

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Digitální řízení modelového kolejiště

(Digital control of model railway)

Autor: Ondřej Jeřábek

Škola: VOŠ a SPŠE Olomouc

Kraj: Olomoucký kraj

Konzultant: Ing. Zuzana Veselá

Olomouc 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Olomouci dne 2. 4. 2014

podpis:

Poděkování

Chtěl bych vyslovit poděkování paní Ing. Zuzaně Veselé za odborné konzultace a informace, které mi během práce poskytovala.

Anotace

Práce se zabývá problémem digitálního řízení modelového kolejiště, pro ovládání více lokomotiv současně. Cílem práce bude napodobit světový standard DCC, používaný pro tuto problematiku. V první části se zabývám popisem standardu DCC, jeho úpravám, návrhu řídicí stanice a v neposlední řadě návrhu dekodérů DCC signálu v lokomotivách. Druhá část je věnována návodu pro ovládání a výrobní dokumentaci. Programy pro řídicí stanici s dekodéry DCC jsou napsány v jazyce C++

Klíčová slova: Modelové kolejiště; digital command control; DCC; digitální řízení; C++; AVR; ATmega32; ATtiny2313;

Annotation

The work deals with the problem of the model railway digital control, to control multiple locomotives simultaneously. The aim of the work is to imitate the world DCC standard for this issue. The first part contains description of the DCC standard, its adjustments, control station and DCC decoders design. The second part contains direction for use and production documentation. Firmware for the control station and DCC decoders is written in C++.

Key words: Model railway; digital command control; DCC; digital control; C++; AVR; ATmega32; ATtiny2313;

OBSAH

Obsah	5
Úvod.....	6
1. Standard DCC	7
1.1. Úvod do DCC	7
1.2. Napájení kolejiště	7
1.3. Kódování	8
1.4. Stavba paketů	10
1.4.1. Stavba paketu pro lokomotivy	10
1.4.2. Stavba paketu pro periferie	12
1.4.3. Ostatní druhy paketů	12
1.5. Moje úpravy	13
2. Řídící stanice	14
2.1. Popis bloků	15
2.1.1. Mikrokontrolér	15
2.1.2. Zesilovač	16
2.1.3. Rotační enkodéry	17
2.1.4. Tlačítka.....	18
2.1.5. LCD displej	19
2.1.6. Měření odebíraného proudu	20
2.1.7. Signalizace	20
2.2. Firmware řídící stanice	21
3. Dekodér	24
3.1. Popis bloků	25
3.1.1. Kolejnice	25
3.1.2. Napájení	25
3.1.3. Mikrokontrolér	26
3.1.4. Stavová LED	26
3.1.5. Světla lokomotivy	27
3.1.6. Výkonový spínač motoru	27
3.2. Firmware dekodéru.....	27
4. Návod k použití	30
4.1. První zapojení.....	30
4.2. Přidání lokomotivy	30
4.3. Ovládání lokomotiv	30
4.4. Rychlá volba lokomotivy	31
4.5. Smazání lokomotivy.....	31
4.6. Ostatní nastavení	31
5. Dokumentace pro výrobu	32
5.1. Schémata a desky plošných spojů	32
5.2. Fotodokumentace	40
Závěr	42
Seznam použité literatury a studijních materiálů	43
Seznam příloh.....	44

ÚVOD

K výrobě této práce mě vedlo již postavené modelové kolejiště, které mám doma. Bohužel toto kolejiště bylo analogové, a pokud chtěl člověk ovládat více jak jednu mašinku zároveň, bylo zapotřebí mít buď to oddělené úseky kolejí, nebo složitě řešené napájení přes pantografy lokomotivy. Samozřejmě toto řešení by bylo velice drahé na realizaci a ne každá lokomotiva má pantografy. Navíc by to umožnilo ovládat pouze 3 lokomotivy zároveň a ještě pomocí 3 ovladačů, což nesplňovalo moje nároky. Proto jsem se rozhodl kolejiště digitalizovat.

Zjistil jsem, že existuje přímo standart pro řízení modelových kolejišť zvaný Digital Command Control (dále jen DCC). Mým cílem bude napodobit tento standart a realizovat ho pomocí běžně dostupných mikrokontrolérů.

Jelikož se jedná o digitální řízení, musí existovat řídící stanice, který onen digitální signál moduluje. Dle mých požadavků jsem se rozhodl zakomponovat ovládání a digitální modulátor do jednoho celku. Další podmínkou bylo, aby ovladač disponoval alespoň dvěma ovládacími prvky, které by umožnili řídit dvě lokomotivy současně. Samozřejmě musí být i možnost přepínání ovládaných lokomotiv. Nakonec bych celou stanici doplnil alfanumerickým LCD displejem, zobrazujícím názvy ovládaných lokomotiv a jejich rychlosti.

Díky digitálnímu signálu musí mít každá lokomotiva v sobě přijímač a dekodér, který se bude starat jak o dekodování, tak o řízení lokomotivy. Hlavním kritériem těchto dekodérů bude především velikost. Cílem bude navrhnout a zabudovat dekodér do lokomotiv v měřítku TT (1 : 120).

Řízení periférií pomocí tohoto standardu úplně vypustím, jelikož je jednosměrný a u většiny periférií je potřeba zpětná vazba. Navíc na mém kolejišti mnoho periférií nemám, pouze několik výhybek, které jsou ovládány pomocí přepínačů.

Vzhledem k tomu že standard DCC je celkem obsáhlý a některé části bych na mém malém kolejišti neupotřebil, nebo by byly finančně a technicky náročnější, rozhodl jsem se standard ve výsledku poupravit.

1. STANDARD DCC

1.1. ÚVOD DO DCC

Jedná se o standard používaný pro řízení jak menších, tak i velkých modelových kolejišť na celém světě. Významnou firmou zaměřenou na tento standard, vyrábějící moduly a ovládací prvky, je firma LENZ. Jelikož je standard DCC velice obsáhlý pokusím se nastínit alespoň základní důležité vlastnosti tohoto standardu.

Standard DCC umožňuje řízení až 127 lokomotiv na jednom kolejišti zároveň. Také umožňuje ovládání až 512 periférií. (výhybky, světla, semaforey atd.)

Hlavní funkce spočívá v odesílání příkazů jednotlivým lokomotivám. Každá lokomotiva má svoji adresu, na kterou „slyší“. Řídící stanice potom posílá pakety dat zároveň s adresou dané lokomotivy. Vysílaný paket přijmou všechny lokomotivy přítomné na kolejišti, ale pokud se adresa v paketu neshoduje s jejich vlastní, na data v paketu nereagují. V druhém případě převezmou data, zpracují je a podle nich upraví své chování. Stejným způsobem se komunikuje i s perifériemi.

Standard je pouze jednosměrný, tzn. lokomotivy a periferie nemůžou zpětně odesílat data o svém stavu.

Ve výsledku jsem si tento standard v několika bodech poupravil. Všechny provedené změny jsou popsány v kapitole *1.5. Moje úpravy*

1.2. NAPÁJENÍ KOLEJIŠTĚ

Samotný standard je tvořený pro ovládání lokomotiv, které jezdí po napájených kovových kolejích. Z toho vyplývá, že potřebujeme pouze 2 vodiče (v tomto případě koleje), zajišťující jak napájení tak přenos dat.

Pro napájení se používá střídavý digitální signál s amplitudou v rozmezí 10-16V. O modulování signálu se stará řídící stanice. Tento signál je posléze veden do výkonových zesilovačů, které jej zesílí a takto zesílený signál slouží pro přenos dat a napájení kolejiště. Zesilovačů DCC signálu může být v celém kolejišti více, ale modulátor pouze jeden tzn. v každém okamžiku je v celém kolejišti pouze jeden DCC signál.

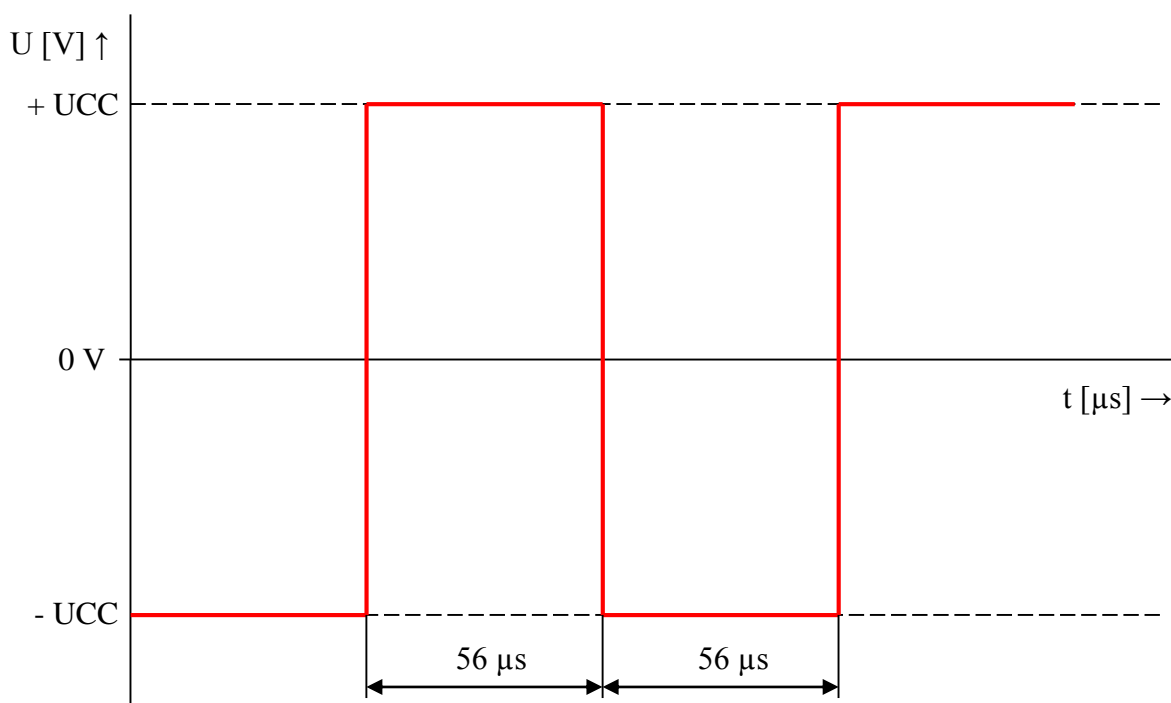
Lokomotivy jsou napájeny z kolejí přes svá kovová kola a jejich dekodéry uvnitř signál zpracovávají.

1.3. KÓDOVÁNÍ

Protokol je samozřejmě digitální. Standardní kódování jedniček a nul pomocí 2 úrovní jako např. TTL (Log. 1 = 5V a Log. 0 = 0V), zde nevyhovuje, jelikož by se stávalo, že dekodéry velice rychle ztratí synchronizaci a velká část přijatých dat by byla poškozena. Proto použitý protokol vychází z proměnné délky periody signálu.

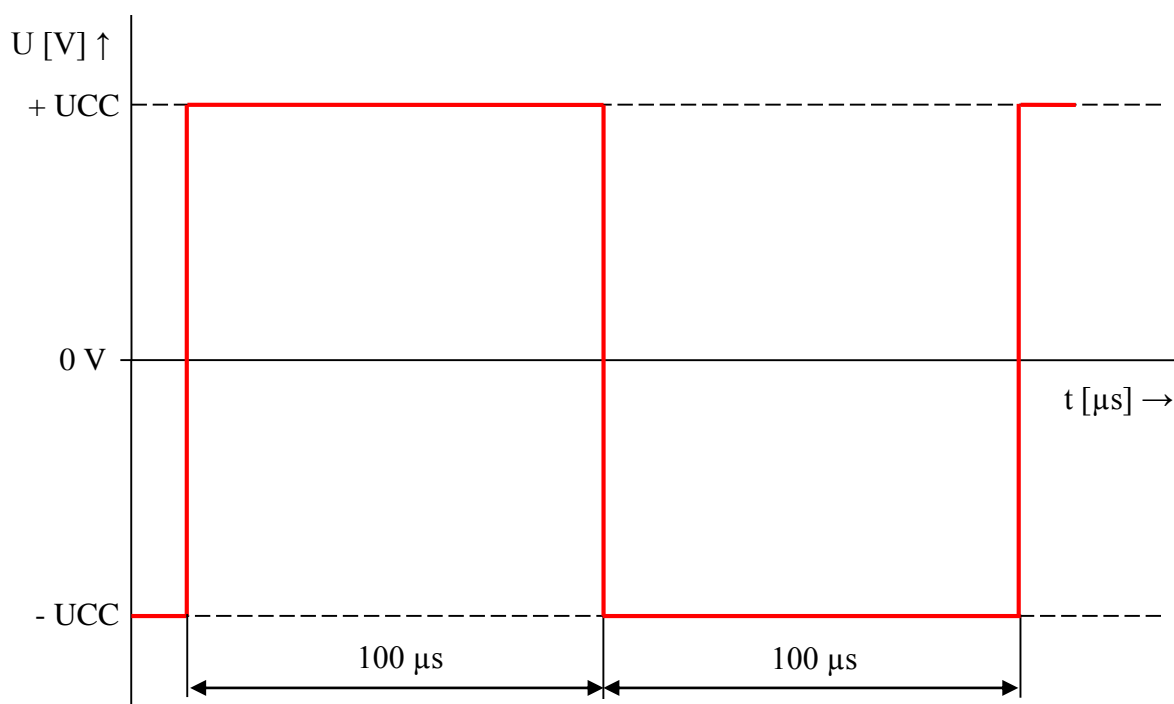
Logická 1 se kóduje jako digitální signál o délce periody 116 μs (Obrázek č. 1). Střída periody je 1 : 1. Pro řídicí stanici je povolena tolerance časování půlperiody v rozmezí 55 - 61 μs . Dekodéry považují bit za platný, pokud je půlperioda v toleranci 54 – 64 μs . Je to z důvodu vznikajících přechodových odporů a indukčností, které mohou signál zkreslit.

Obrázek č. 1: Nominální kódování log. 1

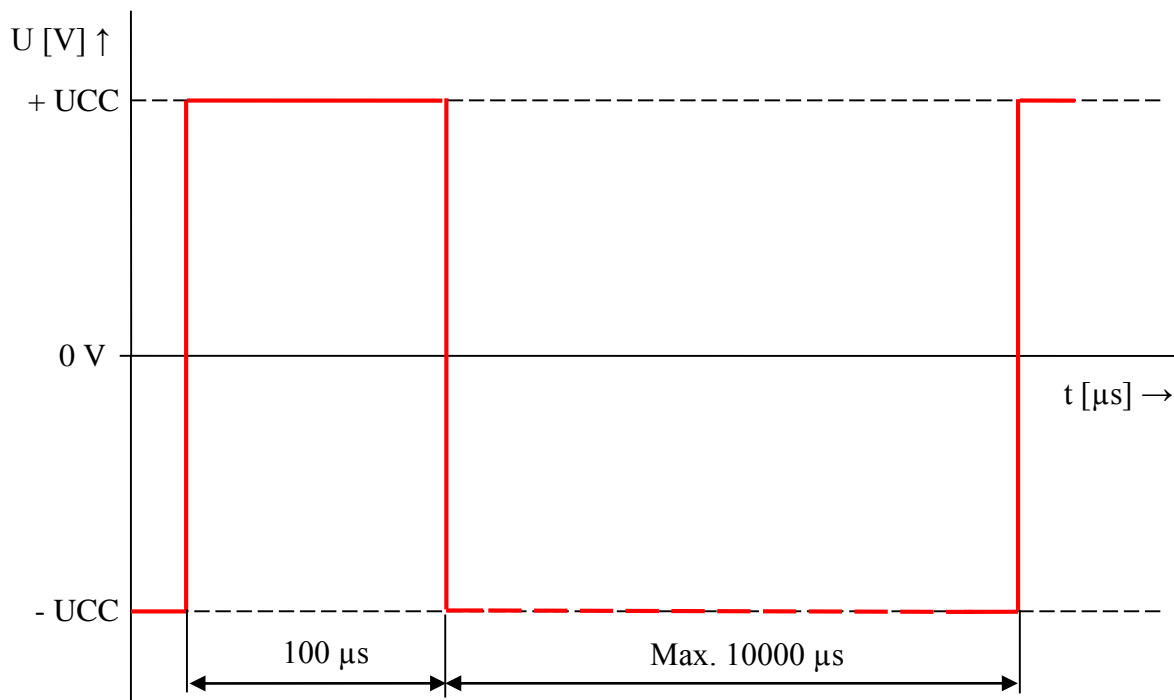


U logické 0 je signál kódován obdobně. Perioda signálu je zde nominálně 200 μs , střída 1 : 1 (Obrázek č. 2). Ale tolerance povoluje, pro jednu polaritu signálu, hodnoty 95 - 9900 μs . Délka celé periody signálu nesmí přesáhnout 12000 μs . Takže log. 0 může dosahovat střída až 100 : 1 nebo 1 : 100 (Obrázek č. 3). Dekodéry berou bit za platný, pokud je v rozmezí 90 - 10000 μs . Proměnné střída signálu logické 0 se dá využít k ovládání jedné analogové lokomotivy na kolejišti. Když se bude měnit střída signálu, bude se měnit i střední hodnota a podle toho se bude analogová lokomotiva pohybovat buď na jednu, nebo na druhou stranu. Bohužel střídavý signál způsobí značné zahřívání stejnosměrného motorku lokomotivy, čímž riskujeme jeho destrukci.

Obrázek č. 2: Nominální kódování log. 0



Obrázek č. 3: Proměnná střída kódování log. 0



1.4. STAVBA PAKETŮ

Celý paket se skládá ze 4 částí.

Záhlaví

Jedná se o minimálně 10 bitů log. 1. Určuje začátek paketu a synchronizuje komunikaci s dekodéry.

Start Bit

Vkládá se vždy mezi jednotlivé byty paketu a zajišťuje, aby se v signálu neobjevilo více než 9 jedniček jdoucích po sobě a nedošlo k záměně se záhlavím.

Adresa

Určuje adresu lokomotivy, nebo periferie.

Data

Obsahuje data určená pro adresovanou lokomotivu nebo periferii.

Kontrola

Počítá se jako funkce EXOR adresového bytu s datovým bytem.

Stop Bit

Jedná se o jeden bit log. 1 a určuje konec paketu

1.4.1. STAVBA PAKETU PRO LOKOMOTIVY

Stavba paketu pro lokomotivy je zobrazena v tabulce č. 1. Lokomotivě se odesílají data o rychlosti, směru jízdy a lze zapínat přídatnou periferii např. světla.

Tabulka č. 1: Stavba paketu pro lokomotivy

Záhlaví	Start Bit	Adresa	Start Bit	Data	Start Bit	Kontrola	Stop Bit
1111111111	0	0AAAAAAAA	0	01SPRRRR	0	KKKKKKKK	1

A – Určuje adresu lokomotivy 1 – 127. Adresa č. 0 je vyhrazena jako globální

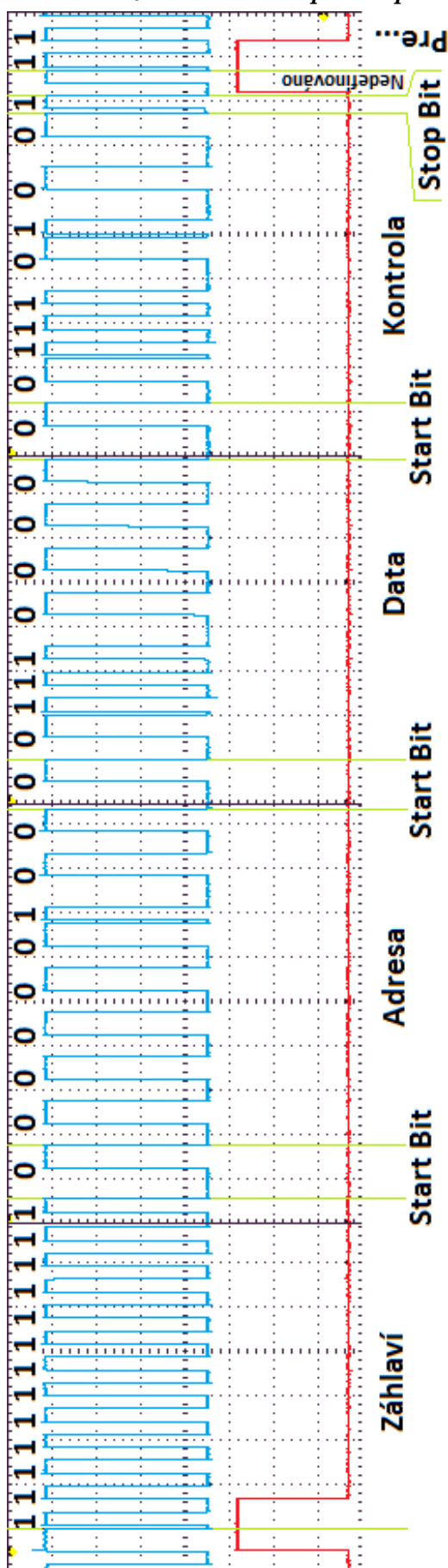
S – Nastavuje směr jízdy lokomotivy

P – Spínač přídatné funkce v lokomotivě (např. světla)

R – Určuje rychlost jízdy lokomotivy 0 – 15. Rychlost č. 1 je vyhrazena jako nouzová brzda.

K – Osm kontrolních bitů. Vzniknou funkcí EXOR

Obrázek č. 4: Stavba paketu pro lokomotivu



Celý paket jde vidět na obrázku č. 4. Paket je změřený osciloskopem. Modrý průběh vyobrazuje modulovaný DCC signál. Červený průběh je pouze synchronizace pro osciloskop a určuje začátek paketu.

Z obrázku lze vyčíst, že záhlaví je tvořeno 13 bity log. 1. Po těchto bitech následuje start bit. Adresa lokomotivy je 4. Po adresovém bytu následuje zase start bit. Z datové části paketu lze vyčíst nastavení přídavné funkce (světél), směr lokomotivy a její rychlost. V tomto případě lokomotiva dostala příkaz zastavit a zapnout přídavnou funkci. Za datovým bytem následuje zase jeden start bit. Kontrolní byte je vypočten funkcí EXOR adresového a datového bytu.

Pro tento případ se kontrolní byte vypočítá:

Adresa = 00000100

Data = 01110000

Kontrola = Adresa ^ Data =
= 00000100 ^ 01110000 = 01110100

A jako poslední následuje stop bit, který je vždy log. 1.

Po odeslání jednoho paketu se hned odesílá další paket pro následující lokomotivu, a tak se děj opakuje pro všechny lokomotivy uložené v řídicí stanici. V mé verzi vzniká vždy mezi pakety malý nedefinovaný úsek. Je to způsobeno rychlostí hlavního čipu řídicí stanice, který mezitím zpracovává také jiné požadavky (např. obnovování LCD displeje) a chvíli trvá, než odešle další paket

1.4.2. STAVBA PAKETU PRO PERIFERIE

Stavba paketu pro periferie se od paketů pro lokomotivy celkem liší (Tabulka č. 2). Hlavní rozdíl je v adrese, která může dosahovat hodnoty od 0 do 511. Ale jelikož byte adresy je pouze osmi bitový a z toho jsou 2 bity konstantní pro identifikaci typu paketu (maximální hodnota adresy v bytu je tedy pouze 64), je nutno použít i další 3 bity z datového bytu. Adresa tedy má celkem 9 bitů.

Tabulka č. 2: Stavba paketu pro periferie

Záhlaví	Start Bit	Adresa	Start Bit	Data	Start Bit	Kontrola	Stop Bit
1111111111	0	10AAAAAA	0	1aaaPSSS	0	KKKKKKKK	1

A – 6 bitů adresy periferie

a – Zbývající 3 bity adresy periferie. Tyto bity jsou negované

S – Adresa spínače v periférii. (až 8 spínačů)

P – Nastavení spínače periferie (1 = zapnuto, 0 = vypnuto)

1.4.3. OSTATNÍ DRUHY PAKETŮ

Kromě výše popsaných dvou paketů existuje také paket pro nulování periferií, nebo neaktivní paket. Oba dva pakety nepřenášejí žádné informace

Nulovací paket provede vynulování všech dekodérů připojených na DCC signál (Tabulka č. 3). Standardně se vysílá po připojení napájení.

Tabulka č. 3: Stavba nulovacího paketu

Záhlaví	Start Bit	Adresa	Start Bit	Data	Start Bit	Kontrola	Stop Bit
1111111111	0	00000000	0	00000000	0	00000000	1

Neaktivní paket se vysílá především hned po nulovacím paketu a indikuje zahájení provozu (Tabulka č. 4). Slouží také jako komunikační refresh.

Tabulka č. 4: Stavba neaktivního paketu

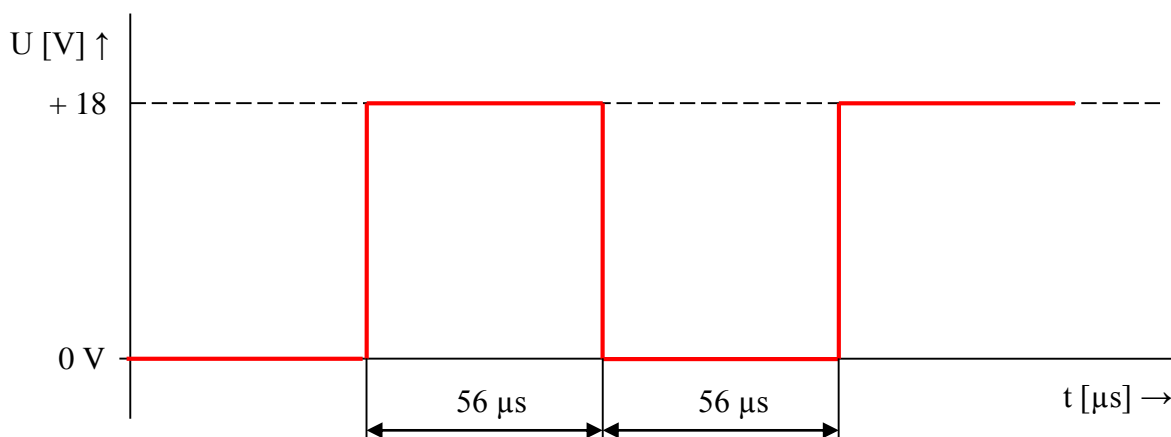
Záhlaví	Start Bit	Adresa	Start Bit	Data	Start Bit	Kontrola	Stop Bit
1111111111	0	11111111	0	00000000	0	11111111	1

1.5. MOJE ÚPRAVY

Jelikož je standard velice obsáhlý a mnoho funkcí bych nevyužil, nebo by byly zbytečně složité, dovolil jsem si ho poupravit dle svých vlastních potřeb.

Hlavní úprava spočívá v napájení kolejiště. Z důvodu absence symetrického transformátoru, jsem problém vyřešil tím, že používám pouze úroveň +VCC, 0 V (Obrázek č. 5). Z tohoto důvodu proto dodržuji pouze střidu 1 : 1, protože úsek log. 0, situovaný delší dobu v úrovni 0 V, zapříčiní vybití filtračních kondenzátorů lokomotiv a následnému restartování dekodérů. Také jsem zvýšil napájecí napětí na 18 V.

Obrázek č. 5: Upravené úrovně DCC signálu (log. 1)



Další úpravou je úplné vypuštění paketů pro periferie. Standard je pouze jednosměrný a v tomto ohledu se pro složitější periferie, s nutností zpětné vazby, nehodí. Kdybych chtěl ovládat periferie, použil bych oddělenou sběrnici I²C. Kromě několika výhybek, na mém kolejišti mnoho dalších periférií nemám, proto jejich digitální ovládání by bylo zbytečné a i finančně náročnější.

Standard DCC podporuje i změnu parametrů (přeprogramování) lokomotiv přímo na kolejišti (rychlost brždění, akceleraci, změnu adresy atd.). Tuto funkci v mé verzi použít nelze. Parametry nastavuji jako konstantní přímo v programu jednotlivých dekodérů.

Strukturu paketů, definovaných standardem DCC, jsem ponechal beze změny.

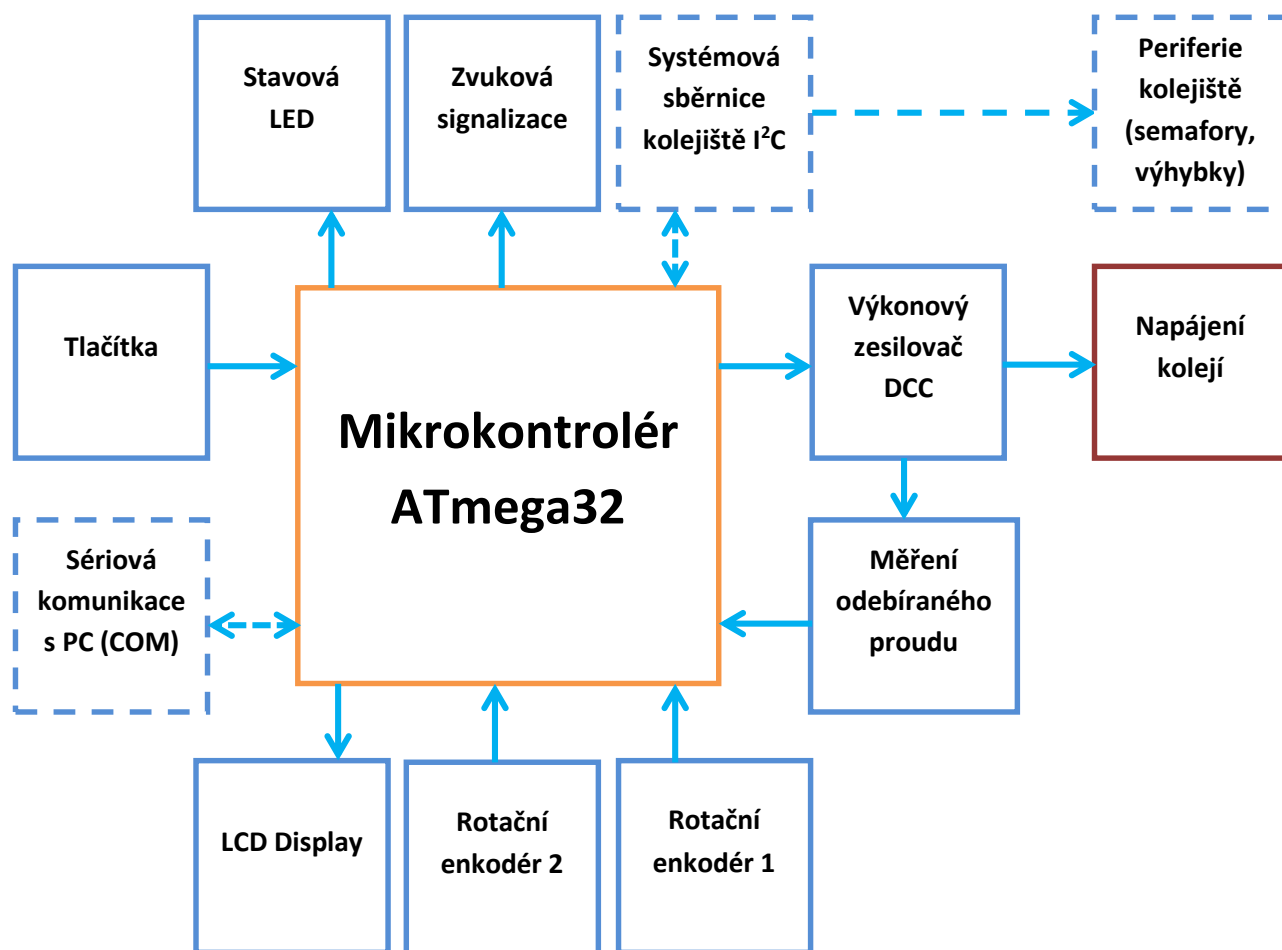
2. ŘÍDÍCI STANICE

Řídicí stanice má hlavní úkol modulovat DCC signál a odesílat jej do zesilovačů, které potom napájí kolejiště.

Moje řídicí stanice je doplněna o mnoho funkcí. Slouží jak pro modulování DCC signálu, tak pro zpracovávání dat z tlačítek, enkodérů atd. Dokáže detekovat také zkrat na kolejišti a včas ho odpojit. Řídicí stanice je doplněna také o display, který zobrazuje rychlosti, názvy a směr právě ovládaných lokomotiv.

Celá řídicí stanice se skládá z mnoha částí, která jsou připojena k hlavnímu řídicímu mikrokontroléru (Obrázek č. 6). Bloky zvýrazněné plnou čarou jsou kompletně dokončené. Bloky zvýrazněné přerušovanou čarou jsou plánovány do budoucna.

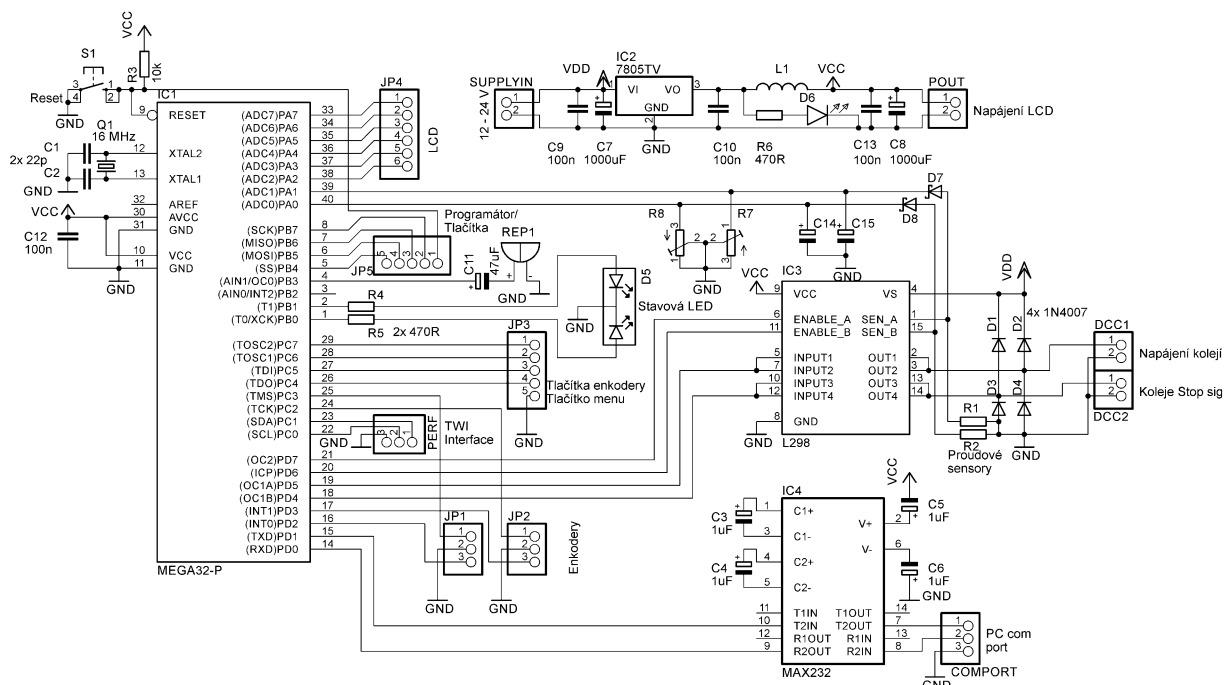
Obrázek č. 6: Blokový diagram řídicí stanice



Hlavní blok mikrokontroléru společně s výkonovým zesilovačem, měřením proudu, stavovou LED a zvukovou signalizací jsou umístěny na základní desce. Ostatní části jsou k této desce připojeny pomocí vodičů s konektory.

Schéma na obrázku č. 7 je novější už s provedenými úpravami. Základní deska, kterou mám osazenou v řídicí stanici, je sestrojena podle staré verze, takže některé součástky jsou na ní přidány dodatečně.

Obrázek č. 7: Schéma základní desky



2.1. POPIS BLOKŮ

2.1.1. MIKROKONTROLÉR

Je to srdce celé řídící stanice. Zpracovává signály z tlačítek a enkodérů, ovládá LCD display, moduluje DCC signál a měří proudy v kolejišti.

Jedná se o mikrokontrolér ATmega32, z rodiny AVR. Je to mikrokontrolér s instrukční sadou typu RISC (redukovaná), a pracuje na frekvenci 16 MHz danou externím krystalovým oscilátorem. Použil jsem ho zejména kvůli velkému počtu I/O pinů, velké paměti programu FLASH (32 kB) a solidní paměti EEPROM (1 kB), kterou používám pro ukládání nastavení a vlaků. Jeho součástí je také vnitřní paměť SRAM o velikosti 2 kB a 8 A/D převodníků.

Díky redukované instrukční sadě RISC je mikrokontrolér velice rychlý. Jeden strojový cyklus trvá přesně jednu periodu oscilátoru. Délka instrukcí se pohybuje průměrně v rozmezí jednoho až dvou strojových cyklů. Existují také instrukce s délkou tří a čtyř strojových cyklů, ale těch je podstatně méně.

V mikrokontroléru jsou zabudované 3 čítače / časovače. Dva osmi-bitové a jeden šestnácti-bitový. Všechny čítače dokáží hardwarově generovat různé typy signálů, především PWM, který je potom veden na příslušné piny obvodu.

Obvod má také sériový kanál USART, který je téměř kompatibilní se sériovou sběrnici počítače RS 232. Pouze je potřeba mezi tyto sběrnice vložit převodník logických úrovní. Tuto část obvodu mám do budoucna připravenou na komunikaci s počítačem.

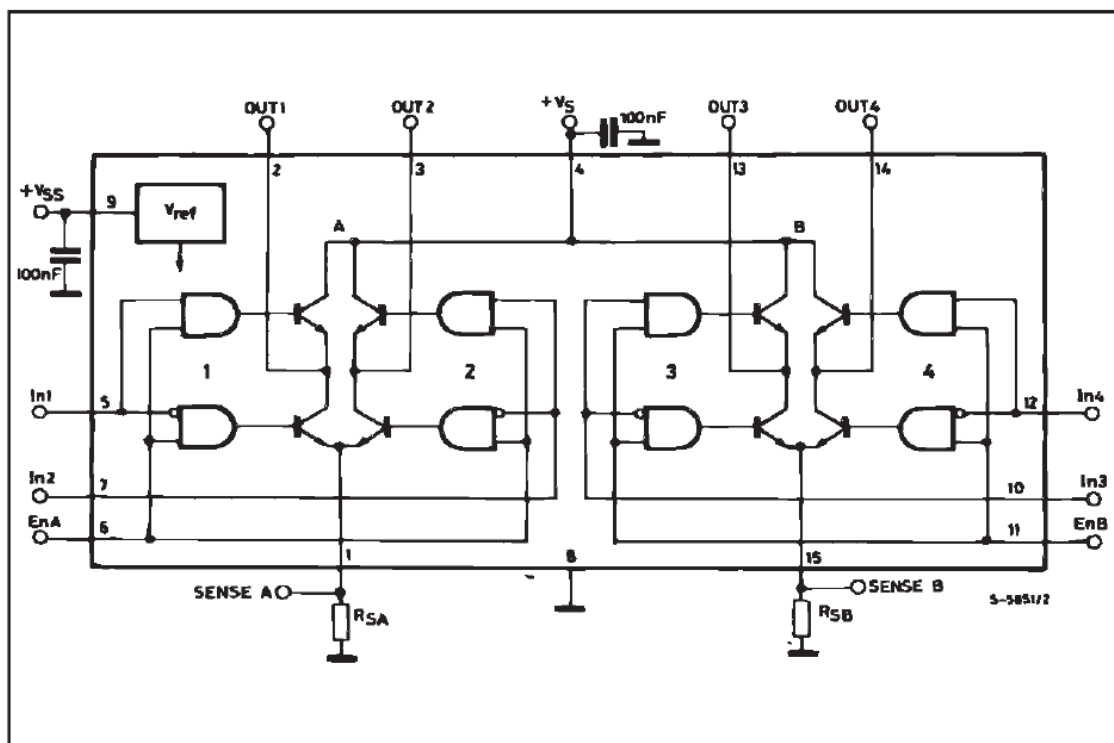
Obvod programuji pomocí sériového programování ISP (in system programming), což umožňuje měnit program, aniž bych musel mikrokontrolér vytáhnout z řídicí stanice. Jedná se o synchronní sériovou komunikaci s hodinami a dvojicí datových vodičů (MISO – master in, slave out; MOSI – master out, slave in).

2.1.2. ZESILOVAČ

Zesilovač je tvořen obvodem L298. Jedná se o dvoukanálový H – můstek, který slouží primárně k ovládání stejnosměrných motorů, avšak já zvolil kompromis a použil jej jako výkonný zesilovač.

Obvod L298 obsahuje v sobě 2 kanály, pro ovládání dvou stejnosměrných motorů (Obrázek č. 8), až do proudu 2 A. Jelikož u signálu DCC se signál posílá pouze po jednom vodiči, propojil jsem oba výstupy pro jeden motor (OUT 1 a OUT 2) jednoho kanálu paralelně, čímž jsem získal možnost spínat proudy, až do 4 A. Jeden kanál mi zůstal volný pro budoucí rozšíření.

Obrázek č. 8: Vnitřní zapojení obvodu L2988¹

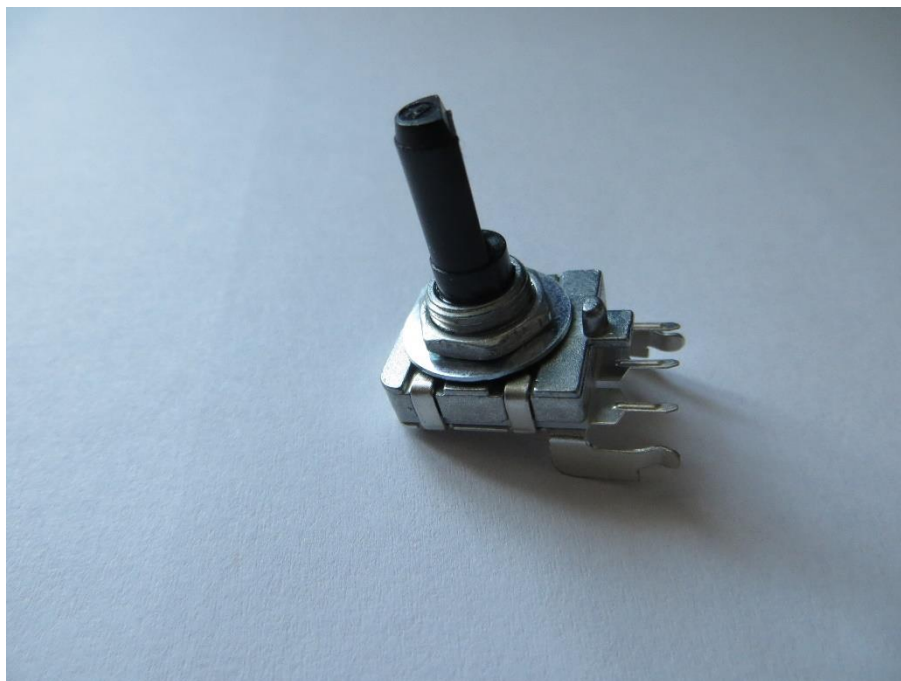


1. STMicroelectronics. L298 H Bridge [online]. 9th of January 2008, p. 1 [cit. 1. března 2014] Dostupné na World Wide Web: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf>

2.1.3. ROTAČNÍ ENKODÉRY

Jedná se o kodéry otáček (Obrázek č. 9). Používají se u starších LCD a CRT monitorů pro pohyb v menu a nastavování parametrů. Pro mou řídicí stanici se tyto kodéry dokonale hodí. Slouží k řízení lokomotiv, nebo pohybu v menu.

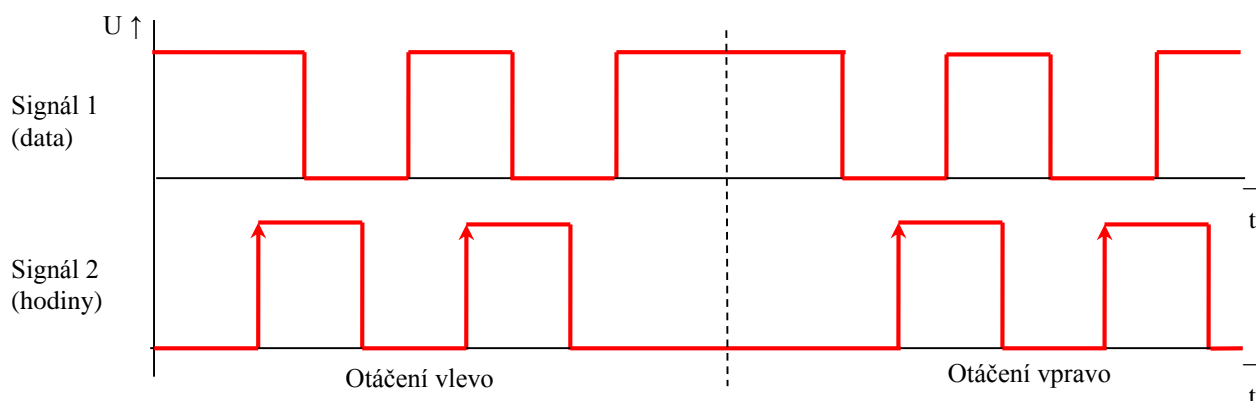
Obrázek č. 9: Rotační enkodér



Snímání směru otáček je velice jednoduché. Enkodér generuje dva signály, které jsou proti sobě posunuté o 90° (Obrázek č. 10). Jeden signál lze použít jako zdroj hodin, na jejíž nástupnou (sestupnou) hranu budeme snímat hodnotu, druhého, datového signálu. Potom podle jeho úrovně se vyhodnotí směr otáčení, a počet otáček. Jediný problém zde spočívá v ošetření náhodných zákmitů a neúplných otočení hřídelkou enkodéru.

V mém programu jsem toto ošetření zajistil pomocí čtení datového signálu na nástupnou a sestupnou hranu hodin. Tím zajistím rozpoznání neúplných otáček. Pokud na nástupnou hranu hodinového signálu, přečtu datový signál, potom na sestupnou hranu hodin musí být datový signál negovaný. V opačném případě nedošlo k úplnému otočení, což mikrokontrolér vyhodnotí jako neplatný stav.

Obrázek č. 10: Výstup signálu z enkodéru



Řídící stanici mám osazenu celkem dvěma enkodéry, což umožňuje ovládat dvě lokomotivy naráz.

2.1.4. TLAČÍTKA

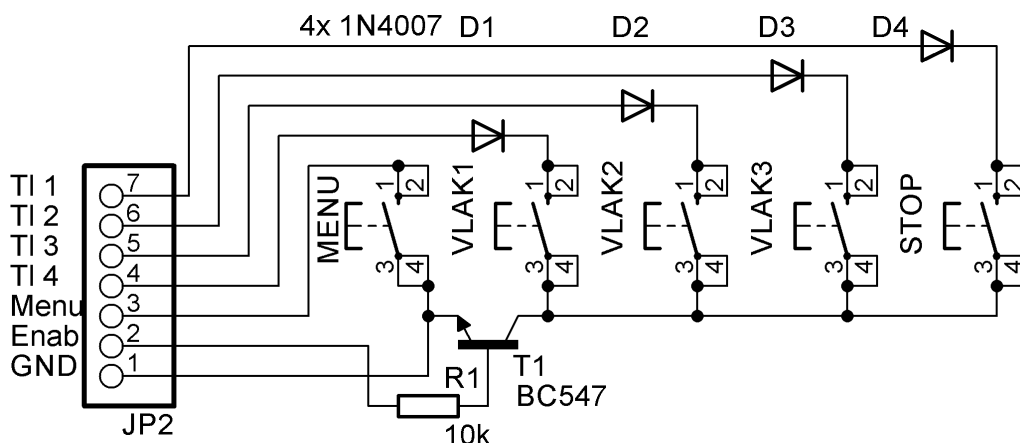
Celkový počet tlačítek na řídící stanici je 11. Šest tlačítek slouží pro rychlý výběr lokomotivy. Pod tyto tlačítka se dá uložit některá z lokomotiv, a potom pouhým stisknutím se okamžitě přepne ovládaná lokomotiva. Těchto šest tlačítek je rozděleno do dvou skupin po třech. Vždy tři tlačítka rychlé volby náleží jednomu enkodéru. Také u každého enkodéru je jedno stop tlačítko, kterým lze nastavit rychlost právě ovládané lokomotivy ihned na nulu.

Dále jsou zde dvě tlačítka přímo v enkodérech (stisknutí hřídelky). Ty slouží pro potvrzování výběrů v menu nebo výběru ovládané lokomotivy.

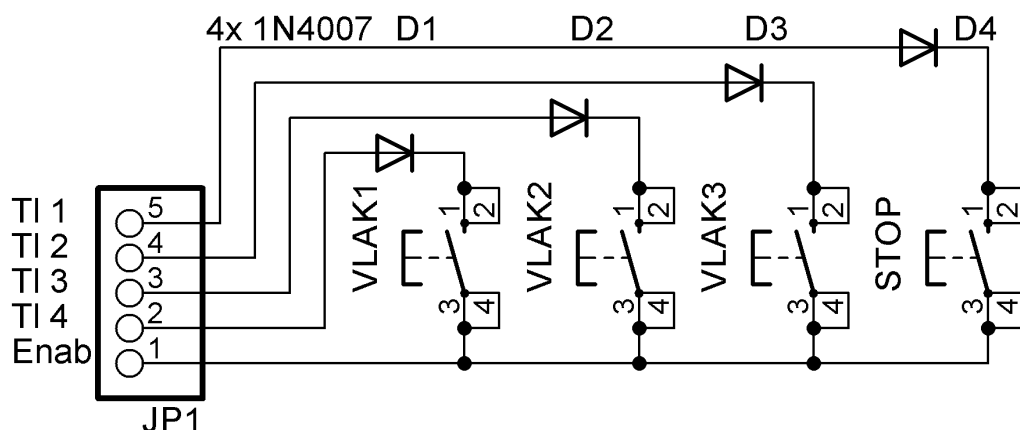
Poslední tlačítko slouží k vyvolání menu. Toto tlačítko přísluší pouze jednomu enkodéru.

Pro tuhle část jsou vytvořeny právě dvě verze. Jedna s tlačítkem menu (Obrázek č. 11) a druhá bez tlačítka (Obrázek č. 12). Tlačítka jsou, z důvodu ušetření počtu použitých pinů mikrokontroléru, řízeny multiplexně, tzn., používám čtyřbitovou sběrnici s jedním vodičem, který přepíná aktivní čtveřici tlačítek.

Obrázek č. 11: Schéma ovládacích tlačítek 1.



Obrázek č. 12: Schéma ovládacích tlačítek 2. enkodéru



2.1.5. LCD DISPLEJ

V řídicí stanici je použit alfanumerický LCD display se 4 řádky a 20 znaky na řádek. Display využívá řadič kompatibilní s HD44780 .

Pro komunikaci využívám 4 bitový mód. Na rozdíl od osmi bitového módu, se komunikace děje pouze po čtyřech datových vodičích a jeden byte se odesílá nadvakrát. Řídicí vodiče zůstávají beze změny. Ovládání tohoto displeje je velice jednoduché. Po prvotní inicializaci mu stačí posílat čísla znaků, které má vykreslit dle jeho znakové tabulky.

LCD display používám v řídicí stanici pro zobrazení názvu právě ovládaných lokomotiv, jejich rychlosti a směru jízdy, navigaci v menu, nastavení, výběru ovládaných lokomotiv a chybových stavů.

Obraz displeje mám rozdělen na 2 poloviny (Obrázek č. 13). První polovina slouží pro 1. ovladač (řádky 1 a 2) a druhá polovina LCD pro 2. ovladač (řádky 3 a 4). Na prvních řádcích, obou ovladačů (řádky 1 a 3), vždy zobrazuji příslušný mód (tzn.

ovládání, výběr lokomotivy, nebo pozici v menu) a na druhých řádcích příslušný výběr, nebo nastavení.

Obrázek č. 13: Alfanumerický LCD displej



2.1.6. MĚŘENÍ ODEBÍRANÉHO PROUDU

Odebíraný proud se zjišťuje měřením úbytků napětí na výkonových rezistorech R1 a R2, přes které je veden modulovaný DCC signál. Tyto rezistory jsou napojené na A/D převodníky mikrokontroléru. Podle těchto úbytků se potom vypočítá odebíraný proud.

Bohužel zde vzniká problém s udržení hodnoty úbytku napětí. Jelikož je signál digitální a skokově se mění, úbytek na rezistorech není vždy stejný a navíc vznikají nepříjemné proudové nárazy, které může mikrokontrolér omylem vyhodnotit jako zkrat. Proto jsem doplnil měřící větev o Schottkyho diodu a kondenzátor, který zajistí udržení měřeného napětí. Jediná nevýhoda je, že pokud se na měřících rezistorech objeví menší napětí než 0,2 V, dioda se neotevře a kondenzátor se nenabije.

2.1.7. SIGNALIZACE

Řídicí stanice obsahuje kromě LCD displeje také zvukovou a světelnou signalizaci.

Světelná signalizace je zde řešena pomocí dvoubarevné LED diody se zelenou a červenou barvou. Jednotlivé stavy jsou zobrazeny v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5: Význam světelných signálů

Signalizace LED	Význam
Nesvítí	Zařízení nepřípraveno
Svítí zeleně	Přípraveno, provozní stav
Svítí oranžově	Upozornění, např. nejsou uloženy žádné vlaky v paměti EEPROM
Bliká červeně	Chybový stav, např. zkrat na výstupu

Pro generování zvuku je použit piezoreproduktor. Signalizace je zde použita pro stisk tlačítek, zkrat, poruchové stavy, nebo při zapnutí zařízení. Jednotlivé významy zvukových signálů jsou v tabulce č. 6

Tabulka č. 6: Význam zvukových signálů

Typ tónu	Význam
Krátké pípnutí	Oznamovací. (Zapnutí zařízení, stisk tlačítka)
Dlouhé pípnutí	Uložení vlaku pod určité tlačítko
Dva tóny stále se opakující	Chyba (Zkrat na výstupu)

2.2. FIRMWARE ŘÍDÍCÍ STANICE

Jedná se o program pro mikrokontrolér zmíněný v části 2.1.1. Mikrokontrolér. Celý program jsem psal v jazyce C++, protože je mnohem přehlednější než assembler, avšak na úkor celkové rychlosti programu. Program psaný v assembleru by byl rychlejší, jelikož kompilátor z jazyka C++ řeší občas některé situace hodně složitě a mnoha zbytečnými instrukcemi navíc. Ale ve výsledku jsem zjistil, že to není na celkovém chodu programu znát.

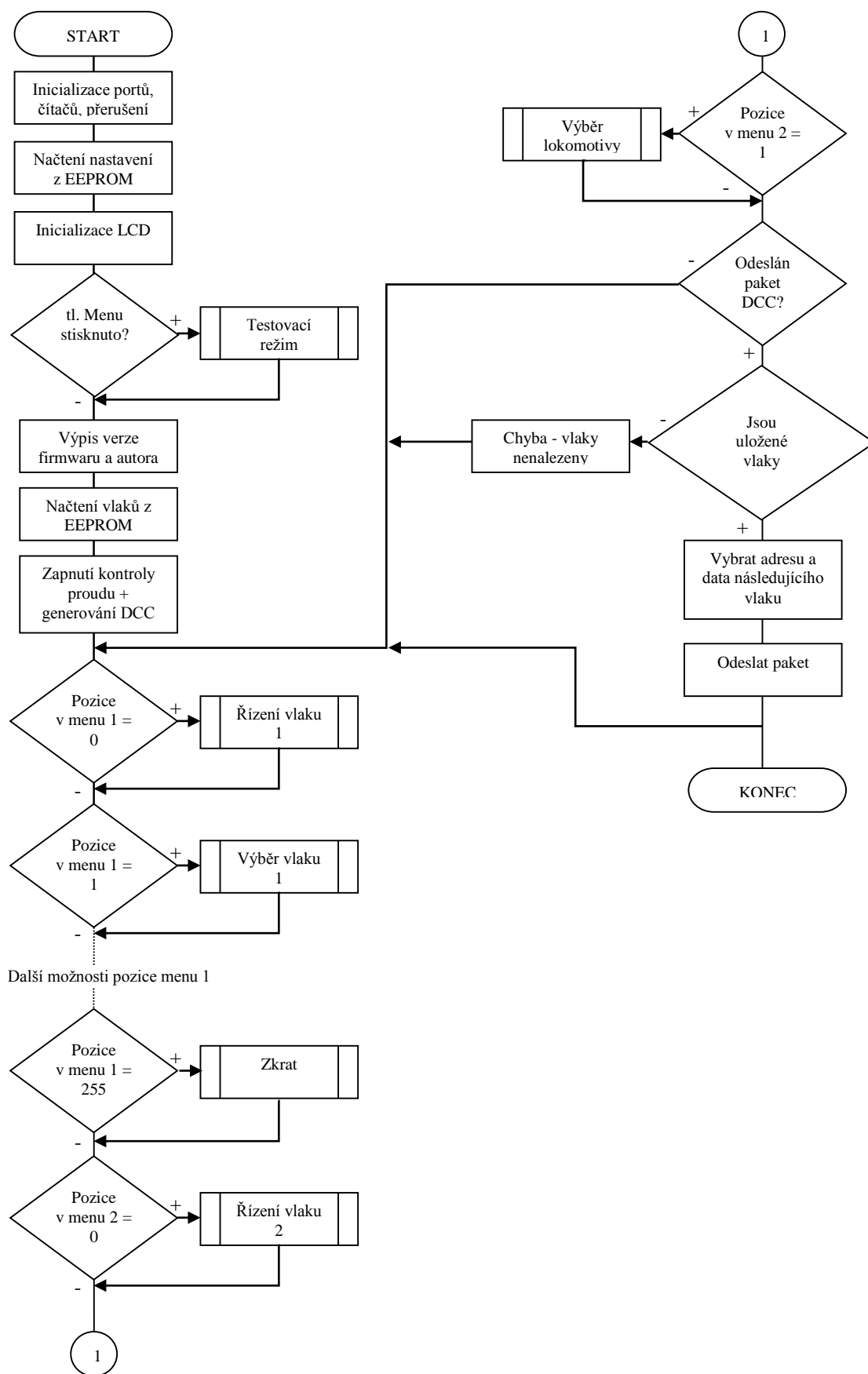
Program zabírá asi 2000 řádků a po přeložení do strojového kódu má velikost přes 10 kB paměti programu mikrokontroléru. Program jsem se snažil optimalizovat především na rychlost, přehlednost a jednoduché rozšíření do budoucna. Proto velká část programu se vykonává v přerušeních.

Hlavní program se stará o řízení uživatelského rozhraní, což zahrnuje pohyby v menu, ovládání jízdy lokomotiv, výběr lokomotiv, nastavování parametrů atd. Vývojový diagram hlavního programu je na obrázku č. 14.

Periodicky opakující se funkce (obnova LCD, modulace DCC signálu, měření proudu), nebo funkce vyskytující se jednou za čas (stisknutí tlačítka, otočení enkodérem), se provádí v přerušeních časovačů, A/D převodníků a externích přerušeních.

Také využívám vnitřní paměti EEPROM mikrokontroléru. Jedná se o nevolatilní paměť, tzn., po odpojení napájení neztrácí data. Používám ji pro ukládání nastavení řídicí stanice, názvů vlaků a jejich příslušných adres. Při startu programu se z ní potom jednotlivé hodnoty načtou.

Obrázek č. 14: Vývojový diagram hlavního programu

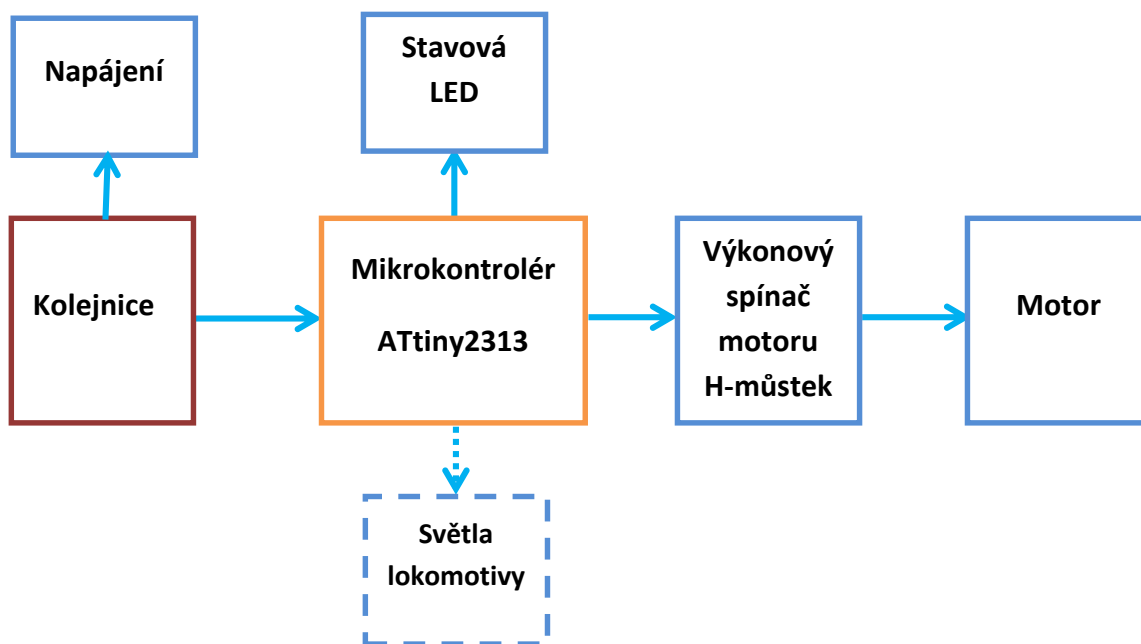


3. DEKODÉR

Slouží pro dekódování DCC signálu z kolejiště a zároveň se stará o řízení lokomotivy. Zde byl důraz kladen především na velikost. Proto jsem celý dekodér realizoval pomocí SMD součástek.

Blokové schéma je na obrázku č. 15. Bloky vytvořené přerušovanou čarou jsou funkční, ale jsou přítomny jen v některých lokomotivách.

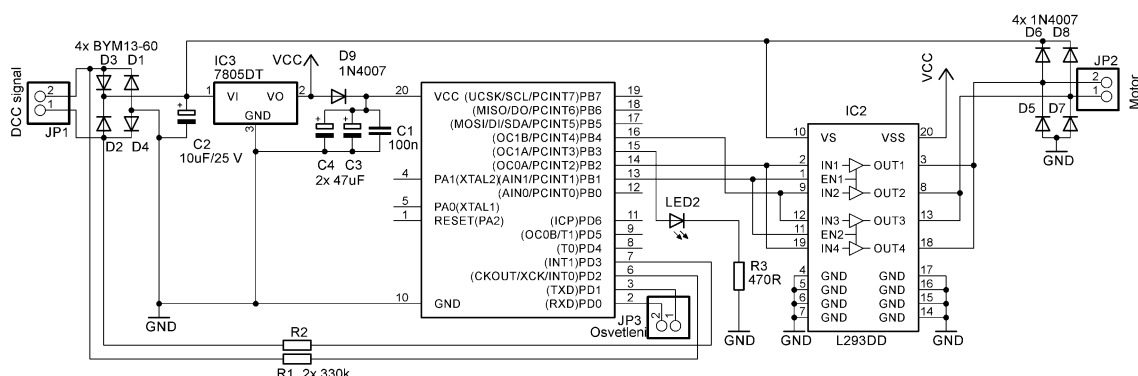
Obrázek č. 15: Blokové schéma dekodéru DCC



Celkové schéma není moc složité. Skládá se z usměrňovače, který zajistí, usměrnění střídavého DCC signálu z kolejí na stejnosměrný signál pro napájení dekodéru. O veškeré dekódování a řízení se stará mikrokontrolér. Pro výkonové spínání motoru lokomotivy se zde stará H – můstek.

Deska plošných spojů je kvůli velikosti dvouvrstvá. Na desce se vyskytuje mnoho průchodek mezi oběma vrstvami. Některé jsou i pod čipem mikrokontroléru a H - můstkem. Výroba této desky byla v domácích podmínkách velice složitá především kvůli průchodkám pod čipy. Ale při troše zručnosti a trpělivost se dá zvládnout. Schéma je na obrázku č. 16. Desky plošných spojů jsou uvedeny v dokumentaci pro výrobu.

Obrázek č. 16: Schéma zapojení dekodéru

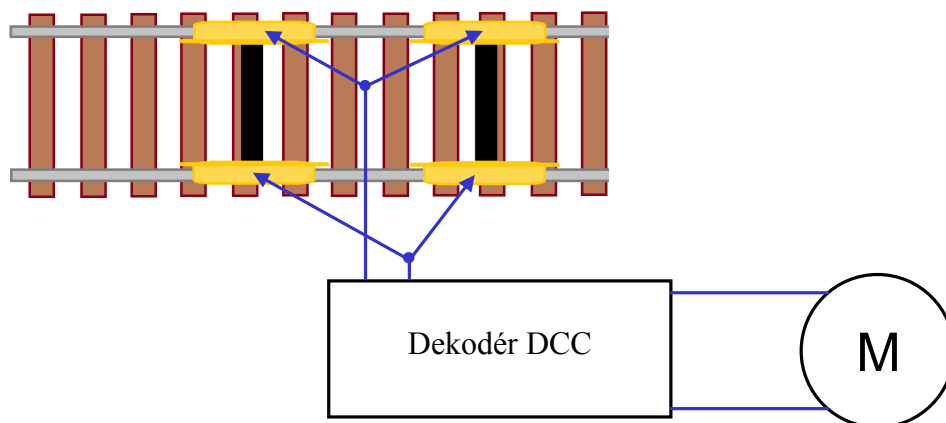


3.1. POPIS BLOKŮ

3.1.1. KOLEJNICE

Ze dvou kovových kolejí s DCC signálem si lokomotiva bere napájení i DCC signál. O přenos signálu z kolejí se starají kovová kolečka lokomotivy, na které jsou napojeny vodiče (Obrázek č. 17). Čím více má lokomotiva napájených náprav, tím méně dochází k poškození paketů vlivem chvilkové ztráty kontaktu s kolejnicemi. Lokomotiva také jede plynuleji.

Obrázek č. 17: Sběrání signálu z kolejnic



3.1.2. NAPÁJENÍ

Při popisu součástek vycházím ze schématu na obrázku č. 16.

Aby byl signál DCC přijatý z kolejnic použitelný pro napájení, je potřeba jej nejprve usměrnit. K tomu slouží Graetzův můstek utvořený z rychlých Schottkyho diod D1 až D4. Obyčejné křemíkové diody se mi neosvědčily, protože byly velice pomalé pro usměrnění vysoké frekvence DCC signálu.

Výstupní stejnosměrné napětí je vyfiltrováno kondenzátorem C2 a dělí se na dvě cesty. První jde do H – můstku pro roztáčení motoru lokomotivy. Druhá je stabilizována

stabilizátorem 7805 na 5 V pro napájení mikrokontroléru a dalších bloků. Napájení samotného mikrokontroléru je navíc odděleno polovodičovou diodou D9, za kterou je dvojice kondenzátorů C4 a C5, starající se o vyrovnaní delších výpadků napájení zejména při ztrátě kontaktu koleček lokomotivy s kolejemi. Tím se zamezí restartování mikrokontroléru a opětovnému pomalému rozjždění.

3.1.3. MIKROKONTROLÉR

Jedná se o srdce celého dekodéru. Stará se o dekódování DCC signálu a řízení lokomotivy.

Pro tento účel jsem si zvolil mikrokontrolér ATtiny2313 obdobně jako u řídicí stanice z rodiny AVR. Instrukční sada je typu RISC (redukovaná). Mikrokontrolér obsahuje 2 kB paměti programu FLASH, 128 B paměti EEPROM a 128 B interní paměti dat SRAM.

Další součástí jsou 2 čítače. Jeden šestnáctibitový a druhý osmibitový dohromady se čtyřmi PWM kanály. Osmibitový čítač používám pro generování PWM signálu pro ovládání motoru lokomotivy. Druhý, šestnáctibitový čítač slouží pro měření délky trvání periody DCC signálu. Na základě tohoto času je vyhodnocen přenášený bit.

Mikrokontrolér disponuje také dvojicí pinů externího přerušení. Díky nim lze přesně snímat změny DCC signálu a provádět dekódování.

Taktovací frekvence mikrokontroléru je 8 MHz. Tato frekvence je generována vnitřním RC oscilátorem. Bohužel tento oscilátor není tak přesný jako externí krystalový oscilátor. Z toho důvodu jsem rozšířil toleranci časování bitů log. 1 a log. 0. Krystalový oscilátor jsem zde nemohl použít, neboť by se tím zvětšila celková velikost dekodéru.

3.1.4. STAVOVÁ LED

Jednotlivé stavy dekodéru jsou indikovány pomocí zelené stavové LED. Jelikož je LED umístěna na desce dekodéru a dekodér uvnitř lokomotivy, nelze ji při normálním provozu vidět. Své využití nalezne až teprve při diagnostice chyb, kdy lokomotiva z neznámých příčin nereaguje. Všechny možné stavy jsou vypsány v tabulce č. 7.

Tabulka č. 7: Významy stavů stavové LED

Stavy LED	Význam
Nesvítí	Dekodér je bez napájení
Svítí	Příjem DCC signálu, připraveno
Bliká	Chybný nebo žádný DCC signál

3.1.5. SVĚTLA LOKOMOTIVY

Spínání světel podporují všechny dekodéry, ale mají jen některé lokomotivy, především ty novější a propracovanější. Osvětlení je napojeno přímo na piny mikrokontroléru, proto nesmí proud přesáhnout 20 mA, jinak hrozí jeho poškození.

Pokud má lokomotiva řešeno osvětlení pomocí žárovček, je nutné jej vyměnit za LED diody, které mají nižší odběr.

3.1.6. VÝKONOVÝ SPÍNAČ MOTORU

Výkonový spínač je řešen pomocí H – můstku. V tomto případě jej tvoří obvod L293DD. Jedná se o dvoukanálový H – můstek pro ovládání dvou motorů. Dokáže spínat proudy špičkově až do 1,2 A na jeden kanál. Jelikož ale potřebuji ovládat pouze jeden motor, propojil jsem tyto kanály paralelně. Tím jsem získal možnost spínat vyšší proudy. Také se rozloží zátěž a obvod bude méně namáhán.

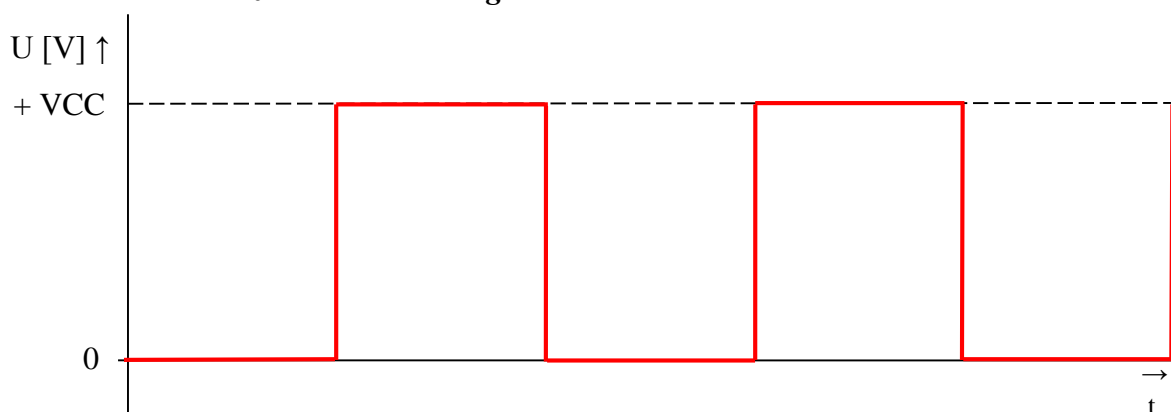
3.2. FIRMWARE DEKODÉRU

Program pro mikrokontrolér je napsán v jazyce C++. Hlavní program se stará o plynulou změnu rychlosti, nouzové zastavení a rozsvěcování světel. Příjem a dekodování paketů se provádí v přerušení. Vývojový diagram hlavního programu je na obrázku č. 21

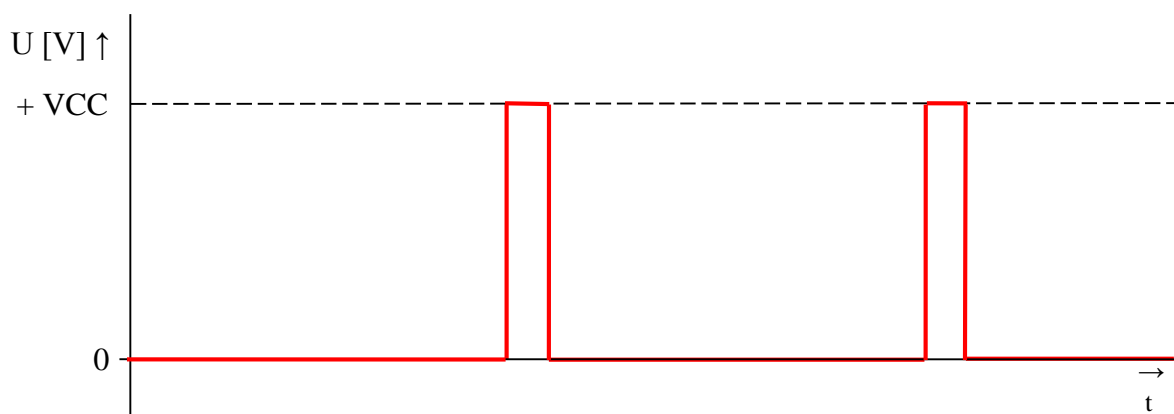
Nastavení adresy a zrychlení lokomotivy se do programu zapisuje jako konstanta. Po naprogramování mikrokontroléru nelze adresu ani zrychlení změnit. Jediná možnost je znovu mikrokontrolér naprogramovat programem s novými konstantami. Tohle se zdá být jako velká nevýhoda, ale pro účely mého malého kolejiště je to dostačující.

Změna rychlosti lokomotivy je vyřešena pomocí pulsně šířkové modulace (PWM). Do motoru se použije obdélníkový signál s proměnnou střídou (Obrázky č. 18 až 20). Na základě ní se mění střední hodnota napětí a tím i otáčky motoru. PWM signál vytvářím pomocí osmibitového čítače, který jej dokáže přímo hardwarově generovat na příslušném pinu. Frekvence pulsně šířkové modulace je proměnná. Je to z toho důvodu, že při nízkých otáčkách motor lokomotivy nemá dostatečný výkon. Proto frekvenci snížím, aby délka aktivity motoru byla větší. Při zvýšení rychlosti se frekvence PWM signálu zase zvýší.

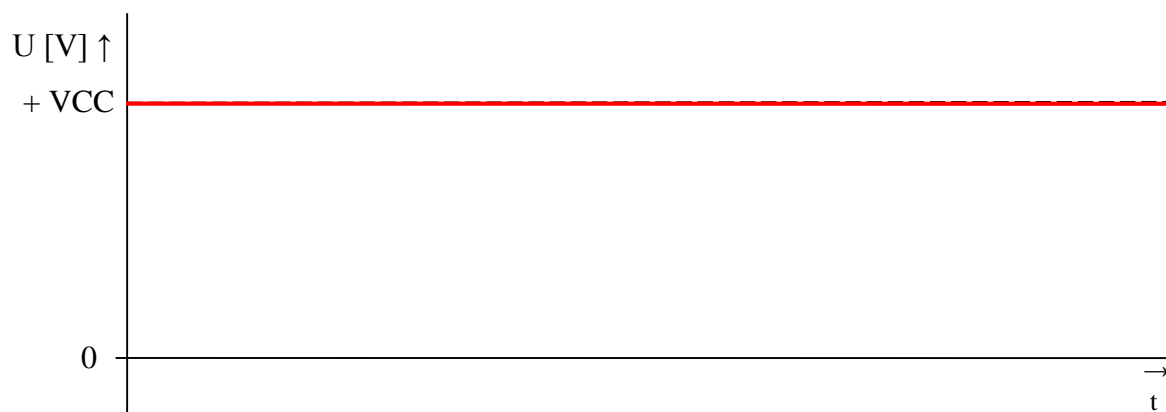
Obrázek č. 18: PWM signál 50 %



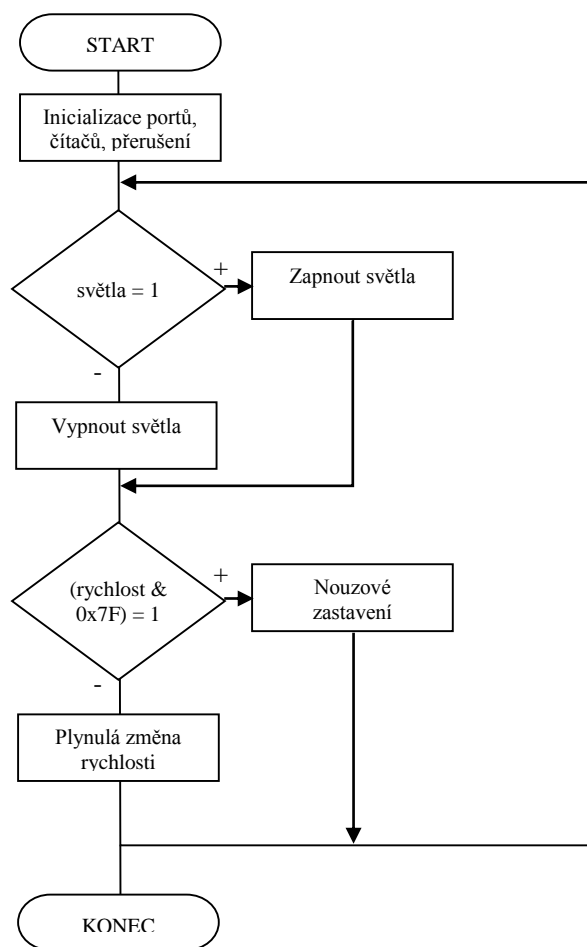
Obrázek č. 19: PWM signál 10 %



Obrázek č. 20: PWM signál 100 %



Obrázek č. 21: Vývojový diagram hlavního programu



4. NÁVOD K POUŽITÍ

4.1. PRVNÍ ZAPOJENÍ

Samotné připojení řídicí stanice je jednoduché. Při prvním zapojení je potřeba připojit kolejiště k řídicí stanici. Na polaritě signálu DCC nezáleží. Maximálně se může stát, že lokomotiva pojedí na opačnou stranu, než požadujete. V tomto případě stačí vodiče pouze prohodit.

Poté k řídicí stanici připojte napájecí adaptér. Zde je nutno polaritu signálu dodržet. Rozsah napájecího napětí je od 12 V do 24 V stejnosměrných.

Položte lokomotivu s dekodérem na koleje a připojte adaptér do zásuvky. Na LCD displeji by se měla zobrazit verze programu, doprovázená oznamovacím pípnutím. Pokud se jedná o prvozní zapojení, paměť uložených vlaků by měla být prázdná. V tomto případě je nutno lokomotivu přidat. Jak přidat lokomotivu je popsáno v části 4.2. Přidání lokomotivy

4.2. PŘIDÁNÍ LOKOMOTIVY

Stiskněte tlačítko menu a pomocí otáčením rotačního enkodéru vyberte možnost Přidat lokomotivu. Stiskem hřídelky enkodéru volbu potvrdíte.

Ted' musíte zadat název vlaku. Jednotlivá písmena vybíráte otáčením hřídelkou enkodéru a potvrzujete je stisknutím. Pokud uděláte chybu, stiskem tlačítka Menu se vrátíte o znak nazpět. Délka názvu lokomotivy je maximálně 9 znaků. Pokud je název kratší, zbytek znaků vyplňte mezerami.

Po zadání názvu budete vyzváni k určení ID. Jedná se o adresu dekodéru uvnitř lokomotivy. Pomocí enkodéru nastavte požadovanou hodnotu a potvrďte. Nyní je vlak uložen do paměti řídicí stanice a lze jej ovládat. Zpět na ovládání se dostanete stisknutím tlačítka Menu.

Tímto způsobem lze přidat až 24 lokomotiv.

4.3. OVLÁDÁNÍ LOKOMOTIV

Vlaky se ovládají otáčením hřídelkou enkodéru. Směr jízdy naznačuje šipka zobrazená na LCD u obrázku lokomotivy. Pokud chcete zastavit, stačí zmáčknout tlačítko Stop. V tuto chvíli se nastaví rychlost lokomotivy na nulu. Vždy jedním enkodérem lze ovládat v jeden časový okamžik pouze jednu lokomotivu, ale lze mezi nimi přepínat.

Stisknutím hřídelky enkodéru se dostanete na výběr lokomotivy. Na LCD se zobrazují názvy lokomotiv a jejich ID (adres). Zvolte požadovanou lokomotivu a potvrďte stisknutím. Nyní ji můžete ovládat. Rychlost předchozí ovládané lokomotivy zůstane nezměněna.

4.4. RYCHLÁ VOLBA LOKOMOTIVY

K ovládacímu enkodéru jsou také přiřazeny 3 tlačítka rychlé volby. Pod tyto tlačítka lze přiřadit libovolnou lokomotivu uloženou v paměti řídicí stanice.

V režimu ovládání, stiskněte hřídelku enkodéru. Tím se dostanete na výběr ovládané lokomotivy. Enkodérem najed'te na požadovanou lokomotivu a podržte příslušné tlačítko rychlé volby, dokud se nezvze dlouhý tón. Lokomotiva je poté přiřazena tomuto tlačítku.

Vzhledem k tomu, že jsou na řídicí stanici přítomny dva enkodéry, je také pro druhý enkodér přítomná trojice tlačítek rychlé volby.

4.5. SMAZÁNÍ LOKOMOTIVY

Tlačítkem menu se dostanete do menu. Zde vyberte možnost smazat lokomotivu. Zvolte požadovanou lokomotivu a potvrďte. Zobrazí se výzva, zda chcete lokomotivu opravdu smazat. Znovu ji potvrďte. Poté je lokomotiva smazána z paměti řídicí stanice.

4.6. OSTATNÍ NASTAVENÍ

Menu řídicí stanice obsahuje i více voleb a nastavení. Nastavení COM portu je funkční, avšak nemá žádný význam, protože komunikace s počítačem přes tento sériový port není dokončena.

Světla lokomotivy – Zapíná a vypíná světla všem lokomotivám na kolejišti

Akt. proudy – Zobrazí přibližnou hodnotu odebíraných proudů z řídicí stanice

Zkratová konstanta – Nastavuje konstantu odpojení při přetížení výstupu DCC

BaudRate – Nastavuje přenosovou rychlost COM portu (Není zatím dokončeno)

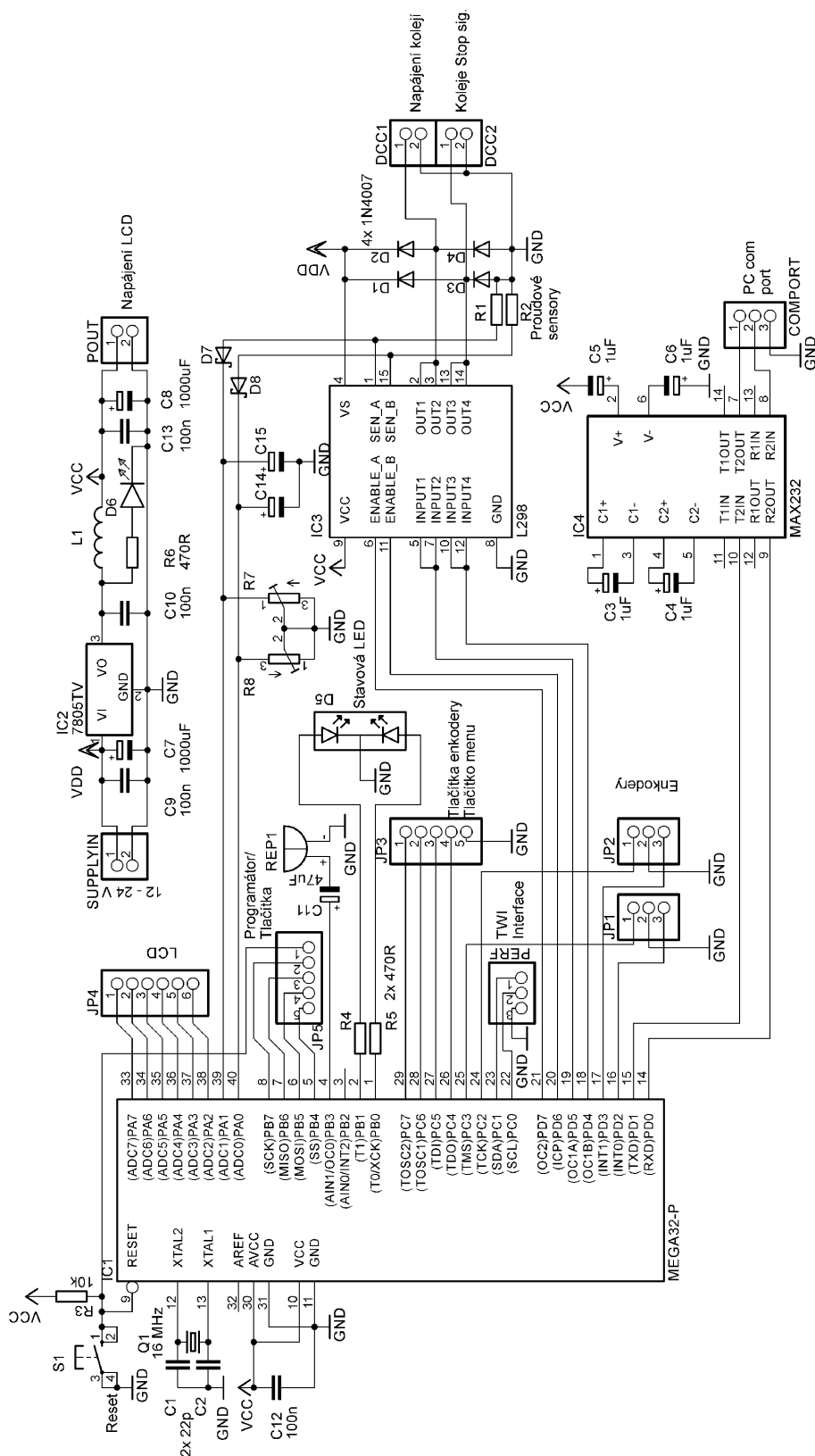
Parita – Nastavuje paritní bit COM portu na žádný, lichý, nebo sudý (Není zatím dokončeno)

Stop bity – Nastavuje počet stop bitů COM portu (Není dokončeno)

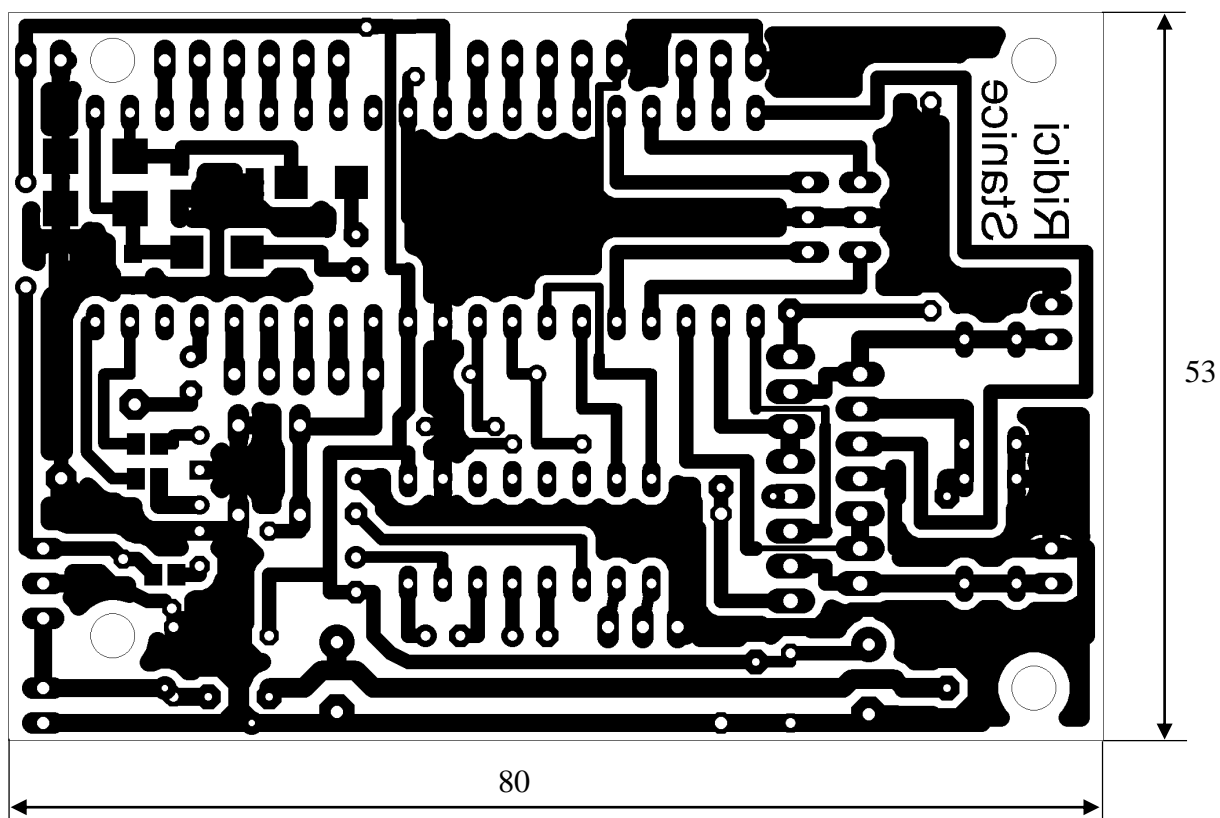
5. DOKUMENTACE PRO VÝROBU

5.1. SCHÉMATA A DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

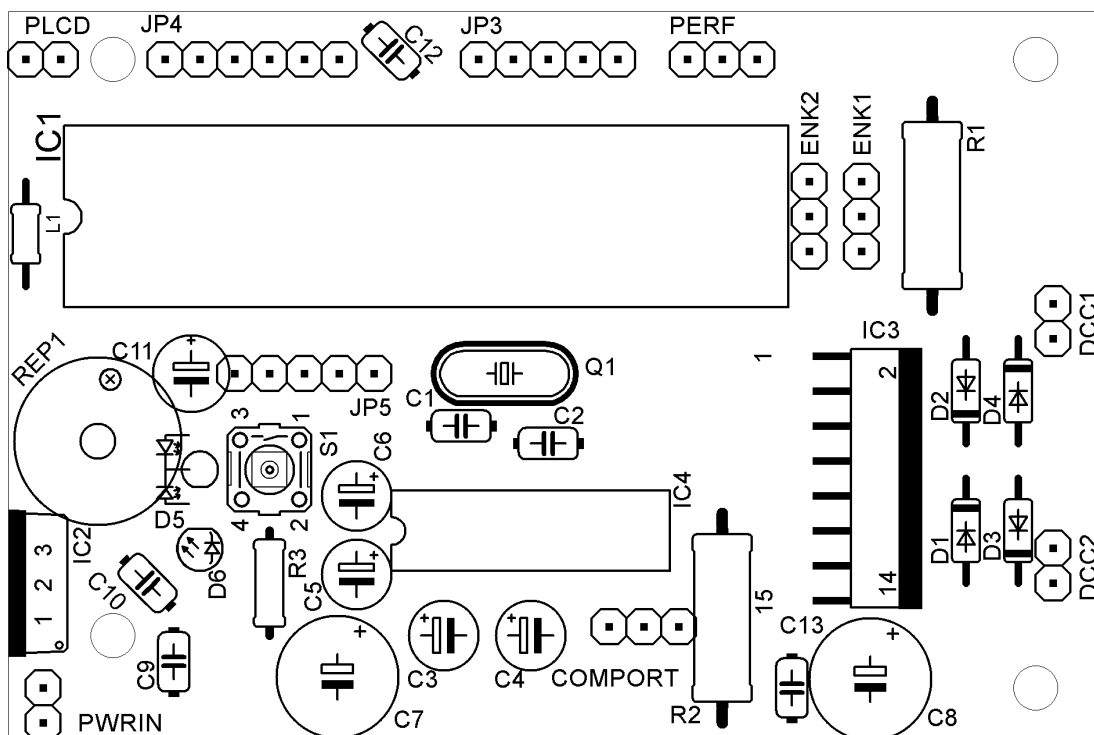
Obrázek č. 22: Schéma řídicí stanice



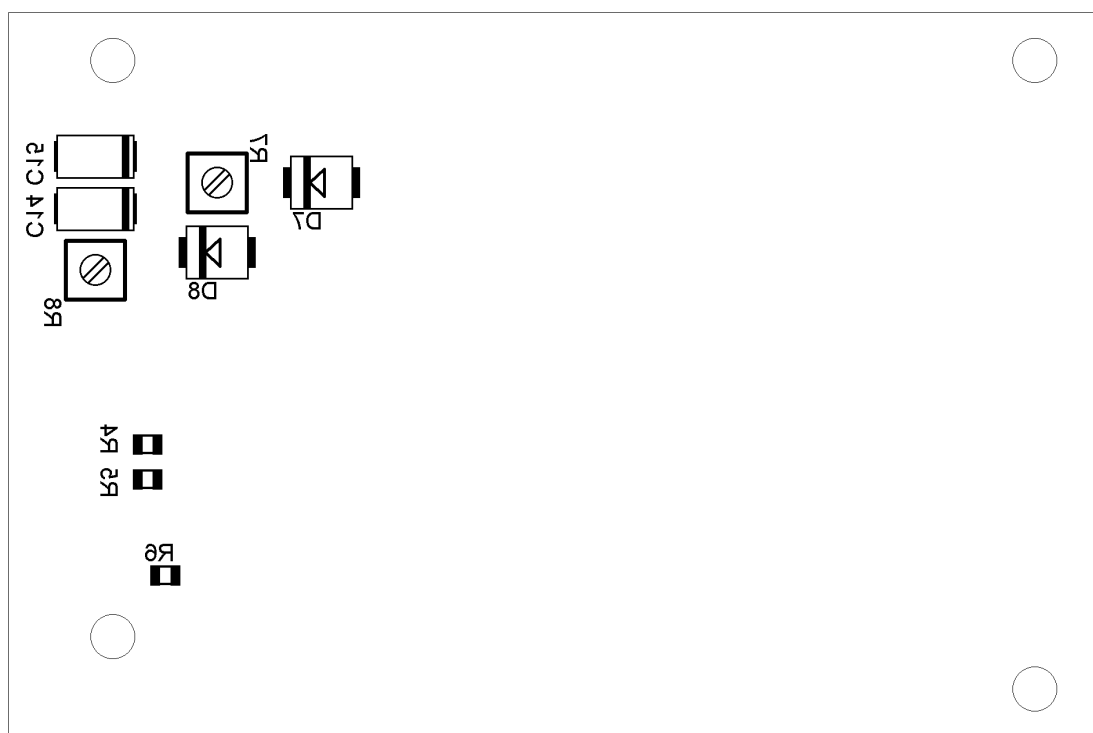
Obrázek č. 23: Deska plošných spojů (DPS) řídicí stanice



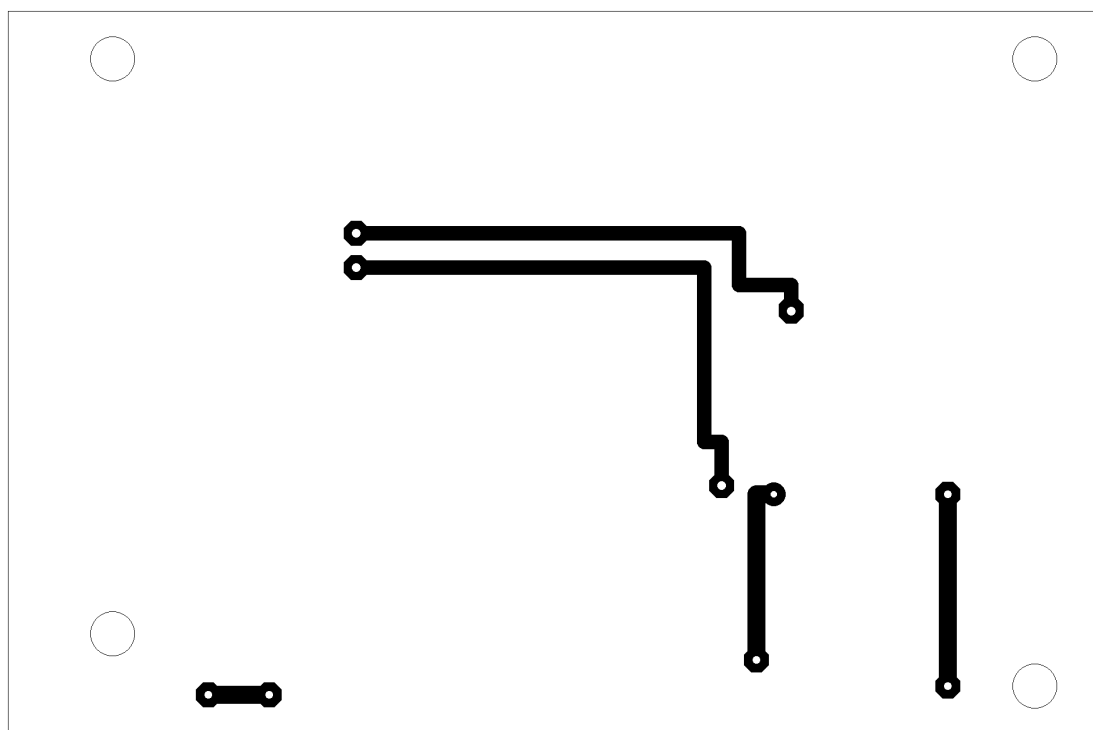
Obrázek č. 24: Osazovací plán řídicí stanice (top)



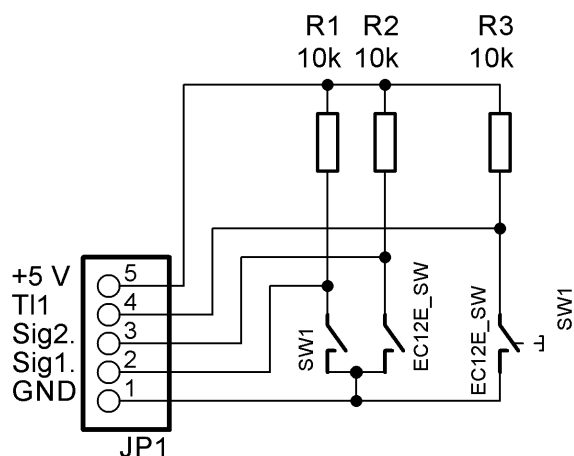
Obrázek č. 25: Osazovací plán řídicí stanice (bottom)



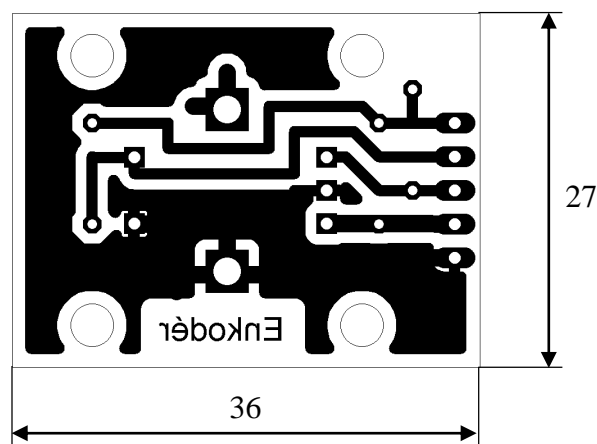
Obrázek č. 26: Drátová propojení řídicí stanice



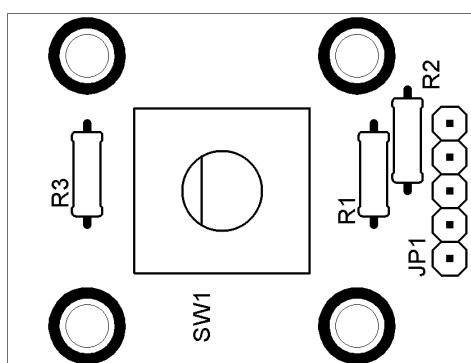
Obrázek č. 27: Schéma modulu enkodéru



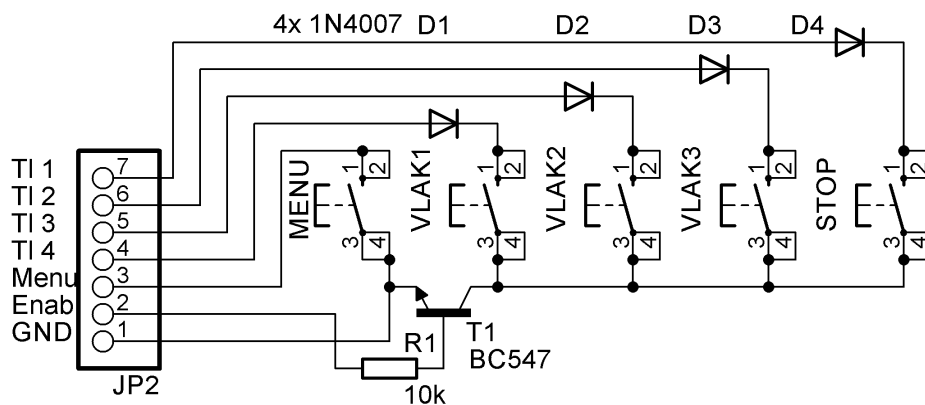
Obrázek č. 28: DPS modulu enkodéru



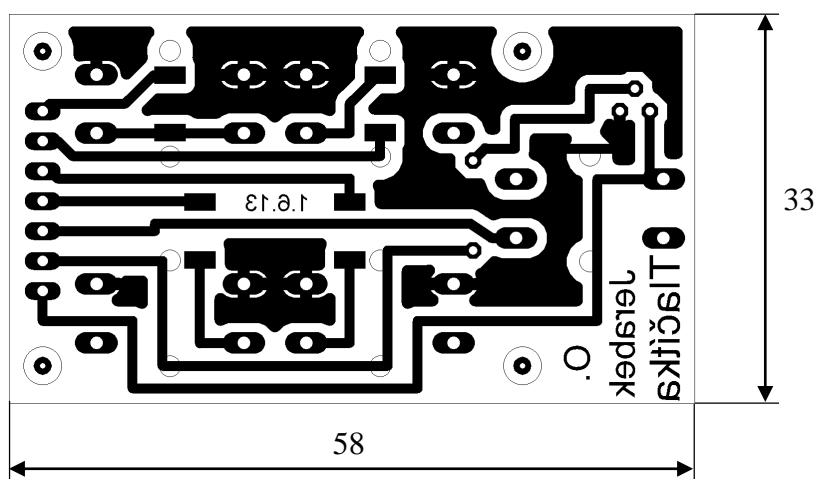
Obrázek č. 29: Osazovací plán modulu enkodéru



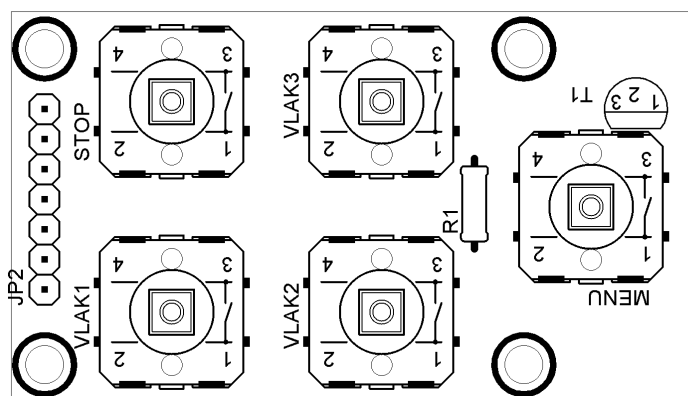
Obrázek č. 30: Schéma modulu tlačítek 1



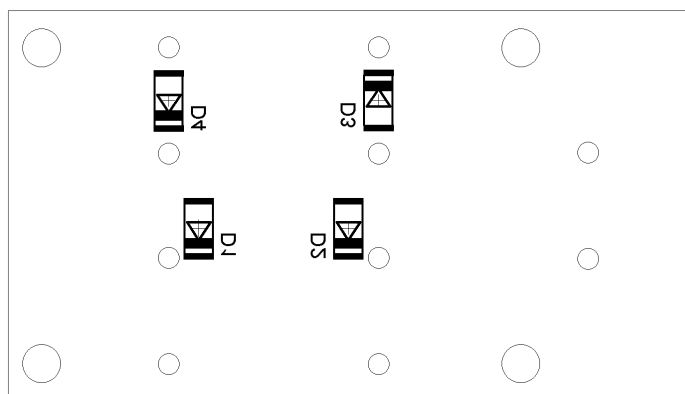
Obrázek č. 31: DPS modulu tlačítek 1



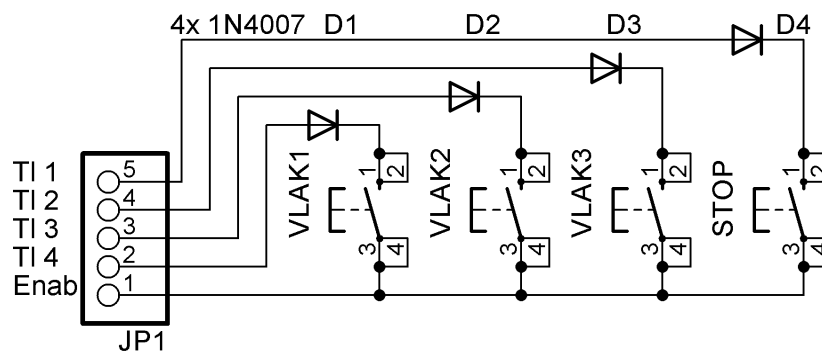
Obrázek č. 32: Osazovací plán modulu tlačítek 1 (top)



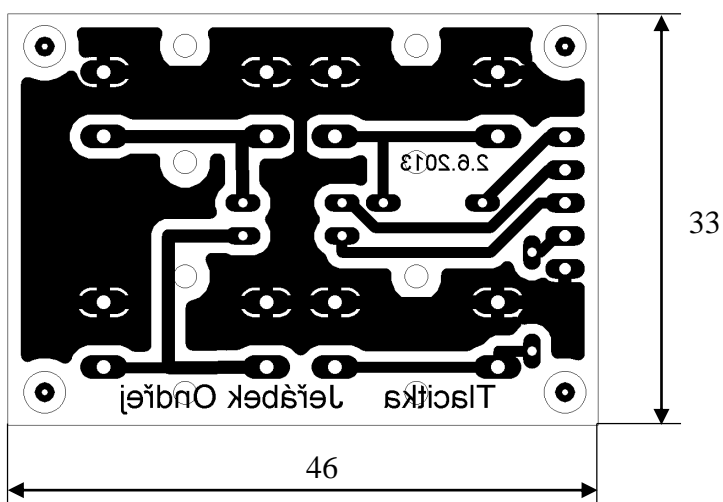
Obrázek č. 33: Osazovací plán modulu tlačítek 1(bottom)



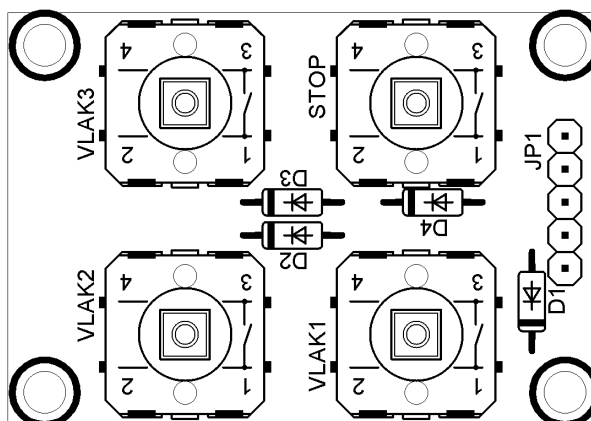
Obrázek č. 34: Schéma modulu tlačítek 2



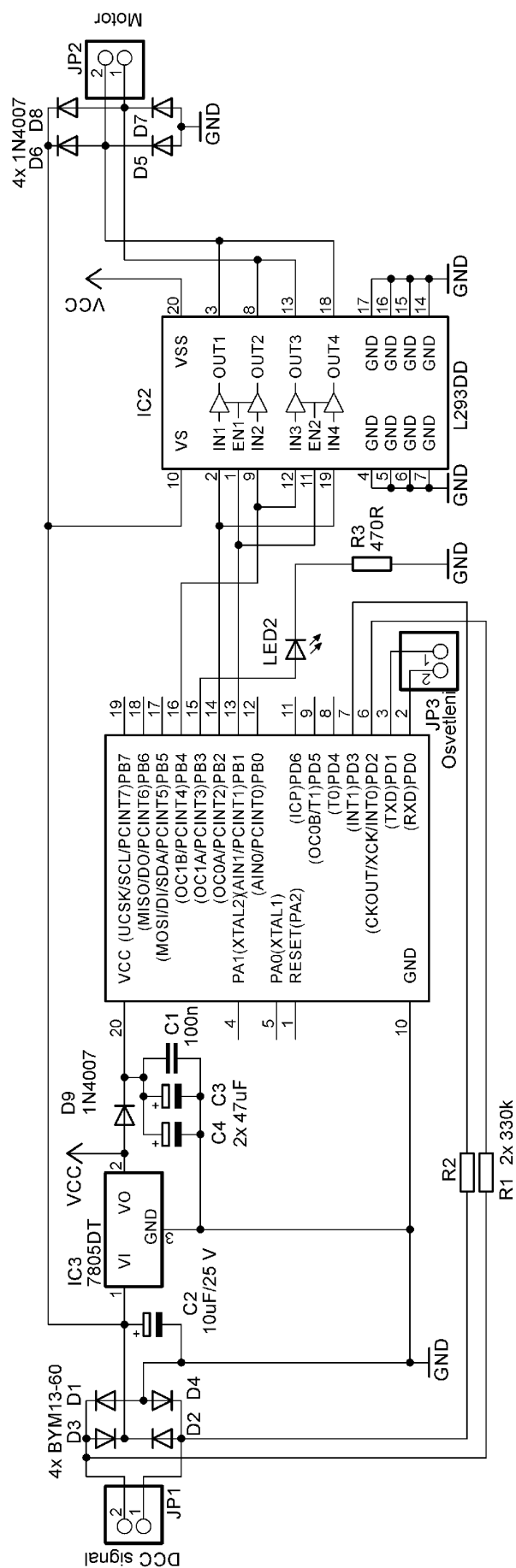
Obrázek č. 35: DPS modulu tlačítek 2



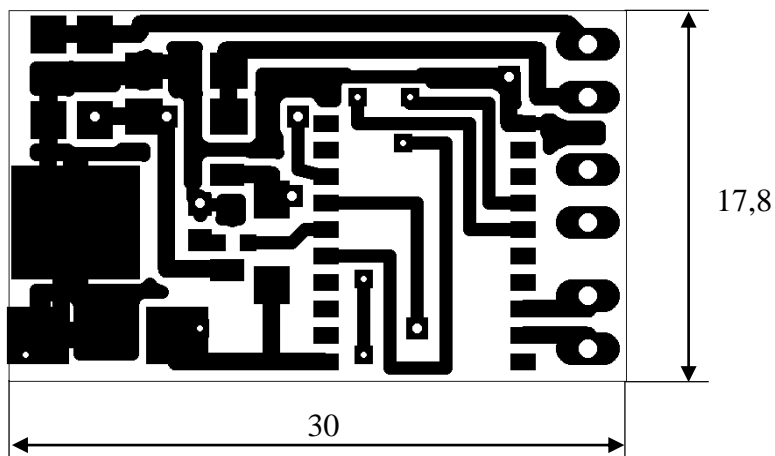
Obrázek č. 36: Osazovací plán modulu tlačítek 2



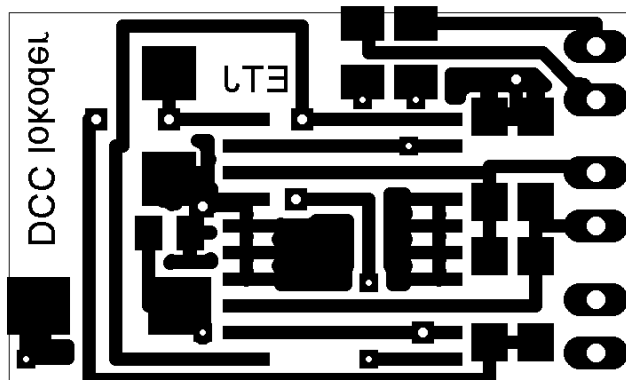
Obrázek č. 37: Schéma dekodéru DCC



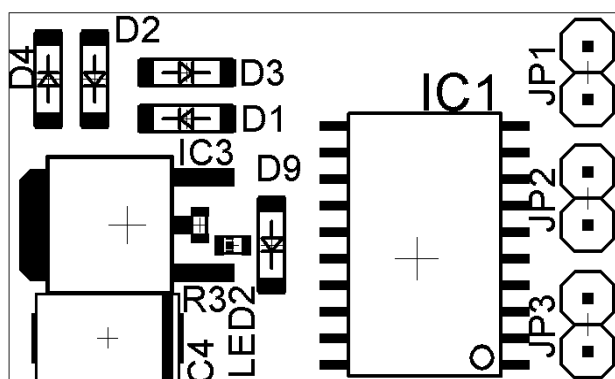
Obrázek č. 38: Deska plošných spojů dekodéru DCC (top)



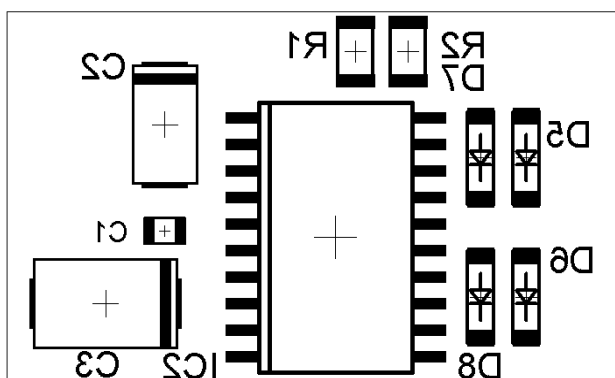
Obrázek č. 39: Deska plošných spojů dekodéru DCC (bottom)



Obrázek č. 40: Osazovací plán dekodéru DCC (top)

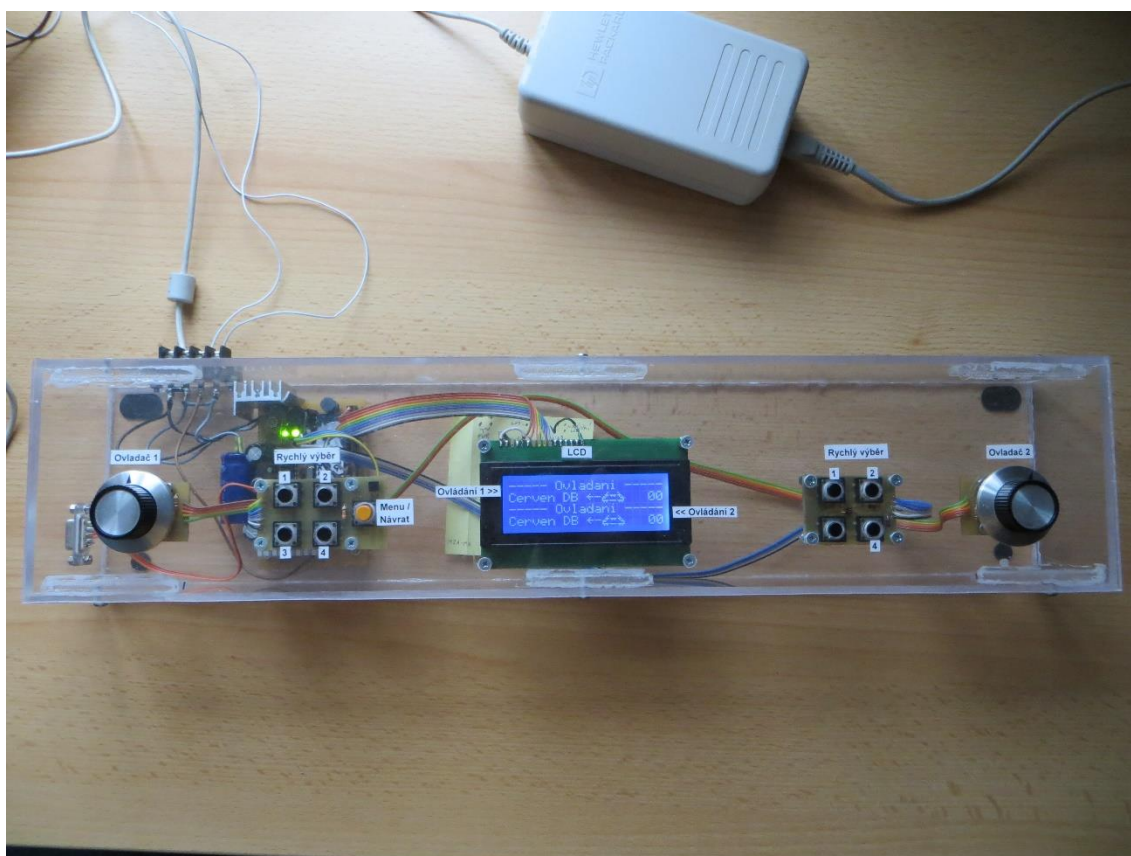


Obrázek č. 41: Osazovací plán dekodéru DCC (bottom)

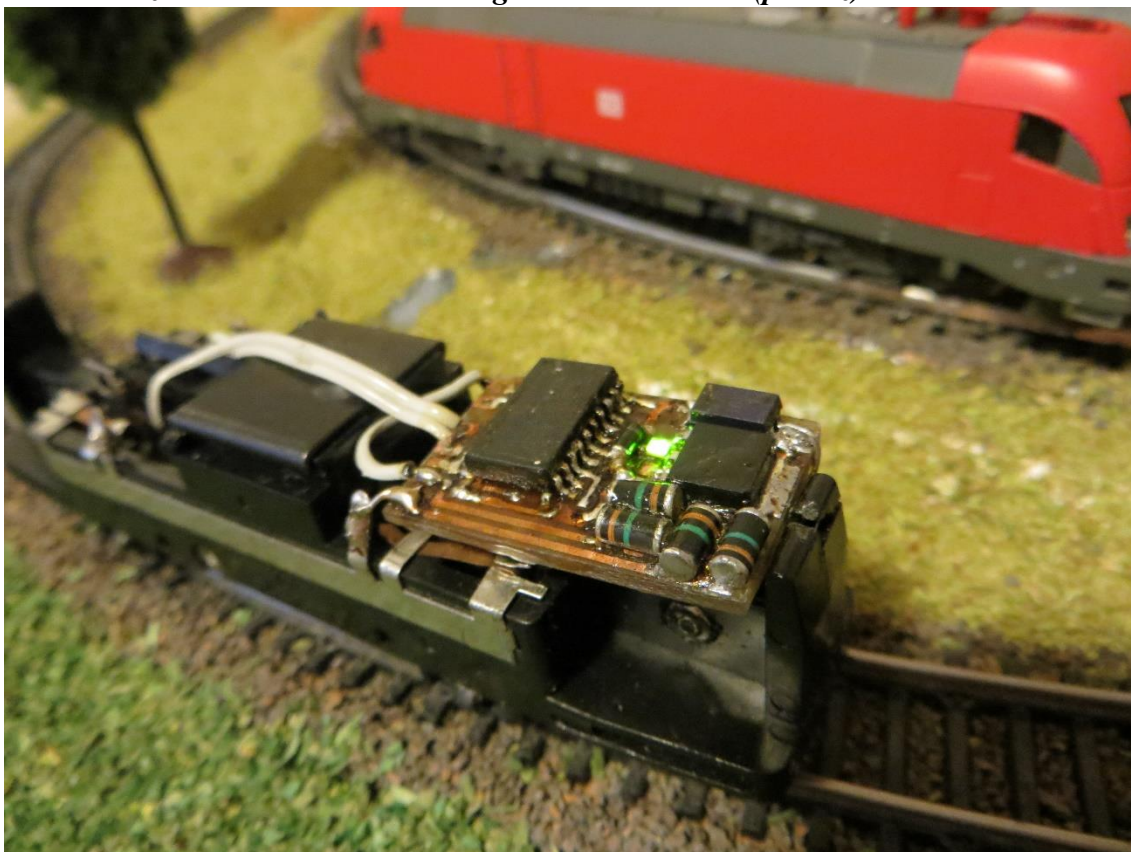


5.2. FOTODOKUMENTACE

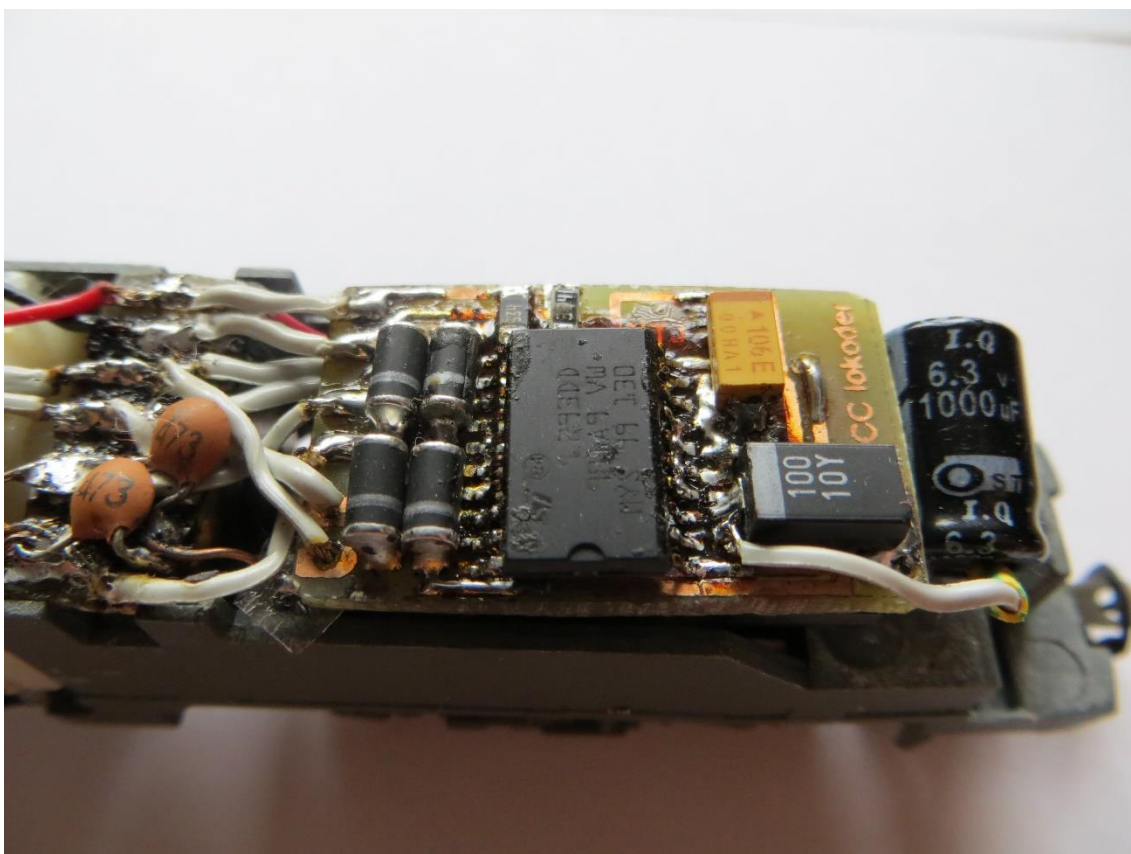
Obrázek č. 42: Konstrukční řešení řídicí stanice



Obrázek č. 43: Dekodér DCC signálu v lokomotivě (provoz)



Obrázek č. 44: Dekodér DCC signálu v lokomotivě



ZÁVĚR

Řídící stanice

Dle zadání jsem vyrobil řídící stanici, pomocí které lze ovládat až 100 lokomotiv na jednom kolejišti. Hlavní limit je zde paměť RAM a EEPROM mikrokontroléru. Řídící stanice měří proudy v kolejišti a v případě zkratu odpojí výstup, který potom doplní zvukovou a světelnou signalizací.

Pro zobrazení stavů, rychlostí, pozic v menu atd. je použit 4 řádkový, alfanumerický LCD displej.

Na řídící stanici jsou přítomny 2 ovládací panely pro ovládání dvou lokomotiv v jednom okamžiku (např. pro dvě osoby). Jeden z ovládacích panelů je hlavní, tzn., může měnit i nastavení, druhý slouží pouze pro ovládání.

Pro celou stanici jsem vytvořil krabičku z plexiskla, do které jsem ji zabudoval.

Do budoucna plánuji řídící stanici doplnit o řízení výhybek a možnost ovládání pomocí počítače.

Dekodér

Dekodérů jsem vyrobil několik kusů a zabudoval je do lokomotiv. Každý dekodér má svoji adresu, pomocí které ho lze ovládat. Program v dekodéru jsem několikrát upravoval a vylepšoval o nové funkce. Konečná verze dekodéru používá proměnnou frekvenci PWM signálu pro řízení motorů, takže lokomotiva plynule jede i při nižších rychlostech.

Dvě lokomotivy jsem upravil a doplnil o světla, která lze pomocí řídící stanice rozsvítit nebo zhasnout.

Celková cena

Cena celé řídící stanice i se čtyřmi dekodéry vyšla kolem 1700 Kč. V porovnání s komerčně prodávanými moduly, u kterých se ceny pohybují kolem 3000 Kč a více, je moje verze levnější a také mám možnost kdykoliv upravit firmware (rozšířit o další funkce atd.)

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A STUDIJNÍCH MATERIÁLŮ

- 1) DCC standard – popis [online]. c1999, 2008 [cit. 15. února 2014]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.mtbbus.cz/dcc/dcc_doc.htm>
- 2) Atmel Corporation. ATmega32/L Datasheet [online]. last revision February 2011 [cit. 1. března 2014] Dostupné na World Wide Web: <<http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>>
- 3) Atmel Corporation. ATtiny2313 [online]. last revision August 2010 [cit. 1. března 2014] Dostupné na World Wide Web: <<http://www.atmel.com/Images/doc2543.pdf>>
- 4) STMicroelectronics. L298 H Bridge [online]. last revision 9th of January 2008 [cit. 1. března 2014] Dostupné na World Wide Web: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf>
- 5) STMicroelectronics. L293DD H Bridge [online]. last revision 11th of July 2003 [cit. 1. března 2014] Dostupné na World Wide Web: <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/1330.pdf> >

SEZNAM PŘÍLOH

- 1) CD s výpisem programů pro mikrokontroléry, schémata a fotografiemi