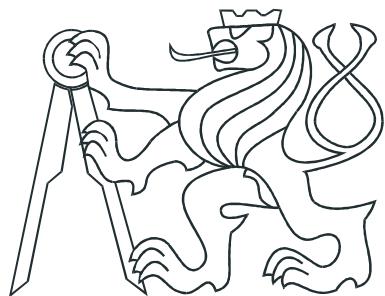


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ŘÍDICÍ TECHNIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh a realizace řídící elektroniky pro model
letadla

Květen 2008

Michal Dvořák

Prohlášení

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

V Praze dne 22.5.2008

Michal Dvořák

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Ondřeji Špinkovi za cenné rady a připomínky při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě podporovali během celého studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací elektronického systému pro volné modely kategorie F1A. Celý systém se skládá z několika modulů, které umožňují řízení všech potřebných aerodynamických ploch a vlekání modelu na vlečném lanku. Tento systém obsahuje elektronický časovač, tenzometrický háček a programovací jednotku. Součástí je také ruční ovladač a rádiový modul, který umožňuje rádiové vyhledávání a odesílání příkazů do modelu.

Abstract

This thesis deals with design and realization of an electronic system for free flight models class F1A. The whole system consists of several modules that enables control of all necessary aerodynamic areas and towing the model on the line. This system includes an electronic timer, a strain gauge tow hook and a programming console. There is also a hand held controller and a radio module which enables radio tracking and transmitting some commands to the model.

Katedra řídící techniky

Školní rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Michal Dvořák

Obor: Technická kybernetika

Název tématu: Návrh a realizace řídící elektroniky pro model letadla

Zásady pro výpracování:

1. Navrhněte řídící elektroniku pro volný model letadla kategorie F1A. Hlavní jednotka bude umožňovat připojení přídavných modulů.
2. Navrhněte modul pro bezdrátový přenos dat umožňující příjem povelů z pozemního vysílače.
3. Navrhněte konstrukci vlečného háčku měřicího sílu pomocí tenzometrů. Celý systém bude konfigurovatelný z osobního počítače.
4. Zařízení realizujte a důkladně otestujte v provozních podmírkách.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce.

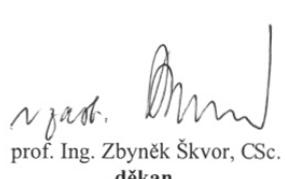
Vedoucí diplomové práce: Ing. Ondřej Špinka

Termín zadání diplomové práce: zimní semestr 2006/2007

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2008



prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

V Praze dne 21.02.2007

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Předchozí vývoj	2
2	Koncepce elektronického systému	3
2.1	Programovací jednotka Setuper	4
2.2	Rádiový modul	5
2.3	Elektronický vlečný háček	5
2.4	Modelářská serva	6
2.4.1	Výběr serv	6
2.5	Komunikace elektronický časovač - Setuper	8
2.5.1	CRC kontrolní součet	9
2.6	Komunikace elektronický časovač - rádiový modul	11
3	Elektronický časovač	14
3.1	Výběr mikroprocesoru	15
3.2	Mikroprocesor dsPIC30F4013	16
3.2.1	Jednotka Output Compare	18
3.2.2	A/D převodník	19
3.3	Stabilizátor napětí LP2985	21
3.3.1	Princip činnosti lineárních stabilizátorů	21
3.3.2	Výběr kondenzátorů pro obvod LP2985	22
3.4	Popis zapojení	23
3.5	Uživatelský program	26
3.5.1	Zapnutí časovače	26
3.5.2	Nastavení doby letu	27
3.5.3	Mechanický vlečný háček	28
3.5.4	Elektronický vlečný háček	29
3.5.5	Nastavení výchylek	31
3.6	Konfigurace časovače	32
3.6.1	Letové programy	32
3.6.2	Uživatelské menu	33
3.6.3	Servisní menu	36
4	Programovací jednotka Setuper	38
4.1	Popis zapojení	39
4.1.1	On/Off obvod	40
4.2	Programové vybavení	41

5 Rádiový modul	42
5.1 Obvod nRF9E5	43
5.1.1 Organizace paměti	44
5.1.2 Periférie	45
5.1.3 Transceiver	45
5.2 Popis zapojení	47
5.3 Firmware	48
5.3.1 Chod programu s komunikací	48
5.3.2 Chod programu bez komunikace	48
5.4 Rádiové dohledávání	49
6 RC DT ovladač	50
6.1 Popis zapojení	52
7 Elektronický vlečný háček	53
7.1 Odporové tenzometry	54
7.1.1 Tenzometrická konstanta	54
7.1.2 Polovodičové tenzometry	55
7.1.3 Kovové tenzometry	55
7.2 Senzor síly	56
7.2.1 Měřící obvod	56
7.3 Popis zapojení	58
7.4 Konstrukce vlečného háčku	58
7.4.1 Výpočet namáhání háčku	59
8 Závěr	62
8.1 Budoucí vývoj	64
Literatura	65
A Úvod do kategorie F1A	66
B Elektronický časovač	75
C Programovací jednotka Setuper	80
D Rádiový modul	88
E RC DT ovladač	92
F Elektronický vlečný háček	98
G Seznam použitého software	102
H Seznam použitých přístrojů	103
I Obsah přiloženého CD	104

Kapitola 1

Úvod

Cílem této práce je návrh elektronického systému pro model letadla kategorie F1A. Jedná se o volně létající kluzáky, které nejsou během letu ovládány vysílačkou. Více o této kategorii a jejích pravidlech je uvedeno v dodatku A.

V této kategorii se pořádá řada mezinárodních soutěží - Mistrovství světa, Evropy a seriál Světového poháru. Jsou zde i národní soutěže - seriál Českého poháru a Mistrovství republiky. O úspěchu na soutěži rozhoduje řada faktorů. Především je nutná dobrá znalost termiky a schopnost spolehlivě vyhledat tyto vzdušné stoupavé proudy. Model letadla musí být kvalitní jak po aerodynamické, tak po konstrukční stránce. Velmi důležité je také dynamické seřízení modelu (geometrické a aerodynamické zkroucení, poloha těžistě, atd). Úkolem elektronického systému je umožnit přesné nastavení všech potřebných prvků tak, aby optimální seřízení modelu bylo co nejsnadnější. Ukazuje se, že právě dobré seřízení modelu a schopnost hledat termiku jsou nejdůležitějšími aspekty úspěchu.



Obrázek 1.1: Můj model kategorie F1A, ve kterém byl testován nový elektronický systém.

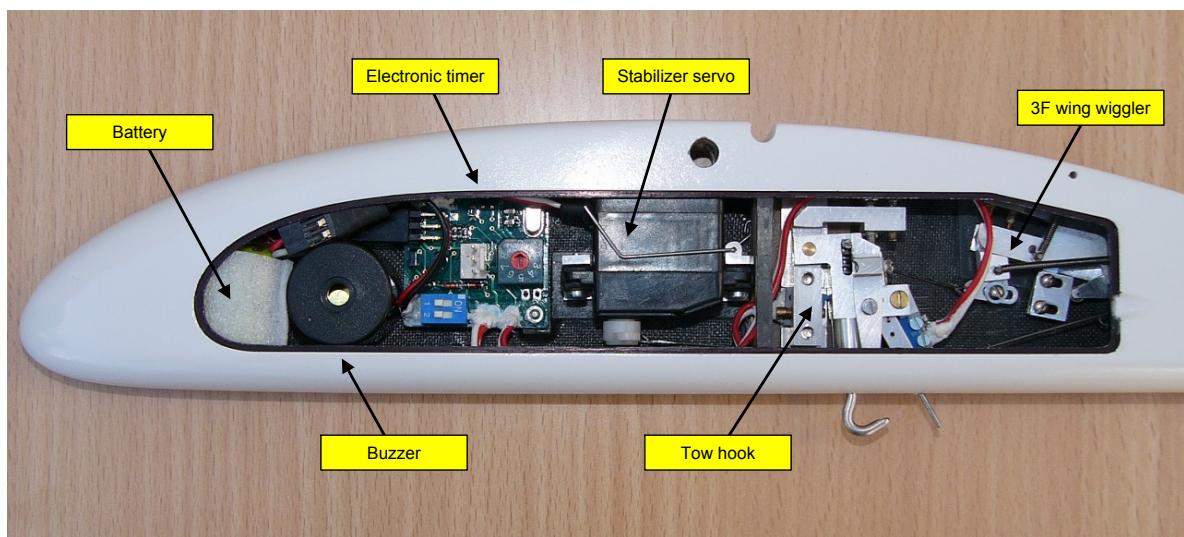
I v dnešní době jsou stále velmi rozšířené tzv. mechanické časovače. Většinou jsou založeny na hodinovém strojku, původně určeném pro fotospoušť ruského fotoaparátu. Nevýhodou mechanických časovačů je malá přesnost a obtížné nastavení krátkých časů. U F1A modelů je třeba nastavovat časy s přesností alespoň 0.1 s. Také občas může dojít k zaseknutí tohoto hodinového strojku. Proto jsem tento hodinový strojek nahradil elektronickým časovačem, který je taktován přesným krystalem. Jednotlivá kormidla jsou pak ovládána servo motory.

1.1 Předchozí vývoj

Koncem roku 2004 jsem dokončil svoji první verzi elektronického časovače a vybavil jim model MD8. S tímto modelem jsem létal již na Mistrovství světa 2005 v Argentině, kde jsem obsadil 10. místo. Na obr. 1.2 je hlavice tohoto modelu. Je vybavena vlečným háčkem typu Makarov vlastní výroby upraveným pro spojení s elektronickým časovačem (obr. A.3). Dále je zde wing wiggler - mechanismus pro naklápění křídla (obr. A.5).

Naklápění křídla má význam, ale realizace pomocí použitého mechanismu se mi moc neosvědčila. Problém je především v tom, že jednotlivé výchylky jsou na sobě závislé a závisí také na výchylkách vlečného háčku. Protože je tento mechanismus spojen s vlečným háčkem, přetahuje ho poměrně velkou silou dozadu, což můžezpůsobovat problémy při kroužení. Jako řešení tohoto problému připadá v úvahu umístění dalšího serva pro naklápění křídla místo mechanického wing wiggleru. Jednotlivé výchylky by pak šly nestavit zcela nezávisle.

Časovač obsahuje mikropocesor PIC16F628, u kterého se však ukázala jako hlavní nevýhoda malá velikost paměti. S postupem času se objevovaly další požadavky na vylepšení časovače - rozšíření o více serv a lepší programové vybavení. Během soutěžního létání se také ukázala potřeba rádiového modulu, který by umožňoval jednak ovládání determalizátoru a současně rádiové dohledávání. Tím by se ušetřilo místo v modelu a stačila by pouze jedna anténa. Další vývoj se proto ubíral tímto směrem.



Obrázek 1.2: Hlavice modelu MD8 obsahující můj první elektronický časovač.

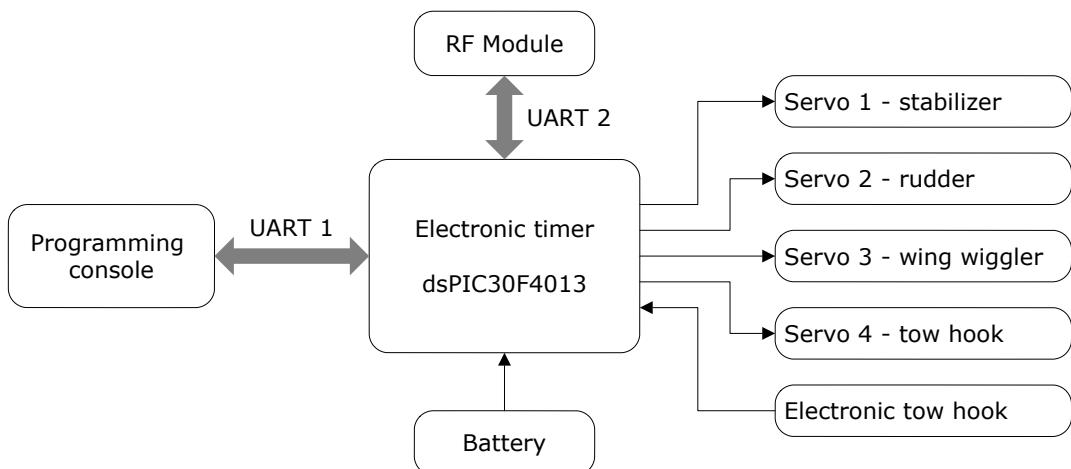
Kapitola 2

Koncepce elektronického systému

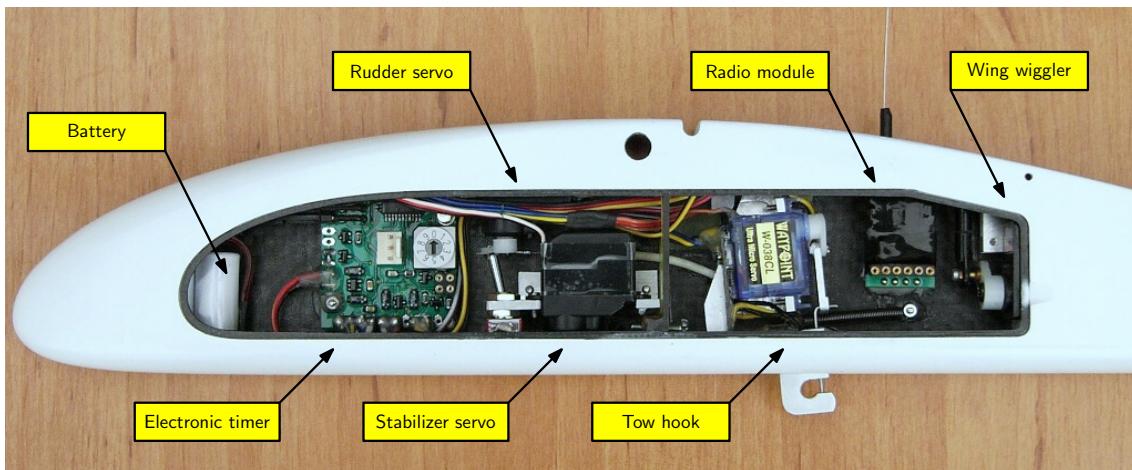
Na základě zkušeností s provozem mého prvního elektronického časovače (viz sekce 1.1) jsem přišel na řadu vylepšení tohoto systému. Tato práce se právě zabývá návrhem a realizací kompletního elektronického systému pro model kategorie F1A.

Celý systém je rozdělen na několik modulů (obr. 2.1). Základem je elektronický časovač s 16-ti bitovým signálovým procesorem dsPIC30F4013, který obsahuje dvě rozhraní UART (asynchronní sériové linky). Jedno rozhraní je určeno pro připojení externí programovací jednotky. To druhé pracuje v adresovatelném módu a lze na něj připojit rádiový modul a případně další moduly, jako například výškoměr. K časovači lze připojit čtyři serva pro ovládání potřebných aerodynamických ploch (výškovka, směrovka, naklápení pravého křídla) a pro odjištění vlečného háčku. Důležitou součástí systému je elektronický vlečný háček, který měří tah ve vlečném lanku pomocí tenzometrů.

Tímto systémem jsem vybavil nový model MD10. Hlavice modelu osazená všemi komponenty je na obr. 2.2.



Obrázek 2.1: Blokové schéma systému.



Obrázek 2.2: Hlavice modelu osazená všemi komponenty.

2.1 Programovací jednotka Setuper

Při zalétávání letadla je třeba v časovači nastavit všechny potřebné parametry. I v průběhu soutěže je třeba tyto parametry upravovat vzhledem k měnícímu se počasí nebo kvůli drobným změnám v geometrii modelu. V samotném časovači je uloženo několik datových sad pro různá počasí. Před letem lze zvolit konkrétní program, případně některé parametry upravit.

Nejprve jsem uvažoval, že by se časovač nastavoval z notebooku či kapesního počítače. Toto řešení bylo později zavrženo a pro nastavování jsem vytvořil programovací jednotku nazvanou Setuper. Důvodů pro vytvoření Setuperu bylo několik. Především toto zařízení obsahuje pouze program pro nastavování časovače. Po zapnutí tak lze okamžitě nastavit co je potřeba. Na soutěži často není času nazbyt. Startování operačního systému a příslušného programu v případě použití kapesního počítače či notebooku by jenom zdržovalo. Nehledě na další praktické okolnosti použití. Například je třeba, aby programovací jednotka byla použitelná za každého počasí a teploty. Je známo, že barevné grafické displeje používané ve spotřební elektronice nejsou na prudkém slunci skoro čitelné a jejich teplotní rozsah také nebývá valný. Oproti tomu Setuper obsahuje LCD displej v provedení STN s rozšířenou pracovní teplotou -20°C až $+70^{\circ}\text{C}$. Tento displej je čitelný i bez podsvětlení a na prudkém slunci. Jedinou výhodou kapesních počítačů je větší rozlišení displeje, které však v této aplikaci není až tak potřeba.

Setuper tedy obsahuje dvojřádkový LCD displej a tlačítka pro orientaci v menu. Zapínání a vypínání je ovládáno jedním tlačítkem. Základem je 8-bitový mikroprocesor PIC18F4620.

Komunikace mezi elektronickým časovačem a Setuperem probíhá tak, že Setuper posílá příznaky stisknutého tlačítka a časovač vrací textové řetězce, které se zobrazí na LCD displeji. Tento protokol má výhodu v jednoduchosti programu v Setuperu a při aktualizaci programu v časovači již není třeba měnit program v Setuperu.

2.2 Rádiový modul

Rádiový modul pracující v pásmu 433 MHz slouží k přijímání povelů ze země. Protože se jedná o volný model, jediné povely, které se mohou podle pravidel vysílat jsou povely ukončující nebo prodlužující let, aby nedošlo k poškození modelu při přistání na nevhodném místě. Z technického hlediska je třeba zajistit, aby nedošlo k přijetí falešného povelu. Každý modul má proto svoji unikátní 32-bitovou adresu a lze nastavit i frekvenci 430-440 MHz s krokem 100 kHz.

Tento modul navíc umožňuje lokalizaci modelu v terénu (radio tracking). Periodicky vysílá pulsy nosného kmitočtu, které lze zachytit přehledovým přijímačem. Při použití směrové antény s útlumovým členem lze model velmi dobře dohledat i v nepřehledném terénu.

Modul je založen na obvod nRF9E5, který v sobě obsahuje digitální transceiver (vysílač i přijímač) a jádro procesoru 8051. Díky tomu lze dosáhnout velmi malých rozměrů tohoto modulu. Anténu tvoří ocelový drát dlouhý čtvrtinu vlnové délky (17 cm). K vysílání povelů slouží ruční ovladač obsahující také tento obvod.

2.3 Elektronický vlečný háček

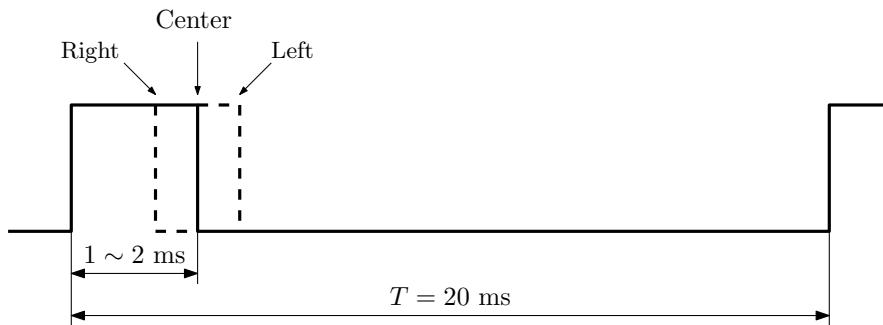
Součástí každého F1A kluzáku je vlečný háček. Běžné háčky pro krouživý vlek, u kterých dochází k odjištění při stlačení pružiny, mají velkou nevýhodu v tom, že odjištění háčku je nevratná akce. Problém pak nastane, pokud je otevírací síla háčku překročena nechtemě, například kvůli poryvu větru. To může způsobit vypuštění modelu ve velmi malé výšce a tedy špatný výsledek letu. Protože se mi uvedená situace na závodech několikrát přihodila, rozhodl jsem se tento nedostatek nějakým způsobem odstranit.

Vytvořil jsem vlečný háček, který je odjištěván servem. Tah ve vlečném lanku se měří pomocí tenzometrů. Lze tedy jednoduše nastavit požadovanou vypínací sílu. Navíc lze rozpoznat, zda došlo skutečně k vypuštění modelu, nebo zda byl tah překročen pouze vlivem poryvu. Díky tomu, že je háček odjištěván servem, lze ho opětovně zajistit, pokud se závodník rozhodne model nevypustit a neodhaddí vlečné lanko.

2.4 Modelářská serva

Pro ovládání kormidel byla zvolena modelářská serva. Jedná se zařízení umožňující nastavit pomocí PWM signálu úhel natočení páčky. Typické servo obsahuje stejnosměrný elektromotor, regulační obvod, převody a páčku pro připojení táhla.

Rozhraní serva tvoří třívodičový kablík (2 vodiče napájení + řídící signál). Výchylka serva je řízena šírkou pulsu PWM (Pulse Width Modulation) signálu viz obr. 2.3. Serva jsou navržena pro signál s periodou 20 ms. Šířka pulsu v rozsahu 1 ms až 2 ms udává výchylku serva. Šířce pulsu 1.5 ms odpovídá obvykle středová výchylka. Krajinm polohám signálu pak odpovídá krajní levá, resp. pravá výchylka (smysl výchylek se však u jednotlivých typů serv liší). Rozpětí výchylek bývá obvykle 120 až 140 stupňů.



Obrázek 2.3: Výchylka modelářského serva je řízena šírkou pulsu PWM signálu.



Obrázek 2.4: Digitální modelářského servo Futaba S3154.

2.4.1 Výběr serv

Na trhu je velké množství modelářských serv. Pro volné modely F1A je vhodných však jen několik typů. Hlavním kritériem je nízká hmotnost, vysoká rychlosť, malá vůle v převodech a především teplotní stabilita. Ze změny teploty musí servo držet stále stejnou výchylku. U volného modelu totiž není možné během letu výchylky seřizovat a musí být za každých okolností stejné.

V dnešní době jsou na trhu jak analogová, tak digitální serva. Princip jejich činnosti je však velmi podobný. Každé servo obsahuje servo zesilovač a potenciometr snímající výchylku páčky. Servo zesilovač na základě výchylky potenciometru generuje referenční PWM signál.

Ten je pak porovnáván se vstupním signálem. Je-li šířka pulsu referenčního signálu odlišná od řídícího, servo motor se pohybuje jedním nebo druhým směrem, aby tuto odchylku eliminoval. U analogových serv je referenční signál generován obvodem obsahujícím potenciometr serva a kondenzátor. Kondenzátor je teplotně závislý a proto i generovaný referenční signál závisí na teplotě. U digitálních serv je výchylka potenciometru snímána A/D převodníkem a referenční signál pak generuje mikroprocesor. Pokud je však mikroprocesor takto vnitřním RC oscilátorem objevuje se i zde teplotní závislost. Výstupní napětí potenciometru na teplotě nezávisí, je však potřeba, aby potenciometr přesně snímal natočení serva.

Je nutné vybrat taková serva, která teplotní závislostí netrpí. Protože však teplotní závislost není udávaným parametrem, je třeba tuto vlastnost změřit. Ukázalo se, že běžná analogová serva trpí odchylku 5° až 9° při změně teploty z -5°C na +50°C. Po vyzkoušení mnoha typů serv jsem vybral tři typy, u kterých je teplotní závislost téměř neměřitelná. Jedná se o dva typy analogových serv od firmy Hitec HS-56HB a HS-65HB, které obsahují vysoce přesný fóliový kondenzátor. Tyto serva jsou navíc velmi precizně provedená. Nemají žádnou pozorovatelnou vůli a převody jsou vyrobeny z odolného karbonitového kompozitu. Dalším typem je digitální servo Graupner S3154 (obr. 2.4), které je již takto provedeno přesným krystalem a teplotní závislostí také netrpí. Toto servo sice má pouze plastové převody a o něco větší vůli než uvedená serva Hitec. Zato je o něco rychlejší a lehčí. Srovnání parametrů uvedených serv je v tabulce 2.1.

Servo	Typ	Moment@4.8V [kg.cm]	Rychlost@4.8V [s/60°]	Rozměry [mm]	Hmotnost [g]
Hitec HS-56HB	Analog	1.2	0.12	22.6x11.6x24	11.2
Hitec HS-65HB	Analog	1.8	0.14	23.6x11.6x24	11.2
Futaba S3154	Digital	1.5	0.10	21.8x11x19.8	7.8

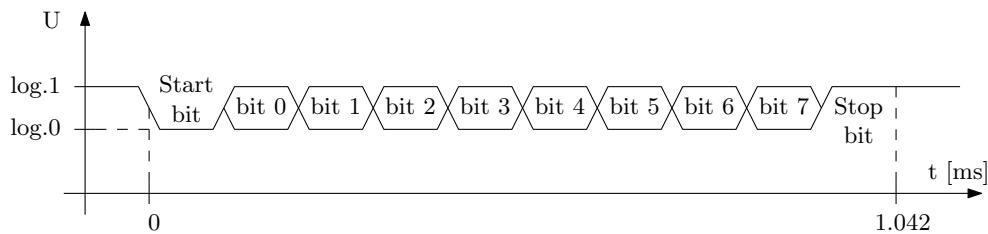
Tabulka 2.1: Srovnání parametrů vybraných serv.

2.5 Komunikace elektronický časovač - Setuper

Programovací jednotka Setuper je k časovači připojena přes asynchronní sériové rozhraní UART1.

Parametry přenosu

- Přenosová rychlosť 9600 bit/s.
- 8 datových bitů, 1 start bit, 1 stop bit, bez parity.
- Bity se vysílají od nejméně významného bitu (LSB).
- Klidová úroveň - logická jednička.



Obrázek 2.5: Časový průběh přenosu jednoho bytu po rozhraní UART při rychlosti 9600 bit/s.

Pokud uživatel stiskne nějaké tlačítko, Setuper vyšle jeho příznak. Časovač ho zpracuje a odešle zpět textový řetězec k zobrazení na LCD displeji. Celá orientace v menu časovače tedy probíhá přímo v časovači. Setuper pouze zobrazuje přijaté zprávy na displeji. Povely, které vysílá Setuper jsou uvedeny v tab. 2.2.

Povel	Význam
N	Setuper zapnut v uživatelském režimu
S	Setuper zapnut v servisním režimu
U	Up - kurzor nahoru
D	Down - kurzor dolu
L	Left - kurzor vlevo
R	Right - kurzor vpravo
P	Plus - inkrementace hodnoty
M	Minus - dekrementace hodnoty
I	Independent - hodnota je nezávislá
J	Joint - hodnota je společná
<	Dekrementace letového programu
>	Inkrementace letového programu

Tabulka 2.2: Definované povely, které vysílá Setuper.

Po zapnutí Setuper vysílá příkaz "N". Pokud je před zapnutím stisknuto některé tlačítko kurzoru, vysílá příkaz "S" pro vstup do servisního menu časovače. Časovač tento příkaz přečte a odešle nejprve řetězec o verzi časovače a dále první menu. V Setuperu se při přijetí znaku

generuje přerušení ve kterém se stáhne celá zpráva, zkонтroluje se její správnost a zobrazí se na displeji.

Formát zpráv od Setuperu

Zprávy vysílané Setuperem jsou vždy dlouhé 2 byty. Oba byty jsou shodné a představují příznak povelu (např. "RR" pro kurzor vpravo).

Formát zpráv od časovače

Časovač posílá zprávy ve formátu dle tabulky 2.3. Každá zpráva začíná bytem 0xFF. Následuje délka přenášeného textového řetězce a samotný řetězec. Zpráva končí 16-bitovým CRC kontrolním součtem vypočteným z přenášeného řetězce. Pro ovládání displeje jsou nadefinovány escape znaky, které mohou být obsaženy přímo v přenášené zprávě. Je to znak pro smazání displeje '\f' a znaky pro přesun na začátek druhého řádku '\n', '\r'.

Celá zpráva může vypadat například takto:

```
[0xFF, 18, "\fData Set: com1\n", 0xE340]
```

Znak 0xFF	Délka řetězce	Řetězec	CRC-16 kontrolní součet
[1 B]	[1 B]	[1-36 B]	[2 B]

Tabulka 2.3: Formát zpráv posílaných časovačem.

2.5.1 CRC kontrolní součet

CRC (Cyclic Redundancy Check) je hašovací funkce často používaná ke generování kontrolního součtu. Vstupní posloupnost bytů různé délky se převede na posloupnost bytů pevné délky (kontrolní součet). Tento kontrolní součet se připojí k přenášené zprávě či k ukládaným datům. Po přenosu dat je znova nezávisle vypočten. Pokud je spočítaný kontrolní součet odlišný od přeneseného, je zřejmé, že při přenosu došlo k chybě.

Tento typ kontrolního součtu je často používán v komunikačních protokolech (USB, CDMA, Bluetooth, XMODEM,...) pro svoje dobré vlastnosti detekce chyb. CRC součet o délce n bitů ze zprávy libovolné délky dokáže detektovat každý shluk chyb dlouhý nejvíše n bitů. Dále detekuje $1 - 2^{-n}$ všech delších shluků chyb. Pro 16-bitový CRC je to 99.9985% všech delších shluků chyb. Ukazuje se, že chyby při přenosu komunikačním kanálem nejsou distribuovány náhodně, ale v určitých shlucích. Právě pro odhalování těchto shluků chyb je CRC kontrolní součet velmi vhodný.

Výpočet CRC je založen na dělení v okruhu polynomů nad tělesem GF(2) (množina polynomů jejichž koeficienty mohou nabývat pouze hodnot 0 a 1). Tyto polynomy můžeme sčítat, odečítat, násobit a dělit jako obyčejné polynomy, avšak nad výslednými koeficienty provádíme operaci modulo 2. Každá posloupnost bitů může být reprezentována jako polynom jehož koeficienty odpovídají jednotlivým bitům. Obecně to můžeme zapsat jako

$$M(x)x^n = Q(x)G(x) + R(x), \quad (2.1)$$

kde $M(x)$ je polynom vstupní zprávy. $Q(x)$ je výsledek po dělení generujícím polynomem $G(x)$ a $R(x)$ je zbytek po dělení. Tento zbytek představuje výsledný kontrolní součet.

Různé přenosové protokoly používají různé generující polynomy $G(x)$. Já jsem použil polynom CRC-16 používaný například v rozhraní USB. Koeficienty tohoto polynomu stupně 16 lze zapsat jako hexadecimální číslo 0x8005 a tento polynom má tvar

$$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1. \quad (2.2)$$

V mikroprocesoru může být dělení těchto polynomů realizováno algoritmem využívajícím logickou funkci XOR a bitový posun. Pro výpočet 16-bitového CRC součtu s generujícím polynomem 0x8005 může algoritmus v jazyce C vypadat například takto:

```
unsigned int get_crc(unsigned char *str, unsigned char len)
{
    unsigned int i, j;
    unsigned int rem = 0; // Výsledek - zbytek R(x)

    for(i=0; i<len; i++)
    {
        rem = rem ^ ((unsigned int)str[i] << 8);
        for(j=0; j<8; j++)
        {
            if(rem & 0x8000) // Je-li MSB bit zbytku jednička
                rem = (rem << 1) ^ 0x8005;
            else
                rem = rem << 1;
        }
    }
    return(rem);
}
```

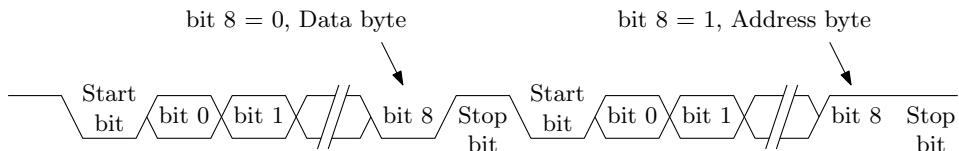
Vstupem do této funkce je zpráva **str** (posloupnost bytů délky **len**). Výstupem je zbytek po dělení **rem**.

2.6 Komunikace elektronický časovač - rádiový modul

Rádiový modul je připojen k druhému sériovému portu časovače UART2. Toto rozhraní je nastaveno na asynchronní přenos v adresovatelném režimu tzv. multi-procesorová komunikace. To umožňuje na sériové rozhraní připojit více zařízení. Časovač v tomto případě pracuje jako master a ostatní zařízení jako slave.

Parametry přenosu

- Přenosová rychlosť 9600 bit/s.
- 8 datových bitů, 9. bit značí zda se přenáší adresa nebo data.
- 1 start bit, 1 stop bit, bez parity.
- Klidová úroveň - logická jednička.



Obrázek 2.6: UART v adresovatelném režimu. Pokud bit8=1, vysílá se adresa, jinak data.

Pokud má časovač poslat nějaký povel danému modulu, nejprve pošle jeho adresu (8 bitů) a bit 8 nastaví na jednu. Jednička v bitu 8 značí, že se posílá adresa, nula znamená data. Všechny moduly přijmou tento paket a modul s danou adresou časovači potvrdí přijetí. Dále se posílají jen datové pakety. Výhodou multi-procesorové komunikace je to, že u mnoha procesorů lze nastavit, aby bylo generováno přerušení od UARTu pouze pokud je bit 8 jednička. Tím se přeruší všechny moduly pouze, když se posílá nová adresa. Je vhodné, aby všechna zařízení měla výstup typu otevřený kolektor. To umožňuje připojit zařízení s různým napájecím napětím. Především, pokud je tranzistor rozepnut, výstupy neovlivňují signály na této sběrnici.

Rádiový modul posílá časovači povely přijaté z dálkového ovládání. Jsou to povely pro ovládání determalizátoru a dále povely pro trimrování výchylek. Nastavování výchylek může být použito pouze během zalétávání modelu, ne však během soutěžního letu. Proto je dobré mít dva dálkové ovladače, jeden pro soutěžní lety umožňující pouze ovládání determalizátoru, a jeden pro zalétávání. Definované povely vysílané rádiovým modulem jsou uvedeny v tab. 2.4 a tab. 2.5. Výchylky lze nastavovat jak v režimu kluzu (Glide), tak během vlekání modelu, zvlášť pro přímí vlek (Tow) a zvlášť pro kruh na lanku (Circle). Hodnotu nastavené výchylky pak opět odešle časovač rádiovému modulu. Tyto povely jsou uvedeny v tab. 2.6.

Povel	Význam
[D,T]	DT - aktivace determalizátoru
[E,F]	EFT (Extend Flight Time) - prodloužení letového času
[S,0..255]	Proporcionální výchylka výškovky
[R,0..255]	Proporcionální výchylka směrovky
[F,S]	Uloží nastavené hodnoty výchylek
[F,R]	Obnoví původní nastavené hodnoty

Tabulka 2.4: Příkazy vysílané rádiovým modulem.

Letový režim	Výškovka		Směrovka		Křídlo	
	-	+	-	+	-	+
Glide, Tow	[G,11]	[G,12]	[G,21]	[G,22]	[G,31]	[G,32]
Circle	[C,11]	[C,12]	[C,21]	[C,22]	[C,31]	[C,32]

Tabulka 2.5: Příkazy vysílané rádiovým modulem pro trimrování výchylek.

Povel	Význam
[S,0..255]	Nastavená výchylka výškovky
[R,0..255]	Nastavená výchylka směrovky
[W,0..255]	Nastavená výchylka křídla
[T,0..255,0..255]	Doba letu od vypuštění modelu
[D,0..255,0..255]	Doba do aktivace determalizátoru

Tabulka 2.6: Příkazy vysílané časovačem oznamující nastavenou hodnotu výchylky.

Formát zpráv

Časovač i rádiový modul posílá zprávy ve formátu dle tabulky 2.7. Každá zpráva začíná délkou přenášeného povelu, následuje samotný povel a jeho kontrolní součet. Jako kontrolní součet je použito dolních 8 bitů součtu jednotlivých znaků povelu. Vzhledem k malé délce povelů je tento kontrolní součet dostatečný.

Přijetí zprávy je potvrzováno ASCII znakem ACK (0x06). Pokud je přijatá zpráva poškozená, oznámí se to znakem NAK (0x15) a zpráva se odešle znovu. Odesílání se opakuje nejvýše třikrát.

Délka povelu	Povel	Kontrolní součet
[1 B]	[2-3 B]	[1 B]

Tabulka 2.7: Formát zpráv komunikace časovač - rádiový modul.

Kapitola 3

Elektronický časovač

Elektronický časovač je základní jednotka celého systému. Ovládá všechna serva, je k němu připojen rádiový modul a vlečný háček viz obr. 2.1. Nastavení všech letových parametrů je uloženo právě v tomto časovači. Tento časovač je řízen 16-ti bitovým signálovým procesorem dsPIC30F4013 od firmy Microchip. Na obr. 3.1 je vidět osazená deska tohoto modulu.



Obrázek 3.1: Osazená deska elektronického časovače.

3.1 Výběr mikroprocesoru

Při návrhu elektronického časovače byl kladen velký důraz na výběr vhodného mikroprocesoru. Jak jsem uvedl v sekci 1.1, můj předchozí časovač byl řízen mikroprocesorem řady PIC16. Tato řada mi už nevyhovovala, především z důvodu nedostatečné kapacity paměti. Navíc pro tuto řadu firma Microchip nemá kompilátor jazyka C.

Přešel jsem tedy na vyšší řadu výkonných 8-mi bitových mikroprocesorů PIC18, pro které již existuje kompilátor jazyka C. Konkrétně jsem testoval procesor PIC18F4620. Tato řada již má mnohem větší paměť a více 16-ti bitových časovačů a periférií. Nakonec se však ukázala potřeba druhé sériové linky, kterou již tento procesor neměl. Navíc stále nebylo možné u těchto procesorů generovat PWM signál pro serva pomocí příslušné periferie. Rozlišení PWM signálu tohoto procesoru je pouze 10 bitů a perioda je dána pouze 8-bitovým časovačem. Nebylo tedy možné generovat signál s periodou 20 ms. Jednou z možností jak generovat kvalitní PWM signál u tohoto procesoru je využití přerušení pro získání 20 ms periody a samotný puls časovat pomocí čekací smyčky. Toto řešení ma však tu nevýhodu, že procesor stojí velkou část času v čekací smyčce. Navíc pokud zrovna nastane nějaké přerušení, délka pusu již není správná. Samozřejmě lze použít i pro časování pulsu přerušení, ale zde není zaručeno, že bude trvat vždy stejně dlouho a mohlo by dojít k rozkmitání serva. Nakonec jsem tedy tento procesor použil pouze pro programovací jednotku Setuper.

Ukázalo se, že nejvíce mým potřebám vyhovuje 16-ti bitový signálový procesor dsPIC30F4013. Ten již má zabudovaný 16-ti bitový generátor PWM signálu na čtyřech výstupech a umožňuje tak jednoduše generovat velmi přesný signál pro modelářská serva. Navíc pro tuto řadu procesorů existuje volně dostupný kompilátor MPLAB C30 jazyka C přímo od firmy Microchip. Tento procesor tedy již splňoval všechna moje kritéria.

Požadavky na mikroprocesor

- Možnost generovat PWM signál pro 4 serva pomocí hardwarové jednotky.
- Malé pouzdro, ale ještě vhodné k ručnímu pájení (nejlépe TQFP44).
- Volně dostupný kompilátor jazyka C.
- Dostatečně velká paměť pro program (FLASH) a pro data (EEPROM).
- Více 16-ti bitových časovačů.
- Přijatelná spotřeba proudu a cena.

Jedinou nevýhodu tohoto procesoru je asi dvojnásobná spotřeba proudu (cca 6 mA při 8 MHz) oproti PIC18LF4620. Tato hodnota je ale přijatelná (je to stále méně než spotřeba jednoho serva v klidovém stavu).

3.2 Mikroprocesor dsPIC30F4013

Tento mikroprocesor patří do rodiny 16-ti bitových signálových procesorů firmy Microchip. Je založen na modifikované Harvardské architektuře s možností využití některých výhod struktury von Neumann (namapování části programové paměti do datového prostoru). Blokové schéma tohoto procesoru je na obr. 3.2. Pro tuto aplikaci je především podstatné, že obsahuje 16-bitový generátor PWM signálu (jednotka Output Compare), dostatečně velkou paměť pro program (FLASH) i pro data (EEPROM).

Vlastnosti jednotky CPU

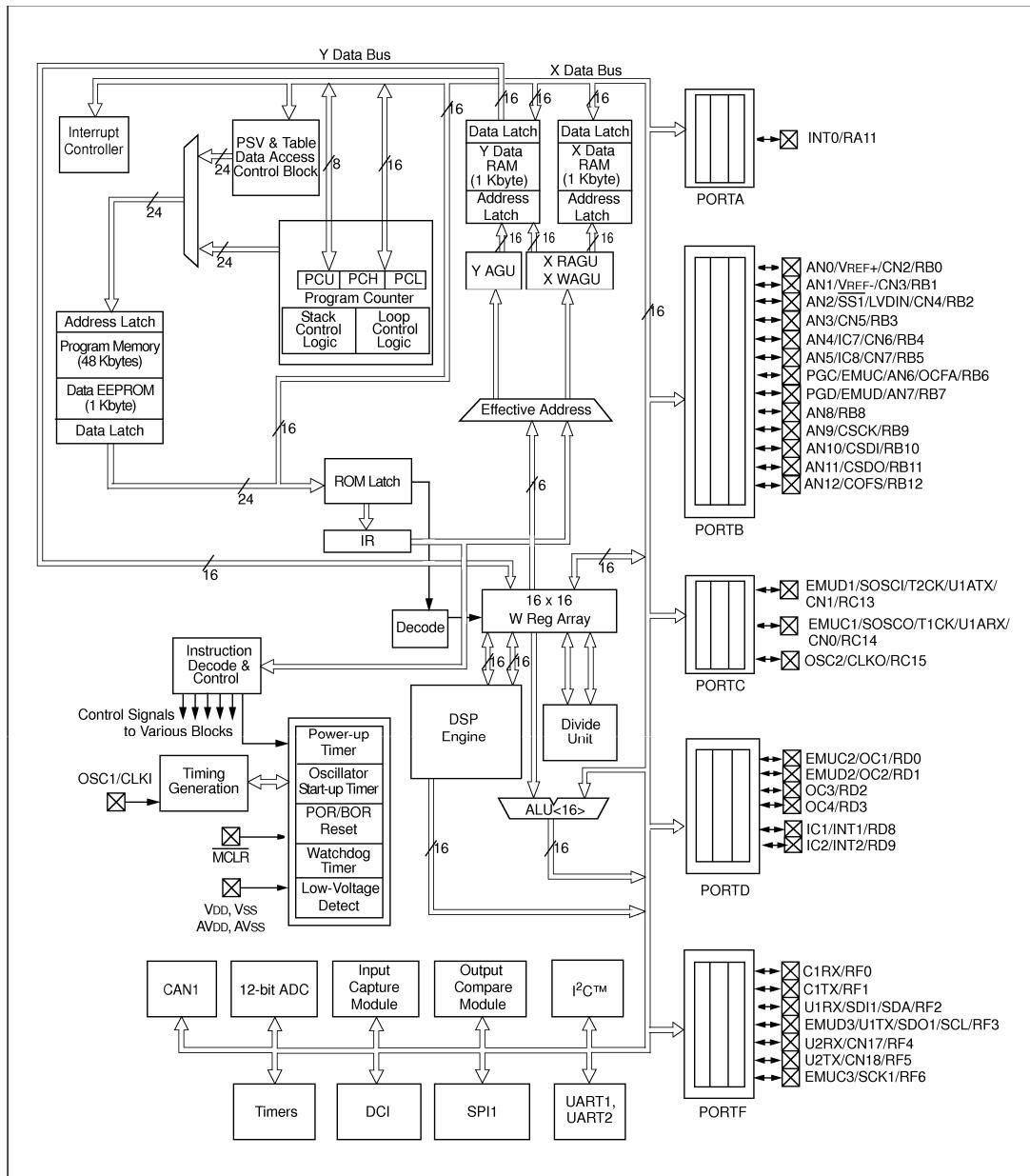
- Modifikovaná Harvardské architektura.
- RISC (Redukovaná instrukční sada) - 83 instrukcí, optimalizováno pro jazyk C.
- 24-bitové instrukce a 16-bitová datová sběrnice.
- Pole 16 x 16-bitových pracovních registrů.
- 48 kB programová paměť FLASH, 2 kB datová paměť RAM, 1 kB datová paměť EEPROM.
- Pracovní výkon až 30 MIPS.
- DSP jádro.

Periférie

- I/O piny zatížitelné až do 25 mA.
- Pět 16-bitových časovačů. Dva páry lze spojit do 32-bitových časovačů.
- Čtyři 16-bitové jednotky Output Compare.
- Komunikační periferie: 2xUART, SPI, I2C, CAN.
- 12-bitový A/D převodník - 13 kanálů, 200 ksps.
- Programovatelný detektor nízkého napětí.
- Programovatelný Brown-out reset.

Další vlastnosti

- Vylepšená FLASH paměť (10k zápisů/výmazů).
- EEPROM paměť (100k zápisů/výmazů).
- In-Circuit Serial Programming (ICSP).
- Volitelné režimy napájení: Sleep, Idle, alternativní režimy hodin.
- CMOS Technologie: pracovní napětí 2.5 - 5.5 V.



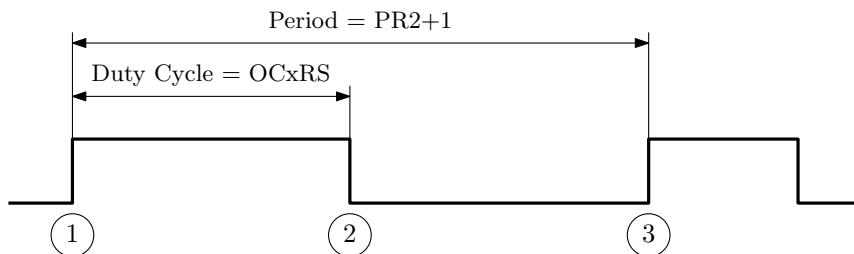
Obrázek 3.2: Blokové schéma mikroprocesoru dsPIC30F4013 (převzato z [9]).

3.2.1 Jednotka Output Compare

Pro generování řídících signálů serv je použita jednotka Output Compare. U procesoru dsPIC30F4013 má tato jednotka čtyři kanály. Každý z nich může být nastaven pomocí příslušného registru OCxCON na jeden ze tří možných režimů.

- Single Compare Match mode
- Dual Compare Match mode
- PWM mode

První dva režimy jsou určeny pro porovnávání hodnot registrů OCxR a OCxRS s hodnotou zvoleného časovače Timer2 nebo Timer3. Při shodě těchto hodnot nastane předem nastavená akce a může se generovat přerušení. Lze jednorázově nastavit výstupy na danou logickou úroveň nebo ji invertovat. V režimu Dual Compare lze nastavit délku pulsu i mezery generovaného signálu.



Obrázek 3.3: Generování PWM signálu jednotkou Output Compare.

Pro řízení serv je nejlepší použít režim PWM. V tomto režimu lze nastavit periodu signálu a šířku generovaného pulsu. Pro tuto jednotku jsem zvolil 16-bitový časovač Timer2. Perioda PWM signálu závisí na nastavení registru PR2 časovače Timer2

$$PR2 = \frac{T_{PWM}}{T_{cy} T_{2PRE}} - 1,$$

kde $T_{PWM} = 20$ ms je požadovaná perioda, $T_{cy} = 0.5$ μ s je perioda strojového cyklu při zvoleném krystalu 8 MHz. $T_{2PRE} = 1$ je hodnota děličky časovače Timer2. Po dosazení těchto hodnot zjistíme, že $PR2 = 39999$.

Šířka pulsu PWM signálu se nastavuje pomocí registru OCxRS. Pokud vezmeme v úvahu, že době 20 ms odpovídá hodnota časovače $PR2 + 1 = 40000$, můžeme nastavit šířku pulsu s rozlišením 0.5 μ s pouhým uložením požadované hodnoty do příslušného registru OCxRS. Vzhledem k tomu, že potřebujeme nastavit šířku pulsu v rozpětí cca 1 až 2 ms s 256 kroky, je dosažené rozlišení bohatě dostatečné.

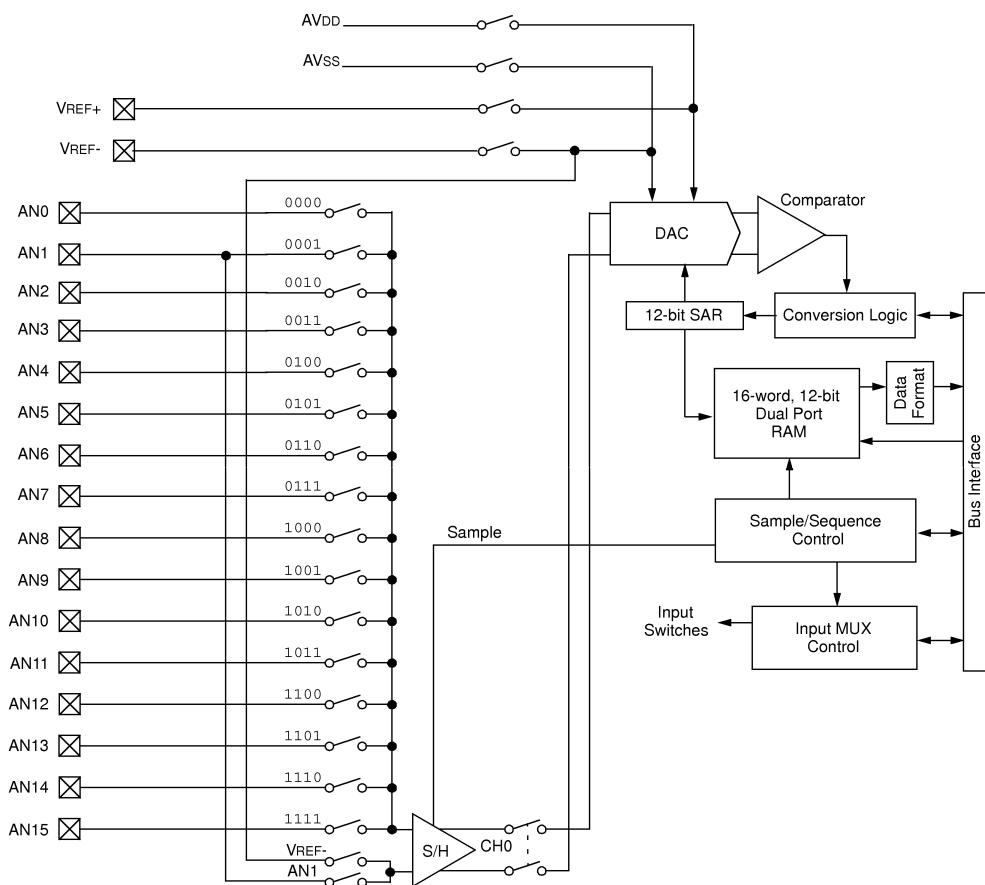
Samotné generování PWM signálu probíhá ve třech krocích dle obr. 3.3.

1. Timer2 je vymazán. Z registru OCxRS je načtena nová hodnota šířky pulsu do OCxR.
2. Hodnota Timer2 se rovná hodnotě OCxR. Výstup je nastaven na nulu.
3. Perioda uplynula. Výstup je nastaven na jedničku a pokračuje se bodem 1.

3.2.2 A/D převodník

Procesor dsPIC30F4013 obsahuje 12-ti bitový A/D převodník s postupnou approximací. Převodník může mít až 16 vstupů. Tyto vstupy lze nastavit i jako obecné digitální vstupy, výstupy. Pro převod vstupního napětí je nutné získat referenční napětí. Lze použít i stabilizované napájecí napětí mikroprocesoru.

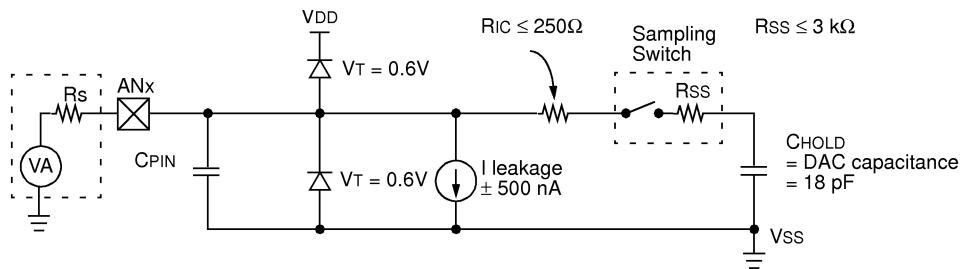
Základem tohoto typu převodníku je D/A převodník a napěťový komparátor. Vstupem D/A převodníku je approximační registr SAR, který představuje výsledek konverze. Samotná konverze napětí trvá 12 taktů. V prvním taktu je MSB bit registru SAR jedna a ostatní bity jsou nula. Tím je nastaven výstup D/A převodníku U_{DA} na polovinu referenčního napětí U_{ref} . Toto napětí se komparátorem srovná s měřeným napětím U_{in} . Pokud $U_{in} > U_{DA}$, ponechá se MSB bit jedna, jinak se vynuluje. V dalším taktu je nastaven MSB-1 bit. Tím se k původnímu napětí přičte čtvrtina U_{ref} . Znovu se výstupní napětí porovná komparátorem a určí se MSB-1 bit. Takto se postupuje dále dokud se neurčí LSB bit registru SAR a tím je znám výsledek konverze.



Obrázek 3.4: Blokové schéma A/D převodníku procesoru dsPIC30F4013 (převzato z [9]).

Poté, co je převodník nakonfigurován a je zvolen konkrétní analogový vstup, probíhá konverze v následujících bodech.

1. Zapnout A/D modul: ADON = 1.
2. Spustit vzorkovací čas: SAMP = 1. Během této doby je analogový vstup spojen se vzorkovačem S/H. Vzorkovací doba je určena počtem taktů T_{AD} (nastavitelné registrem ADCON3).
3. Konverze se automaticky spustí na konci vzorkovací doby a trvá 14 taktů T_{AD} .
4. Čekat na dokončení konverze - bit DONE bude jedna.
5. Přečíst výsledek konverze z registru ADCBUF0.
6. Vypnout A/D modul: ADON = 0.



Obrázek 3.5: Vstupní schéma A/D převodníku (převzato z [9]).

Dobu vzorkování T_{SAMP} je třeba volit vzhledem k impedanci vstupu R_S a parametrym A/D převodníku (obr. 3.5). Tuto dobu lze napsat jako součet

$$T_{SAMP} = T_{COEF} + T_{AMP} + T_C,$$

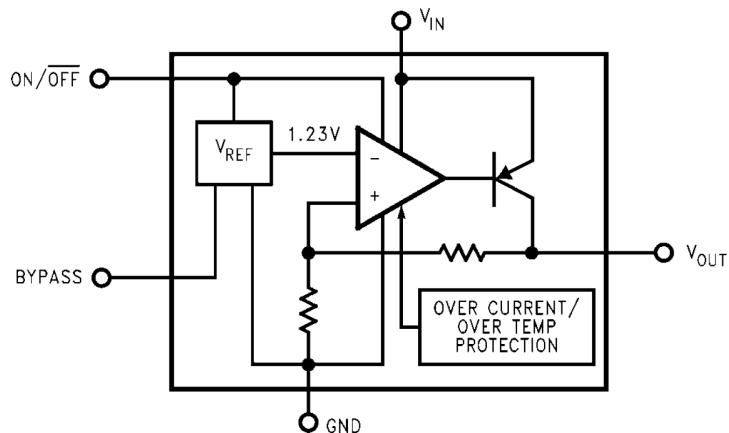
kde $T_{AMP} = 0.5 \mu s$ je doba ustálení vzorkovače S/H. $T_{COEF} = 0.125 \mu s @ 50^\circ C$ je doba daná teplotou. Podstatná je především doba závislá na impedanci vstupu

$$T_C = -C_{HOLD}(R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln \frac{1}{2 \times 2^{12}}.$$

Například pokud má vstup impedanci $R_S = 10 k\Omega$ vychází potřebná doba vzorkování $T_{SAMP} = 2.8 \mu s$. Je nutné nastavit počet taktů T_{AD} a samotnou dobu T_{AD} tak, aby doba vzorkování byla větší než vypočtená doba.

3.3 Stabilizátor napětí LP2985

Pro napájení mikroprocesoru a vlečného háčku bylo třeba vybrat vhodný LDO (Low-Dropout) stabilizátor s nízkým úbytkem napětí, nízkým odběrem proudu a v miniaturním pouzdrnu. Takové součástky u nás běžně k dostání nejsou. Nakonec jsem zjistil, že jsou k dostání u anglické firmy RS Components. Konkrétně jsem vybral stabilizátor LP2981 od firmy National Semiconductor v miniaturním pouzdru SOT23-5 s výstupním napětím 3.3 V. Blokové schéma je na obr. 3.6.



Obrázek 3.6: LP2985 - LDO stabilizátor napětí s nízkým úbytkem (převzato z [12]).

Základní vlastnosti

- Garantovaný výstup maximálně 150 mA.
- Pevné výstupní napětí (standardně několik hodnot v rozsahu 2.5 - 5.0 V).
- Velmi nízký úbytek napětí, typicky 7 mV @ 1 mA, 300 mV @ 150 mA.
- Nízký odběr, typicky 75 μ A @ 1 mA, 850 μ A @ 150 mA.
- Odběr < 1 μ A při shut down režimu.
- Velmi nízký šum, typicky 30 μ V.
- Stabilní s keramickým výstupním kondenzátorem.

3.3.1 Princip činnosti lineárních stabilizátorů

NPN stabilizátory

Klasické NPN lineární stabilizátory mají ve věti ze vstupu na výstup zapojenou NPN Darlingtonovu dvojici a jeden PNP tranzistor. Právě proto mají tyto stabilizátory vysoký úbytek napětí 1.5 - 2.5 V. Také mají vysokou spotřebu (až 5 mA pro LM78L05). Díky těmto vlastnostem není tento typ stabilizátoru příliš vhodný pro aplikace napájené z akumulátorů.

Velkou výhodou NPN stabilizátorů je, že jsou sami o sobě stabilní (většina nevyžaduje pro stabilizaci externí kondenzátory - ty se používají pouze pro snížení zvlnění).

LDO stabilizátory

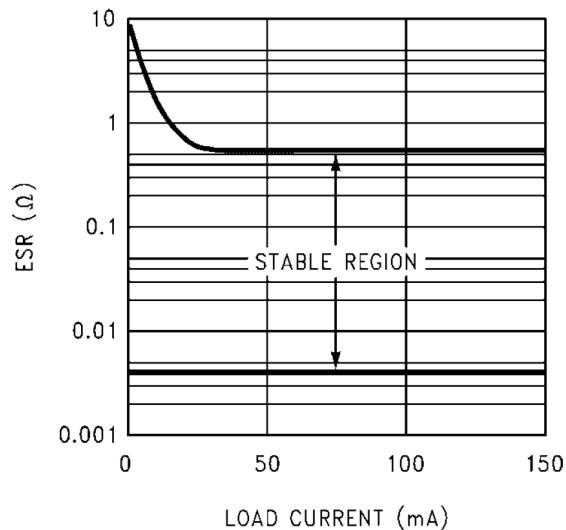
LDO stabilizátory dosahují mnohem příznivějších parametrů. V hlavní větvi je zapojen pouze jeden PNP tranzistor viz obr. 3.6.

Základní princip činnosti obou typů stabilizátorů je však stejný a je patrný z obr. 3.6. Výstupní napětí stabilizátoru je přivedeno přes odporový dělič na vstup chybového zesilovače. Na druhý vstup zesilovače je přiveden zdroj referenčního napětí. Zesilovač se pak snaží pomocí otevřání a zavírání tranzistoru v hlavní větvi udržet oba vstupy na stejné hodnotě napětí a tím udržet stabilní napětí na výstupu stabilizátoru.

LDO stabilizátor pro svou činnost potřebuje dostatečný kondenzátor na vstupu i výstupu. Jinak se obvod rozkmitá. Dokonce tyto kondenzátory mají předepsanou minimální kapacitu a hodnotu ESR (Equivalent Series Resistance) v daném rozsahu. Obecně se vyrábějí dva typy LDO stabilizátorů. Např. LP2981 je navržen pro použití s tantalovým kondenzátorem (vyšší hodnoty ESR). Stabilizátor LP2985 je naopak navržen pro použití s keramickým kondenzátorem, který dosahuje nižší hodnoty ESR.

3.3.2 Výběr kondenzátorů pro obvod LP2985

Na obr. 3.7 je zobrazen rozsah ve kterém musí ležet hodnota ESR výstupního kondenzátoru pro obvod LP2985. Dle datového listu je doporučována kapacita výstupního kondenzátoru minimálně $2.2 \mu\text{F}$. Vstupní kondenzátor má mít kapacitu minimálně $1 \mu\text{F}$, může být použit keramický i tantalový kondenzátor (zde hodnota ESR není kritická).



Obrázek 3.7: Výstupní kondenzátor pro stabilizátor LP2985 musí svoji hodnotu ESR (Equivalent Series Resistance) udržet v daném rozsahu, aby byla zajištěna stabilita obvodu (převzato z [12]).

3.4 Popis zapojení

Při návrhu časovače byly brány ohledy zejména na malou spotřebu proudu a co nejmenší rozměry desky plošného spoje. Bylo třeba tedy použít co nejméně součástek, ale přitom zachovat všechny potřebné funkce celého zařízení. Schéma zapojení a motivy plošných spojů jsou v dodatku B. Plošný spoj je dvojvrstvý s prokovenými otvory a byl navržen v programu OrCAD. Obvodové zapojení vychází zejména z níže uvedených vlastností časovače.

Vlastnosti elektronického časovače

- Přídavné periferie připojitelné přes konektory (pro snazší montáž a možnou výměnu).
- Výstup pro čtyři serva.
- Odpojení napájecí větve serv po skončení letu (kvůli úspore energie).
- Analogový vstup pro elektronický háček a možnost odpojit napájení háčku.
- Vstup pro dva mechanické mikrospínače nebo pro Hallový sondy.
- Rotační přepínač pro rychlé nastavení doby letu bez nutnosti programování.
- Výstup pro bzučák s dvojnásobným napětím pro vyšší akustický výkon.
- Možnost nahrát nový firmware, pokud je časovač přímo v modelu.

Procesor dsPIC30F4013 (U1) je taktován 8 MHz krystalem Y1 v klasickém pouzdrou HC49US. Pro nahrávání firmwaru přes sériové rozhraní ICSP je na desce čtyř pinový konektor J9. Pro úsporu místa neobsahuje tento konektor zemní vodič GND, ten je při programování přichycen ke konektoru J7, který slouží k připojení Setuperu.

Napájení časovače

Napájecí akumulátor je odvozen především z požadavků serv. Bylo uvažováno použití 4 - 5 NiMH článků nebo dvou Li-Pol článků. Dle typu akumulátoru a stupně nabité se napájecí napětí může měnit v rozsahu 4.5 - 8 V. Doporučená kapacita akumulátoru je alespoň 250 mAh. Pro měření napětí AD převodníkem a pro napájení elektronického háčku je třeba získat přesně dané konstantní napětí. Proto pro napájení mikroprocesoru a elektronického háčku je použit stabilizátor s nízkým úbytkem napětí LP2985 (U2) s výstupem 3.3 V. Serva jsou napájeny přímo z akumulátoru. Napětí akumulátoru je mikroprocesorem měřeno přes odporový dělič R7-R8. Proud tímto děličem teče pouze, je-li sepnutá napájecí větev serv.

Spínače

Tento časovač umožňuje připojení jak mechanického tak elektronického háčku. Proto jsou zde umístěny dva logické vstupy s pull-up rezistory. Protože se předpokládá i možnost připojení Hallových sond, které mají nezanedbatelný odběr, jsou oba spínače odpojitelné tranzistorem Q2.

Signál pro serva

Serva jsou napájena přímo z akumulátoru a mikroprocesor z nižšího stabilizovaného napětí 3.3 V. Kdyby se výstup mikroprocesoru přímo zapojil na vstup serva, mohlo by dojít k tomu, že výstupní úroveň procesoru již nebude servem brána jako logická jednička a servo nepůjde řídit.

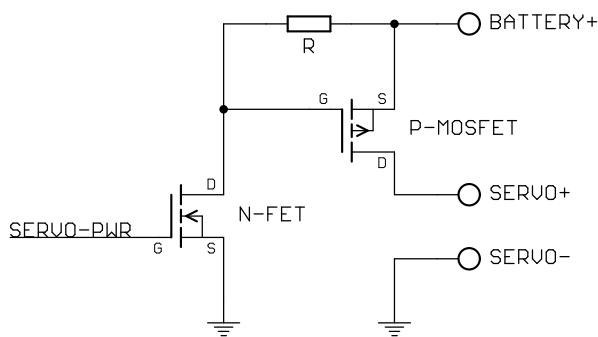
Proto bylo potřeba převést úrovně signálů procesoru na úrovně napájecího akumulátoru. K tomuto účelu byl použit rychlý komparátor TLC3704 s výstupem push-pull (U3). Jedná se součástku v pouzdro SO14 obsahující čtyři komparátory. Na záporný vstup každého komparátoru je z odporového děliče R6-R9 přivedena polovina stabilizovaného napětí. Na kladný vstup je přiveden PWM signál z mikroprocesoru a výstup komparátorů je přiveden na serva. Výhodou tohoto řešení je především to, že stačí dva rezistory a jedna součástka v pouzdro SO14. Spotřeba uvedeného komparátoru je pouze 35 μ A.

Odpojování serv

Modelářská serva odebírají proud přes vinutí motoru cca 9 mA i když do nich nejde žádný PWM signál a nejsou tedy řízena. Protože volný model F1A po skončení letu leží dlouhou dobu na zemi, dokud ho jeho majitel nenaleze, je třeba zamezit odběru proudu servo motory a šetřit energii akumulátoru.

Nejlépe to lze zařídit odpojením kladné napájecí větve serv. Pro tento účel byl použit P-MOSFET tranzistor IRF7304 (Q5). Jedná se o technologii HEXFET 5. generace. Odpor při sepnutí pouze $90\text{ m}\Omega$, maximální trvalý proud 4.3 A. V pouzdro SO8 jsou umístěny dva tyto tranzistory. Jeden je použit k odpojování serv 1 až 3 a druhý k odpojování serva 4 (otevřání háčku). Oddělené odpojování serva háčku je výhodné, protože je toto servo napájeno pouze v průběhu výstřelu, jinak je po celou dobu odpojeno.

Princip zapojení je patrný z obr. 3.8. Aby byl P-MOSFET v plně sepnutém stavu, musí být napětí U_{GS} (Gate-Source) menší než -2.7 V. Proto je zde zapojen navíc N-FET tranzistor. Pokud je úroveň SERVO-PWR nulová N-FET je rozepnut a $U_{GS} = 0\text{ V}$ (servo je odpojeno). Pokud je SERVO-PWR logická jednička, N-FET je sepnut a $U_{GS} < 0\text{ V}$ (servo je napájeno).

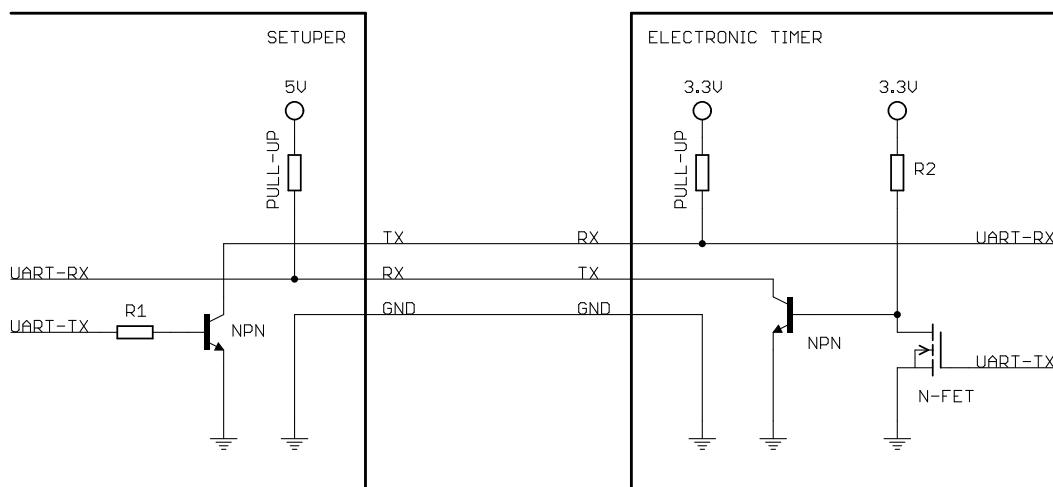


Obrázek 3.8: Princip odpojování napájecí větve serv.

Sériové rozhraní UART

Časovač využívá obě sériová rozhraní UART v asynchronním režimu. Jedno pro komunikaci s programovací jednotkou Setuper a druhé pro komunikaci s rádiovým modulem. Protože se předpokládá, že uvedená zařízení mají různá napájecí napětí, nelze jejich rozhraní připojit přímo. Například pokud jedno zařízení pracuje na napětí 5 V, má vstup UARTu dolní hranici pro úroveň logické jedničky 4 V. Pokud druhé zařízení je napájeno na 3.3 V, jeho signál nedosáhne této úrovně. I kdyby byly obě zařízení na stejném napětí, hrozí, že pokud se zapne jedno, je na druhé přivedeno napětí ze vstupního portu a nemusí dojít k správnému resetu mikroprocesoru.

Jako řešení je zde použito rozhraní s otevřeným kolektorem (obr. 3.9). Každé zařízení ma na vstupu pull-up rezistor a na výstupu kolektor NPN tranzistoru. Protože procesor dsPIC30F4013 neumožňuje invertovat smysl signálů UARTu je nutné použít další tranzistor, aby nebyly výsledně logické úrovně invertovány. Procesor v Setuperu invertovat úrovně umožňuje, proto je zde pouze jeden NPN tranzistor.



Obrázek 3.9: Princip zapojení sériového rozhraní UART.

Výstup pro bzučák

Pro získání většího akustického výkonu je napětí pro bzučák zdvojnásobeno nábojovou pumpou ICL7660S (U4). K činnosti této nábojové pumpy jsou potřeba dva tantalové kondenzátory C5, C7 a dvě diody, které jsou umístěny ve společném pouzdru D3. Připojený bzučák je spínán tranzistorem Q10.

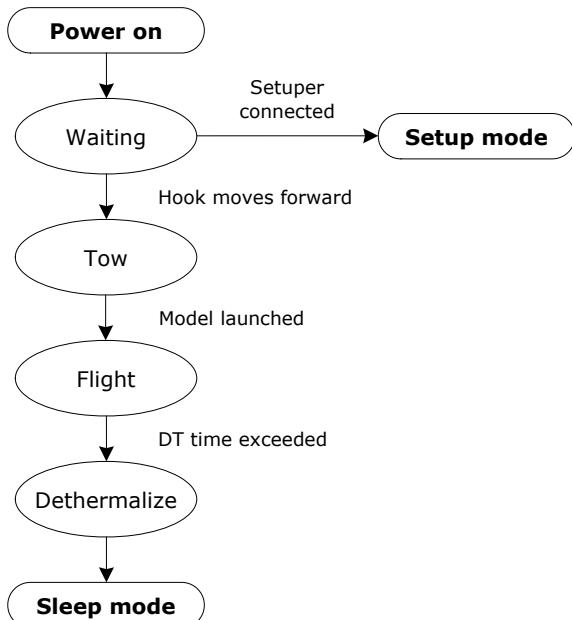
3.5 Uživatelský program

Programové vybavení elektronického časovače pracuje s mechanickým i s elektronickým vlečným háčkem. Nastavení všech letových parametrů a konfigurace časovače se provádí prostřednictvím programovací jednotky Setuper. Firmware byl napsán v jazyce C v prostředí MPLAB IDE s využitím překladače C30.

3.5.1 Zapnutí časovače

Základní běh programu je patrný z obr. 3.10. Po zapnutí napájení se nejprve zkonztrahuje napájecí napětí. Pokud je menší než nastavená hodnota LowVoltage oznámí to časovač pípáním. To upozorní uživatele, aby vyměnil baterii. Dokud je vlečný háček vzadu (přední spínač háčku rozepnut), časovač čeká na připojení Setuperu. Pokud uživatel pohně háčkem dopředu (sepne přední spínač), začne běžet letový program a spojení se Setuperem již není možné.

Následuje režim vlekání (Tow). Po výstřelu modelu je časovač v režimu letu (Flight). Když uplyne nastavený letový čas, aktivuje se determalizátor a časovač přejde do úsporného režimu. V tomto režimu je odpojeno napájení serv a nevyužívaných periférií. Pokud je aktivován bzučák, časovač se periodicky probouzí ze spánku a spíná bzučák. Během vleku a letu časovač udržuje komunikaci s rádiovým modulem a reaguje na přijaté povely (např. pro dálkovou aktivaci determalizátoru).



Obrázek 3.10: Základní běh programu.

3.5.2 Nastavení doby letu

Požadovanou dobu letu (aktivaci determalizátoru) lze nastavit velmi rychle rotačním dekadickým přepínačem DT Switch bez nutnosti připojení Setuperu. Hodnotu lze změnit i těsně před letem, protože stav tohoto přepínače je načten až po výstřelu modelu. Většina poloh je nastavena pevně po minutách, aby nemohlo dojít k omylu. Pouze dvě polohy jsou nastavitelné uživatelem viz tab. 3.1. Hodnota DT-Extend (0 - 10 s) se přičítá k nastavenému času a vytvoří tak časovou rezervu.

Dále lze nastavit hodnotu DT-Failsafe (např. na 90 s). Tato funkce zabrání ulétnutí modelu v případě, pokud došlo k přetržení vlečného lanka nebo závodník ztratil kontakt s lankem při vlekání. Pokud je po dobu DT-Failsafe háček stále vzadu (model již není ovládán), aktivuje se determalizátor.

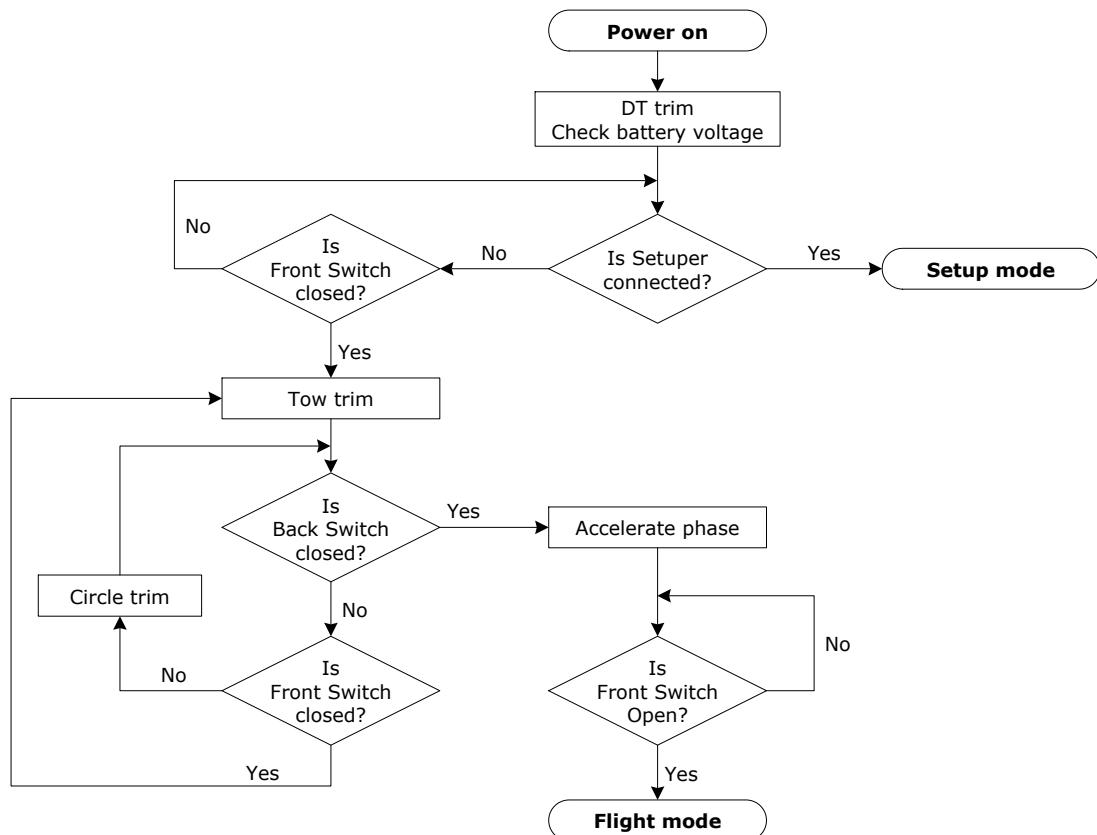
DT Switch	Hodnota
0	Nastavitelné hodnotou DT-0
1	60 s
2	120 s
3	180 s
4	240 s
5	300 s
6	360 s
7	420 s
8	210 s
9	Nastavitelné hodnotou DT-9

Tabulka 3.1: Hodnoty pro nastavení doby letu.

3.5.3 Mechanický vlečný háček

Na mechanickém vlečném háčku jsou umístěny dva mikrospínače detekující jeho stav. Přední spínač je sepnut pouze pokud je háček v přední poloze (výchylka pro přímí vlek). Zadní spínač se sepne v okamžiku odjištění háčku (při překročení vypínací síly háčku).

S mechanickým háčkem pracuje program dle obr. 3.11. Po zapnutí se výškovka vyklopí do polohy DT trim a zkontroluje se napájecí napětí. Po prvním sepnutí předního spínače se výškovka sklopí do polohy Tow trim a může začít vlek modelu. Až se háček během výstřelu odjistí (sepne zadní spínač), přejde se do fáze Accelerate. V této fázi program setrvá, dokud se nerozepne přední spínač (závodník odhodí vlečné lanko).



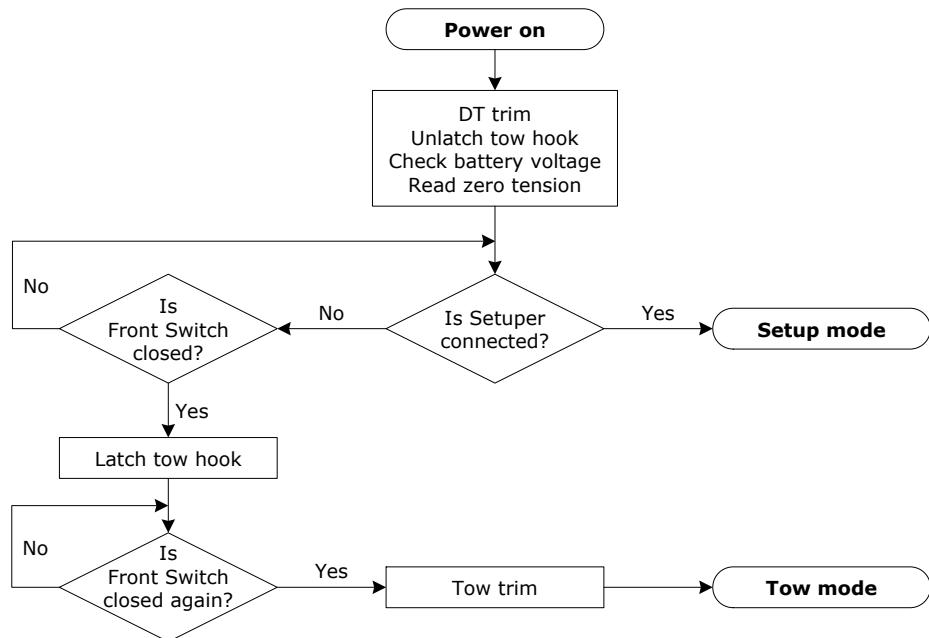
Obrázek 3.11: Počátek běhu programu s mechanickým háčkem.

3.5.4 Elektronický vlečný háček

Elektronický vlečný háček využívá pouze přední mikrospínač detekující polohu háčku. Tah ve vlečném lanku je měřen pomocí tenzometrů.

Po zapnutí časovače začíná program dle obr. 3.12. Výškovka se vyklopí do polohy DT trim, zkontroluje se napájecí napětí a odjistí se vlečný háček. V tomto okamžiku se uloží háčkem měřená síla jako referenční hodnota pro nulovou sílu. Před každým letem se tak ukládá hodnota pro nulovou sílu, což odstraní chybu, která by mohla vzniknout posunem nulové hodnoty síly (např. při deformaci háčku nebo teplotní změně). Je však nutné, aby po zapnutí nebyl háček zatěžován. Konec této inicializace je označen krátkým pípnutím. Pokud došlo k nějaké chybě, časovač začne pápit.

Dále je testován přední spínač. Když je poprvé sepnut, zajistí se vlečný háček. Po druhém sepnutí se sklopí výškovka do polohy Tow trim a může začít vlek modelu.



Obrázek 3.12: Počátek běhu programu s elektronickým háčkem.

Během vlekání pracuje program dle obr. 3.13. V tomto režimu letu se vyhodnocuje síla v háčku a jeho poloha. Pro toto vyhodnocování jsou definovány následující parametry.

TenAcc - Síla (cca 70 N) pro přechod do fáze Accelerate.

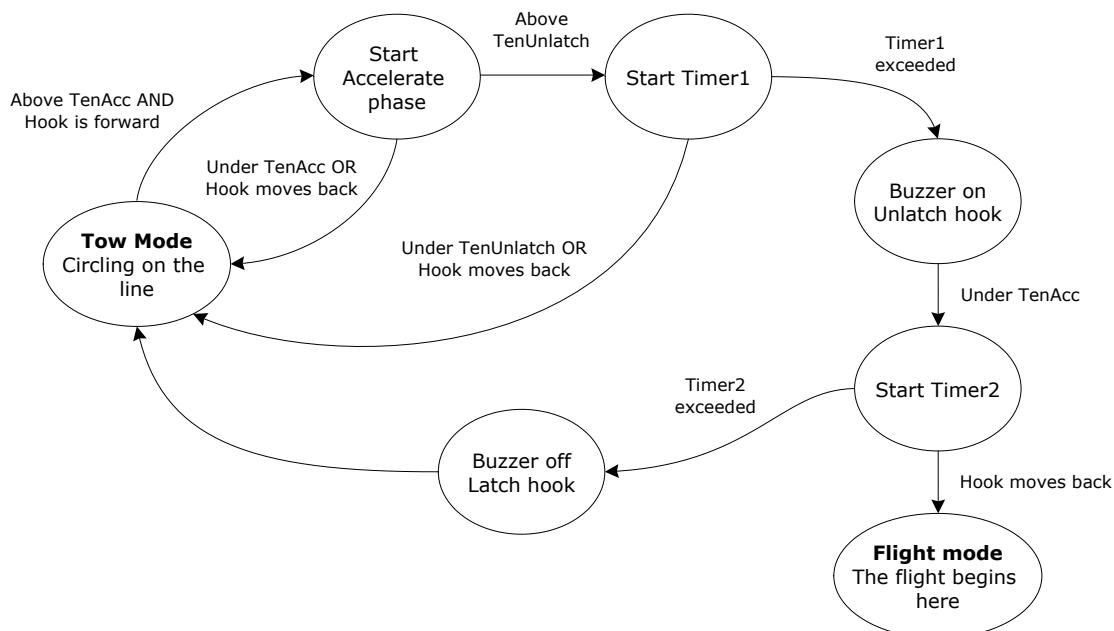
TenUnlatch - Síla (cca 90 N) pro odjistištění háčku.

Timer1 - Doba (cca 0.3 s) po kterou musí být překročena síla TenUnlatch, aby se háček odjistil.

Timer2 - Doba (cca 0.4 s) do které musí jít háček dozadu, aby začal let. Jinak se háček opět zajistí a pokračuje vlek.

Pokud je překročena síla TenAcc, přejde se do fáze Accelerate. V této fázi se nastaví výchylky tak, aby se model ještě více urychlil na výstřel. Pokud je překročena i síla TenUnlatch a to po dobu Timer1, servo odjistí háček. Pokud do této doby síla poklesne, nebo se háček pohně dozadu, vrátí se program zpět do režimu vleku.

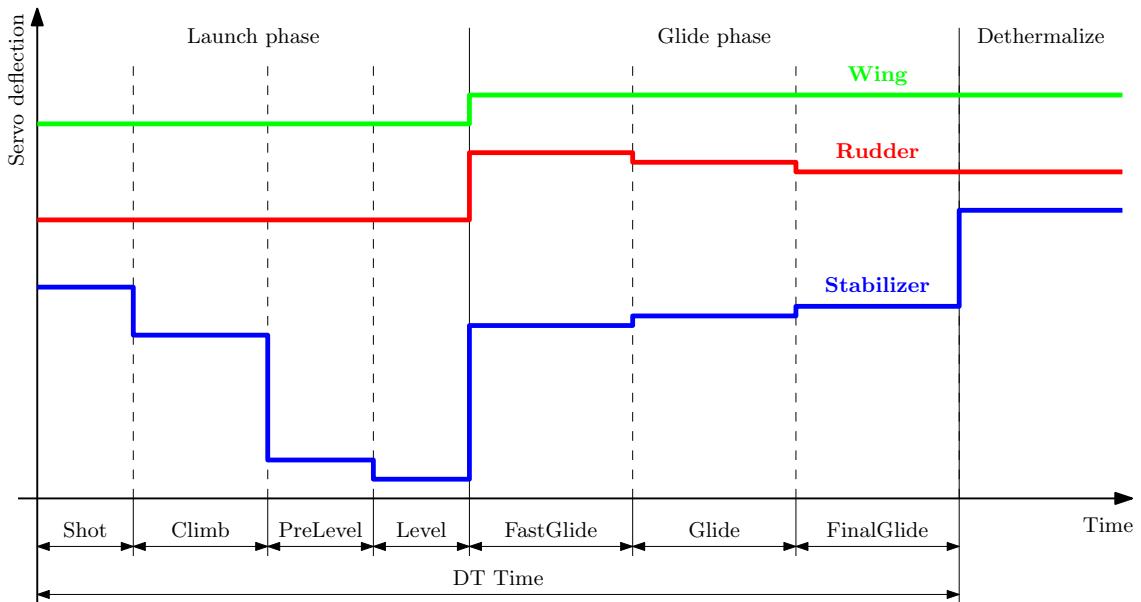
Když je háček odjistištěn, zapne se bzučák, který závodníka informuje o otevřeném háčku. Pro vypuštění modelu nyní musí závodník odhodit vlečné lanko. Tím síla prudce poklesne, háček jde okamžitě dozadu a začíná režim letu. Pokud se závodník rozhodne dál kroužit, lanko neodhodí a povolí tah (běží pomaleji). V tomto případě po poklesu síly je háček stále vpředu a servo háček zajistí. Program přejde zpět do režimu vleku. Také se vypne bzučák a závodník tak ví, že může dělat další kruh.



Obrázek 3.13: Základní běh programu.

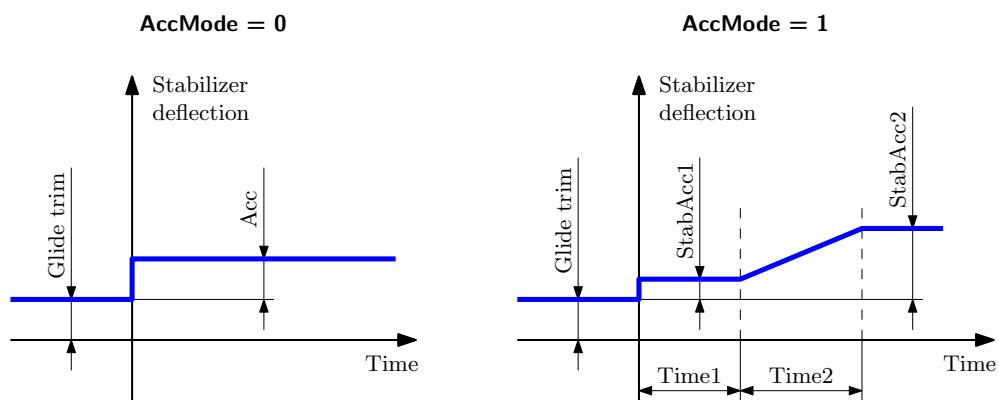
3.5.5 Nastavení výchylek

Kromě výchylek během fáze vleku je možné nastavit i všechny výchylky během letu. Při výstřelu typu bunt, kdy se model vystřeluje kolmo vzhůru je třeba po ztrátě rychlosti model srovnat do kluzu. K tomu slouží nastavitelné časové intervaly a příslušné výchylky kormidel. Ukázka takového nastavení je na obr. 3.14. Tento diagram začíná v okamžiku vypuštění modelu, kdy začíná běžet letový čas.



Obrázek 3.14: Průběh výchylek od vypuštění modelu.

Během fáze urychlení modelu (accelerate) dochází k velkému prohnutí křídel a jistému geometrickému zkroucení. Aby bylo dosaženo maximální rychlosti při výstřelu, je dobré změnit úhel seřízení. Potřebná změna seřízení závisí především na tom, jak se křídla nakrucují, a na rychlosti větru. Parametrem AccMode lze zvolit, zda se při urychlení výškovka vychýlí o konstantní hodnotu, nebo zda se bude vychylovat plynule po rampě viz obr. 3.15.



Obrázek 3.15: Výchylka výškovky ve fázi accelerate.

3.6 Konfigurace časovače

Konfigurace časovače se provádí programovací jednotkou Setuper. Všechny letové parametry a zobrazovaná menu jsou uložena přímo v časovači. Setuper je pouze zobrazuje. Pokud je Setuper spojen s časovačem, lze nastavit všechny potřebné parametry pro následující let. Pokud je během zapnutí Setuperu stisknuto některé tlačítko kurzoru, Setuper se k časovači připojí v servisním režimu. V tomto režimu lze nakonfigurovat ostatní vlastnosti časovače jako např. typ vlečného háčku, parametry PWM signálů, používání rádiového modulu, atd.

3.6.1 Letové programy

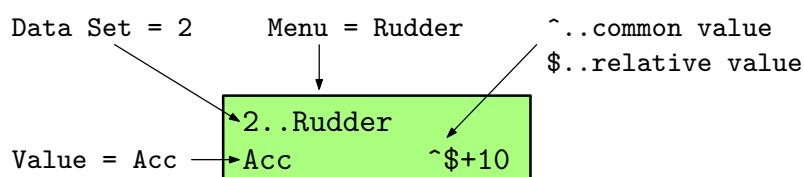
V časovači je uloženo 7 letových programů. Tyto programy lze používat například pro různá počasí. Pokud uživatel tolík programů nepotřebuje, lze omezit jejich počet parametrem DataNum v servisním menu.

Jsou zde dva základní typy programů:

com1 - com5 Každá letová hodnota z tohoto programu může obsahovat prefix \wedge . Tento prefix znamená, že hodnota je společná pro všechny programy com1 - com5. Většinu letových hodnot není třeba měnit a tento prefix zajistí jejich shodu v daných programech. Stačí u několika hodnot tento prefix odstranit a nastavit je individualně podle potřeby.

ind6 - ind7 Tyto programy nemají možnost nastavit prefix \wedge a jsou určeny pro uložení zcela odlišného programu.

Některé letové parametry mají prefix $\$$, který je pevně dán a nelze ho odstranit. Tento prefix znamená, že se jedná o relativní hodnotu výchylky. U některých výchylek je totiž podstatný především jejich rozdíl od jiných výchylek. Například během fáze accelerate je podstatné o kolik se výchylka změní oproti předcházející výchylce a ne její absolutní hodnota. Toto řešení přináší snazší nastavení těchto výchylek. Uživatel nemusí počítat kolik má nastavit, aby dosáhl daného přírůstku.

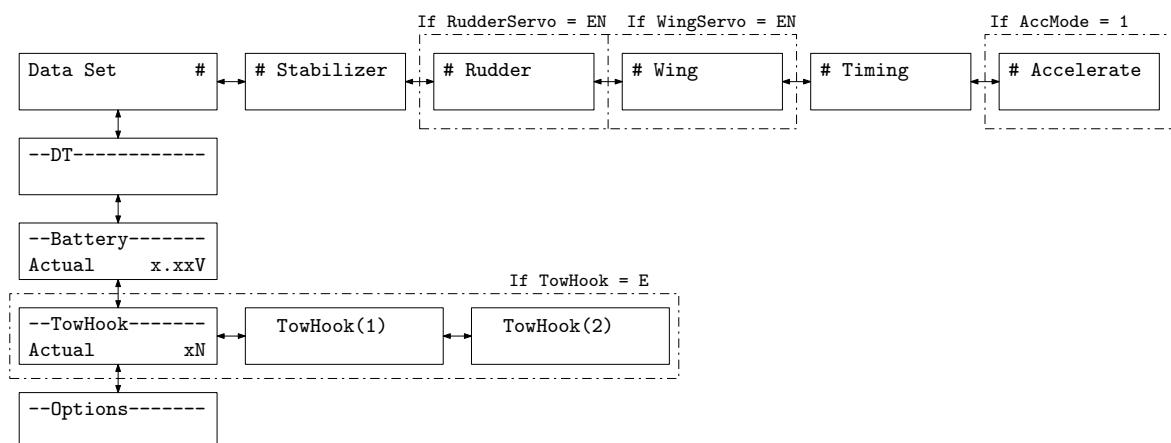


Obrázek 3.16: Příklad zobrazení na LCD displeji Setuperu při nastavování výchylky směrovky pro fázi Accelerate (hodnoty Acc).

3.6.2 Uživatelské menu

Orientace v uživatelském menu probíhá dle obr. 3.17. Mezi jednotlivými obrazovkami se uživatel může pohybovat pomocí kurzoru, jak je zobrazeno šipkami na obrázku. Některá menu jsou zobrazována pouze pokud jsou povolena v servisním menu. Lze tak zjednodušit orientaci v menu, pokud nejsou některé funkce využívány. Význam některých zobrazení:

- Data Set - Lze nastavit požadovaný letový program.
- Battery - Zobrazuje aktuální napětí baterie časovače.
- TowHook - Zobrazuje aktuální měřenou sílu háčku. Zde lze odzkoušet že háček funguje správně. Po stisknutí tlačítka INC nebo DEC lze prohlížet záznam maximálních sil během výstřelu za posledních 20 letů.



Obrázek 3.17: Orientace v uživatelském menu.

V následujících tabulkách jsou hodnoty nastavitelné v uživatelském menu.

Menu - DT			
Name	Range	Step	Default
DT-0	0..1275	5s	30s
DT-9	0..2550	10s	600s
DT-Failsafe	20..2550	10s	90s
DT-Extend	0..10	1s	0s

Menu - TowHook(1)			
Name	Range	Step	Default
TenAcc	0..255	1N	70N
TenUnlatch	0..255	1N	100N
Timer1	0.00..2.55	0.01s	0.30s
Timer2	0.00..2.55	0.01s	0.40s
HookOpen	0..255		100
HookClose	0..255		240

Menu - TowHook(2)			
Name	Range	Step	Default
TenCircle	0..255	1N	30N
CircleRudder	-128..127		100
CircleWing	0.00..2.55		200

Menu - Options			
Name	Range	Step	Default
RCDT	DIS,1..2	1N	1
ShowDisFun	EN,DIS		DIS
Buzzer	EN,DIS		EN
LED-Blinker	DIS,1..2		DIS

Menu - Battery, Mech. TowHook			
Name	Range	Step	Default
LowVoltage	0..25.5	0.1V	4.8V
LaunchFail	DIS, 0.1..25.5		DIS
CircleFail	DIS, 1..2		2

Menu - Timing			
Name	Range	Step	Default
Shot	0.00..2.55	0.01s	0.40s
Climb	DIS,0.01..2.55	0.01s	0.60s
PreLevel	DIS,0.01..2.55	0.01s	DIS
Level	DIS,0.01..2.55	0.01s	1.20s
FastGlide	DIS,1..255	1s	5s
FinalGlide	DIS,10..600	10s	DIS

Menu - Stabilizer			
Name	Range	Default	Note
Tow	\$-128..\$+127	\$+5	Rel. to Glide
Acc	\$-128..\$+127	\$+10	Rel. to Glide
Shot	-128..127	20	
Climb	DIS,-127..127	-40	Shot if DIS
PreLevel	DIS,-127..127	DIS	Climb if DIS
Level	DIS,-127..127	-110	PreLevel if DIS
FastGlide	DIS,\$-127..\$+127	\$-5	Rel. to Glide
Glide	-128..127	0	
FinalGlide	DIS,\$-127..\$+127	DIS	Rel. to Glide
Circle	DIS,-127..127	DIS	Tow if DIS

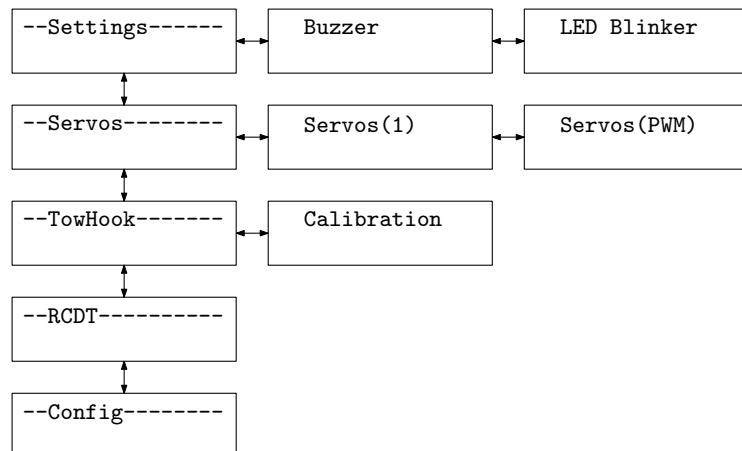
Menu - Rudder			
Name	Range	Default	Note
Tow	-128..127	-30	
Acc	\$-128..\$+127	\$+10	Rel. to Tow
Shot	-128..127	20	
Climb	DIS,-127..127	DIS	Shot if DIS
Level	DIS,-127..127	DIS	Climb if DIS
FastGlide	DIS,\$-127..\$+127	\$+10	Rel. to Glide
Glide	-128..127	40	
FinalGlide	DIS,\$-127..\$+127	DIS	Rel. to Glide
Circle	-128..127	100	

Menu - Wing			
Name	Range	Default	Note
Tow	-128..127	-30	
Acc	\$-128..\$+127	\$+10	Rel. to Tow
Shot	-128..127	20	
Climb	DIS,-127..127	DIS	Shot if DIS
Level	DIS,-127..127	DIS	Climb if DIS
FastGlide	DIS,\$-127..\$+127	\$+10	Rel. to Glide
Glide	-128..127	40	
FinalGlide	DIS,\$-127..\$+127	DIS	Rel. to Glide
Circle	-128..127	100	

Menu - Accelerate			
Name	Range	Default	Note
StabAcc1	\$-128..\$+127	\$+5	Rel. to Glide
Time1	0.00..2.55	0.50s	
StabAcc2	\$-128..\$+127	\$+25	Rel. to Glide
Time2	0.00..2.55	1.00s	

3.6.3 Servisní menu

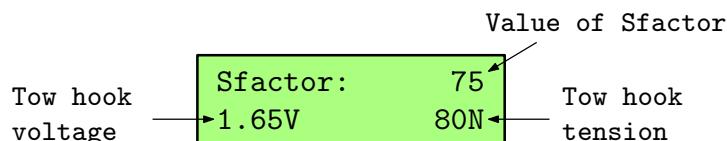
V servisním menu lze nastavit základní vlastnosti časovače (parametry generovaného PWM signálu, typ použitého háčku, nastavení bzučáku, LED blikáčky a další).



Obrázek 3.18: Orientace v servisním menu.

Kalibrace elektronického vlečného háčku

Po vstupu do menu kalibrace háčku se zobrazí obrazovka obr. 3.19. Kalibrace se provádí tak, že se háček zatíží známou silou a zároveň se nastavuje hodnota Sfactor dokud se nezobrazí správná hodnota síly.



Obrázek 3.19: Obrazovka kalibrace elektronického háčku.

Menu - Buzzer			
Name	Range	Step	Default
BeepNum	1..10		1
BeepPulse	0.1..25.5	0.1s	0.8s
BeepSpace	0.1..25.5	0.1s	0.2s
BeepPeriod	0.1..25.5	0.1s	6.0s
HookFwd	DIS,0.01..2.55	0.01s	DIS
Unlatch	EN, DIS		EN

Menu - LED Blinker			
Name	Range	Step	Default
Flash	0.01..2.55	0.01s	0.10s
Space	0.1..25.5	0.1s	2.0s

Menu - Servos(1)			
Name	Range	Step	Default
DT-Stab	-128..127		127
DT-Rudder	DIS, -127..127		DIS
DT-Wing	DIS, 1..255		DIS
ZeroStab	-128..127		0
ZeroRudder	-128..127		0

Menu - Servos(PWM)			
Name	Range	Step	Default
S1dir	0,1		1
S2dir	0,1		1
S3dir	0,1	10us	1
S1center	1000..2000	10us	1500us
S2center	1000..2000	10us	1500us
S3center	1000..2000	10us	1500us
S1span	100..1000	10us	600us
S2span	100..1000	10us	600us
S3span	100..1000	10us	600us

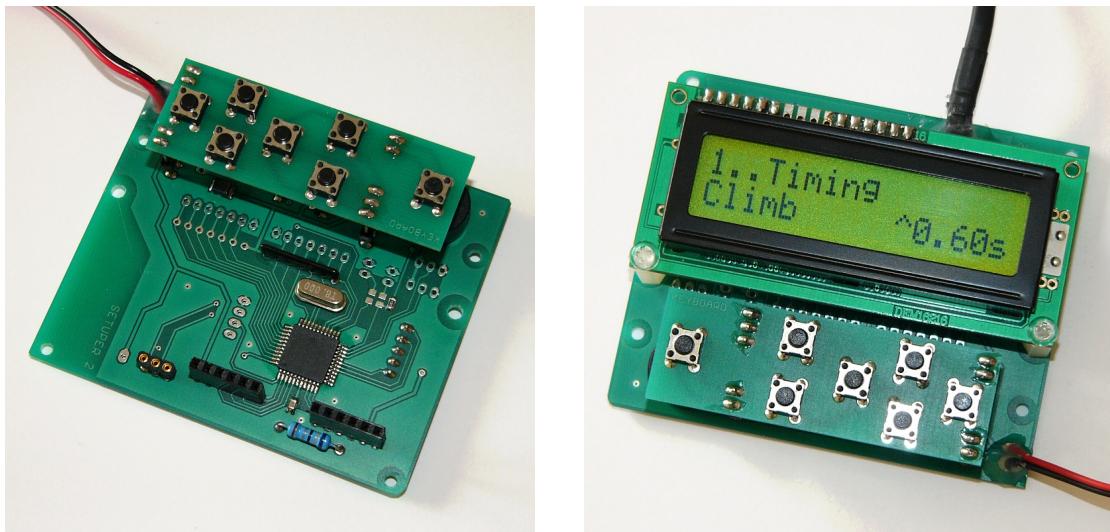
Menu - RCDT			
Name	Range	Step	Default
TrimDef	1..10		5
StabMax	-128..127		30
RudderZero	-128..127		0
WingZero	0..255		30
StabSpan	0..127		60
RudderSpan	0..127		100

Menu - Config			
Name	Range	Step	Default
DataNum	1..7		4
AccMode	0..1		0
InitTow	EN,DIS		DIS
RudderServo	EN,DIS		EN
WingServo	EN,DIS		EN
TowMenu	EN,DIS		DIS
TowHook	M,E		E

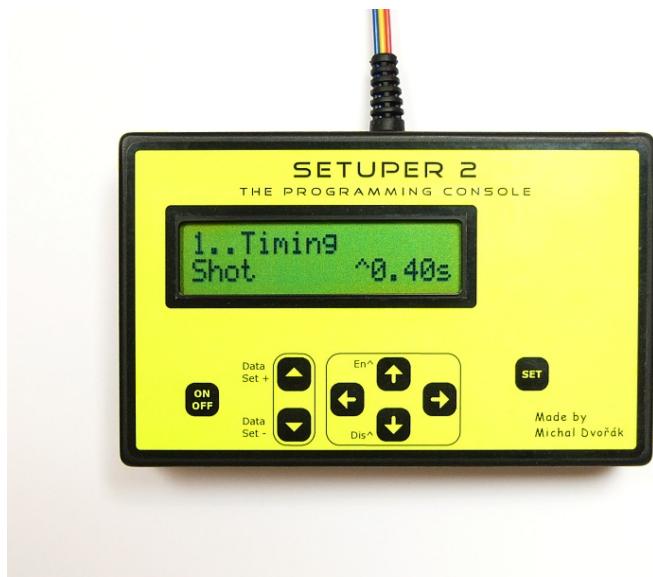
Kapitola 4

Programovací jednotka Setuper

Setuper je programovací jednotka určená k nastavování elektronického časovače. Připojuje se k němu přes sériové rozhraní UART. Obsahuje klávesnici s několika tlačítky pro pohyb v menu časovače a pro nastavování hodnot. K zobrazování dat slouží dvou řádkový LCD displej s rozšířeným rozsahem pracovních teplot. Setuper je napájen 9 V baterií. Zapínání a vypínání je ovládáno jedním tlačítkem. Základem je 8-bitový procesor PIC18F4620.



Obrázek 4.1: Osazená deska programovací jednotky Setuper.



Obrázek 4.2: Kompletní Setuper včetně potisku.

4.1 Popis zapojení

Setuper se skládá ze dvou desek plošných spojů. Základní deska je navržena jako dvojvrstvá s prokovenými otvory. K ní je připojena deska klávesnice, která obsahuje pouze tlačítka. Setuper je umístěn v krabičce U-KM33B. Přední strana je pokryta samolepkou, která zakrývá i tlačítka a tvoří tak klávesnici. Výrobní dokumentace je v dodatku C. Plošný spoj byl navržen v programu EAGLE.

Základem Setuperu je procesor PIC18F4620 (U1) taktovaný 8 MHz krystalem XT1. Setuper je napájen z 9 V baterie. Toto napětí je stabilizováno na hodnotu 5.0 V stabilizátorem LP2981 (U2). Tento typ stabilizátoru je navržen pro tantalové kondenzátory, proto jsou v jeho blízkosti tantalové kondenzátory C8 a C9, které zaručují stabilitu tohoto obvodu.

LCD displej je k procesoru připojen přes 4-bitové rozhraní (vysílá se zvlášť horní a dolní polovina přenášeného bytu). Kontrast displeje je nastavitelný potenciometrem R4. Podsvětlení displeje je spínáno tranzistorem R4. Protože toto zařízení bude používáno především ve venkovních podmírkách (na prudkém slunci i v mrazu) je nutné, aby displej byl dobře čitelný za všech podmínek. Použitý displej DEM16216 SYH-LY s technologií STN má rozsah průkrovních teplot -20°C až +70°C a je velmi dobře čitelný i na prudkém slunci. Při nízkých teplotách si zachovává rychlou odezvu.

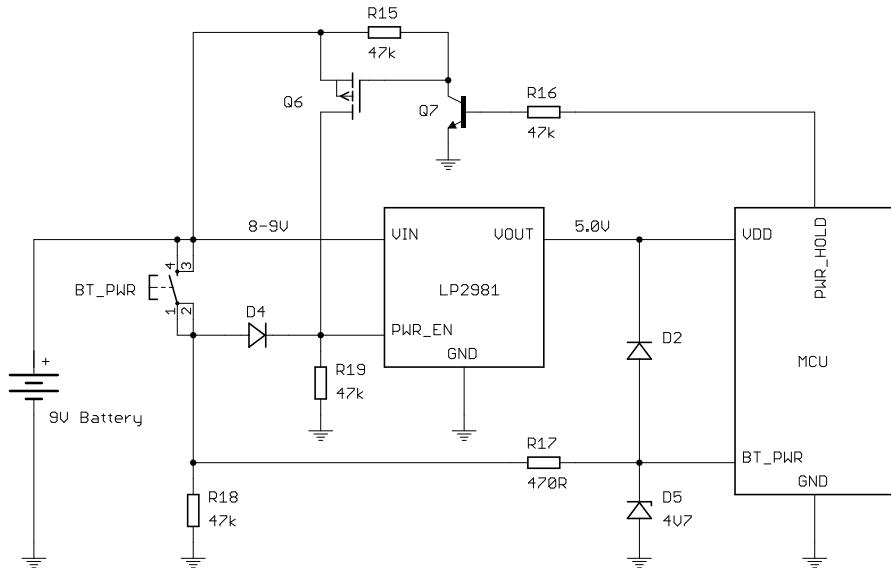
Setuper umožňuje měření napětí své napájecí baterie. Toto napětí je přivedeno přes odporový dělič R10-R11 na analogový vstup procesoru. Před měřením je nutné přivést kladné napětí z baterie na tento odporový dělič. K tomu slouží P-MOSFET tranzistor Q4 a NPN tranzistor Q8.

Klávesnice je připojena přes lámací lišty k základní desce Setuperu. Bzučák B1 je určen pro zvukovou signalizaci při zapnutí či při stisknutí tlačítka.

Na základní desce jsou konektory pro další zatím nevyužité periferie. Konektorem J11 lze připojit dalších šest tlačítek. Na konektory J1 a J2 lze připojit dva potenciometry. Dále je zde konektor J5 pro připojení rádiového modulu.

4.1.1 On/Off obvod

Zapínání a vypínání Setuperu je řešeno jedním mikrospínačem, mikroprocesorem a stabilizátorem. Toto zapojení umožňuje, aby se Setuper sám vypnul, pokud bude delší dobu v nečinnosti. Odpadá nutnost použití páčkového či posuvného vypínače, což zjednoduší montáž a zařízení je celkově elegantnější. Princip tohoto obvodu je na obr. 4.3.



Obrázek 4.3: Princip obvodu zapínání/vypínání jedním tlačítkem.

Zapnutí

Po stisknutí tlačítka BT_PWR je přivedeno napětí baterie na vstup PWR_EN stabilizátoru. Současně je přiveden signál i na vstup procesoru. Stabilizátor se probudí z režimu sleep a napájí celý obvod. Po naběhnutí procesoru se přivede pomocí signálu PWR_HOLD napětí baterie na vstup PWR_EN. Tím zůstane stabilizátor aktivní i po puštění tlačítka, nicméně stisknutí tlačítka se dále testuje. Spustí se časovač odpočítávání (cca 0.5 s). Pokud do této doby uživatel pustí tlačítko, procesor nastaví PWR_HOLD na nulu, vstup PWR_EN bude také nula a stabilizátor se uspí. Úkolem tohoto časovače je, aby se Setuper nespustil krátkým náhodným stisknutím tlačítka.

Pro převod napětí z 5 V procesoru na úroveň baterie slouží P-MOSFET Q6 a NPN tranzistor Q7. Zenerova dioda D5 chrání vstup procesoru před přepětím při stisknutí tlačítka. Dioda D2 zajišťuje, aby napětí na vstupu procesoru vzrostlo až po zapnutí stabilizátoru.

Vypnutí

Setuper se vypne, když stabilizátor přejde do režimu spánku. Pokud uživatel za běhu Setuperu stiskne tlačítko BT_PWR, v procesoru se generuje přerušení a spustí se odpočítávání (cca 0.5 s). Pokud po tuto dobu uživatel stále drží tlačítko, procesor vymaže displej, vypne podsvětlení a signál PWR_HOLD nastaví na nulu. Tím se Setuper jeví pro uživatele vypnutý. Po puštění tlačítka klesne na nulu i napětí na PWR_EN a Setuper je definitivně vypnuty. Když uživatel během odpočítávání tlačítko pustí, Setuper běží dál.

Další možností vypnutí je, že Setuper zůstane dlouhou dobu bez stisknutí jakéhokoliv

tlačítka. Pak se generuje přerušení od časovače, ten vynuluje signál PWR_HOLD a Setuper se okamžitě vypne. Čas pro automatické vypnutí je nastavitelný v menu Setuperu v rozsahu 5-60 min.

4.2 Programové vybavení

Firmware pro Setuper byl napsán v jazyce C v prostředí MPLAB IDE s využitím překladače C18. Podle toho, jaké je stisknuto tlačítko během zapnutí Setuperu, nastane jeden ze tří režimů.

- Uživatelský režim - Pokud není stisknuto žádné tlačítko, Setuper se spojí s časovačem v uživatelském režimu.
- Servisní režim - Pokud je stisknuto nějaké tlačítko kurzoru, Setuper se spojí s časovačem v servisním režimu.
- Nastavení Setuperu - Pokud je stisknuto tlačítko Inc nebo Dec, zobrazí se menu pro nastavení Setuperu.

Nastavení Setuperu

Při nastavení Setuperu lze měnit některé základní parametry jako dobu podsvětlení displeje, čas automatického vypnutí a režim bzučáku. V tomto menu se zobrazuje i aktuální napětí baterie Setuperu. Položku menu jsou uvedeny v následující tabulce.

Menu - Setuper			
Name	Range	Step	Default
Battery Voltage		0.01V	
Auto Power Off	5..60	5min	15min
LCD Backlight	DIS,5..60	5s	10s
Buzzer	DIS,1,2		2

Klávesové zkratky

Klávesnice obsahuje čtyři tlačítka kurzoru pro pohyb v menu, a tlačítka pro nastavování hodnoty Inc, Dec. Kromě toho je zde přídavné tlačítko SET, které má při kombinaci s ostatními tlačítky svůj význam dle tab. 4.1.

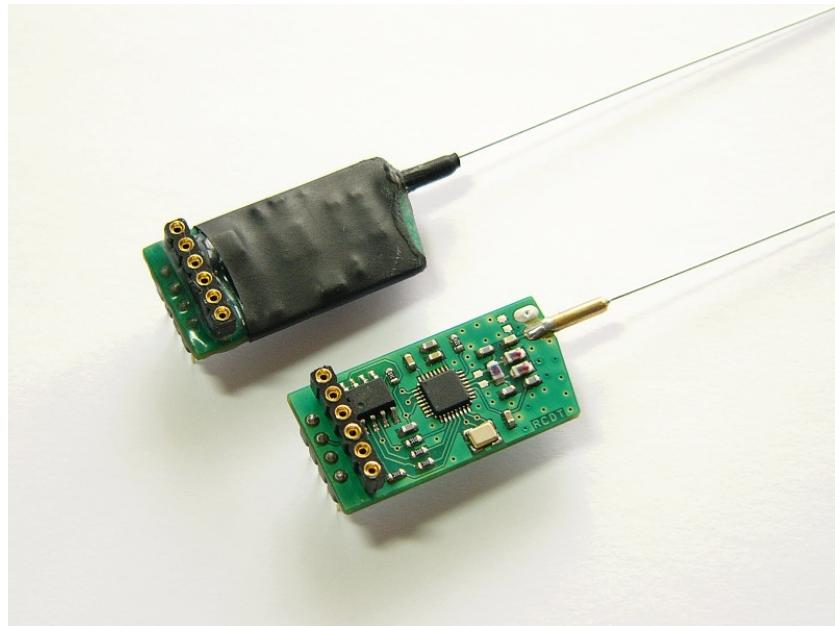
Kombinace	Význam
SET + Inc	Inkrementace letového programu
SET + Dec	Dekrementace letového programu
SET + Up	Nastaví příznak ^ pro společnou hodnotu
SET + Down	Vymaže příznak ^ pro společnou hodnotu

Tabulka 4.1: Klávesové zkratky.

Kapitola 5

Rádiový modul

Tento rádiový modul je určen k zabudování do hlavice modelu. Jeho funkcí je přijímání povelu pro ukončení letu (rádiový determalizátor) a vysílání pulsů nosného kmitočtu pro dohledávání modelu v terénu. Základem modulu je obvod nRF9E5. Na obr. 5.1 je osazená deska tohoto modulu a finální zapouzdřená verze.



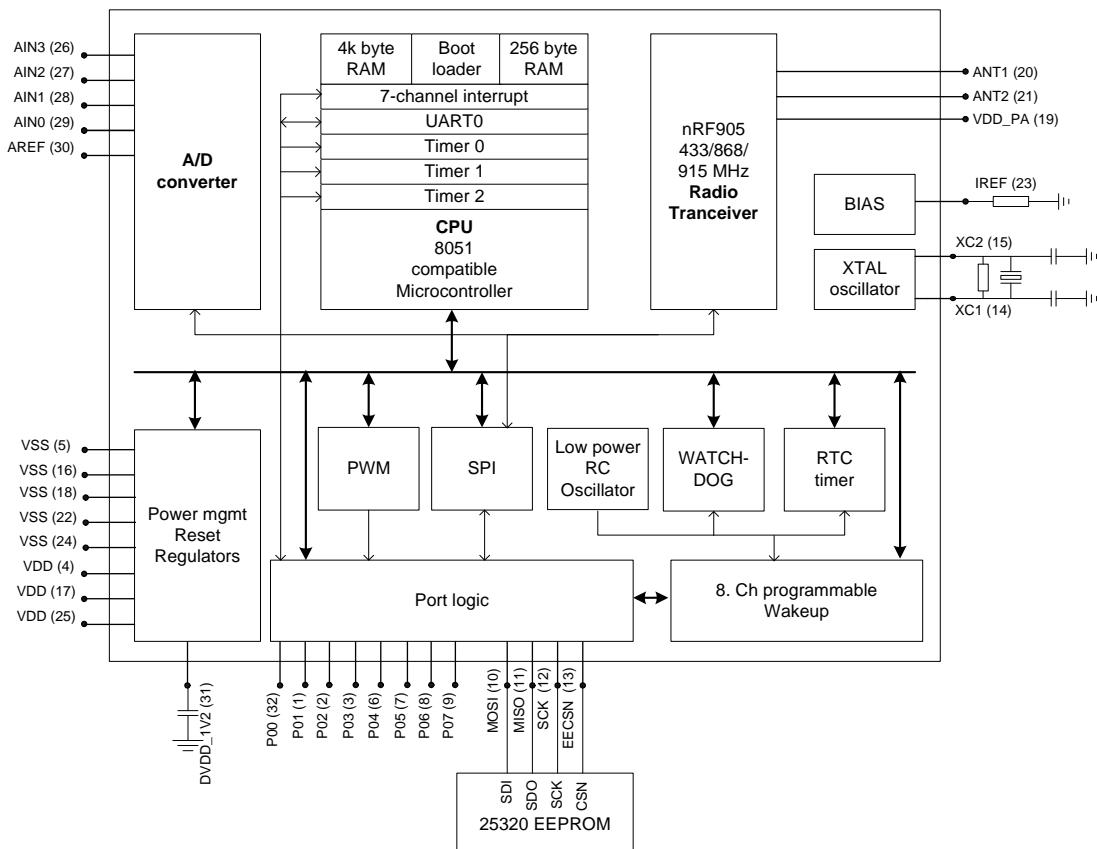
Obrázek 5.1: Osazená deska rádiového modulu a jeho finální zapouzdřená podoba.

5.1 Obvod nRF9E5

Na trhu není mnoho součástek, které by splňovaly požadavky kladené na tento modul. Hlavní kritériem je zde rozměr modulu. Proto je nezbytné, aby na jednom čipu byl obsažen současně kompletní transceiver a mikroprocesor. V době vzniku tohoto modulu byl jedinou dostupnou součástkou právě obvod nRF9E5 od firmy Nordic Semiconductor.

Vlastnosti obvodu nRF9E5

- 433/868/915 MHz transceiver.
- Nastavitelná frekvence 422.4-447.9 MHz s krokem 100 kHz.
- GFSK modulace, přenosová rychlosť 50 kb/s.
- Nastavitelný výstupní výkon až do 10 dbm.
- Vstupní citlivost -100 dbm.
- Integrovaný 8051 kompatibilní mikroprocesor.
- 256 B datová paměť RAM, 4 kB programová paměť RAM.
- Napájení 1.9-3.6 V.
- Pouzdro QFN 32 pin, 5x5 mm.



Obrázek 5.2: Blokové schéma obvodu nRF9E5 (převzato z [10]).

5.1.1 Organizace paměti

Zvláštností tohoto obvodu je, že neobsahuje vlastní paměť pro uchování programu. Místo toho obsahuje bootovací zavaděč, který při startu procesoru nahraje do interní 4 kB RAM paměti uživatelský program z externí paměti EEPROM. Tato paměť je k procesoru připojena přes rozhraní SPI viz obr. 5.2. Výhoda je, že program stačí nahrát do standardní SPI EEPROM paměti. Tento obvod proto nevyžaduje speciální programátor. Zato však přídavná paměť zabírá další místo na plošném spoji.

Formát programu v externí paměti EEPROM

Uživatelský program v externí paměti EEPROM musí být organizován podle obr. 5.3. První čtyři byty jsou použity bootovacím zavaděčem pro nastavení správné frekvence rozhraní SPI. Bit SPEED určuje rychlosť SPI (0.5-1 MHz). Bity XO_FREQ určují kmitočet použitého krystalu (4-20 MHz).

	7	6	5	4	3	2	1	0
0:	Version (now 00)		Reserved (now 00)		SPEED		XO_FREQ	
1:	Offset to start of user program (N)							
2:	Number of 256 byte blocks in user program (includes block 0 that is not full)							
...	Optional User data, not interpreted by boot loader							
...	...							
N:	First byte of user program, goes into ERAM at 0x0000							
N+1:	Second byte of user program, goes into ERAM at 0x0001							
	...							

Obrázek 5.3: Formát programu v externí paměti EEPROM (převzato z [10]).

Pro vytvoření požadovaného formátu programu slouží program "eeprep" poskytovaný výrobcem tohoto obvodu. Program se volá ve formátu:

```
eeprep.exe [options] <infile> <outfile>
  <infile> - přeložený program ve formátu Intelhex
  <outfile> - výstup, který již lze přímo nahrát do paměti EEPROM
```

Volby [options]:

- c n n určuje frekvenci krystalu v MHz
- i ignoruje kontrolní součet
- p n n nastaví velikost programu (implicitně 4 kB)
- s nastaví pomalou EEPROM frekvenci (0.5 MHz)

Příklad volání pro použitý krystal 16 MHz:

```
D:\eeprep.exe -c 16 D:\Rx.hex D:\Rxout.hex
```

5.1.2 Periférie

Mikroprocesor obsahuje 8 vstupů/výstupů na portu P0. Piny na portu P1, které jsou primárně určeny pro rozhraní SPI, lze nakonfigurovat po načtení programu z EEPROM také na obecné vstupy/výstupy. Piny na portu P0 lze nastavit na jejich alternující funkce (rozhraní UART, PWM výstup, dva zdroje přerušení INT0, INT1 a externí časovače T0, T1).

Vstupy AN0-AN3 lze použít pouze jako vstupy 10-bitového A/D převodníku. Referenční napětí lze přivést na vstup AREF nebo použít interní referenci 1.22 V.

5.1.3 Transceiver

Integrovaný transceiver je ovládán přes 8-bitový vnitřní port P2 a přes registr SPI_CTRL. Je-li SPI_CTRL=1, rozhraní SPI je připojeno k portu P1 (externí EEPROM). Je-li SPI_CTRL=2, rozhraní SPI je připojeno k obvodu transceiveru.

Nastavení frekvence

Výstupní frekvence obvodu se nastavuje registry CH_NO a HFREQ_PLL dle rovnice

$$f[\text{MHz}] = (422.4 + \text{CH_NO}/10)(1 + \text{HFREQ_PLL}).$$

Je-li HFREQ_PLL=0, frekvence se nastavuje 8-bitovým registrem CH_NO v pásmu 433 MHz. Je-li HFREQ_PLL=1, frekvence se nastavuje v pásmu 868/915 MHz.

Nastavení výstupního výkonu

Výstupní výkon lze nastavit ve čtyřech krocích registrem PA_PWR na hodnoty -10, -2, 6, 10 dBm.

Modulace

Modulace tohoto transceiveru je GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Tato modulace je velmi podobná frekvenční modulaci FSK. Logické nule a jedničce odpovídají dvě různé frekvence. Rozdíl je pouze v tom, že signál prochází Gaussovským filtrem, což pomáhá zúžit šířku pásma vyzařovaného signálu. Pokud není signál filtrován, změna frekvence mezi logickými úrovněmi způsobí vyzařování v širokém spektru. Je tedy dobré signál filtrovat. Deviace frekvence je ± 50 kHz.

Přenosová rychlosť je 100 kb/s. Protože je však použito Manchesterské kódování, efektivní rychlosť přenášených symbolů je poloviční (50 kb/s). Přenosovou rychlosť nelze změnit.

Datové pakety

Formát datových paketů je realizován přímo hardwarem transceiveru. Pomocí příslušných registrů lze nastavit parametry paketů viz obr. 5.4. Nastaviteľná je délka adresy, počet datových bytů, a délka CRC kontrolního součtu. Počet bytů adresy a dat se nastavuje zvlášť pro obvod vysílače a přijímače.

Preamble 10 bits	Address field 1-4 bytes	Data field 1-32 bytes	CRC 8-16 bits
	RX_AFW, TX_AFW	RX_PW, TX_PW	CRC_MODE

Obrázek 5.4: Formát datových paketů obvodu nRF9E5.

Doba trvání přenosu

$$T = t_{startup} + t_{preamble} + \frac{N_{address} + N_{payload} + N_{CRC}}{\text{BR}}$$

závisí na nastavených parametrech paketů. Doba náběhu $t_{startup}$ z režimu Standby do režimu Tx je maximálně 650 µs. Doba trvání hlavičky $t_{preamble} = 200$ µs. BR je přenosová rychlosť 50 kb/s.

Režim ShockBurst Tx

Označení ShockBurst znamená, že obvod nRF9E5 se sám stará o vyslání paketů a uživatel pouze nastaví parametry paketů a uloží vysílaná data do příslušného registru. Vyslání paketu se pak provede naráz plnou rychlosťí.

Sekvence vyslání paketu probíhá nasledovně:

1. Přes SPI rozhraní se nastaví parametry paketu a nahrají se požadovaná data.
2. Aktivuje se režim ShockBurst Tx nastavením bitů TRX_CE a TX_EN.
3. Obvod sestaví celý paket a odešle jej. Konec odeslání oznámí bitem Data Ready (DR).
4. Je-li nastaven bit AUTO_RETRAN obvod opakovaně vysílá daný paket dokud není vynulován TRX_CE.
5. Po vynulování bitu TRX_CE obvod přejde do stavu Standby.

Režim ShockBurst Rx

Přijímání paketů funguje následovně:

1. Aktivuje se režim ShockBurst Rx nastavením bitu TRX_CE a vynulováním TX_EN.
2. Pokud obvod přijme signál na nastavené frekvenci, bit Carrier Detect (CD) je nastaven.
3. Je-li přijmata korektní adresa, bit Address Match (AM) je nastaven.
4. Je-li přijmut korektní paket (odpovídá CRC součet), bit Data Ready (DR) je nastaven.
5. Obvod vynuluje TRX_CE a přejde do stavu Standby.
6. Nyní lze přečíst přijatá data po SPI rozhraní.
7. Poté, co jsou data přečtena obvod nastaví byty DR a AM znovu do nuly.
8. Obvod je připraven pro další činnost.

5.2 Popis zapojení

Při tvorbě plošného spoje byla snaha o dosažení co nejmenších rozměrů tohoto modulu. Díky použití miniaturního stabilizátoru v pouzdru SOT23-5, a miniaturního krystalu o rozích pouze 3.2x2.5 mm, bylo dosaženo přijatelných rozměrů 32x16 mm. Výrobní podklady k tomuto modulu jsou v dodatku D. Plošný spoj byl navržen v programu OrCAD.

Modul je k časovači připojen přes konektor J2 obsahující piny pro napájení a piny pro sériovou linku. Firmware se nahrává do paměti EEPROM přes konektor J3. Díky tomu, že je zapojen stabilizátor LP2985 (U3) poskytující napětí 3.3 V, lze modul napájet ze společného akumulátoru v letadle.

Obvod nRF9E5 (U2) je taktován vysoce přesným krystalem FA-23H (Y1) od firmy EPSON. Výrobní tolerance je pouze ± 10 ppm. Teplotní tolerance je také pouze ± 10 ppm v celém pracovním rozsahu -20°C až $+70^{\circ}\text{C}$.

Anténa se připojuje k pinu 2 konektoru J1. Je tvořena ocelovým drátem dlouhým čtvrtinu vlnové délky a o průměru 0.4 mm. Pro frekvenci 433 MHz vychází délka 173 mm.

5.3 Firmware

Firmware pro tento modul byl napsán v jazyce C ve vývojovém prostředí Keil uVision. Toto vývojové prostředí již obsahuje definiční soubor pro obvod nRF9E5.

Asynchronní sériové rozhraní (UART) pro připojení k časovači je nastaveno v adresovatelném režimu (multiprocesorová komunikace). Po zapnutí napájení modul čeká, zda časovač (master) naváže komunikaci na platné adresu modulu. Na tom závisí další běh programu.

5.3.1 Chod programu s komunikací

Je-li komunikace navázána, program běží v periodickém cyklu. Níže uvedené časové konstanty jsou nastavitelné v hlavičce programu. Uvedu zde jejich implicitní nastavení. S periodou 1.5 s modul vysílá pulsy nosného kmitočtu pro dohledávání modelu. Délka pulsu musí být dostatečně dlouhá, aby byla detekována použitým přijímačem. Osvědčila se délka 150 ms. Mezitím je periodicky zapínán přijímací obvod. Pokud je přijmut korektní povel, modul vyšle potvrzení přijetí a povel odešle časovači. Příjem povelů od časovače je registrován přerušením na sériové lince.

Poté, co modul od časovače přijme zprávu o konci letu, modul již nepříjmá zprávy od časovače ani nezapíná přijímací obvod. Dále vysílá pouze pulsy nosného kmitočtu mezi kterými je uveden do úsporného režimu.

5.3.2 Chod programu bez komunikace

Pokud komunikace nebyla časovačem navázána, znamená to, že časovač nebyl připojen nebo došlo k nějaké poruše. Vstup RX UARTu je nakonfigurován na logický vstup a výstup TX na logický výstup. Program je navržen tak, aby fungoval i bez komunikace z časovačem. Může být například instalován do modelu s mým prvním časovačem nebo do modelu kde slouží pouze jako vyhledávací modul.

Vysílání nosného kmitočtu

Pokud je logický vstup RX nulový (spojen propojkou s pinem BATTERY-), modul vysílá neustále nosný signál dokud není propojka odstraněna. Vysílání nosného kmitočtu lze využít pro měření parametrů vysílače (měření frekvence a výstupního výkonu).

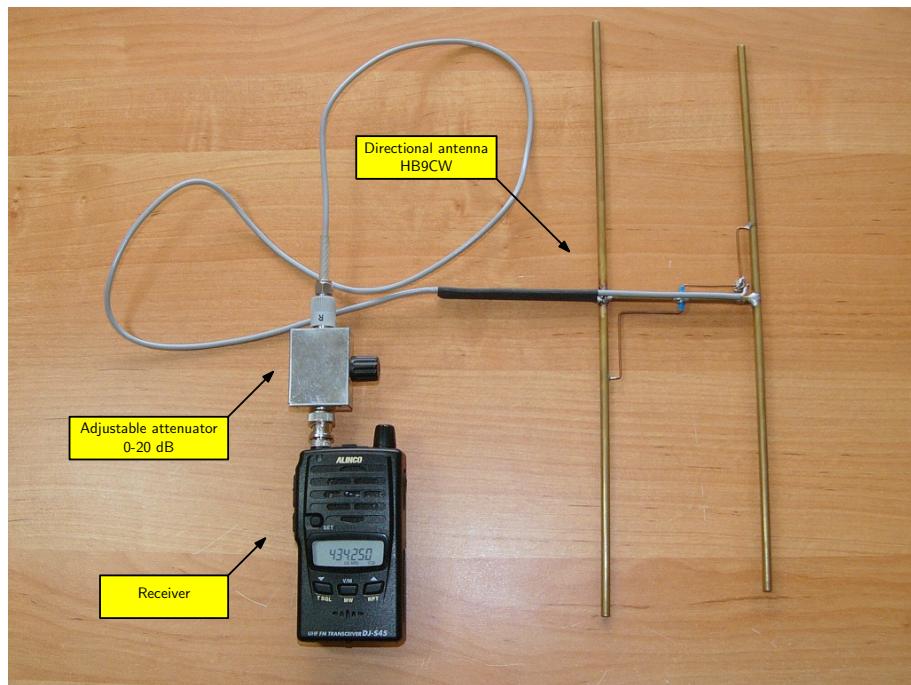
Další běh programu

Pokud není výše uvedená propojka připojena, program již běží podobně jako v případě chodu se sériovou komunikací. Periodicky vysílá pulsy nosného kmitočtu a čeká na příjem povelu. Jediný rozdíl je, že modul vyhodnocuje pouze povel "DT". Je-li tento povel přijat, výstup s otevřeným kolektorem TX je sepnut. Takto lze dát povel časovači, který má vstup pro ovládání rádiového determalizátoru zapojen s pull-up rezistorem.

5.4 Rádiové dohledávání

Pro dohledávání modelů v terénu lze použít amatérský transceiver pracující v pásmu UHF, nejlépe ve spojení se směrovou anténou. Je potřeba, aby měl dobrou vstupní citlivost a indikátor síly pole. Většina amatérských vysílaček obsahuje takzvaný S-meter. Tento S-meter zobrazuje sílu pole pomocí stupnice několika čárek na LCD displeji. Jeho nevýhodou je však velmi malý rozsah. Od jisté úrovně již zobrazuje stále plný signál. To je dáno tím, že S-meter je zde pouze pro ověření, zda je signál dostatečně silný pro fónickou komunikaci. Malý rozsah S-metru má za následek, že uživatel vidí stále plný signál ze všech stran, pokud je blíže modelu. Tento nedostatek lze napravit použitím nastavitelného atenuátoru pro utlumení signálu vstupujícího do přijímače. Po dostatečném utlumení je S-meter znovu použitelný.

Celé vybavení pro rádiové dohledávání je na obr. 5.5. Je zde přijímač, atenuátor a směrová anténa typu HB9CW. S tímto vybavením lze model zaměřit na vzdálenost 1 - 2 km. Při plném utlumení lze určit směr i ze vzdálenosti několika desítek metrů.



Obrázek 5.5: Vybavení pro rádiové dohledávání.

Kapitola 6

RCDT ovladač

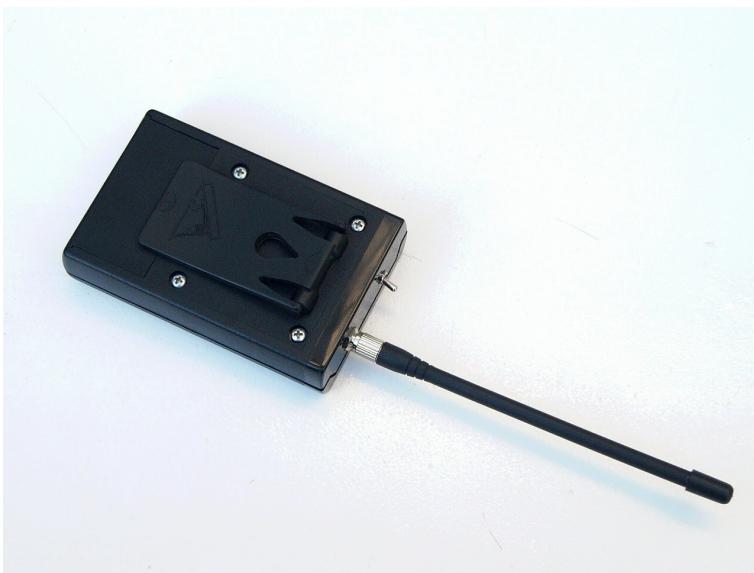
Tento rádiový ovladač slouží k vysílání povelů ovlivňujících funkci determalizátoru (ukončení nebo prodloužení letu). Jsou zde dvě tlačítka. Tlačítko DT vyšle příkaz pro aktivaci determalizátoru. Tlačítko EFT (Extended Flight Time) vyšle příkaz pro oddálení determalizátoru o čas, který je nastaven v časovači modelu. Základem zařízení je obvod nRF9E5.



Obrázek 6.1: Osazená deska RCDT ovladače v krabičce a dvoučlánková LiIon baterie.



Obrázek 6.2: Finální podoba RCDT ovladače včetně antény s SMA konektorem.



Obrázek 6.3: Detail krabičky obsahující víčko pro baterii a odepínací klipsnu.

6.1 Popis zapojení

Plošný spoj byl navržen v programu EAGLE speciálně pro krabičku typu BOS400 německé firmy BOPLA. Tato krabička je velmi precizně provedena a naprosto ideální pro tuto aplikaci. Obsahuje odepínací klipsnu na opasek, dvírka pro 9V baterii a má rovné masivní přední čelo, které je vhodné pro upevnění konektoru antény viz obr. 6.3. Plošný spoj je dvouvrstvý s prokovenými otvory. Výrobní dokumentace je v dodatku E.

Obvodové zapojení je velmi podobné rádiovému modulu, jelikož je použit stejný obvod nRF9E5 (U2). Napájecí napětí je stabilizováno obvodem LP2985 (U1) na 3.3 V. Jako zdroj slouží 9 V baterie, případně akumulátor uvedený na obr. 6.1. Jedná se o dvoučlánkový LiIon akumulátor o jmenovitém napětí 7.2 V. Ovladač se zapíná páčkovým přepínačem SW1, který vyčnívá z předního panelu.

Anténa je připojena přes konektor typu SMA, ale je možné použít i konektor typu BNC. Použitá čtvrtvlnná anténa je od firmy LPRS z Velké Británie.

Jak je vidět na potisku ovladače (dodatek E), jsou využita dvě tlačítka. Jedná se o mikrospínače typu P-B1720A. Tlačítka jsou zapuštěna do vrchního krytu krabičky a pokryta samolepkou potisku. Takto lze velmi jednoduše vytvořit spolehlivá, vodotěsná tlačítka.

Pološný spoj byl navržen tak, aby všechny vstupy obvodu nRF9E5 byly zapojeny. Sice nejsou některé z nich zatím využity, ale v budoucnu by se mohli hodit. Jedná se o dvě tlačítka SW4 a SW5, analogové vstupy (konektor J5) a rozhraní pro sériovou linku (konektor J3).

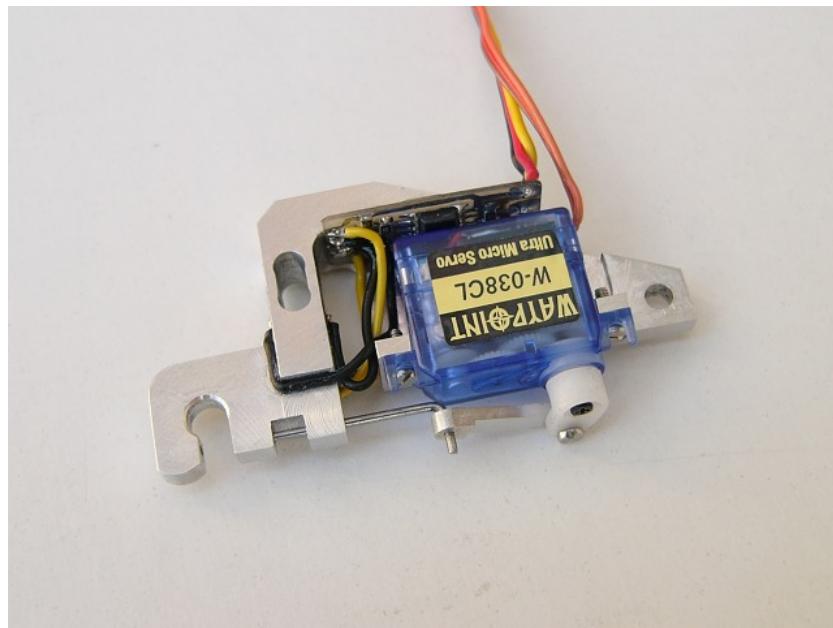
Jsou zde dvě svítící diody. Červená dioda Tx svítí při výsílání. Zelená dioda Rx svítí vždy, je-li detekován nosný kmitočet na nastavené frekvenci. Pokud ovladač přijme potvrzení odesланého povelu, uživatel je informován třemi záblesky diody a pípáním bzučáku.

Pro správnou funkci ovladače je třeba, aby ovladač i rádiový modul měli nastavenou stejnou frekvenci a stejnou adresu. Adresa a číslo kanálu se nastavuje v hlavičce zdrojového souboru firmwaru.

Kapitola 7

Elektronický vlečný háček

Tento vlečný háček měří sílu ve vlečné lanku pomocí dvou tenzometrů. Signál z měřícího můstku je zesílen přístrojovým zesilovačem přímo na těle háčku. Výstup měřícího obvodu háčku je tedy úroveň napětí odpovídající měřené síle. Háček je odjištěn miniaturním servem. Na obr. 7.1 je první prototyp tohoto háčku.



Obrázek 7.1: První prototyp elektronického háčku.

7.1 Odpovědě tenzometry

Tenzometry jsou senzory umožňující zjistit mechanické napětí v materiálu pomocí měření jeho deformace. Existuje mnoho druhů tenzometrů - odpovědě, kapacitní, rezonanční a magnetické. Nejpoužívanější jsou odpovědě tenzometry, ketré se podle materiálu dělí na kovové a polovodičové.

7.1.1 Tenzometrická konstanta

Princip odpovědě tenzometrů je založen na změně elektrického odporu u vodiče namáhaného silou. Odpor vodiče o délce l , průřezu S a hustotě ρ je dán vztahem

$$R = \frac{l}{S} \rho, \quad (7.1)$$

jehož totální diferenciál má tvar

$$dR = \frac{\rho}{S} dl - \frac{l}{S^2} dS + \frac{l}{S} d\rho. \quad (7.2)$$

Vydelením předchozí rovnice vztahem 7.1 a úpravou na konečné relativní změny získáme vztah pro relativní změnu odporu

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho}, \quad (7.3)$$

kde první dva členy udávají geometrické změny vodiče a třetí člen $\Delta \rho / \rho$ je důsledek mikrostrukturálních změn materiálu. Při aplikaci tenzometrů je nutné zaručit, aby nenastaly nevratné mikrostrukturální změny, které by vedly k znehodnocení tenzometru.

Změna průřezu S je dle teorie pružnosti závislá na délkové deformaci a přibližně platí vztah

$$\frac{\Delta S}{S} \doteq -2\mu \frac{\Delta l}{l}, \quad (7.4)$$

kde $\mu = \varepsilon_t / \varepsilon_r$ je Poissonova konstanta udávající poměr mezi relativní deformací ε_t způsobenou tahovou silou a odpovídající příčné deformací ε_r .

Na základě uvedených vztahů 7.3 a 7.4 platí vztah

$$\frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = 1 + 2\mu + \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\frac{\Delta l}{l}}. \quad (7.5)$$

Pokud položíme $\varepsilon = \Delta l / l$ a zanedbáme změnu hustoty, získáme přibližný výsledný vztah pro změnu odporu tenzometru

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu) \varepsilon = k \varepsilon, \quad (7.6)$$

kde k je tenzometrická konstanta (k-faktor). Je to bezrozměrný koeficient, který závisí na materiálu a konfiguraci tenzometru. Závislost mezi změnou odporu a relativním prodloužením není obecně zcela lineární. Do určité hodnoty deformace je ale rozdíl mezi lineární náhradou a reálnou závislostí minimální (především u kovových tenzometrů) a lze proto použít tenzometrickou konstantu k .

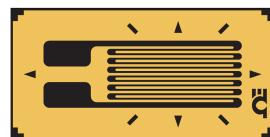
7.1.2 Polovodičové tenzometry

Polovodičové tenzometry jsou vyráběny především z křemíku vodivostí P i N. Dosahují až šedesátnásobné citlivosti než tenzometry kovové (tenzometrická konstanta je cca 125). Nevýhodou je větší nelinearity změny odporu na deformaci. Křemíkový substrát je velmi křehký a aplikace těchto tenzometrů je proto obtížnější.

7.1.3 Kovové tenzometry

Mezi nejpoužívanější typy tenzometrů patří kovové fóliové tenzometry. Jsou vyráběny fotolitografickou technikou z tenkých kovových fólií upevněných na nosných izolačních vrstvách z polyamidového či fenolového filmu. Díky velmi malé tloušťce (okolo 0,1 mm) dobře kopírují měřenou deformaci. Tenzometrická konstanta se pohybuje v rozmezí 2 až 4. Celkový odpor tenzometru je zpravidla 120, 350 a 1000 Ω . Vyrábějí se v různých tvarech a konfiguracích pro měření sil, tlaků či momentů.

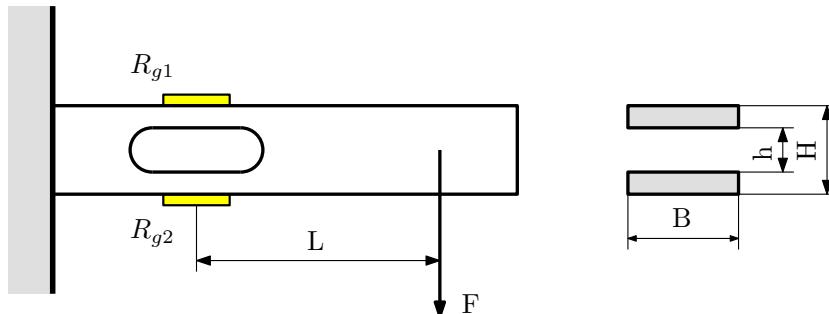
Při aplikaci tenzometrů je třeba počítat s teplotní závislostí jeho odporu a odporem přívodních vodičů. Závažná chyba by mohla vzniknout rozdílností teplotního koeficientu tenzometru a materiálu na kterém je připevněn. Proto se vyrábějí tzv. samokompenzační tenzometry, které mají teplotní koeficient přizpůsobený materiálu, na který budou aplikovány (pro uhlíkovou ocel je to 11 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ a pro hliníkové slitiny 23 ppm/ $^{\circ}\text{C}$).



Obrázek 7.2: Příklad fóliového tenzometru pro měření ohybu.

7.2 Senzor síly

Jako senzor síly pro vlečný háček byl použit vetknutý nosník (obr. 7.3), který je ohýbán silou F . Tato síla způsobí deformaci nosníku, která je měřena dvěma tenzometry. Horní tenzometr R_{g1} je namáhán na tah a dolní tenzometr R_{g2} je namáhán na tlak.



Obrázek 7.3: Senzor síly typu vetknutý nosník s dvěma tenzometry.

Dle Hookova zákona je pružná deformace materiálu, neboli relativní prodoužení $\varepsilon = \Delta l/l$, přímo úměrné mechanickému napětí σ v materiálu. To vyjadřuje vztah

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (7.7)$$

kde E je Yangův modul pružnosti, který závisí na typu materiálu. Tento vztah platí pouze, pokud je napětí v materiálu dostatečně menší než mez kluzu a dochází jen k pružné deformaci.

Mechanické napětí σ při ohybu nosníku je dáno vztahem

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{FL}{W}, \quad (7.8)$$

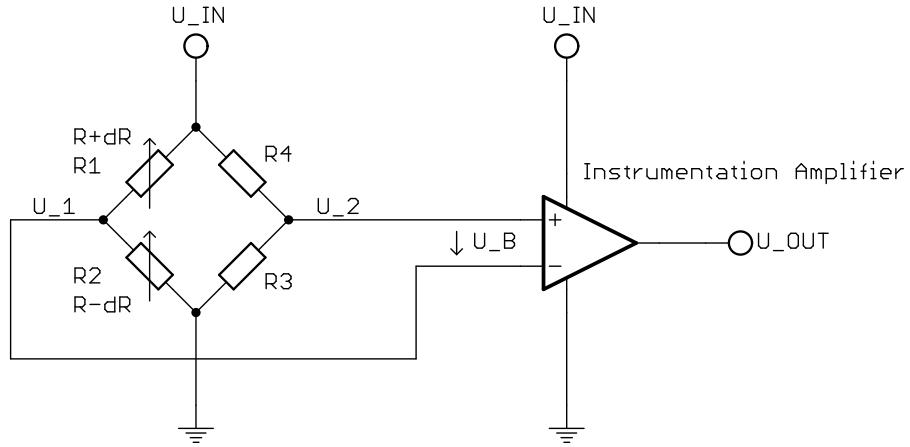
kde M je ohybový moment způsobený silou F ve vzdálenosti L . W je průřezový modul v ohybu a pro nosník na obr. 7.3 je dán vzorcem

$$W = \frac{B(H^3 - h^3)}{6H}. \quad (7.9)$$

7.2.1 Měřící obvod

Tenzometry jsou zapojeny do měřícího obvodu dle obr. 7.4. R_1 je tenzometr umístěný na horní straně nosníku, který je namáhán na tah a jeho odpor se od nominální hodnoty zvyšuje. Tenzometr R_2 je na spodní straně nosníku a je namáhán na tlak, proto se jeho odpor zmenšuje. Tyto dva tenzometry jsou zapojeny do Wheatstonova můstku napájeného konstantním napětím U_{in} . Můstek je doplněn rezistory R_3 a R_4 , které mají přibližně hodnotu nominálního odporu tenzometrů. Výstupní napětí můstku U_b je zesíleno přístrojovým zesilovačem o zesílení G na hodnotu U_{out} .

Toto půlmostové zapojení má oproti použití pouze jednoho tenzometru několik výhod. Výstupní napětí je lineárně závislé na změně odporu tenzometrů. Deformace nosníku je měřena s dvojnásobnou citlivostí a teplotní závislosti jsou kompenzovány. Pokud vlivem teploty dojde k deformaci nosníku, deformují se stejným způsobem oba tenzometry a výstupní napětí zůstává neměnné.



Obrázek 7.4: Schéma měřícího obvodu. Dva tenzometry jsou zapojeny do měřícího můstku.

Výstupní napětí můstku U_b je rozdílem napětí U_2 a U_1 . Můžeme tedy psát

$$\begin{aligned} U_b &= U_2 - U_1, \\ U_b &= U_{in} \frac{R_3}{R_3 + R_4} - U_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \\ U_b &= U_{in} \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}. \end{aligned} \quad (7.10)$$

Z výrazu 7.10 je patrné, že můstek je vyvážen (výstupní napětí nulové), pokud je splněna podmínka $R_3 = R_4$ za předpokladu stejného odporu tenzometrů $R_1 = R_2$. Proto je třeba vybírat rezistory R_3, R_4 se stejnou hodnotou odporu.

Pokud nejsou rezistory R_3, R_4 stejné, bude nulové deformaci ($R_1 = R_2$) odpovídat výstupní napětí

$$U_b = U_{in} \frac{R_3/R_4 - 1}{2(R_3/R_4 + 1)}. \quad (7.11)$$

Výstupní napětí můstku je lineárně závislé na změně odporu tenzometrů za předpokladu, že se odpor mění u obou tenzometrů o stejnou absolutní hodnotu. Tedy platí $R_1 = R + \Delta R$, $R_2 = R - \Delta R$ a $R_3 = R_4$. Potom výstupní napětí je dáno vztahem

$$U_b = U_{in} \frac{\Delta R}{2R}. \quad (7.12)$$

Dosazením vztahu pro změnu odporu tenzometru 7.6 a vztahu pro ohyb nosníku 7.8 získáme vzorec pro výstupní napětí můstku v závislosti na zatěžovací síle F .

$$U_b = \frac{1}{2} U_{in} k \varepsilon = \frac{1}{2} U_{in} k \frac{FL}{WE} \quad (7.13)$$

7.3 Popis zapojení

Měřící obvod je umístěn na dvouvrstvém prokoveném plošném spoji. Výrobní dokumentace je v dodatku F. Tento obvod je spojen s časovačem třívodičovým kablíkem přes konektor J2 obsahujícím vstupy pro napájení (3.3 V) a napěťový výstup odpovídající sile působící na háček.

Dva tenzometry jsou do měřicího můstku připojeny přes konektor J1. Hodnota odporů doplňujících měřící můstek je složena ze dvou rezistorů v sérii. Před osazením je třeba vybrat takové dvojce rezistorů R2, R3 a R4, R5 aby v obou větvích byla co nejbližší hodnota odporu.

Výstupní napětí můstku je zesíleno precizním přístrojovým zesilovačem INA118 od firmy Texas Instruments. Jeho zesílení G se nastavuje rezistorem R_G dle vzorce

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G}. \quad (7.14)$$

Pomocí odporového děliče R6, R7 je na vstupu REF nastavena referenční úroveň pro nulové vstupní napětí. Pro zvolené hodnoty rezistorů a napájecí napětí 3.3 V vychází referenční úroveň 1.05 V.

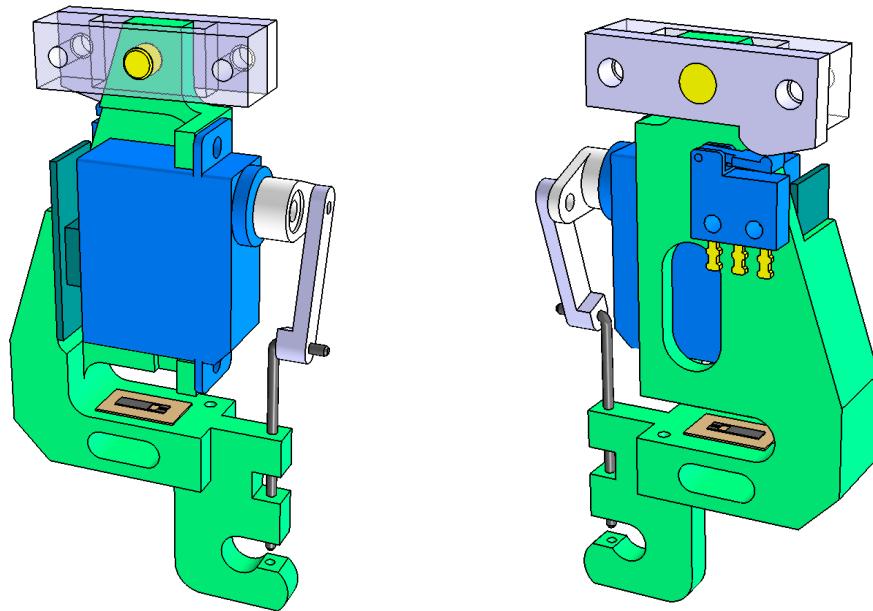
7.4 Konstrukce vlečného háčku

Tělo háčku je vyfrézováno z jednoho bloku duralu. Je zavěšeno na mosazném čepu v duralovém držáku, který je k trupu modelu připevněn dvěma šrouby M2.5. Háček je zajištován miniaturním servem umístěným na těle háčku. Rozmístění komponent háčku je patrné na obr. 7.5.

Tenzometry jsou nalepeny na obou stranách zeslabeného nosníku. Jsou použity tenzometry firmy Omega SG-3/350-LY43 s jmenovitým odporem 350 Ω a tenzometrickou konstantou $k = 2.10$. Tyto tenzometry mají teplotní koeficient přizpůsobený hliníkové slitině. Měřící obvod je zasunut do mezery mezi tělem háčku a servem. Díky tomu, že obvod je umístěn velmi blízko tenzometru, jsou jejich přívodní vodiče velmi krátké a neprojeví se příliš jejich odpor.

Je důležité, aby tenzometry byly řádně připevněny k tělu háčku. Samotné tenzometry jsou lepeny vteřinovým lepidlem. Dále jsou oba tenzometry přes nosník háčku omotány kevlarovým vláknem. Celá omotávka a přívodní vodiče jsou zality epoxidovým lepidlem. Takto připeněné tenzometry jsou dokonale fixovány a chráněny proti vlhkosti.

Mikrospínač detekující přední polohu háčku je přišroubován k druhé straně těla háčku a opírá se o držák.



Obrázek 7.5: 3D model vlečného háčku.

7.4.1 Výpočet namáhání háčku

Tělo háčku je vyrobeno z pevné hliníkové slitiny AW2017A. Tato slitina má následující mechanické vlastnosti.

Hustota	2800 kg/m ³
Teplotní součinitel roztažnosti	$23.4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Mez kluzu	240 MPa
Mez pevnosti	380 MPa
Modul pružnosti	73 GPa

Tabulka 7.1: Mechanické vlastnosti materiálu AW2017A.

Tělo háčku musí být dostatečně dimenzováno na namáhání při výstřelu modelu. V tomto okamžiku síla ve vlečném lanku dosahuje hodnoty až 200 N. Tělo háčku je proto dimenzováno na zhruba dvojnásobnou sílu. Při provozu nesmí být překročena mez kluzu materiálu, aby se háček nedeformoval. Parametry nosníku dle obr. 7.3 jsou nasledující.

- B = 9.2 mm - Šířka nosníku
- H = 6.0 mm - Výška nosníku
- h = 3.0 mm - Výřez nosníku
- L = 14 mm - Vzdálenost působiště síly
- F = 400 N - Uvažovaná zatěžovací síla

Dosazením do rovnice 7.9 získáme průřezový modul v ohybu.

$$W = \frac{B(H^3 - h^3)}{6H} = 4.83 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

Při napájecím napětí $U_{in} = 3.3$ V můžeme dle 7.13 vypočítat výstupní napětí měřícího můstku při plném zatížení $F = 400$ N.

$$U_b = \frac{1}{2} U_{in} k \frac{FL}{WE} = 5.5 \text{ mV}$$

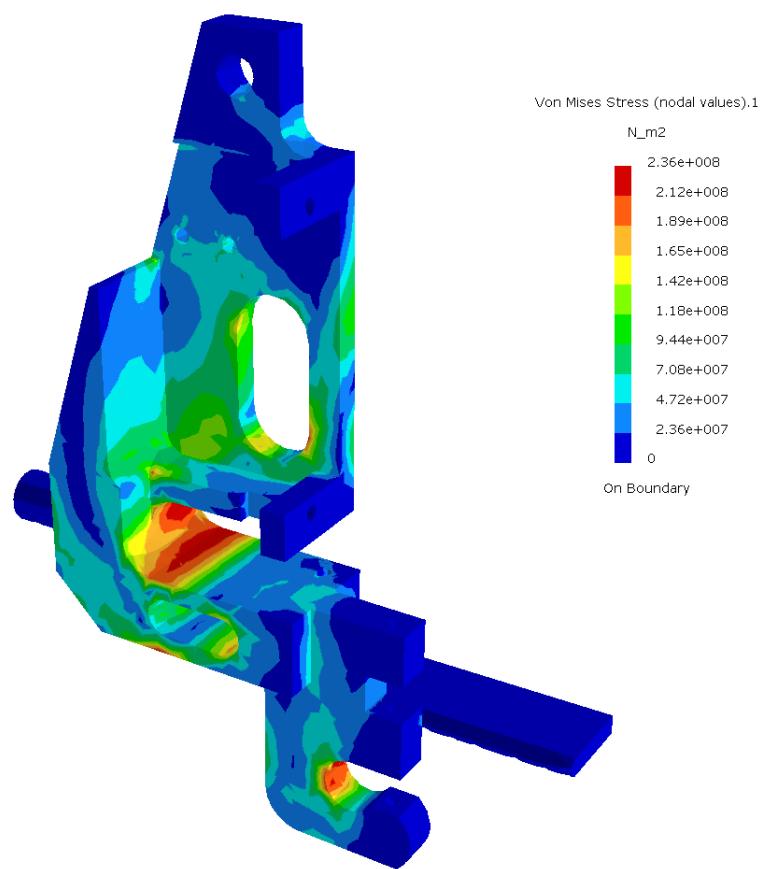
Toto napětí je zesíleno přístrojovým zesilovačem. Pokud zesílení přístrojového zesilovače nastavíme rezistorem o hodnotě $R_G = 150\Omega$ dostaneme zesílení $G = 334$. Potom výstupní napětí pro plné zatížení je

$$U_{out} = GU_b = 1.84 \text{ V.}$$

12-bitový A/D převodník, jaký obsahuje elektronický časovač, má rozlišení 0.8 mV při použitém napájení 3.3 V. Tomu odpovídá rozlišení síly 0.17 N. To je rozlišení více než dostatečné.

Simulace zatížení vlečného háčku

Odhadnout rozložení mechanického napětí v tělese složitějších tvarů je velmi obtížné. Proto jsem provedl numerickou simulaci zatížení vlečného háčku. K tomuto účelu byl použit modul Generative Structural Analysis programu CATIA. Tento modul používá k výpočtu metodu konečných prvků. Na obr. 7.6 je výsledek simulace při zatížení háčku silou 400 N. Červenou barvou jsou zde vyznačeny oblasti maximálního mechanického napětí. Ukázalo se, že při zatížení silou 400 N se oblasti maximálního napětí nachází těsně pod hranicí kluzu. Vypočtenou pevnost háčku považuji za dostatečnou, protože při tomto zatížení by už pravděpodobně došlo k destrukci křídla modelu.



Obrázek 7.6: Simulace mechanického napětí háčku při zatížení silou 400 N.

Kapitola 8

Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh a realizace kompletního elektronického systému pro model letadla kategorie F1A. Tato úloha spočívala především v návrhu desek plošných spojů a tvorbě programového vybavení pro jednotlivé moduly. Důležitým úkolem byl i výběr vhodných součástek a jejich opatření. Ukázalo se, že dostupnost některých typů součástek, které nejsou běžně v prodeji, je v menších množstvích poměrně problematická. I když situace se v tomto ohledu neustále zlepšuje.

K otestování tohoto systému jsem použil svůj nový model MD10 (obr. 1.1). Hlavice modelu osazená všemi moduly je na obr. 2.2. Jedná se o model s poměrně malým rozpětím 2090 mm určený především do termického a větrného počasí.

Při zalétávání se nový elektronický časovač velmi dobře osvědčil. Velkým přínosem je možnost přesně nastavit všechny výchylky pro jednotlivé fáze letu. Nastavování úhlu náběhu pravého křídla pomocí mechanického wing wiggleru bývalo dříve velmi problematické. Díky novému wing wiggleru se servem lze nyní velmi jednoduše nastavit úhly náběhu, jak je požadováno.

Směrovka je ovládána vlastním servem a není již spojena s vlečným háčkem. To přináší řadu výhod. Výchylku směrovky lze nyní nastavit ve všech režimech letu. Protože háček již není spojen se směrovkou, lze měnit jeho polohu bez toho, aby se změnily nastavené výchylky směrovky. Toho lze využít při zalétávání, jelikož poloha vlečného háčku vůči těžišti je velmi důležitým parametrem.

Veškerá elektronika v modelu je napájena ze čtyřčlánkové NiMH baterie o kapacitě 250 mAh. Tato baterie vystačí na odlétání jedné soutěže. Díky tomu, že tuto baterii lze z modelu vyjmout, není problém v případě vybití baterii vyměnit. Větší baterii jsem do modelu nedával, jednak pro větší hmotnost a hlavně z důvodu, že by již nešla z modelu vyjmout.

Model se mi podařilo seřídit tak, že při výstřelu dosahuje mnohem větších výšek než moje ostatní modely. Je to dáno i použitým profilem s nízkým aerodynamickým odporem. Zatím však nemám výškoměr a nemohu dosaženou výšku změřit. Ukazuje se, že aerodynamická koncepce modelu MD10 je velmi dobrá a další moje modely na ni budou určitě navazovat.

Elektronický vlečný háček

Elektronický vlečný háček se také osvědčil. Výstupní napětí pro nulovou sílu zůstává konstantní i při změnách teploty. Především díky zapojení dvou tenzometrů a použití precizního přístrojového zesilovače. Velkou výhodou je možnost jednoduše nastavit požadovanou vypínací sílu. Pomocí tohoto háčku bylo změřeno, že maximální síla při výstřelu se pohybuje okolo hodnoty 200 N.

Rádiový ovladač

Dosah dálkového ovladače pro aktivaci determalizátoru je dostatečný. Na zemi se dosah pohybuje okolo 400 m. Pokud je však model ve vzduchu, dosah je několikanásobně větší, až několik kilometrů.

Rádiový modul jsem použil i pro rádiové dohledávání. Při příjmu přehledovým přijímačem s velkou vstupní citlivostí se dosah na zemi pohybuje v rozmezí 1 - 2 km. Při dohledávání na kratší vzdálenost je nutné použít atenuátor, aby bylo možné stále určit směr. Použitím vysoce přesného a teplotně stabilního krystalu se nastavená frekvence nosného kmitočtu neliší o více než 1 kHz. Je proto možné používat více modulů a na přehledovém přijímači mít nastavenou stále stejnou frekvenci.

Nastavování systému

Nastavovat parametry časovače programovací jednotkou Setuper je velmi snadné a rychlé. Původně zamýšlené nastavování přes osobní počítač se jeví jako nadbytečné a v praxi by se asi ani moc nevyužilo. Konektory na elektronickém časovači a na rádiovém modulu jsou umístěny tak, aby aktualizace firmwaru byla možná přímo v hlavici modelu. Pro změnu firmwaru není nutné z modelu nic vyndávat.

8.1 Budoucí vývoj

Vývoj elektronických součástek je velmi rychlý a dá se očekávat, že se v budoucnu budou objevovat ještě lepší součástky vhodné pro dohledávací systém. Již v okamžiku, kdy jsem pracoval na rádiovém modulu s obvodem nRF9E5, se na trhu objevila podobná součástka od firmy Texas Instruments. Jedná se o obvod CC1110, který podobně jako použitý obvod nRF9E5 obsahuje kompletní transceiver a integrovaný mikroprocesor.

Výhodou tohoto nového obvodu je větší programová paměť, umístěná přímo na čipu. Přijímač tohoto obvodu má o 10 dB větší citlivost. To by umožnilo až trojnásobný dosah. Naprostě převratným vylepšením je však indikátor síly pole, umístěný přímo v tomto obvodu. Tento indikátor má velký rozsah -20 až -110 dBm s rozlišením 0.5 dBm. Šlo by tak vytvořit zcela nový dohledávací systém, který by byl založen na měření intenzity přijatých adresovaných paketů. Odpadla by nutnost použití přehledového přijímače. Díky tomu, že vysílané pakety by byly velmi krátké a každý uživatel měl svoji adresu, mohlo by se používat i více zařízení na jednom kmitočtu.

Původně jsem rádiový modul s tímto obvodem chtěl zahrnout i do této práce, ale opatřit všechny potřebné součástky není snadné a stále na některé komponenty čekám. Na tomto systému tedy budu pracovat až v budoucnu.

Literatura

- [1] V. Haasz, M. Sedláček: *Elektrická Měření - Přístroje a metody*. Skripta ČVUT, Praha 2003.
- [2] S. Ďado, M. Kreidl: *Senzory a měřící obvody*. Skripta ČVUT, Praha 1999.
- [3] M. Vlk: *Experimentální mechanika*. Skripta VUT, Brno 2003.
- [4] J. Vobecký, V. Záhlava: *Elektronika*. Grada, Praha 2001.
- [5] V. Záhlava: *OrCAD 10*. Grada, Praha 2004.
- [6] J. Šandera: *Návrh plošných spojů*. BEN, Praha 2006.
- [7] P. Herout: *Učebnice jazyka C*. Kopp, České Budějovice 2004.
- [8] H. Kopka, P. W. Daly: *LATEX - Kompletní průvodce*. Computer Press, Brno 2004.
- [9] Microchip: *Katalogové listy*. [online]
<http://www.microchip.com/>
- [10] Nordic Semiconductor: *Katalogové listy*. [online]
<http://www.nordicsemi.com/>
- [11] Texas Instruments: *Katalogové listy*. [online]
<http://www.ti.com/>
- [12] National Semiconductor: *Katalogové listy*. [online]
<http://www.national.com/>
- [13] Wikipedia: *Cyclic redundancy check*. [online]
http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_redundancy_check
- [14] M. C. Gregorie: *F1A development history*. [online]
http://www.gregorie.ukfsn.org/freeflight/f1a_history/

Dodatek A

Úvod do kategorie F1A

Volný let je disciplína leteckého modelářství zahrnující mnoho kategorií. Jednotlivé kategorie definované podle pravidel FAI (Mezinárodní letecká federace) se od sebe liší velikostí modelů, případně druhem pohonu. Nejvíce rozšířené jsou kategorie F1A, F1B a F1C ve kterých se létá Mistrovství světa, Evropy a Světový pohár.

Na rozdíl od RC (Radio Control) modelů, volné modely létají samy a nejsou ovládány ze země. Právě proto jsou u volných modelů kladený velké nároky na řídící mechanismy a na optimální aerodynamické seřízení modelu. Konstrukce modelu by měla být tuhá a invariantní vůči změnám teploty a vlhkosti, protože jakákoli deformace aerodynamických ploch způsobí rozladění optimálního seřízení modelu. Aby bylo dosaženo těchto požadavků, jsou dnes volné modely vyráběny výhradně z uhlíkového kompozitu, který má pro tento účel nejlepší mechanické vlastnosti.

F1A - Modely kluzáků. Start probíhá pomocí 50 m lanka.

F1B - Modely poháněné gumovým svazkem.

F1C - Modely poháněné pístovým motorem.

Pravidla kategorie F1A

V oficiálních pravidlech FAI je kluzák kategorie F1A definován jako model bez pohonné jednotky, na kterém vztak vzniká působením aerodynamických sil na plochy, které se za letu nepohybují (je povolena pouze změna klenutí profilu a úhlu náběhu).

Charakteristiky modelu:

Celková plocha	32 - 34 dm ²
Hmotnost	min. 410 g
Délka vlečného lanka při zatížení 5 kg	max. 50 m

Využití senzorů ve zpětné vazbě pro řízení modelu je zakázáno. Je povoleno použití rádiového ovládání pouze pro funkci determalizátoru (tato funkce ukončuje let, např. vyklopením výškovky). Dodatek o rádiovém determalizátoru byl přidán v roce 2006, především kvůli zvýšení bezpečnosti při létání. Tato funkce umožňuje model "shodit" dříve než by přistál např. na stromě nebo v nevhodném terénu.

Průběh soutěže

Volné větroně je sport jak se patří a konečný výsledek na soutěži závisí hlavně na kvalitě modelu, fyzické připravenosti závodníka a samozřejmě někdy také na štěstí. Na soutěžích se létá většinou na 7 hodinových kol. Během každého kola musí soutěžící odletět jeden let. Model se vytahuje pomocí vlečného lanka délky 50-ti metrů.

Po odpoutání modelu časoměřič začínají měřit dobu letu. Doba letu se měří pouze po dobu předem stanoveného maxima (většinou 180 sekund). V případě, že více soutěžících nalétá všechna maxima, přichází nejdramatičtější část soutěže - rozlétávání (fly-off). Zde již jde o konečné pořadí na prvních místech a maximum se prodlužuje většinou o další dvě minuty. Pořadatel stanoví desetiminutový pracovní čas během kterého musí všichni "plní" soutěžící odstartovat. V případě, že tento čas nalétá opět více závodníků, následuje další kolo s ještě delším maximem. Rozlétávání na dlouhé časy probíhá většinou v podvečer nebo brzy ráno, aby se zamezilo vlivu termiky a nefoukal silný vítr.

Stručná historie kategorie F1A

Volné modely mají ze všech modelářských disciplín nejdelší historii. Již v roce 1951 byla definována pravidla pro kategorie F1A, F1B a F1C. Zde uvádím stručný souhrn technických inovací v kategorii F1A (vycházím ze zdroje [14]). Již od počátku je zde patrná velká snaha o dosažení co nejlepších letových výkonů.

1951 Pravidla kat. F1A byla definována. Plocha a hmotnost byla stejná jako dnes, jenom vlečné lanko mělo délku 100 m. První mistrovství světa se konalo 24.8.1951 v Jugoslávii.

1954 Délka vlečného lanka zkrácena na 50 m.

1961 A. Semekyj z SSSR vyvinul vlečný háček s funkcí zoom. Tento háček umožňoval nastavit výchylku pro přímý vlek, výstřel a kluz. Během výstřelu se pomocí stlačení pružiny nastavila výchylka pro výstřel (funkce zoom). A. Averjanov s tímto systémem vyhrál na mistrovství světa. Údajně bylo dosahováno při výstřelu zisku 5-8 m.

1969 Andres Lepp a Viktor Isaenko z SSSR vyvinuly háček pro kroužení spojený s časovačem. Tento systém umožňuje kroužení a vyhledávání termiky před výstřelem. Tento typ háčku se používá dodnes a je znám pod názvem Isaenko.

1973 Tammy Thompson přidal funkci, která během vleku umožňovala nastavit větší úhel seřízení křídlo - výškovka. To umožnilo model vystřelit větší silou i za bezvětrí.

1977 Ken Bauer a Thomas Koster nezávisle na sobě vyvinuly první elektronický časovač. Základem časovače Kena Bauera byl integrovaný obvod - analogový časovač 555. Táhlo od výškovky bylo po celou dobu letu přidržováno elektromagnetem. Při vykopnutí přestal téci cívka proud a táhlo od výškovky se uvolnilo. Tento způsob ukotvení táhla měl tu výhodu, že v případě vybití baterie nebo jiné poruchy model vykopl.

Časovač Thomase Kostera již byl taktován přesným krystalovým oscilátorem na frekvenci 32 kHz. Pomocí dvou dekadických rotačních přepínačů bylo možné nastavit letový čas až do 9 minut 54 sekund s krokem po 6 sekundách. Stejně jako Ken Bauer použil jeden mikrospínač na vlečném háčku resetující odpočítávání.

1985 Viktor Isaenko jako první postavil kompozitové křídlo s uhlíkovým nosníkem a kevlarovým D-boxem.

- 1986** Sergey Makarov vyvinul dvoufunkční naklápění křídla (2F wing wiggler). To umožňovalo nastavit zvlášť úhel náběhu pravého křídla pro vlek a pro kluz. Výhodou je možnost kroužit užší kruhy při vlekání. V roce 1994 toto zařízení vylepšily o možnost nastavení různé výchylky pro přímí vlek a pro kruh. Tento mechanismus je znám pod názvem 3F wing wiggler (obr. A.5).
- 1988** Mikhail Kochkarev a Sergey Makarov začali používat uhlíkový D-box, který přinesl větší tuhost než původní kevlarový D-box.
- 1989** Victor Tchop začal používat výstřel typu bunt. Poprvé testoval tento způsob výstřelu již v roce 1975, ale vzhledem k malé pevnosti modelů nebyl tento způsob výstřelu příliš přínosný. Systém výstřelu typu bunt se masově rozšířil v 90. letech s nástupem uhlíkových kompozitů.
- 1998** Ken Bauer zkonztruoval háček s tenzometrem, ale později od něj upustil, protože mechanické provedení nebylo příliš robustní.
- 2004** Gerhard Aringer zkonztruoval křídlo s klapkou po celém rozpětí, která umožňuje nastavit menší klenutí profilu pro výstřel než pro kluz. Díky tomu lze dosáhnout ještě větší výšky při výstřelu. Dnes je dosahováno s tímto křídlem při výstřelu výšky až 95 m.

Technika modelů F1A

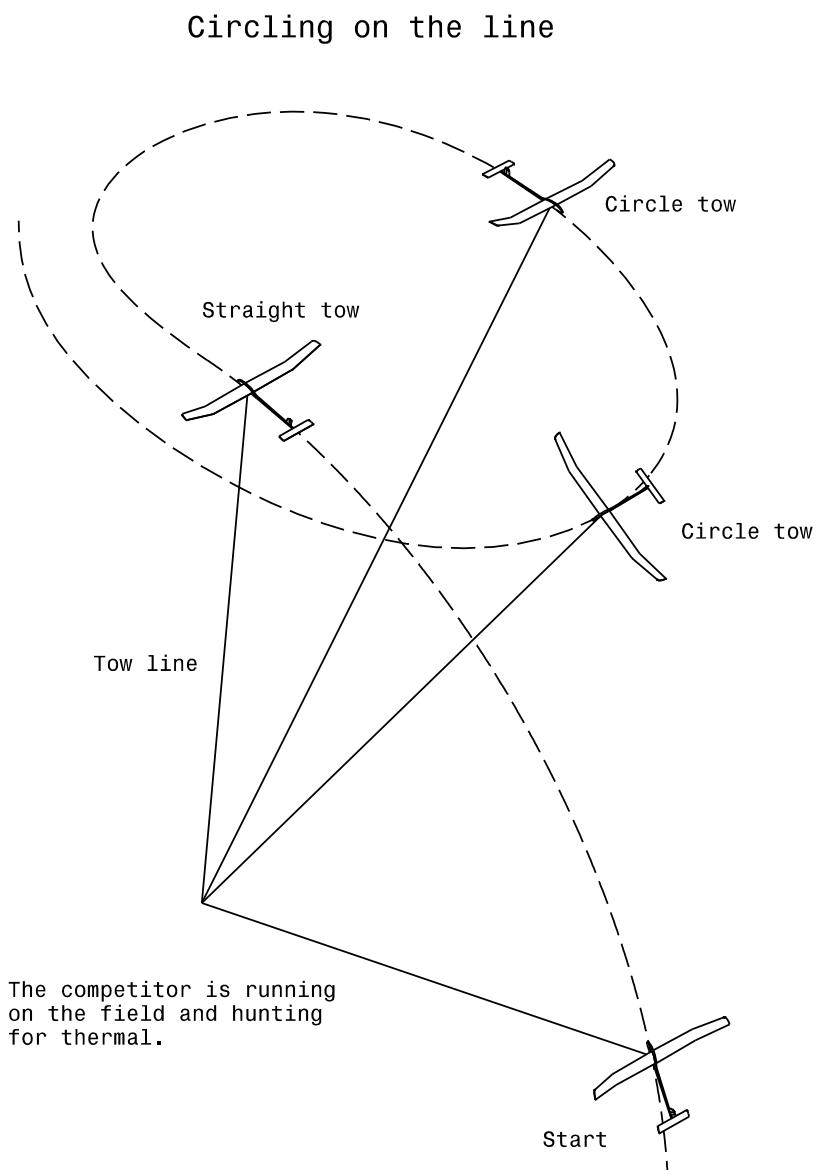
Jedinou možností, jak dosáhnout maxima v každém letu během turbulentního počasí, je model vždy vypustit do stoupavého proudu - termiky. Tomu odpovídá taktika létání i technické vybavení modelu. Základními prvky modelu jsou háček pro krouživý vlek, časovač a systém pro dohledávání modelu v terénu.

Model je vlekán závodníkem. Samotný model při startu drží jeho pomocník. Závodník model vytáhne do výšky a dále s modelem běhá po letové ploše a snaží se najít termiku. Vlečné lanko je pevně uchyceno k modelu. Jak krouživý vlek vypadá je patrné z obr. A.1. Když se závodník rozhodne model vypustit, rozběhne se co nejrychleji, aby model urychlil. Při zvýšeném tahu odjistí háček a odhodí vlečné lanko. Tím se spustí časovač, který ovládá sřízení modelu během letu. V dnešní době se modely vystřelují převážně stylem "bunt" (obr. A.2). Po odpoutání stoupá model strmě vzhůru a po ztrátě rychlosti je srovnán do horizontálního kluzu. Tímto způsobem lze dosáhnout maximální výšky při výstřelu.

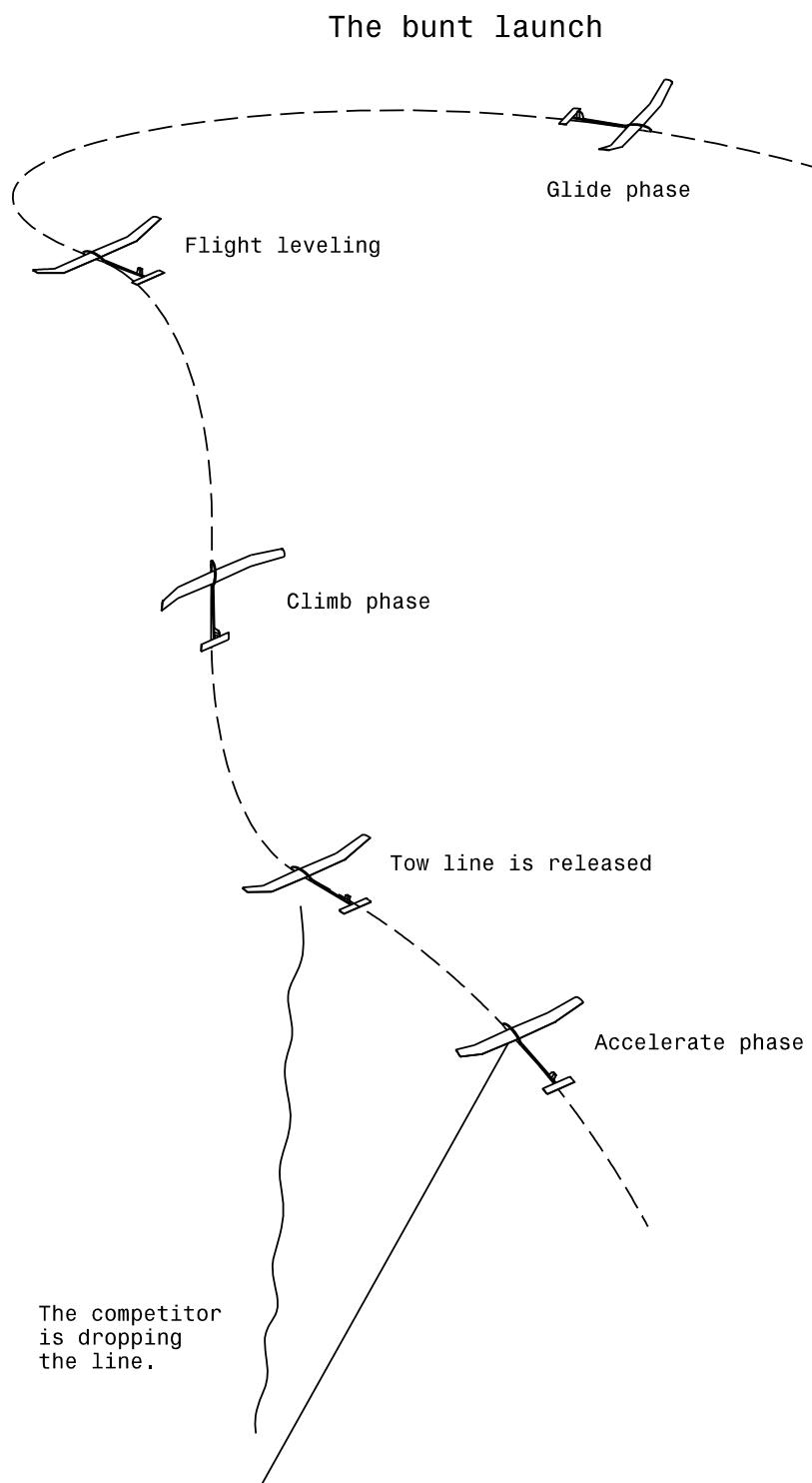
Systém pro dohledávání modelů

Důležitou součástí modelu je systém pro dohledávání (radio tracking). Za silného větru a termiky mohou modely ulétnout během tří minutového maxima vzdálenost 1 až 3 km. Pokud model spadne do nepřehledného terénu není jednoduché ho najít. Proto se do modelu dávají rádiové vysílače, které periodicky vysílají pulsy nosného kmitočtu. Tento signál lze zachytit pomocí přijímače se směrovou anténou a určit tak směr ve kterém se model nachází. Přijímač musí obsahovat indikátor síly pole. Vhodné je také používat proměnný atenuátor pro utlumení signálu, pokud je člověk blíže modelu.

Také se používá akustická signalizace pomocí piezo bzučáku. Ten je však slyšet pouze na malou vzdálenost.



Obrázek A.1: Kroužení s modelem umožňuje hledání termiky. Závodník model vypustí, až když najde termiku.

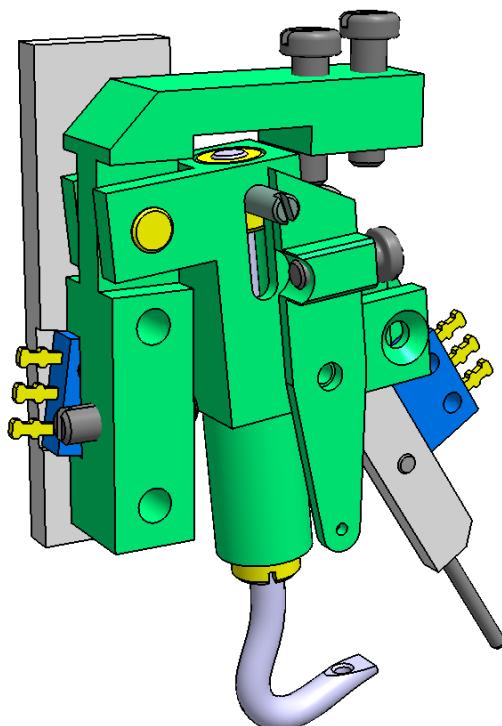


Obrázek A.2: Trajektorie při výstřelu typu "bunt". Model je vystřelen kolmo vzhůru a poté je srovnán do horizontálního kluzu.

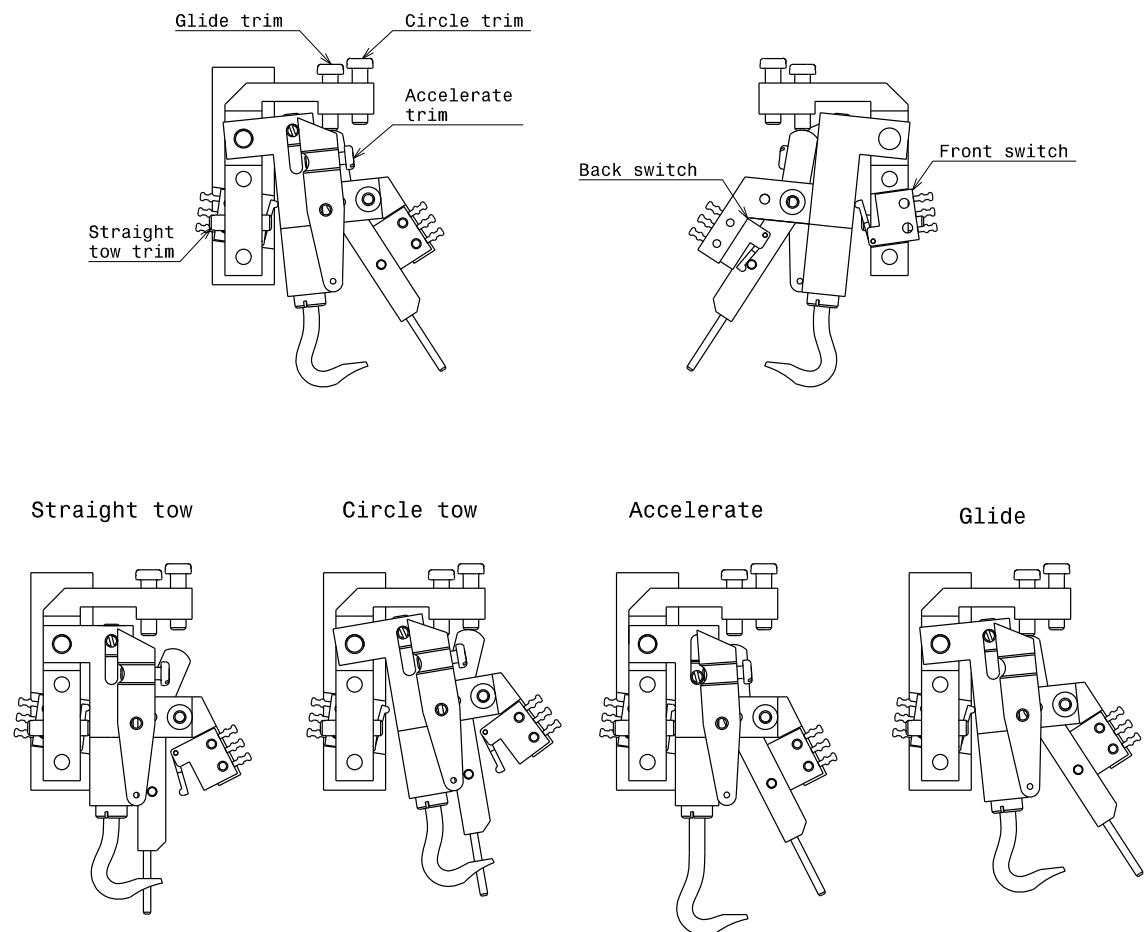
Vlečný háček

Základní součástí modelu je vlečný háček umožňující kroužení na lanku. Nejrozšířenější je systém Isaenko a systém Makarov. Já ve svých modelech používám systém Makarov, který jsem upravil pro připevnění dvou mikrospínačů, které umožňují spojení s elektronickým časovačem. Na obr. A.3 je 3D model tohoto háčku včetně mikrospínačů OMRON.

Uvnitř háčku je tlačná pružina, která se při velkém tahu stlačí. Tím se odjistí zápatka a sepne zadní mikrospínač. Poté, co člověk odhadí vlečné lanko, háček jde dozadu, přední spínač se rozepne a lanko z háčku vypadne. Vypínací síla háčku se nastavuje okolo 90 N. Na těle háčku je několik nastavovacích šroubů, které umožňují nastavit výchylky směrovky pro všechny fáze letu, viz obr. A.4.



Obrázek A.3: 3D model háčku Makarov upraveného pro umístění mikrospínačů.



Obrázek A.4: Nastavovací šrouby a poloha háčku v jednotlivých fázích letu.

Technika naklápení křídla

Technika naklápení křídla umožňuje nastavit různé úhly náběhu vnitřního křídla (pozitiv) pro jednotlivé fáze letu. Malý úhel pro přímí vlek, velký úhel pro kruh na lanku, aby se model dal otáčet i v silném větru. Úhel při výstřelu bývá o něco větší než úhel pro kluz. To pomůže udržet model ve stoupání a zabránit tak sestupné zatáčce při výstřelu. Samozřejmě lze také podle potřeby nastavit úhel náběhu pro kluz.

3F wing wiggler

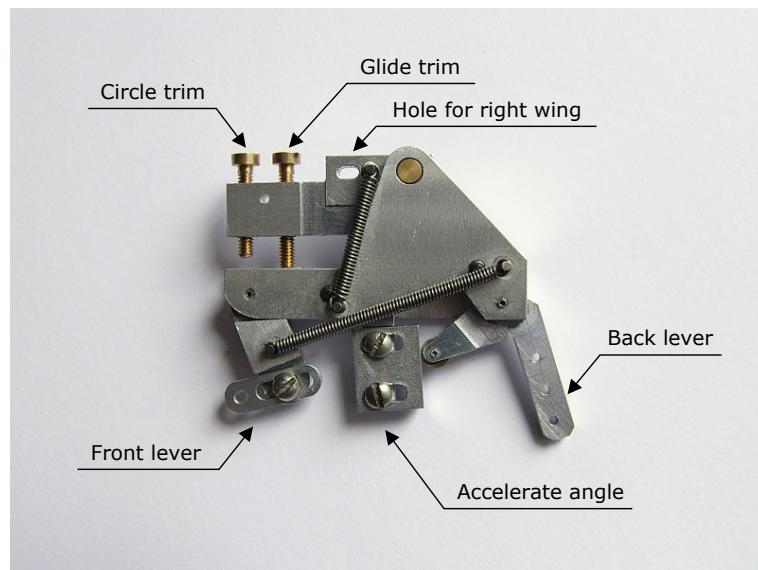
Tento mechanismus, známý jako 3F wing wiggler (obr. A.5), vyvinul a poprvé odzkoušel Sergey Makarov. Ve spojení s elektronickým časovačem tento systém funguje následovně. Zadní páčka na mechanismu (back lever) je spojena táhlem s vlečným háčkem. Při pohybu vlečného háčku se tedy pohybuje i křídlo. Přední páčka na mechanismu (front lever) je spojena s lomenou páčkou u serva (to je vidět na obr. 1.2). Během letu systém funguje v těchto režimech.

Vlek Během celého vleku je přední páčka natažena na servo. Je-li vlečný háček vpředu, je nastaven malý úhel náběhu. Pro tuto výchylku není nastavovací šroub, je dána polohou háčku a nastavením úhelníku (accelerate angle).

Je-li háček vzadu je nastaven velký úhel náběhu (šroub circle trim).

Výstřel Během výstřelu jde vlečný háček dozadu a zvětší se úhel náběhu. Ten je dán výchylkou vlečného háčku pro kluz a nastavením úhelníku (accelerate angle).

Kluz Při potlačení serva je přední páčka uvolněna a je nastaven pozitiv pro kluz (šroub glide trim).

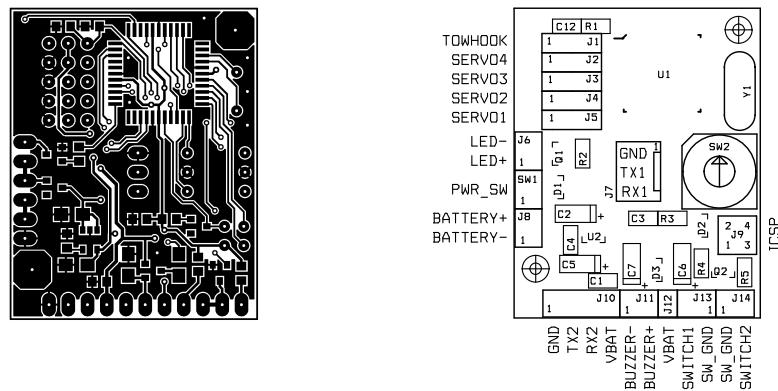


Obrázek A.5: 3F wing wiggler - mechanismus pro naklápení křídla.

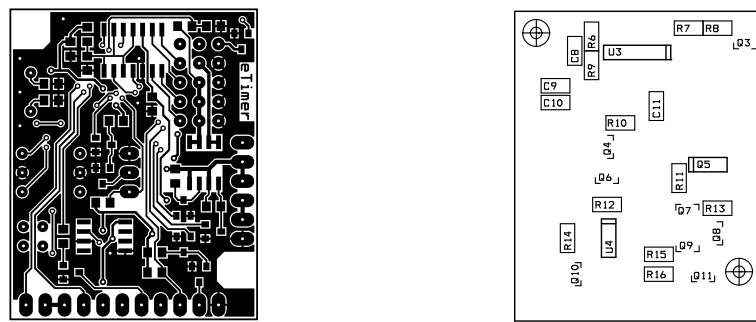
Jak je z předchozího popisu patrné, mnoho výchylek je na sobě závislých a jsou závislé také na výchylkách vlečného háčku. Kvůli tomu je nastavení všech požadovaných výchylek velmi obtížné. Přesto se tento systém ve světě poměrně rozšířil.

Dodatek B

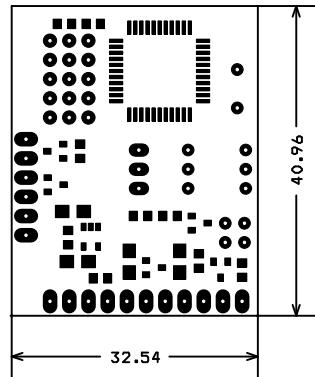
Elektronický časovač



Obrázek B.1: Vrstva spojů TOP a osazovací výkres.



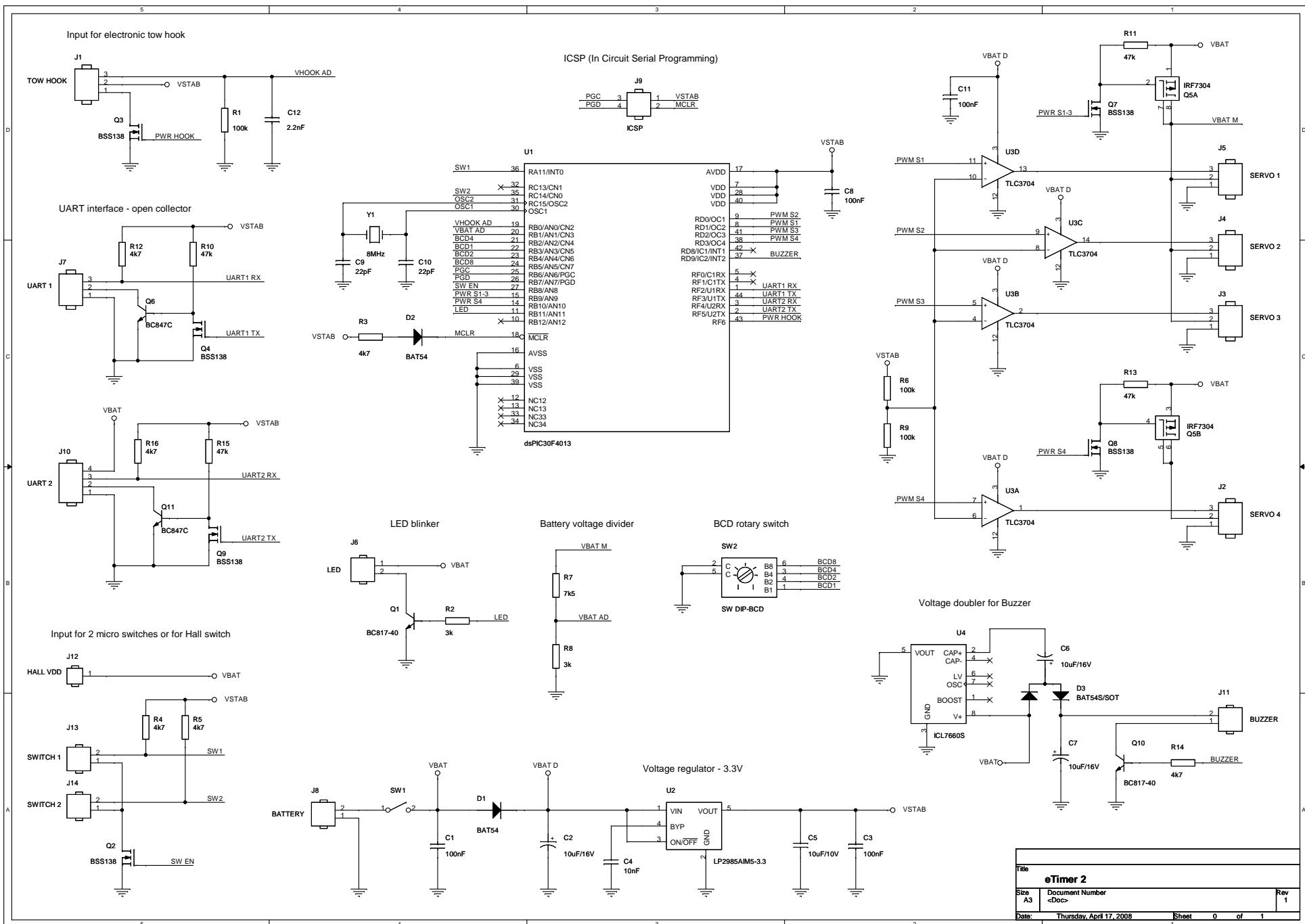
Obrázek B.2: Vrstva spojů BOTTOM a osazovací výkres.



Obrázek B.3: Rozměry DPS.

DODATEK B. ELEKTRONICKÝ ČASOVAC

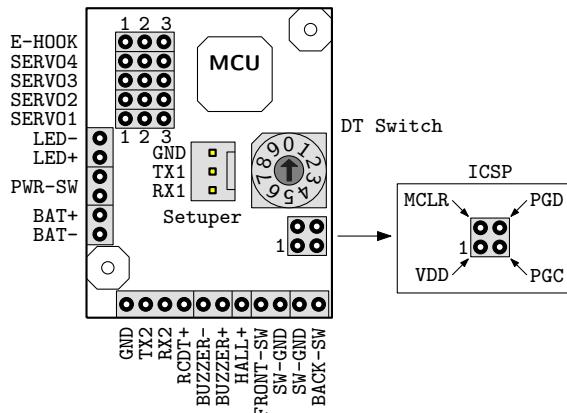
77



Reference	Hodnota	Pouzdro
U1	dsPIC30F4013-30I/PT	TQFP44
U2	LP2985AIM5-3.3	SOT23-5
U3	TLC3704ID	S014
U4	ICL7660S	S08
Y1	8MHz	HC49US
Q1 , Q10	BC817-40	SOT23
Q2 , Q3 , Q4 , Q7 , Q8 , Q9	BSS138	SOT23
Q5	IRF7304	S08
Q6 , Q11	BC847C	SOT23
D1 , D2	BAT54	SOT23
D3	BAT54S	SOT23
R1	220k $\pm 1\%$	0805
R2 , R8	3k $\pm 1\%$	0805
R3 , R4 , R5 , R12 , R14 , R16	4k7 $\pm 1\%$	0805
R6 , R9	100k $\pm 1\%$	0805
R7	7k5 $\pm 1\%$	0805
R10 , R11 , R13 , R15	47k $\pm 1\%$	0805
C1 , C3 , C8 , C11	100nF X7R	0805
C2 , C6 , C7	10uF/16V	A/3216
C4	10nF X7R	0805
C5	10uF/10V X5R	1206
C9 , C10	22pF NPO	0805
C12	2.2nF X7R	0805

Tabulka B.1: Seznam součástek pro elektronický časovač.

Zapojení konektorů



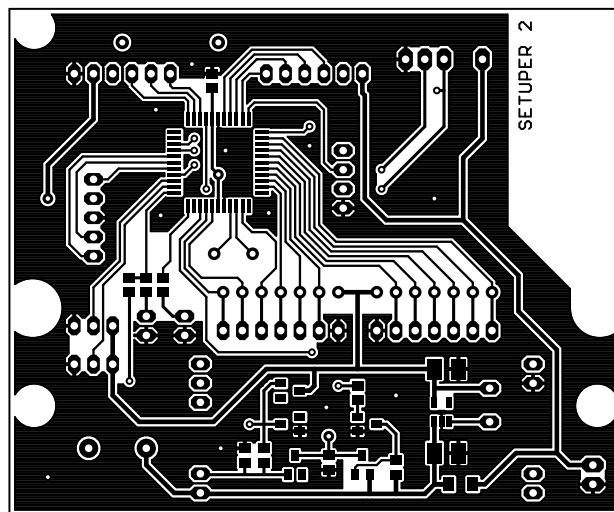
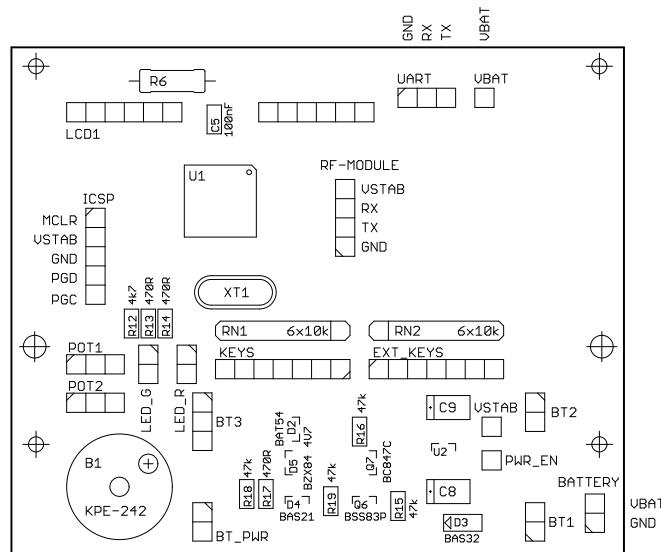
Obrázek B.4: Zapojení konektorů časovače.

Konektor	Pin	Popis
Battery	BAT-	
	BAT+	
Power Switch	PWR-SW	Vstup pro vypínač napájení
LED Blinker	LED+	
	LED-	
Serva	SERVO1	Stabilizer servo
	SERVO2	Rudder servo
	SERVO3	Wing servo
	SERVO4	Tow hook servo
E-HOOK	1	GND pin pro háček
	2	Kladné napájení
	3	Analogový vstup
RCDT	GND	GND pin
	TX2	UART2 Tx
	RX2	UART2 Rx
	RCDT+	Kladné napájení
Buzzer	BUZZER-	
	BUZZER+	
Switches	HALL+	Napájení pro Hallův spínač
	FRONT-SW	Vstup pro přední spínač
	BACK-SW	Vstup pro zadní spínač
	SW-GND	GND pro spínače
Setuper	GND	GND pin
	TX1	UART1 Tx
	RX1	UART1 Rx
ICSP (In Circuit Serial Programming)	VDD	Kladné napájení pro MCU
	MCLR	Master Clear Reset input
	PGD	ICSP programming data pin
	PGC	ICSP programming clock pin

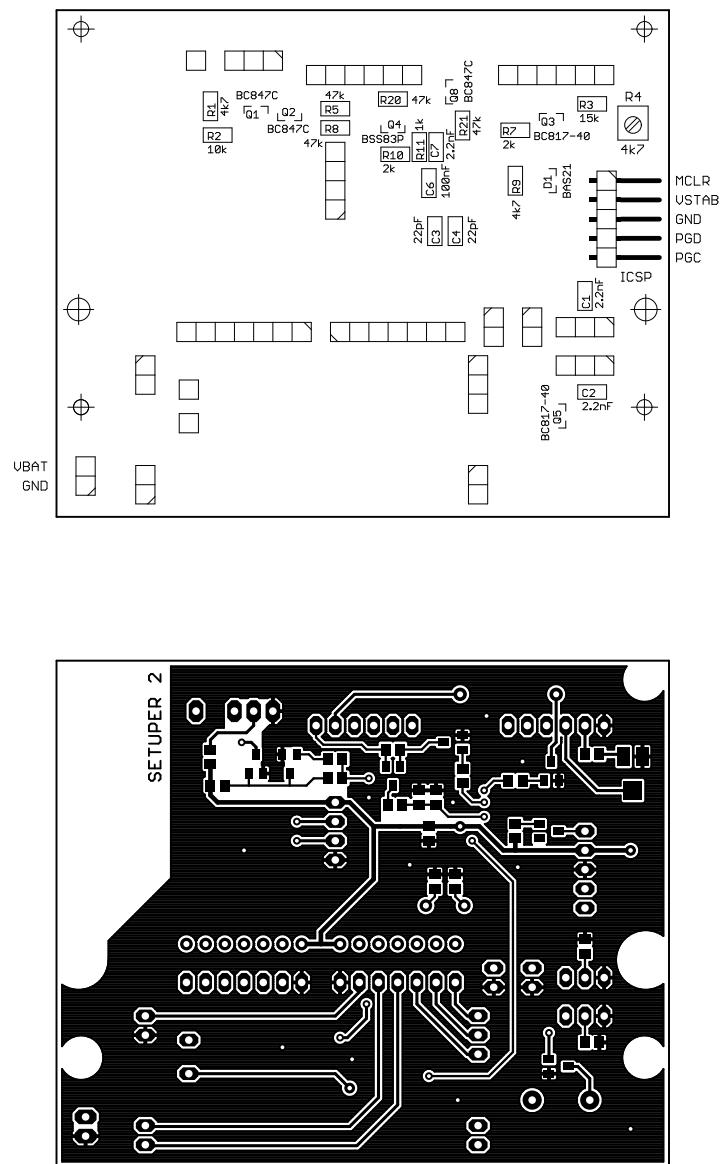
Dodatek C

Programovací jednotka Setuper

Základní deska



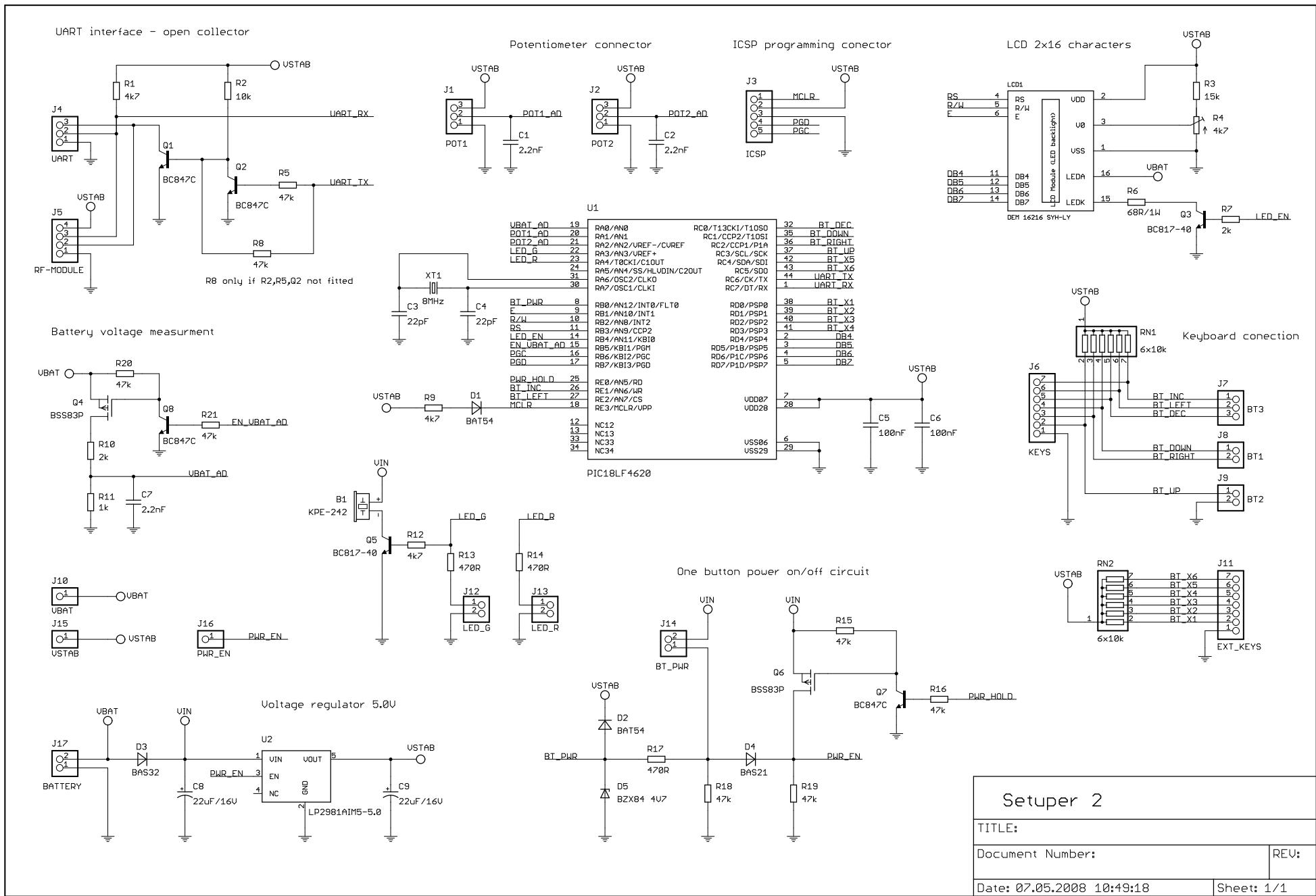
Obrázek C.1: Vrstva spojů TOP a osazovací výkres.



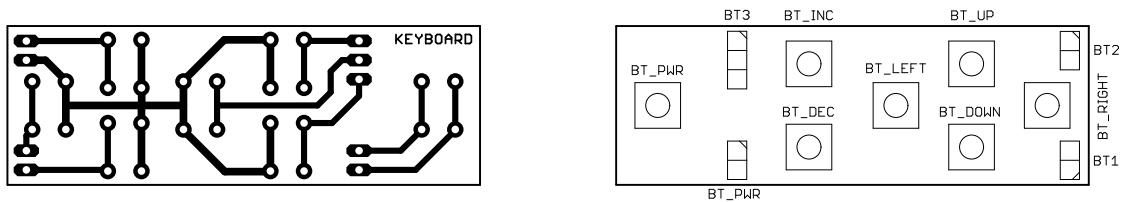
Obrázek C.2: Vrstva spojů BOTTOM a osazovací výkres.

DODATEK C. PROGRAMOVACÍ JEDNOTKA SETUPER

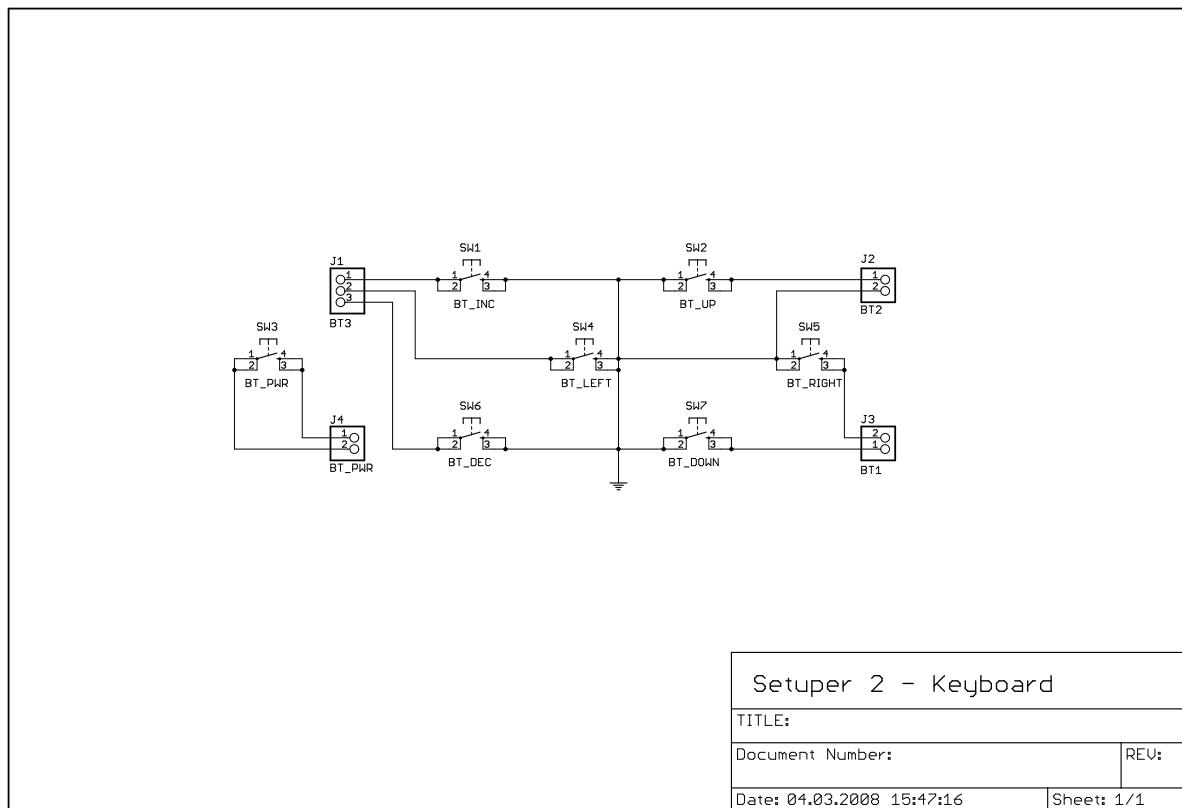
83



Klávesnice



Obrázek C.3: Vrstva spojů BOTTOM a osazovací výkres.

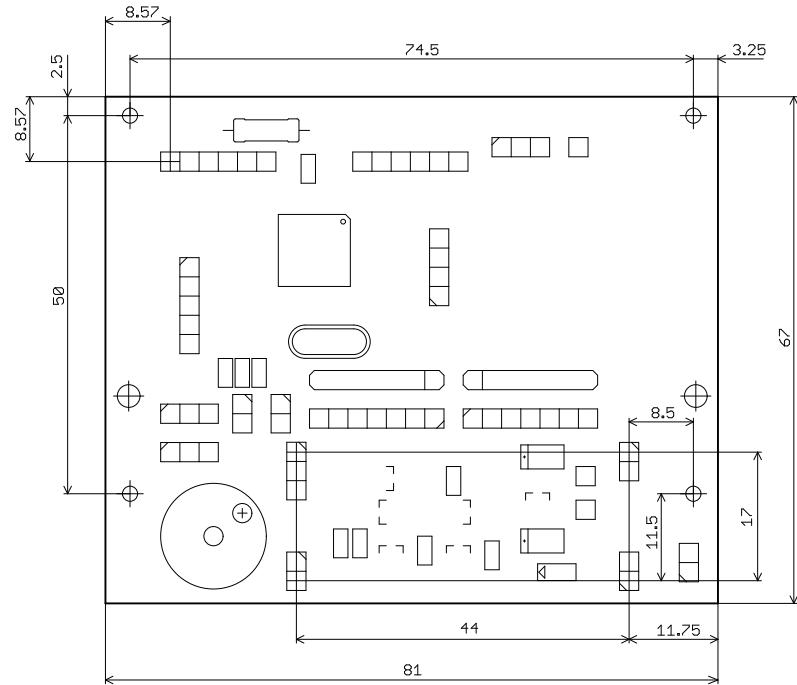


Seznam součástek

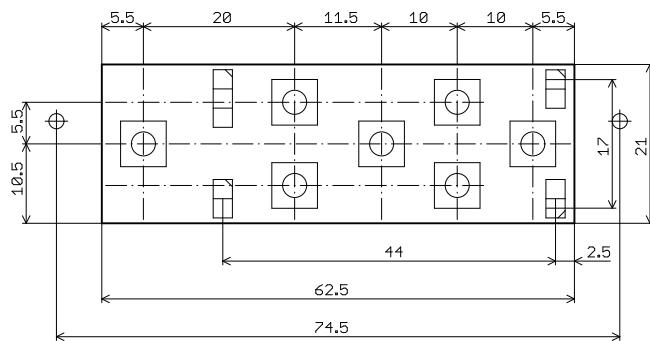
Reference	Hodnota	Pouzdro
U1	PIC18LF4620	TQFP44
U2	LP2981AIM5-5.0	SOT23-5
XT1	8MHz	HC49US
Q1 ,Q2 ,Q7 ,Q8	BC847C	SOT23
Q3 ,Q5	BC817-40	SOT23
Q4 ,Q6	BSS83P	SOT23
D1 ,D2	BAT54	SOT23
D3	BAS32	SOD80
D4	BAS21	SOT23
D5	BZX84 4V7	SOT23
RN1 ,RN2	6x10k	SIP7
R1 ,R9 ,R12	4k7 $\pm 1\%$	0805
R2	10k $\pm 1\%$	0805
R3	15k $\pm 1\%$	0805
R4	4k7	C4315
R5 ,R8 ,R15 ,R16 , R18 ,R19 ,R20 ,R21	47k /1%	0805
R6	68R/1W	0312
R7 ,R10	2k $\pm 1\%$	0805
R11	1k $\pm 1\%$	0805
R13 ,R14 ,R17	470R $\pm 1\%$	0805
C1 ,C2 ,C7	2.2nF X7R	0805
C3 ,C4	22pF NPO	0805
C5 ,C6	100nF X7R	0805
C8 ,C9	22uF/16V	B/3528
B1	KPE242	
LCD1	DEM 16216 SYH-LY	
SW1-SW7	P-B1720	

Tabulka C.1: Seznam součástek pro Setuper.

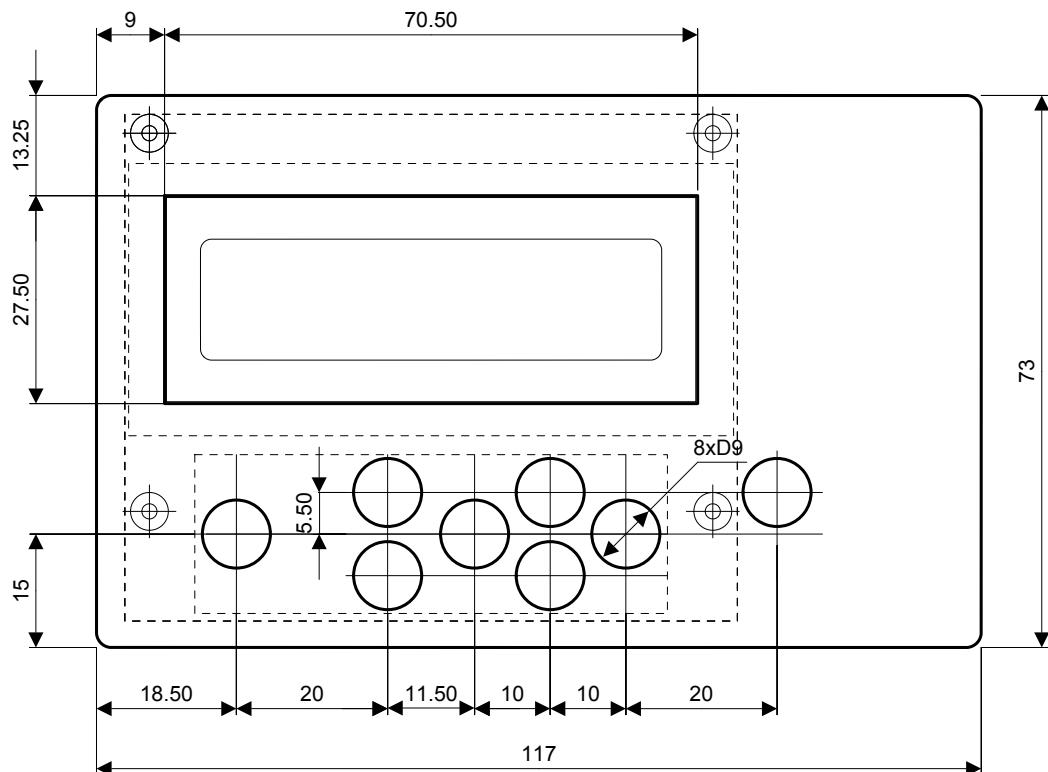
Rozměry desek



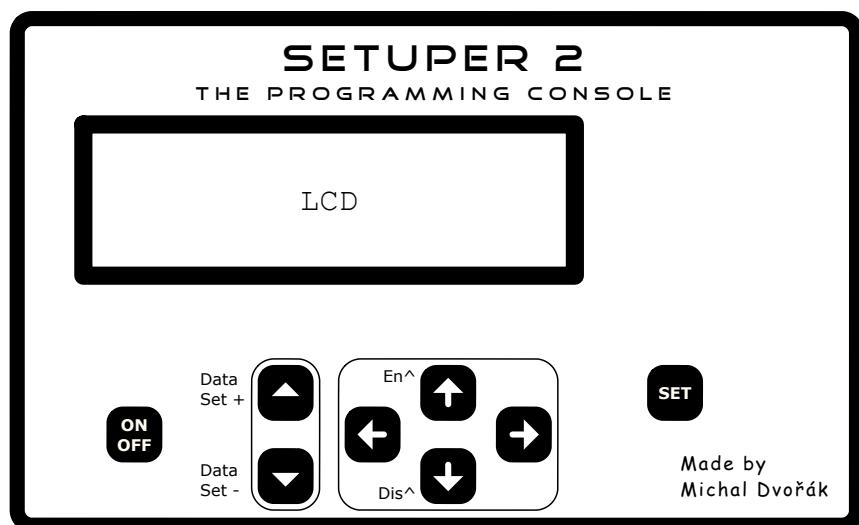
Obrázek C.4: Rozměry desky Setuper.



Obrázek C.5: Rozměry desky Keyboard.



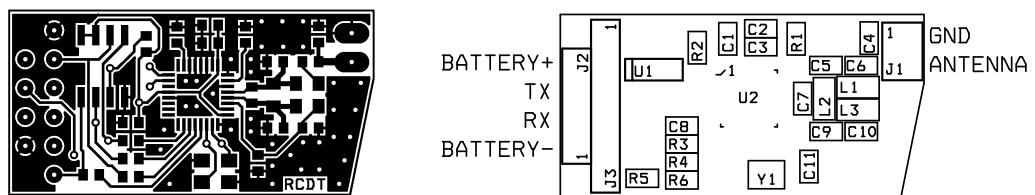
Obrázek C.6: Rozměry krabičky U-KM33B.



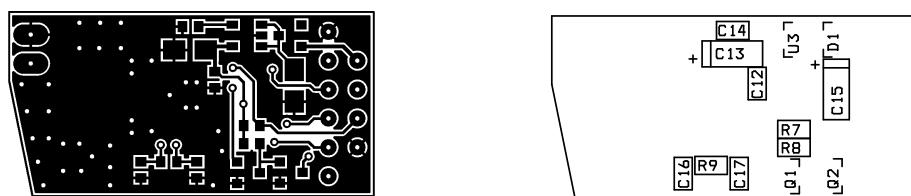
Obrázek C.7: Potisk pro Setuper.

Dodatek D

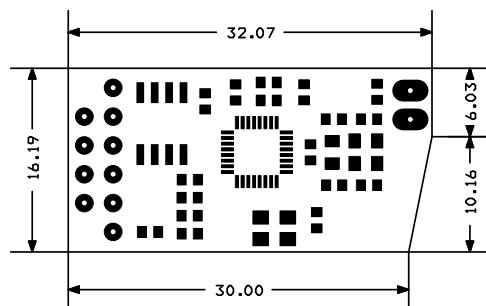
Rádiový modul



Obrázek D.1: Vrstva spojů TOP a osazovací výkres.



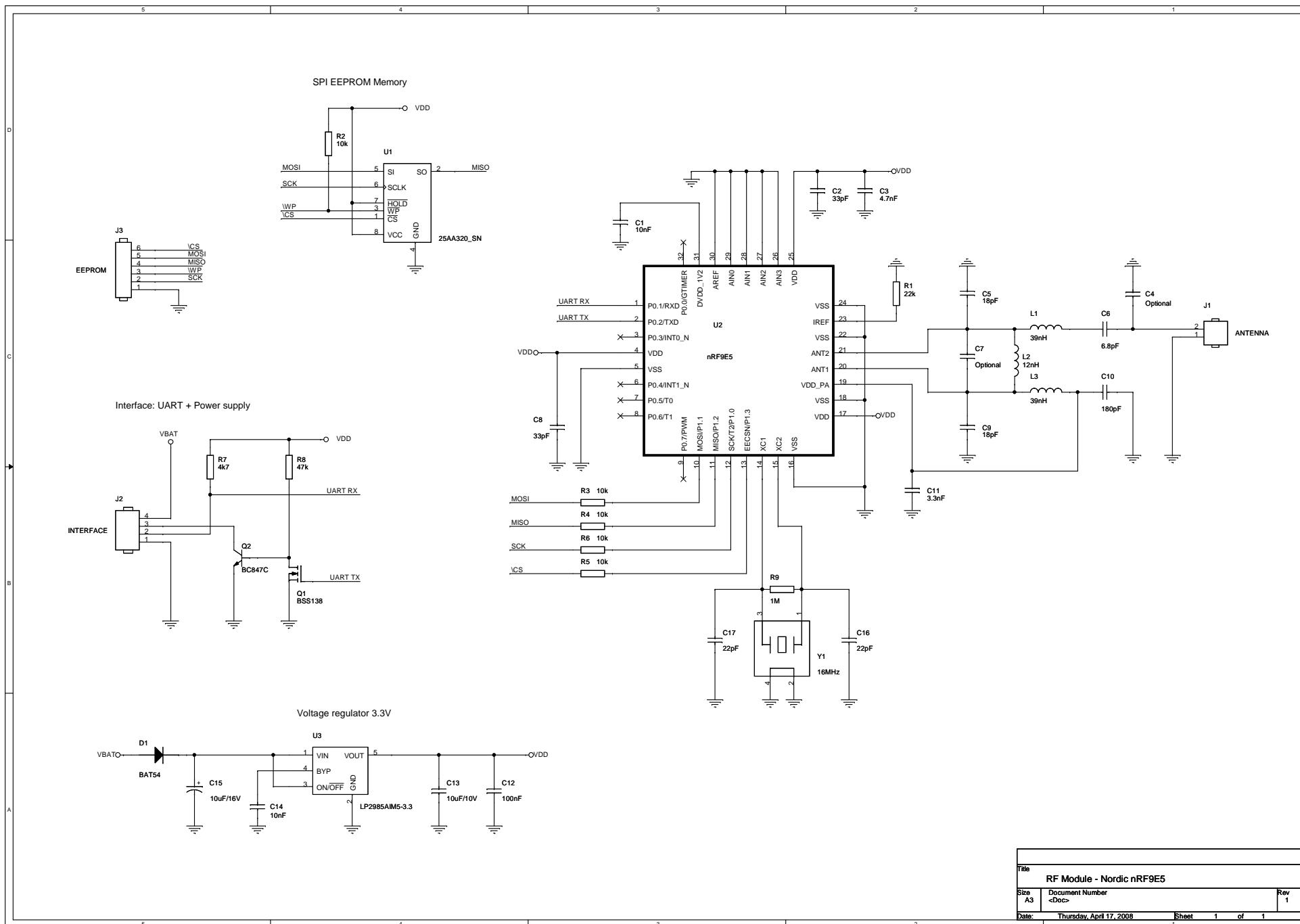
Obrázek D.2: Vrstva spojů BOTTOM a osazovací výkres.



Obrázek D.3: Rozměry DPS.

DODATEK D RÁDIOVÝ MORIT

06

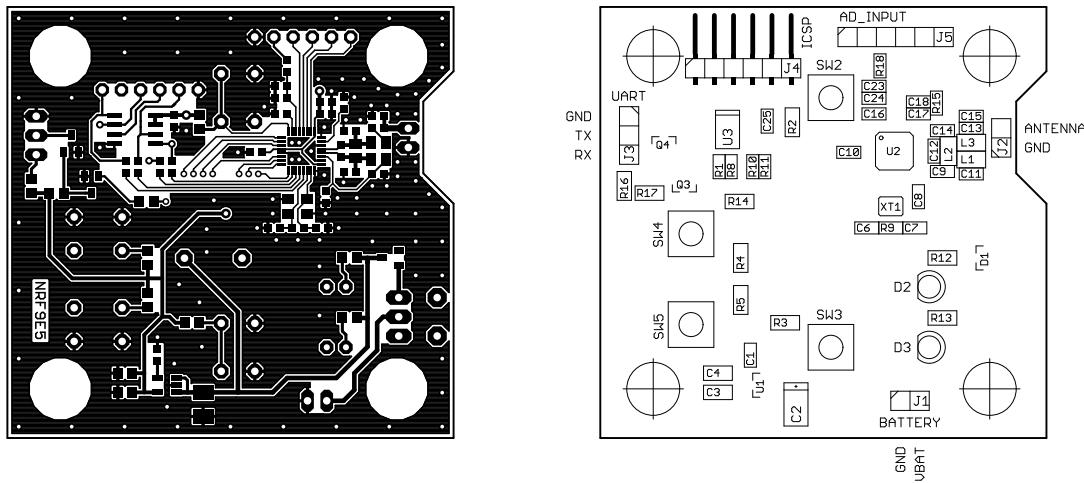


Reference	Hodnota	Pouzdro
U1	25AA320/SN	S08
U2	nRF9E5	QFN32
U3	LP2985AIM5-3.3	SOT23-5
Y1	FA-23H 16MHz	FA-23H
Q1	BSS138	SOT23
Q2	BC847C	SOT23
D1	BAT54	SOT23
L1 ,L3	39nH $\pm 5\%$	0805
L2	12nH $\pm 5\%$	0805
R1	22k $\pm 1\%$	0603
R2 ,R3 ,R4 ,R5 ,R6	10k $\pm 1\%$	0603
R7	4k7 $\pm 1\%$	0603
R8	47k $\pm 1\%$	0603
R9	1M $\pm 1\%$	0603
C1 ,C14	10nF X7R	0603
C2 ,C8	33pF NPO	0603
C3	4.7nF X7R	0603
C4 ,C7	Optional	0603
C5 ,C9	18pF NPO	0603
C6	6.8pF NPO	0603
C10	180pF NPO	0603
C11	3.3nF X7R	0603
C12	100nF X7R	0603
C13	10uF/10V X5R	1206
C15	10uF/16V	A/3216
C16 ,C17	22pF X7R	0603

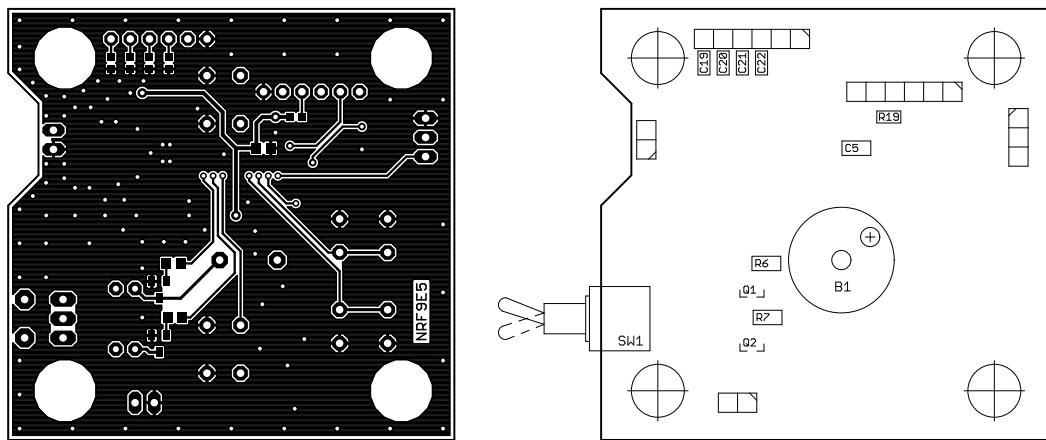
Tabulka D.1: Seznam součástek pro rádiový modul.

Dodatek E

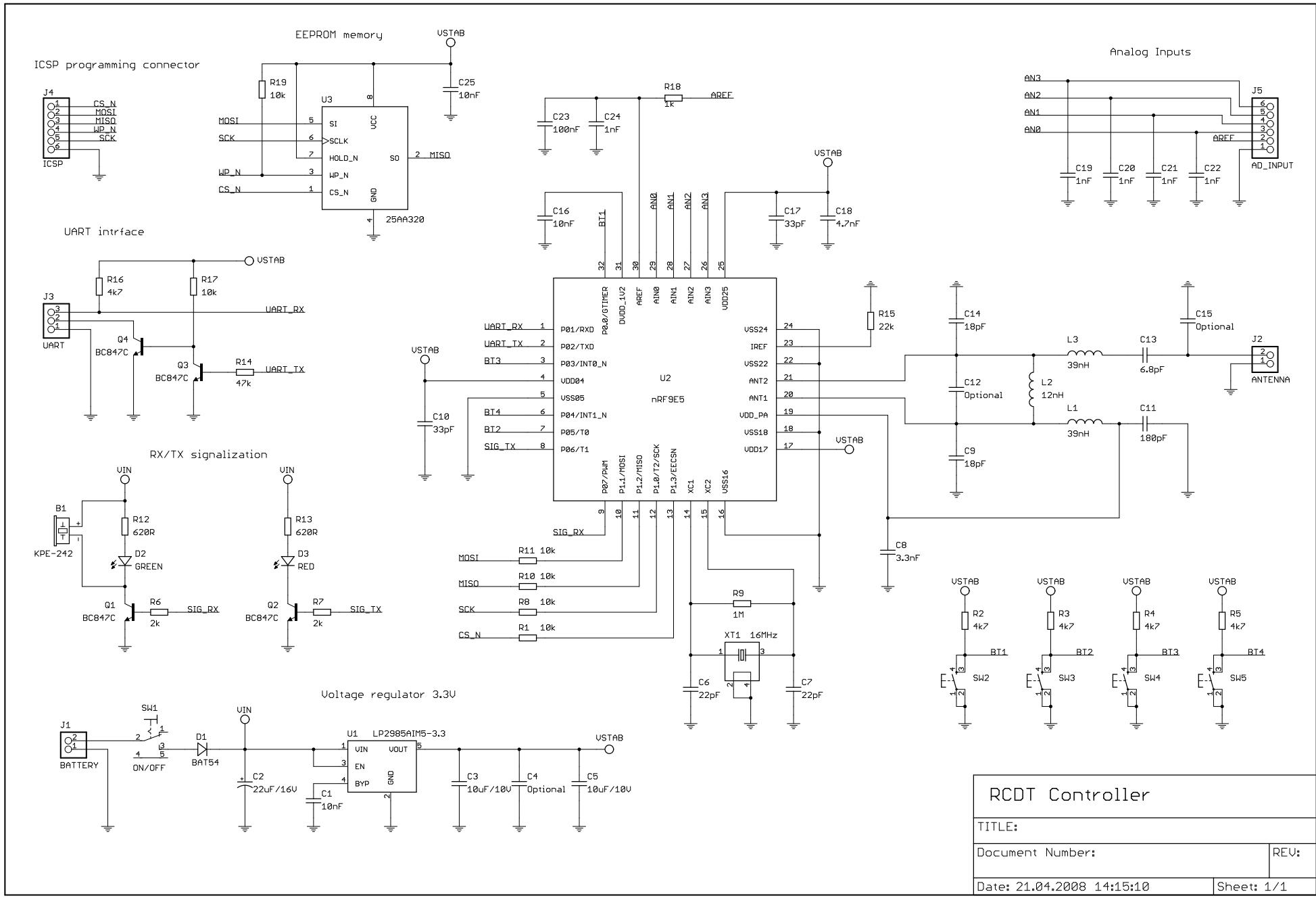
RCDT ovladač



Obrázek E.1: Vrstva spojů TOP a osazovací výkres.

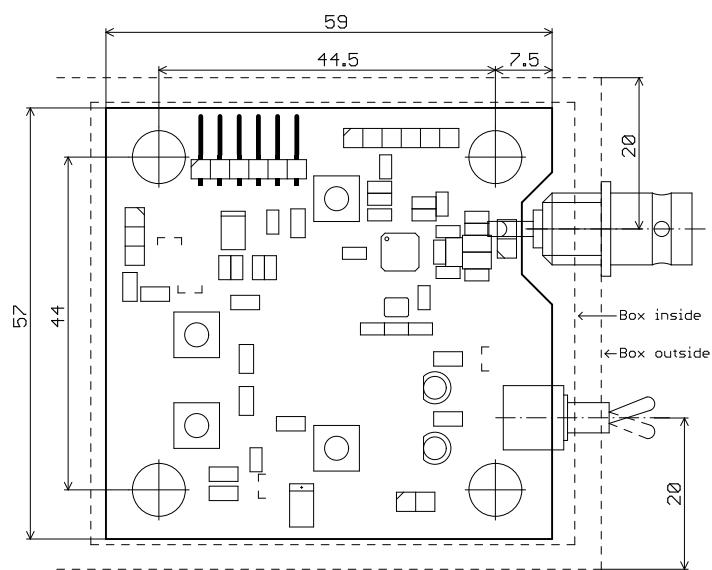


Obrázek E.2: Vrstva spojů BOTTOM a osazovací výkres.

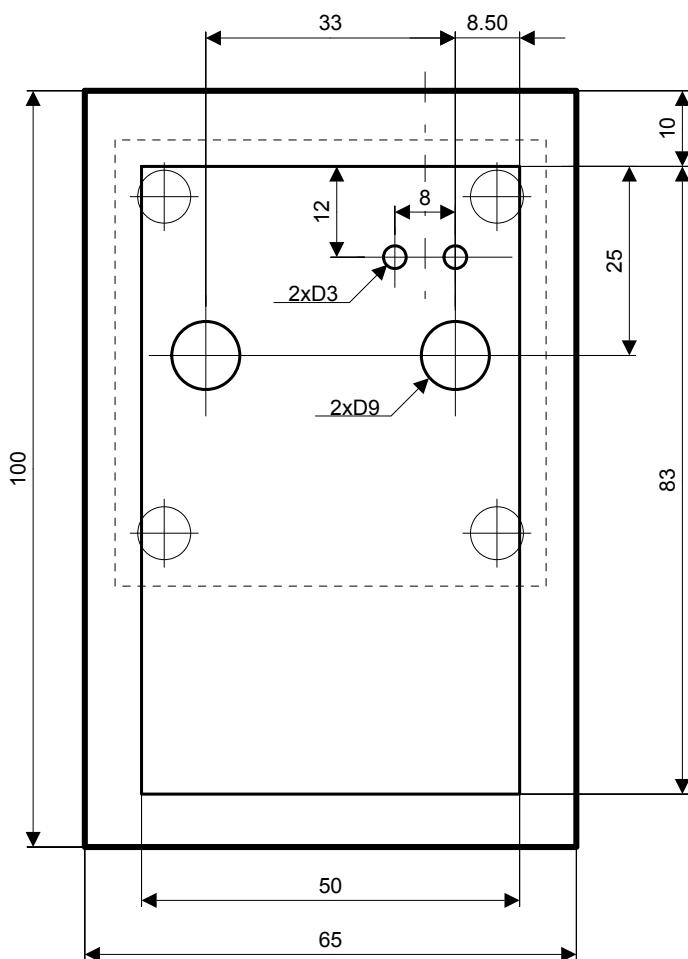


Reference	Hodnota	Pouzdro
U1	LP2985AIM5-3.3	SOT23-5
U2	nRF9E5	QFN32
U3	25AA320/SN	S08
XT1	FA-23H 16MHz	FA-23H
Q1 , Q2 , Q3 , Q4	BC847C	SOT23
D1	BAT54	SOT23
D2	BAT54	SOT23
D3	BAT54	SOT23
L1 , L3	39nH $\pm 5\%$	0805
L2	12nH $\pm 5\%$	0805
R1 , R8 , R10 , R11 , R19	10k $\pm 1\%$	0603
R2 , R3 , R4 , R5 , R16	4k7 $\pm 1\%$	0805
R6 , R7	2k $\pm 1\%$	0805
R9	1M $\pm 1\%$	0603
R14	47k $\pm 1\%$	0805
R15	22k $\pm 1\%$	0603
R17	10k $\pm 1\%$	0805
R18	1k $\pm 1\%$	0603
C1 , C16 , C25	10nF X7R	0603
C2	22uF/16V	B/3528
C3 , C5	10uF/10V X5R	0805
C4	Optional	0805
C6 , C7	22pF X7R	0603
C8	3 . 3nF X7R	0603
C9 , C14	18pF NPO	0603
C10 , C17	33pF NPO	0603
C11	180pF NPO	0603
C12	Optional	0603
C13	6 . 8pF NPO	0603
C15	Optional	0603
C18	4 . 7nF X7R	0603
C19 , C20 , C21 , C22 , C24	1nF X7R	0603
C23	100nF X7R	0603
B1	KPE242	KPE242
SW1	P-KNX125	P-KNX125
SW2 , SW3 , SW4 , SW5	P-B1720A	P-B1720A

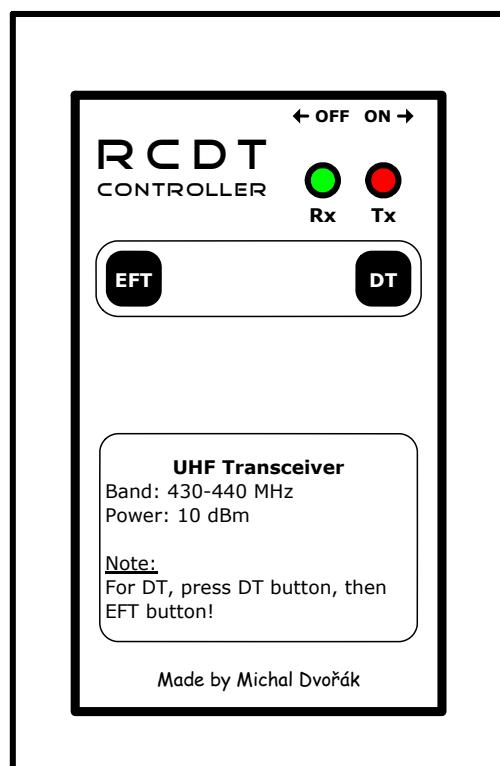
Tabulka E.1: Seznam součástek pro rádiový ovladač.



Obrázek E.3: Rozměry DPS.



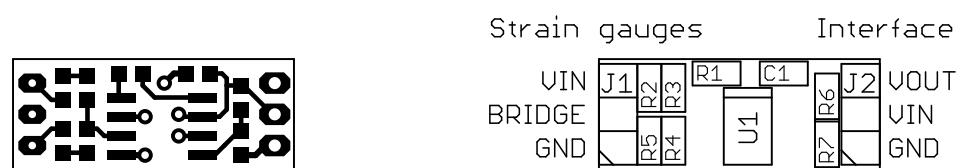
Obrázek E.4: Rozměry krabičky.



Obrázek E.5: Potisk krabičky RCDT ovladače.

Dodatek F

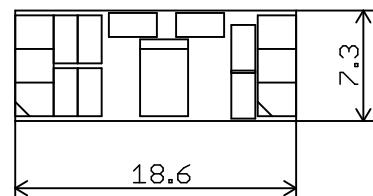
Elektronický vlečný háček



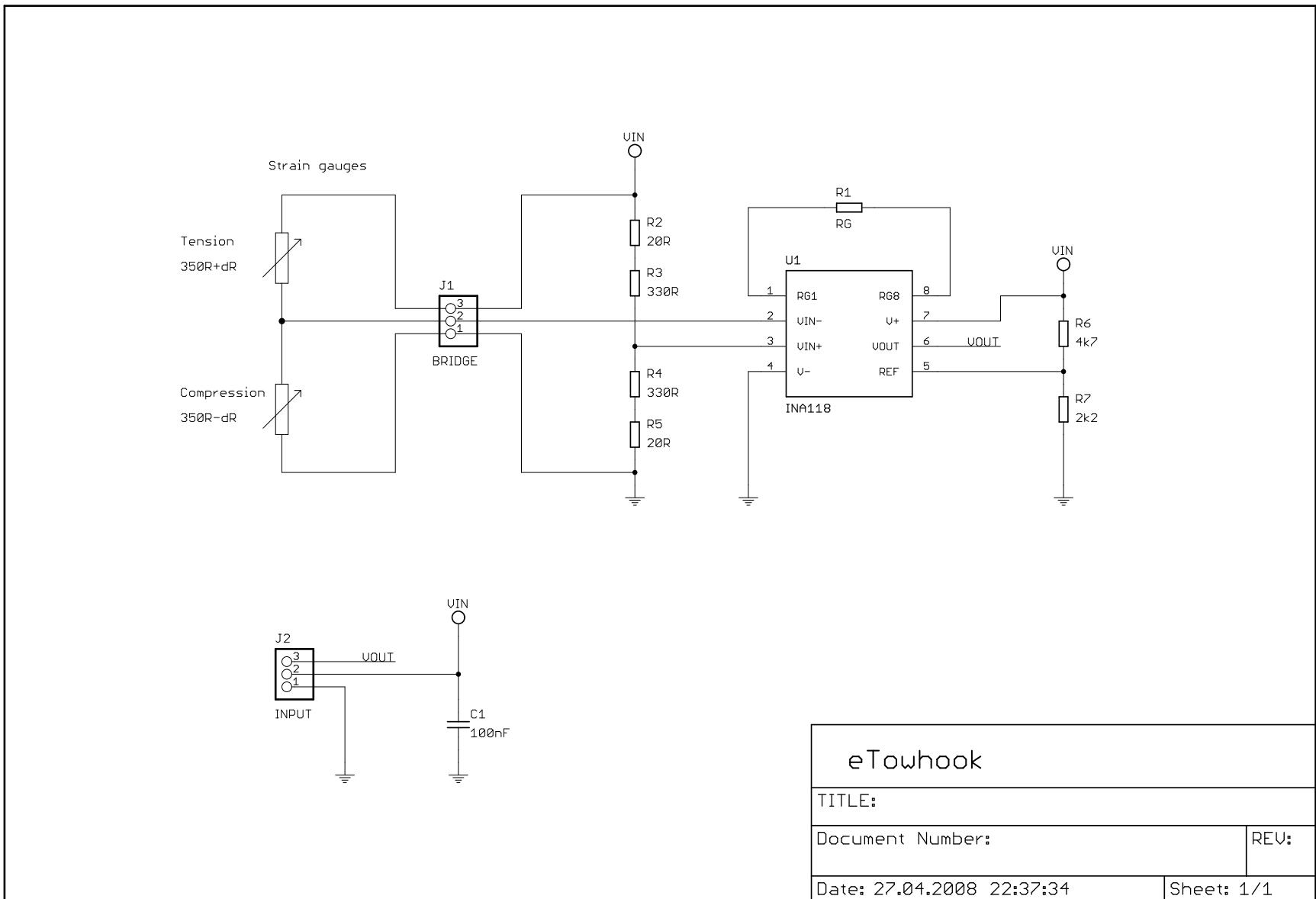
Obrázek F.1: Vrstva spojů TOP a osazovací výkres.



Obrázek F.2: Vrstva spojů BOTTOM a osazovací výkres.



Obrázek F.3: Rozměry DPS.



Reference	Hodnota	Pouzdro
U1	INA118	S08
R1	R_G	0603
R2 ,R5	20R $\pm 1\%$	0603
R3 ,R4	330R $\pm 1\%$	0603
R6	4k7 $\pm 1\%$	0603
R7	2k2 $\pm 1\%$	0603
C1	100nF X7R	0603

Tabulka F.1: Seznam součástek pro měřící obvod háčku.

Dodatek G

Seznam použitého software

MPLAB IDE 8.00 Integrované vývojové prostředí pro mikroprocesory firmy Microchip.

MPLAB C18 3.15 Překladač jazyka C pro mikroprocesory řady PIC18.

MPLAB C30 3.02 Překladač jazyka C pro mikroprocesory řady dsPIC.

<http://www.microchip.com/>

Keil µVision 3.33 Integrované vývojové prostředí pro mikroprocesory s jádrem 8051.

<http://www.keil.com/>

OrCAD 10.5 Software pro návrh plošných spojů.

<http://www.cadence.com/>

EAGLE 4.16r2 Software pro návrh plošných spojů.

<http://www.cadsoft.de/>

CATIA V5 Software pro 3D počítačové konstruování.

<http://www.3ds.com/>

MiKTeX 2.7 Distribuce programu pro sazbu textu L^AT_EX.

<http://www.miktex.org/>

IPE 6.0 Vektorový grafický editor pracující s programem L^AT_EX.

<http://tclab.kaist.ac.kr/ipe/>

Dodatek H

Seznam použitých přístrojů

SmartProg2 Univerzální programátor obvodů.

ELNEC: <http://www.elnec.sk/>

ETC M621 150 MHz digitální paměťový osciloskop ovladatelný z osobního počítače.

ETC: <http://www.etcsk.com/>

FC-2500A Frekvenční čítač do 2.5 GHz.

Lutron Electronic: <http://www.lutron.com.tw/>

Dodatek I

Obsah přiloženého CD

\DATASHEET	Datové listy k použitým součástkám.
\FOTO	Fotografická dokumentace celého projektu.
\PROJEKTY	Výrobní dokumentace a firmware k jednotlivým zařízením.
\eTimer	
\RCDT	
\RFmodule	
\Setuper	
\Toohook	
\SOFTWARE	Volně dostupný software ve verzích použitých v tomto projektu.
\C18	Kompilátor jazyka C pro mikroprocesory řady PIC18.
\C30	Kompilátor jazyka C pro mikroprocesory řady dsPIC.
\MPLAB	Vývojové prostředí MPLAB IDE od firmy Microchip.
\Thesis.pdf	Text této diplomové práce ve formátu pdf.