

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Řízení zbraně pro airsoft**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2011/2012**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

Jméno a příjmení: **Václav KOTRČ**  
Osobní číslo: **E09B0286P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Řízení zbraně pro airsoft**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

Navrhněte systém ovládání zbraně na airsoft.

1. Zvolte vhodný pohonný mechanismus a vhodný způsob řízení.
2. Navrhněte řídicí elektroniku s vhodně zvoleným mikrokontrolérem.
3. Uvažte vhodné diagnostické funkce provozu zařízení.
4. Uvažte energetickou efektivitu zařízení s ohledem na bateriové napájení.

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. Petr Weissar, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant bakalářské práce:

**Ing. Petr Weissar, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Abstract**

Tato bakalářská práce se zabývá elektronickým řízením airsoftové zbraně. Inovace sníží namáhání některých vnitřních dílů, přiblíží chování modelu k reálné zbraně a zároveň slouží pro prevenci před poruchami. Popisují zde návrh a realizaci zařízení pro tento účel. Jsou zde vysvětleny zvolené postupy, SW, HW i funkce.

## **Klíčová slova**

Airsoft, řízení zbraně, mikrokontrolér, procesorová spoušť, bateriové napájení

**Abstract**

My work is concerned with Airsoft weapon control, by an electronic system. Proposal should be affordable, compatible with the mechanism in airsoft guns, and also removing the most common ailments during the operation and service. Advantages of electronics should approximates the behavior of more realistic weapons. I also want to provide detailed instructions for non-technical public, how to install, run and control the device.

**Key words**

Airsoft, weapon control, mikrocontroller, AEG computer, battery supply

## **Prohlášení**

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

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

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

V Plzni dne 6.6.2012

Jméno příjmení

.....

# Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ.....	VI
ÚVOD.....	1
<b>1 MECHANISMY AIRSOFTOVÝCH ZBRANÍ.....</b>	<b>2</b>
1.1 MANUÁLNÍ.....	2
1.2 PLYNOVÉ .....	2
1.3 ELEKTRICKÉ.....	2
<b>2 SOUČASNÝ STAV PROCESOROVÉ SPOUŠTĚ NA TRHU.....</b>	<b>4</b>
<b>3 HARDWARE .....</b>	<b>5</b>
3.1 UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ .....	5
3.2 NAPÁJECÍ OBVOD .....	7
3.3 SILOVÝ OBVOD.....	8
3.4 ŘÍDÍCÍ OBVOD .....	9
3.5 TERMINÁL.....	13
3.6 KONEKTOR.....	13
3.7 MECHABOX.....	14
3.7.1 Úprava.....	14
3.7.2 Deska plošných spojů .....	15
3.7.3 Snímání polohy kol.....	16
3.7.4 Spoušťový spínač.....	17
<b>4 SOFTWARE.....</b>	<b>17</b>
4.1 HLAVNÍ PROGRAM.....	17
4.2 FUNKCE .....	18
4.2.1 Ovládání motoru .....	18
4.2.2 Kontrola periférií a obvodů.....	18
4.2.3 Komunikace s terminálem.....	20
<b>5 ENERGETICKÁ EFEKTIVITA .....</b>	<b>23</b>
<b>6 ZMĚŘENÍ ODEBÍRANÉHO PROUDU .....</b>	<b>26</b>
<b>7 DALŠÍ MOŽNÝ VÝVOJ .....</b>	<b>27</b>
7.1 PWM.....	27
7.2 UKLÁDÁNÍ DAT DO EEPROM A KOMUNIKACE S PC.....	27
7.3 KONTROLOVÁNÍ STAVU NÁBOJŮ OPTICKOU ZÁVOROU.....	28
7.4 ROZPOZNÁNÍ BATERIE POMOCÍ SERVISNÍHO KONEKTORU .....	28
<b>8 ZÁVĚR.....</b>	<b>29</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>30</b>

## Seznam symbolů

AEG.....	Airsoft Electric Gun - airsoftová elektrická zbraň
Li-XX .....	Lithiové baterie Li-Fe, nebo Li-Pol
Ni-XX.....	Niklové baterie Ni-Mh, nebo Ni-Cd
SAFE.....	Režim střelby - zajištěno
SEMI.....	Režim střelby – jeden výstřel
AUTO.....	Režim střelby – neustálá střelba
INT0 (INT1) .....	Název pinu přerušení na čipu, nebo přímo označení přerušení
PB0-7.....	Označení pinu na portu B
PC0-7.....	Označení pinu na portu C
PD0-7.....	Označení pinu na portu D
RS.....	Komunikační signál pro LCD
R/W.....	Komunikační signál pro LCD
E.....	Komunikační signál pro LCD
ADMUX.....	Registr A/D převodníku
ADPS0(ADPS1).....	Bity v registru ADCSRA pro nastavení dělicího faktoru frekvence
DPS.....	Deska plošných spojů
REFS1.....	Bit v registru ADMUX pro výběr referenčního napětí
REFS0.....	Bit v registru ADMUX pro výběr referenčního napětí



## Úvod

Airsoft je stále se rozšiřující sport. Používané zbraně jsou několika typů, nejčastěji elektricky poháněné. Navzdory stále se rozšiřující základně hrajících lidí, se vývoj na poli zbraní u výrobců téměř zastavil. Až na výjimky, které jsou mnohdy pro hráče cenově méně příznivé. Zvláště po stránce elektronické je potenciál inovací využit minimálně. Mnozí se tak uchylují k vlastním vylepšením komponent.

Cílem mé práce je vytvořit cenově dostupné zařízení, obecně známe pod pojmem procesorová spoušť, kompatibilní s mechanismu v airsoftových zbraních, odstraňující nejčastější neduhy při provozu, servisu a zároveň implementující výhody elektroniky, které model přiblíží více chování reálné zbraně. Dále také poskytnout podrobnější návod i pro netechnickou veřejnost, jak instalovat, zprovoznit a ovládat toto zařízení.

V první kapitole uvádím druhy zbraní a jejich nejčastěji se vyskytující závady a problémy, dále v práci popisují již vytvořený typ procesorové spouště, jak po hardwarové tak softwarové stránce. V závěru je nastíněn další možný vývoj ze současného stavu a nakonec i zhodnocení směru, kterým se tato práce ubírala.

# 1 Mechanismy Airsoftových zbraní

Existuje několik způsobů, jak může být model poháněn. V zásadě se dají rozdělit do tří kategorií, více či méně podobných: manuální, plynové a elektrické. Nejvíce se budu zabývat posledním z uvedených.

## 1.1 Manuální

Tento typ má oproti ostatním nespornou výhodu, k provozu není zapotřebí nic víc, než uživatelská fyzická síla. Pro každý výstřel je nutné manuálně stlačit pružinu (odtud plyne název). U reálných předloh je tento způsob zastoupen například u brokovnic, či opakovacích pušek, není však příliš vhodný pro model automatické pušky.

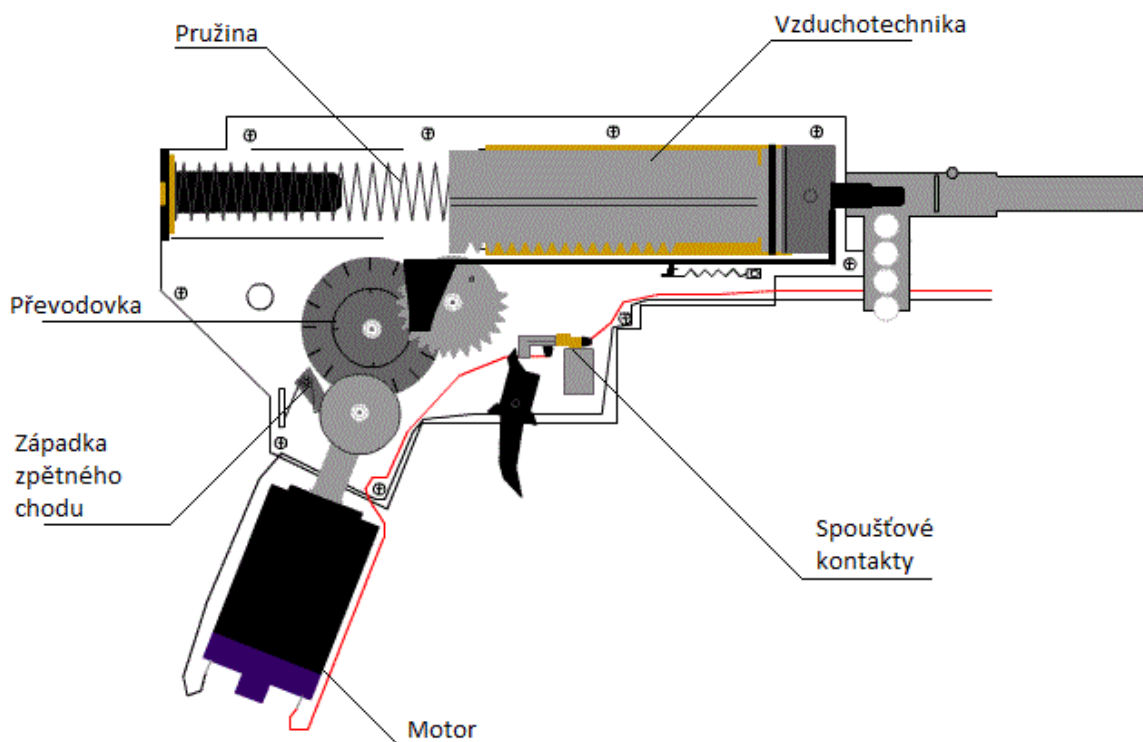
## 1.2 Plynové

Velkým rozdílem, oproti zbylým mechanismům, je nepřítomnost pružiny v pohonném mechanismu. Využívá totiž předem stlačeného plynu v nádobách. Buďto externí „sifonové bombičky“, nebo plnění nádoby uvnitř zbraně, nejčastěji ukryté v zásobníku spolu s kuličkami. Při stisknutí spouště pak mechanismus vypustí dávku vzduchu na projektil. Tento typ zbraní prodělal v poslední době značný pokrok. Svou rozborkou a funkcí velmi připomínají reálné zbraně. Proti rozšíření zatím hovoří cena a také obavy o spolehlivost vzduchového těsnění, které bylo často problémové, zvláště pak v nízkých teplotách.

## 1.3 Elektrické

V posledních několika letech prodělal tento typ pohonného mechanismu obrovské rozšíření, především z důvodu levné čínské produkce. Často je však pravidlem, že s klesající cenou klesá i kvalita zpracování a vzrůstá četnost poruch. Odstranění některých z těchto poruch má za úkol i mnou zvolená bakalářská práce.

Každá zbraň má jiné rozměry, jiný tvar. Proto existuje hned několik verzí elektrických mechanismů s obecným anglickým názvem mechbox (mechabox), nebo gearbox. Velice rozšířené jsou verze III, kterou jsem zvolil pro návrh svého zařízení a verze II.

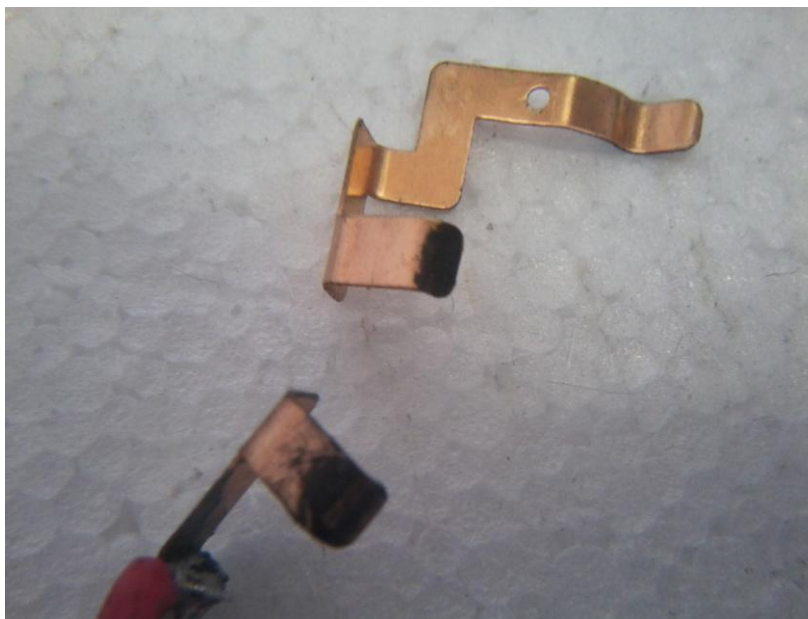


Obr. 1: Mechabox verze II. [12]

Princip však zůstává stejný. Motor, napájený baterií, natahuje píst proti pružině, pomocí převodů ozubených kol. Pístové kolo je ozubené pouze na polovině obvodu, počet zubů zde je stejný jako na pístu. Při uvolnění pístu dojde ke stlačení vzduchu ve válci, ten je tryskou nasměrován na projektil.

### Časté závady a příčiny problémů

Trendem mnohých hráčů airsoftu je pořizovat do zbraní vyšší tuhost pružin, zajišťující rychlejší akceleraci kuliček, tudíž zvýšení dostřelu. Elektrické schéma je však továrně vyráběno tak, aby spoušťové kontakty spínaly proud přímo protékající motorem, který je úměrný zátěži – tuhosti pružiny. Motoru lze částečně „ulehčit“ výměnou ložisek za kvalitnější, či zvolením kol s lepším převodovým stupněm. Rozpojování obvodu s indukčností však vede k elektrickým obloukům a opalování měděných ploch kontaktů. Výsledek užívání takového zapojení je vidět na Obr. 2. V krajních případech může dojít až k odpaření / odlomení.



**Obr. 2: Opálené spoušťové kontakty vlivem vysokých proudů**

Opravování a údržbu zbraně pak často činí složitější některé díly mechaboxu. Například uložení západky zpětného chodu kol do správné pozice, nebo tzv. přerušovač (na Obr.1. není znázorněn). Jeho funkcí je ve správný okamžik, v závislosti na poloze pístového kola, mechanicky rozepnout spínač a tím zastavit střelbu. Typicky při jednotlivých výstřelech. Stává se však, že kola zastaví v poloze rozepnutí obvodu a znemožní další výstřel.

Mechabox se po dokončení svého cyklu nachází v neznámé poloze. Příčinou můžou být setrvačné síly, kvůli kterým se motor dotáčí i po uvolnění spouště. Navíc záleží, kdy se uživatel rozhodne přerušit střelbu. Další příčinou může být vybití baterie. To může vést k částečnému stlačení pružiny, jejímu unavování a mechanickému namáhání ostatních dílů. Díky západce zpětného chodu takto mechanismus setrvá.

## **2 Současný stav procesorové spouště na trhu**

V ČR do loňského roku nebyl prakticky žádný výrobce, který by českým airsoftovým obchodům dodával podobné zařízení. Ve světě existuje několik, více či méně podobných, návrhů.

Z českého trhu tedy uvedu zástupce, prodávajícího na internetových stránkách <http://www.jefftron.cz/>. Svou výrobou zahrnuje několik variant, stupňujících se podle ceny a složitosti. Od jednoduchých MOS-FET spínačů, až po modifikace procesorových spouští. Za rok působení dokázal získat pro prodej svých zařízení většinu českých a i některé zahraniční prodejny.

Využívá oboustrannou desku plošných spojů, osazenou procesorem ATTINY85 20PU, umožňující regulaci rychlosti, volbu režimů střelby, a další. Jedinými vodiči připojovacími zařízení ke zbrani jsou z baterie, spoušťových kontaktů a jeden pár vedoucí k motoru. Nemá tedy možnost snímat přítomnost zásobníku ani polohy závěru. Detekování výstřelů je provedeno na základě časování. Odebíraný proud výrobce udává 4,5mA.

Ze zahraničních výrobců určitě stojí za zmínku internetový obchod výrobce <http://extreme-fire.com/>, který nabízí svůj design jako open source. A také internetový obchod <http://www.awsairsoft.com>, který je k 3.6.2012 pod rekonstrukcí. Druhý z uvedených výrobců se vydal cestou implementace do vnitřku mechaboxu. Úspěšně se mu v tomto roce podařilo navrhnout procesorovou spoušť do mechaboxů verze II a III. Detekci výstřelů provádí pomocí spínače. Ani jeden však nevytváří model pro reálné chování zbraně.

### 3 Hardware

Pro návrh celkového konceptu jsem vycházel z nápadů posbíraných od hráčů, hlavně z internetových portálů, a také z požadavků na odolnost vůči mechanickému namáhání, vodě a nečistotám [4][5]. Proto jsem ne zvolil osazení klasické oboustranné desky plošných spojů, tak jako většina výrobců, ale formu kvádrů. Stěny z jednostranných DPS, součástkami směřujícími dovnitř. Nehrozí tak odlomení, či jiné poškození součástek při manipulaci a instalaci. Navíc se tímto zvyšuje bezpečnost, nehrozí zranění uživatele dotykem na části obvodu, kterými tečou vysoké proudy. Pro realizaci této konstrukce je však zapotřebí použít všechny součástky v SMD pouzdrech. Propojení jednotlivých desek, na sebe kolmých, je realizováno spájením padů, umístěných na krajích desek, navzájem si lícujících. Tato propojení, mimo jiné, zvyšují pevnost konstrukce.

#### 3.1 Umístění snímačů

Ve zbrani, mimo mechabox, jsou umístěny dva snímače – tlačítka. Jedno je spínáno zasunutím zásobníku do zásobníkové šachty, druhé zatažením za páku závěru. Je však nutná úprava zbraně - v zásobníkové šachtě je potřeba vytvořit otvor, do kterého se první spínač umístí a pro umístění druhého je zapotřebí tělo zbraně rozebrat kompletně na dvě poloviny.



Obr. 3: Otvor v zásobníkové šachtě



Obr. 4: Poloha spínače pro páku závěru

### 3.2 Napájecí obvod

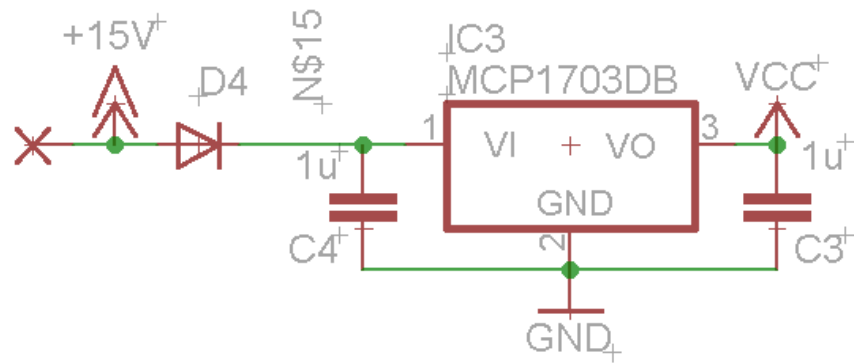
Pro začátek jsou v Tab. 1 uvedena nejčastěji používaná a dostupná napětí akumulátorů spolu s hodnotami minimálních napětí (pro Li-XX 3V, pro Ni-XX 1,05V na článek). Je nutné si uvědomit, že ke každému typu baterie se musí patřičně přistupovat. Zařízení není přizpůsobeno pro ochranu baterií, dokáže zaznamenat a informovat o hrozícím vybití akumulátoru jako celku (ne každého článku zvlášť). Je pak na uživateli, aby zdroj s nízkým napětím odpojil včas a vyměnil.

Baterie	Nominální hodnota [V]	Minimální hodnota [V]
Li-XX 2S	7,4	6
Li-XX 3S	11,1	9
Ni-XX (8 článků)	9,6	8,4
Ni-XX (7 článků)	8,4	7,35

Tab. 1: Napěťové hodnoty akumulátorů

Stabilizované napětí jsem zvolil 5V. Od původně plánované hodnoty 3,3V jsem upustil jen z důvodu koupené hallovy sondy, pro snímání polohy kol, s minimálním napájecím napětím 4V. Pokud by se zaměnila sonda za jinou, cenově dostupnou, operující spolehlivě s nižším napětím, bylo by výhodnější z hlediska energetické efektivity použít stabilizátor na napětí nižší.

Nejprve jsem testoval první prototypy se stabilizátorem 78L05, hlavně z ekonomických důvodů. Součástka je levná a běžně dostupná i v SMD provedení. Nevýhodou však byl klidový proud, uváděný v katalogovém listu, o velikosti 6mA. Z tohoto důvodu jsem se nakonec rozhodl zvolit stabilizátor jiný – MCP1703 firmy MICROCHIP TECHNOLOGY. Jedná se o CMOS LDO (low dropout) regulátor s možností vstupního napětí až 16V. Oproti předchozímu uvádí výrobce maximální klidový proud 5 $\mu$ A, je také schopný dodat větší výstupní proud, až 250mA. Pro stabilitu výstupního napětí uvádí výrobce vhodné zapojení s kondenzátory 1  $\mu$ F na vstupu i výstupu [13]. Před vstupní pin jsem zapojil ještě usměrňovací vysokorychlostní diodu MCL4148 s maximálním úbytkem 1V, jako ochranu proti přepólování (naměřený úbytek při provozu nepřesáhl 0,7V).



Obr. 5: Schéma napájecího obvodu

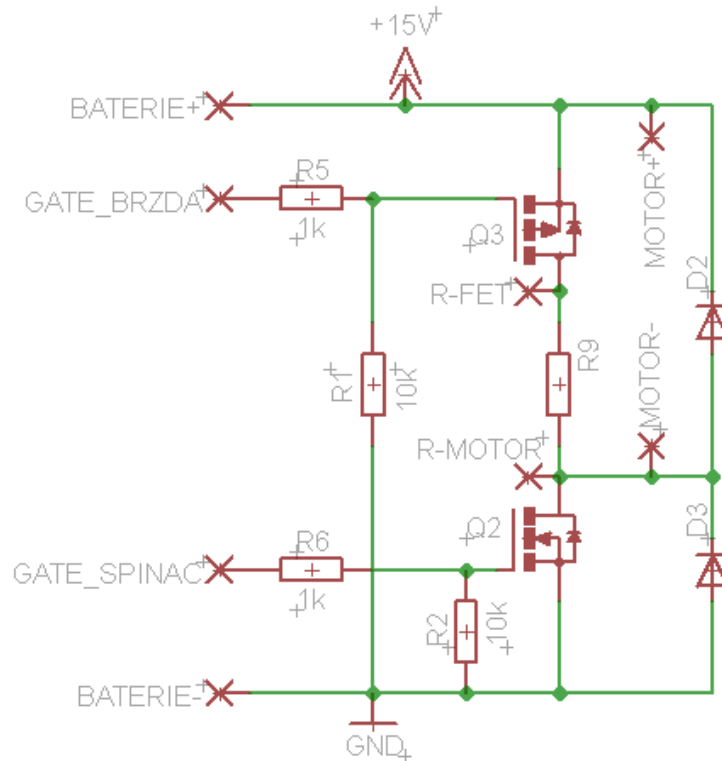
### 3.3 Silový obvod

Motor se otáčí pouze v jednom směru, proto jsem pro ovládání použil poloviční H-můstek sestavený z výkonových tranzistorů N-FET a P-FET s antiparalelně připojenými jednosměrnými 1,5kW transily, pro ochranu tranzistorů před přepětím na indukčnosti.

Tranzistory jsou řízeny vysokorychlostním výkonovým budičem MCP1404 od firmy MICROCHIP TECHNOLOGY. Vstupní kapacity jsou 3400 pF (pro P-FET) a 5890 pF (pro N-FET) z katalogového listu budiče[10] pak vyplývají doby náběžné a sestupné hrany pro vyšší z uvedených kapacit od 60 do 70 ns v závislosti na použitém napájení. Celková spínací ani vypínací doba samotných tranzistorů nepřesahuje podle katalogových údajů 200ns [8][9]. Jelikož procesor pracuje na frekvenci vnitřního oscilátoru 1MHz, bez předděličky, nejkratší doba instrukce – 1µs – je tedy dostatečně dlouhá na ustálení přechodových dějů.

P-FET i N-FET jsou zapojeny tak, aby byly trvale uzemněné přes R1 a R2, to má za následek při zapojení baterie, kdy dochází k inicializaci, rozpojení spínacího tranzistoru N-FET a sepnutí brzdícího P-FET. Motorem tak nemůže téct žádný proud a je zabrzděn – vyzkratován. Navíc jsou vstupy budiče přes rezistory uzemněny, jelikož se výstupy procesoru po náběhu napájení nachází ve stavu vysoké impedance a mohlo by hrozit naindukování napětí vyššího, než je rozhodovací úroveň. Můstek není HW ošetřen proti úplnému vyzkratování, kdy se sepnou oba, jak vrchní tak spodní tranzistor. Jediným omezením proudu by tak byl pouze výkonový odpor R9, sloužící k potlačení proudových špiček způsobených rozpínáním indukce motoru. Tento odpor však musí mít vhodně nízkou hodnotu, jelikož ovlivňuje svou velikostí dynamiku brzdění motoru, která je v této aplikaci důležitá pro co nejpřesnější definování výchozí polohy a šetření pružiny, viz kapitola 1.3. Použité je zde SMD pouzdro 2512, 1W. Pro výkonové navýšení jsem zapojil několik těchto odporů paralelně a umístil samostatně na jednu ze stěn kvádrů.



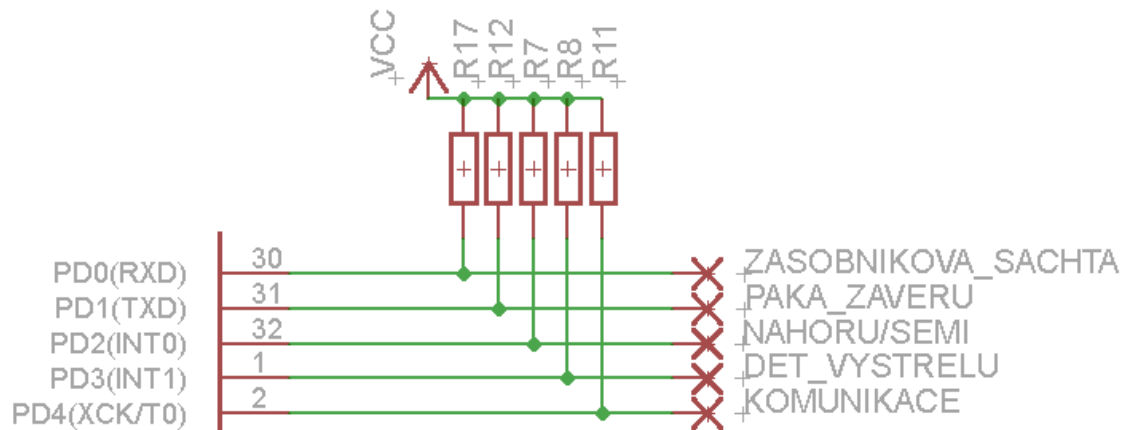


Obr. 6: Schéma silového obvodu

### 3.4 Řídicí obvod

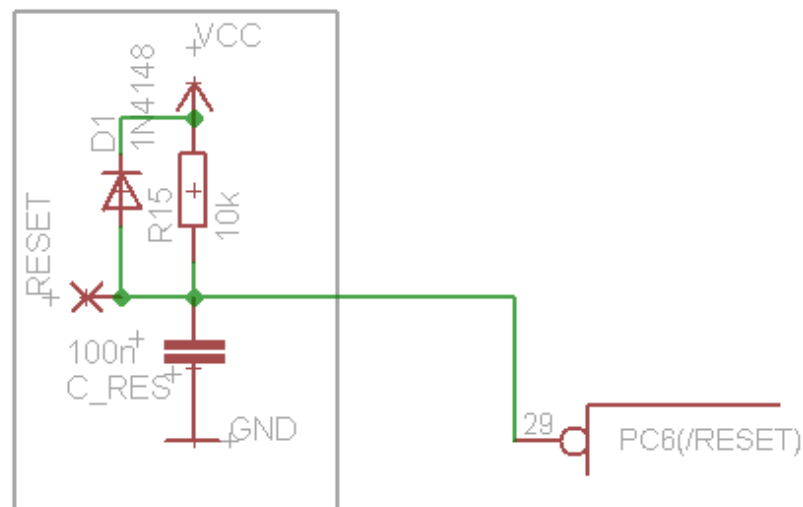
Hlavní součástí je mikrokontrolér ATMEGA8A-AU firmy Atmel v pouzdře TQFP32-08. Se svými parametry: 8 kB programové FLASH paměti, 512 B EEPROM, 1 kB SRAM, dvěma 8 bitovými čítači, 3 PWM kanály, 8 A/D kanály, a odběru  $0,5 \mu\text{A}$  při Power-down módu bohatě dostačuje pro potřeby mé práce. Navíc je tento mikrokontrolér mezi uživateli oblíben a často používán, tudíž existuje dostatek pomocných materiálů.

Zapojení vstupních pinů je vidět na Obr. 7. Jsou připojeny na napájecí napětí 5V přes rezistor  $10 \text{ k}\Omega$  a jednotlivými tlačítky uzemňovány. Podle katalogového listu teče jedním pinem do procesoru klidový proud maximálně  $1 \mu\text{A}$  [3]. Při stisku jednoho tlačítka bude obvod odebírat  $0,5 \text{ mA}$ .



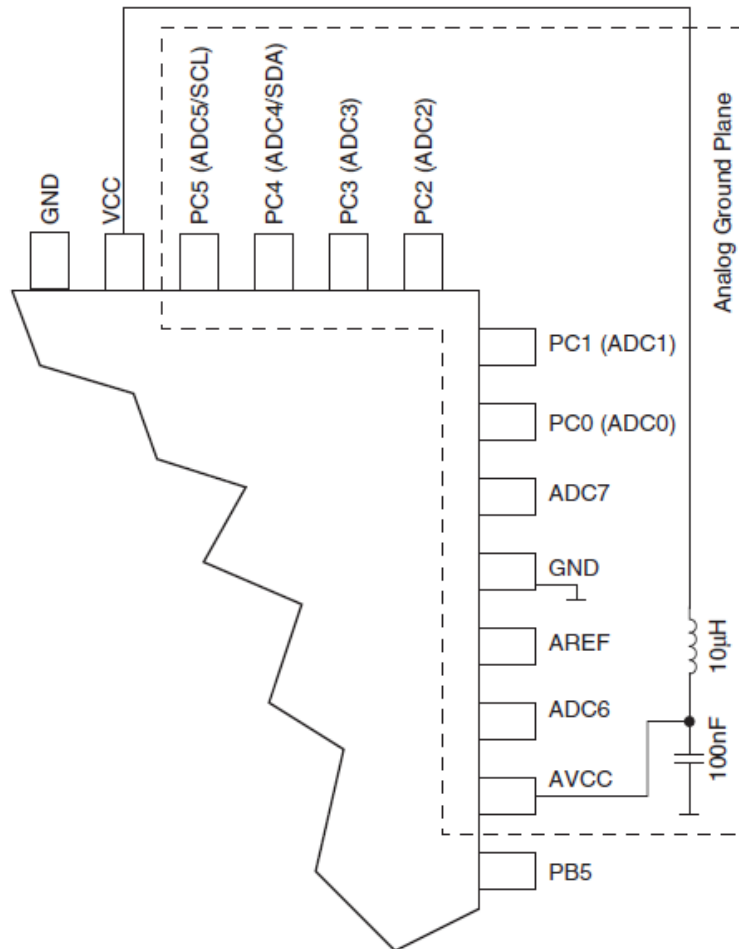
Obr. 7: Zapojení vstupů

Obvod, připojený k resetu mikrokontroleru podle Obr. 8, se skládá z rezistoru, pomocí kterého se po připojení napájení nabíjí kondenzátor. Nabití trvá určitou dobu, po kterou se na něm udržuje napětí menší, než je rozhodovací úroveň vstupu. Tato doba musí být dostatečně dlouhá pro vynulování procesoru. Účelem diody je umožnit rychlé vybití kondenzátoru i při krátkodobém výpadku napájení [1].



Obr. 8: Obvod Resetu mikrokontroleru Zdroj: učebnice na MPP od pana pinkera

Pro omezení šumu při získávání hodnoty napětí A/D převodem, jsem použil zapojení napájení z katalogového listu ATMEGy [3]. Filtrační LC článek zabraňuje skokovým změnám napětí a proudu vlivem vlastností digitální části zapojení. Naměřená hodnota ADC se s tímto zapojením měnila v rozmezí 1-2 LSB.



**Obr. 9:** Obvod pro snížení šumu A/D převodníku. Převzato z katalogového listu ATMEGA8

Na Obr. 10 je zobrazená část obvodu, která také napomáhá k energetické efektivitě. Má za úkol zapínat napěťový dělič pro A/D převod pouze je-li potřeba, aby obvodem neprotékal proud neustále. Použit je tranzistor typu P-FET s označením IRLML2244TRPBF s pouzdem SOT23, připojený Gatem na pin 4 portu C. Při testování však tranzistor zůstal otevřen i při přivedení 5V na gate, zavřít se ho podařilo až po připojení napětí baterie na řídicí pin tranzistoru. Toto napětí je však příliš vysoké pro vstup mikrokontroléru. Proto je dělič, v nynější verzi obvodu, trvale sepnut.

Samotný A/D převod probíhá na pinu ADC7. Zvolil jsem vnitřní referenci, nastavením příslušných registrů REFS1 a REFS0. Nejnižší možná je 2,56V, pokud se zvolí reference 5V z AVCC, lze dělič také použít. Změní se pouze hodnota z převodu. Na pin AREF jsem připojil externí kapacitu, jak je popsáno v katalogovém listu. Výpočet děliče vycházel z maximálního možného napájecího napětí cca 12V a vnitřní referenci. Obvod jsem při počítání předimenzoval o rezervu 3V k napájecímu napětí. Label N\$15 je za usměrňovací diodou, viz Obr. 5.

$$U_{ADC7} = \frac{U_{baterie} - U_F}{R_3 + R_4 + R_{DS(on)}} * R_3$$

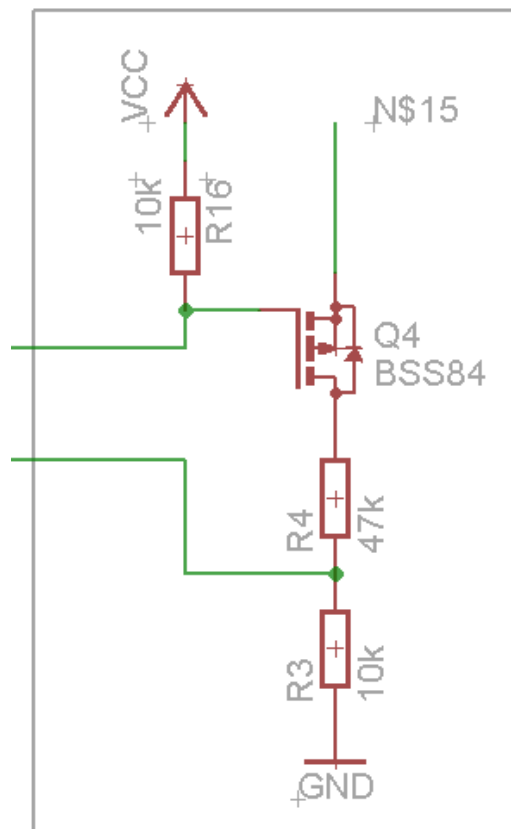
**Rovnice 1: Výpočet děliče napětí**

$R_{DS(on)}$  udává katalogový list 95 m $\Omega$  při  $I_D = -4.3A$ . Dále vždy uvažuji  $U_{GS} = -4,5V$ . Vzhledem k použitým rezistorům v řádech k $\Omega$  tuto hodnotu pro další výpočet děliče zanedbávám. Jelikož potřebuji zjistit nejvyšší možné napětí na děliči, počítám s nejnižším úbytkem na usměrňovací diodě, udaným v katalogovém listu  $U_F = 0,62V$

$$2,56 = \frac{15 - 0,62}{R_3 + R_4} * R_3$$

$$2,56R_3 + 2,56R_4 = 14,38R_3$$

$$R_4 = 4,617R_3$$



**Obr. 10: Obvod pro vypínání A/D obvodu**

Z dostupné řady rezistorů jsem zvolil poměr 1:4,7. Tedy odpory 10k $\Omega$  a 47k $\Omega$ . Vhodné je použít rezistory s co nejnižší tolerancí, respektive vyšší přesností. Pokud se na děliči objeví napájecí napětí 15V, bude mít A/D převodník na svém vstupu 2,52V, což stále ještě

nepřesahuje referenci 2,56V. Při použití běžných akumulátorů se bude napětí na vstupu převodníku pohybovat v rozsahu 1,19-1,84V.

### 3.5 Terminál

Terminál je pouze jednoduché rozšíření běžně dostupného LCD s 2x16 znaky a řadičem S6A0069. Spočívá v přidání tří tlačítek, dvou pro pohyb mezi položkami v zobrazovaném menu a jednoho pro potvrzení volby. Propojení pinů je uvedeno v Tab. 2. Z důvodu úspory pinů jsem zvolil čtyř bitovou komunikaci. Bližšímu popisu komunikace mezi mikrokontrolérem a LCD se věnuji v kapitole 4.2.3.

Pin LCD	Pin mikrokontroléru
DB7	PC3
DB6	PC2
DB5	PC1
DB4	PC0
E	PD7
RW	PD6
RS	PD5
Up	PD2
Down	PB7
Select	PB6

Tab. 2: Zapojení pinů LCD

### 3.6 Konektor

Pro propojení se senzory zbraně, programátorem a terminálem slouží konektorový výstup. Je tvořen dutinkovou lištou s dvěma řadami po deseti zdířkách. Při vývoji se mi však tento způsob propojení příliš neosvědčil. Pokud jsem potřeboval mít připojenou baterii, terminál, programátor i zbraň pro ladění programu, vznikl nepřehledný svazek drátů náchylný na zkratky a rozpojení. Neosvědčilo se mi ani připájení vodičů na pájecí plošky padů, protože při manipulaci docházelo k odtržení a zlomení měděných cestiček.

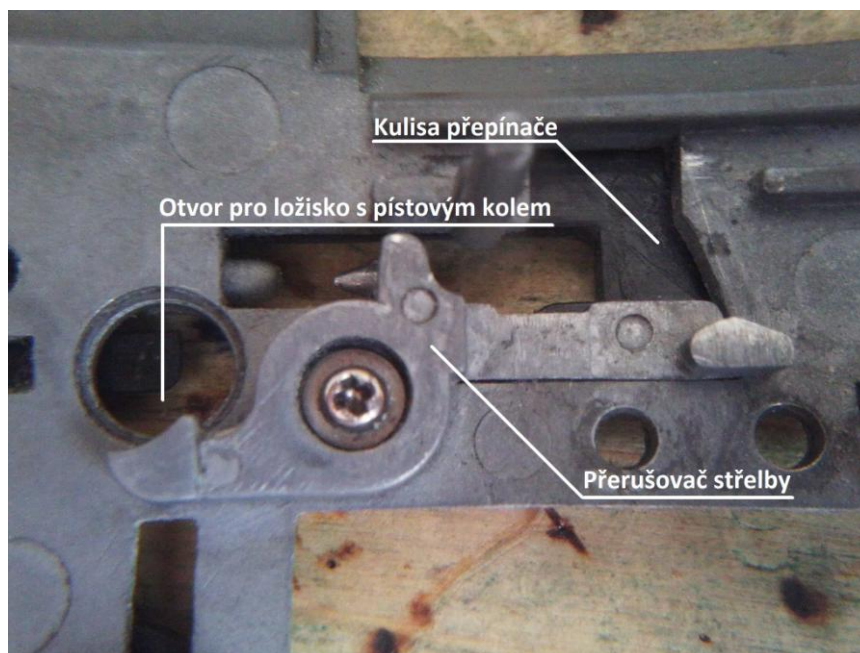
Z konektoru jsem tedy odstranil programovací vodiče, jelikož jejich výstup je pro běžného uživatele zbytečný. Zatím nejspolehlivěji se jeví provrtání desky a připájení kabelů skrz. Toto jsem provedl pouze u signálů vedoucích do zbraně. Aby však nebylo zařízení

napevno připojené, je vhodné umístit na kabely konektory. Každá periferie ve zbrani by tak byla samostatně odpojitelná a nebyly by navzájem svázané vodiči. Na původním konektoru s počtem 20 zdířek tedy nakonec zbylo 12 signálových vodičů pro terminál. Do budoucna je tedy vhodné zbytečně velký konektor nahradit menším.

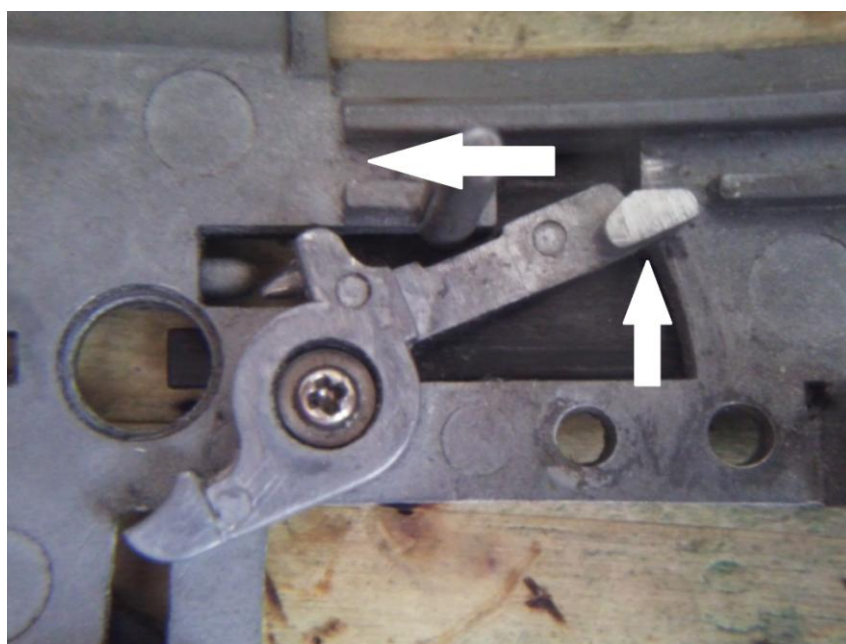
## **3.7 Mechabox**

### **3.7.1 Úprava**

Pro instalaci je nutné z vnitřku odstranit, několik komponent. Krom samotného kohoutku je to celý původní spoušťový mechanismus a přerušovač střelby. Potřebu odstranit původní spínací kontakt jsem uvedl již v kapitole 1.3. Přerušovač střelby popíši více na Obr. 11 a 12. Na prvním z uvedených je zobrazen stav, kdy uživatel pomocí přepínače střelby uvedl zbraň do stavu SAFE, nebo SEMI. Přerušovač je v klidovém stavu, ve kterém setrvá díky směrné pružině umístěné nad uchycujícím šroubkem (pro lepší zachycení poloh jsem ji při focení odstranil). Pístové kolo má na své hřídeli vačku. V okamžiku uvolnění pístu ve válci, se dostává vačka na přerušovač a ten se otočí podle své osy zajištěné šroubkem, jak je zobrazeno na Obr. 12. Problém však nastává při změně režimu střelby na AUTO, kulisa přepínače je totiž původně navržena tak, aby při této poloze přerušovač zůstal zdvižený a ve zbrani nedocházelo k ukončení střelby po každém jednom cyklu, opět viz Obr. 12. Výrobci používající tento způsob detekce výstřelů, našli řešení v upilování a upravení kulisy přepínače. Touto úpravou pak uživatel ztrácí možnost použít kulisu například jako náhradní díl pro neupravené zbraně. Můj návrh zachovává kulisu přepínače a nezahrnuje ani žádné další nevratné mechanické úpravy součástí.



Obr. 11: Kulisa přepínače v poloze SAFE, nebo SEMI

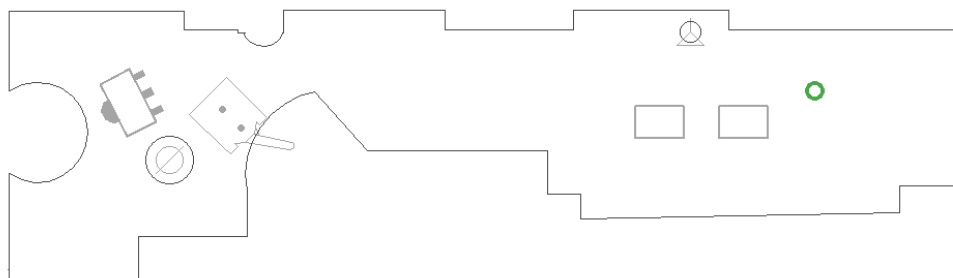


Obr. 12: Kulisa přepínače v poloze AUTO

### 3.7.2 Deska plošných spojů

Tato deska je nejvíce specifická. Je přesně uzpůsobená pro implementaci do vnitřku mechaboxu verze III (obdobu z Obr. 1). Jako jediná je oboustranná. Na celé ploše vnitřní strany, směřující dovnitř mechaboxu, jsou pouze dva senzory detekující stisknutí kohoutku a snímající polohu převodových kol. Protěžší strana je osazena dvěma stejnými spínači. Jejich kombinacemi na svých vstupech mikrokontroler rozpozná, v jaké poloze se nachází přepínač režimu střelby – SAFE/SEMI/AUTO - zajištěno, jednotlivé střely (u některých zbraní by se jednalo o třířannou dávku) a automatická střelba.

Návrh stále ještě plně nevyužívá potenciál prostoru, který zbude po odstranění přebytečných komponent uvnitř mechaboxu. Navíc hustota osazených součástek nevyužívá plochu samotné desky. Stručně řečeno, celý projekt by se ve zjednodušené verzi dal přesunout na tuto desku.



Obr. 13: Tvar mechaboxové desky

### 3.7.3 Snímání polohy kol

Detekovat v jaké části svého cyklu se mechabox nachází lze několika způsoby, na několika místech: Hallův senzor s magnetem (možností umístění magnetu a senzoru je několik, více či méně vhodných), optickou závorou, piezo senzorem snímajícím nárazy pístu na hlavu válce. Další způsob je mechanický kontakt – tlačítko, na některém z vnitřních prvků (přerušovač střelby, pístové kolo), nebo změření času jednoho výstřelu. Zatím málo rozšířené je zaznamenávání a vyhodnocování elektrických veličin v obvodu.

Vyzkoušel jsem dva způsoby detekování. První jsem použil páčkové tlačítko umístěné na vačce pístového kola. Aby se spínač vešel mezi DPS a kolo, musí být velice nízký. Na českém trhu se takové tlačítko těžce shání. Nakonec jsem našel, s vyhovujícími rozměry, ON/OFF tlačítko pro mobilní telefon Sony Ericsson K750i. Nevýhodou pak je omezený garantovaný počet sepnutí. Relativně vysoká frekvence spínání pro mechanický kontakt. Přítomnost zákmitů a hrozba odlomení spínače, jelikož je v těsné blízkosti rotující části. Po zkonstruování a osazení desky, mělo tlačítko tendenci vysílat falešné impulsy i přes paralelně připojenou kapacitu a programové ošetření zákmitů. Při bližším pohledu jsem zjistil, že tlačítko nemá, při dosedání na pístové kolo, plynulý přechod mezi stavy ON/OFF. Tvar vačky a poloha spínače způsobovali několikanásobné sepnutí.

Druhý jsem použil Hallovu sondu TLE 4905 firmy Siemens, ta odstraňuje problém s omezeným počtem sepnutí, spínací frekvencí a zákmity díky své hysterezi. V katalogovém listu je pak uvedeno zapojení pro použití sondy jako senzoru detekující magnetické pole. Zařazením vhodného odporu mezi napájení a výstupní pin se pak chová sonda jako spínač. Naopak nastává obtíž s připevněním magnetu na kolo. Aby se nemusel vrtat speciální otvor, a



tím kolo znehodnotit, vyndal jsem z kola osičku ramínka podavače a nahradil ji magnetem se stejnými rozměry (průměr 3 mm, délka 10 mm). Neodymový magnet těchto rozměrů je běžně k dostání za nízkou cenu.

### 3.7.4 Spoušťový spínač

Při nahrazování původních měděných plíšků spínacím tlačítkem jsem se soustředil nejvíce na výběr a následné umístění. Výběr opět padl na mikrospínač z mobilního telefonu, tentokrát pro foto Nokia N73. Oba, pro detekci výstřelu a spouště, jsou si velice podobné, ovšem zde je potřebné spínat opačným směrem - doleva. Umístění toho páčkového spínače je výhodnější oproti klasickým mikrospínačům v tom, že nedochází ke ztrátě citlivosti kohoutku, viz Obr. 13. Pokud by se použilo klasické mikrotlačítko s nízkým zdvihem, umístěném naproti kohoutku, musel by uživatel stisknout kohoutek po celé dráze, než by došlo k sepnutí. Takto je stisk zaznamenán mnohem dříve.

## 4 Software

Stejně jako HW, tak i některé SW požadavky byly určovány na základě podnětů hráčů z mého i širšího okolí (internetové portály, atp.). Nedosažené nebo odložené jsou také popsány v kapitole 7.

### 4.1 Hlavní program

Hlavní program je tvořen inicializacemi a složenou podmínkou, viz Příloha A. První, co program musí vykonat po nastavení výstupních pinů, je zajistit, aby byl motor zabrzděn. Dále dodefinuje ostatní I/O piny a povolí přerušení od snímače detekujícího výstřel, pokud by se nepodařilo motor z nějakého důvodu zabrzdit a otáčel by se, hallův senzor by toto zaznamenal a program vyhodnotil jako chybový stav. Návrh zatím nezahrnuje možnost úplného odpojení zařízení od napájení. Získá se tedy informace o chybě, ale nevyřeší se. Pokud by například došlo k vyzkratování spínacího tranzistoru a zbraň začla střílet, mikrokontrolér není schopen nijak motor zastavit. Tento kritický bezpečnostní nedostatek je první věc, která by musela být před používáním vyřešena.

Poté je inicializován A/D převodník a získáno napětí připojené baterie, na základě toho se uloží předem vypočítaná minimální hodnota, na kterou může akumulátor klesnout.

Následuje komunikace s uživatelem pomocí vibrací motoru, po prvním zavibrování program čeká krátkou chvíli. Pokud uživatel do uplynutí této doby stiskne kohoutek spouště a je připojen terminál, dojde k inicializaci LCD. Dále pokračuje potvrzením dvěma vibracemi do nekonečné smyčky s hlavní podmínkou. Jestliže jsou všechny dílčí podmínky v této

smyčce splněny, vydá mikrokontrolér pokyn ke střelbě, pokud ne, zbraň nevystřelí. Mezi tyto dílčí podmínky patří volání funkcí pro kontrolu chybových stavů, snímačů a vnitřních proměnných.

## 4.2 Funkce

Kontroly a vyhodnocování probíhají v naprogramovaných funkcích, volaných z hlavního programu. Některé s předávanými parametry, ukazateli, hodnotami, budou popsány v následujících podkapitolách, ostatní jsou okomentovány v příloženém zdrojovém kódu.

### 4.2.1 Ovládání motoru

Cílem bylo řídit rychlost motoru pomocí pulzně šířkové modulace a tím uživateli dovolit změnu kadence své zbraně. V programu jsou zakomentovaná nastavení registrů, parametry některých funkcí a připravené položky v menu komunikační funkce, jako příprava pro zprovoznění PWM. Aktuální verze programu však kvůli zjednodušení používá pro ovládání motoru jednoduché logické úrovně. Pomocí maker `PBX_X`, kde `X` zastupuje 1 nebo 0, je odmaskován port B a na piny 0 a 1 posílány logické úrovně, takto je motor kontrolován.

### 4.2.2 Kontrola periferií a obvodů

#### Ošetření zákmitů

Každý dotaz na stav pinu se provádí zavoláním funkce `Port(Port,Pin)`. Dvěma parametry `Port` a `Pin`, se určuje který port a pin se bude testovat. Mimo jiné má tato funkce za úkol ošetřit falešné zákmity. Daný pin na portu odmaskuje, zjistí jeho stav, uloží do pole na volnou pozici a vyčká 1ms. Tyto úkony se zopakují 4x a pokud se všechny hodnoty v poli shodují, předají se jako platná pomocí návratové hodnoty. Pokud se pole neshoduje, celý proces se opakuje.

#### Chybové stavy

Funkce `ErrorStav(KodChyby)` slouží jako jedna z diagnostických funkcí pro zaznamenání a rozpoznání chyb při provozu. Ukládá do dvaceti rozměrného pole vstupní parametr udávající kód chyby. Seznam je uveden níže v Tab. 3. Zápis do pole je ošetřen, aby „nepřeteklo“ a také aby se nezaplnilo jedním číslem při několikanásobném průchodu - dva sousední indexy pole nesmí obsahovat stejnou hodnotu. Signalizování uživateli probíhá pomocí dlouhé vibrace motorku a několika krátkých vibrací. Jejich počet je stejný jako kód chyby.

1	Nedošlo k výstřelu v určeném čase
2	Vybitá baterie
3	Příliš vysoké napětí připojené baterie
4	Příliš vysoký proud
5	Chyba přepínače
6	Samovolné spuštění motoru

Tab. 3: Kódy chybových stavů

### Detekce výstřelu

Problematika HW byla již nastíněna v podkapitole 3.7.3. Po SW stránce má tento vstupní signál vysokou prioritu, proto je připojen na vnější přerušení INT1. Změna úrovně na tomto pinu do logické nuly vyvolá skok na příslušnou funkci, bez ohledu na aktuální pozici v programu, včetně probuzení z režimu úspory energie. V obslužné rutině pak dochází v první řadě k zakázání tohoto přerušení, aby se nemohl vyskytnout další požadavek, například při zákmitu tlačítka. Následuje kontrola, jestli je výskyt přerušení oprávněný. Na základě toho program pokračuje v modifikaci proměnných, nebo zaznamená chybový stav. K opětovnému povolení přerušení od INT1 dochází po návratu pinu do logické 1 v oddělené funkci.

### Zásobník

Jelikož jsem se rozhodl nepoužít pro hlídání počtu nábojů v zásobníku senzor, (jeho instalace by byla náročná na přesnost uložení a tedy i úpravu zbraně) vytvořil jsem softwarový zásobník. Jedná se o jednoduché proměnné, které se při každém zaznamenaném výstřelu inkrementují, nebo naopak dekrementují. Porovnáním s předem nastavenou hodnotou program vyhodnotí, jestli je zásobník prázdný. Tato hodnota se dá nastavit například pomocí terminálu. Kompenzují se tak rozdílné kapacity zásobníků různých typů zbraní. Bez vnějšího senzoru však program nerozpozná, jestli v komoře kuličky skutečně jsou. Například pokud by uživatel nastavil SW zásobník na 30 nábojů a vložil do zbraně zásobník s 50, bude muset po třiceti výstřelech zásobník vyměnit (vyndat a opět zandat).

### Stav přepínače

Funkce StavPrepinace() bez návratové proměnné a vstupních parametrů, vyhodnocuje kombinace dvou pinů, viz Tab. 4. Pořadí v tabulce respektuje reálné pořadí na zbraní. Přecházení mezi nimi lze pouze o jeden stav, respektive řádek. Druhý a třetí se liší pouze v nastavení počtu výstřelů na jeden stisk spouště. Čtvrtý stav je krajní pozice, při které

provede program instrukce pro přechod do Power down módu. Jeden ze spínačů je připojen na vstup INT0, protože probuzení procesoru z power down módu lze provést právě změnou logické úrovně na tomto pinu. Důležitý je zde přechod mezi 3. a 4. řádkem. Ze SEMI na SAFE program povolí přerušení od interruptu0, vypne A/D převodník a procesor uspí. Při změně zpět na SEMI se vyvolá obsluha přerušení, sloužící pouze k probuzení z úsporného režimu. Je nutné po probuzení zakázat přerušení od INT0, aby se opakovaně nevyvolávalo. První stav může být způsoben mechanikou přepínače, kdy kulisa přepínače přejede přes krajní pozici. Profil páčkového spínače nedovolí pohyb zpět. Při použití síly pak hrozí poškození tlačítka!

	PD2 (INT0)	PB7	akce
Chybový stav	1	0	ErrorStav(5);
AUTO	0	0	Maximální možný počet výstřelů
SEMI	0	1	Jeden výstřel
SAFE	1	1	Power Down režim

Tab. 4: Kombinace vstupů přepínače

## Baterie

Pro rozpoznání akumulátoru a její kategorizaci podle nejčastěji používaných napětí, slouží získávání hodnot z A/D. Nastavení probíhá při startu hlavního programu. Inicializační funkce povolí převodník a nastaví vnitřní referenci v registru ADMUX. Bity ADPS0-1 nastaví výslednou frekvenci pomocí předděličky na 125kHz.

Samotné získání dat probíhá ve funkci GetADC(kanal), kde parametr kanal určuje, z kterého pinu se bude hodnota převádět. Získaná data jsou pak v jiné funkci porovnána s předem vypočítanými hodnotami nominálních napětí akumulátorů. Každé napěťové hladině náleží různá minimální hodnota napětí akumulátoru, ta slouží pro prevenci před destrukcí přílišným vybitím. V Tab. 1 je vidět, že některé minimální hodnoty napětí se překrývají s nominálními, navíc po nabití Ni-XX akumulátoru je napětí jednoho článku zhruba o jednu desetinu voltu vyšší než nominální. Chyba při kategorizaci baterie může nastat, pokud uživatel připojí k zařízení již vybitý akumulátor, nebo čerstvě nabitý.

### 4.2.3 Komunikace s terminálem

Pro možnost pokročilejšího nastavování parametrů, prohlížení kódů chyb, diagnostiky aj, jsem se rozhodl vyrobit relativně malý, jednoduchý terminál, který se může připojit ke zbrani. Jelikož se prakticky jedná jen o komunikaci s LCD displejem, použil jsem již vytvořené

funkce a knihovny z [6]. Umožňují jednoduchými příkazy vypisovat číselnou hodnotu, textové řetězce i přecházet na konkrétní místo na displeji. V Programu jsem podle [2] pro jistotu prodloužil inicializační časy, jelikož je výrobcem levných kopií málokdy dodržují. Použitý kód využívá čtyř bitovou komunikace, kdy posílá rozdělená data nadvakrát.

V programu pro přechod do komunikační funkce existují dva způsoby: s připojeným terminálem a bez něj. První cesta je automatická, pokud se terminál připojí před náběhem napájení a zbraň je v režimu SEMI/AUTO, inicializuje se LCD a odskočí rovnou na výpis menu na obrazovku. Tlačítka UP a DOWN jsou však paralelně připojena k SEMI/AUTO spínačům, takže aby ovládání terminálu nebylo vyzkratováno, je nutné přepnout zbraň do režimu SAFE. V komunikační funkci pak nedojde k usnutí procesoru tak jak je tomu normálně. Pokud je terminál připojen ke zbrani v režimu SAFE a dojde k jeho usnutí, stačí stisknout tlačítko UP na terminálu, to procesor probudí a přinutí odskočit opět na komunikační funkci.

Druhou možností je stisknout spoušť po první vibraci motoru bez nutnosti připojeného terminálu. Jelikož v režimu SAFE kohoutek stisknout nelze díky mechanické západce, nezáleží, jestli je přepínač v poloze AUTO, nebo SEMI. Komunikace je pak ovládána pouze spouští. Tento způsob však bude mít smysl až po uvedení PWM do provozu, jelikož hlavně tuto hodnotu bude možné upravit bez nutnosti připojování LCD.

#### 4.2.3.1 Menu

Samotné menu má jednoduchou strukturu, bez vnořených položek. Lze si ho představit jako pole o jednom sloupci s délkou, která je definována na začátku programu proměnnou PocetObrazovek. Univerzální směrovací funkce zajišťují pohyb v menu stejně jako změnu proměnných. Testují stisk tlačítek a zároveň vypíší příslušnou položku menu. Při výběru položky stiskem tlačítka SELECT, se na základě řádku provede funkce položky, opětovným stiskem se proces ukončí. Například směrovými tlačítky vybereme položku „Změna délky dávky“. Stisk výběrového tlačítka umožní zvyšovat, nebo snižovat zbylými tlačítky hodnotu. Po druhém stisku SELECT se číslo uloží a opět se umožní listovat mezi položkami v menu.

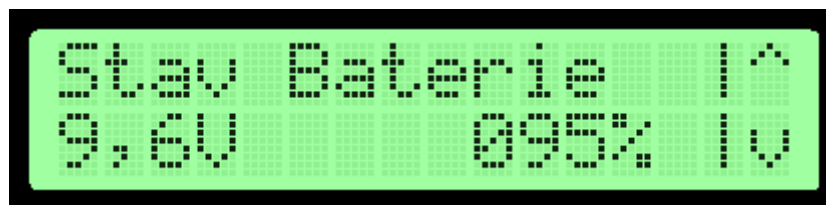
Řádek	Položka
1.	Ukončit
2.	Zobrazení chyb
3.	Stav baterie
4.	Test periferií

5.	Změna délky dávky
6.	Změna PWM
7.	Změna počtu nábojů v SW zásobníku
8.	Počítání výstřelů
9.	Zobrazení časovače
1	Změna typu dávky

Tab. 5: Menu



Obr. 14: Zobrazení položky na LCD. Převzato z [14]



Obr. 15: Vyvolání funkce položky. Převzato z [14]

Ukázka směrovací funkce:

```

void Down(unsigned char *p_Promenna, int Krok, int DolniMez, int
HorniMez)
{
static char Projdi_Down=0;

if (Port('B',7) || Projdi_Down)
{
Projdi_Down=1;
if (!Port('B',7) )
{
*p_Promenna=((*p_Promenna)-Krok);
if (*p_Promenna < DolniMez)
*p_Promenna = HorniMez;

if (*p_Promenna > HorniMez)
*p_Promenna = HorniMez;

VypisMenu();
LCDGotoXY(15,1);
Projdi_Down=0;
}
}
}

```

Pomocí parametru \*p\_Promenna, se inkrementuje/dekrementuje hodnota proměnné, na kterou ukazatel odkazuje. Funkci lze předat hodnotu, o kolik se při jednom stisku proměnná změní. Zároveň při přetečení/podtečení začne čítat hodnota od vstupního parametru DolniMez, respektive HorniMez. Takto je zajištěno, že menu i veškeré upravované hodnoty jsou v rozmezí svých intervalů a nehrozí nastavení nechtěné hodnoty. Proměnná Projdi\_Down zajišťuje pouze jeden průchod funkcí při jednom stisku tlačítka.

## 5 energetická efektivita

Všechny procesory i jednočipové mikropočítače jsou vyráběny technologií CMOS, jejíž vlastností je zanedbatelný příkon ve statickém stavu a přibližně lineárně rostoucí příkon s kmitočtem hodinových impulzů. Zablokování hodinových impulzů tedy slouží stejně dobře jako odpojení napájení, ale obvod zůstane v definovaném vnitřním stavu a po opětovném dodání hodinových impulzů pokračuje v původní činnosti. Po odpojení napájecího napětí a jeho opětovném přivedení, bude obvod v nedefinovaném stavu a je nutné jeho vynulování. Dalším prostředkem ke snížení příkonu je snížení kmitočtu hodinových impulzů pro procesor. Ten je totiž největším spotřebičem a opět jeho příkon je zhruba úměrný kmitočtu. Ne vždy je nutný maximální výpočetní výkon, úspora energie může být důležitější. Převzato z [1]

### Režimy úspory energie v procesoru

ATMEGA8 má zabudovaných pět režimů snížené spotřeby. Kde v každém umožňuje zastavit hodinové impulsy nepotřebných obvodů uvnitř mikrokontroléru.

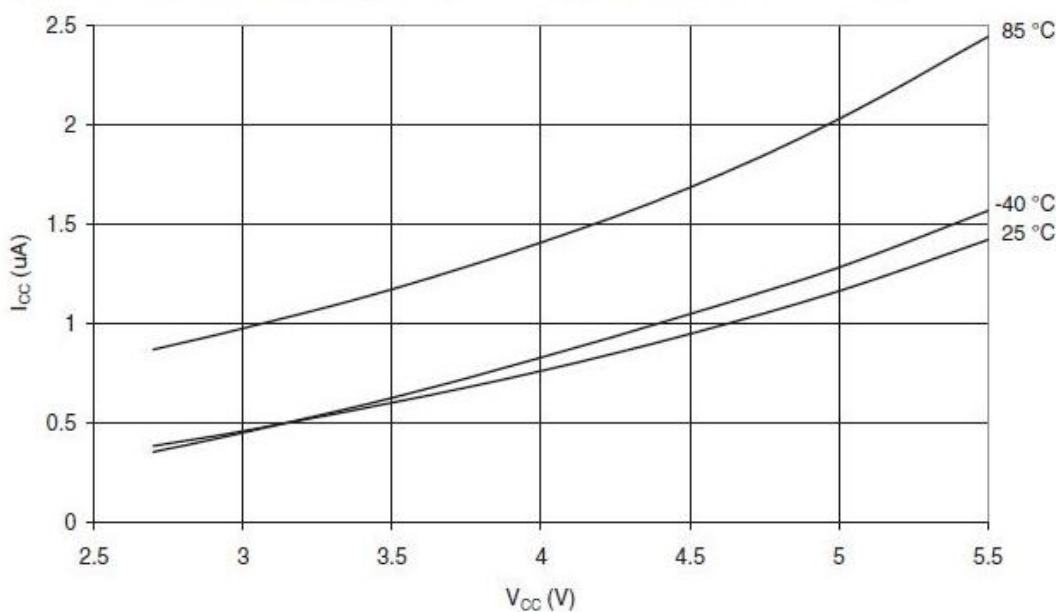
Sleep Mode	Active Clock Domains					Oscillators		Wake-up Sources					
	clk <sub>cpu</sub>	clk <sub>FLASH</sub>	clk <sub>IO</sub>	clk <sub>ADC</sub>	clk <sub>ASY</sub>	Main Clock Source Enabled	Timer Osc. Enabled	INT1/INT0	TWIAddress Match	Timer2	SPM/EEPROM Ready	ADC	Other I/O
Idle			X	X	X	X	X <sup>(2)</sup>	X	X	X	X	X	X
ADC Noise Reduction				X	X	X	X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X	X	X	
Power-down								X <sup>(3)</sup>	X				
Power-save					X <sup>(2)</sup>		X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X <sup>(2)</sup>			
Standby <sup>(1)</sup>						X		X <sup>(3)</sup>	X				

Notes: 1. External Crystal or resonator selected as clock source.  
 2. If AS2 bit in ASSR is set.  
 3. Only level interrupt INT1 and INT0.

Tab. 6: Sleep módy. Převzato z [3]

Pro co nejvyšší úsporu a zároveň jednoduchost, jsem se rozhodl použít v programu pouze Power-down režim, který zastaví kompletně všechny hodinové signály. Probuzení z tohoto režimu lze pouze hladinovým, vnějším interruptem.

Aby úspora energie byla co nejvíce patrná, musí procesor v tomto stavu trávit co nejvíce času. Zároveň však musí být mikrokontroléru jasné, že zbraň nebude v nejbližším okamžiku používána. Z toho vyplývá nejvhodnější umístění pro přechod do úsporného režimu při změně prepínače na SAFE, což koresponduje s bezpečným zacházením se zbraní. Uživatel dá jasně najevo, že zbraň nehodlá nyní použít. Závislost napájecího napětí a proudu v Power-down režimu s vypnutým watch dogem ukazuje Obr. 16. Hodnota odebíraného proudu by neměla převýšit  $1,5\mu\text{A}$ , při provozu v běžných teplotách venkovního prostředí.



**Obr. 16:** Závislost napájecího napětí a proudu v Power-down režimu s vypnutým watch dogem. Převzato z [3]

### Vypínání A/D

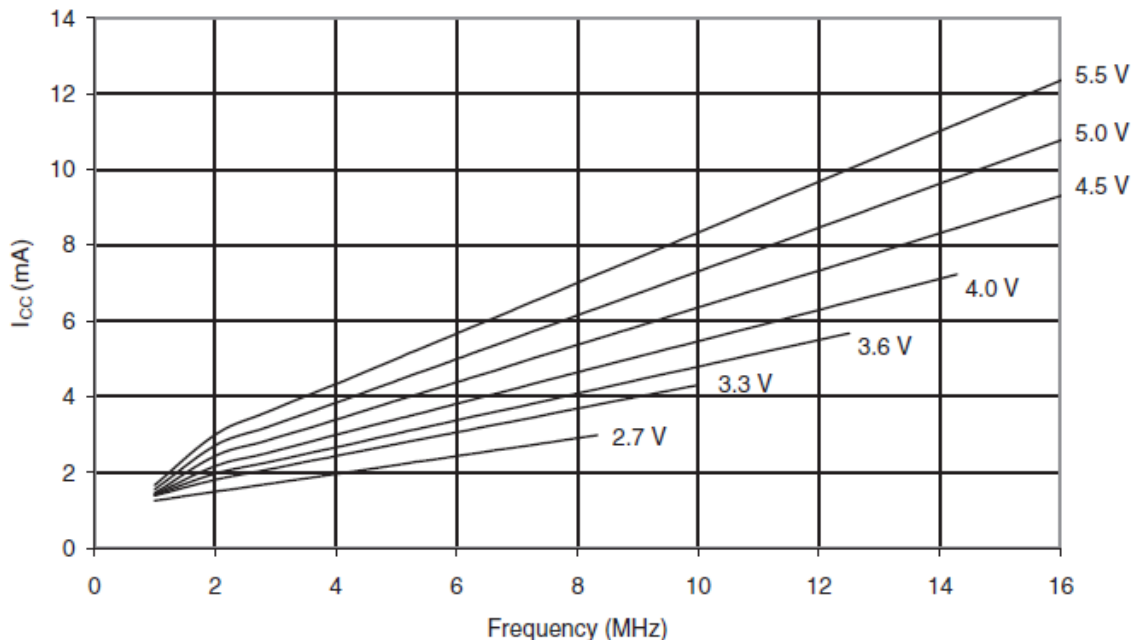
Podle typických charakteristik v katalogovém listu uvádějících proudový odběr, spotřebovává A/D převodník při použitém napájení 5V zhruba  $230\mu\text{A}$ . Zapojeným děličem napětí na vstup převodníku protéká navíc proud v rozmezí  $0,18 - 0,12\text{mA}$  v závislosti na napětí připojeného akumulátoru. Použité zapojení podle Obr. 10, však dělič napětí odpojí od napájení, a proudový odběr tak klesne na hodnotu klidového proudu tranzistorem spolu s proudem vtékajícím ze stabilizovaného napětí do vstupu kontroléru přes  $10\text{k}\Omega$  rezistor. Obě



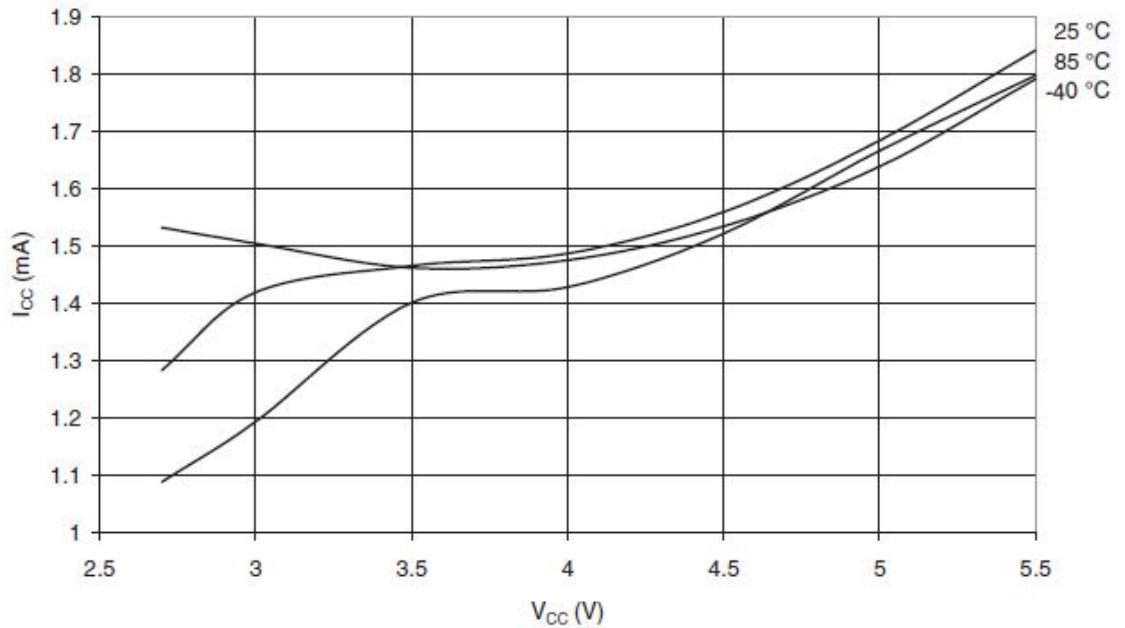
tyto hodnoty jsou v řádech jednotek  $\mu\text{A}$  (klidový proud tranzistorem samozřejmě záleží na použitém typu).

### Použitá frekvence a napětí

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, použitá frekvence je velice důležitý faktor spotřeby a právě v této aplikaci je vhodné omezit rychlost ve prospěch energetické úspory. Následující grafy zobrazují spotřebu procesoru v závislosti na kmitočtu a napájecím napětím. Rozdíly jsou jasně patrné, při použité frekvenci 1MHz se nedosahuje ani poloviční spotřeby oproti 8MHz. Obdobné je tomu s napájecím napětím, avšak, jak již bylo uvedeno výše v textu, zde lze odběr ještě o trochu snížit, například použitím 3,3V stabilizátoru s patřičnou výměnou součástí potřebných napájení vyšší. S tím samozřejmě také souvisí i nižší proud protékající spínači v sepnutém stavu přes  $10\text{k}\Omega$  rezistor.



Obr. 17: Závislost odebraného proudu na frekvenci



Obr. 18: Závislost odebraného proudu na napájecím napětí při 1MHz

## 6 Změření odebraného proudu

Odebíraný proud jsem měřil u řídicí desky, při různých stavech zbraně. Jelikož celková spotřeba je závislá na počtu aktivních snímačů. Pro měření jsem využil multimetr UNI-T UT132A se schopností měřit DC proud s přesností  $\pm 1\%$ .

Nejvyšší proudový odběr byl naměřen 14,16mA, kdy byly sepnuty snímače pro přepínač, spoušť, páku závěru, i zásobníkovou šachtu. S každým odpojeným snímačem klesl proud o 0,50 - 0,52mA což odpovídá proudu protékajícímu rezistorem o hodnotě 10k $\Omega$  připojenému na napětí 5V, s ohledem na přesnost rezistorů  $\pm 1\%$ . Hodnota proudu se zbraní v klidu klesla na 12,15 - 12,67mA v závislosti na poloze přepínače (v poloze AUTO jsou uzemněny oba odpory přes spínače, tudíž vzroste odběr). K dalšímu navýšení proudové spotřeby dochází samozřejmě při ovládání driveru motoru, kde jsou opět logickými úrovněmi protékány rezistory o hodnotě 10k $\Omega$  spolu s proudem vtékajícím do vstupů. Podle katalogového listu výrobce maximálně 10 $\mu$ A [13]. Delší vibrace motorem zvedla spotřebu o 0,90mA.

Naopak nejnižší spotřeba byla naměřena v SAFE, kdy se procesor přepnul do power down režimu. Při neaktivitě všech spínačů byl změřen odebraný proud 3,21mA. V měřeném obvodu po zanedbání procesoru a stabilizátoru zbývají hallova sonda a driver motoru, proto danou hodnotu lze přisuzovat právě těmto součástkám.

## 7 Další možný vývoj

Současný stav, ke kterému jsem práci přivedl, rozhodně není konečný. Některé vlastnosti jsem odložil, nezrealizoval, pro některé jsem návrh a program pouze připravil. V následujících podkapitolách stručně naznačím některé směry, kterými se práce může případně dále ubírat.

### 7.1 PWM

Pro zprovoznění pulzní šířkové modulace je program a DPS již relativně připravena. Kontrolér má jednu ze tří pulzních šířkových modulací na pinu PB1, což je zároveň výstup ovládající spínání motoru. Druhý tranzistor – brzdící, není nutné ovládat modulací. Pro střelbu jej postačí vypnout logickou hladinou a po ukončení střelby opět sepnout a zabrzdit motor.

V programu je také okomentovaná inicializační funkce, která nastavuje příslušné registry. Výsledná modulace je pak taktovaná frekvencí 1 MHz, nejkratší doba má tedy 1  $\mu$ s. Jediné co zbývá vyřešit je vhodná záměna maker pro zapnutí/vypnutí za funkci pro spuštění/zastavení PWM se vstupním parametrem, udávajícím nejlépe procentuelní velikost PWM. Zároveň s možností tuto hodnotu měnit s pomocí terminálu, i bez něj.

Pro uživatele tato změna pak znamená možnost změnit kadenci zbraně, což je výhodné, pokud je například ke zbrani připojena baterie s vyšším napětím. To dá motoru vysoké otáčky, respektive kadenci. Výsledkem vysokého počtu ran v krátkém časovém intervalu má však za následek zvýšené opotřebovávání vnitřních dílů. Tomu může být předcházeno právě zmenšením doby, po kterou je tranzistor sepnut vzhledem k době ve vypnutém stavu – snížením PWM.

### 7.2 Ukládání dat do EEPROM a komunikace s PC

Mikrokontrolér obsahuje 512 bajtů vnitřní EEPROM, která by se dala využít například k záloze uživatelského profilu (počet nábojů v SW zásobníku, PWM, atd.). Po připojení napájení by tak odpadlo opětovné přizpůsobování těchto parametrů. Zároveň může část této paměti sloužit pro zaznamenávání chyb, celkového počtu výstřelů a jiných dat vhodných k diagnostice provozu. Spolu s těmito údaji, je komunikace s počítačem potenciálně silný diagnostický nástroj.

Při použití sériové komunikace pomocí I/O RXD a TXD, kterými je čip vybaven, může být nevýhodou absence konektoru pro RS232 v dnešních počítačích a také potřeba dalších součástek pro převod z logických úrovní na vyšší, potřebných pro provoz sériové linky.

### 7.3 Kontrolování stavu nábojů optickou závorou

Toto rozšíření by znamenalo možnost vypustit princip SW zásobníku. Program by se co do velikosti i principiálně zjednodušil o dekrementaci, uchovávání a další operace s počtem nábojů. Mikrokontrolér by dostával reálnou informaci o tom, zdali došlo k vystřelení kuliček, nebo jestli nezůstal projektil v komoře. Pro úsporu energie je pak vhodné používat bránu pouze v časově omezené okamžiky a po zbytek doby ji ponechat vypnutou.

Umístění této závory může být prakticky dvojí, v zásobníku, nebo ve zbrani. První možnost by znamenala tímto senzorem opatřit každý zásobník, což je poměrně neekonomické a navíc přenos informace k procesoru by znamenala vytvoření rozebíratelného kontaktu. V šachtě zásobníku však bývá vůle, a kontakty tak nemusí vždy přesně dosednout, navíc hrozí zanesení nečistot = nemožnost přenášet informaci. Reálnější je tedy umístit tuto závoru do vnitřku zbraně. Zde se nabízí možnost uložit senzor před hlavěň do tzv. Hop-Up komory, což je místo, kde se nachází vstup do hlavěň, přívodní kanál kuliček a tryska vzduchotechniky z mechaboxu. Dochází zde k akceleraci projektilu v hlavni. Instalace na toto místo by však vyžadovala vyvrtání otvorů v jedné ose z každé strany komory, což vyžaduje precizní provedení. V opačném případě hrozí narušení toku vzduchu a tím pádem úpadku výkonu celé zbraně.

### 7.4 Rozpoznání baterie pomocí servisního konektoru

Problém s rozpoznáním různých typů akumulátorů je nastíněn v kapitolách 4.2.2 a 3.2. Částečným řešením může být zavedení k procesoru vstup od servisního konektoru Li-XX akumulátorů. Na základě připojení/nepřipojení by se programu o něco ulehčilo rozhodování o typu baterie. Zapojení je částečně připraveno volnými vstupy A/D převodníku. Je nutné ho doplnit o rezistory, kterými se kanály „opřou“ o napájecí hladinu aby „volně neplavaly“ a byla na nich definovatelná napěťová úroveň v případě nepřipojeného konektoru. Obdobně jako v závěru kapitoly 3.4.

Programově pak budou snadno rozeznatelné baterie lithiové od niklových. Navíc se zde nabízí možnost kontrolovat Li-XX baterie důkladněji – každý článek samostatně.

## 8 Závěr

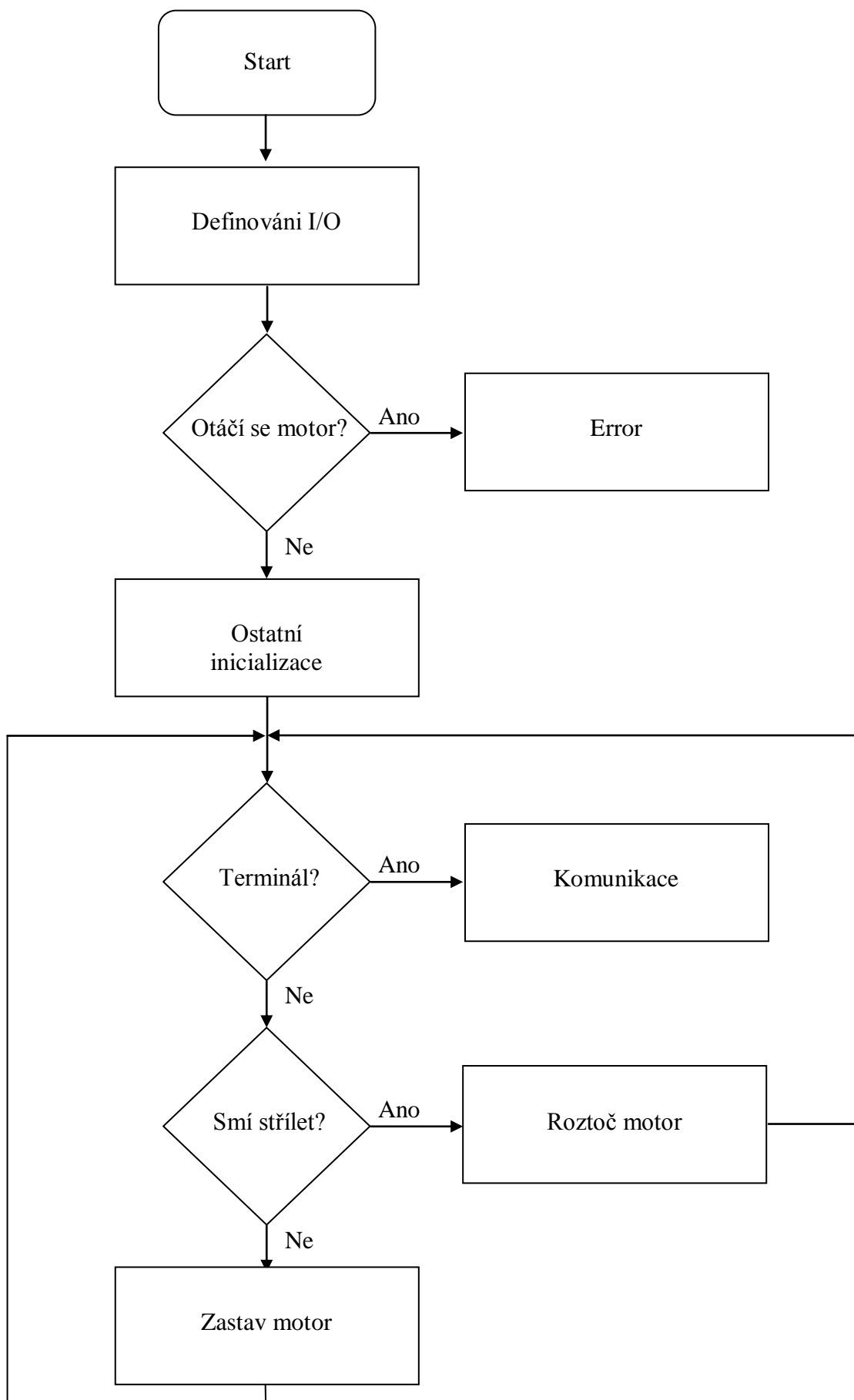
Jak jsem již zmínil v kapitole 1.3, návrh jsem přizpůsobil pro mechabox verze III. Variabilita, množství druhů, typů a tvarů airsoftových zbraní však činí rozšíření podstatně složitější. Pro jiný model a verzi mechaboxu opět vyvstává otázka kam a jak umístit senzory a jaký tvar bude mít mechaboxová deska. Pokud by se měl vývoj elektrických, airsoftových zbraní pohnout v tomto směru a přiblížit se svými vlastnostmi reálným zbraním, začít by museli sami výrobci, nebo by musel někdo přijít na trh s kompletním upravováním modelů. Modifikace každé zbraně zvlášť je pro osobní dílnu těžko proveditelná. Navíc při instalaci a zprovoznění je nutná hlubší znalost airsoftových zbraní a specifické vybavení.

Řídící a silová deska ztrácí na rozšiřitelnosti pouze svými rozměry, použitelné jsou jinak pro každý typ zbraně. Proto předpokládám další vývoj tímto směrem, bez dodatečných senzorů ve zbrani. Vylepšení pak ztrácí cíl přiblížení reálné zbrani, nicméně lze ušetřit na ceně kontroléru s méně vývody, nižším počtem součástek a rozměrech. Celkové náklady na výrobu jednoho kusu, včetně domácí výroby DPS fotocestou, nepřesáhly 500 Kč. Tento návrh je proto vhodný pro hráče, kteří airsoft hrají v tzv. military stylu a hledají co nejreálnější požitek.

## Použitá literatura

- [1] PINKER, Jiří. MIKROPROCESORY A MIKROPOČÍTAČE. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, s. 160. ISBN 80-7300-110-1.
- [2] ZČU PLZEŇ, Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací. Cviceni MPP 2011-12.pdf. 2012, 99 s.
- [3] ATMEL CORPORATION. Katalogový list ATMEGA8.pdf. 2009, 307 s. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=ATMEGA8>
- [4] Airsoft Portal [online]. ©2008-2012 [cit. 2011-12-11]. Dostupné z: <http://www.airsoft-portal.com/list.php?125>
- [5] Extreme-Fire [online]. ©2007 [cit. 2011]. Dostupné z: <http://extreme-fire.com/otherstuff.html>
- [6] GUPTA, Avinash. LCD knihovna [online]. 2007-2008 [cit. 2011]. Dostupné z: [www.eXtremeElectronics.co.in](http://www.eXtremeElectronics.co.in)
- [7] SIEMENS. Katalogový list TLE 4905 [online]. 1998-04-29, 14 s. [cit. 2012]. Dostupné z: [www.DatasheetCatalog.com](http://www.DatasheetCatalog.com)
- [8] INTERNATIONAL RECTIFIER. Katalogový list IRF4905S/L. 1997-08-25, 11 s. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/>
- [9] INTERNATIONAL RECTIFIER. Katalogový list IRL3713. 2011-12-3, 12 s. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/>
- [10] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Katalogový list MCP1404. © 2007, 22 s. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/>
- [11] AIRSOFTFIX, LLC. Mechbox.com [online]. © 2010 - 2011 [cit. 2011]. Dostupné z: <http://www.mechbox.com/>
- [12] Funkce Mechboxu. Airsoft Retreat [online]. ©2008 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://airsoftretreat.com/gallery/data/573/vidfingif.gif>
- [13] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Katalogový list MCP1703. © 2007, 24 s. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/>
- [14] AVTANSKI, Alexander. LCD Display Screenshot Generator [online]. [cit. 2012-06-05]. Dostupné z: <http://avtanski.net/projects/lcd/>

## Příloha A – Vývojový diagram



**Příloha B – Tabulka zapojení vývodů**

	Pin
Brzda	PB0
Spínání motoru	PB1
ShutDown	PB2
MOSI	PB3
MISO	PB4
SCK	PB5
Spoušť (Select)	PB6
AUTO (Down)	PB7
Zásobník	PD0
Páka závěru	PD1
SEMI (Up)	PD2
Detekce výstřelu	PD3
Komunikace	PD4
RS	PD5
RW	PD6
E	PD7
DB4	PC0
DB5	PC1
DB6	PC2
DB7	PC3
ADC_enable	PC4
Servisní konektor1	PC5
Servisní konektor2	ADC6
Napětí baterie	ADC7

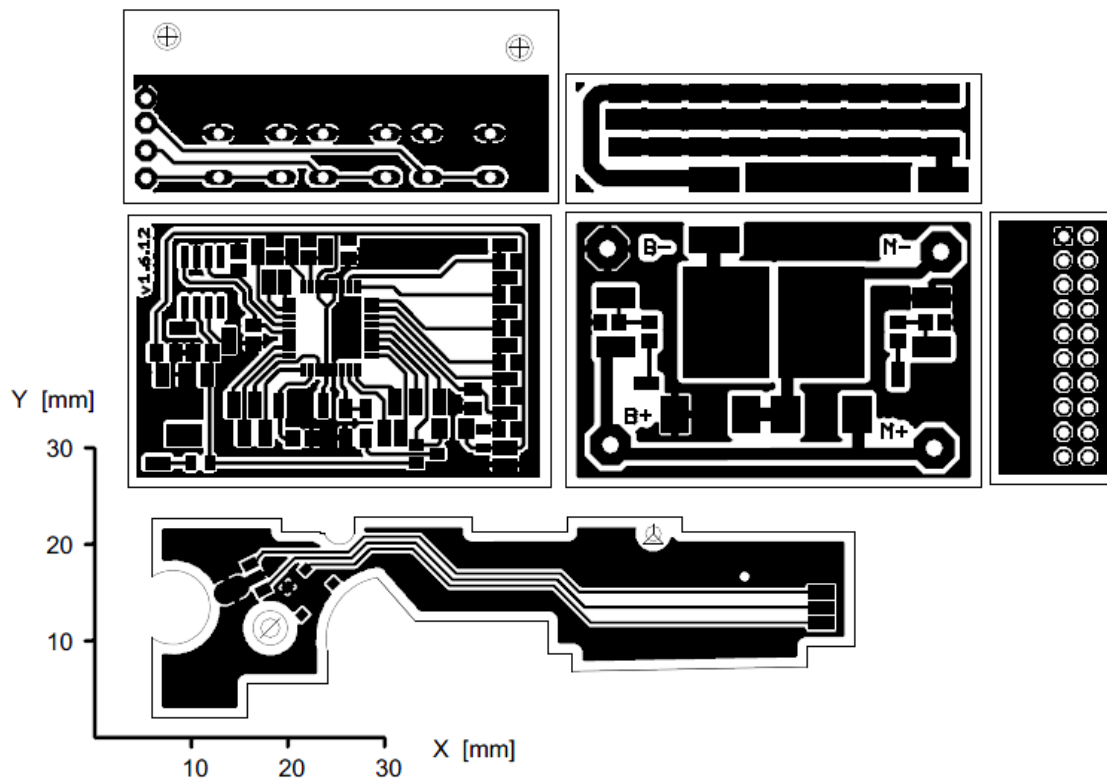


**Příloha C – Seznam Součástek**

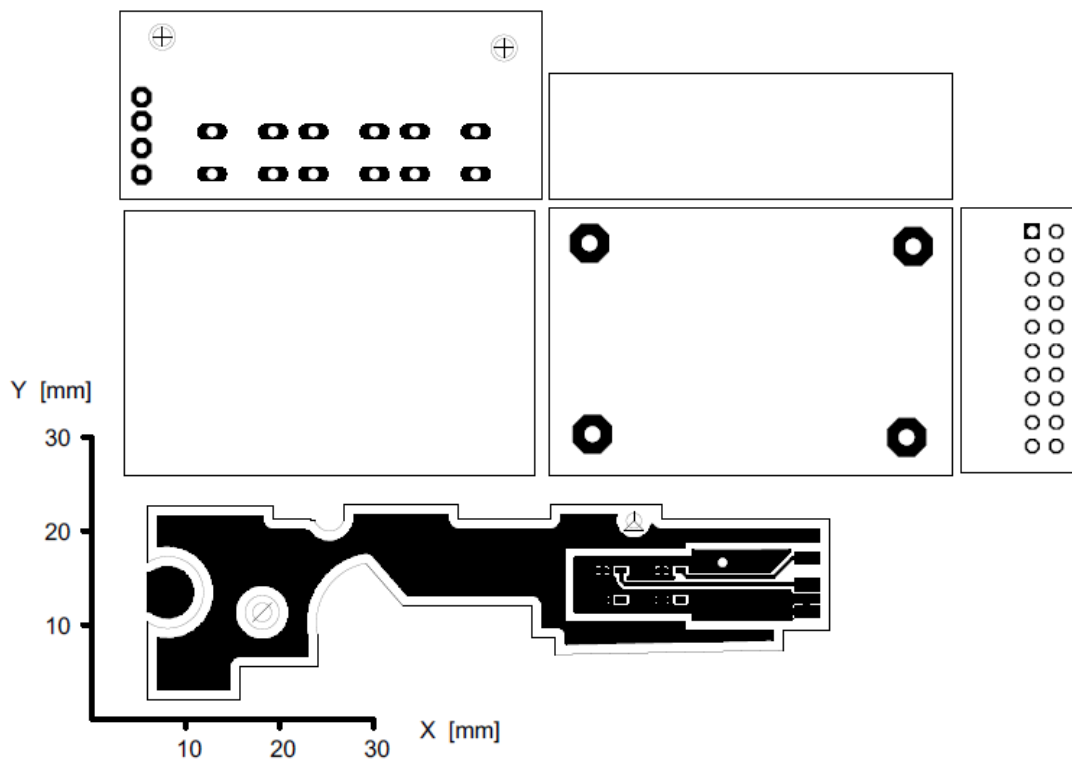
Název	Popis	Pouzdro	Množství
Tranzistor	IRLML2244TRPBF	SOT23	1
Tranzistor	IRF4905SPBF	D2PAK	1
Tranzistor	IRL3713SPBF	D2PAK	1
Rezistor	47 k $\Omega$	SMD 1206	1
Rezistor	10 k $\Omega$	SMD 0805	14
Rezistor	10 k $\Omega$	SMD 1206	2
Rezistor	0 $\Omega$	2512	8
Rezistor	1k $\Omega$	SMD 0805	2
Kondenzátor	1 $\mu$ F	SMD 0805	2
Kondenzátor	100 nF	SMD 0805	3
Dioda	MCL4148	MICROMELF	2
Stabilizátor napětí	MCP1703	SOT223	1
Hallův senzor	TLE4905G	SOT89	1
Mikrokontrolér	ATMEGA8-AU	TQFP	1
Transil	SMCJ15A	DO214AB	2
Driver	MCP1404-E/SN	SO8	1
Tlumivka	10 $\mu$ H	MS42	1
Precizní dutinková lišta	2x10	-	1
Precizní oboustranný kolík	1x20	-	1
LCD displej	2x16	-	
Spínač spouště	Pro telefon N73	-	1
Spínač přepínače	Pro telefon N95	-	2
Mikrospínač	1-pólový ON-OFF	-	3
Konektor	Dean-T	-	2 páry
Vodič	Silový černý	1,5mm <sup>2</sup>	1m
Vodič	Silový červený	1,5mm <sup>2</sup>	1m
Vodič	Signálový	0,5 mm <sup>2</sup>	5m

**Příloha D – Desky plošných spojů**

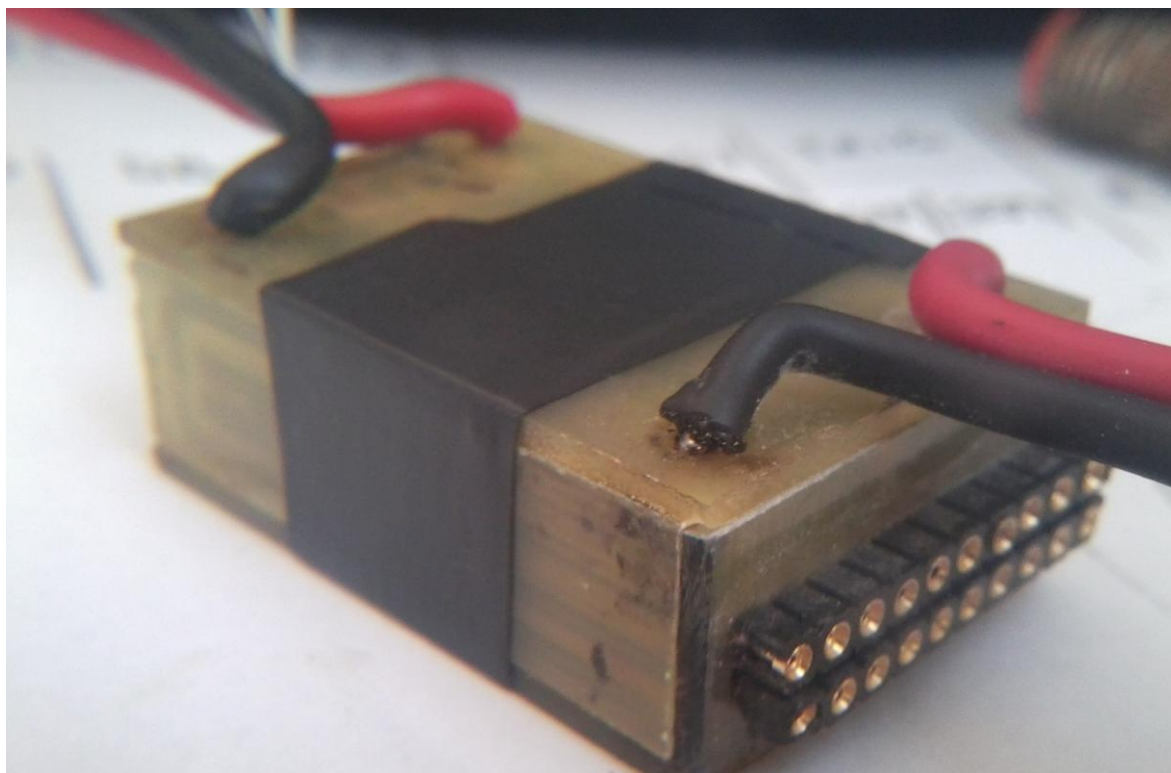
TOP



BOT



**Příloha E – Konečný výrobek bez připojených signálových vodičů**



Příloha F – Schéma zapojení

