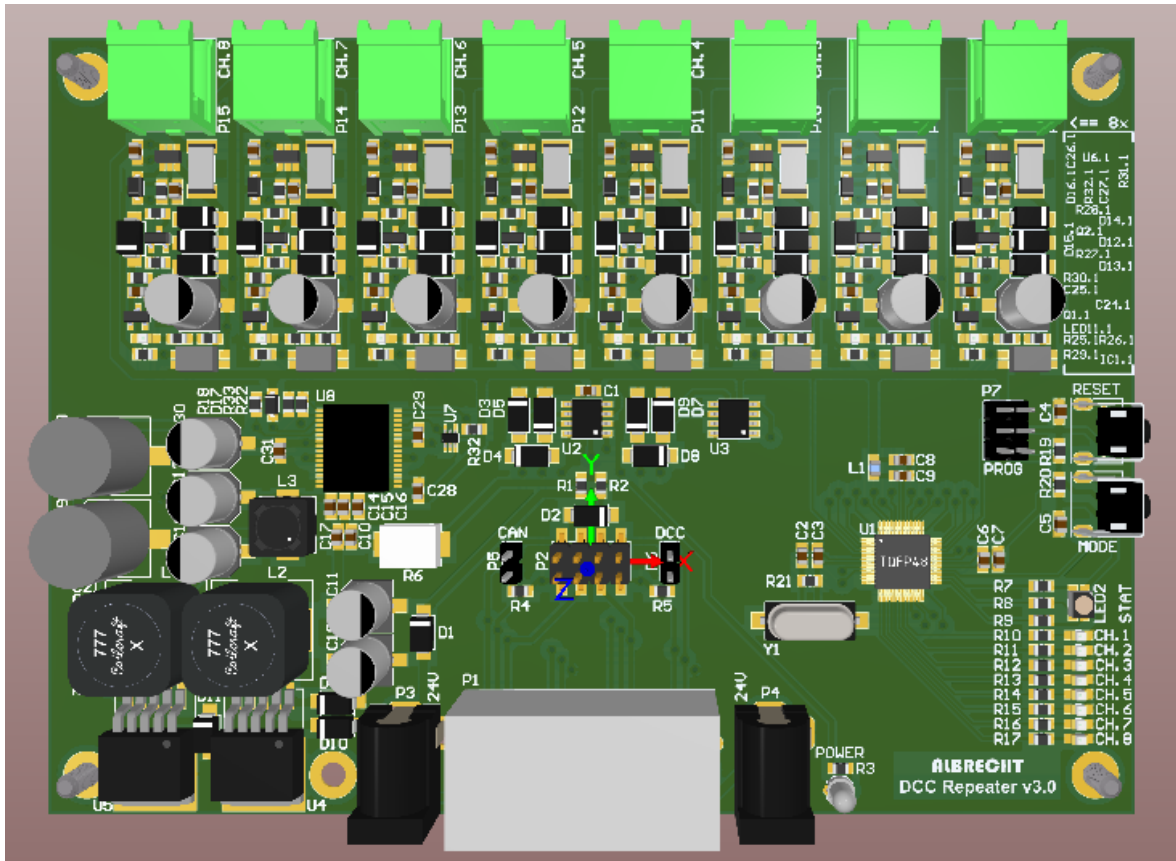
Příloha F: Kompletní schéma zapojení pro měření velikosti proudového odběru



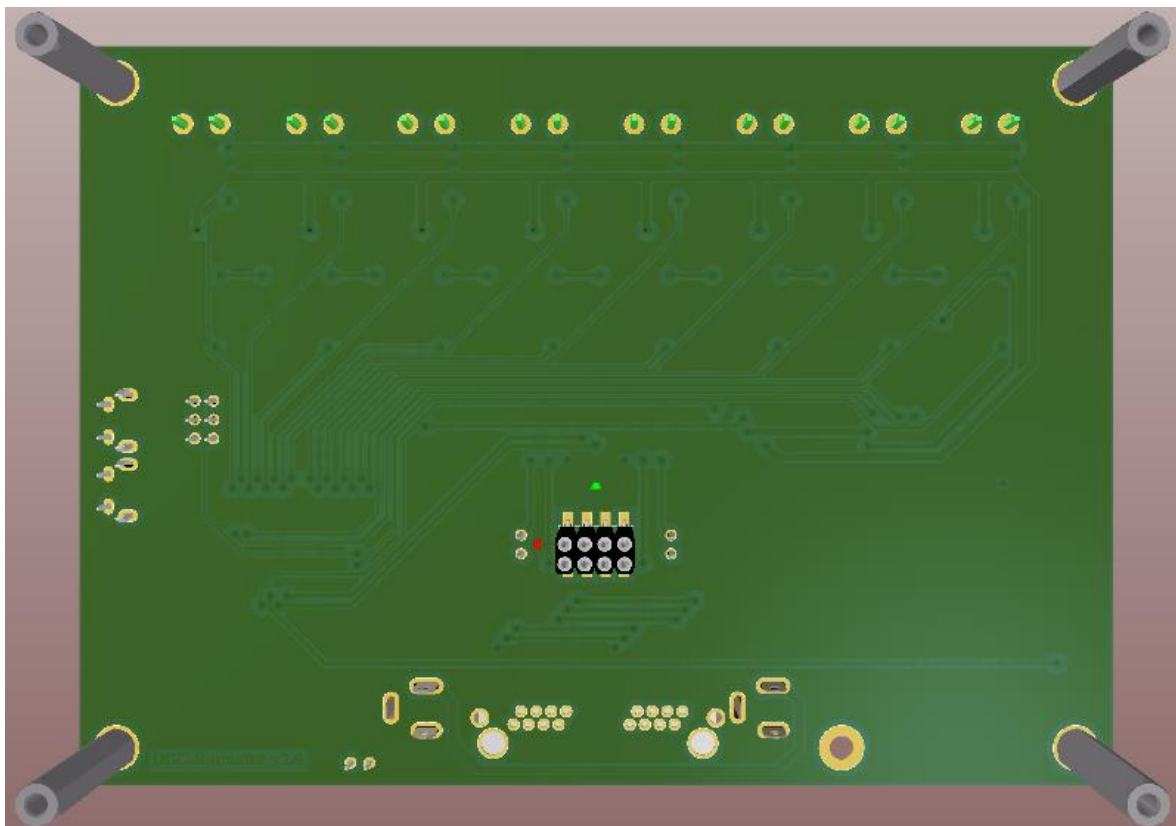
Title		Revision	
DCC zesilovač s H-můstkem		Number	Revision
Size	A3	9	10
Date:	09.06.2020	Sheet	9 of 10
File:	C:\Users\A.DCC\AppData\Local\Temp\Drawn By: Albrecht Patrik		

Příloha G: Kompletní schéma zapojení DCC zesilovače s H-můstkem





Příloha H: Návrh DPS řídicí jednotky - pohled shora



Příloha I: Návrh DPS řídicí jednotky - pohled zdola

## Příloha J: Seznam použitých součástek

Designator	Comment	Description	Quantity
C1, C27.1, C27.2, C27.3, C27.4, C27.5, C27.6, C27.7, C27.8	1u	Capacitor	9
C2, C3	22p	Capacitor	2
C4, C5, C6, C7, C8, C15, C22, C26.1, C26.2, C26.3, C26.4, C26.5, C26.6, C26.7, C26.8, C28, C29, C31	100n	Capacitor	18
C9	330p	Capacitor	1
C10, C14, C21	10u	Capacitor	3
C11, C12, C13, C18, C30	100u	Capacitor_POL	5
C16, C17, C23	10n	Capacitor	3
C19, C20	470u/16V	Capacitor_POL	2
C24.1, C24.2, C24.3, C24.4, C24.5, C24.6, C24.7, C24.8	10u/50V	Capacitor_POL	8
C25.1, C25.2, C25.3, C25.4, C25.5, C25.6, C25.7, C25.8	100u	Capacitor	8
D1, D2, D10, D11	B340A-E3/61T	Diode Schottky	4
D3, D4, D5, D7, D8, D9	SMA6J5.0CA	Transient Voltage Suppressor, Bidirectional	6
D6	SMA6J28CA	Transient Voltage Suppressor, Bidirectional	1
D12.1, D12.2, D12.3, D12.4, D12.5, D12.6, D12.7, D12.8, D13.1, D13.2, D13.3, D13.4, D13.5, D13.6, D13.7, D13.8, D14.1, D14.2, D14.3, D14.4, D14.5, D14.6, D14.7, D14.8, D15.1, D15.2, D15.3, D15.4, D15.5, D15.6, D15.7, D15.8	S1A+	Diode_S1A+	32
D16.1, D16.2, D16.3, D16.4, D16.5, D16.6, D16.7, D16.8, D17	BAT46W-7-F	Diode Schottky	9
IC1.1, IC1.2, IC1.3, IC1.4, IC1.5, IC1.6, IC1.7, IC1.8	TCMT1109	optočlen	8
L1	BLM21A102SPT	Inductor	1
L2	330u	Inductor	1
L3	20u	Inductor	1
L4	100u	Inductor	1
LED1	Green	LED	1
LED2	ASMB-MTB0-0A3A2	LED RGB	1
LED3, LED4, LED5, LED6, LED7, LED8, LED9, LED10	Yellow	LED	8
LED11.1, LED11.2, LED11.3, LED11.4, LED11.5, LED11.6, LED11.7, LED11.8	Red	LED	8
P1	RJ45 2PORT	RJ45 - 2 port	1
P2	Header 2x4	Header 2x4	1
P3, P4	Power JACK 2.1/2.5	Low Voltage Power Supply Connector	2
P5, P6	Header 1x2	Header 1x2	2
P7	Programming connector	Header 2x3	1
P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15	End_Terminal_2pos_5.00mm		8
Q1.1, Q1.2, Q1.3, Q1.4, Q1.5, Q1.6, Q1.7, Q1.8	IRLML2030TRPBF	Transistor MOSFET N	8
Q2.1, Q2.2, Q2.3, Q2.4, Q2.5, Q2.6, Q2.7, Q2.8	BC807	Transistor PNP	8
R1, R2	0	Resistor	2
R3	2k2	Resistor	1
R4, R5	120	Resistor	2

R6	MF-SM300-2	Resistor PTC	1
R7	290	Resistor	1
R8, R9	190	Resistor	2
R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R25.1, R25.2, R25.3, R25.4, R25.5, R25.6, R25.7, R25.8	560	Resistor	16
R18, R19, R20, R22, R23, R29.1, R29.2, R29.3, R29.4, R29.5, R29.6, R29.7, R29.8, R32	10k	Resistor	14
R21, R30.1, R30.2, R30.3, R30.4, R30.5, R30.6, R30.7, R30.8	1M	Resistor	9
R26.1, R26.2, R26.3, R26.4, R26.5, R26.6, R26.7, R26.8	330	Resistor	8
R27.1, R27.2, R27.3, R27.4, R27.5, R27.6, R27.7, R27.8, R28.1, R28.2, R28.3, R28.4, R28.5, R28.6, R28.7, R28.8	1k	Resistor	16
R31.1, R31.2, R31.3, R31.4, R31.5, R31.6, R31.7, R31.8	100m	Resistor_2512	8
R32.1, R32.2, R32.3, R32.4, R32.5, R32.6, R32.7, R32.8	20k	Resistor	8
R33	300	Resistor	1
S1, S2, S3, S4	Hex Spacer M3	Hexagon metal spacer M3	4
SW1, SW2	Switch	Tactile Switch Right Angle	2
U1	MC9S08DZ128MLF	NXP 8 Bit Microcontroller, CAN	1
U2	MCP2551	CAN Transceiver, 4.5 V - 5.5 V, 1 Mb/s	1
U3	MCP2551-I/SN	CAN Transceiver, 4.5 V - 5.5 V, 1 Mb/s	1
U4	TL2575-05	Buck (Step Down) Switching Regulator, 4.75V-40V Input, 5 V, 1A Output	1
U5	LM2576D2T-15G	Buck (Step Down) Switching Regulator, 4.75V-40V Input, 5 V, 1A Output	1
U6.1, U6.2, U6.3, U6.4, U6.5, U6.6, U6.7, U6.8	INA181	Current sense amplifiers are designed for costoptimized applications.	8
U7	SN74LVC1G14DCKR	Hradlo invertující	1
U8	MC34931EK	The MC34931EK is a monolithic H-bridge Power IC designed for any low voltage DC servo motor control application within the current and voltage limits stated in this specification.	1
Y1	8MHz	Crystal Oscillator	1