

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Úprava přestavníků výhybek na kolejišti**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan BALÍČEK**  
Osobní číslo: **E11B0319P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Úprava přestavníků výhybek na kolejišti**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Úkolem práce je vyřešit problémy s přestavováním výhybek na kolejišti umístěného v prostorách laboratoří KAE.

1. Prostudujte současnou koncepci ovládání výhybek na kolejišti a zhodnoťte současné řešení.
2. Navrhněte vhodná vylepšení.
3. Realizujte navržená vylepšení.




Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

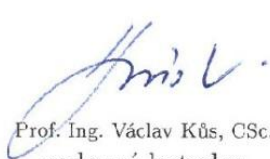
**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luděk Elis**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

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



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce řeší problém přestavníku výhybek na modelové železnici. Zhodnocení stávajícího systému MemoryWire. Výběr nejvhodnějšího systému přestavníku výhybek. Mikrokontrolér je ovládán pomocí sériové sběrnice. Výhybka je přestavována pomocí serva MG90S. Velmi snadná montáž serva do kolejiště. Řídící deska je schopna obsluhovat až osm výhybek. Pro každé servo zvlášť je možnost nastavit koncové polohy pomocí sériové linky.

## **Klíčová slova**

Přestavník, výhybky, modelová železnice, servo, MC9S08DZ96CLF, sériová linka, MemoryWire, NiTiNOL, řízení serva, EEPROM, proudový odběr

## **Abstract**

This thesis solves the problem of the switch turnouts on a model rail road. Assessing the existing system MemoryWire. Selecting the Best systems of the switch turnouts. Microcontroller is controlled via a serial bus. Turnout is operated by a servo MG90S. Very easy to mount to the servo rails. The controll board is able of handling up to eight turnouts. For each servo especially the ability to adjust the end position throught serial bus.

## **Key words**

The switch turnout, turnout, model railway, servomotor, MC9S08DZ96CLF, serial bus, MemoryWire, NiTiNOL, kontrol servo, EEPROM, current consumption.

## **Prohlášení**

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2015

Jan Balíček

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Luďku Elisovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>OBSAH</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>1 SOUČASNÁ KONCEPCE OVLÁDÁNÍ VÝHYBEK</b> .....                                  | <b>4</b>  |
| 1.1 POPIS VÝHYBKY .....  | 4         |
| 1.2 MATERIÁL POUŽÍVANÝ V SYSTÉMECH MEMORYWIRE - NÍTiNOL .....                      | 4         |
| 1.3 ŘEŠENÍ STÁVAJÍCÍHO PŘESTAVNÍKU .....   | 5         |
| <b>2 NÁVRH VHODNÉHO VYLEPŠENÍ</b> .....  | <b>7</b>  |
| 2.1 MOŽNÉ VARIANTY VYLEPŠENÍ PŘESTAVNÍKŮ .....                                     | 7         |
| 2.2 VÝBĚR SERVA .....  | 9         |
| 2.3 ŘÍZENÍ ANALOGOVÉHO SERVA .....   | 11        |
| <b>3 VLASTNÍ ŘEŠENÍ PŘESTAVNÍKU SE SERVEM</b> .....                                | <b>13</b> |
| 3.1 MECHANICKÉ SPOJENÍ SERVA S VÝHYBKOU .....                                      | 13        |
| 3.2 MĚŘENÍ ODBĚRU SERVA PŘED NÁVRHEM DESKY .....                                   | 13        |
| 3.3 POŽADAVKY NA ŘÍDÍCÍ JEDNOTKU SERV .....  | 14        |
| 3.4 NAPÁJECÍ OBVOD ŘÍDÍCÍ DESKY .....  | 15        |
| 3.5 MĚŘENÍ PROUDOVÉHO ODBĚRU SERVA .....   | 16        |
| 3.6 VYPÍNÁNÍ NAPĚTÍ NA SERVU .....   | 18        |
| 3.7 ZAPOJENÍ TLAČÍTKA A INDIKAČNÍ LED DIODY .....                                  | 19        |
| 3.8 ZAPOJENÍ KOMUNIKACÍ .....  | 20        |
| 3.9 VÝROBA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE .....  | 21        |
| 3.10 KONSTRUKCE VÝVOJOVÉHO MODELU .....  | 22        |
| 3.11 SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ ŘÍDÍCÍ DESKY .....  | 23        |
| <b>4 ZÁVĚR</b> .....   | <b>27</b> |
| <b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....                               | <b>28</b> |
| <b>PŘÍLOHY</b> .....   | <b>1</b>  |
| PŘÍLOHA A – MECHANICKÉ SPOJENÍ SERVA S VÝHYBKOU .....                              | 1         |
| PŘÍLOHA B.1 – SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE – ČÁST NAPÁJENÍ .....           | 2         |
| PŘÍLOHA B.2 – SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE – OBSLUHA MIKROKONTROLÉRU ..... | 2         |
| PŘÍLOHA B.3 – SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE – OBSLUHA SERVA 1 – 4 .....     | 3         |
| PŘÍLOHA B.4 – SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE – OBSLUHA SERVA 5 – 8 .....     | 4         |
| PŘÍLOHA C – NÁVRH DESKY PLOŠNÉHO SPOJE .....                                       | 5         |
| PŘÍLOHA D.1 – VYROBENÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE - TOP .....                            | 6         |
| PŘÍLOHA D.2 – VYROBENÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE – BOTTOM .....                         | 6         |
| PŘÍLOHA E – DRŽÁK SERVA .....  | 7         |
| PŘÍLOHA F – VÝVOJOVÝ DIAGRAM KOSTRY PROGRAMU .....                                 | 8         |
| PŘÍLOHA G – TABULKA KÓDŮ PRO PŘESTAVOVÁNÍ VÝHYBEK .....                            | 9         |
| PŘÍLOHA H – TABULKA KÓDŮ PRO VÝBĚR SERVA PRO NASTAVENÍ KONCOVÝCH POLOH .....       | 9         |
| PŘÍLOHA I – TABULKA KÓDŮ KONCOVÝCH POLOH .....                                     | 9         |



## Seznam symbolů a zkratek

|                  |                                    |
|------------------|------------------------------------|
| <i>CAN</i> ..... | Controller area network            |
| $\Omega$ .....   | Ohm, jednotka el. odporu           |
| <i>A</i> .....   | Amper, jednotka el. proudu         |
| <i>V</i> .....   | Volt, jednotka el. Napětí          |
| <i>F</i> .....   | Farad, jednotka el. kapacity       |
| Bd.....          | Baud, jednotka modulační rychlosti |
| <i>DPS</i> ..... | Deska plošného spoje               |
| <i>PWM</i> ..... | Pulzně šířková modulace            |
| <i>Hz</i> .....  | Herz, jednotka frekvence           |
| <i>DC</i> .....  | Stejnoseměrný el. proud            |
| DCC .....        | Digital CommandControl             |
| OZ.....          | Operační zesilovač                 |
| GND.....         | GrouND                             |
| SMD.....         | Surface mount device               |
| THT.....         | Through hole technology            |
| LED.....         | Light emitting diode               |

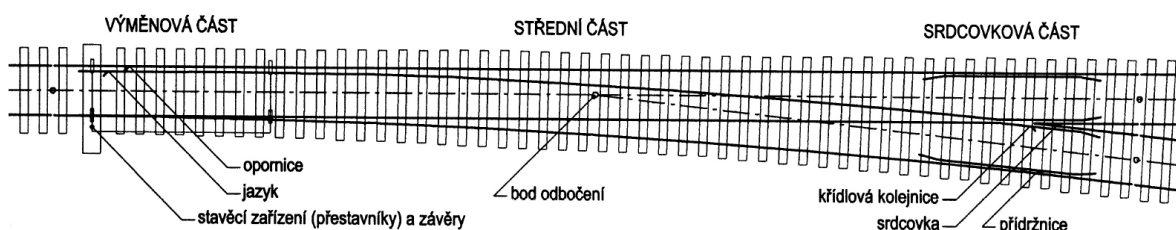
## Úvod

Tato práce se zabývá úpravou přestavníku výhybek pro modelovou železnici umístěnou v prostorách katedry KAE na ZČU v Plzni. Zhodnotil jsem současný systém přestavování, který je v této době řešený pomocí systému tzv. memorywire. Dále jsem navrhl přestavování výhybek pomocí modelářského servomotoru ovládaného mikrokontrolérem komunikujícím přes sériovou linku s řízením celého kolejiště. Současný systém přestavování výhybek komunikuje přes CAN, jelikož jsem se však nedostal k nynějším komunikačním CAN protokolům, řešil jsem ovládání pouze pomocí sériové linky. Pro komunikaci přes CAN jsem však udělal hardwarovou přípravu na řídicí desce. Koncové polohy serva jsou nastavitelné pomocí sériové linky a tím pádem je tento systém snadno přizpůsobitelný pro různé výhybky nebo další zařízení používané na modelovém kolejišti.

# 1 Současná koncepce ovládání výhybek

## 1.1 Popis výhybky

Na začátek bych stručně popsal, jak vlastní železniční výhybka vypadá a z čeho se skládá. Jelikož v práci budou používány názvy části výhybky.



**Obr.1:** Schéma kolejové výhybky

Kolejová výhybka slouží k plynulému přejetí kolejového vozidla z jedné koleje na druhou. Za pomoci přestavníku je možné výhybku přestavit do libovolné pozice a tím určit na jakou kolej má kolejové vozidlo jet. Jazyk výhybky slouží k počátečnímu navolení směru jízdy, jelikož zachytí nákokel a tím usměrní kola vozidla. Stavěcí zařízení, jinak řečeno přestavníky, jsou mechanicky připojeny k jazykům. Přestavníkové zařízení může být např. motor. U modelové železnice se používá elektromagnetů, drátků memorywire, elektromotorků se šnekovými převody nebo servomotorků. Závěry se u modelové železnice nepoužívají, ale mají za účel zajistit polohu jazyku. Přídržnice pomáhá v místě srdcovky navést nákokel správným směrem, kde je kolejnice na kousek přerušena a pomáhá zabránit vykolejení vlaku. Tyto a další informace o železniční výhybce jsou čerpány z příručky *Výhybky a zhlaví železniční stanice*[2].

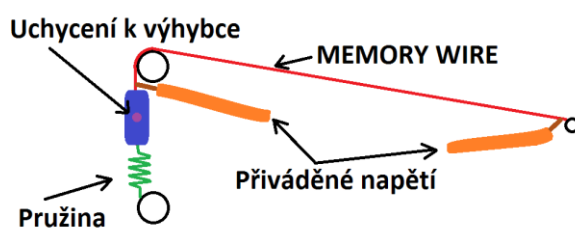
## 1.2 Materiál používaný v systémech Memorywire - NiTiNOL

Jako stávající systém ovládání výhybek na kolejišti je použit tzv. MEMORY WIRE. Tento systém je založen na použití speciálního drátku, ten je vyroben z niklu a titanu, nazývá se též nitinol. Jeho rezistivita je asi  $82 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ . Nitinol má dvě úzce související a jedinečné vlastnosti: superelasticitu a tvarovou paměť. Nitinol má tepelnou pružnost asi 100x větší, než běžné kovy. Jeho tvarová paměť funguje tak, že se drátek manuálně natvaruje do určitého tvaru, poté se tento tvar žíháním „zapamatuje“. Po žíhání je tento tvar možné libovolně změnit, ale po ohřátí na aktivační teplotu se opět vrátí do „zapamatovaného“ tvaru. Pro

použití jako přestavovací zařízení je použito té vlastnosti, že při zahřátí se zkrátí a při následném ochlazení se opět prodlouží. Drátek je možno zahřívát libovolným způsobem, například sálajícím teplem, horkou lázní atd., nejjednodušší je ale využít Joulových ztrát, jelikož je drátek elektricky vodivý a má určitou rezistivitu, po průchodu proudem se ohřívá a tím pádem zkracuje. Je nutno dbát na to, aby se drátek nepřehřál, jelikož by nenávratně zůstal prodloužen. Drátek se například nesmí pájet a je nutno dbát na omezení proudu, jím procházejícím. Podrobnější informace o tomto materiálu jsou například na internetových stránkách SmartWires[5], nebo na Wikipedii[4].

### 1.3 Řešení stávajícího přestavníku

Přestavník je řešen tak, že do jedné pozice je přitahován pružinou a do druhé je přitážen pomocí memorywire. Když tedy přijde požadavek na přestavení výhybky, na drát se přivede napětí v jednotkách voltů, začne jím procházet proud cca 200mA a za pomoci Joulových ztrát se začne ohřívát. Po dostatečném ohřátí se začne zkracovat, natahuje pružinu a přestavuje výhybku. Zkracování probíhá vcelku pomalu, takže přestavování výhybky trvá cca 2-3s, což je ideální, jelikož přestavování vypadá realističtěji. Pro přehození výhybky zpět do počáteční pozice stačí vypnout přívod proudu, drátek se začne ochlazovat a pružina výhybku přestaví. Tento děj probíhá opět velmi plynule a asi 2-3s, v závislosti na rychlosti chlazení drátku.



**Obr.2:** Nákras stávající výhybky memorywire

Mezi největší výhody tohoto systému je cena, jednoduché provedení, žádné mechanické kontakty a jeho rychlost, jelikož je pomalejší, vypadá přestavení realističtěji. Bohužel má velkou nevýhodu a to je jeho malá přitlačná síla, když se například s výhybkou déle nepohybuje, může do ní napadat prach a jelikož má tento systém velmi malou přitlačnou sílu, jazyk výhybky nedomáčkne a může dojít k vykolejení vozidla. S tímto problémem úzce souvisí skutečnost, že se příčinou nedostatečného přitlaku jazyku ke kolejnici nedostane do

jazyku napětí z kolejnice a vlak může na výhybce zastavit. Z toho důvodu bylo na jazyk po přestavení přiváděno napětí zvlášť. Jelikož byly oba jazyky neustále pod napětím opačné polarity, hrozilo nebezpečí, že u srdcovky dojde ke zkratu, který snadno způsobovalo kolo projíždějícího vlaku. Další nevýhoda je neustálé napájení výhybky cca 200mA, pokud je požadavek na přestavení výhybky. Když je takových přestavníků na kolejišti například 20 a 10 z nich je přestaveno, odběr v součtu dělá 2A. Další problém je, že se pro každou výhybku musí délka drátku nastavit zvlášť, v závislosti na přesnosti vyrobené výhybky a také na samotném drátku memorywire, jelikož se neroztahuje každý drátek zcela stejně. Tudíž nastavit a odladit všechny přestavníky na kolejišti a jejich případné opravy jsou dost pracné a časově zdlouhavé. Tímto systémem se zabývá mnoho modelářů například na internetových stránkách *Litomyský*[1].

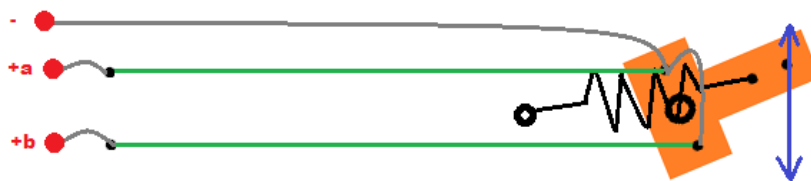
Současná koncepce byla vytvořena tak, že byla jedna deska plošných spojů (dále jen DPS) s budiči pro drátky výhybek. Dále zde byla řídicí DPS, která po sběrnici CAN komunikovala s řízením kolejiště a řídila jednotlivé budiče.

## 2 Návrh vhodného vylepšení

### 2.1 Možné varianty vylepšení přestavníků

V modelové železnici se používají různé další přestavníky a to:

- a) Přestavování pomocí dvou drátků memorywire a kolébkového mechanismu, takzvaný T-element. Výhoda tohoto přestavníku je oproti jednodrátovému ta, že se drátek používá pouze k samotnému přestavení, dále danou pozici drží pružina, takže se nemusí drátek celou dobu napájet, další výhodou je to, že se na kolejnici působí stále konstantní silou, tudíž by neměl být problém s nedoléháním jazyku k opornici. Výhybka se jednoduše přestaví přiložením napětí podle Obr.3 na „+a“ a „-“ resp. „+b“ a „-“ pro přehození na druhou stranu. Nevýhoda je skokový chod, zčásti jde výhybka plynule a po překlopení pružiny se jazyk přestaví skokem, což nevypadá moc reálně. Další nevýhoda je složitější mechanická část a její přesné nastavení. Tento systém se v praxi moc nepoužívá z důvodu jeho složitosti a malé spolehlivosti.



**Obr.3:** Systém memorywire s dvěma drátkami (T-element)

- b) Další používaný systém je elektromagnetický, kde je železná tyčka, která přestavuje výhybku, umístěna mezi dvěma elektromagnety a podle toho který je zrovna aktivní, tak k tomu se přitáhne a přestaví výhybku Obr.4. Nevýhoda přestavníku je skokový, a tudíž nerealistický, chod, dále pak nutnost stálého napájení aktivního elektromagnetu. Tímto systémem řešilo přestavníky výhybek několik výrobců modelů železnic. Další používaná varianta s elektromagnetem je vytvořena tak, že jsou vedle sebe do osy jádra umístěny dvě cívky Obr.5. Přestavovací táhlo, které je připojeno k jazykům výhybky je přitahováno do středu cívky jako jeho jádro. Tuto sílu způsobuje magnetický odpor, který je ve feromagnetiku menší než ve vzduchu, tudíž magnetická síla přitáhne konec přestavovacího táhla do té cívky, která je právě napájena. V těchto řešeních byl problém s přílišnou velikostí přestavníků, používání

mechanických kontaktů pro vymezení dorazů přestavníku a zahřívání cívky, a tím způsobená deformace plastů, z kterých byl přestavník vyroben.

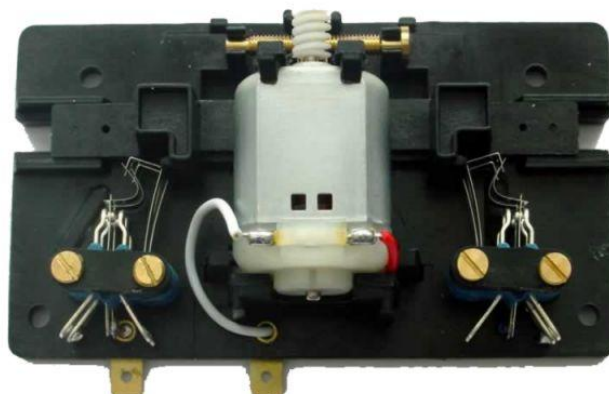


*Obr.4: Jednoduchý elektromagnetický přestavník*



*Obr.5: Elektromagnetický přestavník s táhlem uvnitř cívky*

- c) V modelové železnici se používá také elektromotorických přestavníků. Tyto přestavníky jsou řešeny elektromotorem, který má na hřídeli šnekový převod. Tyto přestavníky jsou velmi realistické, neboť je jejich pohyb plynulý a ne příliš rychlý, respektive se rychlost snadno řídí jelikož jsou používány malé, modelářské stejnosměrné motorky s permanentním magnetem. Nevýhoda tohoto přestavníku je poměrně složitá výroba související s použitím šnekového převodu. Podobný systém přestavování se však používá i v reálné železnici.



**Obr.6:** Elektromotorický přestavník výhybek

- d) Já se zabýval přestavováním pomocí modelářského serva, výhoda tohoto přestavování je plynulý chod, možnost nastavit rychlost přestavení, velká přítlačná síla a to, že není nutné až tak přesného umístění přestavníku k výhybce. Dalším kladem je cena modelářských serv kolem stokoruny a jednoduché montáže hotového serva k výhybce. Mimo serva samotného a řídicí desky jsou další potřebné položky jen korunové záležitosti. Použitím serva s větší přítlačnou silou než byl systém memorywire vyřeší i problém s napájením jazyků výhybky. Serva se navíc v modelářství používají již několik let, tudíž by s jejich použitím neměli mít modeláři velké problémy. Navíc se serva dají dobře řídit pomocí mikrokontroleru a tím pádem je možné si přestavování přizpůsobit svým představám. Snad jediná nevýhoda je hluk při přestavování.

Informace o používaných systémech na přestavování železničních výhybek v modelářství jsem vyhledal na internetových stránkách *Modely H0*[7] a na stránkách *Klubu modelářů železnic Brno I*[8]

## 2.2 Výběr serva

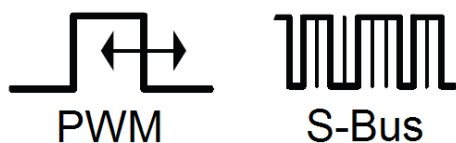
Jsou tři základní druhy modelářských serv, z kterých jsem měl možnost vybírat.

- a) Analogové servo – toto servo je nejjednodušší a nejlevnější, je zkonstruováno z malého stejnosměrného motorku, převodového



mechanismu, který zvýší sílu motorku a zpomalí jeho chod, potenciometru, který dává řídicí elektronice vědět, v jaké poloze se servo nachází. A řídicí elektroniky, která ovládá natočení serva podle vstupního PWM signálu a zpětné vazby od potenciometru.

- b) Digitální servo – tato serva jsou o něco dražší než analogová, mají však větší přesnost a dokáží pracovat s vyšší frekvencí impulsů. Je možné je navíc programovat a nastavovat v nich určité parametry, jako je výchozí poloha, rychlost natáčení, koncové body, atd... Serva se programují pomocí programátorů, který je dodáván výrobcem, každý výrobce má svůj programátor a nebývá kompatibilní se servy výrobce jiného. Jelikož jsou tato serva řízena také pomocí PWM signálu, jsou záměnná s analogovými servy, mívají ale také větší odběr.
- c) Serva s S.BUS – tyto serva se od prvních dvou variant nejvíce liší, nejsou řízena signálem PWM ale komunikují po sběrnici digitálně, díky tomu je možné serva zapojovat paralelně, jelikož z příchozího signálu filtrují informace, které jsou určeny přímo jim. Díky této komunikaci se servy jsou menší nároky na složitost řídicí desky. Nevýhoda je, že jsou několikanásobně dražší než serva analogové a digitální, dále mají vyšší odběr i ve chvíli, kdy se nepohybují.



**Obr.7:** Řídicí signál PWM a S-Bus

Z těchto tří alternativ jsem vybral obyčejné analogové, jelikož se dá koupit již za cca 100Kč a je pro použití jako přestavovací zařízení dostatečné. Pro přesný výběr jsem použil databázi zpracovanou francouzskými modeláři, je volně ke stažení a jmenuje se Servormances 2.2[10]. V této databázi je na 164 serv různých výrobců a jsou zde velmi přehledně zpracované parametry různých serv. Z grafů se dá vyčíst, většinou pro

dvě různé hodnoty napájecího napětí, rychlost natočení, proudový odběr a úhel natočení při změně zátěže. Dále je zde mnoho dalších parametrů, které je dobré znát při navrhování nějakého zařízení. Po zvážení potřeb pro přestavování výhybky jsem vybral servo firmy Tower Pro s označením SG90. Toto servo je v Čechách dobře dostupné a dá se koupit do 100Kč. Chybou internetového obchodu jsem však dostal servo Tower Pro označené MG90S, rozměrově je stejné, jen má kovové převody, které mají větší odolnost vůči mechanickému namáhání, obvykle je však takřka dvojnásobně dražší. Řídící jednotka je však schopna obsluhovat oba tyto typy serv a tím pádem je možné použít ta levnější.

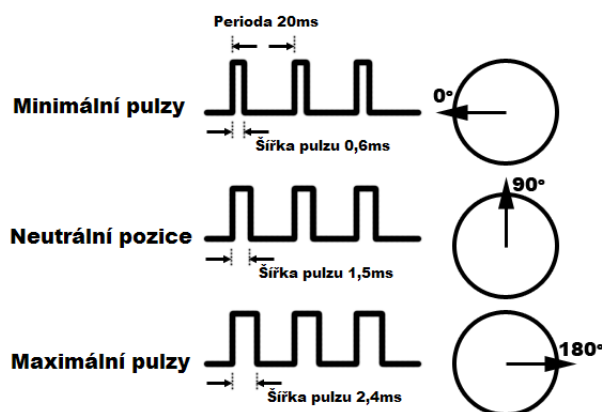
### 2.3 Řízení analogového serva

Analogové servo má vyvedené tři vodiče, dva jsou pro napájení, plus a zem. Třetí vodič se používá k určení polohy serva. Běžná modelářská serva umí otáčet hřídelkou o  $180^\circ$ . Navolení polohy serva se určuje šířkou pulzu posílaného na ovládací vodič. Pro většinu serv je ovládací rozsah pulzů od  $600\mu\text{s}$  do  $2400\mu\text{s}$  viz. Obr.6, střední poloha je tedy  $1500\mu\text{s}$ . Pro mnou použitá serva byla střední poloha při šířce pulzu  $1800\mu\text{s}$ . Pokud není výrobcem šírka pulzu nikde udávána, je nutné si tuto hodnotu změřit. Toto měření se provede jednoduše pomocí generátoru obdélníkových pulzů, a to tak, že se na servo připojí napájení, v mém případě označené plus červeným vodičem, mínus hnědým a na vodič signálu, u mě žlutý, se připojí výstup z generátoru. Na generátoru se nastaví obdélníkový výstup a šírka signálu na  $1500\mu\text{s}$ . Pokud se servo nepřestaví do střední polohy, tedy pokud není hřídelka pootočená o  $90^\circ$  od nulové polohy, musíme zkusit měnit šířku pulzu. Jakmile se dostaneme s hřídelkou do středové polohy, odečteme hodnotu šířky signálu z generátoru a víme danou hodnotu.

Pro plynulý chod serva je nutná frekvence signálu 50Hz, to znamená, že se signál musí opakovat s periodou 20ms. Pokud by byla perioda větší a servo by se nestihlo pootočit do žádané polohy během jednoho pulzu, pohyb hřídelky by nebyl plynulý, jelikož by se servo po každých 20ms zastavilo a čekalo na další pulz. Pokud by byla naopak šířka pulzů menší, servo by se chovalo nepředvídatelně.

Při řízení serva je také zapotřebí, hlídat si maximální pootočení serva. Mechanické dorazy serva jsou konstruovány jako plastová zarážka u převodů a pokud se pošle požadavek na pootočení hřídelky do polohy, která je za touto zarážkou, může dojít k poškození převodovky serva, nebo k přehřátí motoru.

Další parametr, který je v některých aplikacích zapotřebí ovládat, je rychlost otáčení serva. Tento parametr se u obyčejných analogových serv řídí nejhůře. Jelikož jsou serva samotná konstruována pouze pro přestavení do dané polohy a rychlost přestavení u nich není nikterak implementována, je nutné tento parametr ovládat posíláním různě dlouhých pulzů. Tedy šířku pulzů postupně zvyšovat, nebo snižovat, v závislosti, na jakou stranu chceme s hřídelkou hýbat. Rychlost změním podle toho, kolik různě dlouhých pulzů pošleme na servo během přestavování o určitý počet stupňů natočení. Například můžeme poslat dva pulzy, vždy s takovou změnou šířky pulzu, aby se servo pootočilo o jeden stupeň požadovaným směrem. Poté změním šířku pulzu zase pro změnu o další jeden stupeň a pošleme další dva pulzy. Toto je v podstatě jediná možnost pro řízení rychlosti přestavování obyčejného analogového serva. Pro takovéto řízení je bezpodmínečně nutné znát i počáteční polohu serva. Takováto změna rychlosti nebude zcela plynulá, avšak je možné dosáhnout dostatečně dobrého výsledku. Musíme však počítat s velmi omezenými možnostmi změny rychlosti z toho důvodu, že levná serva v ceně kolem sto korun nemají takové rozlišení pro přestavování o jen nepatrné výchylky.



**Obr.8:** Šířka pulzů v závislosti na natočení serva

Informace o ovládání serv jsem vyhledal na internetových stránkách *Pojezdy*[3] a na stránkách University Regina[6].

## 3 Vlastní řešení přestavníku se servem

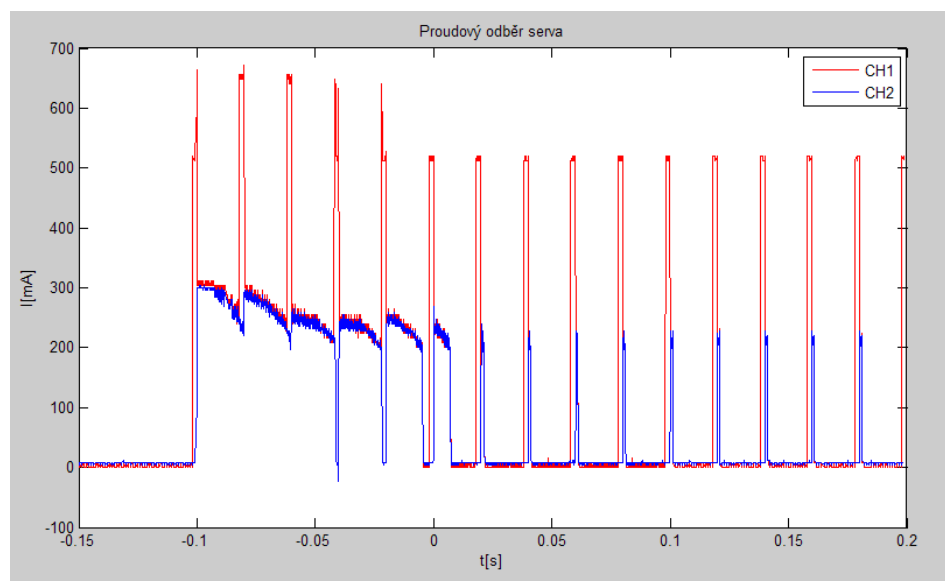
### 3.1 Mechanické spojení serva s výhybkou

Nejprve jsem musel udělat jednoduchý držák na servo, který se vyřízne z kousku železa ve tvaru do L (Příloha E). Servo jsem umístil koncem hřídelky přesně pod pražec výhybky, který je určen pro přestavování. Mezi servem a výhybkou se musí do dřevěné desky kolejiště provrtat díra o průměru cca 5mm. Na hřídelku serva se připevní jednoramenné táhlo, které je k servu dodáváno. Do dírek táhla se připevní pružinový drátek o průměru cca 0,5mm. Tento drátek by měl být pružný, díky této pružnosti chrání samotnou výhybku, jelikož servo by mělo dostatečnou sílu, aby kolejnici zničilo. Servo má přitlačnou sílu 2,5kg/cm při napájecím napětí 6V. Zároveň drátek musí být dostatečně pevný, aby jazyky na kolejnici přitiskl dostatečnou silou. Mechanické spojení serva s výhybkou je vyfoceno v příloze A.

### 3.2 Měření odběru serva před návrhem desky

Pro dobré navržení řídicí desky se provedlo měření protékajícího proudu servem. Na servo se připojilo napájecí napětí a generátor pulsů. Osciloskopem se měřilo napětí na snímaném odporu hodnotou 1Ω, který byl vložen do série s napájecími piny serva. Průběh proudu servem je na grafu (Obr.9). Červenou křivkou (CH1) je zobrazen proud před RC filtrem a modře (CH2) je proud za RC filtrem. Další podrobnosti o RC filtru jsou popsány v kapitole 3.5. Z grafu je vidět reakce na změnu v přestavení, jelikož po přestavení na servo, zhruba v čase 0s stále tlačí pružná spojka, původní plán byl připínat napájení serva pomocí FET tranzistoru ovládaného mikrokontrolérem. Když by se napětí neodpojilo, servo by stále bzučelo, jelikož by se snažilo vykompenzovat tlak pružiny. Stejněho efektu, tedy že se servo nesnaží dokompenzovat vychylování způsobené tlakem drátku, se dá dosáhnout tak, že se na řídicí vodič serva přestane posílat PWM signál. V programu samotném jsem nakonec odpojování napájení nevyužil, využil jsem druhé varianty a to, že se na přestavené servo již dál neposílá řídicí signál. Servo bez napájení, nebo řídicího signálu zůstane v přestavené poloze, pro pootočení by bylo nutné vydat na hřídelku velmi velký tlak, který pružná spojka určitě neudělá. Tento jev je způsoben velkým zpřevodováním motůrku do síly. A jelikož jsou serva umístěna pod celou deskou kolejiště, jsou tak

chráněna i před případným nechtěným strčením do táhla serva a tím přestavení výhybky.



**Obr.9:** Graf proudového odběru serva

### 3.3 Požadavky na řídicí jednotku serv

Jako první požadavek na řídicí jednotku byl, aby měla hardwarovou přípravu na komunikaci CAN, jelikož by měla v budoucnu s řídicím pultem kolejiště komunikovat právě po této sběrnici. Jelikož však nebylo možné do doby odevzdání mé bakalářské práce zjistit komunikační protokoly od řízení kolejiště, vyřešil jsem komunikaci pouze pomocí sériové linky. Protokoly nebylo možné zjistit, jelikož lidé, kteří se zabývali vývojem kolejiště, již nejsou na univerzitě a v dokumentaci není dostatečný popis. Sériová linka je běžně označovaná jako UART(u Freescalemikrokontrolerů označováno jako SCI).Budoucí programová úprava však popřípadě nebude nikterak složitá. Jelikož jsou mikrokontroléry s podporou CAN sběrnice dražší, navrhl jsem řídicí desku rovnou pro osm serv, jelikož se tímto krokem zlevnístavbaceleho kolejiště. Tím pádem jsem musel vybrat mikrokontroler, který má dále osm výstupů pro odpojování napájení serva tranzistorem. Další osm výstupů bylo nutných pro vysílání řídicího signálu na serva. Dále měl mít mikrokontrolér osm vstupů s analogově digitálním převodníkem, pro měření protékajícího proudu servomotorů při přestavování. A nakonec několik vstupů a výstupů pro připojení případných dalších méně podstatných součástí, jako jsou signalizační LED diody a tlačítko. Nejlevnější mikrokontroler který by splňoval všechny požadavky jsem vybral MC9S08DZ96CLF, který je v internetovém obchodě farnell.com za 108Kč. Tento

mikrokontroler podporuje sběrnici CAN, dále je schopen ovládat serva pomocí PWM signálu, měřit protékající proud servem a odepínat FET tranzistory, které měly vypínat napájecí napětí serv, nebude-li požadavek na jejich přestavení. Tento mikrokontroler je SMD v 48 pinovém pouzdře.

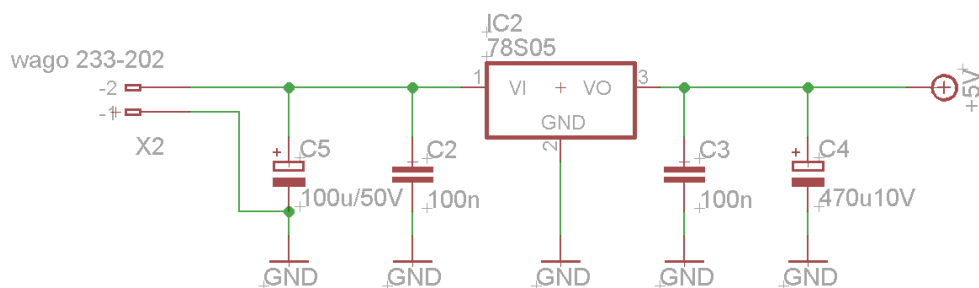
O frekvenci mikrokontroléru se stará krystal Q1, který je 8MHz. Tento krystal je zapojen podle katalogového listu, který je dodávaný k mikrokontroléru. Na desce je osazen i programovací konektor JP1 s tlačítkem S3, které slouží pro reset. Zapojení tohoto tlačítka vychází opět z katalogového listu mikrokontroléru.

Další požadavek na připojování serv a samotnou instalaci do kolejiště byl, aby následná instalace dalších přestavníků byla co nejjednodušší. K desce se tedy serva samotná připojí pouze pomocí tří pinového konektoru a není nutné zapojovat další dráty, například pro snímání polohy, jelikož měření proudu se provádí přímo na desce a od měření napětí na jazykách se upustilo. Celkově instalace tohoto zařízení do kolejiště by měla být velmi jednoduchá. Celková cena součástek na řídicí desku je asi 400Kč, k této ceně je nutné připočítat výrobu samotné desky a její osazení. Když by se počítalo s celkovou cenou 500Kč za kompletní desku a 100Kč na jedno servo, pak při využití všech osmi výstupů desky vyjde v podstatě cena jednoho přestavníku na asi 165Kč. Tato cena je v porovnání s běžně prodávanými přestavníky velmi pozitivní, jelikož elektromotorické přestavníky jsou v prodeji od cca 200Kč bez řídicí elektroniky.

### 3.4 Napájecí obvod řídicí desky

Pracovní napájecí napětí na desce jsem zvolil 5V, jelikož použitá serva umí s tímto napětím pracovat a zároveň je možné vybrat integrované obvody, které jsou navrženy pro toto napájecí napětí. Tímto krokem se ušetří za oddělení napájení pro serva a pro řídicí elektroniku. Stabilizátor napětí jsem vybral 78S05. Tento stabilizátor má výstupní proud 2A. Stabilizátor by měl být schopen hradit proudové odběry řídicí elektroniky i serv. Nepředpokládá se, že by se najednou nastavovaly více jak dvě výhybky najednou. Každé servo má podle měření odběr maximálně 700mA, takže by výstupní proud stabilizátoru měl být dostatečný. Navíc je stabilizátor schopen chvilkově dodávat až 3A, a v případě nadměrného zahřívání je na něj možnost připevnit chladič. Pro mojí aplikaci však není chladič zapotřebí a stabilizátor se uchladí bez větších problémů. Elektrolytický kapacitor na vstupu byl použitý

100 $\mu$ F/50V. Napájecí napětí stabilizátor zvládá do 35V, tak tento elektrolytický kondenzátor dostačuje. Tento kondenzátor slouží pro vyhlazení vstupního napětí. V praxi se však počítá s používáním napájecího napětí 12V DC. Kdyby se používalo napájecí napětí vyšší, bylo by možná za potřeby na stabilizátor chladič namontovat, jelikož by docházelo k jeho většímu zahřívání. Na výstup stabilizátoru byl použit kondenzátor větší kapacity 470 $\mu$ F/10V, maximální napětí už bez problémů stačí menší, naopak byla volena co největší kapacita, aby byl kondenzátor schopen hradit úbytky a tím spojené zátky napětí při přestavování serva. Pro připojení napájecích vodičů desky jsem použil svorkovnici od firmy WAGO, řadu 233-202, jelikož se k ní vodiče dají připojit i bez použití nástrojů, ale pro případnou výrobu DPS ve větším množství by bylo vhodnější volit levnější variantu, například pomocí obyčejných sousoých konektorů, velká výhoda by byla například i v tom, že jsou protikusy používány jako standardní zakončení síťových adaptérů.



**Obr.10:** Obvod napájení

### 3.5 Měření proudového odběru serva

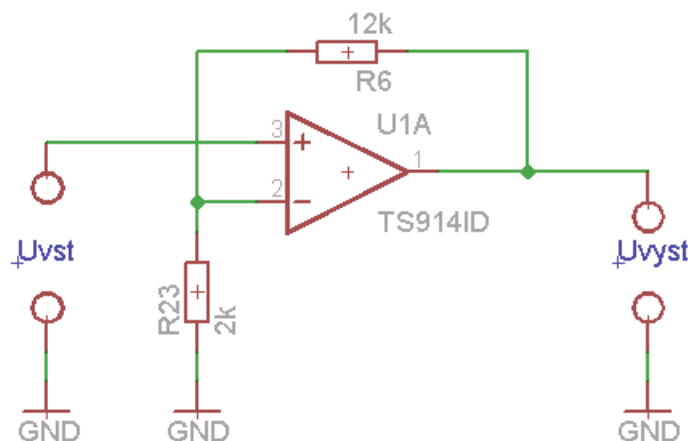
Původní požadavek na řídicí desku byl, aby se koncové polohy serva nastavovaly automaticky. Toto řešení by mělo tu výhodu, že při prvotní montáži výhybky, nebo při nějaké mechanické úpravě kolejiště by se daný modelář nemusel o žádné ruční nastavování dorazů starat. V návrhu DPS bylo s tímto řešením počítáno, avšak samotná implementace této části řídicího systému do závěrečného řešení přestavníku nebyla možná. Tato funkce nemohla být použita proto, že servo má natolik velký převod, navíc při použití pružné spojky, že po přestavení výhybky a dalšímu zvyšování tlaku na pružnou spojku nedojde k žádnému měřitelnému zvýšení proudu napájecího napětí. Další, asi nejjednodušší možností by bylo, do okolí serva připevnit mechanické spínače, které by byly spínány táhlem serva a odpojovaly by napájení serva. Mechanické spínací prvky však přináší riziko zvýšené nespolehlivosti.

Také by s tímto řešením vznikl další problém při stavbě kolejiště a to, že by se museli oba spínače seřizovat pro každé servo zvlášť. Oproti mnou zvoleného řešení, manuálního nastavení dorazů do paměti mikrokontroleru, by toto řešení nebylo pro člověka, který bude montovat přestavník do kolejiště ani snazší, ani spolehlivější. Další možnost měření přestavení výhybky by bylo měření napětí na jazycích. Tato možnost je trochu zkomplikovaná napájecím napětím kolejnic, jelikož se v digitální železnici nepoužívá standardní DC napětí, ale tzv. DCC, které obsahuje řídicí povely pro lokomotivy. Toto řešení by však vyžadovalo galvanické spojení napájení řídicí desky s napájením kolejnic, a zároveň by zvýšilo náročnost na zabudování přestavníků do kolejiště.

Z důvodů prvotních plánů však bylo na desku zakomponováno měření protékajícího proudu servem. Toto řešení je celé realizované na řídicí desce, tudíž by nebylo nutné připojovat další měřicí zařízení. Jak je vidět na grafu průchodu proudu servem (Obr. 9), při přestavení serva z jedné do druhé polohy je proudový odběr serva asi 300mA a po přestavení jsou viditelné pouze proudové špičky, jak se servo snaží dorovnat pnutí pružného drátu. Červenou křivkou (CH1) je zobrazen proud před RC filtrem a modře (CH2) je proud za RC filtrem. Měřicí obvod je řešen za tranzistorem např. pro servo 1, kde je RC filtr z R8 a C8, který má za úkol vyhladit průběhy proudu, jelikož pulzuje v závislosti na přestavování serva. Dále se tento signál zesiluje operačním zesilovačem TS914ID. V pouzdře této součástky jsou čtyři operační zesilovače, tak stačí použít dvě pro všech osm serv. Operační zesilovač je zapojen jako neinvertující zapojení (Obr.11). Odpor R6 a R23 nastavují zesílení 7x. Při použití operačních zesilovačů bývá problém se symetrickým napájením. Symetrické napájení je nutné, pokud potřebujeme zesilovat střídavé napětí. V tomto případě se zesilované napětí pohybuje mezi nulou a pěti volty, tudíž pro napájení operačního zesilovače postačuje společný napájecí obvod pro celou desku. Běžný operační zesilovač neumí zesilovat až do napájecího napětí, tomuto napětí se říká tzv. saturační napětí. Když se používá napájecí napětí např. 12V a víc, tak většinou rozsah běžného OZ stačí, v aplikacích, jako je například tento přestavník, kdy se používá napájecí napětí pod deset voltů, je vhodnější použít zesilovač tzv. Rail-to-Rail na vstupu i výstupu, který má výstupní rozsah takřka celé napájecí napětí. Z toho důvodu je možné jemněji měřit napětí pomocí A/D převodníku v mikrokontroléru, než kdyby bylo zesíleno pouze v rozsahu 0-4V. Bohužel, jak již byl řečeno, po přestavení výhybky nedojde k měřitelnému zvýšení napájecího proudu a tím pádem by bylo možné celý tento



obvod při konstrukci dalších DPS vypustit a tím i snížit cenu celého zařízení.



**Obr.11:** Neinvertující zapojení

### 3.6 Vypínání napětí na servu

Poté, co se provedly první testy mechanického přehazování pomocí serva, tak se ukázal první problém. Tímto problémem bylo, že po přestavení výhybky neustále servo bzučelo. Tento problém se ukázal jako běžné chování serva, pokud na jeho hřídel působí nějaký tlak. Tento i nepatrný tlak způsobí posunutí potenciometru, který je implementován v servu a při dalším přijetí signálu servo zjistí, že se požadovaná poloha nerovná poloze skutečné. Takto se servo chová díky tomu, že se snaží vykompenzovat tlak pružiny tím, že se dopřestaví, i když na zařízení není vidět žádný pohyb. Tento problém jsem chtěl řešit odpojováním napájení po přestavení serva. Toto odpojování musí být řízeno mikrokontrolérem, jelikož před dalším přestavováním serva musí být napětí opět přivedeno.

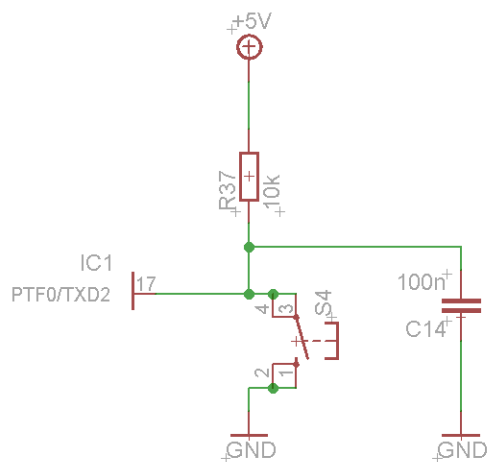
Jiný způsob, jak se zbavit tohoto problému by mohlo být použití pevné spojky mezi servem a výhybkou. Toto řešení by však vnášelo jiné značné problémy při konstrukci, a to buď nutnost přesné instalace serva k výhybce a přesné nastavení poloh přestavení serva v programu.

Jelikož jsem však použil řešení pomocí pružné spojky, tak jsem z důvodu odstranění neustálého bzučení serv na desku zakomponovat obvod pro odpínání napětí na servu. Tato funkce je realizována pomocí unipolárního tranzistoru s kanálem N. Tento tranzistor je zapojen, jako spínač, ke konektoru pro servo, kde odpojuje nulový potenciál. Jelikož se jedná o unipolární tranzistor, jeho spínání je řízeno napětím, tudíž

je gate připojen přímo k výstupu mikrokontroléru. Pro správnou funkci tranzistoru je mezi gate a GND připojen např. pro servo 1 rezistor R43, který se stará o to, aby byl tranzistor zavřen například ve chvíli, když ještě není zinicizovaný mikrokontroler. Tento rezistor má odpor  $5k\Omega$ .

### 3.7 Zapojení tlačítka a indikační LED diody.

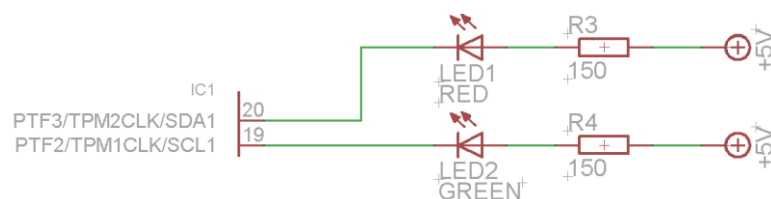
Z důvodu testování kompilovaného programu a pro možnost dalšího využití jsem na desku umístil tlačítko S4, které v konečném řešení ovládací desky nebude příliš podstatné. Paralelně k tomuto tlačítku je umístěn kapacitor C14, který by měl vyhlazovat případné zátky při zmáčknutí tlačítka. Pro zajištění logické jedničky na vstupu, ke kterému je tlačítko připojeno slouží rezistor R37, který je zároveň připojen k napájecímu napětí. Pokud je tlačítko v klidovém stavu, na vstupu mikrokontroléru PTF0 je napětí 5V. Pokud se tlačítko stiskne, na vstupu mikrokontroleru se po vybití kapacitoru C14 objeví nulové napětí. Z teorie elektroniky je známo, že se napětí na kapacitoru mění spojitě, z toho plyne funkce tohoto kapacitoru. Ve chvíli stlačování tlačítka by mohlo dojít k mikrosekundovým změnám napětí vlivem postupného doléhání kontaktu, právě tyto změny napětí kapacitor zvládne vykompenzovat.



**Obr.12:** Zapojení tlačítka s volitelnou funkcí

Dále jsou na desce umístěny dvě signalizační LED diody, kterým je možno přiřadit libovolnou funkci. Před LED diody bylo nutné připojit předřadné odpory, které snižují protékající proud diodou. Jednoduchým výpočtem se zjistí elektrický odpor předřadného rezistoru, jenž u těchto diod vychází  $150\Omega$ . Katody jednotlivých

diod jsou připojeny na výstup mikrokontroléru a to na PTF2 a PTF3. Rozsvícení diod se tedy ovládá tak, že se na výstup mikrokontroleru nastaví zem, uzavře se obvod a LED dioda se rozsvítí.



**Obr.13:** Zapojení LED diod

### 3.8 Zapojení komunikací

Na desce je konektor JP11, na kterém je vyvedena sériová linka mikrokontroleru (RXD a TXD) a napájení +5V a GND. Pomocí této sériové linky je nakonec celé zařízení ovládáno. Jelikož jsou všechny obvody pro komunikaci po sériové lince integrovány v samotném mikrokontroleru, není již nutné žádných dalších externích součástí. Konektor JP11 je vytvořen z oboustranných kolíků (4 piny). Pro komunikaci pomocí sériové linky se stolním počítačem je nutné použít USB převodník. Tento obyčejný převodník se dá pořídit za zhruba 100Kč. U sériové linky slouží jeden vodič pro vysílání dat a druhý pro příjem. Při připojování převodníku si musíme dát pozor, abychom připojili výstupní pin řídicí desky TXD na příchozí pin RXD převodníku a naopak. Data jsou vysílána postupně za sebou, tudíž se jedná o bezkolizní komunikační protokol. Toto je rozdílné například oproti rozhraní USB nebo Ethernet. Většinou se pro přenos dat používá sekvence osmi bitů. Je však možno použít i sekvence o menším počtu bitů. Rychlost komunikační rychlosti jsem zvolil 19200 Bd. Takto zvolená rychlost přenosu má dostatečnou přesnost a je standardizována. Pro použití v takovéto aplikaci by však stačila i rychlost menší, například 9600Bd. Bd (Baud) je jednotka modulační rychlosti, udávající počet změny stavu přenosového média za sekundu. Pro sériový přenos platí, že 1Bd = 1bit/s.

Jako CAN budič, který je nutný pro propojení mikrokontroleru k CAN sběrnici jsem vybral MCP2551-I/SN. Tento budič používá napájecí napětí 5V a stojí kolem 20Kč. U tohoto budiče je zapotřebí nastavit jeho funkční mód, je na výběr mezi vysoko rychlostním módem, pohotovostním režimem nebo se dá změnit reakce na

strmost náběžné hrany. Mezi těmito funkcemi budiče se dá volit rozdílným zapojením pinu RS. Protože je pro tuto aplikaci nejvhodnější High speed režim, stačilo pouze výstup RS spojit s výstupem VSS, který je zapojen jako GND. Pohotovostní režim je vhodný pro aplikace, ve kterých je velký nárok na úsporu elektrické energie, například, pokud je zařízení napájeno z baterií. Jelikož se nepředpokládá ani provoz v extrémnějších podmínkách, kde by se vyskytovaly zdroje velkého rušení, nebo by byly používány velké délky datových vodičů, kde by bylo třeba změnit strmost náběžné hrany, nemusí se použít ani zapojení pro změnu reakce na strmost náběžné hrany. Jelikož se vždy na konec CAN sběrnice připojuje  $120\Omega$  odpor mezi CANL a CANH, zakomponoval jsem tento odpor na desku jako R5 s možností připojení vyzkratováním jumperu JP10. Tento odpor se v praxi často zapojuje přímo do pohyblivé části konektoru. Pokud je však možnost zapojit odpor na desku plošného spoje, je tato varianta vhodnější. Zakončovací odpor se zapojuje vždy pouze na konec CAN sběrnice, nikdy se nesmí zapojovat v zařízeních průběžných. Zapojení tohoto odporu je nutné z důvodu impedančního přizpůsobení vedení. Vedení se musí impedančně přizpůsobit, aby se zabránilo odrazům na vedení. Hodnota  $120\Omega(\pm 20\%)$  je blízká charakteristické impedanci kabelů používaných pro tuto komunikaci.

### 3.9 Výroba desky plošného spoje

Pro návrh samotné desky plošného spoje jsem použil program Eagle 6.2.0. Tento program je volně použitelný pro nekomerční účely. Všechny funkce programu jsou zcela funkční i v této volně stahovatelné verzi, je tu pouze omezení pro maximální velikost desky plošného spoje a to  $100 \times 80 \text{mm}$ . Mnou navržená deska se vešla přesně do těchto rozměrů. Před započítáním navrhování samotného schématu se musíme rozmyslet, jestli použít součástek SMD nebo THT. Rozdíl mezi těmito součástkami je ve velikosti a hlavně v jejich vývodech, z čehož plyne jejich připojení. Součástky THT jsou z pravidla větší a mají drátové vývody, tudíž je nutné vrtání děr do desky pro připájení. Tyto součástky se umísťují na opačnou stranu desky, než jsou vodivé cesty. Výhoda THT součástek je však v jejich snazším ručním pájení a také v nižší ceně. SMD součástky jsou v dnešní době více upřednostňovány, jelikož jsou prostorově úspornější a není nutné vrtání děr do desky plošného spoje.

Jako typ součástek jsem zvolil provedení SMD pro všechny, kromě elektrolytických kondenzátorů, hodinového krystalu, stabilizátoru napětí, konektorů a

tlačítek. Díky této volbě jsem dosáhl velmi kompaktních rozměrů celé řídicí desky. Protože jsem však při navrhování počítal s ručním pájením, používal jsem THT součástky o minimálním rozměru 1206. Je zapotřebí, rozhodnout se, jestli dělat navrhovanou desku jako jednostrannou nebo oboustrannou. V profesionální výrobě desek plošných spojů se používají i vícevrstvé, tyto technologie jsou však pro jednoduchou ruční malovýrobu nevhodné. Já se rozhodl pro výrobu jednovrstvé desky, jelikož mnou navrhnuté zapojení není příliš rozsáhlé a výroba jednovrstvé desky je v amatérských podmínkách jednodušší. Nevýhoda mnou použité varianty však byla použití 24 propojek, které se umísťují ze strany desky jako THT součástky. Tyto propojky zvyšují počet pájených míst a vrtaných děr v desce.

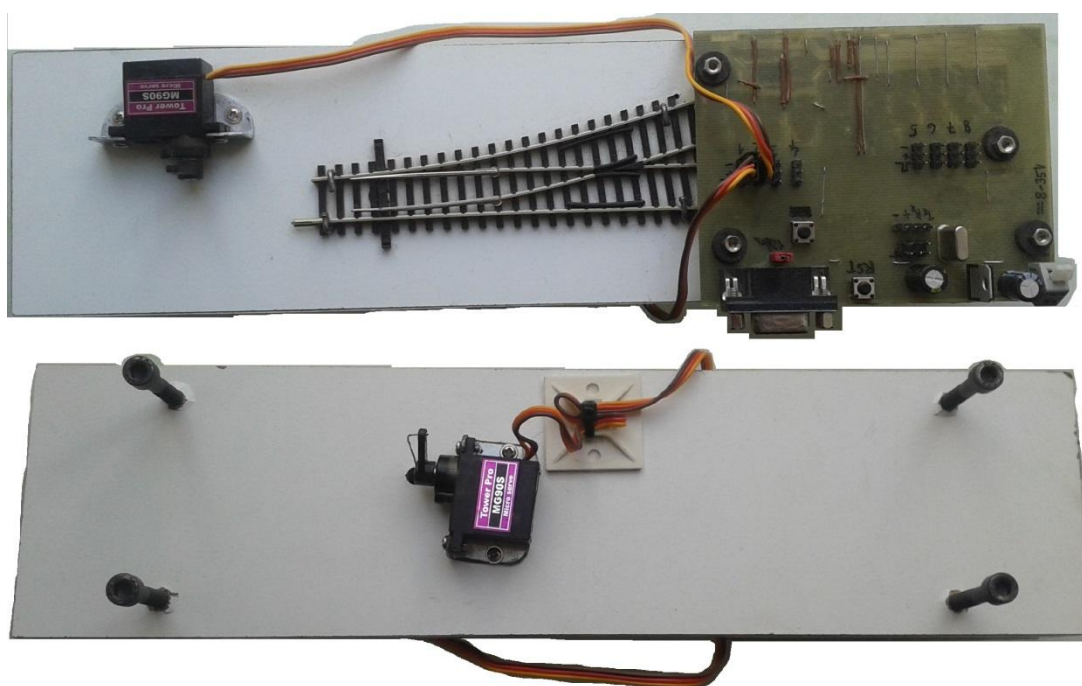
Jelikož jsem neměl požadavek na nějaké speciální prostorové rozvržení desky plošného spoje, tak se při navrhování nejprve začíná v rozmístění součástek do požadovaných pozic, poté se začnou vytvářet jednotlivé vodivé cesty. Konektory pro připojení osmi serv jsem rozdělil do dvou skupin po čtyřech, toto rozložení vycházelo z použití operačních zesilovačů TS914ID, kde se v jednom pouzdře nachází právě čtyři operační zesilovače. CAN konektor jsem vybral lomený 90°, protože se k takto zvolenému konektoru nejlépe připojí kabel tak, aby nedocházelo k jeho zbytečnému ohýbání, a také je lépe chráněn proti případnému mechanickému poškození špatnou manipulací. Tento konektor se však musí umístit na krajní pozici desky. Rozmístění tlačítek a LED diod jsem nevěnoval přílišnou pozornost, jelikož nebyly plánovány pro běžné používání zařízení, spíše pro ladění softwaru. Na desce jsou samozřejmě i čtyři větší otvory, sloužící k uchycení desky ke kolejišti. Rozmístění těchto děr je voleno tak, aby po přišroubování zpevňovali desku v místech, kde jsou rozmístěny konektory a tím pádem je na desku vyvíjen největší mechanický tlak.

Poté, co jsem desku navrhl (viz. Příloha C), nechal jsem ji podle návrhu vyfrézovat na příslušném oddělení Západočeské univerzity v Plzni. Po vyfrézování jsem ručně napájel všechny součástky a stranu desky s vodivými cestami jsem ošetřil kalafunovým lakem pro základní zakonzervování. Kompletní vyrobená řídicí deska je vyfocena v příloze D.

### 3.10 Konstrukce vývojového modelu

Pro potřeby vývoje programu a testování celé řídicí jednotky a mechanického spojení serva s výhybkou jsem vyrobil následující vývojový model. Celý model je

postaven na dřevotřískové desce o rozměrech 310x80mm a tloušťce 18mm. Řídicí deska je umístěna z horní strany pro lepší přístup a snazší připojování konektorů. Ve skutečném modelovém kolejišti se však bude umisťovat z opačné strany desky stolu. To samé platí o druhém testovacím servu, které není připojeno k výhybce a slouží pouze pro kontrolu, jestli řídicí signály přichází pouze pro námi zvolené servo. A také, jestli správně funguje nastavování koncových poloh serv pro každé servo zvlášť. Samotná řídicí deska je uchycena pomocí obyčejných distančních šroubků používaných v počítačové technice. Hlavní servo, které je zároveň připojeno k samotné výhybce je umístěno tak, jak se předpokládá umístění do modelového kolejiště. Tímto servem se zároveň testuje mechanické spojení serva s výhybkou. Jako stojánek jsem použil obyčejné šrouby s imbusovou hlavou o délce 40mm, jelikož hlavní servo vyčnívá pod desku o 25mm.



*Obr.14: Vývojový model přestavníku výhybky*

### 3.11 Softwarové řešení řídicí desky

Program po řídicí desku jsem vytvořil v programovacím jazyce C, za použití vývojového prostředí CodeWarrior, které je od firmy Freescale. Tato firma zároveň vyrábí mnou použitý mikrokontroler, tudíž je CodeWarrior pro programování a samotné nahrávání tohoto mikrokontroleru přizpůsoben. Pro nahrání programu do

mikrokontroler tedy stačí už jen programátor USBDM\_JM V1.6.

Jako signalizace zapnutí slouží červená LED dioda. Tlačítko S4 nemá žádnou funkci, tudíž by se spolu s rezistorem R37 a kapacitorem C14 při případné výrobě dalších desek nemuselo osazovat. Sloužilo pouze při začátcích mého programování pro ladění části kódu pro nastavení jednoho serva. Hlavní kostra programu je znázorněna ve vývojovém diagramu v příloze F. Po přivedení napájení na řídicí desku se nejprve načte prvních osm bajtů z paměti EEPROM, které nesou informaci o koncových polohách pro osm serv. Poté se vyhodnocuje, jestli nějaké servo nemá přiřazeno jako koncové polohy hodnotu FF, což by signalizovalo, že na dané servo ještě nikdy nebyly nastaveny koncové polohy. Pokud tato situace nastane, nastaví se jako základní koncové polohy pro servo jedna poloha 5 a druhá poloha B (viz. příloha I - Tabulka kódů koncových poloh).

Jak jsem již zmiňoval v předchozích kapitolách, řídicí deska je ovládána pomocí sériové linky. Mikrokontroler je nastaven pro příjem osmibitových informací. Každá osmibitová informace je v mém případě pomyslně rozdělena na dvě čtyřbitové. Při přestavování serva slouží první čtyři bity pro identifikování jednoho z osmi serv a další čtyři bity, respektive poslední z čtyř bitů slouží pro určení, do jaké polohy se má dané servo přestavit, jestli do polohy „1“ nebo do polohy „0“. Pro identifikování přestavovaného serva se dá snadno v hexadecimální číselné soustavě poslat řídicí desce číslo 0 až 7, kde číslo 0 označuje první servo a číslo 7 sevo osmé. Jako druhá číslice v hexadecimální číselné soustavě stačí poslat 1 nebo 0 pro určení polohy pro přestavení. Takže pro příklad pokud chceme přestavit servo 1 do polohy 0, stačí na sériovou linku poslat v hexadecimální číselné soustavě čísla 00. V binární podobě by pak osm posílaných bitů bylo 00000000. Pro přestavení například čtvrtého serva do polohy 1, stačí na sériovou linku poslat 31 hexadecimálně. Kompletní možnosti přestavování jsem vypracoval do tabulky, která je umístěna v příloze G.

Pokud chceme měnit koncové polohy jednotlivých serv, musíme nejprve zadat, pro které konkrétní servo chceme koncové polohy měnit. Tento výběr se provede velmi snadno, stačí na sériovou linku poslat hexadecimálně 8 až F, kdy 8 označuje servo 1 a F označuje servo 8. Tabulka pro výběr serva je v příloze H. Jako druhá číslice, tedy doplnění zbylých čtyř bitů, je vhodné psát nulu, není to však nutné, jelikož program zbylé čtyři bity ignoruje. Pokud vybereme servo pro nastavování koncových poloh, rozsvítí se žlutá LED dioda. Tato dioda signalizuje, že program čeká, až po sériové lince pošleme oba dva koncové dorazy pro vybrané servo. Hodnota

obou koncových poloh se opět posílá v jedné osmibitové sekvenci, kdy první čtyři bity reprezentují polohu 0 a poslední čtyři byty polohu 1. Řídící deska rozlišuje celkem 16 koncových poloh. Po přijmutí informace o koncových polohách žlutá dioda opět zhasne, pro signalizaci přijmutí dat. Poté se všech osm bajtů obsahující informaci o koncových polohách aktualizuje do paměti EEPROM, která si koncové polohy zapamatuje i při odpojení napájení řídicí desky. Jelikož má osa serva možnou výchylku  $180^\circ$ , je 16 možných koncových poloh dostatečných pro doladění přestavení výhybky, pokud například nenasadíme táhlo na servo přesně, nebo pokud konec hřídelky serva samotného neumístíme přesně pod střed pražce, ke kterému je hřídelka serva přes pružnou spojku připojena. Tabulka s přehledem všech šestnácti koncových poloh a jejich kódem je v příloze I. Pokud chceme měnit pouze jednu z krajních poloh, musíme opět zadat i tu polohu, která se změnit nemá.

Pro komunikaci se zařízením jsem používal program HTerm 0.8.1beta. Po spuštění programu pouze stačí vybrat, na jakém portu máme umístěn převodník z USB na sériovou linku, poté zvolit rychlost přenosu 19200Bd a přepnout si typ zadávaných dat z ASC na HEX.

Samotné přestavení serva je provedeno následovně. Nejprve určíme, které servo chceme přestavovat, poté se k danému servu načtou obě koncové polohy. Když jsou načtené koncové polohy daného serva, uloží se do paměti EEPROM, do jaké polohy servo přestavujeme, pro obnovení polohy po případném vypnutí a zapnutí zařízení. Poté se vybere jedna ze dvou koncových poloh, do které chceme servo přestavovat. K dané koncové poloze se načte šířka PWM pulzu. Nyní začíná samotné přestavování. Pokud na řídicí vodič serva pošleme přímo PWM signál s šířkou pulsu koncové polohy, servo se přestaví velmi rychle a přestavení není moc reálné, proto jsem musel tento problém vyřešit tak, že se šířka pulzů postupně zvětšuje (nebo zmenšuje), až se dosáhne koncové polohy. Pro takovéto řízení je nutné do paměti RAM ukládat poslední šířku pulzu ke každému servu. Pro plynulý chod se však musí měnit šířka pulzu dostatečně rychle, zvolil jsem tedy opakování každé šířky pulzu 2x, kdy se mění šířka pulzů o  $10\mu\text{s}$ . O správné šířky pulzů se stará časovač TPM2. Před samotným posíláním pulzů tedy program musí rozhodnout, jestli se bude šířka pulzu zmenšovat nebo zvětšovat v závislosti na poslední poloze přestavování a na nové poloze přestavování. Vždy po načítání daného počtu signálů od časovače TPM2 se na příslušný port výstupní brány PTD, na kterou jsou připojeny ovládací vývody serv, nastaví 0 nebo 1. Touto změnou napětí na výstupu brány PTD vzniká kýžený PWM



signál, který analogová serva řídí.

Informace o programovém zprovoznění paměti EEPROM jsem našel na internetových stránkách My Freescale Web Page[9].

## 4 Závěr

Tato bakalářská práce měla za úkol vyřešit problémy s přestavováním výhybek na kolejišti umístěném v prostorách laboratoří KAE.

Jako první část byla prostudovat a zhodnotit současnou koncepci. Současná koncepce je založena na systému MemoryWire. V kapitole 1.2 jsem stručně popsal, jak funguje samotný materiál NiTinol, na kterém je tento systém přestavování založen. V kapitole 1.3 jsem popsal funkci současného systému a zároveň jsem zhodnotil jeho výhody a nevýhody. Jelikož stávající řídicí deska nebyla využitelná ani s úpravami pro řešení pomocí servomotorů, současné řešení jsem nestudoval příliš detailně.

Druhá část této práce byla o návržení vhodného vylepšení. Zhodnotil jsem tedy, jaké jsou možné systémy pro přestavování výhybek. Z uvažovaných výhod a nevýhod možných systémů přestavování je dle mého názoru nejlepší řešení pomocí modelářského serva. V kapitole 2.2 jsem uvažoval jaké konkrétní servo použít a v kapitole 2.3 jsem detailně popsal řízení analogového serva.

Poslední část této práce se věnovala vlastnímu řešení přestavníku výhybky. Při vymýšlení nejvhodnějšího řešení pomocí modelářského serva jsem se setkal s několika problémy. Jelikož byl požadavek, aby byla montáž nové výhybky co nejjednodušší, chtěl jsem vytvořit systém tak, aby se na základě proudového odběru serva vyhodnotilo, jestli je výhybka přestavena. Tím by se v programu nemuselo následně nic nastavovat a instalace nové výhybky by byla snazší. Jelikož se tato varianta nepovedla zprovoznit z důvodu malých proudových změn odběru serva (viz. kapitola 3.2) rozhodl jsem se definovat pro každé servo koncové polohy. Jelikož se koncové polohy snadno změní po sériové lince, myslím, že samotná montáž a zprovoznění nové výhybky je i tak velmi snadná a tím je splněn daný požadavek. Další výhodou mého řešení je i v tom, že není nutné, aby bylo zařízení galvanicky spojeno s kolejištěm. Pokud by se při výrobě další řídicí desky vynechali nepoužívané součástky, což je tlačítko a součástky sním související a součástky pro měření proudového odběru serva, dostaneme se s výrobní cenou jednoho přestavníku na cca 120Kč, což je v porovnání s prodávanou technikou pro modeláře bezkonkurenční. Jelikož celé zařízení plní svou funkci dobře, je dle mého názoru použitelné v praxi.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

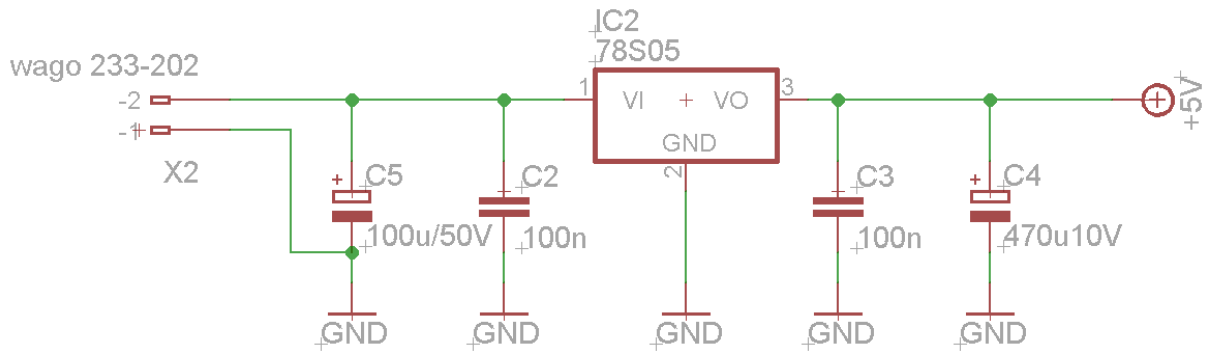
- [1] <http://www.litomysky.cz/BIX/memwire.htm>; [cit. 21.5.2015]
- [2] FRIDRICH, A. Karel. Výhybky a zhlaví železniční stanice, 10. 11. 2008
- [3] <http://www.pojezdy.eu/eshop/mikroserva-5-10g/1056-servo-hxt900-9g-16kg-cm.html>; [cit. 21.5.2015]
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel\\_titanium](http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_titanium); [cit. 15.4.2015]
- [5] [http://smartwires.eu/index.php?id\\_cms=9&controller=cms&id\\_lang=7](http://smartwires.eu/index.php?id_cms=9&controller=cms&id_lang=7); [cit. 21.5.2015]
- [6] <http://www.cs.uregina.ca/Links/class-info/207/Lab6/>; [cit. 21.5.2015]
- [7] <http://modelyh0.com/tema/prestav/prestav.htm>; [cit. 21.5.2015]
- [8] <http://www.kmz-brno.cz/>; [cit. 21.5.2015]
- [9] GUITTET, Joel. My Freescale Web Page [online]. [http://myfreescalewebpage.free.fr/tutorials/appnote\\_eeprom/appnote\\_eeprom.htm](http://myfreescalewebpage.free.fr/tutorials/appnote_eeprom/appnote_eeprom.htm); [1.1.2013]
- [10] <http://www.teaser.fr/~osegouin/aeromode/servos.phtml>; [21.5.2015]

## Přílohy

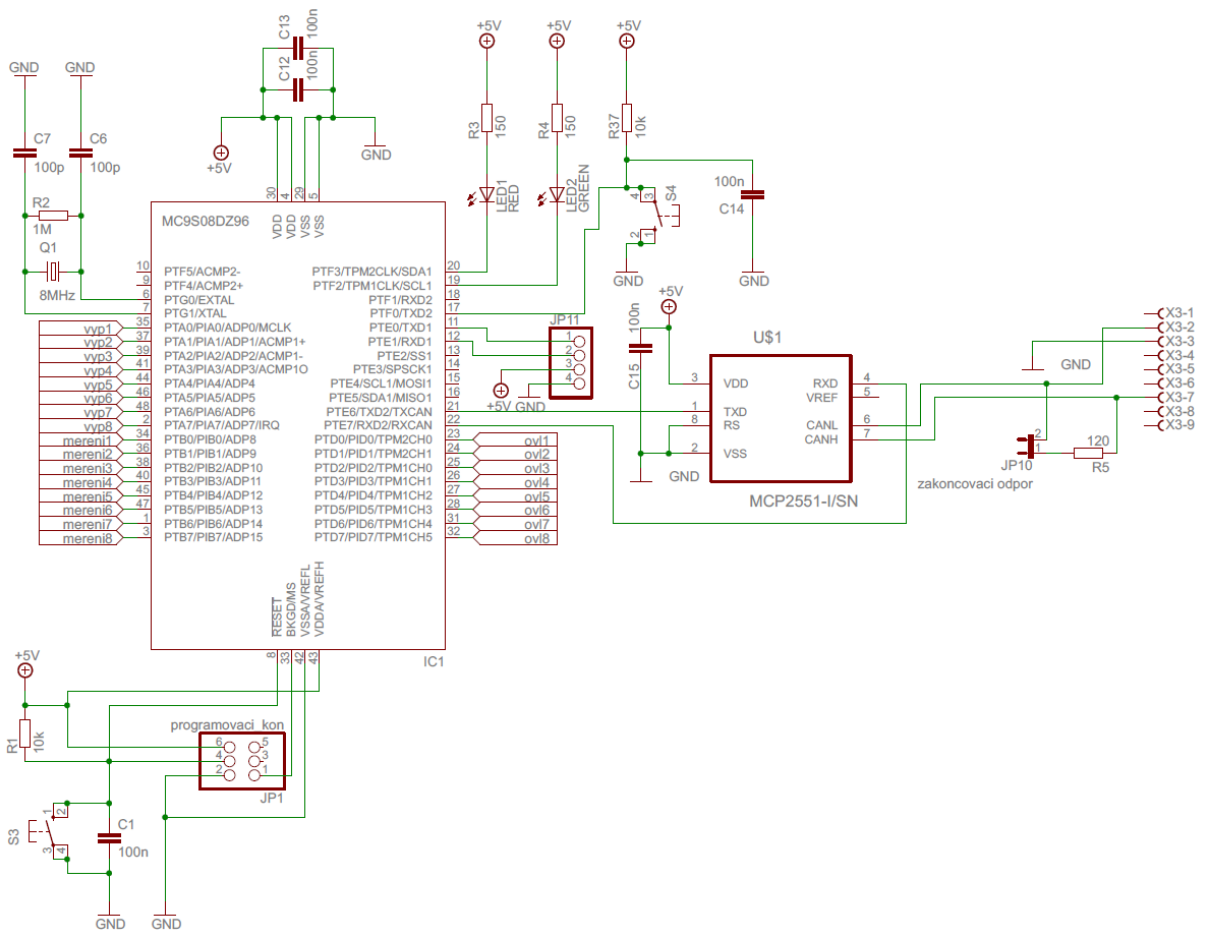
### Příloha A –Mechanické spojení serva s výhybkou



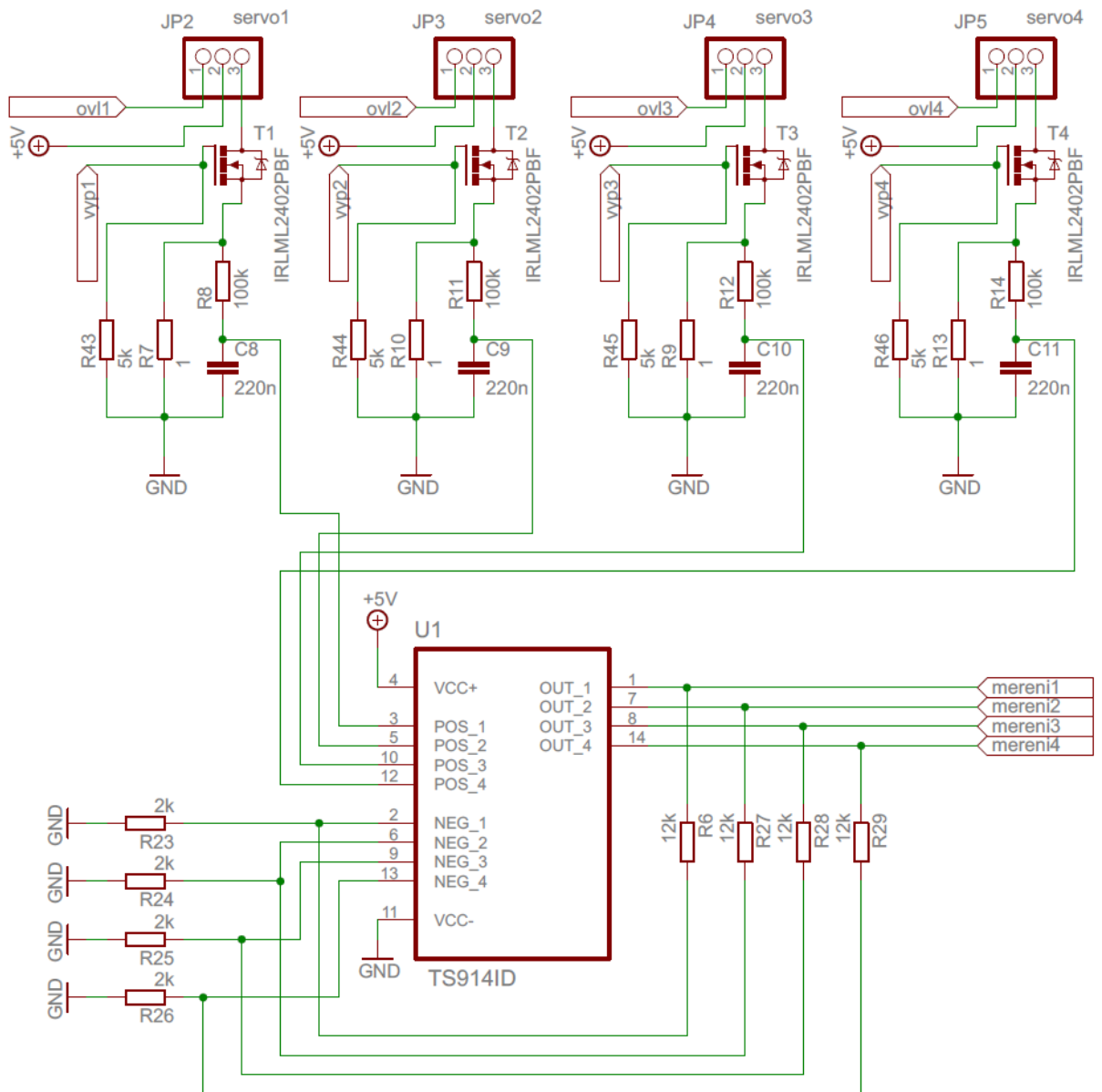
**Příloha B.1 – Schéma zapojení desky plošného spoje – část napájení**



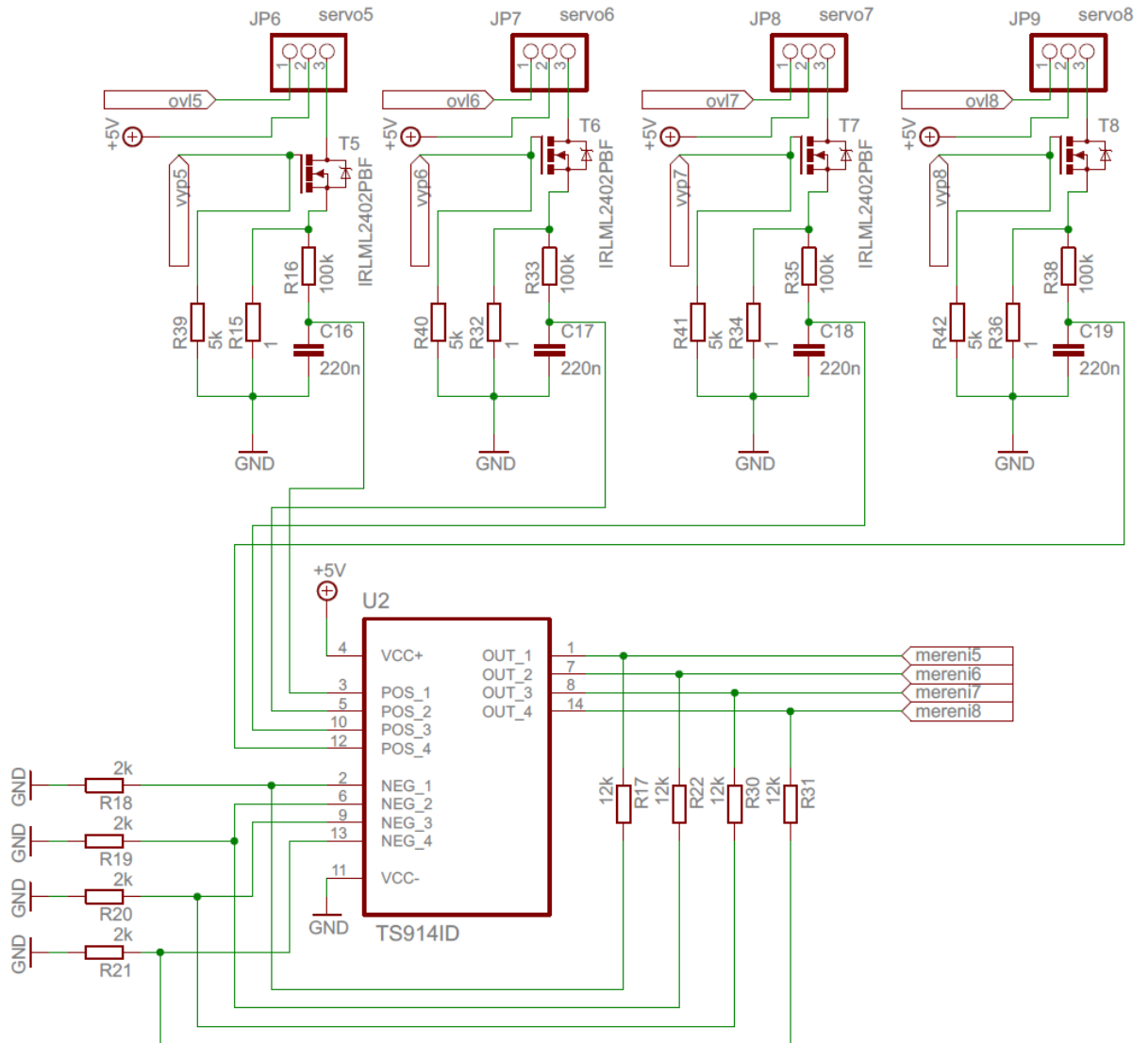
**Příloha B.2 – Schéma zapojení desky plošného spoje – obsluha mikrokontroléru**



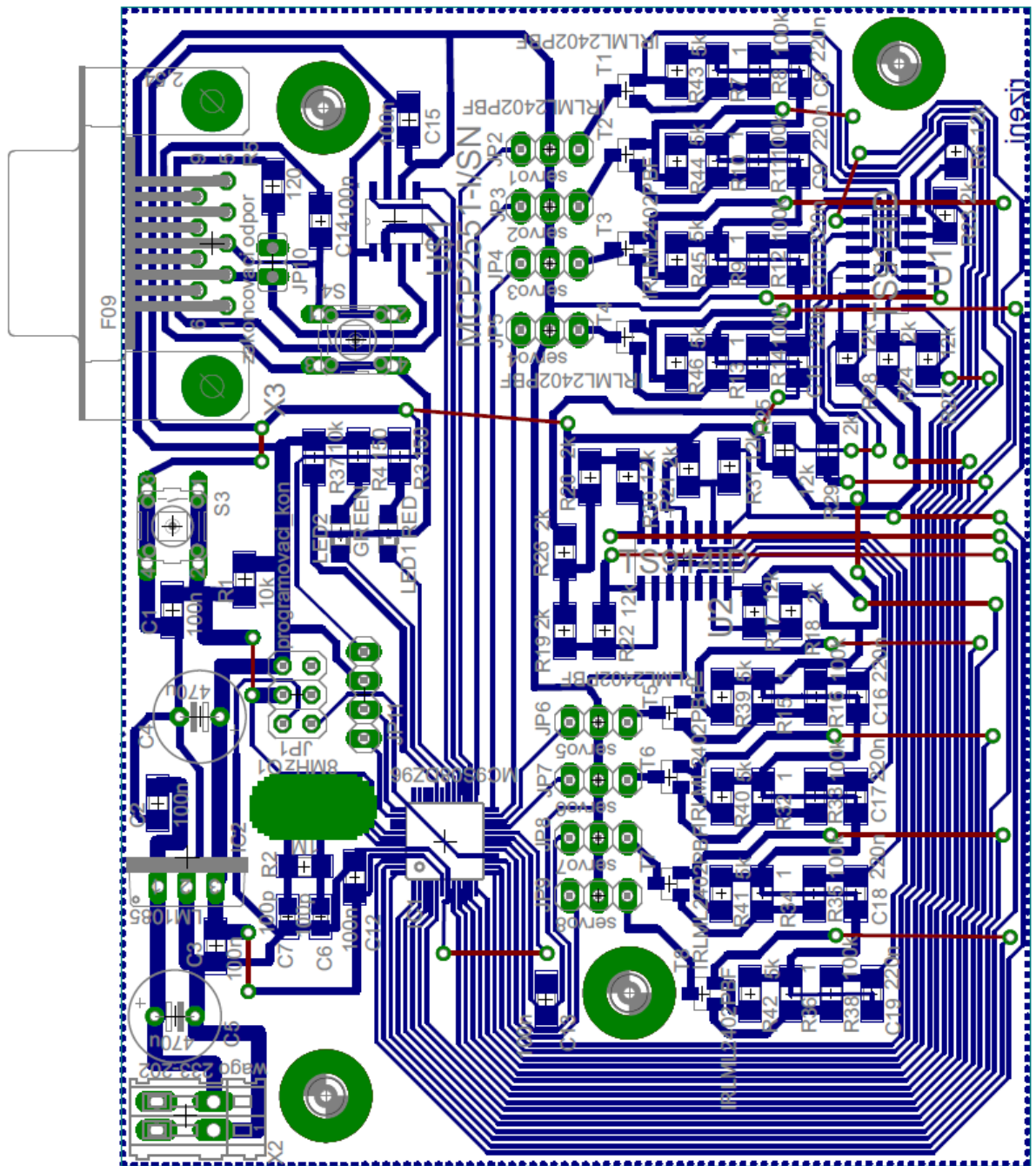
**Příloha B.3 – Schéma zapojení desky plošného spoje – obsluha serva 1 – 4**



**Příloha B.4 – Schéma zapojení desky plošného spoje – obsluha serva5– 8**

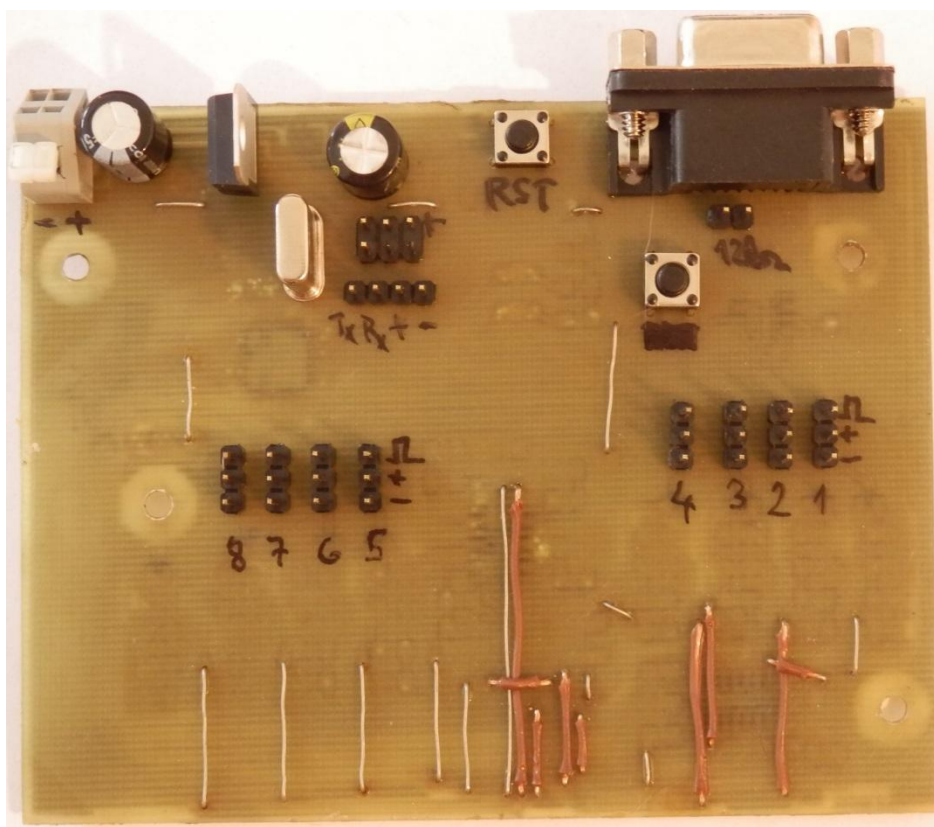


Příloha C – Návrh desky plošného spoje

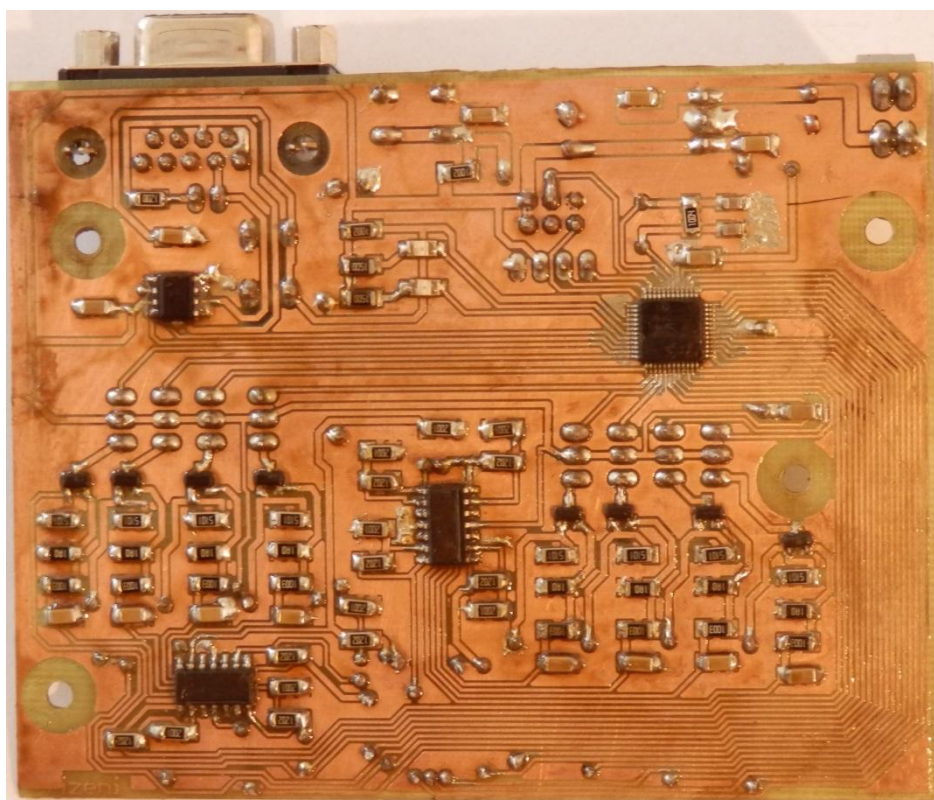




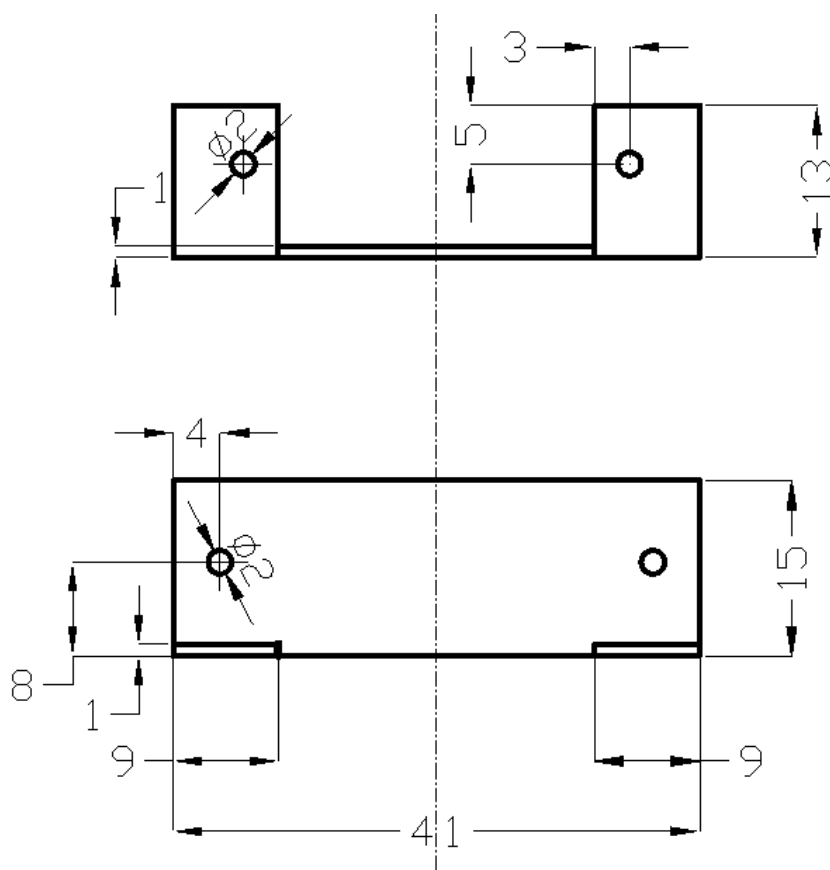
**Příloha D.1 – Vyrobená deska plošného spoje - TOP**



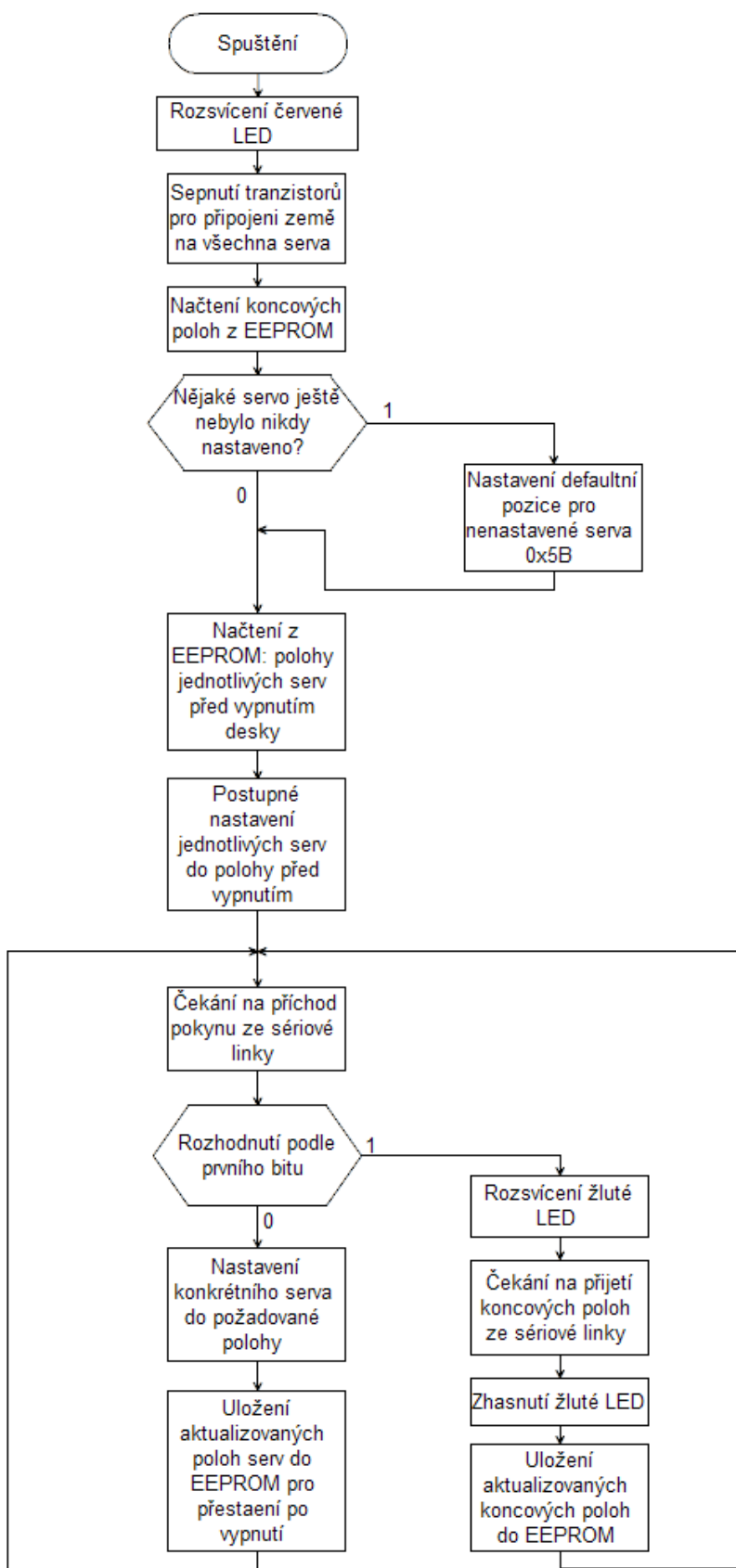
**Příloha D.2 – Vyrobená deska plošného spoje – BOTTOM**



**Příloha E – Držák serva**



## Příloha F – Vývojový diagram kostry programu



**Příloha G – Tabulka kódů pro přestavování výhybek**

|                   |          |          |          |          |          |          |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Číslo serva       | 1        |          | 2        |          | 3        |          |
| Poloha            | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        |
| Kód hexadecimálně | 00       | 01       | 10       | 11       | 20       | 21       |
| Kód binárně       | 00000000 | 00000001 | 00010000 | 00010001 | 00100000 | 00100001 |

|                   |          |          |          |          |          |          |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Číslo serva       | 4        |          | 5        |          | 6        |          |
| Poloha            | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        |
| Kód hexadecimálně | 30       | 31       | 40       | 41       | 50       | 51       |
| Kód binárně       | 00110000 | 00110001 | 01000000 | 01000001 | 01010000 | 01010001 |

|                   |          |          |          |          |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Číslo serva       | 7        |          | 8        |          |
| Poloha            | 0        | 1        | 0        | 1        |
| Kód hexadecimálně | 60       | 61       | 70       | 71       |
| Kód binárně       | 01100000 | 01100001 | 01110000 | 01110001 |

**Příloha H – Tabulka kódů pro výběr serva pro nastavení koncových poloh**

|                   |          |          |          |          |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Číslo serva       | 1        | 2        | 3        | 4        |
| Kód hexadecimálně | 80       | 90       | A0       | B0       |
| Kód binárně       | 00000000 | 00010000 | 00100000 | 00110000 |

|                   |          |          |          |          |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Číslo serva       | 5        | 6        | 7        | 8        |
| Kód hexadecimálně | C0       | D0       | E0       | F0       |
| Kód binárně       | 00110001 | 01000000 | 01010000 | 01100000 |

**Příloha I – Tabulka kódů koncových poloh**

|                      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| číslo koncové polohy | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Kód hexadecimálně    | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Kód binárně          | 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 |

|                      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| číslo koncové polohy | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
| Kód hexadecimálně    | 6    | 7    | 8    | 9    | A    | B    |
| Kód binárně          | 0110 | 0111 | 1000 | 1001 | 1010 | 1011 |

|                      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|
| číslo koncové polohy | 12   | 13   | 14   | 15   |
| Kód hexadecimálně    | C    | D    | E    | F    |
| Kód binárně          | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 |