ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroniky a informačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Inovace elektroniky modelového kolejiště

Autor práce: **Bc. Patrik Albrecht**
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**

2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Patrik ALBRECHT**
Osobní číslo:	**E20N0047P**
Studijní program:	**N0714A060013 Elektronika a informační technologie**
Specializace:	**Elektronika**
Téma práce:	**Inovace elektroniky modelového kolejiště**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroniky a informačních technologií**

Zásady pro vypracování

Proveďte invovaci řídící elektroniky modelového kolejiště.

1. Zanalyzujte aktuální stav elektronického vybavení modelového lolejiště.
2. Zanalyzujte, stav a vlastnosti nově navržených řídících jednotek, určených pro modelové kolejiště, které jsou připraveny pro nasazení.
3. Navrhněte a realizujte úpravy hardwaru a softwaru současných jednotek tak, aby propojenmím řídících jednotek bylo možno realizovat funkční systém.
4. Ověřte funkčnost navržených úprav tím, že vytvoříte na modelovém kolejišti funkční celek.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**
Katedra elektroniky a informačních technologií

Datum zadání diplomové práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2022**

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická
L.S.

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

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

Abstrakt

Hlavní náplní této diplomové práce je inovace řídící elektroniky modelového kolejiště. Rozebrán je současný stav řídící elektroniky na modelovém kolejišti a také jsou zanalyzovány nově navržené řídící jednotky. Inovována je řídící jednotka kolejových úseků, která zastává funkci zesilovače DCC signálu do kolejnic a detekci obsazenosti kolejových úseků, a řídící jednotka přestavníků, která obstarává manipulaci s výhybkami. Tyto jednotky jsou naprogramovány, tak aby splňovaly požadavky při komunikaci s nadřazeným systémem po sběrnici CAN a plnily svou funkci. Také je důkladně zdokumentován komunikační protokol pro řídící jednotku kolejových úseků, řídící jednotku přestavníků, ale i pro řídící jednotku točny.

Klíčová slova

Modelové kolejiště TT, detekce obsazenosti kolejových úseků, měření procházejícího proudu, DCC, přestavník, mechanika přestavníku, mikro servopohon, výhybka, točna, CAN, programování v jazyce C, komunikační protokol

Abstract

The main content of this diploma thesis is the innovation of the controlling electronics of the model railway track. The current state of the controlling electronics on the model track and the newly designed control units are analyzed. The track section control unit, which acts as a DCC signal amplifier to the rails and track section occupancy detection, is innovated. The control unit of the electric switch mechanism, which manipulates with the railroad switches, is also innovated. These units are programmed to meet the requirements for communication with the superior system via the CAN bus and fulfil their function. The communication protocol for the track section control unit, the railroad switches mechanism control unit, and the turntable control unit is thoroughly documented.

Key words

TT model railway track, track section occupancy detection, current flow measurement, DCC, railroad switches, railroad switches mechanics, micro servo drive, railload switch, turntable, CAN, programming in C language, communication protocol

Poděkování

Na tomto místě je mou milou povinností poděkovat Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D. a Ing. Petru Weissarovi, Ph.D. za vedení mé diplomové 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

Úvod ..... - 1 -
1 Modelové kolejiště ..... - 2 -
1.1 Provedení modelového kolejiště ..... - 2 -
1.2 Způsoby řízení modelového kolejiště ..... - 4 -
1.2.1 Řízení analogové ..... - 4 -
1.2.2 Řízení digitální ..... - 4 -
1.3 Systém řízení modelového kolejiště ..... - 5 -
1.3.1 Převodník USB na CAN ..... - 6 -
1.3.2 DCC generátor ..... - 6 -
1.3.3 DCC zesilovače ..... - 6 -
1.3.4 Kontroléry přestavníků ..... - 6 -
1.3.5 Kontroléry návěstidel a kontrolér točny ..... - 6 -
1.3.6 Využití síťového kabelu UTP ..... - 6 -
2 Digitální příkazové ovládání ..... - 8 -
2.1 Parametry DCC signálu ..... - 8 -
2.2 DCC paket ..... - 9 -
2.3 Adresy DCC ..... - 10 -
2.4 Broadcast paket ..... - 11 -
2.5 Instrukční pakety ..... - 11 -
2.5.1 Základní paket pro rychlost a směr jízdy ..... - 12 -
2.5.2 Rozšířený paket pro rychlost a směr jízdy ..... - 13 -
2.5.3 Paket pro funkce první skupiny ..... - 13 -
2.5.4 Paket pro funkce druhé skupiny ..... - 14 -
2.5.5 Základní paket pro dekodéry příslušenství ..... - 14 -
2.5.6 Rozšířený paket pro dekodéry příslušenství ..... - 14 -
2.5.7 Idle paket ..... - 15 -
2.6 Četnost opakování paketů ..... - 15 -
2.7 Elektrická specifikace ..... - 15 -
3 Analýza aktuálního stavu řídící elektroniky ..... - 17 -
3.1 DCC generátor ..... - 17 -

3.2 DCC zesilovač ..... - 17 -
3.3 Kontroléry přestavníků ..... - 18 -
3.4 Kontroléry světelných a mechanických návěstidel ..... - 18 -
3.5 Kontrolér točny ..... - 19 -
3.6 Řídící software ..... - 19 -
4 Analýza stavu nově navržené řídící elektroniky ..... - 21 -
4.1 DCC zesilovač ..... - 21 -
4.2 Kontrolér přestavníků ..... - 22 -
5 Úpravy řídící jednotky kolejových úseků ..... - 23 -
5.1 Hardware ..... - 23 -
5.2 Software ..... - 24 -
5.2.1 Vývojový diagram ..... - 24 -
5.2.2 Realizace měření pomocí A/D převodníků mikrokontroléru ..... - 26 -
5.2.3 Detekce proudového odběru ..... - 26 -
5.2.4 Vizualizace obsazenosti jednotlivých úseků ..... - 28 -
6 Úpravy řídící jednotky přestavníků ..... - 29 -
6.1 Hardware ..... - 29 -
6.2 Software ..... - 29 -
6.2.1 Vývojový diagram ..... - 29 -
6.2.2 Přesné polohování mikro servopohonů ..... - 31 -
6.2.3 Přestavení výhybek ..... - 32 -
7 Přestavba mechaniky přestavníků ..... - 33 -
7.1 Současné provedení mechaniky přestavníků ..... - 33 -
7.2 Nové provedení mechaniky přestavníků ..... - 33 -
8 Komunikační protokol řídící jednotky kolejových úseků ..... - 36 -
8.1 Vytvoření identifikátoru zprávy ..... - 36 -
8.2 Zprávy pro konfiguraci řídící jednotky ..... - 39 -
8.2.1 Resetování řídící jednotky ..... - 39 -
8.2.2 Nastavení periody odesílání naměřených hodnot proudového odběru ..... - 40 -
8.2.3 Resetování H-můstku ..... - 40 -
8.2.4 Nastavení napájecího zdroje 15V/3A ..... - 41 -

8.2.5 Měření na zvolených měřících kanálech ..... - 41 -
8.2.6 Přečtení aktuálního stavu řídící jednotky ..... - 42 -
8.3 Zprávy odesílané řídící jednotkou ..... - 42 -
8.3.1 Aktuální stav řídící jednotky ..... - 42 -
8.3.2 Chybové hlášky ..... - 43 -
8.3.3 Odesílání naměřeného proudového odběru ..... - 44 -
8.4 Značení chování RGB LED ..... - 44 -
9 Komunikační protokol řídící jednotky přestavníků ..... - 45 -
9.1 Vytvoření identifikátoru zprávy ..... - 45 -
9.2 Zprávy pro konfiguraci řídící jednotky ..... - 46 -
9.2.1 Přesné polohování mikro servopohonů ..... - 46 -
9.2.2 Resetování řídící jednotky ..... - 47 -
9.2.3 Nastavení prodlevy mezi pootočením mikro servopohonů ..... - 47 -
9.2.4 Přečtení aktuálního stavu natočení mikro servopohonů ..... - 48 -
9.2.5 Nastavení softwarových dorazů ..... - 48 -
9.2.6 Výběr a přestavení výhybek ..... - 49 -
9.3 Zprávy odesílané řídící jednotkou ..... - 50 -
9.3.1 Aktuální stav natočení mikro servopohonů ..... - 50 -
9.3.2 Chybové hlášky ..... - 52 -
9.4 Značení chování RGB LED ..... - 53 -
10 Komunikační protokol řídící jednotky točny ..... - 54 -
10.1 Vytvoření identifikátoru ..... - 54 -
10.2 Zprávy pro konfiguraci řídící jednotky ..... - 54 -
10.2.1 Nastavení periody odesílání stavu točny ..... - 55 -
10.2.2 Nastavení požadované pozice točny ..... - 55 -
10.2.3 Smazaní vzniklých chyb v řídící jednotce ..... - 55 -
10.3 Zprávy odesílané řídící jednotkou ..... - 56 -
10.3.1 Aktuální stav točny ..... - 56 -
Závěr ..... - 57 -
Literatura ..... - 58 -

Seznam obrázků I
Seznam tabulek II
Přílohy IV

Seznam symbolů a zkratek

A/D	Analog to Digital Converter	Analogově digitální převodník
CAN	Controller Area Network	Sériová datová sběrnice
DCC	Digital Command Control	Digitální ovládání příkazy
DPS		Deska plošných spojů
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	Elektronicky přemazatelná programovatelná paměť pouze pro čtení
GND	Ground	Zemní svorka
ID	IDentifier	Identifikátor
LED	Light Emitting Diode	Elektroluminiscenční dioda
NMRA	National Model Railroad Association	Národní asociace modelových železnic
PWM	Pulse Width Modulation	Pulsně šířková modulace
RGB	Red-Green-Blue	Červená-zelená-modrá
SRS	System Reset Status register	Registrace stavu resetování systému
TCP	Transmission Control Protocol	Protokol kontroly přenosu
TT	Table Top	Deska stolu
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
UTP	Unshielded Twisted Pair	Nestíněná kroucená dvoulinka
XOR	eXclusive OR	Logická operace exkluzivní disjunkce

Úvod

Důvodem vzniku této diplomové práce bylo zdokonalení nebo úplné nahrazení řídící elektroniky na modelovém kolejišti, které je umístěno na Katedře elektroniky a informačních technologií Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Tato modelová železnice je využívána za účelem rozšíření praktických vědomostí v oblasti elektroniky, programování a řízení.

Cílem této diplomové práce je inovace řídící elektroniky na modelovém kolejišti. Bylo nutné zanalyzovat současný stav modelového kolejiště a vyhodnotit, které části řídící elektroniky je nutné vylepšit či úplně vyměnit za nové a co bude vhodné do budoucna dále zdokonalit.

Na začátku práce je rozebrána teoretická část problematiky. Popsána je struktura kolejiště, její uspořádání, způsob komunikace a řízení modelového kolejiště. Zanalyzované jsou jednotlivé současné řešení řídící elektroniky modelového kolejiště a jejich stav. Dále jsou rozebrány vlastnosti nově navržených řídících jednotek, určených pro modelové kolejiště, které jsou připraveny na nasazení. Práce obsahuje komunikační protokoly nově navržených řídících jednotek, které jsou důležité pro komunikaci s nadřazeným systémem. Na konci práce je zhodnocena funkčnost navržených úprav na modelovém kolejišti.

1 Modelové kolejiště

1.1 Provedení modelového kolejiště

Jedná se o modelové kolejiště v měřítku TT, což odpovídá měřítku 1:120 s rozchodem kolejnic 12 mm. Kolejiště má simulovat reálný provoz na železnici, včetně funkčních přestavníků, návěstidel a točny s depem pro lokomotivy. Kolejiště se skládá ze tří stanic, pracovně nazvaných jako Beroun, Karlštejn a Lhota, viz Obr. 1.1.

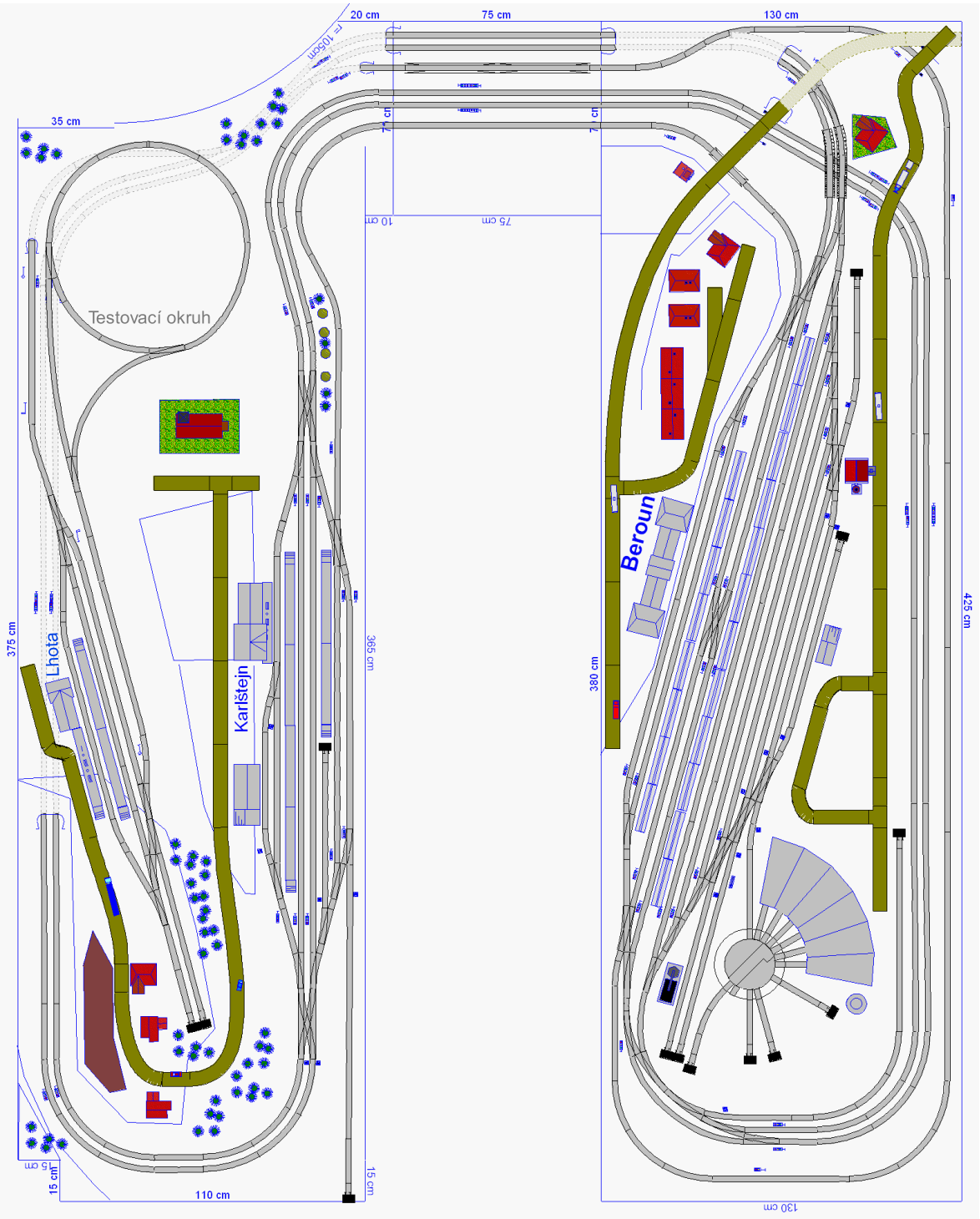
Stanice pracovně nazvaná Beroun, která je ze zmiňovaných stanic největší, disponuje dvanácti izolovanými úseky a točnou s depem pro komplexnější se přiblížení k reálnému provozu na železnici. Díky tomu je umožněn v této stanici hustější osobní a nákladní provoz a pohyb vlaků s vícero pevně spojenými soupravami, jelikož izolované úseky jsou zde nejdelší.

Druhá stanice, menší, pracovně nazvaná Karlštejn, umožňuje méně hustější osobní a nákladní provoz, než je tomu u stanice Beroun, jelikož trať obsahuje pouze sedm kolejových úseků.

Třetí a poslední stanice, pracovně nazvaná Lhota, představuje podhorskou stanici v Čechách. Je zde možný osobní běžný provoz a manipulační nákladní provoz v menším množství. Do této stanice vede 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 zaráždedly s nárazníky, tudíž není umožněno otočení vlaku.

Dále tu je přiveden nájezd na testovací okruh, který disponuje kompletně odděleným napájením kolejiště a řízením určeným pro zkoušení řídící elektroniky a lokomotiv, aniž by došlo k narušení či přerušení provozu na hlavní trati. Zaráždedla s nárazníky jsou také umístěny 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 kolejiště jsou od sebe taktéž navzájem izolovány. Úseky jsou od sebe co nejvhodněji oddělené, například před přestavníky nebo před návěstidly, aby bylo možné zjistit, na kterém úseku se lokomotiva nachází. Na celé železnici se nachází přibližně 300 izolovaných úseků. Řízení jednotlivých lokomotiv je realizováno generováním DCC protokolu. Komunikace nadřazeného systému s řídící elektronikou je zprostředkováno sběrnicí CAN.



Obr. 1.1: Schéma modelového kolejiště

1.2 Způsoby řízení modelového kolejiště

1.2.1 Řízení analogové

Tento způsob řízení kolejiště využívá stejnosměrného napětí připojeného na kolejnice. V lokomotivě se nachází stejnosměrný motor napájen tímto napětím. Změna amplitudy způsobí změnu rychlosti motoru neboli změny točivého momentu motoru lokomotivy. Se zvětšujícím se napětím roste rychlost lokomotivy, respektive točivého momentu motoru, a s klesajícím napětím rychlost lokomotivy 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. K překonání mechanického odporu při rozjezdu lokomotivy je potřebné určité minimální napětí. Tudíž se lokomotiva nerozjede plynule, ale s menším poskočením na začátku. Pro zlepšení jízdních vlastností lokomotivy lze využít řízení pomocí regulace PWM, avšak stále se jedná o řízení analogové. [1][2]

Analogové řízení má mnohé nevýhody. Nejzávažnější nevýhoda je nemožnost řízení každé lokomotivy separátně, jelikož připojené stejnosměrné napětí uvede do pohybu všechny lokomotivy nacházející se na kolejišti. Pokud by bylo potřeba zrychlit, zpomalit nebo zastavit, udělají to všechny lokomotivy na modelovém kolejišti. Jedno z přijatelných řešení je rozdělení železnice na jednotlivé úseky a každý napájet samostatně. Připojení stejnosměrného napětí na konkrétní úsek způsobí rozjetí lokomotivy. 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 kolejiště. [1][2]

Další nevýhodou je, že tento způsob řízení nedovoluje ovládání výhybek a návěstidel na modelovém kolejišti. Ovládání by muselo být realizováno pomocí odpovídajících vodičů nezávislých na řízení lokomotiv.

Celkově tento způsob řízení neposkytuje takové schopnosti jako řízení digitální.

1.2.2 Řízení digitální

Na rozdíl od řízení analogového, kde se využívá změna amplitudy stejnosměrného napětí, se zde používá signál o konstantní amplitudě stejnosměrného napětí se zakódovanou informací pro řízení lokomotiv. Takovýto signál je označován jako DCC signál. Signál musí být patřičně zesílen na dostačující výkonovou úroveň. Jakmile je signál zesílen, je poté usměrněn a využit na napájení ostatních zařízení na kolejišti, jako například lokomotivy, výhybky, návěstidla, vagóny nebo i budovy. Aby bylo možné ovládat všechna zařízení DCC

signálem, musí disponovat DCC dekodérem, který v DCC signálu nalezne adresu. Jakmile je nalezená adresa shodná s uloženou adresou v dekodéru, je vykonána příslušná akce. [1][2]

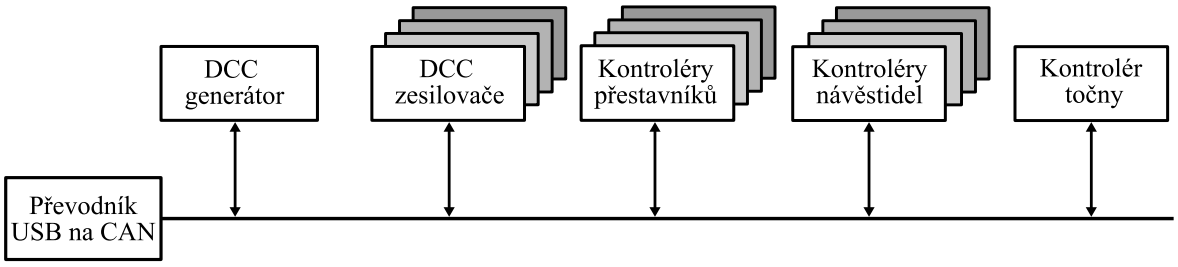
DCC signál je veden pomocí dvou vodičů, respektive pro lokomotivy v podobě dvou kolejnic. Díky tomu je zapojení přehlednější a značně se ušetří materiál. Výhodou digitálního řízení je možnost pomocí adresovatelného DCC signálu provozovat nezávisle na sobě více lokomotiv na jednom úseku železnice, kdežto u analogového řízení toto není možné. Příslušná lokomotiva se dá do pohybu, jakmile přijme zprávu s adresou a datovými instrukcemi pro ní určenou (více viz kapitola 2.3). Každé zařízení na modelovém kolejišti musí být zapojeno paralelně ke dvěma vodičům s DCC signálem (viz Obr. 1.2 a Obr. 1.3).

1.3 Systém řízení modelového kolejiště

Aktuální systém, který se nachází na modelovém kolejišti je sestaven z několika úrovní. Je rozdělen na jednodušší úrovně, respektive prvky neboli řídící jednotky, které jsou obsluhovány a diagnostikovány pomocí sběrnice CAN.

Celému systému modelového kolejiště je nadřazen řídící počítač, na kterém je spuštěn řídící software. Zde je využito stolního počítače, umístěného přímo u modelového kolejiště, s připojeným převodníkem z USB na sběrnici CAN. Řídící software pro obsluhu modelového kolejiště byl navržen v rámci bakalářské práce v roce 2019 [3]. Současný řídící software umožňuje potřebné připojení celého kolejiště přes konektor USB. Disponuje uživatelským prostředním, díky kterému je možno kolejiště ovládat manuálně nebo sledovat jízdní řád modelového kolejiště. Software je navržen tak, aby bylo jednoduché přidání dalších řídících jednotek. Hlavním důvodem vytvoření vlastního softwaru pro modelové kolejiště bylo, že řídící jednotky jsou velice specializované a žádný jiný komerčně dostupný způsob řízení nesplňoval stanovené požadavky.

Struktura řízení kolejiště je blokově znázorněna na Obr. 1.2. Propojení mezi jednotlivými prvky na modelovém kolejišti je realizováno standartním osmižílovým stíněným UTP kabelem (viz kapitola 1.3.6), s výjimkou připojení převodníku USB na CAN do řídícího počítače.



Obr. 1.2: Koncepce řízení modelového kolejiště [4]

1.3.1 Převodník USB na CAN

Převodník je připojen k řídícímu počítači pomocí USB konektoru. Obstarává převod sériového signálu z počítače na signál odpovídající normě pro sběrnici CAN. Převodník je pomocí nestíněné dvoulinky připojen přes konektor RJ-45 do DCC generátoru.

1.3.2 DCC generátor

Tato jednotka přijímá instrukce od nadřazeného řídícího počítače přes sběrnici CAN a převádí je na signál DCC, který slouží pro řízení lokomotiv. Generátor je pouze jeden na celém kolejišti, jelikož DCC signál je pro všechny úseky na modelovém kolejišti jednotný. Signál je nutno patřičně zesílit na dostačující výkonovou úroveň před přivedením přímo do kolejnic. Zmíněnou funkci obstarávají DCC zesilovače.

1.3.3 DCC zesilovače

Jak již bylo psáno výše, tyto jednotky zesilují signál DCC na potřebnou výkonovou úroveň. Také současně provádějí měření odběru proudu lokomotivami na jednotlivých úsecích kolejiště a zpětně zasílají zprávu o obsazenosti úseků nadřazenému systému, respektive řídícímu počítači, který se stará o jejich vyhodnocení.

1.3.4 Kontroléry přestavníků

Tyto jednotky využívají, oproti předchozím jednotkám, komunikaci výhradně přes sběrnici CAN. Sníží se tím nároky na DCC generátor, který je tím pádem využíván výhradně pro řízení lokomotiv. Kontrolér využívá pro přestavení výhybek digitální mikro servopohony, které poskytují možnost spolehlivějšího, rychlejšího a přesnějšího přestavení výhybek.

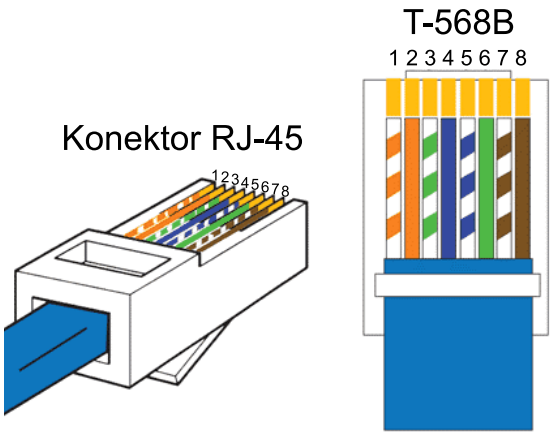
1.3.5 Kontroléry návěstidel a kontrolér točny

Kontrolér návěstidel ovládá světelné signály návěstidel, které jsou zde pro lepší a důvěryhodnější přiblížení se reálnému provozu na železnici. Další jednotkou je například kontrolér pro manipulaci s točnou.

1.3.6 Využití síťového kabelu UTP

Nadřazený řídící systém je propojen se všemi řídícími jednotkami prostřednictvím standartního osmižílového stíněného UTP kabelu s konektorem typu RJ-45. Jeho zapojení lze vidět v Tab. 1.1 a na Obr. 1.3. Sběrnice CAN, po které komunikuje nadřazený řídící systém s ostatními jednotkami, má vyhrazené piny 1 a 2. Pro připojení napájení 24 V jsou

vyhrazeny piny 3 a 5 a piny 4 a 6 slouží pro připojení nulového potenciálu. Na zbylé piny 7 a 8 je přiveden řídící signál DCC.



Obr. 1.3: Zapojení konektoru RJ-45 se zakresleným barevným rozlišením vodičů [4]

Tab. 1.1: Přiřazení pinů konektoru RJ-45 [4]

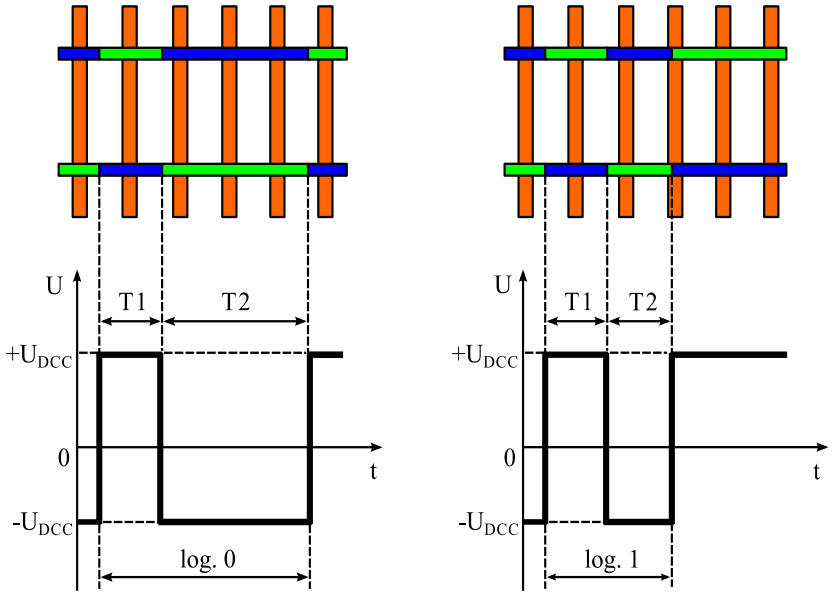
Číslo pinu	**Signál**
1	CAN_H
2	CAN_L
3	24 V
4	GND
5	24 V
6	GND
7	DCC+
8	DCC-

2 Digitální příkazové ovládání

Komunikační protokol DCC neboli také DCC standart, je systém používaný při řízení lokomotiv definovaný společností NMRA. Tento standart využívá adresovou komunikaci, to znamená, že je umožněno nejenom řízení lokomotiv a vagónů na kolejišti, ale taktéž možnost jednoduše ovládat jednotlivá příslušenství kolejiště, jako například výhybky, návěstidla, točnu nebo i osvětlení budov v okolí tratě.

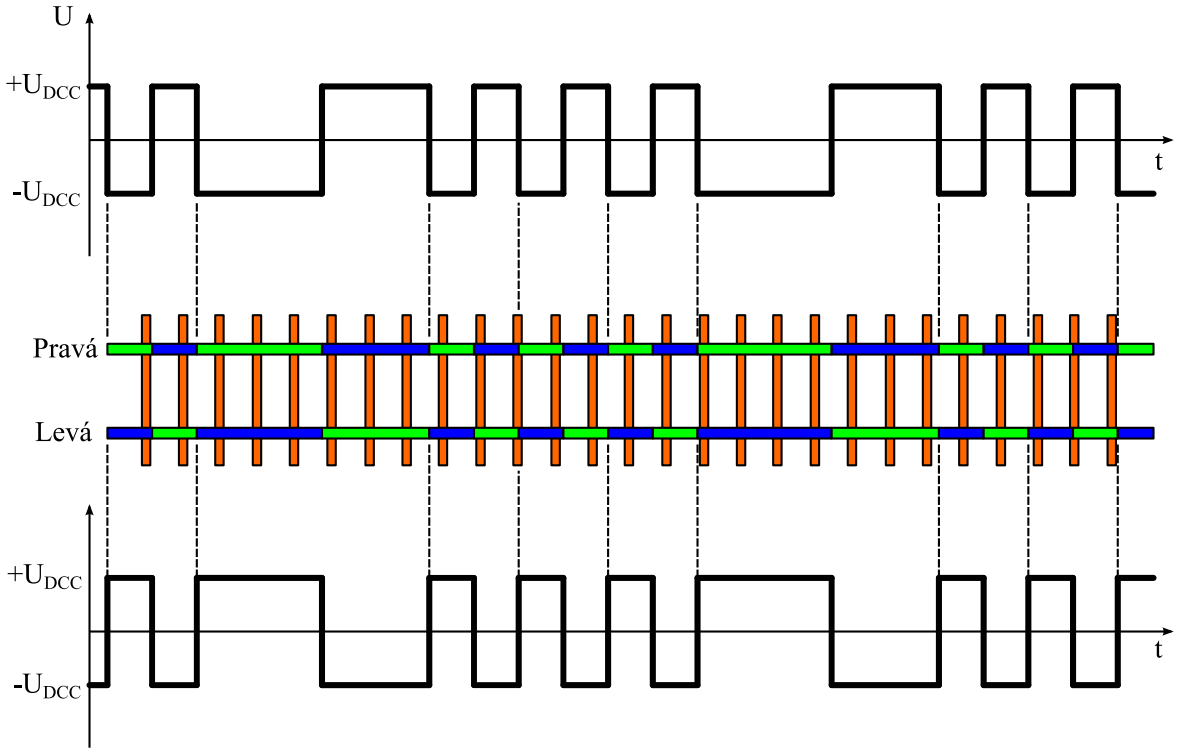
2.1 Parametry DCC signálu

DCC signál je symetrický signál obdélníkového tvaru, který je přepínán v čase pro vyjádření logických hodnot signálu. V kolejnicích je využíván signál kódovaný prostřednictvím šířky impulzu. Logická jednička je zakódována v periodě, která je složená ze dvou intervalů s identickou délkou trvání. Je reprezentována jako kladný signál v pravé kolejnici intervalem T1 o délce trvání 58 µs (přesněji 55 až 61 µs) [5] a v levé kolejnici intervalem T2 taktéž o délce trvání 58 µs (také platí rozsah 55 až 61 µs) [5]. Současně s tím je v druhé kolejnici po tuto dobu přítomna záporná část signálu (viz Obr. 2.2). Zatímco se u logické jedničky délky intervalu T1 a T2 nesmí lišit, u logické nuly tomu tak není, zde se intervaly lišit smí (viz Obr. 2.1). Logická nula je reprezentována jako kladný signál v pravé kolejnici po dobu rovnou nebo větší než 100 µs (přesněji 95 až 9900 µs) [5] a poté kladný signál v levé kolejnici po dobu 100 µs (taktéž platí rozsah 95 až 9900 µs) [5]. I zde, díky tomuto signálu o symetrickém charakteru, nedojde při fyzickém otočení lokomotivy na železnici k poškození jeho řídící logiky.



Obr. 2.1: 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, jelikož ty poté uvažují tento digitální signál za PWM modulaci. Je tedy možné regulovat velikost stejnosměrné složky signálu poměrem intervalů pro logickou nulu. Zvýšením poměru T1 ku T2 lze docílit rozdílu potenciálu mezi kolejnicemi a rozběhnutí stejnosměrného motoru v analogových lokomotivách. V opačném případě snížení poměru T1 ku T2 způsobí změnu směru jízdy lokomotivy. Příklad průběhu DCC signálu lze vidět na Obr. 2.2. Je zde znázorněn průběh signálu nacházející se v levé a pravé kolejnici, zobrazená posloupnost logických hodnot je 1011 1011. 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.

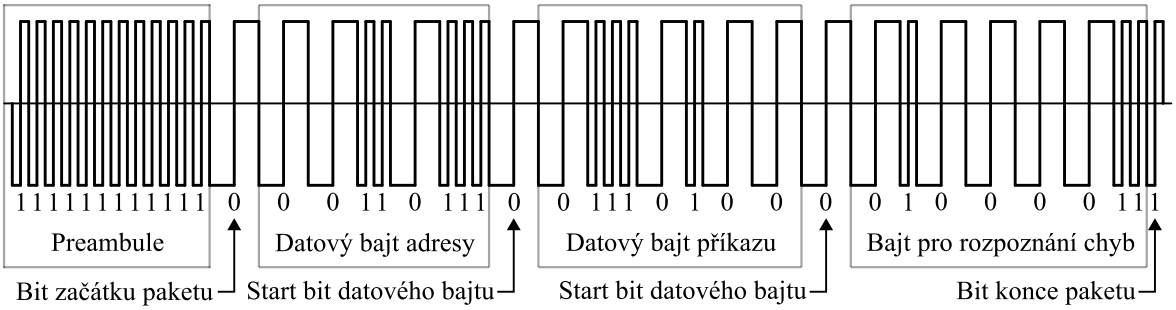


Obr. 2.2: Příklad průběhu signálu DCC v levé a pravé kolejnici

2.2 DCC paket

K zajištění spolehlivé a bezpečné komunikace se využívá tzv. paketů. Paket je zpráva, která má definovaný začátek a konec, aby byla jednoznačně rozeznatelná v toku dat a při případné ztrátě a obnově spojení během jízdy vlivem poskakování lokomotivy na kolejích. Pakety mají přesně stanovené uspořádání, které lze vidět na Obr. 2.3. Skládají se ze čtyř částí, z preambule, adresové části, datové části a kontrolní části. Jednotlivé části paketu mají stejnou délku, přesněji v násobcích 8 bitů, kromě preambule, která značí začátek paketu,

poněvadž musí obsahovat více než 10 jedniček přijatých těsně za sebou. Za preambulí následuje bit s logickou hodnotou nula, který preambuli ukončí. Tento bit je nazýván jako „bit začátku paketu“. Hned za touto logickou nulou následuje bajt, který určuje, komu je zpráva určena, tzv. „datový bajt adresy“. Z důvodu, aby nedocházelo k řadě několika jedniček, je za tímto bajtem opět oddělovací bit s logickou hodnotou nula. Tento bit se označuje jako „start bit datového bajtu“, někdy též označovaný jako „separátor“. Poté následuje prostor pro dalších maximálně 6 datových bajtů, taktéž oddělených logickou nulou. Poslední bajt slouží pro kontrolu správnosti přeneseného paketu. K jeho vytvoření se používá logická funkce XOR všech předcházejících bajtů v paketu. Za tímto posledním bajtem se nachází bit, s logickou hodnotou jedna, který ukončuje paket. Díky tomu je možné rozpoznat, že bude následovat další paket.



Obr. 2.3: Příklad kompletního DCC paketu [6]

2.3 Adresy DCC

Pro rozpoznání kterému zařízení na modelovém kolejišti je vyslaná zpráva určena, se využívá možnosti adresovatelnosti zařízení. Norma NMRA S-9.2.1 [7] předepisuje pro každé zařízení obsahující DCC dekodér unikátní adresu. Rozdělení adres lze vidět v následující tabulce Tab. 2.1.

Tab. 2.1: Rozdělení adresového prostoru DCC

Adresa		**Použití**
dec	**bin**	
0	0000 0000	Broadcast paket
1 – 127	0000 0001 – 0111 1111	Multifunkční dekodéry se 7bitovou adresou
128 – 191	1000 0000 – 1011 1111	Dekodéry příslušenství s 9 nebo 11bit. adresou
192 – 231	1100 0000 – 1110 0111	Multifunkční dekodéry se 14bitovou adresou
232 – 254	1110 1000 – 1111 1110	Vyhrazeno pro budoucí použití
255	1111 1111	Idle paket

2.4 Broadcast paket

Adresa s dekadickou hodnotou 0 je ve standartu NMRA S-9.2 [6] výhradně používána jako adresa pro broadcast. Jakýkoliv digitální dekodér přijímající DCC paket s touto adresou musí, bez ohledu na svou přidělenou adresu, tento paket přijmout. Tudíž instrukci obsaženou v tomto paketu musí provést všechny dekodéry. Proto se taky tato adresa využívá většinou jako funkce resetu nebo k nouzovému zastavení všech lokomotiv na kolejišti [6]. Formát paketu s touto adresou znázorňuje Tab. 2.2. Jak bylo řečeno, adresní bajt obsahuje osm logických nul. Obsah datového bajtu se liší podle toho, zda se jedná o resetovací paket či paket pro nouzové zastavení lokomotiv. Při resetu obsahuje datový bajt osmkrát logickou nulu, při nouzovém zastavení jsou možné čtyři způsoby zastavení (více viz Tab. 2.5). Paket dále obsahuje bajt pro rozpoznání chyb, kde písmeno ”E” značí bit pro detekci chyb.

Tab. 2.2: Formát broadcast paketu [6]

		adresní bajt		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	0000 0000	0	01DC 000S	0	EEEE EEEE	1

2.5 Instrukční pakety

V Tab. 2.1 si lze všimnout, že jednotlivé rozsahy v adresovém prostoru DCC se, kromě adres 0 a 255, mění v binární podobě jen v některých bitech. Tyto bity jsou obvykle uváděny v dokumentacích jako adresy jednotlivých dekodérů. V následující tabulce Tab. 2.3 jsou tyto bity zaměněny za písmeno ”A”. Prefixy, neměnné bity v jednotlivých rozsazích, se v dokumentacích dekodérů neobjevují, jelikož se dají určit podle toho, zda se jedná o příslušenství či lokomotivy, které se dělí dále podle velikosti adresy na 7bitovou a 14bitovou. Norma NMRA S-9.2.1 doporučuje tyto dva typy velikostí adres nekombinovat na jednom modelovém kolejišti, aby nedocházelo k nedorozuměním při ovládání lokomotiv.

Tab. 2.3: Rozdělení adresového prostoru DCC podle prefixu [7]

Adresa		**Použití**
dec	**bin**	
1 – 127	0AAA AAAA	Multifunkční lokomotivní dekodéry se 7bitovou adresou
128 – 191	10AA AAAA	Dekodéry příslušenství s 9 nebo 11bitovou adresou
192 – 223	110A AAAA	Multifunkční lokomotivní dekodéry se 14bitovou adresou
224 – 231	1110 0AAA	
232 – 254	1110 1AAA	Vyhrazeno pro budoucí použití

Dále je uvedeno několik příkladů nejpoužívanějších paketů.

2.5.1 Základní paket pro rychlost a směr jízdy

Formát tohoto paketu lze vidět v Tab. 2.4. V adresním bajtu se nachází buď adresa lokomotivy nebo adresa vagónu. Adresy lokomotiv používaných na modelovém kolejišti jsou vypsány v Tab. 2.6.

Tab. 2.4: Formát základního paketu pro rychlost a směr jízdy [6] [7]

		adresní bajt		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	0AAA AAAA	0	01DC SSSS	0	EEEE EEEE	1

Datový bajt je rozdělen do čtyř částí. První část, bity 7 a 6 s hodnotou 01, je předpona charakteristická pro tento jízdní paket. Druhá část, bit 5, označená písmenem ”D” značí směr jízdy. Logická nula v tomto bitě znamená jízdu zpět a logická jednička znamená jízdu vpřed. Třetí část, bit 4, označená písmenem ”C” byla původně určena pro ovládání předních a zadních světel lokomotivy. Dnes má význam nejméně významného bitu pro rychlostní stupeň. Nicméně je umožněna zpětná kompatibilita a lokomotivě stále svítí světla, jen jsou teď řízeny směrem jízdy. Poslední část, bity 3 až 0, označená písmeny ”S”, nese informaci o rychlosti lokomotivy. Kombinací bitů označených ”CSSSS” lze dosáhnout až 32 rychlostí lokomotivy (viz Tab. 2.5). Čtyři nejnižší kombinace těchto bitů jsou vyhrazeny pro čtyři způsoby zastavení lokomotivy. Zbylých 28 kombinací je využito pro rychlostní stupně, kde maximální rychlost je reprezentována stupněm 28.

Tab. 2.5: Rychlostní stupně lokomotivy pro základní DCC paket [6]

CSSSS	Rychlost	CSSSS	Rychlost	CSSSS	Rychlost	CSSSS	Rychlost
00000	Stop	00100	Stupeň 5	01000	Stupeň 13	01100	Stupeň 21
10000	Stop (I)	10100	Stupeň 6	11000	Stupeň 14	11100	Stupeň 22
00001	E-Stop*	00101	Stupeň 7	01001	Stupeň 15	01101	Stupeň 23
10001	E-Stop*(I)	10101	Stupeň 8	11001	Stupeň 16	11101	Stupeň 24
00010	Stupeň 1	00110	Stupeň 9	01010	Stupeň 17	01110	Stupeň 25
10010	Stupeň 2	10110	Stupeň 10	11010	Stupeň 18	11110	Stupeň 26
00011	Stupeň 3	00111	Stupeň 11	01011	Stupeň 19	01111	Stupeň 27
10011	Stupeň 4	10111	Stupeň 12	11011	Stupeň 20	11111	Stupeň 28

Nejnižší kombinace bitů CSSSS je využita pro realistické plynulé zastavení lokomotivy. Pro případ, že bude potřeba lokomotivy zastavit okamžitě, je pro to vyhrazen tzv. E-Stop, neboli Emergency Stop. Tento typ zastavení odpojí napájení lokomotivy, čímž je dosaženo bezprostřední zastavení lokomotivy. Symbol ”*” znamená nutnost okamžitého odpojení

napájení do motoru digitálním dekodérem. Symbol ”(I)” značí ignorování zachování směrovosti lokomotivy při zastavení. Jediný způsob jak tento typ zastavení lze navenek zpozorovat je vypnutí světel lokomotivy.

Tab. 2.6: Adresy lokomotiv použitých na modelovém kolejišti

Adresa (hex)	Lokomotiva	Adresa (hex)	Lokomotiva
0x03	Brejlovec	0x0B	Taurus DHL
0x05	Desiro	0x0C	Herkules Priessnitz
0x06	Taurus Railion	0x0D	Para 555
0x07	DB204 274-5	0x0E	T334 Rosnicka
0x09	Ragulin	0x0F	Taurus EVB
0x0A	ICE	0x10	ES363

2.5.2 Rozšířený paket pro rychlost a směr jízdy

Formát rozšířeného paketu je znázorněn v Tab. 2.7. Oproti základnímu paketu pro rychlost a směr se tento paket liší pouze v délce adresy, adresní bajty jsou tu dva. Adresní bajt 1 obsahuje povinný prefix 110 a zbylých pět bitů s vyšší hodnotou tvoří první polovinu adresy. Adresní bajt 2, obsahující bity s nižší hodnotou, tvoří druhou polovinu adresy.

Tab. 2.7: Formát rozšířeného paketu pro rychlost a směr jízdy [7] [9]

		adresní bajt 1		adresní bajt 2		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	110A AAAA	0	AAAA AAAA	0	01DC SSSS	0	EEEE EEEE	1

2.5.3 Paket pro funkce první skupiny

Tento paket je využíván pro ovládání uživatelských funkcí označených F1 až F4. Tyto funkce jsou ovládány pomocí bitů označených ”FFFF”. Bit označený písmenem ”L” obstarává ovládání světel lokomotivy. Logická hodnota nula znamená vypnutí příslušné funkce a logická hodnota jedna zapnutí příslušné funkce. Před těmito bity se nachází nutný prefix ”100”. Formát tohoto paketu lze vidět v Tab. 2.8.

Tab. 2.8: Formát paketu pro funkce první skupiny [7] [9]

		adresní bajt		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	0AAA AAAA	0	100L FFFF	0	EEEE EEEE	1

2.5.4 Paket pro funkce druhé skupiny

Paket je velmi podobný paketu pro funkce první skupiny s rozdílem prefixu ”101” a bitu, označený písmenem ”S” (viz Tab. 2.9), který rozhoduje, jaké funkce budou bity ”FFFF” ovládat. Pokud bude mít bit ”S” logickou hodnotu nula, bity ”FFFF” ovládají uživatelské funkce F5 až F8. Ve druhém případě, kdy bude mít bit ”S” logickou hodnotu jedna, budou bity ”FFFF” ovládat uživatelské funkce F9 až F12.

Tab. 2.9: Formát paketu pro funkce druhé skupiny [7] [9]

		adresní bajt		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	0AAA AAAA	0	101S FFFF	0	EEEE EEEE	1

2.5.5 Základní paket pro dekodéry příslušenství

Dekodéry příslušenství ovládají zařízení, které mají být neustále nebo okamžitě zapnuté. Takovéto dekodéry jsou například používány pro přestavníky. Formát základního paketu lze vidět v Tab. 2.10. Adresa zde zasahuje i do datového bajtu, která je přenášena inverzně, tzn. že nejnižší bity adresy se nachází v adresním bajtu vedle povinného prefixu 10 a nejvyšší bity jsou zapsány v datovém bajtu. Bit označený písmenem ”C” je využit pro aktivaci či deaktivaci adresovaného příslušenství a bity označené ”DDD” ovládají výstupy daného dekodéru. Dekodér může mít tedy až 8 možných výstupů, díky tomu je umožněno ovládání až čtyř výhybek.

Tab. 2.10: Formát základního paketu pro dekodéry příslušenství [7] [9]

		adresní bajt		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	10AA AAAA	0	1AAA CDDD	0	EEEE EEEE	1

2.5.6 Rozšířený paket pro dekodéry příslušenství

Rozdíl oproti základnímu paketu je opět jen v délce adresy dekodéru příslušenství, nacházejí se tu dva adresní bajty. Formát tohoto paketu je znázorněn v Tab. 2.11. Bity využívané pro adresu jsou označené písmenem ”A” a datové bity písmenem ”D”.

Tab. 2.11: Formát rozšířeného paketu pro dekodéry příslušenství [7]

		adresní bajt 1		adresní bajt 2		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	10AA AAAA	0	0AAA 0AA1	0	000D DDDD	0	EEEE EEEE	1

2.5.7 Idle paket

Adresa s dekadickou hodnotou 255 je definována pro paket označený jako idle. Tento paket přenáší data, která nejsou určena pro nikoho. Je to z toho důvodu, že generátor DCC těsně po zapnutí nemá pokyny jaké instrukce posílat, tudíž vysílá tento paket, jehož formát je znázorněn v Tab. 2.12. Využíván je i pro provoz analogových lokomotiv, jelikož obsahuje datový bajt plný logických nul, tudíž je možno jej používat na vytváření signálu s prodlouženou nulou, který je podobný modulaci PWM. Po přijetí tohoto paketu neprovedou digitální dekodéry žádnou novou akci, ale budou se chovat jako by přijali paket, který je určen jinému digitálnímu dekodéru.

Tab. 2.12: Formát idle paketu [6]

		adresní bajt		datový bajt		chybový bajt	
preambule	0	1111 1111	0	0000 0000	0	EEEE EEEE	1

2.6 Četnost opakování paketů

Digitální dekodér musí být schopen pracovat s více pakety, které jsou mu adresovány, za předpokladu, že doba mezi koncovým bitem paketu prvního paketu a počátečním bitem druhého paketu je oddělena alespoň 5 ms. Pokud dekodér přijme bitovou sekvenci s chybějícím nebo neplatným počátečním bitem datového bajtu, chybějícím nebo neplatným koncovým bitem paketu nebo nesprávným bajtem pro detekci chyb, musí rozpoznat další platnou sekvenci preambule jako začátek nového paketu. Jelikož lokomotiva během jízdy nemá vždy dokonalé vodivé spojení dvojkolí s kolejnicemi, je nutné pakety s náležitou četností opakovat. Dle normy NMRA S-9.2 musí být DCC stanice schopna vyslat jeden kompletní paket každých 30 ms [6]. V případě příslušenství, které jsou obvykle připojené pomocí vodičů, stačí pakety jim určené opakovat třikrát až pětkrát [9].

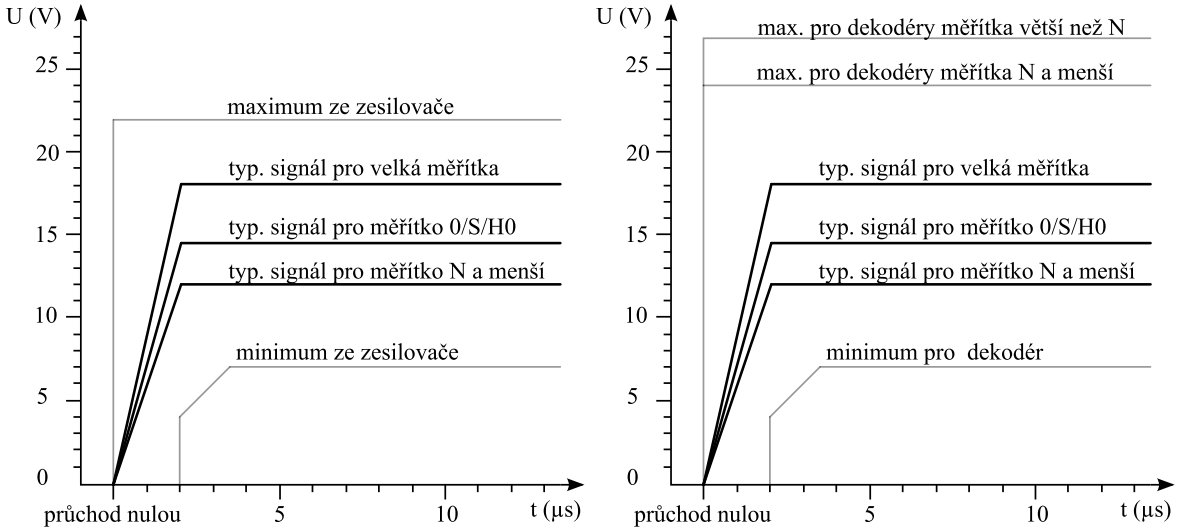
2.7 Elektrická specifikace

Z důvodu korektnosti funkčnosti zařízeních na modelovém kolejišti zavedla společnost NMRA Standart S-9.1 [5], který normalizuje napěťové limity pro DCC komunikaci (viz Obr. 2.4). Na základě tohoto standartu musí být celý systém funkční již při velikosti výstupního napětí od 7 V. Limitní výkon a amplituda napětí záleží na měřítku modelového kolejiště. Pro měřítko TT je doporučená hodnota napětí 14 až 16 V [5]. Maximální amplituda výstupního napětí nesmí překročit 22 V [5]. Současně se musí dodržovat napěťové minimum. Jelikož jsou v lokomotivách využívány stejnosměrné motory, je nutno počítat se

vznikem indukovaného napětí. Proto je stanoveno, že každá komponenta v systému musí odolat napěťovým špičkám až o velikosti 27 V [5].

Požadavky jsou kladeny i na strmost hran. Rychlost strmosti hran v oblasti od -4 do +4 V nesmí být menší než 2,5 V/µs na výstupu z DCC generátoru, zatímco na vstupu dekodéru je rychlost strmosti minimálně 2 V/µs [5].

Současně s tím, jak bylo vysvětleno v kapitole 2.1, je nezbytné zachovat délku logických hodnot v levé i pravé kolejnici. Pro správné rozeznání logické hodnoty na vstupu dekodéru, musí být rozdíl mezi trváním jednotlivých logických hodnot menší jak 6 µs. Na rozdíl od DCC generátoru, kde rozdíl mezi trváním logických hodnot nesmí být větší jak 3 µs.



Obr. 2.4: Požadavky na provozní napětí pro DCC zesilovač a dekodér [5]

3 Analýza aktuálního stavu řídící elektroniky

Řídící elektronika modelového kolejiště byla postupně inovována bakalářskými a diplomovými pracemi v předchozích letech. V této kapitole budou postupně rozebrány hardwarová a softwarová realizace jednotlivých řídících jednotek používaných v současné době na modelovém kolejišti.

3.1 DCC generátor

Hlavním úkolem této jednotky je generování DCC signálu do kolejnic modelového kolejiště pro lokomotivy podle příchozích příkazů z nadřazeného systému po sběrnici CAN. Signál DCC je dále zesílen pomocí DCC zesilovačů (viz kapitola 3.2). Jedním z požadavků na tuto jednotku bylo dodržení jednotného rozměru DPS, který byl stanoven pro všechny řídící jednotky modelového kolejiště z důvodu jednoduššího propojení a úspornějšího rozmístění jednotek na kolejišti [4]. Tato jednotka byla navržena v rámci bakalářské práce v roce 2018 [10].

Z hardwarového hlediska jednotka disponuje mikrokontrolérem výrobce NXP MC9S08DZ96CLF, který podporuje rozhraní CAN. Taktéž je umožněno pomocí třech hardwarových tlačítek nouzové ruční řízení lokomotiv při případném výpadku komunikace se sběrnicí CAN.

Ze softwarového hlediska jednotka dokáže podle přijatých CAN zpráv spolehlivě generovat DCC signál a zajišťuje jeho časté opakování. Důvod opakování zpráv byl vysvětlen v kapitole 2.6. Taktéž disponuje tzv. watchdog časovačem, který nadřazenému systému, zde řídícímu stolnímu počítači, hlásí funkčnost či případnou nefunkčnost DCC generátoru. Tím je zajištěno, při výpadku CAN komunikace, zastavení všech lokomotiv, které by se mohli přepnout na řízení stejnosměrným napětím a rozjet se plnou rychlostí vpřed či vzad.

3.2 DCC zesilovač

Řídící jednotky kolejových úseků, neboli DCC zesilovače, mají za úkol zesilovat vygenerovaný DCC signál a distribuovat ho do kolejnic. Jejich druhým úkolem je sledovat obsazenost jednotlivých úseků modelového kolejiště. Zde byl také kladen důraz na dodržení jednotného rozměru DPS. Současně používaný DCC zesilovač byl navržen v rámci bakalářské práce rovněž v roce 2018 [11].

Jednotka obsahuje taktéž mikrokontrolér od firmy NXP MC9S08DZ96CLF, podporující CAN komunikaci. Zesílení DCC signálu je zde zprostředkováno pomocí H-můstku MC34931EK, který umožňuje řízení induktivních zátěží s proudovým odběrem až 5 A. Pro detekování obsazenosti jednotlivých izolovaných kolejových úseků se zde využívá obvodu pro měření úbytku napětí na rezistoru způsobený průchodem odebíraného proudu lokomotivou. Naměřené hodnoty úbytku jsou zesíleny ve snímači INA181A4 a dále vedeny do A/D převodníku mikrokontroléru. Jednotka dokáže měřit až na osmi izolovaných úsecích. Dále jednotka disponuje dvěma spínanými zdroji. Spínaný zdroj LM2576D2T-15G obstarává snížení napětí z 24 V na 15 V pro H-můstek a další spínaný zdroj obstarává snížení napětí z 24 V na 5 V pro zbylé periferie.

Naměřené hodnoty na měřících kanálech jednotka odesílá nadřazenému systému po sběrnici CAN. Ten poté vyhodnocuje obsazenost jednotlivých úseků modelového kolejiště. Kromě periodického odesílání naměřených hodnot na kanálech, dokáže jednotka detekovat proudové přetížení H-můstku a okamžitě odpojit výstup a chybu ohlásit řídícímu počítači.

3.3 Kontroléry přestavníků

Jediným a předpokládaným úkolem této jednotky je přestavování výhybek na modelovém kolejišti. To je v současné době po hardwarové stránce zařízeno komponentem využívající teplotní dilataci odporového drátu. Bohužel tento způsob není stoprocentní, jelikož se stávalo, že výhybka se nepřestavila spolehlivě a docházelo k vykolejení vlaků. Tudíž se přešlo na jízdu po třech neměnných tratích a výhybky byly přestaveny napevno. Dokumentace k těmto kontrolérům nebyla dochována, a proto současný software na modelovém kolejišti byl navržen bez uvažování začlenění těchto jednotek.

3.4 Kontroléry světelných a mechanických návěstidel

Světelná návěstidla jsou realizována pomocí LED diod v zapojení se společnou anodou. Diody jsou spínány přes rezistor, který omezuje protékající proud do nulového potenciálu. Jelikož každá z diod může mít různou svítivost, je možné jejich svítivost nastavit změnou předřadného rezistoru pro každou LED diodu návěstidla nezávisle na sobě [12]. Návěstidla nedisponují kontrolou skutečného svícení diod, například pomocí detekování protékajícího proudu, poněvadž tato funkce není na modelovém kolejišti stěžejní tak jako při reálném železničním provozu. Ovládání mechanických návěstidel je možné buďto motorkem, mikro servopohonem nebo elektromechanickým relé. O obsluhu návěstidel se stará řídící mikrokontrolér, který přijímá příkazy z nadřazeného systému. Nicméně současný řídící

software s využitím návěstidel nepočítá, poněvadž se zde také nezachovala dokumentace k těmto jednotkám.

3.5 Kontrolér točny

Kontrolér manipulující s točnou na modelovém kolejišti ovládá točnu pomocí krokového motoru. Samozřejmě je potřeba znát nulovou pozici točny, to je obstaráno Hallovou sondou a magnetem umístěným na nulové pozici točny. Další pozice jsou dosaženy počtem kroků krokového motoru. Zda točna dojela do správné pozice není možné reálně ověřit, jelikož v dalších pozicích nejsou přítomny magnety. Může nastat situace, že by točnu zaseknul nějaký cizí předmět či něčí zásah a točna by nemusela zaujmout stanovenou pozici. To dokáže rozpoznat řídící obvod krokového motoru a řídící jednotka zahlásí nadřazenému systému chybu. Chyba je zaslána, i když točna po 24 otočeních nenalezne nulovou pozici. Nachází se zde relé, které je schopno odpojit napájení kolejových úseků na točně. Tím je znemožněn pohyb lokomotivy při pohybu točny i přes případný nechtěný příkaz od řídící jednotky kolejových úseků či nadřazeného systému. Taktéž je možno připojit k řídící jednotce točny dvousegmentový LED displej, který zobrazuje pozici točny.

Řídící software řídící jednotky točny dokáže komunikovat s nadřazeným systémem po sběrnici CAN, přijímá konfigurační zprávy a odesílá aktuální stav točny.

3.6 Řídící software

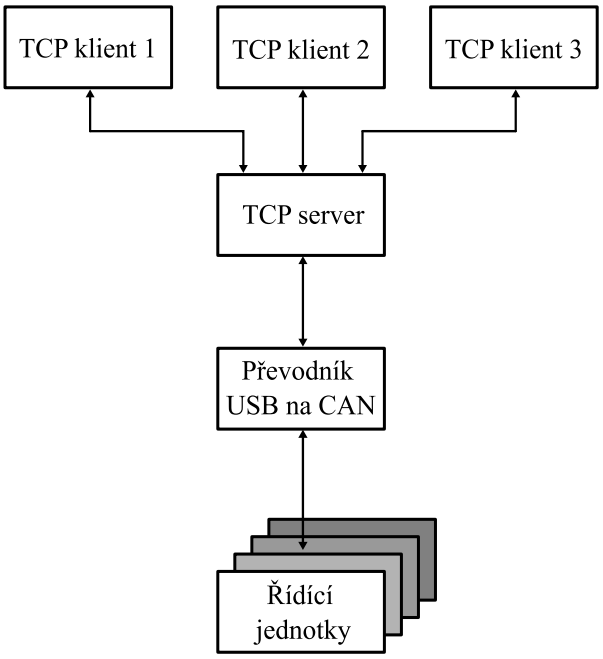
Řídící software modelového kolejiště je založen na TCP komunikaci. Software je složen z několika samostatně fungujících programů a to z jednoho TCP serveru, dvou TCP klientů a jednoho řídícího spouštěče. Jednotlivé programy jsou propojeny pomocí asynchronní komunikace protokolem TCP. [3]

Stěžejním a nejdůležitějším programem je program nazvaný TCP Server train TT, který umožňuje připojení dalším klientům na TCP server a taktéž obstarává komunikaci s řídícími jednotkami modelového kolejiště přes sériový port. Server přijímá zprávy od ostatních klientů v přesně definovaném formátu textových zpráv a vytváří z nich zprávy pro jednotlivé řídící jednotky.

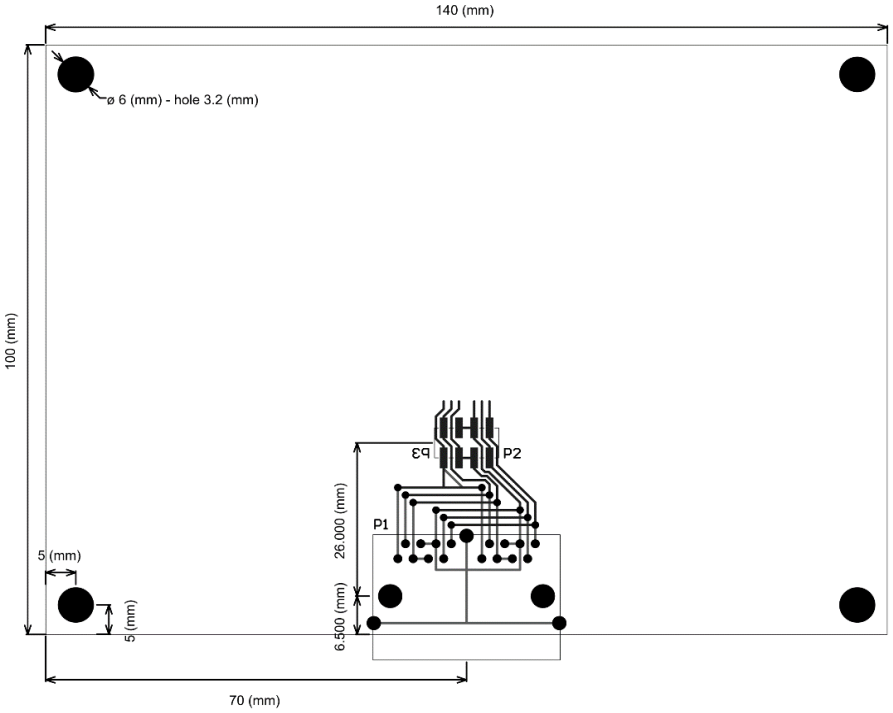
Klient s názvem Visual Debug Control Train TT umožňuje sledovat obsazenost osmi úseků, konfigurovat DCC zesilovače a sledovat jejich odezvu. Taktéž umožňuje manuálně řídit lokomotivy na úrovni příkazů, která lokomotiva jakým směrem má jet, jakou rychlostí a zda má rozsvítit světla.

Další klient s názvem Timetable Control Train TT obstarává řízení pomocí stanoveného jízdního řádu.

Je zde také možnost rozšíření aplikace jednoduchým doděláním klientů pro různé potřeby a požadavky, např. zobrazování mapy modelového kolejiště, obsazenost jednotlivých úseků a typů lokomotiv na kolejišti, nebo řízení kolejiště pomocí mobilní aplikace v telefonu. [3]



Obr. 3.1: Blokové schéma řídícího softwaru modelového kolejiště



Obr. 3.2: Standardizovaný rozměr DPS pro modelové kolejiště [4]

4 Analýza stavu nově navržené řídící elektroniky

V roce 2020 byly navrženy dvě nové řídící jednotky. Řídící jednotka kolejových úseků [13], neboli nový DCC zesilovač, a řídící jednotka přestavníků [14] nahrazující nespolehlivé přestavování využívající teplotní dilataci odporového drátu. Níže jsou řídící jednotky postupně popsány a zanalyzovány z hlediska hardwaru i softwaru.

4.1 DCC zesilovač

Nově navržená řídící jednotka kolejových úseků [13] vychází z bakalářské práce z roku 2018 [10]. Řídící jednotka kolejových úseků zastává funkci zesilovače DCC signálu, ale také detekuje obsazenost osmi izolovaných kolejových úseků. Rozdíl oproti předchozí řídící jednotce je, že využívá dvě metody detekce obsazenosti kolejiště. První metoda je založena na měření úbytku na odporu a druhá metoda využívá úbytku na diodě. Dodržení jednotného rozměru DPS bylo zde také jednou z podmínek.

Jednotka disponuje mikrokontrolérem MC9S08DZ128MLF od firmy NXP, který podporuje rozhraní CAN. Zesílení DCC signálu zde obstarává H-můstek MC34931EK. Naměřené hodnoty úbytku, způsobené odebíraným proudem lokomotivou, jsou zesíleny ve snímači INA181A3 a dále vedeny do A/D převodníku mikrokontroléru. Dále jednotka obsahuje dva spínané zdroje. Spínaný zdroj LM2576D2T-15G snižuje napájecí napětí 24 V na 15 V pro H-můstek a spínaný zdroj TL2575-05 snižuje 24 V na 5 V pro zbylé periferie. Řídící jednotka dokáže měřit úbytek na osmi izolovaných kolejových úsecích. První verze navržené řídící jednotky měla osazené pouze tři měřící kanály, mikrokontrolér a napájecí zdroje. Při testování jednotky byly nalezeny chyby a tudíž byla navržena druhá verze, která byla realizována pouze do stádia návrhu, nebyla ani osazena ani naprogramována. Příčinou byla nemožnost oživení a otestování druhé verze v laboratořích z důvodu pandemie COVID-19. [13]

První verze řídící jednotky komunikovala s nadřazeným systémem pomocí sběrnice CAN dle navrženého komunikačního protokolu. Jednotka periodicky odesílala naměřené hodnoty proudových odběrů na osmi měřících kanálech a dokázala přijímat konfigurační zprávy od nadřazeného systému. Také dokázala detekovat proudové přetížení H-můstku, neprodleně odpojit výstup a chybu ohlásit nadřazenému systému. Avšak jednotka nebyla vyzkoušena při reálném provozu na modelovém kolejišti. Software pro druhou verzi řídící jednotky nebyl vytvořen.

4.2 Kontrolér přestavníků

Tato nově navržená řídící jednotka přestavníků nahrazuje nespolehlivé řešení přestavování výhybek s využitím teplotní dilatace odporového drátu. Hlavním požadavkem bylo zajištění spolehlivého a jednoduchého dosažení přestavení výhybek. Tudíž byl zvolen způsob přestavování pomocí digitálních mikro servopohonů, jelikož splňovaly stanovené požadavky. I zde byla dodržena podmínka jednotného rozměru DPS.

Jednotka je řízena mikrokontrolérem MC9S08DZ60AMLF od firmy NXP, který umožňuje komunikaci po sběrnici CAN. Napájení všech periférií obstarává spínaný zdroj z 24 V na 5 V LM2576-5.0. Jednotka obsluhuje osm mikro servopohonů přestavující osm výhybek. První verze řídící jednotky byla oživena, otestována a zprovozněna komunikace po sběrnici CAN. Po zjištění nedokonalostí na první verzi, byla navržena druhá verze řídící jednotky, avšak tato verze nebyla osazena ani naprogramována, jelikož jí také nebylo možno odzkoušet kvůli pandemii COVID-19. [14]

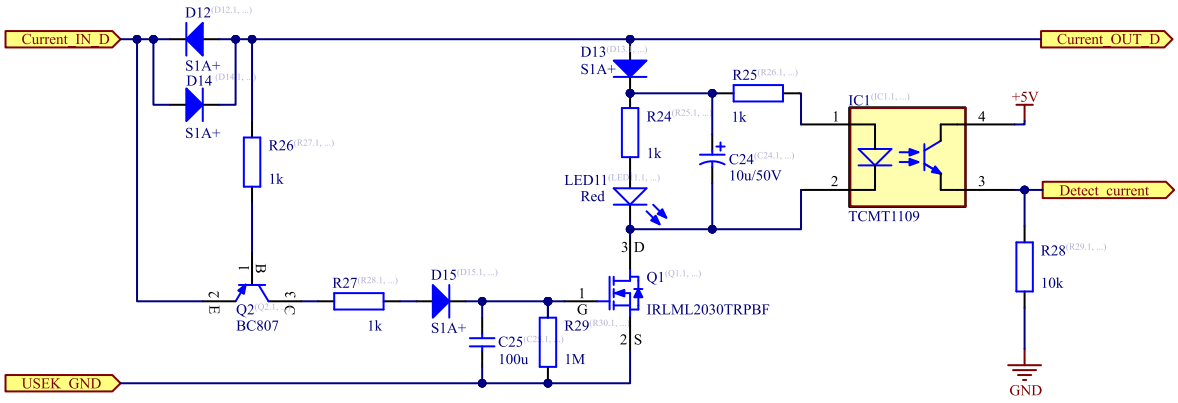
První verze obsahovala software, který umožňoval komunikaci pomocí CAN sběrnice. Řídící jednotka dokázala přijímat zprávy a dle nich vykonat akci, avšak tyto akce byly omezené na pouhé otočení mikro servopohonů od 0° do 180°. Navržený komunikační protokol byl z velké většiny jen teoretický a nebylo možno pomocí něj komunikovat s řídící jednotkou. Ani tato jednotka nebyla vyzkoušena při reálném provozu na modelovém kolejišti. Software pro druhou verzi taktéž nebyl vytvořen.

5 Úpravy řídící jednotky kolejových úseků

Po zanalyzování nové řídící jednotky kolejových úseků následovalo navržení a realizace úprav této jednotky. V této kapitole jsou detailně popsány provedené úpravy na řídící jednotce kolejových úseků, jak z hlediska hardwaru tak i softwaru.

5.1 Hardware

Jelikož zapojení pro detekci odběru proudu na jednotlivých izolovaných kolejových úsecích kolejiště obsahovalo chybu, která způsobovala, že ohlašovala úsek jako trvale obsazený, bylo potřeba toto zapojení poupravit [13]. Upravené zapojení lze vidět na Obr. 5.1. Zapojení se na řídící jednotce kolejových úseků vyskytuje celkově osmkrát, tudíž detekuje obsazení až osmi kolejových úseků.



Obr. 5.1: Schéma zapojení pro detekci proudového odběru

Výstup OUT1 DCC zesilovače je připojen na vstup USEK_GND a druhý výstup OUT2 je připojen na vstup Current_IN_D. Výstup Current_OUT_D je dál veden k zapojení pro měření velikosti proudového odběru [13]. Průchodem vyššího proudu jak 1 mA vznikne na diodě D14 úbytek, který otevře tranzistor Q2. Otevřením tohoto tranzistoru dojde k nabití RC článku R29 a C25, který slouží k úmyslnému zpožďování 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 kondenzátoru C25 dojde k otevření tranzistoru Q1. To způsobí rozsvícení LED11 a nabíjení kondenzátoru C24. Současně s tím začne optočlenem TCMT1109 procházet proud, který sepne fototranzistor uvnitř optočlenu. Mikrokontrolér poté vyhodnotí změnu stavu na výstupu optočlenu. Kondenzátor 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. Osazenou DPS řídící jednotky kolejových úseků lze vidět v Příloha A.

5.2 Software

Po zanalyzování stavu nově navržené řídící jednotky kolejových úseků bylo zjištěno, že je potřeba poupravit zejména řídící software jednotky. Software disponoval funkcemi pro měření proudového odběru na jednotlivých měřících kanálech pomocí A/D převodníků implementovaných v mikrokontroléru, avšak bylo špatně realizováno jejich spuštění.

Dále bylo potřeba zdokonalit funkci pro detekci proudového odběru na měřících kanálech a vytvořit funkci pro ovládání LED diod, které vizualizovaly aktuální stav obsazenosti jednotlivých úseků.

5.2.1 Vývojový diagram

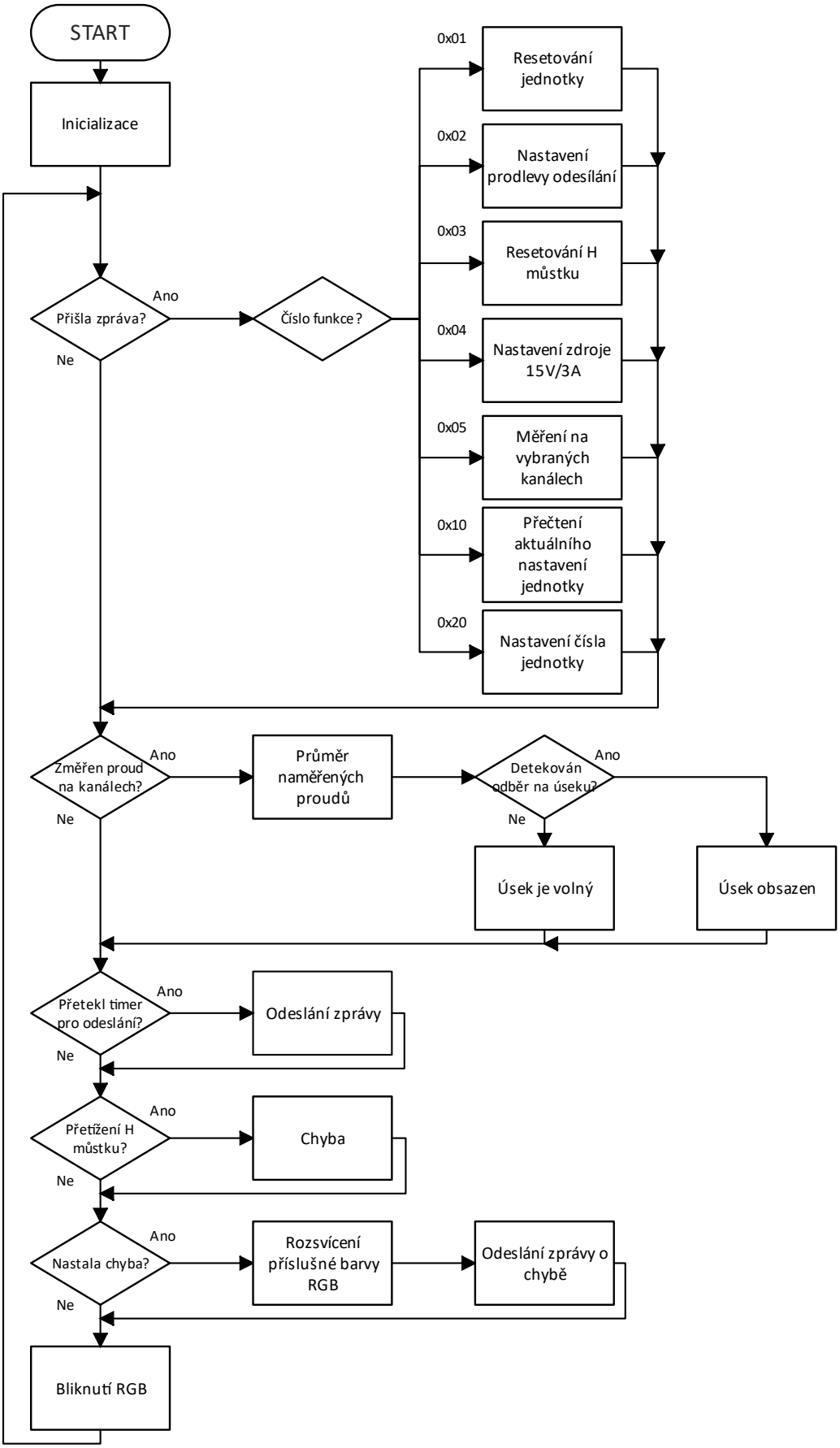
Nejprve je realizována deklarace proměnných a nastavení výchozích hodnot. Následuje inicializace podprogramů, zapnutí napájecího zdroje 15V/3A a resetování H-můstku. Po vykonání těchto úloh je řídící jednotka plně spuštěna.

Na začátku nekonečné smyčky je resetován watchdog timer. Následuje kontrola přijetí nové CAN zprávy po sběrnici. Přijetí zprávy značí probliknutí modré barvy RGB LED. Dle obsahu příchozí zprávy je vybrána funkce a provedena příslušná akce. Jednotlivé zprávy pro konfiguraci řídící jednotky jsou vysvětleny v kapitole 8.2.

Dále je kontrolován celkový odebíraný proud. Zpětnovazební výstupní pin FB H-můstku je připojen na A/D převodník mikrokontroléru. Pokud dojde k překročení maximálního napětí 2,16 V, je H-můstek nastaven do vysoké impedance a je zaslána chyba o přetížení H-můstku. Toto napětí je periodicky kontrolováno každých 30 ms, kvůli ustálení přechodových jevů na kolejišti. Kontrola probíhá i po resetu H-můstku, jelikož při resetování na krátkou dobu přeroste proudový odběr stanovenou maximální hodnotu.

Poté jednotka změří na všech osmi kanálech velikost proudového odběru. Hodnoty jednotlivých odběrů jsou uloženy do paměti. Nadřazený systém následně vyhodnotí na základě velikosti jednotlivých proudových odběrů obsazenost daného úseku. Pokud je detekována lokomotiva odebírající proud z kolejiště, rozsvítí se LED příslušného kanálu v pravém dolním rohu DPS, označené jako CH.1 až CH.8.

Na konci nekonečné smyčky jsou kontrolovány případné vzniklé chyby a je sledován stav H-můstku. V případě přetížení H-můstku za provozu dojde k nahlášení chyby. Chyby jsou signalizovány příslušnou barvou RGB LED a jsou nahlášeny nadřazenému systému.



Obr. 5.2: Vývojový diagram řídící jednotky kolejových úseků

5.2.2 Realizace měření pomocí A/D převodníků mikrokontroléru

Podmínka uvedená níže je potřebná pro spuštění začátku měření A/D převodníky. Pro její splnění je potřeba, aby počet přetečení časovače TPM1 byl větší než perioda odesílání naměřených dat po CAN sběrnici. Tím je dosaženo, že zvolená perioda odesílání naměřených hodnot ovlivňuje i samotné měření. Dále se kontroluje, zda odesílání naměřených hodnot není zcela vypnuto a zda se řídící jednotka nenachází v chybě.

```
//spuštění měření A/D převodníky
if ((TPM1_overflow_cnt >= sending_delay) && (sending_delay) && (!send_error)) {
    ADCSC1 = 0x40 | measure_current_0;        //spuštění prvního AD převodníku
    TPM1_overflow_cnt = 0;                    //nulování počtu přetečení TPM1
}
```

5.2.3 Detekce proudového odběru

Jakmile je změřen proudový odběr na všech měřících kanálech, je proměnná `meas_current_flag` přenastavena do logické jedničky. Detekce proudového odběru tedy začíná kontrolou této proměnné. Poté jsou naměřené hodnoty přičteny k předchozím hodnotám. Průměr z naměřených hodnot je spočítán poté, co je měření provedeno osmkrát. Naměřené hodnoty jsou průměrovány z důvodu eliminace rušení na kolejišti. Tyto zprůměrované hodnoty jsou dále uloženy do pole `send_meas_current` a poté je pole v další části kódu odesláno nadřazenému systému. Následuje porovnání naměřeného proudového odběru s předem stanovenou hodnotou odběru, která značí přítomnost kolejového vozidla na kolejovém úseku. Současně s tím se kontroluje, zdali zapojení pro detekci zaznamenalo proudový odběr na příslušném kanálu. Pokud jsou tyto dvě podmínky splněny, rozsvítí se LED příslušného kanálu (CH.1 až CH.8) na pravém dolním rohu DPS. V případě že podmínky nejsou splněny, příslušná LED zůstane zhasnutá. Toto porovnání se provádí na všech měřících kanálech a v závislosti na výsledcích jsou rozsvíceny anebo zhasnuty příslušné LED diody. Na konci funkce je pole s průměrnými hodnotami naměřeného proudového odběru vynulováno. Taktéž jsou vynulovány ostatní proměnné pro opětovné využití.

```
if (meas_current_flag == 1) {           //změřen odběr na všech kanálech?
    for (i = 0; i < 8; i++) {           //uložení naměřených hodnot
        avg_current[i] += meas_current[i];
    }
    meas_count++;                       //počet měření
    detect_current();                   //funkce pro detekci odběru proudu
    if (meas_count >= 8) {              //provedlo se 8 měření?
        LEDS_occup_go = 0;              //nulování proměnných pro ovládání LED
        LEDS_occup_stop = 0;
        for (i = 0; i < 8; i++) {
            avg_current[i] /= 8;        //zprůměrování naměřených hodnot
            send_meas_current[i] = avg_current[i];   //uložení hodnot
            //je detekován proud a lokomotiva stojí?
            if ((send_meas_current[i] >= rail_train_stop)
                    && (detect_current_ch[i] == 1)) {
                //povolení rozsvícení LED kanálů (stojící vlak)
                LEDS_occup_stop = LEDS_occup_stop | (1 << i);
            }
            //je detekován proud a lokomotiva jede?
            if ((send_meas_current[i] >= rail_train_go)
                    && (detect_current_ch[i] == 1)) {
                //povolení rozsvícení LED kanálů (jedoucí vlak)
                LEDS_occup_go = LEDS_occup_go | (1 << i);
            }
            avg_current[i] = 0;         //vynulování zprůměrovaných hodnot
        }
        meas_count = 0;                 //vynulování počtu měření
    }
    meas_current_flag = 0;              //vynulování pro další měření
}
```

5.2.4 Vizualizace obsazenosti jednotlivých úseků

Podmínka uvedená níže obstarává vizualizaci obsazenosti kolejových úseků. Při volání funkce `LEDS_occupancy` je jako argument vkládán proměnná `LEDS_occup_stop` nebo exkluzivní logický součet proměnných `LEDS_occup_stop` a `LEDS_occup_go`. Bitový tvar těchto proměnných závisí na naměřených hodnotách proudového odběru na jednotlivých kanálech z předchozí funkce (viz kapitola 5.2.3). Exkluzivní logický součet těchto dvou proměnných realizuje blikání žlutých LED diod v pravém dolním rohu DPS (CH.1 až CH.8), které signalizují obsazenost jednotlivých izolovaných kolejových úseků. Pokud LED bliká s periodou, která je nastavena na 50 ms, je takto signalizován úsek obsazený jedoucí lokomotivou. Pokud však LED trvale svítí, příslušný úsek je obsazený stojící lokomotivou.

```
if ((error[1] == 0x00) && (error[2] == 0x00)) { //bezchybový chod jednotky?
    if (TPM1_overflow_cnt >= 5) {              //pokud uběhlo 50 ms
        if (LEDS_occupancy_blink) {            //blikání LED?
            LEDS_occupancy(LEDS_occup_stop);  //LED-stojící vlak
        } else {
            LEDS_occupancy(LEDS_occup_stop ^ LEDS_occup_go); //LED-jedoucí vlak
        }
        LEDS_occupancy_blink = !LEDS_occupancy_blink;      //blikání LED
        TPM1_overflow_cnt = 0;                 //vynulování přetečení TPM1
    }
}
```

Funkce `LEDS_occupancy` ovládá LED diody jednotlivých úseků. Z argumentu `LED_channel` jsou postupně rozklíčovány pomocí logické funkce AND kanály, které jsou obsazeny. Výsledek je posunut o patřičný počet bitů doprava, aby bylo zajištěno správné přiřazení logické hodnoty pro ovládání LED diod.

```
//funkce pro ovládání LED diod jednotlivých úseků
void LEDS_occupancy(uint8_t LED_channel) {
    LED_1 = (LED_channel & 0b00000001);
    LED_2 = (LED_channel & 0b00000010) >> 1;
    LED_3 = (LED_channel & 0b00000100) >> 2;
    LED_4 = (LED_channel & 0b00001000) >> 3;
    LED_5 = (LED_channel & 0b00010000) >> 4;
    LED_6 = (LED_channel & 0b00100000) >> 5;
    LED_7 = (LED_channel & 0b01000000) >> 6;
    LED_8 = (LED_channel & 0b10000000) >> 7;
}
```

6 Úpravy řídící jednotky přestavníků

Po zanalyzování nové řídící jednotky přestavníků bylo zapotřebí navrhnout a realizovat hardwarové i softwarové úpravy této jednotky, které jsou v této kapitole detailně popsané.

6.1 Hardware

Z hardwarové hlediska nebylo nutno řídící jednotku přestavníků nijak upravovat. Disponuje mikrokontrolérem MC9S08DZ60AMLF od firmy NXP, umožňující komunikaci po sběrnici CAN a spínaným zdrojem LM2576-5.0, který napájí veškeré periferie. Nově navržená řídící jednotka nebyla osazena, tudíž jediné co bylo potřeba, bylo její plné osazení součástkami. Osazená DPS řídící jednotky přestavníků je vidět v Příloha B. Jednotka umožňuje ovládání až osmi přestavníků pomocí digitálních mikro servopohonů a splňuje všechny stanovené požadavky, tudíž by se jednalo pouze o kosmetické úpravy DPS a proto se cílilo spíše na úpravy řídícího softwaru.

6.2 Software

Řídící jednotka přestavníků dokázala přijímat zprávy po CAN sběrnici a dle nich vykonat příslušnou akci, avšak jednalo se pouze o pouhé otočení mikro servopohonů od 0° do 180°. Tudíž bylo potřeba vytvořit kompletní software pro řídící jednotku, která bude splňovat kladené požadavky a komunikovat dle navrženého komunikačního protokolu.

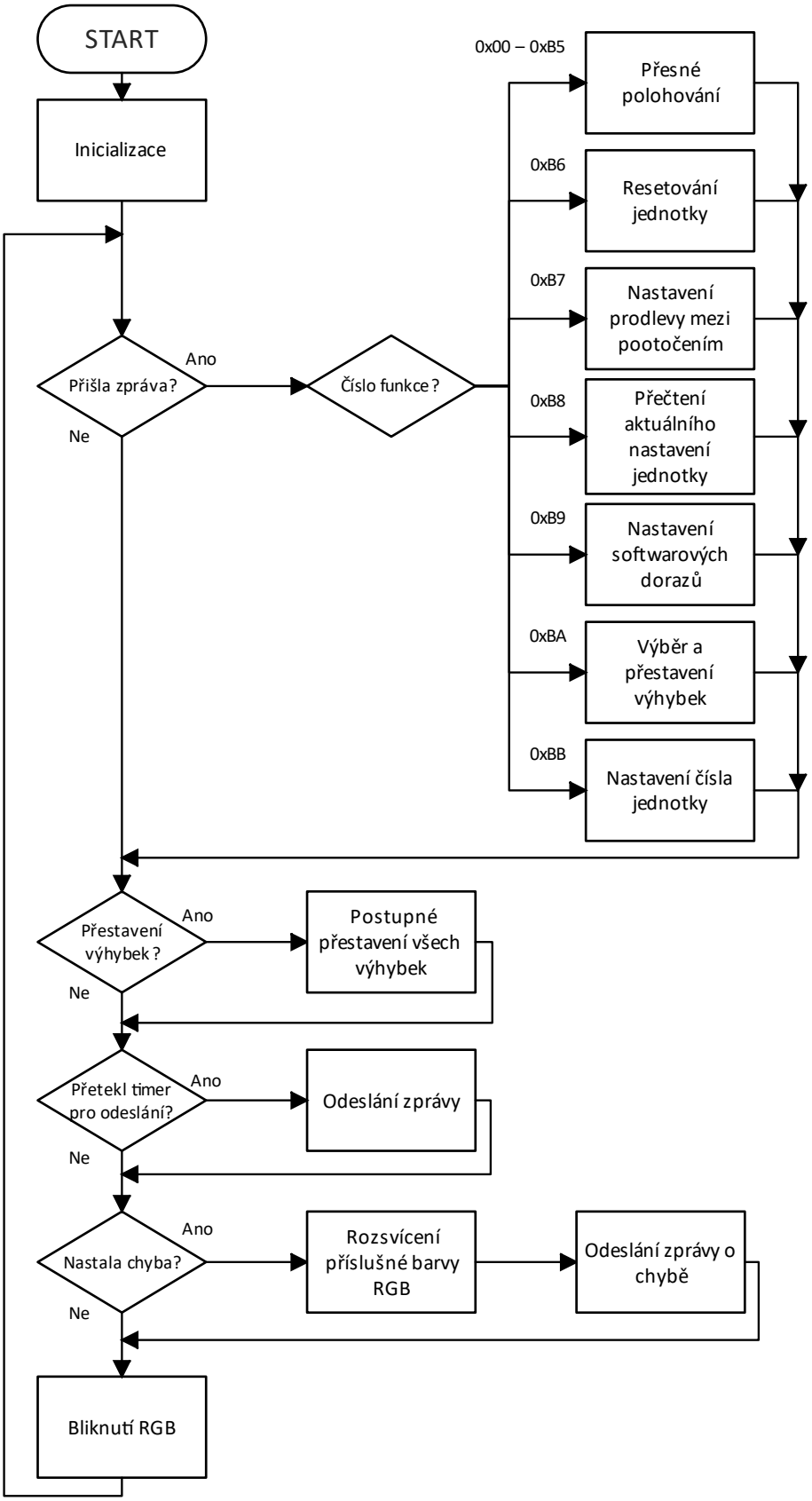
6.2.1 Vývojový diagram

Při startu programu jsou deklarovány proměnné a nastaveny výchozí hodnoty. Taktéž jsou přestaveny všechny výhybky do výchozí polohy. Po těchto úkonech je řídící jednotka připravena.

Na začátku nekonečné smyčky je resetován watchdog timer. Následuje kontrola přijetí nové CAN zprávy po sběrnici. Přijetí zprávy značí probliknutí modré barvy RGB LED. Dle obsahu příchozí zprávy je vybrána funkce a provedena příslušná akce. Jednotlivé zprávy pro konfiguraci řídící jednotky jsou vysvětleny v kapitole 9.2.

Dále je kontrolováno zda má dojít z přestavení výhybek. Pokud ano, postupně jsou všechny výhybky přestaveny. Zároveň jsou hlídány softwarové dorazy jednotlivých mikro servopohonů a jejich poloha je ukládána pro následné zaslání zprávy nadřazenému systému.

Na konci nekonečné smyčky jsou kontrolovány případné vzniklé chyby. Chyby jsou signalizovány příslušnou barvou RGB LED a jsou nahlášeny nadřazenému systému.



Obr. 6.1: Vývojový diagram řídící jednotky výhybek

6.2.2 Přesné polohování mikro servopohonů

Přesné polohování mikro servopohonů umožňuje jejich polohování s přesností jednoho stupně natočení od 0° do 180°. Tuto funkci obstarává kód uvedený níže. Nejprve je podmínkou kontrolováno, zda v příchozí zprávě je správný rozsah hexadecimálního čísla, konktrétně 0x00 až 0xB5. Pokud ano, následuje zapnutí vypnutých servopohonů a výpočet softwarových dorazů, které jsou uloženy pro další použití. Proměnná `S_move_flag` povoluje otáčení mikro servopohonů. Dále se kontroluje, zda zpráva obsahuje informaci o vypnutí příslušného mikro servopohonu, pokud ano, dojde k jeho vypnutí.

```
if (RX_message[4] < 0xB6) {             //příkaz pro polohování serv?
    for (i = 4; i < 12; i++) {          //poloha je na 4 až 12 pozici ve zprávě
        if (RX_message[i] < 0xB6) {     //kontrola natočení serv 0°- 180°
            if (S_power[i - 4] == 1) { //příslušné servo vypnuté?
                S_ON_OFF(i - 3, 0);     //zapnutí serva
            }
            S_pos[i - 4] = (RX_message[i] * 0x05) + 0x104; //vypočet dorazu
            S_resp[i - 4] = (uint8_t) ((S_pos[i - 4] - 0x104) / 0x05); //feedback
            S_move_flag = 0xFF;                //povolení otočení všech serv
            if ((error[1] & 0x20) == 0x20) {  //nastala předtím chyba?
                error[1] = error[1] ^ 0x20;   //vynulování chyby
            }
        }
        if (RX_message[i] == 0xB5) {           //příkaz pro vypnutí serva?
            S_ON_OFF(i - 3, 1);                //vypnutí příslušného serva
            S_resp[i - 4] = 0xB5;              //feedback
            if ((error[1] & 0x20) == 0x20) {  //nastala předtím chyba?
                error[1] = error[1] ^ 0x20;   //vynulování chyby
            }
        } else {
            error[1] = error[1] | 0x20;        //chyba
            send_error = 1;                    //povolení zaslání chyby
        }
    }
}
```

6.2.3 Přestavení výhybek

Přestavení výhybek je v kódu realizováno pomocí funkce switch. Níže je část kódu obstarávající pohyb druhého mikro servopohonu. Na začátku je vypnut předchozí mikro servopohon. Následuje kontrola zda má dojít k pootočení druhého mikro servopohonu, pokud ano, je nová požadovaná pozice porovnána se softwarovými dorazy a poté dojde k přestavení výhybky.

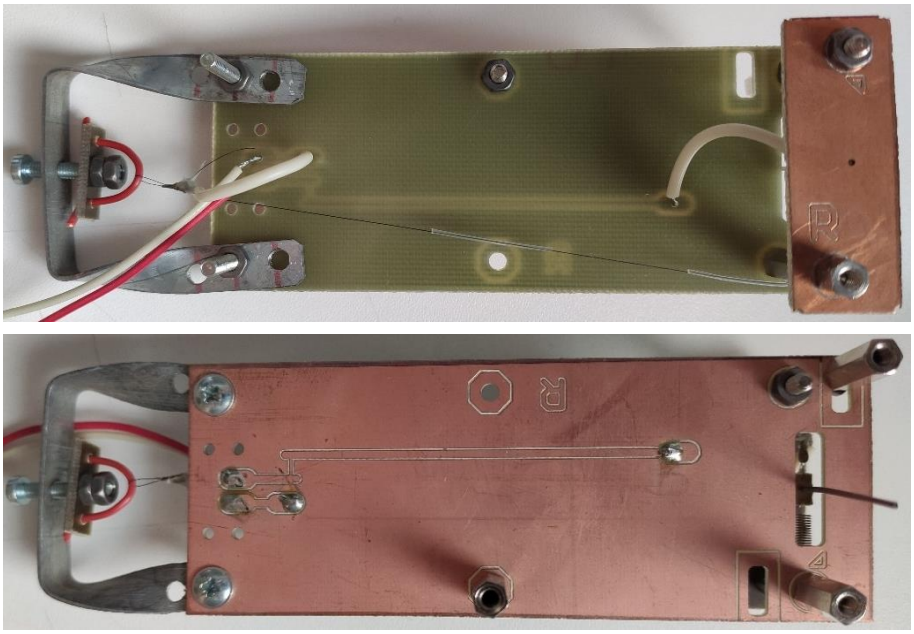
```
S_ON_OFF(1, 1);                         //vypnutí předchozího serva po přestavení
if ((S_move_flag & 0x02) == 0x02) {     //pohyb druhého serva?
    if ((S_pos[1] >= S_stopL[1]) && (S_pos[1] <= S_stopR[1])) { //hlídání dorazů
        S_ON_OFF(2, 0);                 //zapnutí serva pro přestavení
        S2_PWM = S_pos[1];              //přestavení serva
    } else {
        S_ON_OFF(2, 1);                 //vypnutí serva
    }
}
```

7 Přestavba mechaniky přestavníků

V současné době je přestavování výhybek řešeno principem teplotní dilatace odporového drátu. Tato technologie sice umožňuje tichý a reálně pomalý průběh přestavení výhybky, ovšem je nespolehlivý a nepřesný. Proto bylo rozhodnuto o přestavbě mechaniky přestavníků s využitím mikro servopohonu.

7.1 Současné provedení mechaniky přestavníků

Současné řešení, jak již bylo zmiňováno, využívá teplotní dilataci odporového drátu, který je připevněn přes pružinu na strunu, jenž je zavedená do výhybky. Toto současné provedení je vidět na Obr. 7.1. Další nevýhodou, kromě nespolehlivosti přestavování, byla prostorová náročnost zespoda modelového kolejiště.



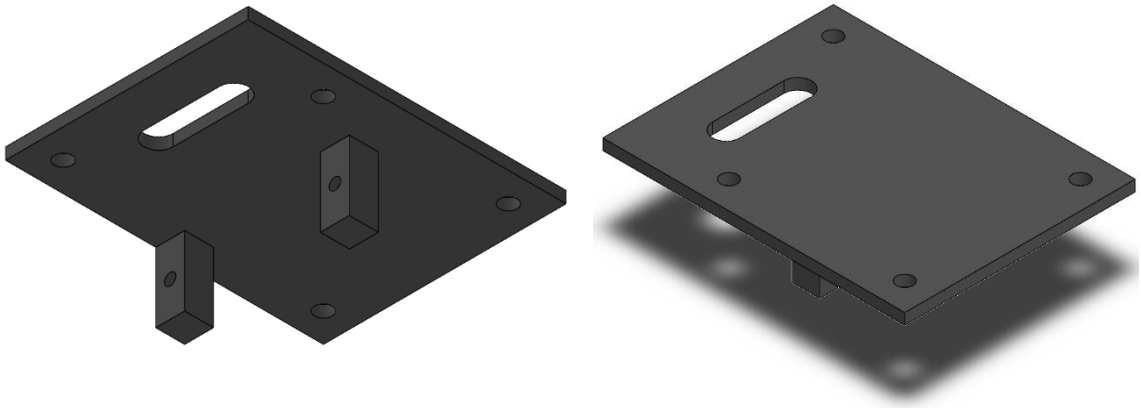
Obr. 7.1: Současné provedení mechaniky přestavníků

7.2 Nové provedení mechaniky přestavníků

Nově navržené provedení přestavníků využívá mikro servopohonu k přestavení výhybky. Skládá se ze čtyř částí. První částí je deska pro uchycení mikro servopohonu. Druhou částí je struna, která je zavedená do výhybky. Třetí částí je součást pro zajištění připevnění struny k páce mikro servopohonu a poslední stěžejní částí je samotný mikro servopohon.

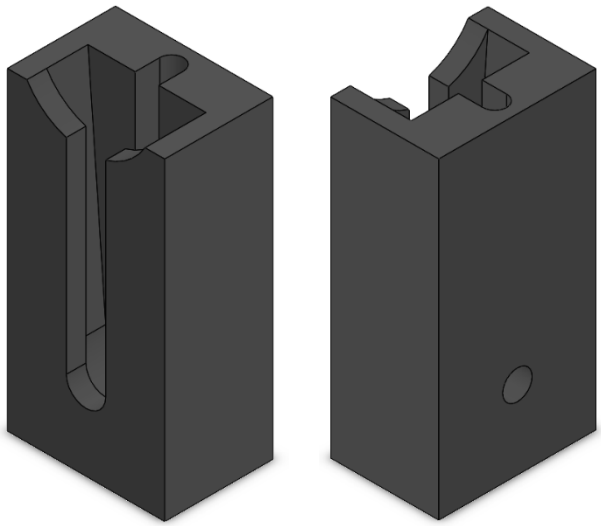
Nové uchycení, kromě konstrukčních otvorů pro připevnění k modelovému kolejišti a otvoru pro manipulaci se strunou, disponuje dvěma sloupky pro upevnění mikro servopohonu (viz Obr. 7.2). Byla také uvažována verze delší, rozměrově totožná se

současným řešením a sloupky se žebry, kvůli pevnosti, nicméně tato verze byla prostorově a materiálově neúsporná. Deska pro uchycení je univerzální jak pro levou tak i pro pravou výhybku.



Obr. 7.2: Uchycení mikro servopohonu

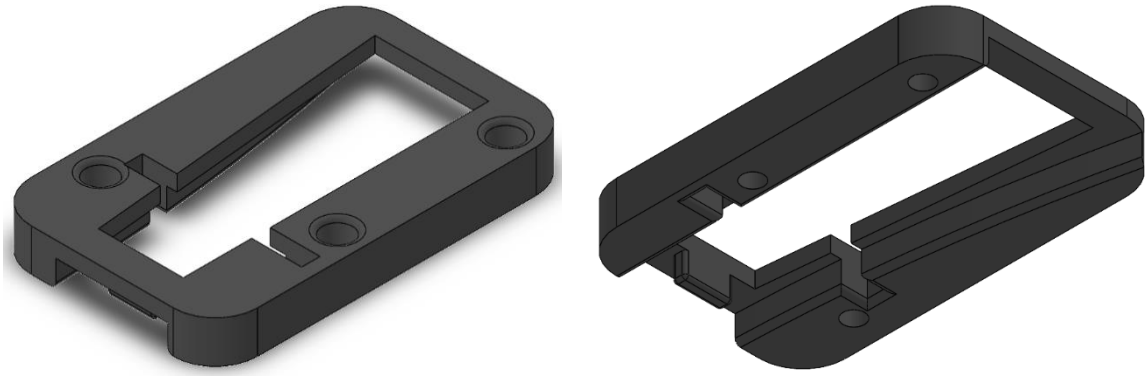
Další částí je součást k připevnění struny k páce mikro servopohonu (viz Obr. 7.3). Jejím úkolem je zajištění správné polohy struny pro spolehlivé přestavení výhybky. Aby byla zaručena pevná fixace struny, je samotná součást přichycena k páce mikro servopohonu pomocí šroubku.



Obr. 7.3: Připevnění struny k páce mikro servopohonu

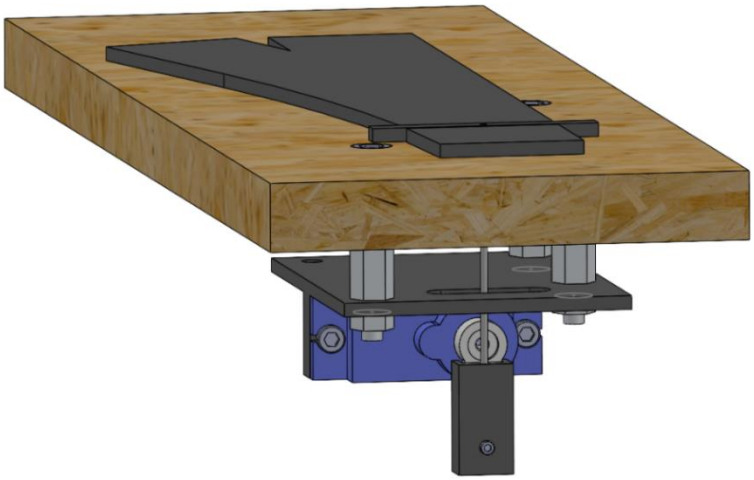
Uchycení mikro servopohonu bylo navrženo tak, aby konstrukční otvory odpovídaly konstrukčním otvorům v současném řešení přestavování výhybek. Důvodem bylo co nejmenší zásah do konstrukce modelového kolejiště, avšak později se zjistilo, že současné

provedení uchycení v modelovém kolejišti je nahodilé a přizpůsobovalo se spíše terénu kolem výhybky. Z tohoto důvodu byl navržen přípravek, který má usnadnit vyvrtání nových konstrukčních otvorů pro uchycení desky s mikro servopohonem (viz Obr. 7.4).



Obr. 7.4: Přípravek pro usnadnění vrtání konstrukčních otvorů

Výše uvedené části, deska pro uchycení mikro servopohonu, připevnění struny k páce mikro servopohonu a přípravek pro vyvrtání konstrukčních otvorů, byly navrženy v počítačovém programu SolidWorks 2020 a následně vytisknuty pomocí 3D tiskárny. Poté byly sestaveny kompletní přestavníky a připevněny k příslušným výhybkám. Kompletní provedení přestavníku s mikro servopohonem lze vidět na Obr. 7.5.



Obr. 7.5: Provedení mechaniky přestavníku s mikro servopohonem

8 Komunikační protokol řídící jednotky kolejových úseků

Komunikace mezi nadřazeným systémem a řídící jednotkou je realizována pomocí CAN sběrnice. Ta je schopna přenést osm datových bajtů. Každá vyslaná zpráva musí obsahovat přiřazený identifikátor, neboli také ID. Využívá se standartního formátu identifikátoru, který je 11 bitů dlouhý. Každá řídící jednotka má přiřazený identifikátor pro přijetí a vysílání zprávy. Jednotka je tedy schopna přijímat a vysílat zprávy s různým identifikátorem. Tím je zajištěna přesná adresace zpráv konkrétním řídícím jednotkám. Komunikace mezi nadřazeným systémem a řídící jednotkou probíhá oboustranně.

V této kapitole je popsáno, jakým způsobem probíhá komunikace řídící jednotky kolejových úseků s nadřazeným systémem po sběrnici CAN. Řídící jednotce kolejových úseků jsou přiřazeny identifikátory příchozích a odchozích zpráv a je uveden formát komunikačních zpráv. Obousměrný budič sběrnice CAN pracuje v režimu High Speed. Komunikační rychlost budiče sběrnice CAN je nastavena na 500 kbit/s.

8.1 Vytvoření identifikátoru zprávy

Jak již bylo výše zmíněno, systém komunikace na kolejišti využívá přiřazení identifikátorů jednotlivým zprávám. Tento 11bitový identifikátor je rozdělen na dvě části. Horní čtyři bity identifikátoru určují typ zprávy, v nichž je zakódována informace o typu jednotky a informace o směru přenosu zprávy. Zpráva vyslaná nadřazeným systémem řídící jednotce je označena jako W. V opačném případě, zpráva vyslána řídící jednotkou nadřazenému systému je označena jako R. Typů řídících jednotek může být až šestnáct. Rozdělení typů zpráv mezi jednotlivé řídící jednotky modelového kolejiště lze vidět v Tab. 8.1. Typ zprávy označen číslem 0 je využit pro vysílání nouzového stavu. Tato zpráva je vyslána v případě, že by bylo potřeba neprodleně zastavit veškerý provoz na celém modelovém kolejišti. Typy zpráv označené čísly 12 až 15 jsou zatím nevyužity.

Tab. 8.1: Rozdělení typů zpráv mezi jednotlivé řídící jednotky

Typ zprávy	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 přestavníků	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		–

Zbývajících sedm dolních bitů 11bitového identifikátoru je vymezeno pro přesnou identifikaci řídících jednotek. Každý typ řídící jednotky má přiřazen specifické číslo, pod kterým lze jednotku jednoduše identifikovat. Těchto sedm dolních bitů identifikátoru poskytuje možnost připojení až 128 jednotek stejného typu. Nadřazený systém dokáže zasílat tři druhy zpráv. Prvním druhem zprávy je již zmíněné nouzové vysílání, které umožňuje odeslání zprávy všem řídícím jednotkám. Druhý druh zprávy umožňuje odeslání zprávy jednotkám stejného typu. A nakonec posledním druhem zprávy je zpráva určená konkrétní řídící jednotce.

Příklad vytvoření identifikátoru zprávy pro konkrétní řídící jednotku popisuje Tab. 8.2. Příklad je uveden pro výpis zprávy z řídící jednotky kolejových úseků (DCC zesilovače) s identifikačním číslem 3. Tento směr přenosu zprávy pro DCC zesilovače, označený jako R, má hodnotu horních čtyř bitů identifikátoru vyjádřenou v dekadické soustavě číslem 3, což v binární soustavě má podobu 0011. Číslo jednotky DCC zesilovače je zde 3, v binární podobě je reprezentováno číslem 11. 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 0011 0000011 (viz Tab. 8.2). V hexadecimální soustavě má jednotka číslo 0x183.

Tab. 8.2: Vytvoření identifikátoru pro konkrétní řídící 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	1	1	0x183

Pro snadnější ovládání je využívána hexadecimální podoba identifikátoru. V Tab. 8.3 jsou přiřazeny identifikátory v hexadecimální podobě jednotlivým směrům vysílání DCC zesilovače. Pro zjištění, pod jakým identifikátorem (ID) bude řídící jednotka zprávy přijímat či odesílat, postačí k přiřazeným ID přičíst příslušné číslo jednotky v hexadecimální podobě. Identifikátory jsou přiřazeny jednotce DCC zesilovače s identifikačním číslem 3.

Tab. 8.3: Přiřazení identifikátorů řídící jednotce kolejových úseků

Typ zprávy	**ID (hex)**	**Typ jednotky**	**Směr přenosu zprávy**
3	0x183	DCC Zesilovač	Výpis z jednotky (R)
4	0x203		Výpis z jednotky (R)
5	0x283		Zápis do jednotky (W)
6	0x303		Zápis do jednotky (W)

Hlavním úkolem řídící jednotky kolejových úseků je zjišťování obsazenosti jednotlivých izolovaných úseků modelového kolejiště a předání informace o obsazenosti úseků nadřazenému systému. Pro zasílání této informace má jednotka přiřazený identifikátor 0x183. Formát této zprávy je popsán v kapitole 8.3.3. Dále poskytuje informaci o stavu řídící jednotky pod identifikátorem 0x203. Jednotlivé stavy řídící jednotky jsou specifikovány v kapitole 8.3.1. V případě potřeby lze řídící jednotku konfigurovat z nadřazeného systému. Pro konfiguraci jednotky je vyhrazen identifikátor 0x283. Nastavení řídící jednotky je popsáno v kapitole 8.2. Každý typ zprávy má přesně stanovenou délku (viz Tab. 8.4). Identifikátory jednotlivých zpráv jsou vytvořeny v souladu s Tab. 8.1 a Tab. 8.2.

Tab. 8.4: Přiřazení identifikátorů jednotlivým typům zpráv

ID (hex)	**Délka (bajt)**	**Význam dat**	**Směr vysílání dat**
0x183	8	Naměřené proudy na kanálech	Výpis z jednotky (R)
0x203	4	Stav řídící jednotky	Výpis z jednotky (R)
0x283	4	Konfigurace řídící jednotky	Zápis do jednotky (W)

8.2 Zprávy pro konfiguraci řídící jednotky

Řídící jednotku kolejových úseků lze konfigurovat zprávami z nadřazeného systému po sběrnici CAN. Formát zprávy je znázorněn v Tab. 8.5. Konfigurace řídící jednotky je uskutečněna pomocí čtyřbajtové zprávy. Typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky popisuje Tab. 8.6. V následujících kapitolách jsou vysvětleny jednotlivé funkce řídící jednotky.

Tab. 8.5: Formát zprávy pro konfiguraci řídící jednotky kolejových úseků

ID	bajt 0	bajt 1	bajt 2	bajt 3
0x283	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3

Tab. 8.6: Typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky kolejových úseků

Data	Hodnota (hex)	Funkce
Data 0	0x01	Resetování řídící jednotky
	0x02	Nastavení periody odesílání naměřených hodnot proudů
	0x03	Resetování H-můstku
	0x04	Nastavení napájecího zdroje 15V/3A
	0x05	Měření na zvolených měřících kanálech
	0x10	Přečtení aktuálního nastavení řídící jednotky

8.2.1 Resetování řídící jednotky

V případě, že by došlo k závažnější chybě na řídící jednotce, je možno provést reset řídící jednotky, respektive mikrokontroléru. V programu řídící jednotky je periodicky resetován tzv. watchdog timer. Princip tohoto časovače spočívá v jeho periodickém resetování. Pokud jednotka bezchybně komunikuje s nadřazeným systémem, časovač je resetován. Resetování časovače je uskutečněno 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 Tab. 8.7.

Tab. 8.7: Formát zprávy pro resetování řídící jednotky kolejových úseků

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x01	Resetování řídící jednotky
Data 1	0x01	Hard reset potvrzen
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

8.2.2 Nastavení periody odesílání naměřených hodnot proudového odběru

Jednou z hlavních funkcí řídící jednotky kolejových úseků je měření proudového odběru na jednotlivých izolovaných úsecích železnice a periodické odesílání o stavu obsazenosti těchto úseků. Pomocí zprávy znázorněné v Tab. 8.8 je umožněno nastavení periody odesílání naměřených hodnot proudů odebírané lokomotivami. Hodnotou v Data 1 se násobí základní časová jednotka periody odesílání, která je nastavena na 10 ms. Ve výchozím stavu je perioda odesílání nastavena na 1000 ms. Periodu odesílání lze volit od 10 ms do 2500 ms. V případě zapsání hodnoty 0x00 do Data 1 jsou naměřené hodnoty proudů odeslány pouze jednou. Zapsáním hodnoty 0xFF do Data 1 je odesílání vypnuto. Periodu lze také nastavit pomocí hardwarového tlačítka MODE na DPS, kdy při výchozím nastavení periody odesílání na 100 ms první stisk změní periodu odesílání na 1000 ms, druhý stisk na 2000 ms, třetí stisk odesílání vypne a čtvrtý stisk opět nastaví periodu odesílání na 100 ms.

Tab. 8.8: Formát zprávy pro nastavení periody odesílání naměřených hodnot

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x02	Nastavení periody 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

8.2.3 Resetování H-můstku

Pokud dojde k přetížení H-můstku, přenastaví se výstupní pin SF z logické jedničky do logické nuly. 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. 8.9. 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.

Tab. 8.9: 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

8.2.4 Nastavení napájecího zdroje 15V/3A

Napájecí zdroj 15V/3A je určen pouze pro napájení H-můstku. Pokud dojde k jakékoli chybě H-můstku, lze H-můstek uvést do bezporuchového stavu také vypnutím a opětovným zapnutím napájecího napětí. Formát zprávy pro ovládání napájecího zdroje 15V/3A je znázorněný v Tab. 8.10. Ve výchozím stavu je napájecí zdroj zapnut.

Tab. 8.10: 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

8.2.5 Měření na zvolených měřících kanálech

Pokud by nastala situace, že by nebylo využito všech osm měřících kanálů na řídící 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. 8.11). Výběr jednotlivých kanálů odpovídá osmi bitům a jejich pořadí 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. 8.11: 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

8.2.6 Přečtení aktuálního stavu řídící jednotky

Z důvodu nadměrného přehlcování CAN sběrnice zpětnými zprávami od řídící jednotky po provedení změn v nastavení jednotky, byl navržen formát zprávy, podle kterého lze sdělit nadřazenému systému kompletní konfiguraci a stav řídící jednotky (viz kapitola 8.3.1). Pro přečtení aktuálního nastavení řídící jednotky je potřeba zaslat řídící jednotce zprávu s tímto požadavkem. Formát této zprávy je znázorněn v Tab. 8.12.

Tab. 8.12: Formát zprávy pro přečtení aktuálního stavu řídící jednotky

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x10	Přečtení aktuálního nastavení řídící jednotky
Data 1	0x01	Odeslání zpětné vazby s aktuálním nastavením
Data 2	–	Nevyužito
Data 3	–	Nevyužito

8.3 Zprávy odesílané řídící jednotkou

Řídící jednotka kolejových úseků je schopna zasílat zprávy o stavu jednotky a obsazenosti jednotlivých úseků nadřazenému systému po sběrnici CAN. Řídící jednotka odesílá nadřazenému systému dva typy zpráv. První typ je využit pro výpis aktuálního stavu řídící jednotky hlášení chyb s identifikátorem 0x203. Druhý typ je určen pro odesílání naměřeného proudového odběru nadřazenému systému s identifikátorem 0x183. Formát zprávy pro první typ zprávy je čtyřbajtový (viz Tab. 8.13) a pro druhý typ zprávy je osmibajtový (viz Tab. 8.16).

Tab. 8.13: Formát zprávy odesílaný řídící jednotkou kolejových úseků

ID	bajt 0	bajt 1	bajt 2	bajt 3
0x203	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3

8.3.1 Aktuální stav řídící jednotky

Po přijetí příkazu pro zaslání zprávy o aktuálním stavu řídící jednotky popsané v kapitole 8.2.6, pošle řídící jednotka zprávu ve formátu uvedeném v Tab. 8.14. Hodnota 0x10 v Data 0 značí, že jde o zprávu s aktuálním stavem řídící jednotky. V Data 1 se nachází aktuální nastavení periodického odesílání hodnot naměřených proudových odběrů. 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, zbylé bity jsou nevyužité. Poslední Data 3 slouží pro informování aktuálně zapnutých či vypnutých měřících kanálů řídící jednotky, zde je také využito binárního značení stavu kanálů.

Tab. 8.14: Formát zprávy aktuálního stavu řídící jednotky

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x10	Aktuální stav
Data 1	0x00	Odesílání pouze „na vyžádání“
	0x01	Odesílání v periodě 10 ms
	0xFA	Odesílání v periodě 2500 ms
	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

8.3.2 Chybové hlášky

Řídící jednotka detekuje chyby při nesprávné konfiguraci jednotky, ale také dokáže rozpoznat provozní chyby (viz Tab. 8.15). Je zde taktéž využíváno binárního značení. Jednotlivé chyby se zapisují změnou logické hodnoty v příslušném bitu v Data 1 nebo Data 2. Při zjištění chyby se do příslušného bitu zapíše logická jednička. V bezporuchovém stavu je v příslušném bitu zapsána logická nula. Závažnější provozní chyby se zapisují do Data 1. Nastane-li 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 8.4). V Data 2 se nachází pouze chyby, které mohou nastat při konfiguraci řídící jednotky. Zpráva je na začátku i na konci ohraničena hodnotou 0xFF, z důvodu jednoznačného rozpoznání chybového hlášení.

Tab. 8.15: Formát zprávy pro chybové hlášky od řídící jednotky kolejových úseků

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 naměřených hodnot proudů
	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	Nevyužito
	bit 0	Nevyužito
Data 3	0xFF	

8.3.3 Odesílání naměřeného proudového odběru

Formát zprávy má délku osm bajtů. Každý bajt obsahuje velikost odebíraného proudu ve sledovaném kolejovém úseku. Tato zpráva je odesílána periodicky podle zvolené prodlevy dle kapitoly 8.2.2. Nultý bajt je přiřazen měřícímu kanálu číslo 1 a sedmý bajt kanálu číslo 8 (viz Tab. 8.16). Velikost naměřených proudových odběrů je v rozsahu od 0x00 do 0xFF.

Tab. 8.16: Formát zprávy pro odesílání naměřeného proudového odběru

bajt	0	1	2	3	4	5	6	7
ID	**CH.1**	**CH.2**	**CH.3**	**CH.4**	**CH.5**	**CH.6**	**CH.7**	**CH.8**
0x183	0x00 – 0xFF	0x00 – 0xFF	0x00 – 0xFF	0x00 – 0xFF	0x00 – 0xFF	0x00 – 0xFF	0x00 – 0xFF	0x00 – 0xFF

8.4 Značení chování RGB LED

Stav řídící 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 nastavené prodlevy, což značí odeslání naměřených hodnot odebíraných proudů na měřících kanálech. Bliknutí modré barvy značí přijetí zprávy pro konfiguraci řídící jednotky. Pokud trvale svítí azurová barva znamená to, že došlo k chybě během odesílání naměřených hodnot proudového odběru. V případě, že svítí žlutá barva, je vypnut napájecí zdroj 15V/3A. Trvale svítící červená barva značí přetížení H-můstku během provozu.

Tab. 8.17: Značení chování RGB LED

Barva RGB	**Význam**
Bliknutí zelené	Odeslání zprávy
Bliknutí modré	Přijetí zprávy
Svítí azurová	Chyba při odesílání naměřených hodnot proudů
Svítí žlutá	Vypnutý zdroj 15V/3A
Svítí červená	Přetížení H-můstku za provozu

9 Komunikační protokol řídící jednotky přestavníků

Tato kapitola popisuje způsob komunikace řídící jednotky přestavníků s nadřazeným systémem po sběrnici CAN. Řídící jednotce přestavníků jsou přiřazeny identifikátory příchozích a odchozích zpráv a dále je uveden formát komunikačních zpráv. Obousměrný budič sběrnice CAN pracuje v režimu High Speed. Komunikační rychlost budiče sběrnice CAN je nastavena na 500 kbit/s.

9.1 Vytvoření identifikátoru zprávy

Jak již bylo vysvětleno v kapitole 8.1 využívá se zde také standartního formátu identifikátoru, jehož délka činí 11 bitů. Horní čtyři bity identifikátoru určují typ zprávy a zbývajících sedm dolních bitů je vymezeno pro přesnou identifikaci řídících jednotek. V Tab. 9.1 jsou přiřazeny identifikátory v hexadecimální podobě jednotlivým směrům vysílání.

Tab. 9.1: Přiřazení identifikátorů řídící jednotce přestavníků

Typ zprávy	ID (hex)	Typ jednotky	Směr vysílání dat
7	0x381	Kontrolér přestavníků	Zápis do jednotky (W)
8	0x401		Výpis z jednotky (R)

Hlavním úkolem řídící jednotky přestavníků je přestavování výhybek na modelovém kolejišti a zasílání informace o aktuálním stavu natočení mikro servopohonů. Pro konfiguraci a přestavení výhybek má jednotka přiřazený identifikátor 0x381. Formát této zprávy je popsán v kapitole 9.2. Informaci o aktuálním stavu řídící jednotky poskytuje pod identifikátorem 0x401. Jednotlivé stavy řídící jednotky jsou specifikovány v kapitole 9.3.1. Oba dva typy zprávy mají shodnou délku 8 bajtů (viz Tab. 9.2). Identifikátory jednotlivých zpráv jsou vytvořeny v souladu s Tab. 8.1 a Tab. 8.2.

Tab. 9.2: Přiřazení identifikátorů jednotlivým typům zpráv

ID (hex)	Délka (bajt)	Význam dat	Směr vysílání dat
0x381	8	Konfigurace řídící jednotky	Zápis do jednotky (W)
0x401	8	Stav řídící jednotky	Výpis z jednotky (R)

9.2 Zprávy pro konfiguraci řídící jednotky

Řídící jednotku přestavníků lze konfigurovat zprávami z nadřazeného systému po sběrnici CAN. Formát zprávy je znázorněn v Tab. 9.3. Konfigurace řídící jednotky se provádí pomocí zprávy o délce 8 bajtů s identifikátorem 0x381. V Tab. 9.4 jsou vypsány typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky. Dále jsou jednotlivé funkce vysvětleny.

Tab. 9.3: Formát zprávy pro konfiguraci řídící jednotky přestavníků

ID	bajt 0	bajt 1	bajt 2	bajt 3	bajt 4	bajt 5	bajt 6	bajt 7
0x381	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Data 6	Data 7

Tab. 9.4: Typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky přestavníků

Data	Hodnota (hex)	Funkce
Data 0	0x00 – 0xB5	Přesné polohování mikro servopohonů
	0xB6	Resetování řídící jednotky
	0xB7	Nastavení prodlevy mezi pootočením mikro servopohonů
	0xB8	Přečtení aktuálního stavu natočení mikro servopohonů
	0xB9	Nastavení softwarových dorazů
	0xBA	Výběr a přestavení výhybek

9.2.1 Přesné polohování mikro servopohonů

Tento typ zprávy (viz Tab. 9.5) umožňuje přesné polohování mikro servopohonů v rozpětí od 0° do 180° či jejich úplné vypnutí.

Tab. 9.5: Formát zprávy pro přesné polohování mikro servopohonů

Data	Hodnota (hex)	Funkce
Data 0	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 1
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 1
Data 1	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 2
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 2
Data 2	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 3
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 3
Data 3	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 4
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 4
Data 4	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 5
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 5
Data 5	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 6
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 6
Data 6	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 7
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 7
Data 7	0x00 – 0xB4	Pootočení mikro servopohonu 8
	0xB5	Vypnutí mikro servopohonu 8

Minimální natočení 0° odpovídá hexadecimálně 0x00 a maximální natočení 180° odpovídá hexadecimálně 0xB4. Tudíž mikro servopohony je možno ovládat přesně na jednotky stupňů. Při příkazu natočení například na 110° postačí číslo převést na hexadecimální soustavu, zde tedy 0x6E, a zapsat hodnotu do příslušného bajtu odpovídající danému mikro servopohonu. Pro vypnutí příslušného mikro servopohonu je potřeba zapsat hodnotu 0xB5 do příslušného bajtu.

9.2.2 Resetování řídící jednotky

Pokud by došlo k chybě řídící jednotky, je možno ji pomocí zprávy resetovat. V programu je k resetování řídící jednotky využíván tzv. watchdog timer, jehož princip byl již vysvětlen v kapitole 8.2.1. Formát zprávy pro resetování jednotky znázorňuje Tab. 9.6.

Tab. 9.6: Formát zprávy pro resetování řídící jednotky přestavníků

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0xB6	Resetování řídící jednotky
Data 1	0x01	Hard reset potvrzen
Data 2 až Data 7	–	Nevyužito

9.2.3 Nastavení prodlevy mezi pootočením mikro servopohonů

Pomocí zprávy znázorněné v Tab. 9.7 je možno nastavit prodlevu mezi pootočením jednotlivých mikro servopohonů. Hodnotou v Data 1 se násobí základní časová jednotka prodlevy, která je nastavena na 10 ms. Prodlevu lze nastavovat od 100 ms do 2500 ms. Pokud je zapsána hodnota 0x0A do Data 1 dojde k pootočení, respektive přestavení všech výhybek, s prodlevou mezi jednotlivými pootočeními 100 ms. Pro prodlevu 2000 ms je potřeba zapsat do bajtu Data 1 hexadecimální číslo 0xC8. Po inicializaci je prodleva mezi pootočením jednotlivých mikro servopohonů nastavena na 200 ms.

Tab. 9.7: Formát zprávy pro nastavení prodlevy mezi pootočením jednotlivých mikro servopohonů

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0xB7	Nastavení prodlevy
Data 1	0x0A – 0xFA	Prodleva x10 ms
Data 2 až Data 7	–	Nevyužito

9.2.4 Přečtení aktuálního stavu natočení mikro servopohonů

Tímto druhem zprávy je možno zjistit natočení jednotlivých mikro servopohonů (viz Tab. 9.8). Zapsáním hodnoty 0x01 do Data 1 je vybrán formát zprávy obsahující informaci o natočení mikro servopohonů vlevo, vpravo nebo zdali jsou mezi dorazy (uprostřed). Pokud je do Data 1 zapsána hodnota 0x02 je zvolen formát zprávy obsahující informaci o natočení jednotlivých mikro servopohonů ve stupních.

Tab. 9.8: Formát zprávy pro přečtení aktuálního natočení mikro servopohonů

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0xB8	Přečtení aktuálního stavu natočení mikro servopohonů
Data 1	0x01	Informace o natočení vlevo, vpravo nebo uprostřed
	0x02	Informace o natočení ve stupních
Data 2 až Data 7	–	Nevyužito

9.2.5 Nastavení softwarových dorazů

K přestavení výhybky je potřeba nastavit levý a pravý doraz pro každý mikro servopohon. Doraz je možno nastavit od 0° do 180°. K přestavení výhybky avšak postačuje výchylka pouhých 10° až 15°. To je možné nastavit pro každý mikro servopohon zvlášť. Zvolený mikro servopohon je potřeba zadat do Data 1, kde hodnota 0x00 odpovídá prvnímu přestavníku a hodnota 0x07 osmému přestavníku. Do Data 2 je nutno zadat hodnotu levého dorazu ve stupních v hexadecimální podobě. Totéž platí pro pravý doraz, zadávaný do Data 3. Po inicializaci jsou dorazy nastaveny pro přestavení doleva na 90° a pro přestavení doprava na 110°. Výchylka je zde záměrně zvolena větší, konkrétně 20°, aby bylo zaručeno spolehlivé přestavení výhybky. Tím je při průjezdu vlakové soupravy garantováno, že výhybka zůstane fixně ve své pozici a nedojde k jejímu nechtěnému přestavení.

Tab. 9.9: Formát zprávy pro nastavení dorazů mikro servopohonů

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0xB9	Nastavení softwarových dorazů
Data 1	0x00 – 0x07	Výběr příslušného mikro servopohonu
	0xAA	Výběr všech mikro servopohonů
Data 2	0x00 – 0xB4	Hodnota levého dorazu
Data 3	0x00 – 0xB4	Hodnota pravého dorazu
Data 4 až Data 7	–	Nevyužito

9.2.6 Výběr a přestavení výhybek

Hlavní funkcí řídící jednotky je přestavování výhybek na modelovém kolejišti. Formát zprávy pro ovládání této funkce je znázorněn v Tab. 9.10. Výběr jednotlivých výhybek, které je potřeba přestavit, se vybírá zasláním hexadecimálního čísla v bajtu Data 1. Způsob vybrání výhybky a vznik hexadecimálního čísla ukazuje Tab. 9.11. Zde je pro ukázku zvoleno přestavení šesté, páté, druhé a první výhybky. V binární podobě tato zvolená kombinace tvoří číslo 0011 0011. Po převedení do hexadecimální soustavy vznikne číslo 0x33, jenž je potřeba zaslat v bajtu Data 1. Tímto jsou výhybky připravené pro přestavení.

Pro výběr směrové polohy výhybek slouží bajt Data 2, kam je nutno také zapsat hexadecimální číslo, jehož vytvoření vysvětluje Tab. 9.12. Zde je pro ukázku zvoleno přestavení šesté a druhé výhybky doprava a přestavení páté a první výhybky doleva. Pro přestavení doprava je potřeba zapsat do příslušného bitu, zde šestý a druhý bit, logickou nulu a pro přestavení doleva logickou jedničku, zde do pátého a prvního bitu. Tudíž v binární podobě vznikne číslo 0001 0001. Po převedení do hexadecimální soustavy vznikne číslo 0x11, které je třeba zapsat do bajtu Data 2.

Tab. 9.10: Formát zprávy pro výběr a přestavení výhybek

Data	**Hodnota (hex)**	**Význam**
Data 0	0xBA	Přestavení výhybek
Data 1	0x00 – 0xFF	Výběr jednotlivých výhybek k přestavení
Data 2	0x00 – 0xFF	Přestavení vybrané výhybky doleva/doprava
Data 3 až Data 7	–	Nevyužito

Tab. 9.11: Výběr jednotlivých výhybek k přestavení

Výběr výhybky	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Data 1 (bin)	0	0	1	1	0	0	1	1
Data 1 (hex)	0x33							

Tab. 9.12: Výběr směrové polohy výhybek

Přestavení výhybky	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Data 2 (bin)	0	0	0	1	0	0	0	1
Data 2 (hex)	0x11							

9.3 Zprávy odesílané řídící jednotkou

Řídící jednotka přestavníků zasílá nadřazenému systému po každém přestavení výhybek zprávu po sběrnici CAN. Tato zpráva o stavu přestavení jednotlivých výhybek může mít dvě podoby. Tyto dvě podoby jsou rozebrány a popsány níže v kapitole 9.3.1. Taktéž řídící jednotka hlídá případné vzniklé chyby a neprodleně je ohlašuje nadřazenému systému. Formát zprávy je osmibajtový pro oba typy zpráv (viz Tab. 9.13). Řídící jednotka odesílá zprávy pod identifikátorem 0x401.

Tab. 9.13: Formát zprávy odesílaný řídící jednotkou přestavníků

ID	bajt 0	bajt 1	bajt 2	bajt 3	bajt 4	bajt 5	bajt 6	bajt 7
0x401	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Data 6	Data 7

9.3.1 Aktuální stav natočení mikro servopohonů

První formát zprávy předává informaci o natočení mikro servopohonů vlevo, vpravo nebo mezi dorazy. Tato zpráva je odeslána automaticky po přijetí zprávy s příkazem změny směrové polohy výhybek z kapitoly 9.2.6. Podobu zprávy lze vidět v Tab. 9.14. Hexadecimální hodnota 0xF0 značí, že příslušná výhybka je přestavena doprava, respektive mikro servopohon je natočen pro přestavení doprava. Hodnota 0xF1 je vyhrazena pro význam natočení mikro servopohonu doleva, hodnota 0xF2 pro stav, kdy se mikro servopohon nachází mezi dorazy, což znamená že je výhybka uprostřed, a hodnota 0xF3 značí že je příslušný mikro servopohon vypnut.

Tento formát zprávy lze zaslat nadřazenému systému i na vyžádání. K tomu slouží zpráva z kapitoly 9.2.4.

Tab. 9.14: Formát zprávy s informací o natočení mikro servopohonů vlevo, vpravo nebo uprostřed

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0xF0	Mikro servopohon 1 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 1 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 1 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 1 vypnut
Data 1	0xF0	Mikro servopohon 2 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 2 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 2 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 2 vypnut
Data 2	0xF0	Mikro servopohon 3 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 3 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 3 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 3 vypnut
Data 3	0xF0	Mikro servopohon 4 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 4 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 4 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 4 vypnut
Data 4	0xF0	Mikro servopohon 5 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 5 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 5 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 5 vypnut
Data 5	0xF0	Mikro servopohon 6 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 6 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 6 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 6 vypnut
Data 6	0xF0	Mikro servopohon 7 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 7 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 7 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 7 vypnut
Data 7	0xF0	Mikro servopohon 8 natočen doprava
	0xF1	Mikro servopohon 8 natočen doleva
	0xF2	Mikro servopohon 8 mezi dorazy (uprostřed)
	0xF3	Mikro servopohon 8 vypnut

Druhý formát zprávy předává informaci o natočení mikro servopohonů ve stupních s přesností na 1° v rozmezí od 0° do 180°. Tato zpráva je odeslána automaticky po přijetí zprávy s příkazem k přesnému polohování mikro servopohonů z kapitoly 9.2.1. Podobu zprávy lze vidět v Tab. 9.15. V souladu s příkazy k přesnému polohování mikro servopohonů obsahuje zpráva hexadecimální hodnotu natočení ve stupních jednotlivých mikro servopohonů. Hodnota 0x00 značí natočení na 0° a hodnota 0xB4 natočení na 180°. Například pokud bude v bajtu Data 4 hexadecimální hodnota 0x6C, znamená to, že mikro servopohon 5 je natočen na 108°. Hodnota 0xB5 je vyhrazena pro význam vypnutí příslušného mikro servopohonu.

Tento formát zprávy lze zaslat nadřazenému systému i na vyžádání. K tomu slouží zpráva z kapitoly 9.2.4.

Tab. 9.15: Formát zprávy s informací o natočení mikro servopohonů ve stupních

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 1 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 1 vypnut
Data 1	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 2 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 2 vypnut
Data 2	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 3 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 3 vypnut
Data 3	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 4 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 4 vypnut
Data 4	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 5 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 5 vypnut
Data 5	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 6 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 6 vypnut
Data 6	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 7 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 7 vypnut
Data 7	0x00 – 0xB4	Natočení mikro servopohonu 8 ve stupních
	0xB5	Mikro servopohon 8 vypnut

9.3.2 Chybové hlášky

Řídící jednotka přestavníků detekuje chyby při nesprávné konfiguraci jednotky a také provozní chyby (viz Tab. 9.16). Je zde použito binárního značení. Jednotlivé chyby se zapisují změnou logické hodnoty v příslušném bitu v bajtu Data 1. Při zjištění chyby se do příslušného bitu zapíše logická jednička. V bezporuchovém stavu je v příslušném bitu zapsána logická nula. Pokud dojde k chybě, zahlásí se chyba nadřazenému systému a na DPS se rozsvítí RGB LED příslušnou barvou (viz kapitola 9.4). Zpráva je na začátku i na konci ohraničena hodnotou 0xFF, z důvodu jednoznačného rozpoznání chybového hlášení.

Tab. 9.16: Formát zprávy pro chybové hlášky od řídící jednotky přestavníků

Data	**Hodnota (hex)**	**Význam chyby**
Data 0	0xFF	
Data 1	bit 7	Chyba při hard resetu
	bit 6	Chyba při přestavování výhybek
	bit 5	Chyba při přesném polohování
	bit 4	Chyba při nastavení softwarových dorazů
	bit 3	Chyba při nastavení prodlevy mezi pootočením
	bit 2	Chyba při čtení aktuálního stavu natočení
	bit 1	Nevyužito
	bit 0	Nevyužito
Data 2	0xFF	
Data 3 až Data 7	–	Nevyužito

9.4 Značení chování RGB LED

Stav řídící jednotky přestavníků signalizuje RGB LED umístěná na DPS. V bezporuchovém stavu nesvítí trvale žádnou barvou. Bliknutí zelené barvy značí odeslání zprávy nadřazenému systému. Bliknutí modré barvy značí přijetí zprávy pro konfiguraci řídící jednotky. Pokud trvale svítí azurová barva znamená to, že došlo k chybě během nastavování softwarových dorazů. V případě, že svítí žlutá barva, nastala chyba při přesném polohování mikro servopohonů. Trvale svítící červená barva značí chybu při přestavování výhybek.

Tab. 9.17: Značení chování RGB LED

Barva RGB	**Význam**
Bliknutí zelené	Odeslání zprávy
Bliknutí modré	Přijetí zprávy
Svítí azurová	Chyba při nastavení softwarových dorazů
Svítí žlutá	Chyba při přesném polohování
Svítí červená	Chyba při přestavování výhybek

10 Komunikační protokol řídící jednotky točny

V této kapitole je popsán způsob komunikace řídící jednotky točny s nadřazeným systémem po sběrnici CAN. Řídící jednotce točny jsou přiřazeny identifikátory příchozích a odchozích zpráv a dále je uveden formát komunikačních zpráv. Obousměrný budič sběrnice CAN pracuje v režimu High Speed. Komunikační rychlost budiče sběrnice CAN je nastavena na 500 kbit/s.

10.1 Vytvoření identifikátoru

Využívá se zde standartního formátu identifikátoru, o délce 11 bitů. V Tab. 10.1 jsou přiřazeny identifikátory v hexadecimální podobě jednotlivým směrům vysílání.

Tab. 10.1: Přiřazení identifikátorů řídící jednotce točny

Typ zprávy	ID (hex)	Typ jednotky	Směr vysílání dat
10	0x501	Kontrolér točny	Zápis do jednotky (W)
11	0x581		Výpis z jednotky (R)

Pro konfiguraci a ovládání točny má jednotka přiřazený identifikátor 0x501 s délkou zprávy 2 bajty. Informaci o aktuálním stavu řídící jednotky poskytuje pod identifikátorem 0x581 s délkou zprávy 4 bajty (viz Tab. 10.2). Identifikátory jednotlivých zpráv jsou vytvořeny v souladu s Tab. 8.1 a Tab. 8.2.

Tab. 10.2: Přiřazení identifikátorů jednotlivým typům zpráv

ID (hex)	Délka (bajt)	Význam dat	Směr vysílání dat
0x501	2	Konfigurace řídící jednotky	Zápis do jednotky (W)
0x581	4	Stav řídící jednotky	Výpis z jednotky (R)

10.2 Zprávy pro konfiguraci řídící jednotky

Řídící jednotku točny lze konfigurovat zprávami z nadřazeného systému po sběrnici CAN. Formát zprávy je znázorněn v Tab. 10.3. Zpráva pro konfiguraci řídící jednotky má délku 2 bajty a přijímá zprávy pod identifikátorem 0x501. V Tab. 10.4 jsou vypsány typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky. Dále jsou jednotlivé funkce řídící jednotky rozebrány.

Tab. 10.3: Formát zprávy pro konfiguraci řídící jednotky točny

ID	bajt 0	bajt 1
0x501	Data 0	Data 1

Tab. 10.4: Typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky točny

Data	Hodnota (hex)	Funkce
Data 0	0x00	Nastavení periody odesílání stavu točny
	0x01	Nastavení požadované pozice točny
	0x02	Smazání vzniklých chyb

10.2.1 Nastavení periody odesílání stavu točny

Zpráva znázorněna v Tab. 10.5 umožňuje nastavení periody odesílání stavu točny. Hodnotou v Data 1 se násobí základní časová jednotka prodlevy odesílání, která je nastavena na 100 ms. Prodlevu lze volit od 0 ms do 25 500 ms.

Tab. 10.5: Formát zprávy pro nastavení periody odesílání stavu točny

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x00	Nastavení periody odesílání stavu točny
Data 1	0x00 – 0xFF	Prodleva x100 ms

10.2.2 Nastavení požadované pozice točny

Krokový motor ovládající točnu má pro manipulaci s točnou využitých 24 kroků. Polohu točny lze nastavovat po jednom kroku a to od kroku 0, což je výchozí nulová pozice, až do kroku 24. Formát zprávy ovládající pozici točny, respektive kroky krokového motoru, lze vidět v Tab. 10.6.

Tab. 10.6: Formát zprávy pro nastavení požadované pozice točny

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x00	Nastavení požadované pozice točny
Data 1	0x00 – 0x18	Výběr pozice točny (0 – 24)

10.2.3 Smazaní vzniklých chyb v řídící jednotce

Pomocí zprávy v Tab. 10.7 lze smazat případné chyby v řídící jednotce točny, které mohly vzniknout během jejího provozu.

Tab. 10.7: Formát zprávy pro smazání vzniklých chyb v řídící jednotce

Data	Hodnota (hex)	Význam
Data 0	0x02	Smazání vzniklých chyb
Data 1	–	Nevyužito

10.3 Zprávy odesílané řídící jednotkou

Řídící jednotka točny odesílá nadřazenému systému periodicky zprávu o stavu točny po sběrnici CAN. Zpráva má délku 4 bajty. Formát zprávy je znázorněn v Tab. 10.8. Řídící jednotka odesílá zprávy pod identifikátorem 0x581.

Tab. 10.8: Formát zprávy odesílaný řídící jednotkou točny

ID	bajt 0	bajt 1	bajt 2	bajt 3
0x581	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3

10.3.1 Aktuální stav točny

Řídící jednotka odesílá informaci o tom, zda se točna pohybuje či ne, kde se točna zrovna nachází, jaká je požadovaná pozice točny a zda se jednotka nachází v chybě. Formát zprávy s aktuálním stavem točny lze vidět v Tab. 10.9.

Tab. 10.9: Formát zprávy aktuálního stavu řídící jednotky

Data	Hodnota (hex)	Funkce
Data 0	0x00	Točna se nepohybuje
	0x01	Točna se pohybuje
Data 1	0x00	Řídící jednotka bez chyby
	0x01	Chyba řídící jednotky
Data 2	0x00 – 0x18	Požadovaná pozice točny (0 – 24)
Data 3	0x00 – 0x18	Aktuální pozice točny (0 – 24)

Závěr

Po provedení analýzy aktuálního stavu elektronického vybavení modelového kolejiště bylo zjištěno, že modelové kolejiště je rozděleno pouze na osm izolovaných úseků, přičemž dva úseky jsou situovány jako širá trať levá a širá trať pravá. Tudíž pokud se vlaková souprava nacházela mimo stanice, nebyla přesně známa její poloha. Z tohoto důvodu se rozhodlo o inovaci elektroniky modelového kolejiště.

Následovala analýza stavu a vlastností nově navržených řídících jednotek, které byly navrženy a určeny pro budoucí nasazení do modelového kolejiště. Jednalo se o řídící jednotku kolejových úseků a řídící jednotku přestavníků navržených v roce 2020, nicméně nebyly zcela dokončeny a vyzkoušeny při provozu na modelovém kolejišti. Jednotky byly navrženy a vyrobeny, avšak nebyly ani osazeny ani neobsahovaly potřebný řídící software.

Jakmile byly řídící jednotky osazeny součástkami a oživeny, bylo možno je doplnit o potřebný software. Řídící software pro řídící jednotku kolejových úseků umožňuje komunikaci s nadřazeným systémem po CAN sběrnici, zprostředkovává zesílení DCC signálu do kolejnic pro řízení lokomotiv, zasílá naměřené velikosti proudového odběru na jednotlivých měřených izolovaných úsecích modelového kolejiště, tudíž detekuje jejich obsazenost a tuto obsazenost vizualizuje pomocí LED diod na DPS. Řídící software pro řídící jednotku přestavníků taktéž umožňuje komunikaci s nadřazeným systémem pomocí CAN sběrnice, zprostředkovává přestavování požadovaných výhybek a jejich stav vizualizuje pomocí LED diod na DPS. Taktéž bylo poupraveno zapojení pro detekci proudové odběru způsobené lokomotivou na řídící jednotce kolejových úseků.

Dále byla navržena mechanická přestavba přestavníků. Nové řešení přestavování výhybek nahrazuje nespolehlivé řešení realizované pomocí dilatace odporového drátu. Nově jsou výhybky přestavovány pomocí digitálních mikro servopohonů, které jsou uchyceny zespoda výhybky na modelovém kolejišti. Nově navržené přestavníky vykazují vysokou spolehlivost a nedochází k změně směru výhybky při průjezdu vlakové soupravy.

Pro řídící jednotku kolejových úseků, přestavníků, ale i točny byly zdokumentovány komunikační protokoly, které jsou stěžejní pro komunikaci s nadřazeným systémem.

Funkčnost řídících jednotek byla ověřena při provozu na modelovém kolejišti. Pomocí nadřazeného systému, realizovaný stolním počítačem, bylo možno vypravovat vlakové soupravy po modelovém kolejišti, byla detekována obsazenost jednotlivých kolejových úseků a taktéž bylo ověřeno přestavování výhybek, které se jevilo jako velmi spolehlivé.

Řídící jednotky jsou připravené na reálný provoz na modelovém kolejišti.

Literatura

[1] Digital Command Control's Advantages over DC. Learn about Digital Command Control - DCC - Open source [online]. 2021 [cit. 17.03.2022]. Dostupné z: https://dccwiki.com/Digital_Command_Control_Advantages_Over_Direct_Current

[2] Analog versus Digital – Mašinky. Mašinky – O modelové železnici, elektronice a souvislostech [online]. 2013 [cit. 17.03.2022]. Dostupné z: https://www.masinky.info/2011/01/analog-versus-digital/

[3] Lapuník, V. Řídící software pro modelové kolejiště. V Plzni, 2019. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Petr Weissar, Ph.D.

[4] Weissar, P., Žahour, J., Lufinka, O. Vlaky TT: Projekty FEL [online]. 2018 [cit. 29.03.2022]. Dostupné z: http://projekty.fel.zcu.cz/index.php/Vlaky_TT

[5] National Model Railroad Association Standart – Electrical Standards for Digital Command Control – S-9.1 [online]. 2021 [cit. 24.03.2022]. Dostupné z: https://www.nmra.org/sites/default/files/standards/sandrp/pdf/s-9.1_electrical_standards_for_digital_command_control_2021.pdf

[6] National Model Railroad Association Standart – Communications Standards For Digital Command Control, All Scales – S-9.2 [online]. 2004 [cit. 24.03.2022]. Dostupné z: https://www.nmra.org/sites/default/files/s-92-2004-07.pdf

[7] National Model Railroad Association Standart – Extended Packet Formats For Digital Command Control, All Scales – S-9.2.1 [online]. 2012 [cit. 24.03.2022]. Dostupné z: https://www.nmra.org/sites/default/files/s-9.2.1_2012_07.pdf

[8] Digitální řízení modelové železnice – DCC – RoboDoupě - web nejen o robotice. [online]. 2016 [cit. 24.03.2022]. Dostupné z: http://robodoupe.cz/2016/digitalni-rizeni-modelove-zeleznice-dcc/

[9] Digitální řízení modelové železnice – DCC, 2. část – RoboDoupě - web nejen o robotice. [online]. 2016 [cit. 24.03.2022]. Dostupné z: http://robodoupe.cz/2016/digitalni-rizeni-modelove-zeleznice-dcc-2-cast/

[10] Zvonař, F. Generátor DCC signálu. V Plzni, 2018. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Ondřej Lufinka

[11] Malena, O. Řídící jednotka kolejových úseků pro modelovou železnici. V Plzni, 2018. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Jiří Žahour

[12] Sunek, P. Návrh systému počítačového řízení modelového kolejiště. V Plzni, 2006. Diplomová práce (Ing.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Petr Hloušek, Ph.D.

[13] Albrecht, P. Řídicí jednotka kolejových úseků modelové železnice. V Plzni, 2020. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.

[14] Boula, L. Řídicí jednotka přestavníků pro modelovou železnici. V Plzni, 2020. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.

Seznam obrázků

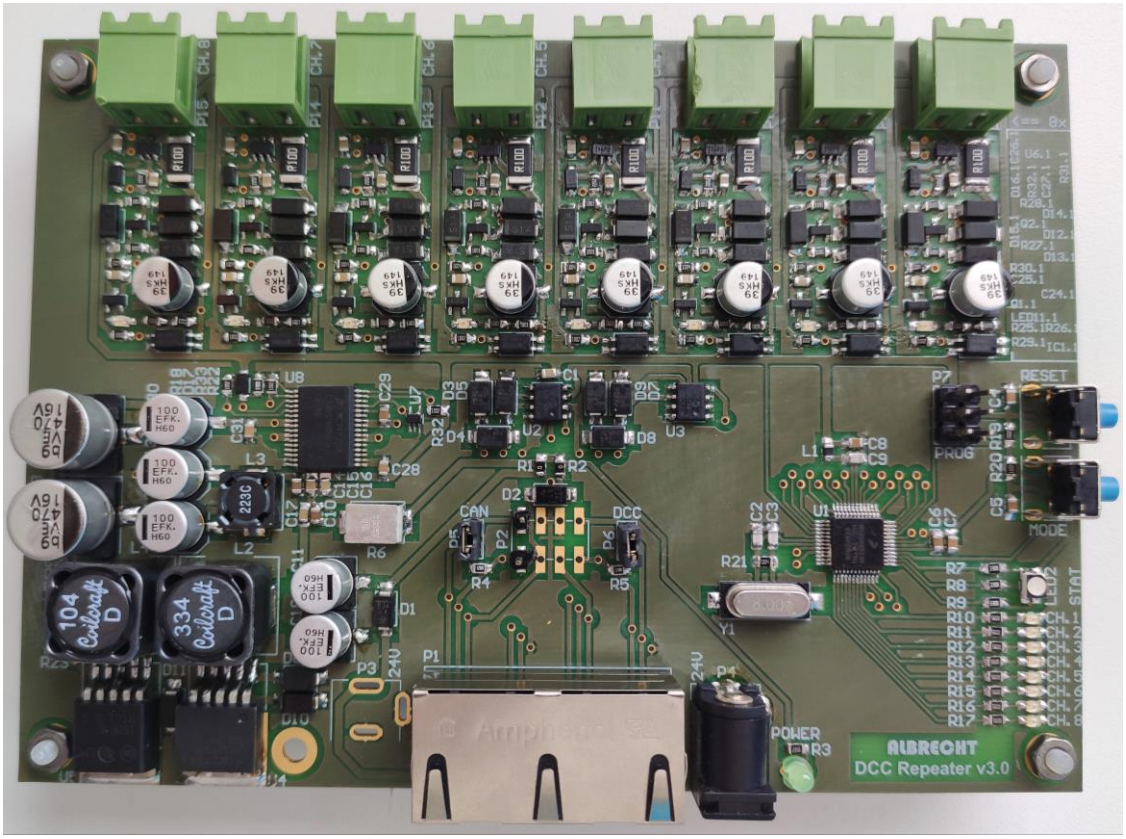
Obr. 1.1: Schéma modelového kolejiště ..... - 3 -
Obr. 1.2: Koncepce řízení modelového kolejiště [4] ..... - 5 -
Obr. 1.3: Zapojení konektoru RJ-45 se zakresleným barevným rozlišením vodičů [4]- 7 -
Obr. 2.1: Průběhy signálu DCC reprezentující stavy log.0 a log.1 ..... - 8 -
Obr. 2.2: Příklad průběhu signálu DCC v levé a pravé kolejnici ..... - 9 -
Obr. 2.3: Příklad kompletního DCC paketu [6] ..... - 10 -
Obr. 2.4: Požadavky na provozní napětí pro DCC zesilovač a dekodér [5] ..... - 16 -
Obr. 3.1: Blokové schéma řídícího softwaru modelového kolejiště ..... - 20 -
Obr. 3.2: Standardizovaný rozměr DPS pro modelové kolejiště [4] ..... - 20 -
Obr. 5.1: Schéma zapojení pro detekci proudového odběru ..... - 23 -
Obr. 5.2: Vývojový diagram řídící jednotky kolejových úseků ..... - 25 -
Obr. 6.1: Vývojový diagram řídící jednotky výhybek ..... - 30 -
Obr. 7.1: Současné provedení mechaniky přestavníků ..... - 33 -
Obr. 7.2: Uchycení mikro servopohonu ..... - 34 -
Obr. 7.3: Připevnění struny k páce mikro servopohonu ..... - 34 -
Obr. 7.4: Přípravek pro usnadnění vrtání konstrukčních otvorů ..... - 35 -
Obr. 7.5: Provedení mechaniky přestavníku s mikro servopohonem ..... - 35 -

Seznam tabulek

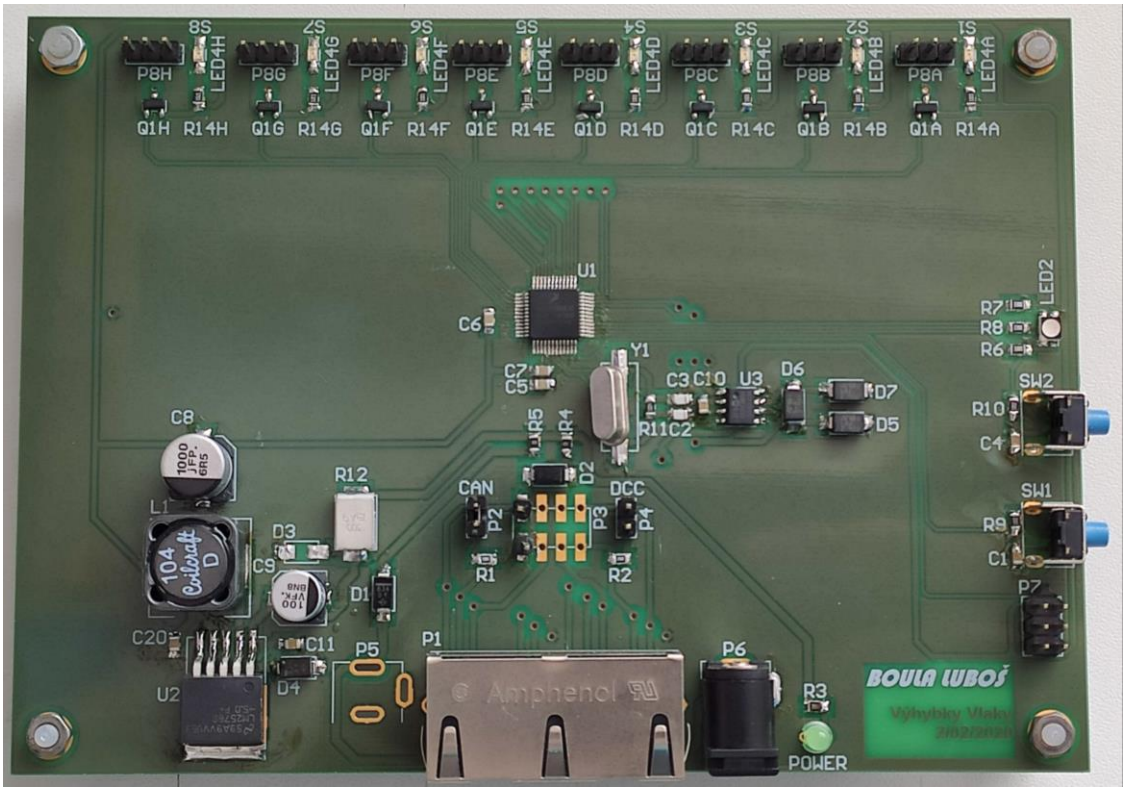
Tab. 1.1: Přiřazení pinů konektoru RJ-45 [4] ..... - 7 -
Tab. 2.1: Rozdělení adresového prostoru DCC ..... - 10 -
Tab. 2.2: Formát broadcast paketu [6] ..... - 11 -
Tab. 2.3: Rozdělení adresového prostoru DCC podle prefixu [7] ..... - 11 -
Tab. 2.4: Formát základního paketu pro rychlost a směr jízdy [6] [7] ..... - 12 -
Tab. 2.5: Rychlostní stupně lokomotivy pro základní DCC paket [6] ..... - 12 -
Tab. 2.6: Adresy lokomotiv použitých na modelovém kolejišti ..... - 13 -
Tab. 2.7: Formát rozšířeného paketu pro rychlost a směr jízdy [7] [9] ..... - 13 -
Tab. 2.8: Formát paketu pro funkce první skupiny [7] [9] ..... - 13 -
Tab. 2.9: Formát paketu pro funkce druhé skupiny [7] [9] ..... - 14 -
Tab. 2.10: Formát základního paketu pro dekodéry příslušenství [7] [9] ..... - 14 -
Tab. 2.11: Formát rozšířeného paketu pro dekodéry příslušenství [7] ..... - 14 -
Tab. 2.12: Formát idle paketu [6] ..... - 15 -
Tab. 8.1: Rozdělení typů zpráv mezi jednotlivé řídící jednotky ..... - 37 -
Tab. 8.2: Vytvoření identifikátoru pro konkrétní řídící jednotku ..... - 38 -
Tab. 8.3: Přiřazení identifikátorů řídící jednotce kolejových úseků ..... - 38 -
Tab. 8.4: Přiřazení identifikátorů jednotlivým typům zpráv ..... - 38 -
Tab. 8.5: Formát zprávy pro konfiguraci řídící jednotky kolejových úseků ..... - 39 -
Tab. 8.6: Typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky kolejových úseků ..... - 39 -
Tab. 8.7: Formát zprávy pro resetování řídící jednotky kolejových úseků ..... - 39 -
Tab. 8.8: Formát zprávy pro nastavení periody odesílání naměřených hodnot ..... - 40 -
Tab. 8.9: Formát zprávy pro resetování H-můstku ..... - 40 -
Tab. 8.10: Formát zprávy pro nastavení napájecího zdroje 15V/3A ..... - 41 -
Tab. 8.11: Formát zprávy pro zvolení měřících kanálů ..... - 41 -
Tab. 8.12: Formát zprávy pro přečtení aktuálního stavu řídící jednotky ..... - 42 -
Tab. 8.13: Formát zprávy odesílaný řídící jednotkou kolejových úseků ..... - 42 -
Tab. 8.14: Formát zprávy aktuálního stavu řídící jednotky ..... - 43 -
Tab. 8.15: Formát zprávy pro chybové hlášky od řídící jednotky kolejových úseků - 43 -
Tab. 8.16: Formát zprávy pro odesílání naměřeného proudového odběru ..... - 44 -
Tab. 8.17: Značení chování RGB LED ..... - 44 -
Tab. 9.1: Přiřazení identifikátorů řídící jednotce přestavníků ..... - 45 -
Tab. 9.2: Přiřazení identifikátorů jednotlivým typům zpráv ..... - 45 -

Tab. 9.3: Formát zprávy pro konfiguraci řídící jednotky přestavníků ..... - 46 -
Tab. 9.4: Typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky přestavníků ..... - 46 -
Tab. 9.5: Formát zprávy pro přesné polohování mikro servopohonů ..... - 46 -
Tab. 9.6: Formát zprávy pro resetování řídící jednotky přestavníků ..... - 47 -
Tab. 9.7: Formát zprávy pro nastavení prodlevy mezi pootočením jednotlivých mikro servopohonů ..... - 47 -
Tab. 9.8: Formát zprávy pro přečtení aktuálního natočení mikro servopohonů ..... - 48 -
Tab. 9.9: Formát zprávy pro nastavení dorazů mikro servopohonů ..... - 48 -
Tab. 9.10: Formát zprávy pro výběr a přestavení výhybek ..... - 49 -
Tab. 9.11: Výběr jednotlivých výhybek k přestavení ..... - 49 -
Tab. 9.12: Výběr směrové polohy výhybek ..... - 49 -
Tab. 9.13: Formát zprávy odesílaný řídící jednotkou přestavníků ..... - 50 -
Tab. 9.14: Formát zprávy s informací o natočení mikro servopohonů vlevo, vpravo nebo uprostřed ..... - 51 -
Tab. 9.15: Formát zprávy s informací o natočení mikro servopohonů ve stupních .. - 52 -
Tab. 9.16: Formát zprávy pro chybové hlášky od řídící jednotky přestavníků ..... - 53 -
Tab. 9.17: Značení chování RGB LED ..... - 53 -
Tab. 10.1: Přiřazení identifikátorů řídící jednotce točny ..... - 54 -
Tab. 10.2: Přiřazení identifikátorů jednotlivým typům zpráv ..... - 54 -
Tab. 10.3: Formát zprávy pro konfiguraci řídící jednotky točny ..... - 54 -
Tab. 10.4: Typy zpráv pro konfiguraci řídící jednotky točny ..... - 55 -
Tab. 10.5: Formát zprávy pro nastavení periody odesílání stavu točny ..... - 55 -
Tab. 10.6: Formát zprávy pro nastavení požadované pozice točny ..... - 55 -
Tab. 10.7: Formát zprávy pro smazání vzniklých chyb v řídící jednotce ..... - 55 -
Tab. 10.8: Formát zprávy odesílaný řídící jednotkou točny ..... - 56 -
Tab. 10.9: Formát zprávy aktuálního stavu řídící jednotky ..... - 56 -

Přílohy



Příloha A: Osazená DPS řídící jednotky kolejových úseků



Příloha B: Osazená DPS řídící jednotky přestavníků