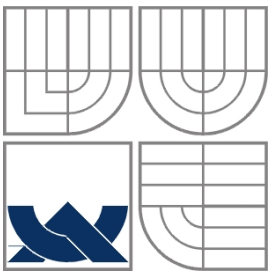
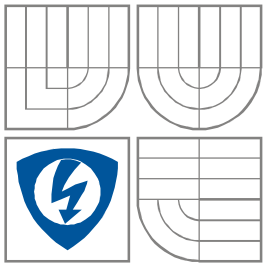


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

POČÍTADLO VÝSTŘELŮ PRO STANDOVÉ ZKOUŠKY ZBRANÍ

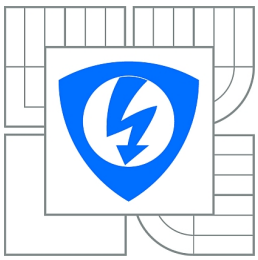
SHOT COUNTER FOR WEAPON TEST BENCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Stanislav Rozum
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student:	Stanislav Rozum	***ID:***	154842
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Počítadlo výstřelů pro standové zkoušky zbraní

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte univerzální a přehledné počítadlo výstřelů pro standové zkoušky zbraní. Během vývoje je každá zbraň podrobena důkladnému životnostnímu testu na zkušební lavici. Součástí testovacího standu je počítadlo celkového počtu výstřelů, které zobrazuje vyčtené údaje z USB rozhraní zbraně. Seznamte se s elektrickou stavbou zkoušených zbraní, přenosovým protokolem a průběhem životnostních zkoušek zbraní. Navrhněte celkové schéma a desku plošných spojů pro zobrazovací panel počítadla. Zobrazovací prvek bude displej složený z číslic o 7 segmentech. Z důvodu připojení zkoušené zbraně, bude nutné realizovat v počítadle USB host rozhraní, příp. radiový modul na 2,4 GHz.

Osaďte a elektricky oživte navržené zařízení. Realizujte vnitřní firmware mikroprocesoru počítadla s USB, resp. RF komunikací. Realizujte jednoduchý podpůrný SW v PC pro nastavování základních parametrů počítadla. Ověřte funkci zařízení v testovacích prostorách společnosti SAAB Czech s.r.o. při životnostních zkouškách zbraní.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FTDI, VNC2 - Vinculum-II Programmable USB 2.0 Host [online]. [cit. 11.5.2014]. Dostupné na www.ftdichip.com.

[2] Stock Flight Systems: CANaerospace specification - PDF datasheet, May 2014.

Termín zadání:	9.2.2015	***Termín odevzdání:***	28.5.2015

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.
Konzultanti bakalářské práce: Ing. Vladimír Hubík, Ph.D.

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Práce řeší návrh počítadla výstřelů, jde o zařízení složené ze šesti sedmi segmentových displejů, na kterých se po připojení ke zbrani přes USB zobrazí počet výstřelů, které zbraň nastřílela již dříve. Zároveň se počet výstřelů aktualizuje při střelbě. První kapitola se zabývá průběhem samotné zkoušky, stavbou a možnostmi testovací zbraně a rozebírá přenosový protokol CANaerospace pro přenos dat ze zbraně do počítadla. Hardwarovému řešení je věnována druhá kapitola, řeší návrh DC-DC měničů, řídící elektroniky displejů a možnosti komunikace se zbraní. Třetí kapitola přímo navazuje na kapitolu druhou a zabývá se návrhem firmwaru pro ovládání displejů a jejich jasu a zajištění komunikací se zbraní a počítačem.

KLÍČOVÁ SLOVA

počítadlo výstřelu, životnostní zkouška zbraní, protokol CANaerospace, USB HID, VNC2 USB host

ABSTRACT

Bachelor’s thesis describes construction and design of Shot counter for weapon test bench. Shot counter is device consisting of six seven-segment displays to display count of total fired shots. When connected to weapon, shot counter operates in real-time, incrementing counter directly as shots are fired. First chapter describes process of weapon test bench, electric build of testing weapon and transfer protocol. Second chapter solves design of DC-DC switching converters and display driving electronic. Last part of second chapter discusses ways of communication with weapon. Third chapter reassumes with firmware solution for used hardware. Development of display control including brightness control and communication between shot counter and weapon or PC is described in the last part of chapter three.

KEYWORDS

shout counter, life test of weapons, protocol CANaerospace USB HID, VNC2 USB host

ROZUM, S. *Počítadlo výstřelů pro standové zkoušky zbraní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2015. 37 s., 12 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Počítadlo výstřelů pro standové zkoušky zbraní jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji pedagogickému vedoucímu práce doc. Ing. Tomáši Frýzovi, Ph.D. a odbornému vedoucímu práce Ing. Vladimíru Hubíkovi, Ph.D. za poskytnutí potřebných materiálů, cenné rady a odbornou pomoc.

OBSAH

Seznam obrázků **vii**

Seznam tabulek **viii**

Úvod **1**

1 Teoretický rozbor **2**

1.1 Zkoušky zbraní ... 2

1.2 Elektrická stavba zbraně ... 3

1.3 Přenosový protokol CANaerospace ... 6

1.4 Komunikace se zbraní ... 11

2 Návrh schématu **14**

2.1 Obecné blokové schéma počítadla ... 14

2.2 Vstupní a ochranné obvody ... 14

2.3 DC-DC vstupní měnič ... 15

2.4 MCU ... 17

2.5 USB host - Vinculum ... 18

2.6 DC-DC měnič pro napájení VBUS ... 18

2.7 7 segmentový panel ... 21

3 Firmwarové a Softwarové řešení **23**

3.1 Inicializace MCU ... 23

3.2 Ovládání displejů ... 23

3.3 VNC2 firmware ... 25

3.4 Implementace upraveného protokolu CANaerospace ... 27

3.5 USB zařízení ... 29

3.6 PC software ... 32

4 Závěr **34**

Literatura **35**

Seznam symbolů, veličin a zkratek **37**

A Návrh zařízení **38**

A.1 Obvodové zapojení destičky pro Vinculum 2 modul 38
A.2 Obvodové zapojení základní desky počítadla..... 39
A.3 Obvodové zapojení LED panelu..... 40
A.4 Deska plošného spoje destičky pro Vinculum 2 modul – top (strana součástek) 41
A.5 Deska plošného spoje destičky pro Vinculum 2 modul – bottom (strana spojů, není zrcadleno) 41
A.6 Deska plošného spoje základní desky počítadla – top (strana součástek) 42
A.7 Deska plošného spoje řídícího modulu – bottom (strana spojů)..... 42
A.8 Deska plošného spoje LED panelu – top (strana součástek) 43
A.9 Deska plošného spoje LED panelu – bottom (strana spojů)..... 43
A.10 Osazovací plán destičky pro Vinculum 2 modul..... 44
A.11 Osazovací plán základní desky počítadla 44
A.12 Osazovací plán LED panelu 45

B Seznam součástek **46**

C Fotografie počítadla **48**

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vzhled testovací zbraně MP5. 4
Obrázek 2 Obecné blokové schéma zbraně [1]. 4
Obrázek 3 Struktura zprávy protokolu CANaerospace, zdroj [5]. 8
Obrázek 4 Struktura pro dotaz služby RCRS, zdroj [1]. 10
Obrázek 5 Struktura odpovědi na dotaz služby RCRS, zdroj [1] 10
Obrázek 6 Formát zprávy odeslané ze zbraně, obsahuje celkový počet výstřelů. ... 13
Obrázek 7 Blokové zapojení počítadla. 14
Obrázek 8 Zapojení vstupního DC/DC měniče, vzor [7] 15
Obrázek 9 Zapojení DC-DC měniče s elektronickým spínačem, vzor [12]. 19
Obrázek 10 Zapojení segmentů u sedmi segmentového displeje. 21
Obrázek 11 Blokový vývojový diagram tvorby dat pro displej. 24
Obrázek 12 Časový průběh řídicího signálu jednoho displeje. 25
Obrázek 13 Blokové schéma komunikačního kanálu zbraň – počítadlo. 26
Obrázek 14 Vývojový diagram vyhledávající funkce CANaerospace zprávy. 27
Obrázek 15 Vývojový diagram zpracování přijaté zprávy ze zbraně. 28
Obrázek 16 Vytvoření zprávy pro komunikaci se zbraní. 29

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Příklad životnostního testu pro kulomet M60, zdroj [1]. 2
Tabulka 2 Výběr datových typů používaných v CANaerospace, zdroj [5]. 7
Tabulka 3 Seznam adres různých zbraní 8
Tabulka 4 Vybrané typy zpráv protokolu CANaerospace, zdroj [5]. 8
Tabulka 5 Vybrané služby protokolu CANaerospace, zdroj [1],[5]. 9
Tabulka 6 Registry přístupné službami RCRS a SCRS, zdroj [1]. 11
Tabulka 7 Parametry sériové komunikace mezi zbraní a FT231X převodníkem. ... 11
Tabulka 8 Příkazy pro ovládání počítadla 32

ÚVOD

Během životnostních zkoušek zbraní je mimo jiné sledován celkový počet výstřelů testované zbraně. Za tímto účelem vznikla tato práce, která řeší návrh univerzálního a přehledného počítadla výstřelů pro standové zkoušky zbraní. Pro zajištění přehlednosti je pro zobrazování požadováno využít šest sedmi segmentových displejů vhodné velikosti. Konstrukce celého počítadla bude při zkouškách umístěna blízko testovacího standu, kde je zbraň uchycena při testováni. Dále je požadováno zajistit možnost pozdějšího uchycení do zástavby vytvořené ve společnosti SAAB Czech s.r.o. podle aktuálních potřeb. Úkolem počítadla připojeného přes USB rozhraní ke zbrani bude přečíst celkový počet výstřelů a zobrazit na displeji. USB rozhraní ve zbrani je z pohledu USB topologie zařízení, proto je nutné realizovat v počítadle rozhraní USB host. Zároveň je požadována možnost připojení počítadla k počítači také přes USB pro vnitřní nastavení počítadla. V tomto případě bude počítadlo pracovat jako zařízení.

V první kapitole jsou nejprve popsány druhy zkoušek a jejich význam. Další část první kapitoly rozebírá vnitřní stavbu zbraně z elektronického pohledu. Související rozbor přenosového protokolu CANaerospace pomocí kterého zbraň komunikuje, tvoří poslední část teoretického rozboru práce.

Druhá kapitola se zabývá hardwarovým řešením práce. Podrobně rozebírá postup, návrh a výběr zdrojů, mikrokontroléru, zapojení a řízení displejů. Na základě výsledků z této kapitoly byly vytvořeny desky plošných spojů a výsledná konstrukce.

Vývoj firmwaru a softwaru je rozebrán ve třetí kapitole. Kapitola je rozdělena do pěti částí, kde se první část zabývá řízením displejů včetně možnosti nastavení jasu, druhá podkapitola je věnována USB komunikaci se zbraní, ve třetí části je provedena implementace CANaerospace protokolu. Zbývající dvě části řeší komunikaci počítadla a počítače, čtvrtá část rozebírá USB komunikaci z pohledu počítadla a pátá z pohledu počítače.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

Kapitola popisuje druhy zkoušek včetně jejich významu s důrazem na životnostní zkoušku, rozbor elektrické stavby zbraně a přenosový protokol.

1.1 Zkoušky zbraní

1.1.1 Životnostní zkouška

Cílem této zkoušky je otestovat životnost zbraně. Podle požadavků na test mohou být stanovena následující kritéria: počet výstřelů, počet natažení páky závěru, počet vložení nábojového pásu případně zásobníku, počet vyklopení nebo vysunutí podpůrných částí zbraně (nožičky nebo pažba), překlopení pojistky zbraně a další. Opotřebení je zaznamenáváno do tabulek pro následné vyhodnocení. Příklad kritérií testu pro kulomet M60 je uveden v Tabulce 1.

Tabulka 1 Příklad životnostního testu pro kulomet M60, zdroj [1].

Kritérium	**Počet**
Počet výstřelů	2 000 000
Natažení páky závěru	2000
Založení nábojového pásu shora (při otevřeném víku závěru)	1000
Založení nábojového pásu nastrčením z boku (zavřené víko závěru)	1000
Vyklopení, vysunutí nožiček a následné složení	1000
Překlopení pojistky spušťadla s následným zmáčknutím spouště (v zajištěném i odjištěném stavu)	1000

Při testování životnosti na základě počtu výstřelů, které musí být zbraň schopna vystřelit bez jakékoliv závady, je zbraň připnuta k testovací lavici. Během testu je nutné zbraň po určité době namazat. Potřeba mazání není považována za závadu, musí být však poznamenána. Pro různé typy zbraní jsou určeny specifické lavice, například pro testování kulometů je lavice uzpůsobena pro uchycení kulometu a dalších mechanizmů, pro testování pistolí je lavice menší a je zde jiné uzpůsobení mechanizmů. Součástí lavice je motorek, který tahá za spoušť zbraně a zbraň tak střílí. Při testu je zadán popis komponent určených pro kontrolu, způsoby kontroly a místa, kterým je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Kontrolován může být: píst simulující zpětný ráz při výstřelu, mechanizmus natahování závěru, otlačení na těle zbraně a opotřebení pojistky spušťadla. Požadavky kontroly a poznámky pro provádění kontroly jsou uváděny v dokumentaci k testu. Data z testu se následně zaznamenávají po zadaných procentuálních krocích cyklu testovaného mechanizmu.

1.1.2 Virtuální trénink

Virtuální trénink primárně neslouží k testování zbraně samotné, nicméně výsledky mohou být zdrojem pro další vývoj zbraní a proto je zde pro úplnost zkoušek uveden.

Virtuální trénink slouží pro trénování a kontrolu vojáků zacházejících ze zbraní a využívá systém SAVIT [1]. Do tohoto systému jsou připojeny všechny zbraně a rychlá kamera zaznamenávající přibližně 300 snímků za sekundu. Celý systém je řízen rádiově z hlavní stanice (Master Modul), který vysílá POLL paket s periodou 45ms o velikosti 115 bytů s daty pro zbraně. Perioda je rozdělena do 24 timeslotů (časových rámců), kdy je každý timeslot určen jedné zbrani. Rozdělení timeslotů k adresám zbraní je určeno v POLL paketu. Obsluhována je tedy pouze jedna zbraň v jednom okamžiku, obsluhovaná zbraň vysílá modulovaný laserový paprsek na projekční stěnu, kde je zachycen speciální kamerou, která po zpracování odešle souřadnice dopadajícího paprsku do hlavní stanice. Jelikož je aktivní pouze jedna zbraň, na projekční ploše je v jeden okamžik pouze jeden bod, Master modul tak může bezpečně přiřadit souřadnice paprsku ke zbrani a instruktor vidí, kam je zbraň namířena.

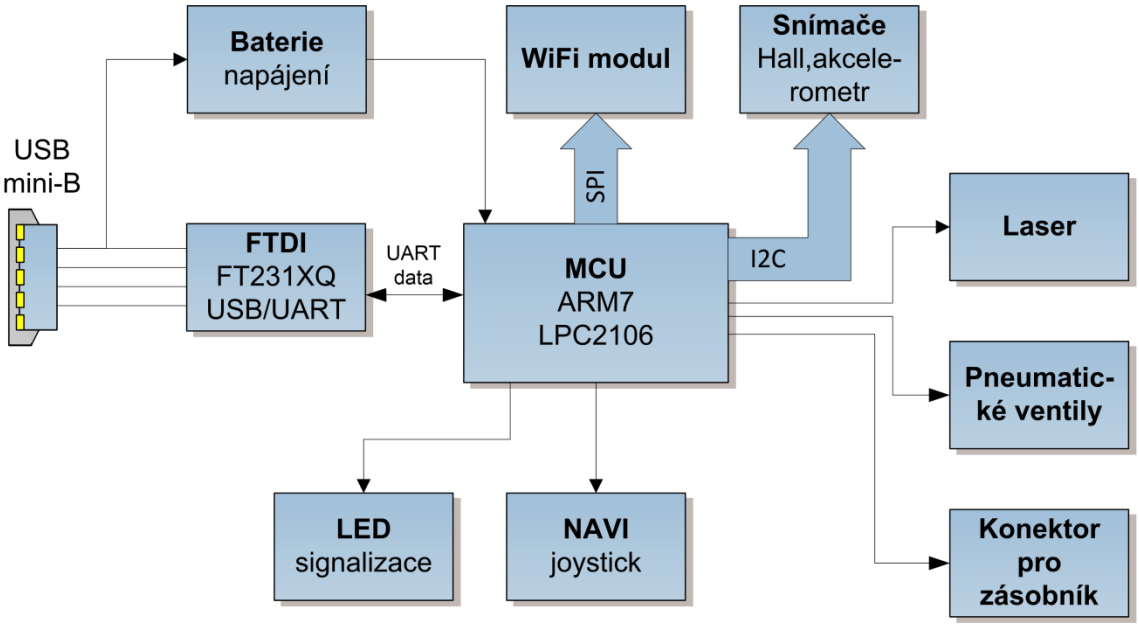
Skupina až 24 vojáků je postavena před projekční plochu, kde jsou promítány bojové scény podobné těm, které lze vidět v akčních hrách. Při výstřelu ze zbraně jsou připraveny data o výstřelu spolu s daty ze senzorů do paměti a jsou odeslány radiovým signálem do Master modulu ihned po tom, co přijmou POLL paket se svou adresou. Mezi tyto údaje patří například: ovládání zásobníku, ovládání spouště a závěru a naklonění zbraně, podrobněji uvedeno v kapitole 1.2 Elektrická stavba zbraně. Komunikace zbraně s Master modulem probíhá v bez licenčním frekvenčním pásmu 2,4GHz.

1.2 Elektrická stavba zbraně

Celková stavba zbraně je založena na částech používaných ve skutečných zbraních a tak se může při prvním pohledu zdát, že se jedná o skutečnou zbraň, viz Obrázek 1. Zachován není pouze vzhled, snahou je také zachovat veškeré fyzikální parametry zbraně. Tím jsou zajištěny podmínky velmi blízké reálným zbraním, čehož je vyžadováno při virtuálním tréninku. Rovněž je možné provádět testování zbraně, která se tak chová jako zbraň reálná, a současně získávat data ze senzorů.

Obrázek 1 Vzhled testovací zbraně MP5.

Jak již vyplývá z nadpisu a předchozího textu, ve zbrani je zabudováno velké množství řídící a měřící elektroniky. Pro lepší představu elektrické stavby zbraně bylo sestaveno obecné blokové schéma zbraně, viz Obrázek 2.



Obrázek 2 Obecné blokové schéma zbraně [1].

1.2.1 MCU

Použitým mikrokontrolérem je 32 bitový NXP LPC2106 ARM7TDMI [2].

1.2.2 FTDI, USB port

Tento blok slouží jako převodník komunikace UART na USB. Primární funkcí USB

portu je nabíjení baterie, nicméně slouží také pro přenos dat, kalibraci případně programování MCU. Převodník FT231XQ [3] byl zkonstruován firmou FTDI chip, která se specializuje na různé druhy převodníku. Převodník má implementován kompletní USB protokol a tak není vyžadováno další programování. Další výhodou těchto převodníků je snadná komunikace s PC, kdy po nainstalování příslušných ovladačů, které je možné stáhnout ze stránek firmy [3], se převodník chová jako virtuální COM port. Práce převodníku probíhá následujícím způsobem: po připojení k portu USB host, například PC, je zahájena konfigurace hosta tak, aby byl schopen komunikovat s připojeným převodníkem. Jakmile je host seznámen s převodníkem začíná host v pravidelných intervalech dotazovat převodník na nová data, nebo odesílat data do převodníku. FT231XQ přijme data a uloží do bufferu (vyčleněné místo v paměti), následně jednotka UART zajišťující sériovou komunikaci data z bufferu čte a odesílá do mikrokontroléru. Komunikace opačným směrem probíhá podobně, jen se zde využívá jiný buffer. Převodník také zajistí během konfigurace zvýšený odběr proudu z USB portu pro nabíjení baterie min. 500mA.

Požitým konektorem pro USB je USB mini B, kde vývod 4 ID není připojen. Pin ID je využíván pro detekci, zda se má zařízení chovat jako host (master) pin v konektoru kabelu uzemněn, případně jako device (slave) pin v konektoru kabelu nepřipojen. V tomto případě se jedná pouze o device, takže pin není třeba kontrolovat.

1.2.3 Baterie

Baterie slouží pro napájení elektroniky zbraně, nabíjení je prováděno přes USB. Výdrž závisí na provozu a typu zbraně, typicky 5 až 8 hodin. Její kapacita se pohybuje v závislosti na typu zbraně okolo 3000 mAh a napětí nepřesahuje 5V.

1.2.4 LED, NAVI

NAVI modul joystick slouží pro ovládání tréninkového softwaru. LED indikují různé stavy zbraně např. náboj v hlavni, ohřátá hlaveň a podobně.

1.2.5 Snímače

Aby byla zajištěna funkčnost Hall snímačů, které pracují na principu hallova jevu, je ke každé pohyblivé časti připevněn magnet. Výstupem Hall snímače je stejnosměrné napětí, které je v řídícím bloku Hall snímačů převedeno pomocí AD převodníku do číslicové podoby a přes I2C sběrnici odesláno do mikrokontroléru k dalšímu zpracování, nebo odeslaní například do tréninkového softwaru. Pomocí těchto snímačů lze sledovat polohu bezpečnostní pojistky, stav a polohu kladivy, polohu spouště, polohu závěru případně další.

Součástí je také akcelerometr realizován pomocí obvodu LIS331DLH [4] od firmy ST. Akcelerometr je připojen k mikrokontroléru také pomocí I2C sběrnice a poskytuje informace o pohybu se zbraní, poloze zbraně a dokáže také zaznamenat nárazy, případně volný pád.

1.2.6 Laser

Osazený laser se používá pro sledování výstřelů ze zbraně na projekční ploše. Laser je

uplatňován při virtuálním tréninku. Laser pracuje v infračervené oblasti a paprsek je ostřen vnitřní čočkou. Laserový paprsek je modulován OOK (On-Off-Keying) klíčováním.

1.2.7 Pneumatické ventily, konektor pro zásobník

Pneumatické ventily spolu s pneumatickým pístem simulují zpětný ráz zbraně při výstřelu. Pneumatický píst je ovládán stlačeným plynem CO_2 o tlaku 10 barů a je poskytnut z nádoby v zásobníku. Řízení směru pístu zajišťují ventily řízené elektricky, čas otevření ventilu se pohybuje řádově v desítkách milisekund.

Konektor pro zásobník slouží pro připojení elektroniky zásobníku, mikrokontrolér tak může zjistit připojení zásobníku a vyčíst potřebné údaje.

1.2.8 Servisní mód tréninkové zbraně

Každá zbraň má zabudovanou možnost přejít do servisního módu. Servisní mód slouží pro testovací a výrobní účely, je možné přistupovat k registrům, různým nastavením a kalibraci, které není možné v normálním režimu měnit. Vstup do servisního módu zbraně se provádí stisknutím a držením joysticku na NAVI modulu, při zapínání zbraně. Úspěšný vstup do servisního módu je signalizován blikáním LED kontrolek pro LASER a COMM na panelu zbraně.

Mezi rozšířené možnosti zbraně v servisním módu patří: testování a kalibrace snímačů spouště, mířidel a další elektroniky, nastavení adresy pro radiovou komunikaci, nastavení výrobního čísla, roku výroby, verze zbraně, nastavení časů otevření pneumatických ventilů pro generování zpětného rázu při výstřelu a nastavení počítadla výstřelů. Při životnostních zkouškách je zbraň v servisním módu.

Registry a funkce dostupné v servisním módu jsou pro každou zbraň specifické. Číslo registru obsahující celkový počet výstřelů spolu s několika dalšími registry jsou však stejné pro každou zbraň.

1.3 Přenosový protokol CANaerospace

Ke komunikaci s vnějším světem je použita malá část protokolu CANaerospace. Tedy sběrnice a přenosová cesta definovaná k tomuto protokolu v [5] není využita. Používán je pouze základní formát zpráv, typy zpráv, datové typy a služby. Na kompletně sestavenou zprávu je poté aplikován USB protokol v FTDI převodníku, do kterého jsou data přivedeny sériovou sběrnicí, a nakonec je zpráva po USB sběrnici odeslána připojenému zařízení.

1.3.1 Datové typy

V protokolu je definováno 32 různých datových typu a dalších 165 typů může být uživatelsky definováno. Základní datové typy spolu s popisem jsou uvedeny v Tabulce 2, všechny datové typy je možné najít v [5].

Tabulka 2 Výběr datových typů používaných v CANaerospace, zdroj [5].

Datový typ	Rozsah	Počet bitů	Poznámka	Číslo dat. typu
NODATA	---	---	Datový typ neobsahuje žádná data (pro příkazy)	0
ERROR	---	32	Data pro mimořádnou událost	1
FLOAT	1 zn. bit 23 bitů mantisa 8 bitů exponent	32	Formát s plovoucí čárkou	2
ULONG	0 do 4294967295	32	Celá čísla a 0	4
SHORT	-32768 do 32767	16	Celá čísla, záporná čísla pomocí 2 doplňku	6
UCHAR	0 do 255	8	Celá kladná čísla a 0	10
UCHAR4	0 do 255	4 x 8 (32)	4 byty UCHAR	15

1.3.2 Struktura zprávy

Obecný formát každé zprávy v CANaerospace protokolu se skládá ze 4 bytové hlavičky sloužící pro identifikaci a 1 až 4 bytů dat. Hlavička se skládá z:

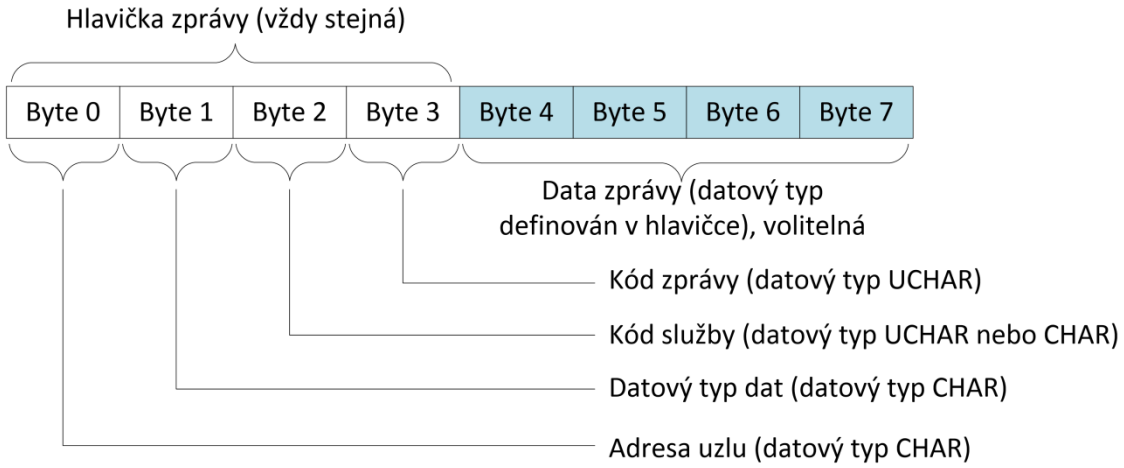
- (Node-ID) adresy uzlu, zařízení, kam je zpráva směřována, nebo odkud je vysílána, pro Node-ID 0 je vysíláno do všech uzlů
- (Data Type) datového typu dat v dané zprávě
- (Service Code) kódu služby, který v režimu služeb identifikuje službu
- (Message Code) kódu zprávy, v normálním režimu inkrementuje svoji hodnotu z 0 do 255 a poté přeteče a čítá opět od 0, v režimu služeb je použit pro rozšiřující specifikace služeb

Struktura zprávy je názorněji zobrazena na Obrázku 3.

Každý druh zbraně má přiřazen jedinečnou adresu (Node-ID) a tak lze vždy určit z jaké zbraně data pocházejí nebo do jaké mají být odeslány, viz Tabulka 3. Odeslání zprávy do všech připojených zařízení při nulovém Node-ID není v upraveném protokolu podporováno, aby se předešlo kolizím.

Tabulka 3 Seznam adres různých zbraní

Node-ID	Zbraň	Node-ID	Zbraň	Node-ID	Zbraň
2	GLOCK	14	MP5	32	COYOTE
3	BROWNIG	16	AK47SMR	33	TIMBERWOLF
11	AK103	21	MG3	41	RPG7
12	G3	22	M60	61	M4
13	G36	31	LRT3		



Obrázek 3 Struktura zprávy protokolu CANaerospace, zdroj [5].

Před samotou zprávou je odvysílán identifikátor určující typ zprávy a délka samotné zprávy, tedy počet bytů. Protokol definuje 6 typů zpráv, kdy je ke každému typu přiřazen určitý interval z 11 bitového čísla. Jednotlivé hodnoty jsou podle protokolu pojmenovány CAN-ID. V Tabulce 4 jsou uvedeny vybrané typy zpráv používaných pro komunikaci se zbraní. Zprávy s menším CAN-ID mají vyšší prioritu.

Tabulka 4 Vybrané typy zpráv protokolu CANaerospace, zdroj [5].

Typ zprávy	CAN-ID rozsah	Poznámka
Emergency event data (EED)	0 - 127	Okamžité odeslání dat, nejvyšší priorita
High Priority Node Service Data (NSH)	128 - 199	Služby s vysokou prioritou, slouží pro příkazy
Normal Operation Data (NOD)	300 - 1799	Slouží pro cyklický přenos provozních dat
Low Priority Node Service Data (NSL)	2000 - 2031	Služby s nejnižší prioritou

1.3.3 Služby

Protokol CANaerospace podporuje také komunikaci pomocí služeb, tento typ komunikace je založen na vyslání dotazu, příkazu definovanému zařízení pomocí adresy

(Node-ID) a následné odpovědi od cílového zařízení, v některých případech však odpověď není nutná. Tyto služby mohou být používány s vysokou nebo nízkou prioritou, přičemž priorita je určena podle CAN-ID. Podle Tabulky 4 mohou služby s vysokou prioritou mít 72 různých CAN-ID, poněvadž sudé CAN-ID se používají pro přenos dat do cílového zařízení a liché z cílového zařízení, je možné používat služby s vysokou prioritou v 36 kanálech. Služby s nízkou prioritou mají 16 kanálu. Výběr kanálu, na kterém bude komunikace probíhat, je možné volně zvolit podle požadavků uživatele.

Protokol definuje 16 často používaných základních služeb a dalších 156 služeb může být uživatelsky definováno. Pro komunikaci s registry ve zbrani jsou používány uživatelsky definované služby RCRS a SCRS. Výčet vybraných služeb včetně zmíněných uživatelsky definovaných je v Tabulce 5.

Tabulka 5 Vybrané služby protokolu CANaerospace, zdroj [1],[5].

Služba	Číslo služby	Vyžadování odpovědi	Akce
IDS	0	Ano	Identifikační služba, odpověď obsahuje HW a SW informace
NSS	1	Ne	Časová synchronizace sítě
RCRS	66	Ano	Čtení vnitřního registru zařízení
SCRS	67	Ano	Zápis do vnitřního registru zařízení

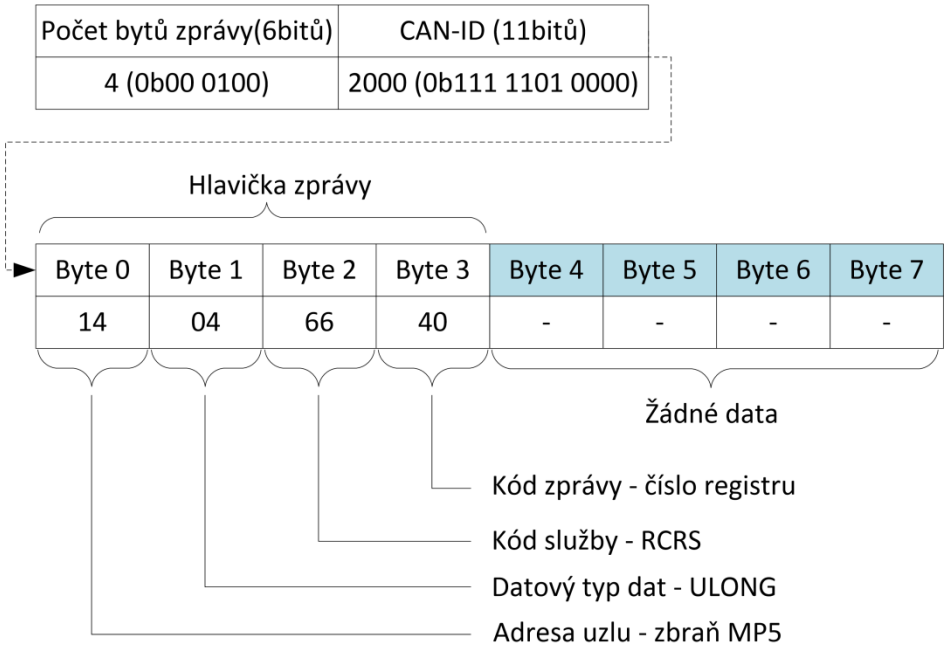
Služba IDS slouží pro identifikaci adresovaného zařízení, jelikož všechna zařízení musejí tuto službu podporovat na kanálu 0, lze touto službou zjistit, zda je připojené zařízení kompatibilní a zda pracuje správně. Odpověď od zařízení nese v 5. bytu (byte 4) hardwarové číslo a v 6. bytu (byte 5) softwarové číslo.

Služba NSS je vysílána ve volném přenosovém pásmu všem zařízením a slouží pro synchronizaci sítě. Protože je ve zbrani využita jen část protokolu a sběrnice mezi použité části nepatří, není ani tato služba používána.

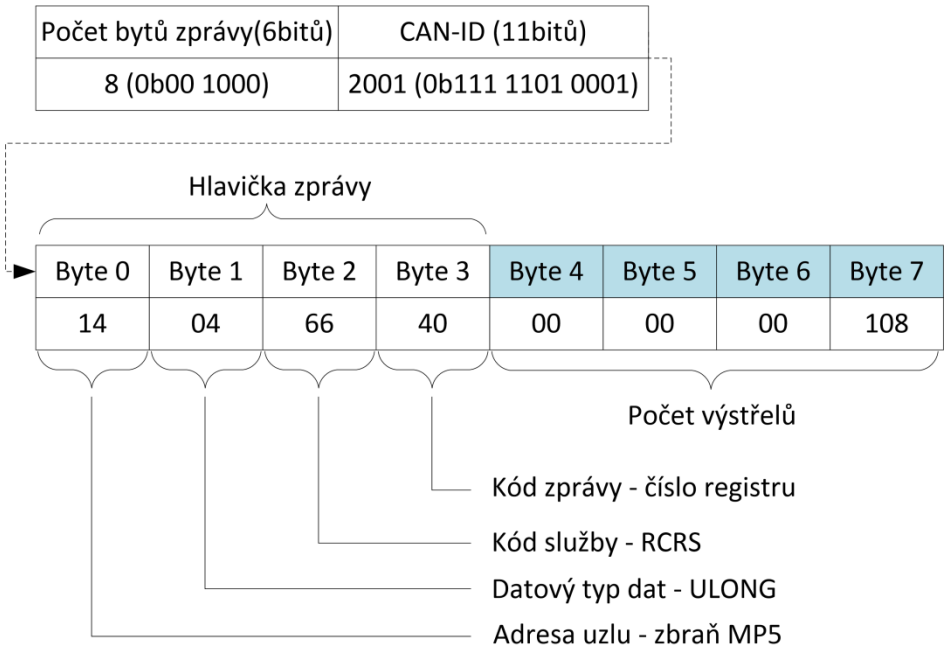
Naopak služba RCRS bude v počítadle výstřelů využívána často a to pro vyčítání registru, který obsahuje celkový počet výstřelů zbraně. Z tohoto důvodu bude tato služba společně se službou SCRS, která je velmi podobná, popsána podrobněji.

Dotazy služby RCRS jsou nejčastěji používány v prvním kanálu služeb s nízkou prioritou. CAN-ID pro vyslání dotazu z počítadla do zbraně je tedy 2000, pro odeslání odpovědi ze zbraně do počítadla 2001. Odeslaná data jsou uspořádány tak, jak je zobrazeno na Obrázku 4. Po počtu bytů zprávy následuje CAN-ID, v případě odeslání dotazu na počet výstřelů, nejsou ve zprávě obsažena žádná data a zpráva se skládá pouze z hlavičky, proto je počet bytů zprávy 4. První byte (Byte 0) samotné zprávy obsahuje cílovou adresu zařízení, v uvedeném případě jde o zbraň MP5 s adresou 14. Druhý byte definuje datový typ dat očekávaných v odpovědi, v uvedeném případě je datovým typem ULONG z Tabulky 2 se jedná o 32 bitové celé kladné číslo. Třetí byte určuje službu a nakonec čtvrtý byte určuje vnitřní registr zbraně.

Odpověď ze zbraně má velmi podobnou strukturu, rozdíl je pouze v CAN-ID, které je 2001 a samozřejmě také v počtu bytů zprávy, kde nyní byte 4 - 7 obsahuje počet výstřelu. Počet výstřelů v situaci na Obrázku 5 je 108.



Obrázek 4 Struktura pro dotaz služby RCRS, zdroj [1].



Obrázek 5 Struktura odpovědi na dotaz služby RCRS, zdroj [1]

Pro dotaz služby SCRS je situace podobná Obrázku 4, liší se pouze třetí byte (Byte 2), kde je číslo služby SCRS tedy 67. A protože jde o službu provádějící zápis,

jsou ve zprávě obsažena data, která se mají zapsat do registru. Jako odpověď zbraň odešle stejná data, která přijala. Změní se tedy pouze CAN-ID.

Službami RCRS a SCRS lze přistupovat k více registrům, některé jsou uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 6 Registry přístupné službami RCRS a SCRS, zdroj [1].

Název registru	Číslo registru	Význam
REG_NODE_NAME	0	Jméno zbraně
REG_NODE_SERIAL	1	Sériové číslo zbraně
REG_BASE_ADDRESS	2	Adresa pro radiovou komunikaci
REG_WEAPON_PRODUCT_YEAR	3	Rok výroby
REG_WEAPON_VERSION	4	Verze zbraně
REG_RECOIL_CADENCE	20	Kadence zpětného rázu
REG_RECOIL_FRONT_VALVE_TIME	23	Čas otevření ventilů pro pneumatické písty
REG_AMMO_MAGAZINEAMMO	38	Počet nábojů v zásobníku
REG_GLOBAL_NUM_OF_SHOT	40	Celkový počet výstřelů
REG_NUM_OF_POWERON	254	Celkový počet zapnutí zbraně

1.3.4 USB paket

Sestavená zpráva například podle Obrázku 5, tedy CAN-ID, počet bytů zprávy a zpráva jsou sériovou sběrnicí odeslány do FTDI231XQ převodníku, kde je z těchto dat vytvořen USB paket, který je následně odeslán do připojeného zařízení.

1.4 Komunikace se zbraní

Jelikož komunikace MCU s FT231X převodníkem ve zbrani probíhá po sériovém rozhraní s parametry uvedenými v Tabulce 7, bylo nutné upravit reprezentaci jednotlivých hodnot na fyzické vrstvě protokolu CANaerospace.

Tabulka 7 Parametry sériové komunikace mezi zbraní a FT231X převodníkem.

Parametr	Hodnota
Symbolová rychlost	115 200 Bd
Počet datových bitů	8
Počet stop bitu	1
Parita	žádná
Řízení přenosu (potvrzení)	žádné

Pokud by byl přenos realizován jednoduchým přenosem podle následující úvahy, jedna CANaerospace zpráva složená z 8 bytů by byla rozdělena do 8 přenosů tak, kdy jednomu přenosu odpovídá 1 byte (celých 8 bitů viz Tabulka 7), nebylo by možné

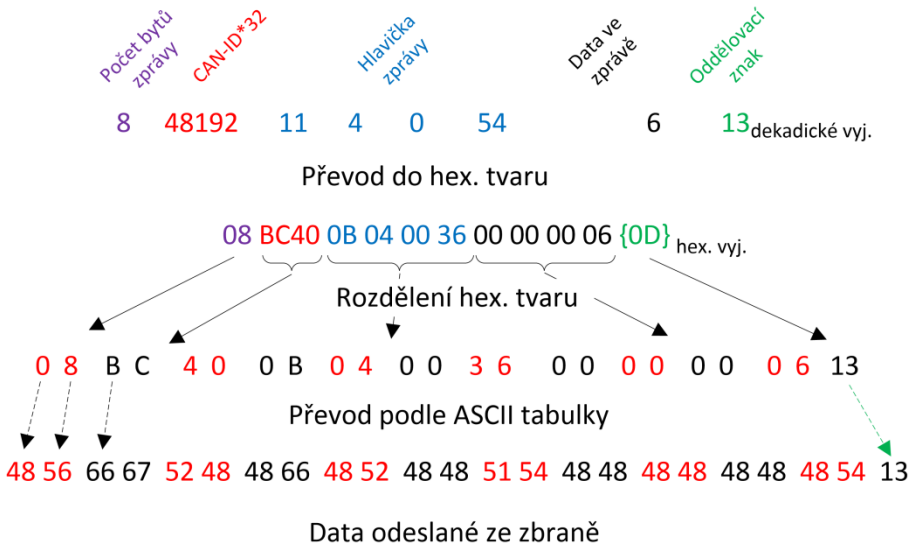
rozeznat data od oddělovacích znaků a synchronizace pro určení začátku zprávy by byla obtížná. Proto je zvolen způsob přenosu, kde je potřeba většího počtu přenosů na stejný počet dat, avšak lze jednoduše rozeznat konec/začátek zprávy pomocí oddělovacího znaku vkládaného na konec zprávy. Počet bitů určených pro vyjádření délky CANaerospace zprávy (6 bitů), je přenášen samostatně v jednom přenosu. Dva bity přenosu tak nejsou využity, ovšem zpracování zprávy v zařízení, které zprávu přijalo, je výrazně jednoduší, než kdyby byly využity všechny bity, například využitím 2 volných bitů pro data. Obdobně je přenášeno CAN-ID (11 bitů) ve 2 bytech, 5 bitu nevyužito. Poslední úprava v protokolu spočívá ve výměně pořadí CAN-ID a délky zprávy oproti klasickému CANaerospace protokolu.

1.4.1 Vytvoření zprávy

Vytvoření celého rámce zprávy podléhá jednoduchému algoritmu. Data např. v desítkové soustavě (255) jsou vyjádřena v hexadecimální soustavě (0xFF), následně je hodnota rozdělena na 2 znaky (F a F) a nakonec jsou znaky vyjádřeny ASCII kódem. Číslo 255 by tak bylo přeneseno po 2 přenosech s daty 70 (‘F‘). Během převodu do hexadecimálního tvaru jsou také čísla doplněna případnými nulami podle datového typu. Oddělovací nepodléhá rozdělení a převodu do ASCII formátu a proto je přidáván ke zpracované zprávě až před odesláním. Příklad vytvoření zprávy odeslané ze zbraně s přehledným rozborem je zachycen na Obrázku 6. Dekódování přijaté zprávy odpovídá inverznímu postupu, proti směru šípek, k situaci na Obrázku 6. Zpráva obsahuje následující informace:

- Počet bytů zprávy = 8
- CAN-ID = 1506 – cyklický přenos dat (viz Tabulka 4)
- Node-ID = 11 – odpovídá zbrani AK103 (viz Tabulka 3)
- Datový typ = 4 – ULONG (viz Tabulka 2)
- Kód služby – nejedená se o zprávu služeb (určuje CAN-ID)
- Kód zprávy = 54 pouze informační (viz Obrázek 3)
- Data = 6 - celkový počet výstřelů

Odeslané CAN-ID je násobeno 32, což odpovídá bitovému posunu o 5 bitů, tedy počtu nevyužitých bitů ve 2 bytech při přenosu CAN-ID.



Obrázek 6 Formát zprávy odeslané ze zbraně, obsahuje celkový počet výstřelů.

1.4.2 Počet výstřelů

Celkový počet výstřelů je možné zjistit dvěma způsoby. Jelikož všechny zbraně nepodporují oba způsoby, nelze obecně používat pouze jeden.

První způsob používá výše popsanou službu RCRS. CAN-ID, délka a data zprávy jsou převedena podle postupu uvedeného v 1.4.1 na vektor ASCII znaků a postupně odeslány do zbraně. Jakmile zbraň zprávu zpracuje, odešle odpověď s obsahem registru, kde je uložen celkový počet výstřelů.

Druhou možnost lze využít u skupiny zbraní, které odesílají mezi cyklickými provozními daty počet výstřelů. Tento přístup je jednoduší, neboť stačí pouze zachytit zprávu obsahující počet výstřelů. Zprávy rozpoznat podle CAN-ID, které je typicky 1506.

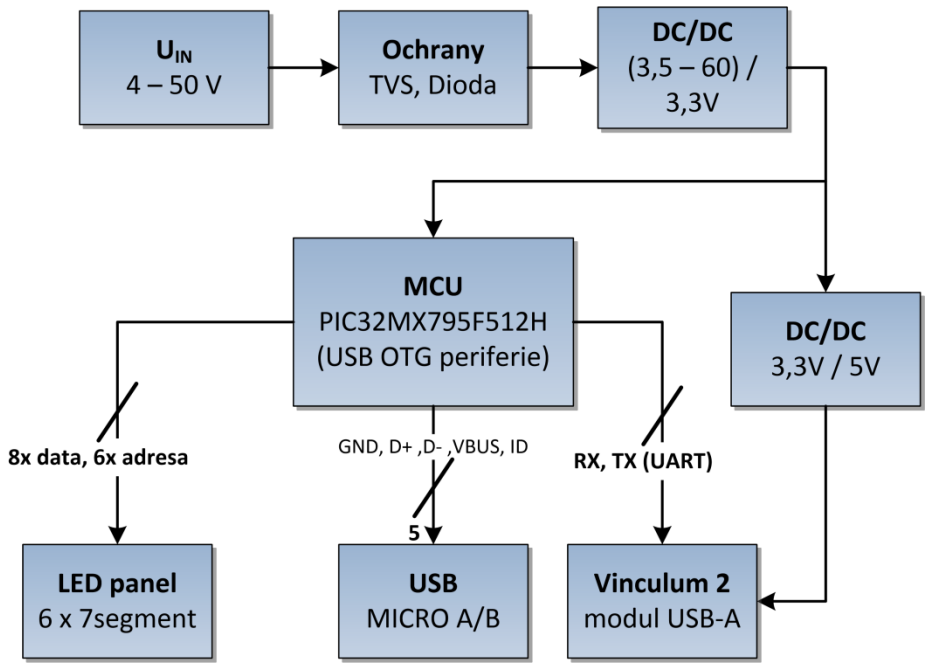
Cyklicky vysílané zprávy s počtem výstřelů jsou vysílány v intervalech o délce 200ms, proto není tato metoda vhodná pro zbraně s velkou kadencí, pokud je vyžadováno souvislé zobrazování. Způsobem pomocí služeb lze dosáhnout častějšího posílání počtu výstřelů. Pro orientační počet výstřelů, který ve většině případů dostačuje lze použít i cyklicky vysílané zprávy a na přeskočení několika výstřelů, které byly nastříleny mezi zprávami, není při zobrazování brán ohled.

2 NÁVRH SCHÉMATU

V této kapitole je uveden postup návrhu hardwarového řešení počítadla výstřelů. Součástí počítadla jsou 2 zdroje, jeden mikrokontrolér, panel 6 sedmi-segmentových displejů a vinculum modul.

2.1 Obecné blokové schéma počítadla

Základní postup návrhu bude postupovat podle blokového schématu počítadla na Obrázku 7.



Obrázek 7 Blokové zapojení počítadla.

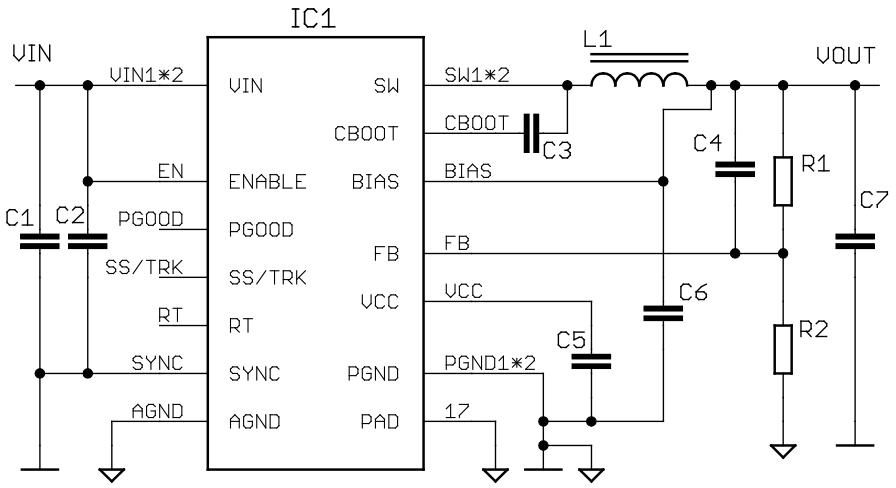
2.2 Vstupní a ochranné obvody

Aby nedošlo k poškození vnitřních obvodů počítadla vlivem prostředí a obsluhy, je nutno zařadit ochranné obvody za vstup napájecího napětí. Ochrana proti přepólování napájecího napětí je zajištěna Schottkyho diodou zapojenou mezi napájecím konektorem a vstupem DC-DC měniče. Ochranu proti přepětí tvoří TVS obousměrná dioda, princip této diody spočívá ve změně proudu diodou při zvýšení napětí nad průrazné napětí a to v obou polarizacích. Výhodou oproti klasickému varistoru je rychlost reakce, která se pohybuje okolo 1 ps. Objeví-li se na vstupu impulz o velikosti napětí, které by poškodilo vnitřní obvody, dojde k průrazu diody a napětí je omezeno na průrazné napětí diody. Tato dioda je zapojena mezi kladný napájecí vodič a zem.

Poslední ochranou je ochrana proti vysokofrekvenčnímu rušení z napájecího vedení pomocí kondenzátoru o velikosti 100pF, zapojeného paralelně k ochranné diodě TVS co nejblíže ke vstupnímu konektoru.

2.3 DC-DC vstupní měnič

Jelikož je požadován velký rozptyl vstupního napětí, lineární stabilizátor není vhodné použít. Mnohem efektivnějším je využití DC-DC měniče, který dosahuje velké účinnosti. Výběr vhodného DC-DC měniče podléhal rozsahu vstupního napětí a proudu potřebného pro počítadlo. S pomocí nástroje WEBENCH [6] byl vybrán spínaný měnič LM46002 od Texas Instruments [7]. Rozsah vstupních napětí pro tento měnič je 3,5 až 60V pro výstupní proud 2A. Rozdělit proud lze tedy následovně 1A pro napájení VBUS pro USB rozhraní, 0,1A pro MCU a 400mA pro panel displejů, kde svítí všechny segmenty a 0,4A rezerva. Zapojení měniče je na Obrázku 8.



Obrázek 8 Zapojení vstupního DC/DC měniče, vzor [7] .

Rezistory R_1 a R_2 určují výstupní napětí. Pro výstupní napětí 3,3V se hodnoty rezistorů určí podle vztahu (1) z [7]:

$$R_2 = \frac{U_{FB}}{U_{OUT} - U_{FB}} \cdot R_1 = \frac{1{,}011}{3{,}3 - 1{,}011} \cdot 90{,}9 \cdot 10^3 = 40{,}15 \cdot 10^3 \Omega, \quad (1)$$

kde U_{FB} [V] je napětí vnitřní reference 1,011V, U_{OUT} [V] je výstupní napětí. Doporučená velikost R_1 je podle katalogového listu mezi 10kΩ a 100kΩ. Aby byla velikost výstupního napětí co nejblíže rovna 3,3V byla pro R_1 zvolena velikost 90,9 kΩ a nejbližší hodnota z řady pro R_2 39 kΩ.

Frekvence spínaní je nastavena na 500 kHz. Tuto hodnotu lze změnit připojením rezistoru na pin RT. Je-li pin RT nepřipojen, je frekvence spínání rovna 500 kHz.

Vstupní kondenzátor je určen podle katalogového listu [7], kde je doporučená velikost 10µF. C_1 byl sestaven kombinací 2 keramických kondenzátorů o kapacitě

4,7µF s dielektrikem X7R zapojené paralelně, dohromady tak tvoří 9,4 µF. Protože napětí na vstupu zdroje může dosahovat až 60V, musí být jmenovité napětí obou kondenzátorů alespoň 100 V. Kondenzátor C_2 je vhodné umístit co nejblíže k napájecím pinům obvodu. Jeho kapacita byla zvolena podle doporučení 100 nF/100V.

Hodnota indukčnosti L_1 se vypočte podle vztahu (2) z [7]:

$$\frac{(U_{IN}-U_{OUT})\cdot D}{0.4\cdot F_S\cdot I_{LOAD-MAX}} \le L \le \frac{(U_{IN}-U_{OUT})\cdot D}{0.2\cdot F_S\cdot I_{LOAD-MAX}}, \tag{2}$$

kde U_{IN} [V] je vstupní napětí, U_{OUT} [V] výstupní napětí, D [-] je střída spínaní, lze aproximovat vztahem D=U_{OUT} / U_{IN}, F_S [MHz] kmitočet spínání, $I_{LOAD\text{-}MAX}$ [A] maximální proud zátěží a L [µH] je indukčnost cívky. Pro minimální uvažované vstupní napětí dosazením do (2) vychází L_{MIN}:

$$L_{MIN(3,5V)} = \frac{(3{,}5-3{,}3)\cdot\frac{3{,}3}{3{,}5}}{0.4\cdot 0{,}5\cdot 2} = 0{,}471\mu H, \tag{3}$$

podobně L_{MAX}:

$$L_{MAX(50V)} = \frac{(50-3{,}3)\cdot\frac{3{,}3}{50}}{0.2\cdot 0{,}5\cdot 2} = 15{,}41\mu H, \tag{4}$$

byla zvolena indukčnost 15µH, pro menší vstupní napětí bude hodnota zvlněného proudu cívkou menší. Pro indukčnost již zbývá jen určit minimální saturační proud podle vztahu (5) z [7]:

$$I_{SAT} = I_{LOAD-MAX} + \Delta i_L = I_{LOAD-MAX} + \frac{(U_{IN}-U_{OUT})\cdot D}{L\cdot F_S}, \tag{5}$$

kde I_{SAT} [A] je saturační proud cívkou, $I_{LOAD\text{-}MAX}$ [A] maximální proud zátěží, Δi_L [A] je zvlnění proudu cívkou, U_{IN} [V] vstupní napětí, U_{OUT} [V] výstupní napětí, D [-] je střída a lze aproximovat vztahem D=U_{OUT} / U_{IN}, L [H] je indukčnost cívky a F_S [Hz] kmitočet spínání. Po dosazení do vztahu (5) při úvaze nejhoršího případu U_{IN} = 50V je I_{SAT} = 2,41 A. Požadovaným hodnotám odpovídá cívka s výrobním číslem SRR1260-150M [8].

Kapacita výstupního kondenzátoru C_7 je určena vztahem (6) z [7]:

$$C_{OUT} \ge \frac{1}{F_S\cdot r\cdot\frac{\Delta U}{I_{OUT}}}\cdot\left(\frac{r^2}{12}\cdot(1+D')+D'\cdot(1+r)\right), \tag{6}$$

kde C_{OUT} [F] je minimální kapacita výstupního kondenzátoru, F_S [Hz] je kmitočet

spínaní, r [-] je poměr zvlnění proudu k výstupnímu proudu r=(Δi/I_{OUT}), ΔU [V] je maximální odchylka od výstupního napětí, I_{OUT} [A] je výstupní proud, D' = (1-D) a D=U_{OUT}/U_{IN}. Pro odchylku výstupního napětí 0,1V od jmenovité hodnoty 3,3V a vstupní napětí 12V vychází kapacita výstupního kondenzátoru podle (6) 221,8 µF. Podle katalogového listu [7] je žádoucí, aby kapacita výstupního kondenzátoru byla vetší, než kapacita vypočtená ve vztahu (6), ale zároveň menší než deseti násobek této vypočtené hodnoty nebo 1mF. Proto byla výstupní kapacita zvolena paralelní kombinací keramického a tantalového kondenzátoru o hodnotě 47µF s dielektrikem X7R a 220µF pro tantalový kondenzátor, celková hodnota tedy 267 µF. Požadavek na malé ESR výstupních kondenzátorů je zajištěn použitím keramického kondenzátoru paralelně s ESR tantalového kondenzátoru 50mΩ.

Kondenzátor C_4 slouží pro zvýšení stability výstupního napětí a jeho hodnota se určí podle vztahu (7) z [7]:

$$C_4 = \frac{U_{OUT} \cdot C_{OUT}}{8{,}7 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}}, \tag{7}$$

kde C_4 [F], U_{OUT} [V] je výstupní napětí, C_{OUT} [F] je výstupní kapacita. Po dosazení do (7) je získán výsledek C_4 = 647pF. Kapacita kondenzátoru byla zvolena 390pF kvůli nenulovému ESR.

Kapacity kondenzátorů C_3, C_5 a C_6 jsou uvedeny v katalogovém listu. Jejich hodnoty jsou uvedeny v příloze Seznam součástek, kde číslování koresponduje s celkovým schématem, nikoliv příkladu zde.

Ztrátový výkon měniči lze určit podle vztahu (8)[7]:

$$P_D = U_{IN} \cdot I_{IN} \cdot (1 - \eta) - 1{,}1 \cdot I_{OUT} \cdot DCR, \tag{8}$$

kde P_D [W] je ztrátový výkon, U_{IN} [V] vstupní napětí, I_{IN} [A] je vstupní proud, I_{OUT} [A] je výstupní proud a DCR [Ω] je odpor cívky, který je roven 0.027Ω. Vstupní proud lze určit z účinnosti, výstupního výkonu a vstupního napětí podle obecného vztahu (9)[7]:

$$I_{IN} = \frac{P_{IN}}{U_{IN}} = \frac{\frac{P_{OUT}}{\eta}}{U_{IN}}, \tag{9}$$

kde P_{IN} [W] je vstupní výkon, P_{OUT} [W] je výstupní výkon. Pro účinnost 90% vychází pro nejhorší případ ztrátový výkon 670 mW. Tento výkon bude bez problému odveden do zemní plochy mědi z obou stran desky. Převod tepla mezi plochami na obou stranách zajišťují prokovy.

2.4 MCU

Mikrokontrolér PIC32MX795F512 [9] byl vybrán zejména kvůli jeho periférii USB

OTG. USB OTG je schopno pracovat v závislosti na připojeném kabelu buď jako zařízení nebo jako host. Rozhodnutí je prováděno na základě pátého pinu konektoru s názvem ID. Platí, pokud je pin ID uzemněn zařízení pracuje jako host, naopak nepřipojený pin signalizuje konfiguraci periférie jako zařízení. V řešení této práce je tato periférie používána pouze jako zařízení.

Vybraný mikrokontrolér obsahuje všechny základní periférie a umožňuje pracovat na kmitočtu až 80MHz. Potřebné napájecí napětí je 3,3V, některé piny jsou schopny pracovat s 5V úrovní [9]. Dále byl tento mikrokontrolér vybrán z důvodu velké kompatibility ve společnosti SAAB Czech s.r.o.

2.5 USB host - Vinculum

Převodník UART/USB používaný ve zbraních FT231X [3] pracuje na základě nestandardizovaného protokolu, USB třídě definované společností FTDI a není tak bez příslušných ovladačů rozpoznatelný operačními systémy. Ovladače a komunikační USB třída jsou z důvodů vnitřní politiky společnosti utajeny, a nejsou tak veřejně dostupné.

Tato komplikace nabízí pro embedded aplikace pouze tři možnosti jak s převodníkem komunikovat. První nejsložitější možností je určení USB třídy pomocí zpětné analýzy komunikačního protokolu s využitím hardwarového USB analyzátoru a následném implementování do mikrokontroléru. Použití sofistikovanějšího ARM kontroléru s verzí operačního systému Linux představuje druhou méně složitou variantu řešení. Do tohoto kontroléru je možné nahrát ovladače stažené ze stránek společnosti FTDI [3] a následně napsat program, který bude převádět USB komunikace na komunikaci s jiným mikrokontrolérem. Zde se nabízí možnost zvýšení efektivity systému převedením všech úkolu na ARM kontrolér a mikrokontrolér PIC32 odstranit. Nejjednodušší a nejekonomičtější řešení nabízí kontrolér VNC2[10] vyráběný také společností FTDI chip.

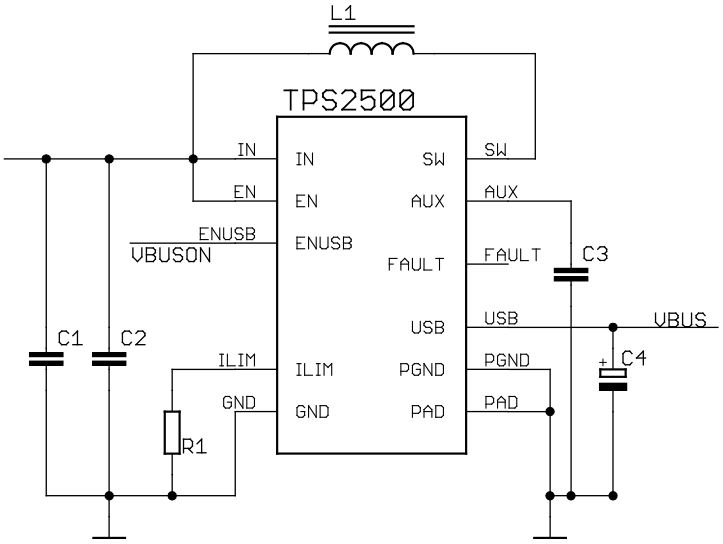
Vinculum 2 (VNC2) patří mezi programovatelné USB host/slave kontroléry, které pracují jako převodník USB komunikace na komunikaci pomocí UART, SPI, FIFO nebo PWM. Obvod je vyráběn ve třech pouzdrech, kdy se jednotlivá pouzdra liší počtem vývodů, základní periferie však obsahují všechny modely. FTDI nabízí vývojové moduly osazené potřebnými součástkami včetně USB-A portu pro připojení různých zařízení. Pro práci pak stačí naprogramovat VNC2 kontrolér pomocí speciálního programátoru/debuggeru dodávaného společností FTDI, připojit napájecí napětí 5V a komunikační vodiče.

Do počítadla byl vybrán vývojový modul V2DIP-32[11]. Modul bude osazen do konektoru na malé destičce připevněné na distančních sloupcích nad mikrokontrolérem počítadla. A připojen pomocí páskového vodiče a konektorů.

2.6 DC-DC měnič pro napájení VBUS

Pro správnou funkci USB sběrnice je třeba, aby host zajistil její napájení z 5V zdroje. Napájecí napětí vinculum modulu je přímo spojeno s napájecím vodičem sběrnice VBUS. Napájení je připojeno přes elektronický spínač a tak je možné v případě potřeby napájení sběrnice a modulu programově odpojit. Protože napětí rozvedené v počítadle je

3,3V, bude nutné použit DC-DC zvyšující měnič. Vhodný obvod obsahující elektronický spínač a zvyšující měnič v jednom pouzdru vyrábí Texas Instrument, jde o TPS2500 [12]. Tento obvod je schopen dodat proud až 1400mA, který je současně možné omezit pomocí rezistoru na příslušném vstupu. Základní zapojení obvodu je na Obrázku 9.



Obrázek 9 Zapojení DC-DC měniče s elektronickým spínačem, vzor [12].

Nastavení proudového limitu je dáno velikostí odporu rezistoru R_1, závislost odporu na nastaveném proudu je dána vztahem (10) z [12]:

$$R_{(typ)} = \left(\frac{28235}{I_{out}} \right)^{\frac{1}{0,998}}, \tag{10}$$

kde $R_{(typ)}$ [kΩ] je odpor rezistoru a I_{OUT} [A] je proud tekoucí do připojeného zařízení skrz VBUS.

Pro výpočet indukčnosti cívky L_1 je nejprve třeba určit zvlnění proudu cívkou. Doporučená hodnota podle [12] je 30% vstupního proudu, který je možné vypočítat podle (11) [12]:

$$I_{IN} = \frac{U_{AUX} \cdot I_{OUT}}{U_{IN} \cdot \eta}, \tag{11}$$

kde I_{IN} [A] je vstupní proud do měniče, U_{AUX} [V] je pevně dané výstupní napětí 5,1 V na pinu AUX, I_{OUT} [A] je výstupní proud, U_{IN} [V] je vstupní napětí a η [-] je účinnost. Za předpokladu účinnosti 90 %, výstupního proudu 0,5A a vstupního napětí 3,3V dosazením do vztahu (12) vychází:

$$I_{IN} = \frac{5{,}1 \cdot 0{,}5}{3{,}3 \cdot 0{,}9} = 0{,}8586\,A$$
$$\Delta i = 0{,}3 \cdot I_{IN} = 0{,}2576\,A \quad . \tag{12}$$

Posledním členem pro výpočet indukčnosti je střída spínání D. Odhad střídy může být proveden podle vztahu (13) z [12]:

$$D = \frac{U_{AUX} - U_{IN} + I_{IN} \cdot (R_{SYNC} + R_L)}{U_{AUX} + I_{IN} \cdot (R_{SYNC} - R_{PWM})}, \tag{13}$$

kde D [-] je střída spínaní, U_{AUX} [V] je pevně dané výstupní napětí 5,1V na pinu AUX, U_{IN} [V] je vstupní napětí, I_{IN} [A] je vstupní proud, R_{SYNC} [Ω] je odpor vnitřního MOSFETU 0,1Ω, R_{L} [Ω] je odhad odporu cívky 0.07Ω, R_{PWM} je odpor druhého vnitřního MOSFETU také 0,1Ω. Po dosazení do vztahu (13) D = 0,3816. Výpočet indukčnosti cívky je prováděn podle vztahu (14) z [12]:

$$L = \frac{U_{IN} \cdot D}{f \cdot \Delta i} = \frac{3{,}3 \cdot 0{,}3816}{1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2576} = 4{,}89\,\mu H, \tag{14}$$

kde L [H] je indukčnost, f [Hz] je pevně daný kmitočet spínaní 1MHz, Δi [A] je zvlnění proudu cívkou, význam ostatních prvků rovnice je uveden ve vztahu (13). Vybrán byl induktor VLP8040T-220M [13] s indukčností 4,5 µH, a vysokou hranicí saturačního proudu 4,76A, která nebude překročena, maximální proud je dán součtem vstupního proudu a poloviny zvlnění, což odpovídá 1A.

Zbývá již jen vypočítat kapacitu vstupního kondenzátoru C_1 a výstupního kondenzátoru C_3, ostatní hodnoty jsou dány výrobcem a jsou uvedeny v seznamu součástek, kde ovšem číslování odpovídá číslování ve schématu. Pro kondenzátor C_1 platí vztah (15) z [12]:

$$C_1 = \frac{\Delta i}{8 \cdot f \cdot \Delta U_{IN}}, \tag{15}$$

kde C_1 [F] je vstupní kapacita, ΔU_{IN} [V] je zvlnění vstupního napětí, význam ostatních veličin je uveden za vztahem (14). Pro zvlnění 5 mV vychází kapacita vstupního kondenzátoru 6,4 µF. Zvolen byl keramický kondenzátor s kapacitou 10µF a dielektrikem XR5. Pro výstupní kondenzátor C_3 platí vztah (16) z [12]:

$$C_3 = \frac{D \cdot I_{OUT}}{f \cdot \Delta U_{OUT}}, \tag{16}$$

kde C_3 [F] je výstupní kapacita, ΔU_{OUT} [V] je zvlnění výstupního napětí, význam ostatních veličin je uveden u (11) a (14). Pro zvlnění výstupního napětí 25 mV vychází kapacita výstupního kondenzátoru 10,8 µF. Zvolen byl keramický kondenzátor 10µF s dielektrikem X7R.

Ztrátový výkon, který je třeba chladit, aby nedošlo k poškození měniče, lze určit podle vztahu (17) z[12]:

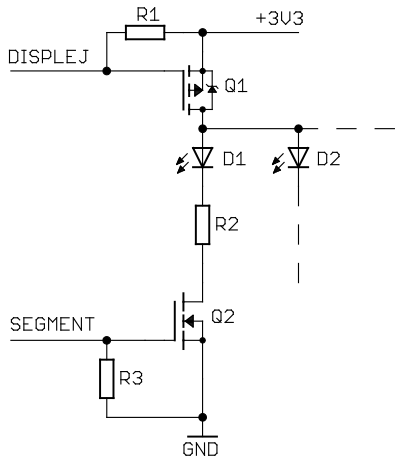
$$P_D = U_{AUX} \cdot I_{OUT} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) + I_{OUT}^2 \cdot r_{USB}, \tag{17}$$

kde P_D [W] je ztrátový výkon, r_{USB} [Ω] je odpor spínače v sepnutém stavu max. 80 mΩ, význam ostatních veličin je popsán ve vztahu (11). Po dosazení je pro účinnost 90% ztrátový výkon roven 370 mW. Tento výkon bude bez problému uchlazen zemní plochou mědi. Převod tepla z pouzdra na spodní stranu desky zajišťují prokovy.

Řízení integrovaného elektronického spínače je prováděno pomocí vstupu ENUSB. Sepnutí nastane při zvýšení úrovně napětí na tomto vstupu nad 1V. Odpojení při poklesu pod 0,7V.

2.7 7 segmentový panel

Sedmi segmentový panel je složen z 6 sedmi-segmentových displejů, které jsou řízeny multiplexně. Řízení jasu bude implementováno v obslužném firmwaru. Byly vybrány displeje červené barvy s výrobním číslem SA08-11SRWA [14]. Konstantní proud jedním segmentem může být podle [14] až 30mA. Pro pulzní buzení se střídou 1:10 a šířkou pulzu 0,1ms až 155mA. Z multiplexního řízení vyplývá pro napájení každého z displejů střída 1/6. Proud jedním segmentem byl nastaven na 50 mA, při rozsvícení všech 7 symbolů včetně desetinné tečky je odebírán proud 400mA. Zapojení jednoho segmentu s naznačením dalších segmentů je na Obrázku 10.



Obrázek 10 Zapojení segmentů u sedmi segmentového displeje.

Signálem DISPLEJ je ovládán výběr displeje (1 až 6), signálem SEGMENT je ovládán segment na vybraném displeji, těchto signálu je celkem 8. Hodnoty rezistorů R_1 a R_3 jsou 10kΩ a slouží pro definování pracovního bodu tranzistorů při nedefinovaných úrovních řídícího napětí na výstupu mikrokontroléru. Tento stav může nastat na několik málo milisekund například po zapnutí zařízení.

Odpor rezistoru R_2 byl určen tak, aby proud jedním segmentem byl 50mA podle vztahu (18):

$$R_2 = \frac{U_{CC} - U_{DS1} - U_D - U_{DS2}}{I_D}, \tag{18}$$

kde U_{cc} [V] je napájecí napětí, U_{DS1} [V] je úbytek napětí na tranzistoru Q_1, U_D [V] úbytek napětí na diodě, U_{DS2} [V] je úbytek napětí na tranzistoru Q_2, I_D [A] je proud segmentem. U_D je podle [14] 2,6V, U_{DS1} podle [15] 0,1V a U_{DS2} podle [16] také 0,1V. Po dosazení do (18) vychází odpor rezistoru R_2 roven 10Ω.

3 FIRMWAROVÉ A SOFTWAROVÉ ŘEŠENÍ

Program ovládající celé počítadlo je rozdělen do částí podle fyzického uspořádání jednotlivých prvků. První částí je knihovna, která slouží pro řízení a ovládání displeje. Druhá část je věnována programu pro VNC2 kontrolér a volbě komunikace s tímto kontrolérem. Ve třetí části je implementován protokol CANaerospace, který je používán pro dekódování zprávy a vyčtení počtu výstřelů ze zprávy. Poslední dvě části se zabývají komunikací s počítačem. Firmware je psán v jazyce C, software pro počítač pak v C#.

3.1 Inicializace MCU

Velké množství nastavení samotného mikrokontroléru se pro PIC32 provádí pomocí příkazu #pragma s následujícím jménem vlastnosti, kterou příkaz změní, rovnítkem a hodnotou. Pomocí těchto příkazů byl nastaven pracovní kmitočet CPU na 80 MHz a kmitočet periférií na 40 MHz. USB jednotka pracuje na kmitočtu 48 MHz. A povolen zápis do paměti programu samotným programem.

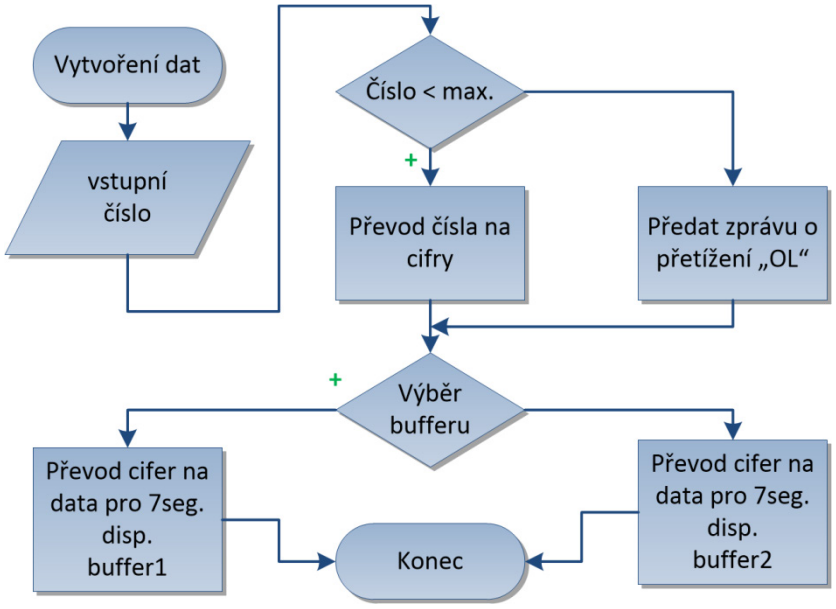
Na začátku main funkce je provedeno úvodní nastavení UART jednotky podle Tabulky 7 a další obvyklá nastavení portů a časovačů.

3.2 Ovládání displejů

Jednotlivé displeje celého panelu jsou řízeny multiplexně. Toto řízení spočívá v přepínání jednotlivých displejů po určitých krátkých časových intervalech. Přepínání je prováděno připojováním anod všech segmentů jednoho displeje k napájecímu napětí. Na začátku každého intervalu se přes tranzistory uzemní ty segmenty, které mají být rozsvíceny, a před koncem intervalu se opět odpojí, aby nedocházelo k prosvítání znaků mezi displeji. Funkce pro ovládání jsou umístěny v knihovně pod názvem DisplayControl.h.

3.2.1 Převod čísla na data pro displej

Před zobrazováním dat na displej je nejprve nutné sestavit data a umístit je do příslušné paměti, odkud pak budou čteny při zobrazování. Sestavení dat se skládá z převodu celého čísla na jednotlivé cifry a převodu cifer na data pro jeden displej. Pro data určená k zobrazení na displeji byly definovány 2 buffery, aby nedocházelo při vytváření nových dat ke změně právě zobrazovaných. Po dokončení vytváření je zobrazování přepnuto na nová data. Graficky v blocích je postup zobrazen na Obrázku 11.



Obrázek 11 Blokový vývojový diagram tvorby dat pro displej.

3.2.2 Přepínaní displejů

Přepínaní jednotlivých displejů musí být dostatečně rychlé, tak aby kmitočet blikání jednoho displeje byl i za horšího okolního osvětlení a maximálním jasu větší než kritický kmitočet blikání. Minimální hodnota kritického kmitočtu blikání za dobrých okolních podmínek se pohybuje okolo 60 Hz. Dostatečný výkon mikrokontroléru dovoluje tento kmitočet bez problému splnit i s dostatečnou rezervou. Kmitočet blikání každého displeje tak dosahuje hodnot přibližně 350 Hz. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.7, maximální střída ovládacího signálu na jednom displeji je 1/6. Pro t_{ON} pak platí (19)

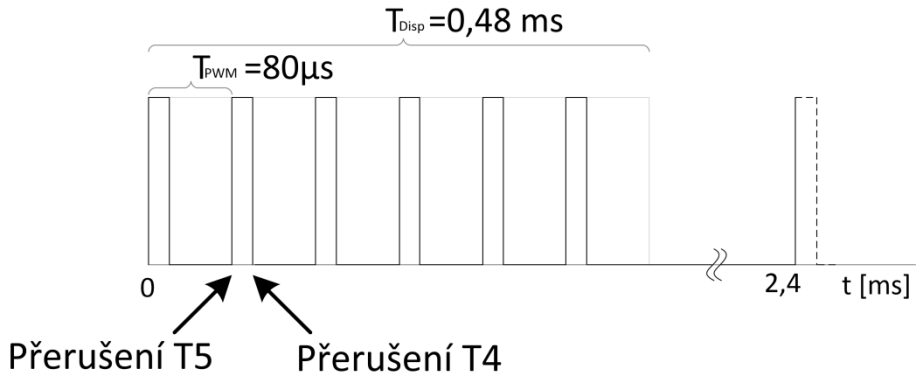
$$t_{ON} = \frac{1 * T_{Disp}}{6} = \frac{1}{6 * 350} \approx 0{,}48ms\,, \tag{19}$$

kde t_{ON} [s] je čas, kdy displej svítí, T_{Disp} [s] je perioda blikání. Změna displejů pak musí probíhat každých 0,48 ms.

Přepínání displejů je ovládáno v přerušení časovače 5. V přerušení se také vyčítají data z paměti a posílají na port ovládající segmenty.

3.2.3 Řízení jasu

Řízení jasu displejů v počítadle je založeno na pulzní šířkové modulaci PWM. Princip ovládání jasu je naznačen na Obrázku 12. Displej je ovládán pouze 0,48 ms, poté je ovládán další displej.



Obrázek 12 Časový průběh řídicího signálu jednoho displeje.

Do každé periody blikání displeje (0,48 ms) je vloženo 6 pulzu, u kterých se mění šířka pulzu v závislosti na požadovaném jasu. Za účelem řízení jasu je nutné upravit přepínání displejů, tak aby docházelo k přerušení čítače 5 každých 80µs. Při tomto přerušení je resetován časovač 4, připojen displej k napájení a spuštěn časovač 4. Po uplynuté době nastavené požadovaným jasem, přerušení časovače 4 odpojí displej od napájení a zastaví čítání. Nastavením periody časovače 4 na hodnotu 1500, již nestihne časovač 4 vyvolat přerušení před přerušením časovače 5 a průběh bude odpovídat průběhu bez modulace, maximálnímu jasu.

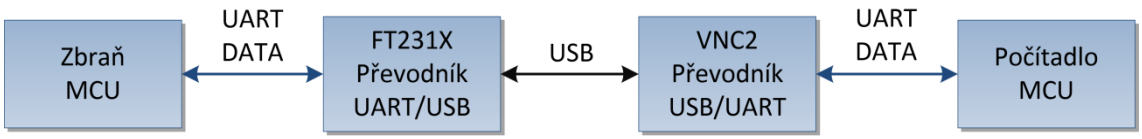
3.2.4 Uložení nastaveného jasu

Použitý mikrokontrolér [9] neobsahuje paměť typu EEPROM, kde zůstávají data uloženy i po odpojení napájení. Mikrokontrolér avšak umožnuje zápis do programové paměti typu flash. Nevýhodou tohoto přístupu je možné přepsání programu ukládanými daty a také přibližně o řád menší počet zapisovacích cyklů, který se pohybuje okolo 10 000 zápisů, než pro paměť EEPROM. První nevýhodu lze zcela vyloučit a druhou nevýhodu částečně vylepšit použitím knihovny EEPROM Emulation Library [17], která vytvoří zdánlivou EEPROM data paměť o velikosti 680x32 bitových slov a umožní používat jednoduché funkce pro zápis a čtení dat z flash paměti. Do této paměti jsou tedy ukládána data, která mají být uchována i po odpojení napájení, mezi ně patří i jas.

3.3 VNC2 firmware

Vincullum 2 kontrolér osazený v použitém vývojovém modulu může být naprogramován z pohledu USB topologie jako host nebo zařízení (device). Programovaní kontroléru v jazyce C s použitím předkompilovaných knihoven a ovladačů je možné ve volně dostupném vývojovém prostředí Vinculum II IDE [18]. Pro základní funkce není nutné psát celý firmware od začátku, jelikož lze velké množství předpřipravených firmwarů stáhnout z databáze přímo ze stránek FTDI [19].

Pro komunikaci s VNC2 bude z důvodu jednoduchosti a zachování souměrného komunikačního systému použito rozhraní UART. Stažený firmware k této situaci ovšem vyžaduje určité úpravy. Obrázek 13 znázorňuje blokové schéma komunikačního kanálu.



Obrázek 13 Blokové schéma komunikačního kanálu zbraň – počítadlo.

VNC2 kontrolér pracuje se staženým firmwarem s názvem UART to FT232 Host Sample Application ROM ve funkci jednoduchého mostu mezi rozhraním USB a UART. Přijdou-li na USB vstup VNC2 kontroléru nějaká data převodním je zpracuje a odešle do počítadla pomocí sériové komunikace do jednotky UART. Popsané chování je velmi výhodné, neboť data jsou posílány po jednotlivých bytech a do počítadla také dorazí jako jeden byte, není tak potřebné data žádným způsobem upravovat.

První důležitou úpravou po otevření staženého projetu je překonfigurovat nastavení projektu. Konfigurační nastavení lze vyvolat tlačítkem Modify v záložce File. Cílovým zařízením, kam bude firmware nahrán je modul V2DIP1 s 32 vývody. Druhou změnou potřebnou pro práci USB portu osazeném na modulu je výměna hardwarového ovladače z USBHost 1 na USBHost 2 a vrstvového ovladače USBHost FT232 z USBHost 1 také na USBHost 2. Tyto změny jsou nezbytné, jelikož USB-A port na modulu, kam bude připojována zbraň, je připojen k vývodům pro port 2. Volitelnou možností je pak mapování a konfigurace GPIO portů pro komunikační a informační signály. Změny portů nebudou provedeny v kódu automaticky a pro úspěšnou kompilaci je zapotřebí změnit USBHOST_1 na USBHOST_2 v souboru FT232Uart.c.

Předchozí změny umožnily správnou funkci modulu, zatím však ještě po připojení zbraně k modulu nedojde ke konfiguraci USB hosta v závislosti na konfiguračních datech z připojené zbraně a nedochází tedy k přenosu uživatelských dat. Je to způsobeno rozdílným Product ID podle kterého firmware realizující USB host ve VNC2 modulu posuzuje, zda je připojené zařízení, pro které je nahrán firmware. Ve skutečnosti se posuzuje Vendor ID a Product ID, kdy Vendor-ID tvoří 16 bitový kód výrobce, který mají všechny zařízení společnosti FTDI stejný, a Product ID vyjadřuje 16 bitový kód produktu, jeho hodnotu určuje výrobce. Příklad změny Product ID je naznačeno v následující ukázce kódu ze souboru FT232Uart.c.

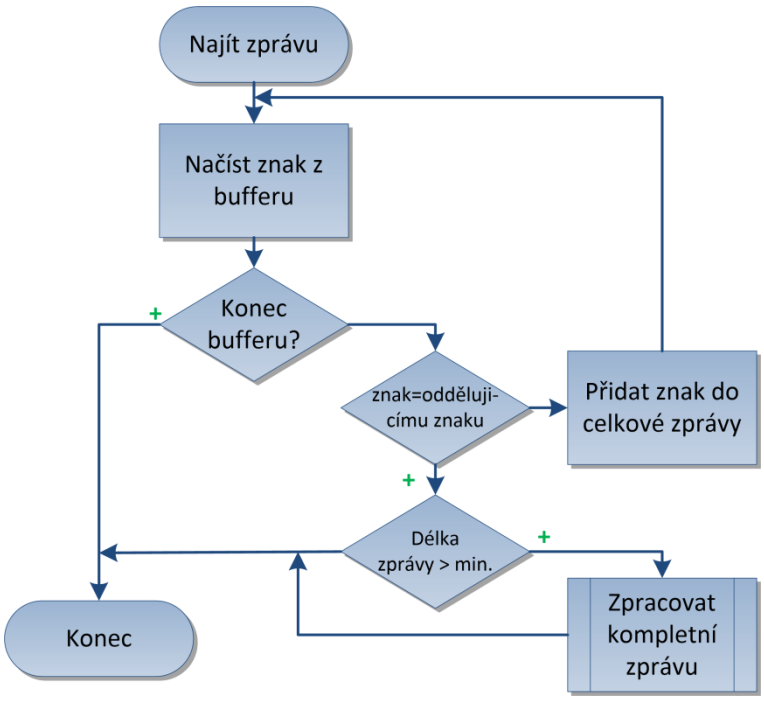
```
//najít zařízení typu FT232(231X)(find FT232 class device)
      hc_iocb_vendor.vid = USB_VID_FTDI;
      // hc_iocb_vendor.pid = USB_PID_FTDI_FT232;
      hc_iocb_vendor.pid = USB_PID_FTDI_FT_X_SERIES;
```

Nyní už stačí pouze v hlavičce nastavit parametry sériové komunikace podle Tabulky 7 a to obou částí, ze zbraně do FT231X převodníku tak i z VNC2 do počítadla.

3.4 Implementace upraveného protokolu CANaerospace

3.4.1 Příchozí zprávy

Data po sériové lince přicházejí po jednotlivých bytech, zatím co zpráva poslaná zbraní obsahuje minimálně 14 bytů, pokud nejsou přítomna data a 22 bytů s daty, viz Obrázek 6. Zpracování zpráv je více efektivní, pokud jsou zpracovávány celé zprávy. Na základě upravených funkcí [1] jsou příchozí byty ukládány do kruhového bufferu o délce 1024 bytů. Ukládání zajišťuje krátká funkce spouštěná v přerušení od jednotky UART na nově příchozí byte. Procesor je zatížen vykonáváním přerušení pouze krátkou dobu a tak se velmi rychle umožní přerušení od jiných zdrojů. Uložená data jsou pak v pravidelných intervalech procházena funkcí, která vyhledá a následně dekóduje kompletní zprávy. Vývojový diagram vyhledávající funkce je nakreslen na Obrázku 14. Konec bufferu znamená, že vyčítání dorazilo na konec zapisovaných příchozích dat. Pokud je vyčítání přerušeno tímto způsobem v polovině zprávy, bude nekompletní zpráva doplněna příchozími daty při příštím volání vyhledávající funkce.

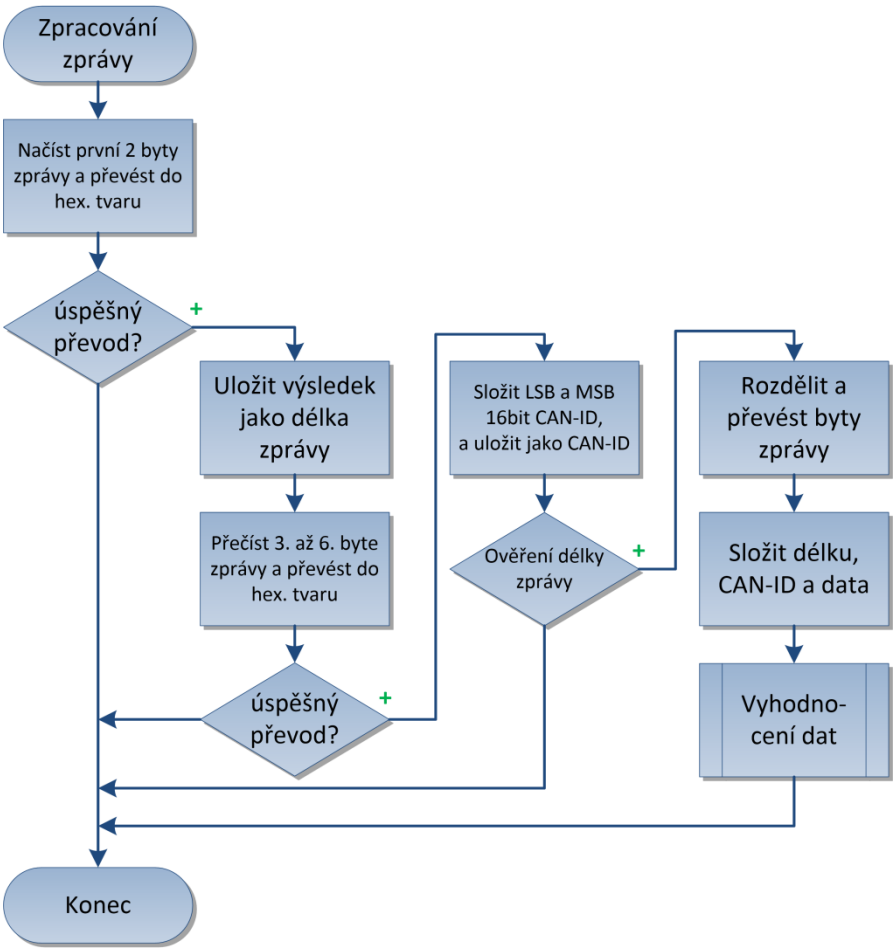


Obrázek 14 Vývojový diagram vyhledávající funkce CANaerospace zprávy.

Algoritmus pro zpracování dat je odvozen z principu uvedeného v podkapitole 1.4. Nejprve jsou jednotlivé přijaté byty převedeny z ASCII formátu na číslo, následuje spojení více významného nibblu a méně významného nibblu do bytu, případně další MSB a LSB do 16 bitového čísla. Poté je uložena celková délka zprávy, složeno a poděleno 32 CAN-ID. Celková délka se porovná se skutečnou délkou zprávy, a pokud si délky odpovídají, jsou rozděleny jednotlivé byty zprávy do jednorozměrného pole. Vývojový diagram pro zpracování zprávy je zobrazen na Obrázku 15.

Při zpracování se nejprve porovná CAN-ID pro identifikaci typu zprávy. Pokud je tedy cílem zachytit cyklicky vysílané zprávy s počtem výstřelů, stačí porovnávat CAN-

ID a sestavit data zprávy. Takto jednoduché vyčítaní ovšem platí pouze pro tento případ, neboť pro zobrazení počtu výstřelů není důležité, z jaké zbraně data pocházejí, Node-ID tak není třeba číst. Mezi nedůležitá data patří také datový typ dat ve zprávě, počítadlo jej již zná. Třetí byte obsahuje pro tento typ zpráv 0 a čtvrtý byte představuje kontrolu, kdy se s každou vyslanou zprávou zvýší o 1, jak je definováno v protokolu. Mezi cyklickými zprávami se však nevysílá pouze počet výstřelů, proto se bude hodnota čtvrtého bytů dvou po sobě následujících zachycených zpráv lišit o více než 1. A proto nemá ani tato hodnota účelné použití. Prohledávat hlavičku zprávy proto není v uvedeném případě nutné.



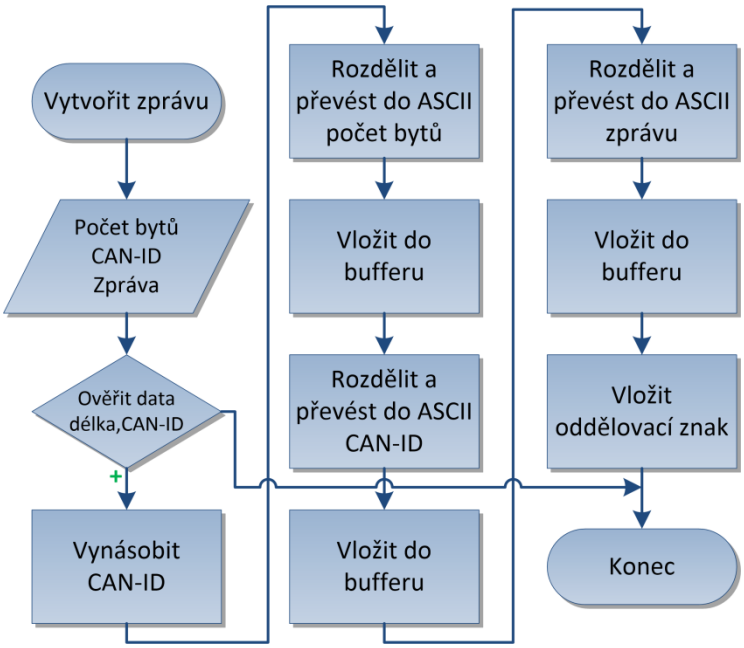
Obrázek 15 Vývojový diagram zpracování přijaté zprávy ze zbraně.

Naopak při zjišťování počtu výstřelů pomocí služby RCRS, je vhodné přečíst hlavičku a ověřit pomocí čísla služby a čísla registru, zda zpráva obsahuje celkový počet výstřelů.

3.4.2 Odchozí zprávy

Zprávy odesílané z počítadla do zbraně se používají pouze pro dotazy služeb. Zbraň zpracuje přijatou zprávu podobným způsobem jako počítadlo, provede operace spojené s odpovědí, například vyčte hodnotu registru, a odešle odpověď.

Pro vytvořenou zprávu je opět použit kruhový buffer, který se během vytváření zprávy postupně plní. Po naplnění bufferu začnou nově vytvořené hodnoty přepisovat ty staré na začátku bufferu. Plnění bufferu je znázorněno vývojovým diagramem na Obrázku 16.



Obrázek 16 Vytvoření zprávy pro komunikaci se zbraní.

Odesílaní hodnot z bufferu se provádí v pravidelných časových okamžicích. Před odeslání funkce zkontroluje, jestli jsou v bufferu nová neodeslaná data, pokud ano ověří se, zda je jednotka UART připravena k odesílání. Pozitivní odpověď vede k odeslání jednoho bytu a posunutí ukazatele na další znak, negativní odpověď přeruší proceduru odesílaní a nový pokus o odeslání se bude opakovat při příštím volání funkce. Tento postup se provádí tak dlouho, dokud nejsou odeslána všechna data.

3.5 USB zařízení

Komunikaci s počítačem zajišťuje periférie USB OTG v režimu zařízení. Softwarovou část pro činnost USB poskytuje vygenerovaný kód pomocí nástroje MPLAB Harmony [20]. Jedná se o modul k vývojovému prostředí MPLAB X IDE a obsahuje již hotové ukázky různých projektů. Licence umožňuje kód změnit, použít i šířit s omezením na mikrokontroléry společnosti Microchip Technology Inc.

3.5.1 Komunikační třída HID

Pro komunikaci s počítačem byla vybrána USB třída HID (Human Interface Devices). Tato třída byla jedna z prvních tříd podporovaných systémem Windows. Mezi výhody této třídy patří podpora ovladačů samotným systémem a proto nejsou potřeba žádné dodatečné ovladače pro komunikaci se zařízením. Jak vyplývá z názvu, tato třída se používá hlavně v zařízeních, které mají přímé spojení s člověkem. Mezi hlavní

představitele těchto zařízení patří myš, klávesnice joysticky a další [21]. Fyzické spojení zařízení s člověkem však není podmínkou pro třídu HID a může být používána všude tam, kde je vyhověno jejím omezením. Mezi hlavní vlastnosti a omezení této třídy patří [21]:

- Data jsou přenášena pomocí takzvaných hlášení, formát těchto hlášení je velmi otevřený a je definováno velké množství typů dat, jednotek a rozsahů. Mezi specifikacemi lze nalézt například použití dat pro simulaci létajícího koberce [22].
- Zařízení musí obsahovat interrupt IN endpoint, což lze chápat jako typ bufferu pro data která mají být odeslána do počítače. Klíčové slovo interrupt (přerušení) má podobné vlastnosti jako přerušení mikrokontroléru. Pokud například uživatel pohne myší, je vyžadována reakce pohnutí šipky, během nečinnosti není vyžadována žádná reakce. Data s nízkou odezvou tedy nejsou přenášena po celou dobu spojení, ale pouze v případě potřeby. Ve skutečnosti zahajuje komunikaci vždy host nejčastěji počítač, proto datovými vodiči procházejí v krátkých časových intervalech krátké zprávy dat tzv. pakety, které se dotazují cílového zařízení na nová data.
- Maximálně jeden IN a jeden OUT endpoint, buffery pro komunikaci oběma směry na jedno HID zařízení.
- Omezená přenosová rychlost pro zařízení s nízkou rychlostí 800 Bytů/s, zařízení s plnou rychlostí 64kBytů/s.

Pro komunikační účely počítadla a počítače stačí pouze přenášet několik málo bytů pro změnu nastavení vlastností komunikačního protokolu a jasu a dalších nastavení, periférie USB OTG v počítadle umožnuje vytvořit interrupt IN i OUT endpoint a podporuje plnou rychlost, proto není problém tuto třídu použít.

Nastavení, konfigurace zařízení a výběr třídy, ve které bude zařízení pracovat, se provádí změnou popisovačů (Descriptors). Jde o soubor čísel uložených v paměti zařízení, kdy jejich význam závisí na pořadí od začátku. Po připojení zařízení jsou tyto popisovače přečteny a na jejich základě je nakonfigurováno spojení. V USB je definováno více popisovačů, mezí hlavní použité pro HID patří[21]: popisovač zařízení (Device Descriptor), konfigurační popisovač (Configuration Descriptor), popisovač rozhraní (Interface Descriptor), HID popisovač (HID descriptor), popisovač bufferu ve směru do počítače (IN Interrupt Endpoint Descriptor), popisovač bufferu ve směru z počítače (OUT Interrupt Endpoint Descriptor) a nakonec popisovač hlášení (Report Descriptor).

3.5.2 Ovládací firmware

Základem USB komunikace v počítadle je ukázka již hotového projektu v rámci MPLAB Harmony, který slouží pro napodobení klávesnice. V projektu byly nejprve upraveny popisovače, aby nedocházelo k neočekávanému chování např. psaní textu během přenosu dat.

Mezi hlavní změny nastavení v popisovači zařízení patří Vendor-ID a Product-ID, tyto 2 čísla slouží pro identifikaci zařízení. Vendor-ID je pro komerční využití nutno zakoupit od USB-IF a Product-ID si volí výrobce podle potřeb. Pro nekomerční využití lze zvolit obě 16 bitová čísla libovolně. Jedinou podmínkou je zajištění odlišnosti těchto

čísel od ostatních připojených zařízení, aby se předešlo případnému konfliktu. Pro počítadlo bylo zvoleno Vendor-ID 0x1234 a Product-ID 0x0005. Součástí tohoto popisovače jsou také textové popisovače, kde byl změněn název zařízení.

Další změnou popisovače hlášení se docílí stavu, kdy Windows nezačleňuje zařízení jako klávesnici, ale jako zařízení standardu HID. Příklad popisovače hlášení v jazyce C.

```
const uint8_t hid_rpt0[] =
{
    0x06, 0x00, 0xFF,   // USAGE_PAGE, Obecnejsi pouziti (definovaná
    0x09, 0x01,         // USAGE, Pouziti (definovane vyrobcem)
    0xa1, 0x01,         // COLLECTION, Kolekce (aplikační)

        0x09, 0x03,     // Pouziti dat (definovane vyrobcem)
        0x15, 0x00,     // Logicke minimum (0)
        0x25, 0x7F,     // Logické maximum (127)
        0x75, 0x08,     // Velikost hlaseni (8 bitu)
        0x95, 0x08,     // Pocet hlášení (8), celkem 64 bitů
        0x81, 0x02,     // INPUT (Data,Var,Abs) smerem do PC

        0x09, 0x04,     // Pouziti dat (definovane vyrobcem)
        0x15, 0x00,     // Logicke minimum (0)
        0x25, 0x7f,     // Logické maximum (127)
        0x95, 0x03,     // Pocet hlášení (3)
        0x75, 0x08,     // Velikost hlaseni (8 bitu)
        0x91, 0x02,     // OUTPUT (Data,Var,Abs)

    0xc0        // End Collection, Konec kolekce

};
```

Se změnami v popisovači hlášení je nutné provést změnu v HID popisovači na pozici celkové velikosti popisovače hlášení. Položky logické maximum, minimum jsou pouze informativní a jsou užitečné pro neznámý software, který podle se podle těchto hodnot dozví, jaké hodnoty může očekávat. Software pro ovládání počítadla má vlastní hodnoty definované v jeho kódu. Ostatní položky popisovačů nebyly změněny.

Další změny programu se týkají odstranění nepotřebných částí související s ovládáním klávesnice, zvýšení počtu bytů pro odeslání a nastavení pracovního kmitočtu.

Veškerou komunikaci pak zajišťuje MPLAB Harmony modul, jehož funkce jsou volány v hlavní smyčce programu. Přijatá zpráva z počítače vyvolá hardwarové nastavení příznaku a přesun dat z OUT endpointu do pole proměnných, odkud lze již standardně k datům přistupovat. Naopak odeslaní dat do počítače zajišťuje funkce, mezi jejíž parametry patří pole hodnot a velikost pole. Po zavolání této funkce jsou data přenesena do IN endpointu a následně poslána do počítače.

Počet bytů z pohledu počítadla je roven v přijaté zprávě 3 a v odeslané 8, velikosti odpovídají popisovači hlášení. Zprávy pro nastavení počítadla jsou tedy tvořeny 3 byty, kdy třetí byte zprávy slouží pro identifikaci příkazu, první a druhý byte pro data. Algoritmus pro zpracování příchozí zprávy nejprve porovná třetí byte a zjistí, jaké nastavení je třeba změnit a následně předá přijatá data do příslušných funkcí. Jsou-li pro data použity 2 byty, proběhne před voláním funkce sloučení bytů do jednoho čísla.

Druhý byte zprávy odpovídá MSB a první byte jako LSB. Nakonec jsou pro ověření odeslána přijatá data zpět do počítače, identifikátor příkazu je nyní odesílán v osmém bytu. Data ve zprávě zůstávají na stejných pozicích.

Počítadlo posílá zprávy do počítače pouze na základě přijatého příkazu. Odeslání tedy nastane buď při výše zmíněném ověření, nebo při přijetí příkazu požadující data. V Tabulce 8 jsou uvedeny možné příkazy pro nastavení a čtení dat z počítadla.

Tabulka 8 Příkazy pro ovládání počítadla

Číslo příkazu	Popis příkazu	Data
1	Nastavení jasu displeje	1 byte
2	Uložení nastavení jasu	1 byte
3	Uložení a nastavení CAN-ID	2 byty
4	Uložení a nastavení Node-ID	1 byte
5	Přepínání módu vyčítaní výstřelů	1 byte
9	Odpojit/připojit napájení VNC2 modulu	1 byte
11	Přečíst nastavení jasu z paměti	1 byte
13	Přečíst CAN-ID z paměti	2 byty
14	Přečíst Node-ID z paměti	1 byte
15	Přečíst aktuální mód vyčítaní výstřelů	1 byte

3.6 PC software

Program pro ovládání počítadla vychází z ukázky programu spojené s [21][23]. Licence dovoluje všem uživatelům používat spouštět a měnit zdrojový kód této ukázky. Program využívá .NET Framework 4.5, z čehož vyplývá omezení na operační systémy Windows Vista a novější a požadavek instalace .NET Framework 4.5. Rozhraní je však součástí volitelných aktualizací systému Windows nebo je obsaženo přímo v instalační kopii.

Pro komunikaci s USB zařízení je využíváno Windows API funkcí, pro detekci připojení a odpojení WMI modulu.

Provedené změny pro potřeby aplikace ovládající počítadlo se nejvíce týkaly grafického prostředí. Z kódu byly odstraněny nepotřebné části a upraveny některé části funkcí. Mezi nejvýznamnější úpravy patří přidání příkazu pro odeslání a odstranění dat z bufferu pro odesílání dat, bez této úpravy nedocházelo ke spolehlivému odeslání.

Odesílání a přijímání dat je spouštěno v samostatných vláknech oddělených od hlavního vlákna programu, aby nedocházelo problémům a nechtěnému chování hlavního okna. Pro odeslání stačí zavolat funkci, které se předají 3 byty dat. Význam bytů je popsán v předchozí podkapitole. Každý ovládací prvek ve formuláři, nejčastěji tlačítko, odesílá při stisku jinou hodnotu třetího bytu, a tím identifikuje, jaké nastavení právě ovládá.

Po odeslání dat je zavolána funkce, která čeká ve vlastním vlákně na příchozí data. Jakmile data dorazí do počítače, jsou funkcí vyčteny a zpracovány podobným způsobem jako v počítadle. Z příchozích 8 bytů je nejprve rozhodnuto podle osmého bytu o jaký typ dat se jedná např. jas displeje nebo CAN-ID a následně jsou zpracována data. Výstup se pak zobrazí jako hodnota na příslušném místě v ovládacím okně programu.

4 ZÁVĚR

V práci byl popsán celkový postup návrhu zapojení pro počítadlo výstřelů. Počítadlo pracuje v rozsahu vstupních napětí 4 až 56V. Do USB portu je schopno dodat 500mA. Zobrazení počtu výstřelů využívá šesti sedmi segmentových displejů, kdy je každý segment displeje při maximálním jasu řízen střídou 1/6 při šířce pulzu 0,48ms a napájen proudem 50mA. Dále byla v práci popsána a rozkreslena komunikace pomocí protokolu CANaerospace, zaměřená zejména na tvorbu a dekódování zprávy. Součástí práce je také popis zkoušek, které se provádějí na zbraních a popis elektrické stavby testovací zbraně ve srovnání s reálnou zbraní bez elektroniky.

Počítadlo bylo naprogramováno pro podporu dvou způsobů vyčítání výstřelů, kdy způsob je možné nastavit pomocí přiloženého softwaru pro systém Windows. Spolu s nastavením módu vyčítání je také možné nastavit kanál, na kterém jsou posílány cyklické zprávy anebo, na kterém bude probíhat komunikace pomocí služeb. Dále je možné nastavit adresu zbraně (Node-ID) se kterou bude komunikováno v režimu služeb. Po vizuální stránce počítadlo dovoluje měnit jas displejů v deseti krocích.

Během zátěžového testu, kdy byl nastaven maximální jas displeje, a byla nabíjena baterie zbraně, bylo změřeno zvlnění napětí o frekvenci minimálně 6 kHz (při frekvenci spínání 500kHz) na výstupu vstupního měniče do 100 mV špička-špička při napájení z 6V malého zdroje. Pro kvalitnější zdroje vstupního napětí nebo vyšší hodnoty napětí lze očekávat menší zvlnění napětí o vyšší frekvenci. Během testu byly teploty pouzder obou zdrojů velmi blízké teplotě okolí. Teplota převyšující pokojovou teplotu byla zaznamenána pouze na pouzdře mikrokontroléru přibližně o 10° a na panelu displejů přibližně o 5°.

LITERATURA

[1] HUBÍK, Vladimír. SAAB CZECH S.R.O. Interní dokumenty. Slavkov u Brna, 2014. Dostupné z: www.saabczech.cz.

[2] LPC2106FBD48, Datasheet NXP [online]. 2014 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC2104_2105_2106.pdf.

[3] Portál FTDI Chip [online]. 2014 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: www.ftdichip.com/Products/ICs/FT231X.htmlStock

[4] LIS331DLH, Datasheet ST [online] 2014 [cit 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00213470.pdf.

[5] Flight Systems: CANaerospace specification - PDF datasheet. [online]. 2006 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: www.stockflightsystems.com/tl_files/downloads/canaerospace/canas_17.pdf.

[6] WEBENCH Designer. Texas Instruments [online]. 2014 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://webench.ti.com.

[7] LM46002, Datasheet Texas Instruments [online]. 2014 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm46002.pdf.

[8] SRR1260-150M, Datasheet Farnell [online]. 2014 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: www.farnell.com/datasheets/1430852.pdf.

[9] PIC32MX795F512H, Datasheet MICROCHIP [online]. 2014 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC32MX795F512H.

[10] Vinculum-II. *FTDI chip* [online]. 2012 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Products/ICs/VNC2.htm

[11] V2DIP1-32, Datasheet FTDI chip [online]. 2010 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS_V2DIP1-32.pdf

[12] TPS2500, Datasheet Texas Instruments [online]. 2014 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2500.pdf.

[13] VLP8040T-220M, Datasheet Farnell [online]. 2014 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: www.farnell.com/datasheets/1724254.pdf.

[14] SA08-11SRWA, Datasheet Farnell [online]. 2014 [cit 2015-05-08]. Dostupné z: www.farnell.com/datasheets/1864133.pdf.

[15] IRLML6401PBF, Datasheet IRF [online] 2014 [cit 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlml6401pbf.pdf.

[16] BSS138BK, Datasheet NXP [online] 2014 [cit 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BSS138BK.pdf.

[17] Data EEPROM Emulation for PIC18, PIC24, dsPIC, PIC32. *Microchip* [online]. 2008 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2680&dDocName=en538000

[18] Vinculum-II (VNC2) Development Tools. *Ftdi chip* [online]. 2011 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Firmware/VNC2tools.htm

[19] Precompiled Firmware. *Ftdichip* [online]. 2011 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Firmware/Precompiled.htm

[20] MPLAB Harmony. *Microchip* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/devtools/mplabharmony/home.html

[21] AXELSON, Jan. *USB complete: the developer's guide*. 4th ed. Madison, WI: Lakeview Research, 2009, xxiii, 504 p. ISBN 19-314-4808-6.

[22] HID Usage Tables. *USB Implementers'Forum* [online] 2004 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.usb.org/developers/hidpage/Hut1_12v2.pdf

[23] The HID Page. *Jan Axelson's Lakeview Research* [online]. 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://janaxelson.com/hidpage.htm

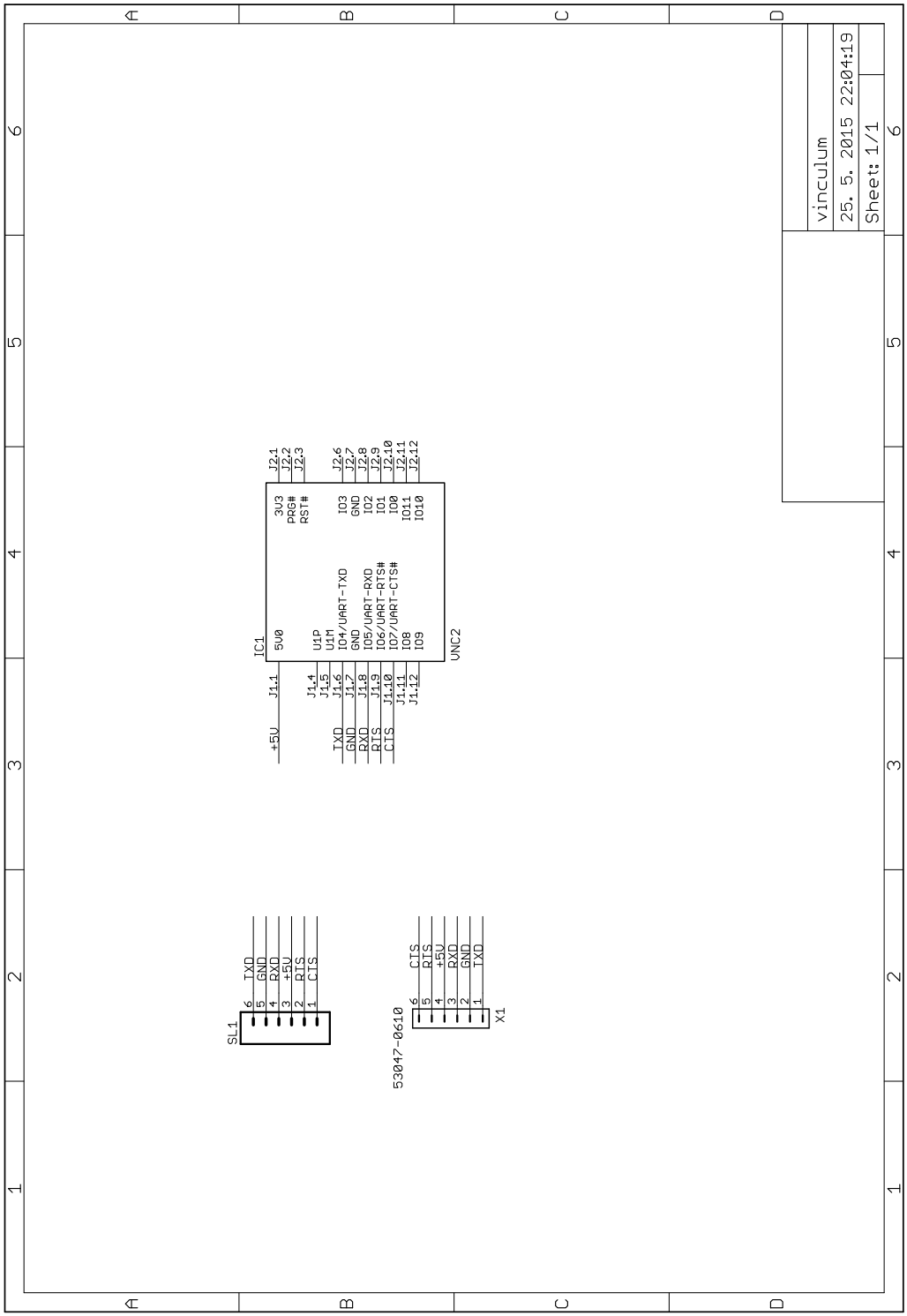
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

U	napětí
I	proud
R	odpor
C	kapacita
L	indukčnost
D	střída
f	frekvence
t	čas
T	perioda

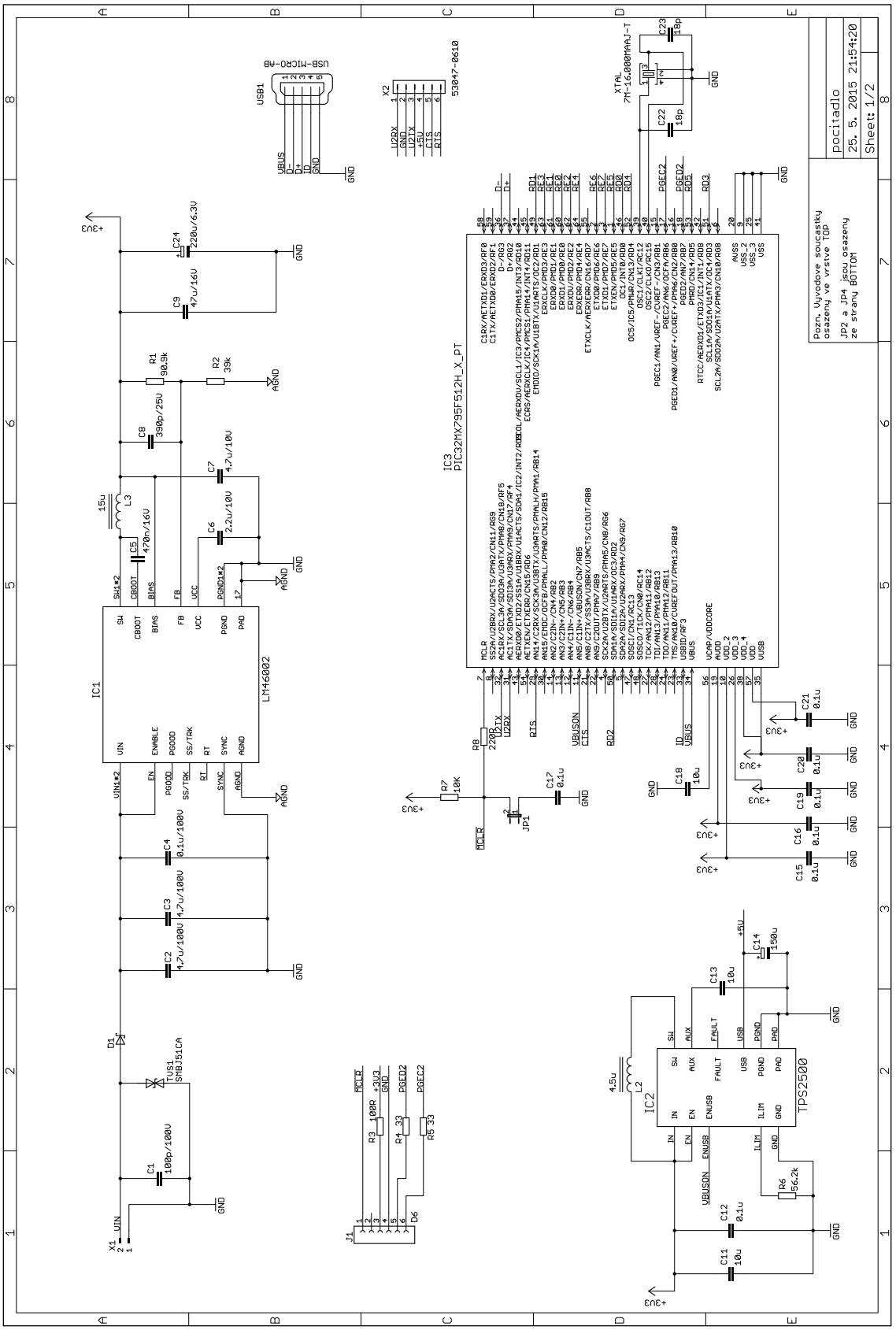
HW	Hardware.
SW	Software.
USB OTG	USB On-The-Go.
DC	Direct Curent, stejnosměrný proud.
TVS	Transient Voltage Suppression.
SAVIT	Small Arms Virtual Indoor Trainer.
PWM	Pulse width modulation, pulzní šířková modulace.
GPIO	Gerenal Purpose Input Output, vstupní a výstupní porty pro obecné použití.
MSB	Most Significant Byte, nejvíce významný byte.
LSB	Least Significant Byte, nejméně významný byte.
HID	Human Interface Devices.
USB-IF	Universal Serial Bus - Implementers Forum.

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

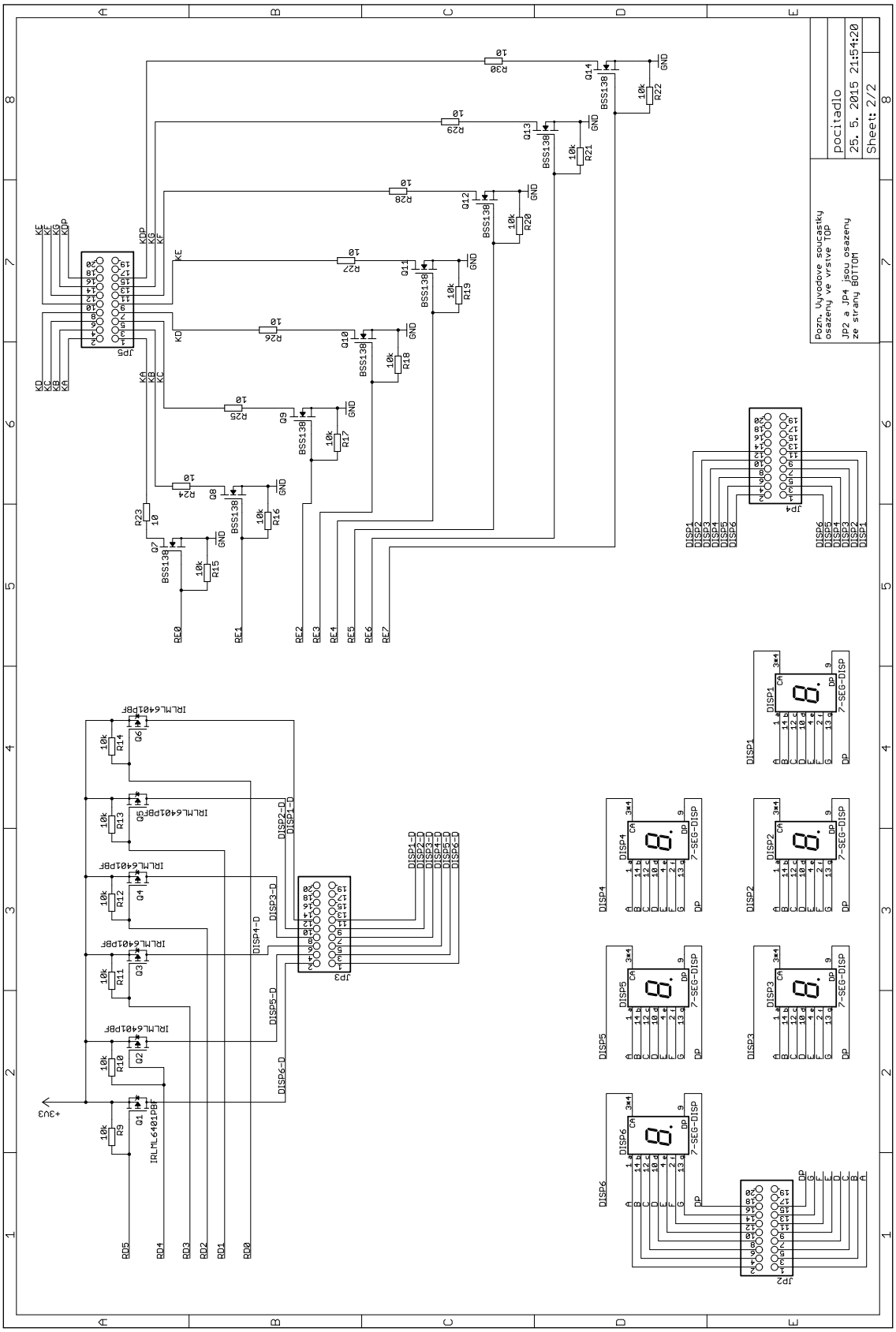
A.1 Obvodové zapojení destičky pro Vinculum 2 modul



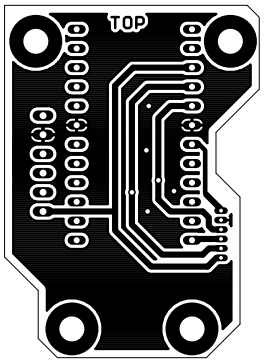
A.2 Obvodové zapojení základní desky počítadla



A.3 Obvodové zapojení LED panelu

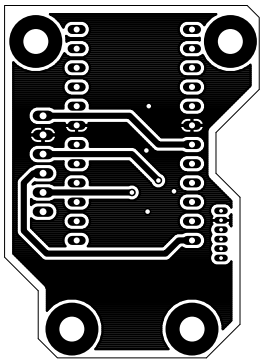


A.4 Deska plošného spoje destičky pro Vinculum 2 modul – top (strana součástek)



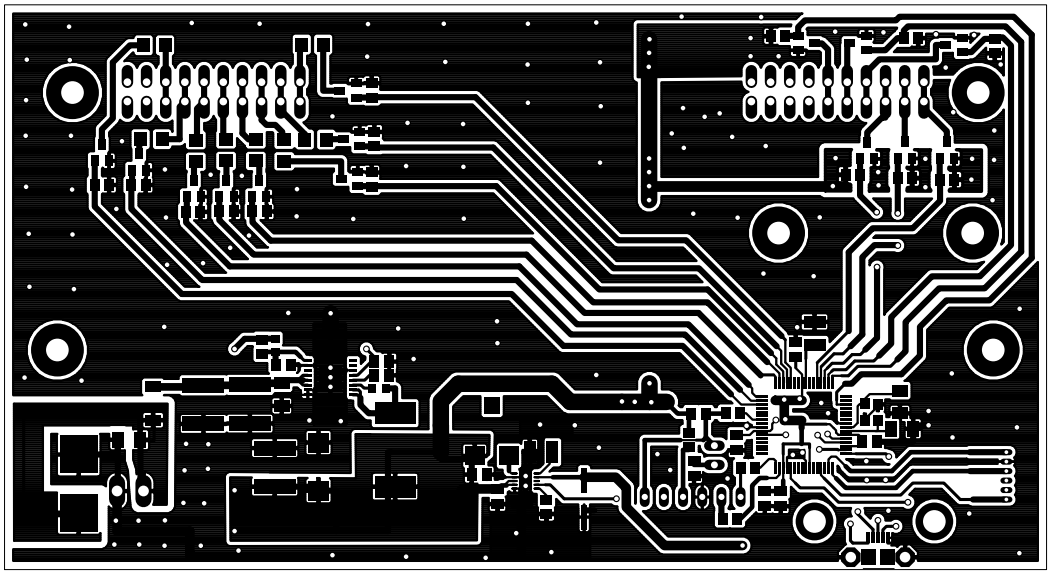
Rozměr desky 33,66 x 46,67 [mm], měřítko M1:1, není zrcadleno

A.5 Deska plošného spoje destičky pro Vinculum 2 modul – bottom (strana spojů, není zrcadleno)



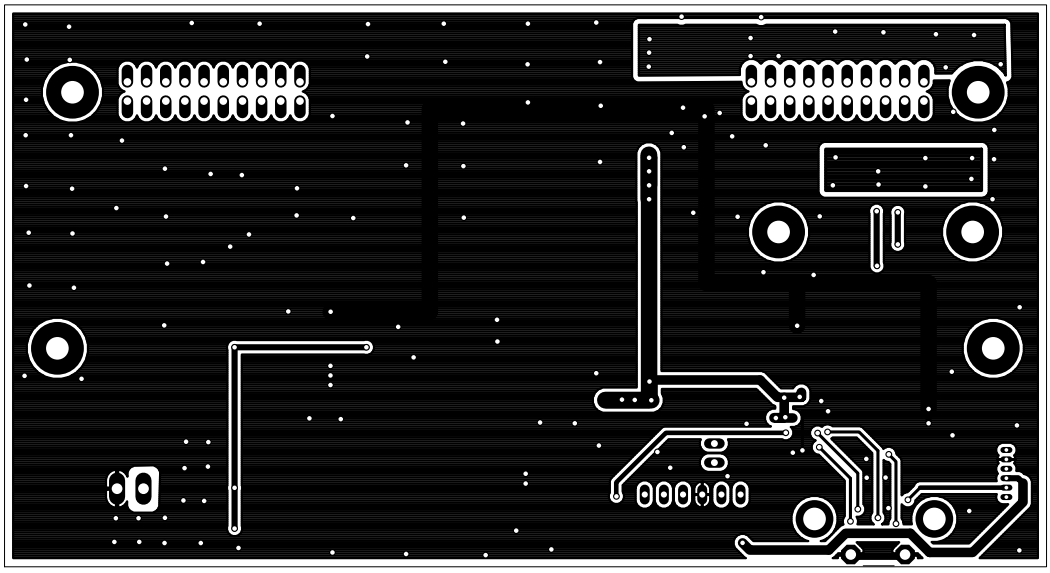
Rozměr desky 33,66 x 46,67 [mm], měřítko M1:1, není zrcadleno

A.6 Deska plošného spoje základní desky počítadla – top (strana součástek)



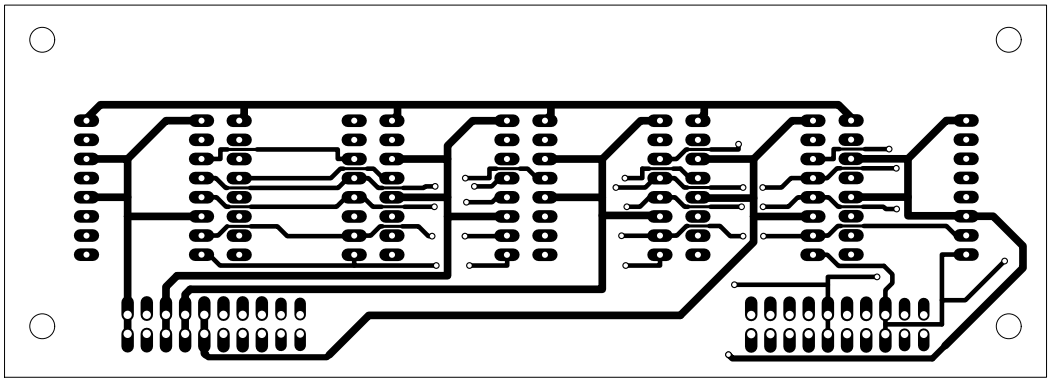
Rozměr desky 138,1 x 74,6 [mm], měřítko M1:1, není zrcadleno

A.7 Deska plošného spoje řídícího modulu – bottom (strana spojů)



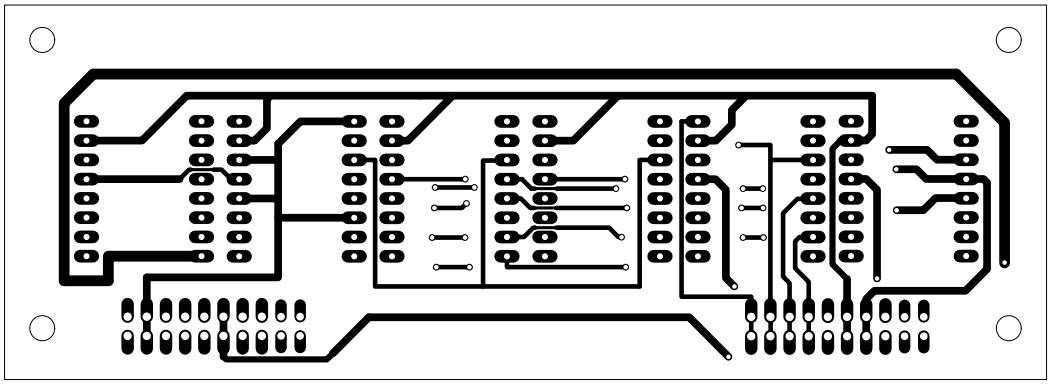
Rozměr desky 138,1 x 74,6 [mm], měřítko M1:1, není zrcadleno

A.8 Deska plošného spoje LED panelu – top (strana součástek)



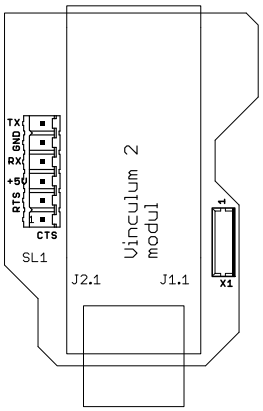
Rozměr desky 138,1 x 49,4 [mm], měřítko M1:1, není zrcadleno

A.9 Deska plošného spoje LED panelu – bottom (strana spojů)



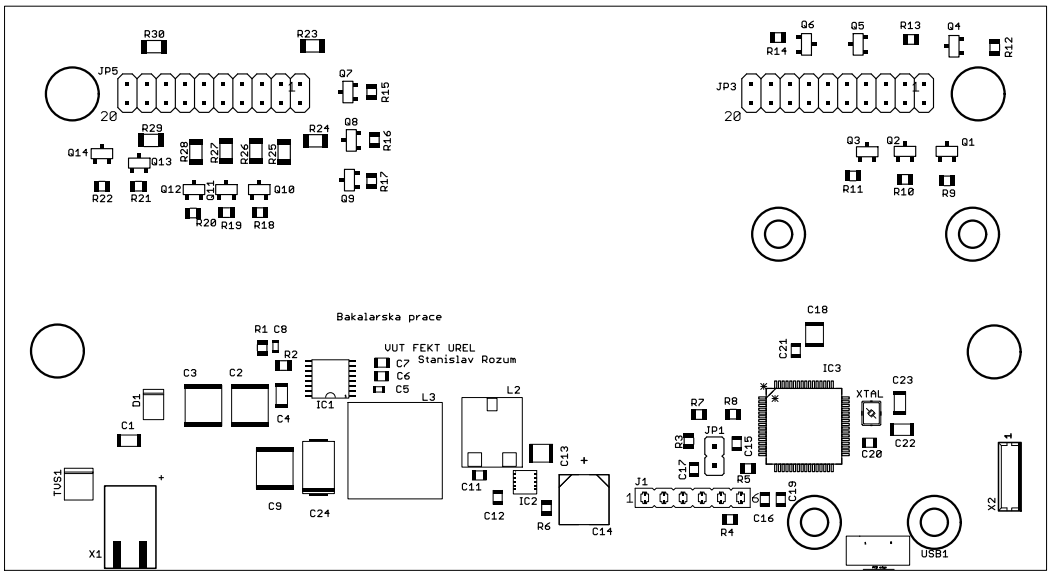
Rozměr desky 138,1 x 49,4 [mm], měřítko M1:1, není zrcadleno

A.10 Osazovací plán destičky pro Vinculum 2 modul



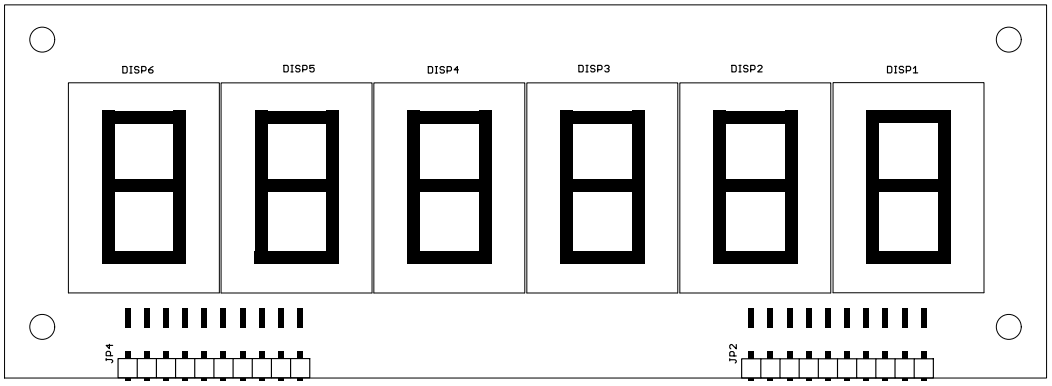
Vinculum 2 modul je možné osadit přímo na destičku nebo do dutinkové lišty.

A.11 Osazovací plán základní desky počítadla



Všechny součástky jsou osazeny ze strany TOP.

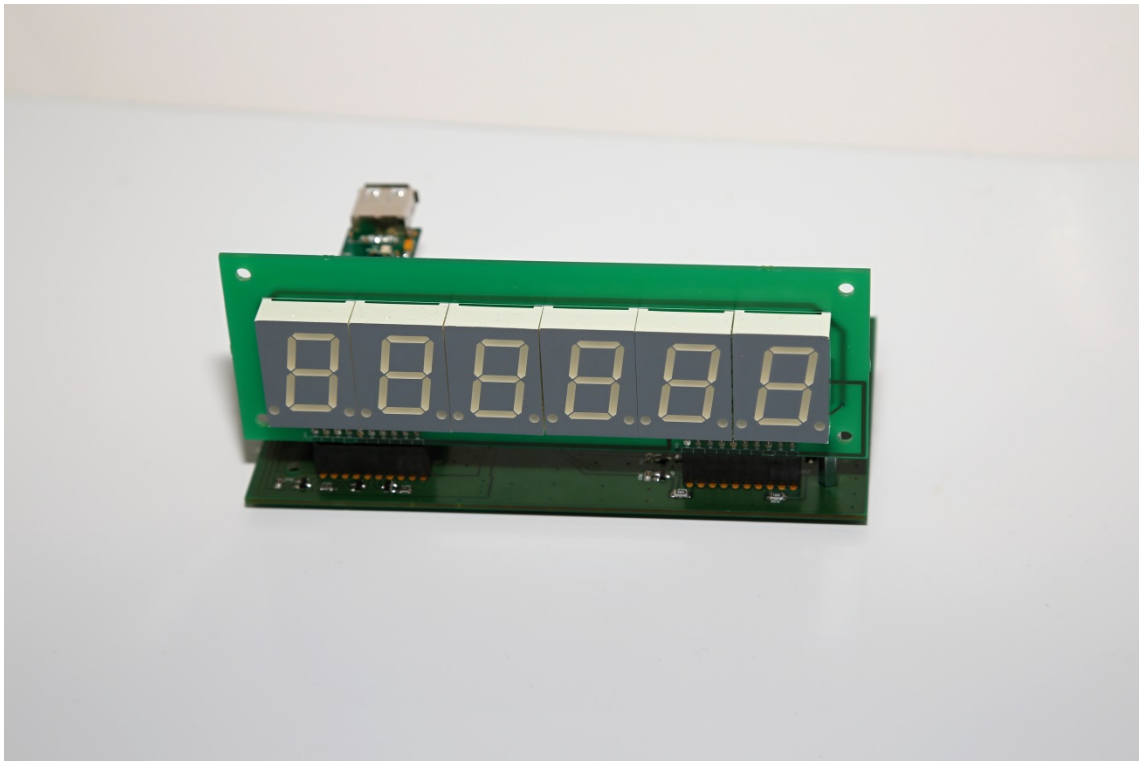
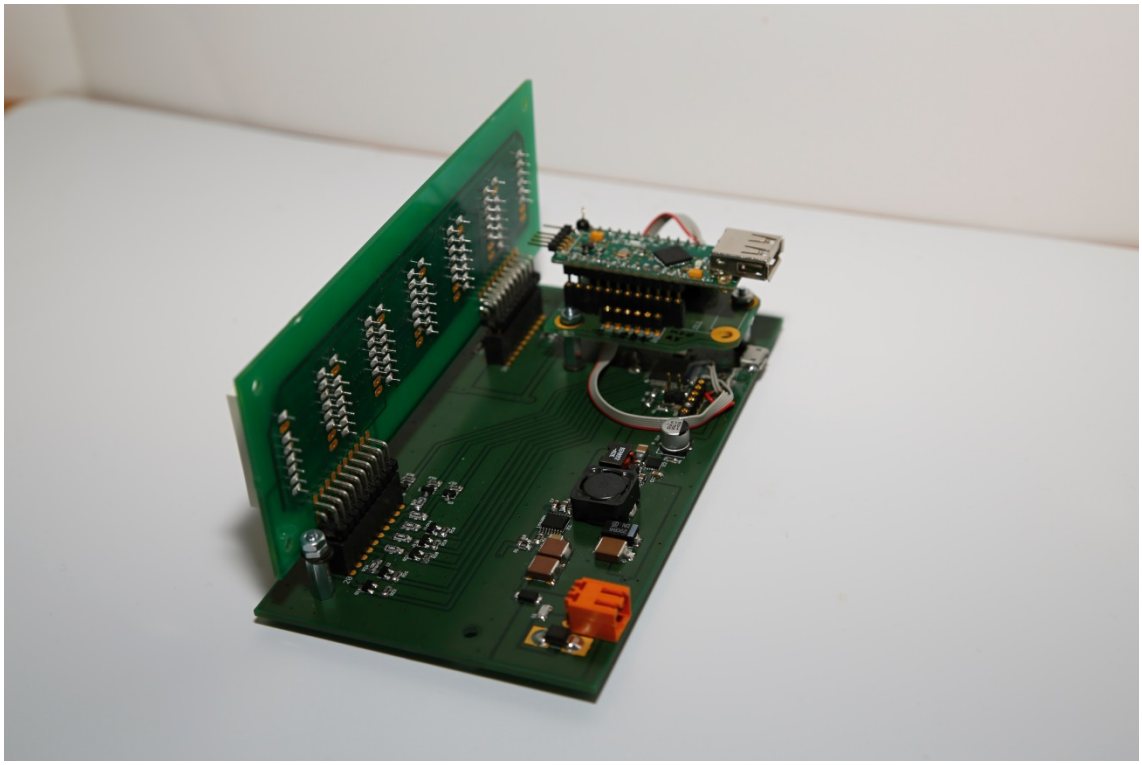
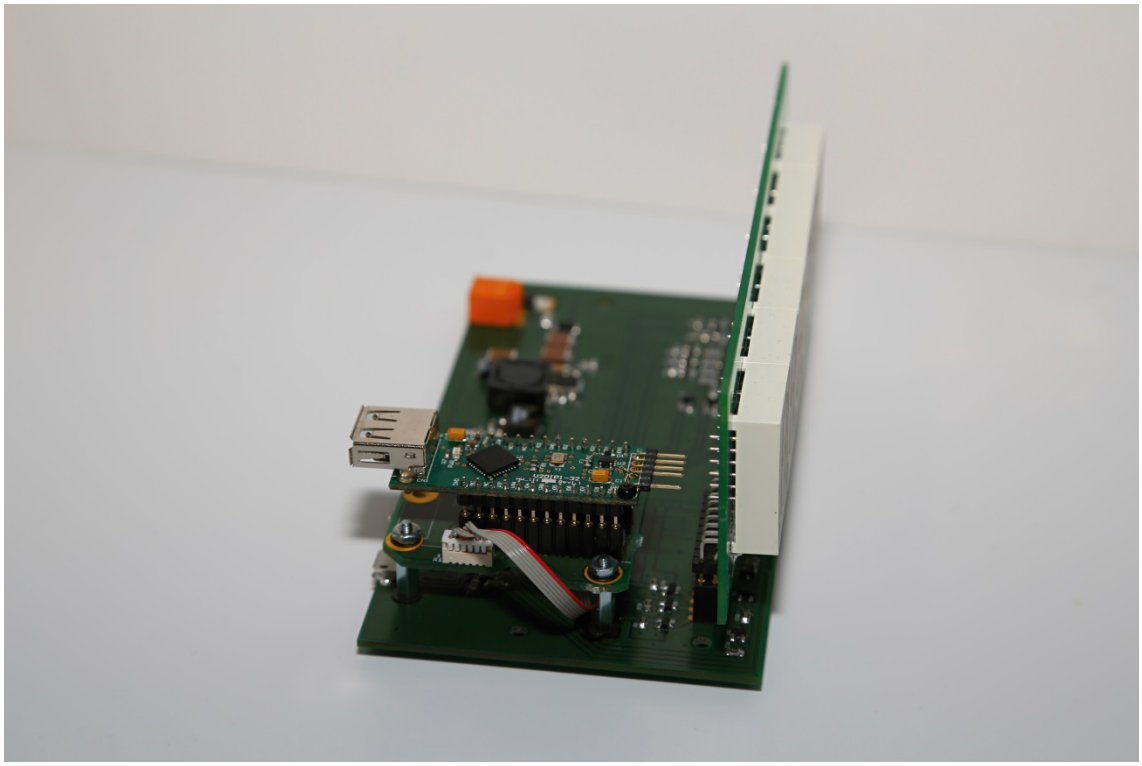
A.12 Osazovací plán LED panelu



JP2 a JP4 jsou osazeny ze strany BOTTOM.

B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	LM46002	HTSSOP (16)	DC-DC měnič
IC2	TPS2500	DRC (SON-10)	DC-DC měnič
IC3	PIC32MX795F512H	64-Pin TQFP	Mikrokontrolér
XTAL	16MHz/30ppm		Krystal v.č. 7M-16.000MAAJ-T
USB1	USB 2.0 Micro A/B		USB konektor
TVS1	56,7V - 62,7V	DO-214AA	TVS
D1	3A/ 0,475V	SOD128	Schottkyho dioda
DISP-DISP6	red/ 20mA/ 1,85V		7 segmentový displej v.č. SA08-11SRWA
C1	100p/100V/C0G	1206	Keramický kondenzátor
C2,C3	4,7uF/100V/XR7	2220	Keramický kondenzátor
C4	0,1uF/100V/XR7	1206	Keramický kondenzátor
C5	470nF/16V/XR7	0603	Keramický kondenzátor
C6	2,2uF/10V/X5R	0805	Keramický kondenzátor
C7	4,7uF/10V/X5R	0805	Keramický kondenzátor
C8	390pF/25V/C0G	0603	Keramický kondenzátor
C9	47uF/16V/X7R	2220	Keramický kondenzátor
C10	220uF/6,3V	2917	Tantalový kondenzátor
C11	10uF/10V/X5R	0805	Keramický kondenzátor
C12,C5-C17,C19-C21	0.1uF/50V/XR7	0805	Keramický kondenzátor
C13,C18	10uF/10V/X7R	1210	Keramický kondenzátor
C14	150uF/10V/		Keramický kondenzátor
C22,C23	18pF/50V/C0G	1206	Keramický kondenzátor
L1	15uH/4,6A		Cívka v.č. SRR1260-150M
L2	4,5uH/4,76A		Cívka v.č. SER8052-452MEC
R1	90,9 kΩ	0805	Rezistor
R2	39 kΩ	0805	Rezistor
R3	100 Ω	0805	Rezistor

R4,R5	33 Ω	0805	Rezistor
R6	56,2 kΩ	0805	Rezistor
R7,R9-R22	10 kΩ	0805	Rezistor
R8	220 Ω	0805	Rezistor
R23-R30	10 Ω	1206	Rezistor
Q7-Q14	BSS138BK	SOT-23	Unipolární tranzistor
Q1-6	IRLML6401PBF	SOT-23	Unipolární tranzistor
J1,SL1	6 pinů		Programovací konektor, rozteč 2,54mm
X1	2 piny		Napájecí konektor Weidmuller
JP1	2 piny/2,54		Jumper
JP3,JP5	20 pinu, 2řady 90°		2,54mm/ konektor
JP2,JP4	20 pinu, 2řady		2,54mm/konektor
VNC2	12 pinu, 2řady		2,54mm x 1,52 mm
X2, X1-vinculum	6 pinů		Molex 1,25 mm, zásuvka
	6 pinů		Molex 1,25 mm, hlava, na páskový vodič

C FOTOGRAFIE POČÍTADLA