

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Miroslav Nepovím

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Generátor signálů odpovídače sekundárního radaru pro přístroje R&S

Miroslav Nepovím

Bakalářská práce

2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav Nepovím**
Osobní číslo: **I13028**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Generátor signálu odpovídače sekundárního radaru pro
přístroje Rohde & Schwarz**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Vytvořte pro arbitrary generátory Rohde & Schwarz softwarový generátor signálu odpovídače sekundárního radaru. Softwarový generátor bude generovat zprávy dle normy v módech A/C/S a přes sběrnici USB bude možné signál nahrát přímo do vybraného Rohde & Schwarz generátoru. Významové body obsažené v kódu bude možné importovat či budou generované náhodně.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. DOBEŠ, Josef a Václav ŽALUD. Moderní radiotechnika. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 767 s. ISBN 80-730-0132-2.
2. HANSELMAN, Duane C. Mastering MATLAB 7. International ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, c2005, xi, 852 s. ISBN 01-318-5714-2.
3. ZAPLATÍLEK, Karel. MATLAB pro začátečníky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 143 s. ISBN 80-730-0095-4.
4. ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. MATLAB: začínáme se signály. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 271 s. ISBN 80-730-0200-0.
5. ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. MATLAB: tvorba uživatelských aplikací. 1. vyd. Praha: BEN, 2004, 215 s. ISBN 80-730-0133-0.
6. 1285/2003-220-SP/1. LETECKÝ PŘEDPIS: O CIVILNÍ LETECKÉ TELEKOMUNIKAČNÍ SLUŽBĚ SVAZEK I - RADIONAVIGAČNÍ PROSTŘEDKY L 10/I-IV. Praha: Úřad pro civilní letectví, 2013.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Pidanič, Ph.D.

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

15. prosince 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. května 2016



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2016

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 12. 05. 2017

Miroslav Nepovím

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Pidaničovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a konzultace při zpracování této práce.

ANOTACE

Cílem této práce je vytvoření programu v prostředí MATLAB, který bude generovat signály odpovídající odpovědím sekundárního přehledového radaru v módech A/C/S. Teoretická část se věnuje možnostem řízení letového provozu a proč je důležité. V praktické části je popsán vytvořený program a několik příkladů testování funkčnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

ŘLP, SSR, ADSB, módy ACS, transpondér, generátor

TITLE

The Signal Generator of Secondary Surveillance radar transponder for Rohde & Schwarz arbitrary generator

ANNOTATION

The aim of this work is to create a program in the MATLAB environment, which will generate signals corresponding to the responses of the secondary surveillance radar in the A/C/S modes. The theoretical part deals with the possibilities of air traffic control and why it is important. The practical part describes the program and several examples of functionality testing.

KEYWORDS

ŘLP, SSR, ADSB, ACS modes, transponder, generator

OBSAH

| | | |
|-------|---|----|
| 0 | Úvod..... | 13 |
| 1 | ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU | 14 |
| 2 | SEKUNDÁRNÍ PŘEHLEDOVÝ RADAR – SSR..... | 15 |
| 2.1 | Princip komunikace..... | 15 |
| 2.2 | Dotazovací režimy / módy | 17 |
| 2.2.1 | Mód A | 18 |
| 2.2.2 | Mód C | 18 |
| 2.2.3 | Mód S..... | 18 |
| 3 | AUTOM. ZÁVISLÉ PŘEHLEDOVÉ VYSÍLÁNÍ, ADS–B | 19 |
| 3.1 | Princip komunikace..... | 19 |
| 3.2 | Poskytované služby..... | 20 |
| 3.2.1 | ADS-B OUT | 20 |
| 3.2.2 | ADS-B IN | 20 |
| 3.3 | Výhody ADS-B..... | 20 |
| 3.3.1 | Bezpečnost..... | 21 |
| 3.3.2 | Účinnost..... | 21 |
| 3.4 | Bezpečnostní rizika | 22 |
| 4 | TRANSPONDÉR | 23 |
| 4.1 | Princip činnosti..... | 23 |
| 4.2 | Odpověď pro mód A / C | 24 |
| 4.2.1 | Odpověď pro mód A..... | 25 |
| 4.2.2 | Odpověď pro mód C | 28 |
| 4.3 | Odpověď pro mód S..... | 29 |
| 4.3.1 | Formát sestupného spoje DF11..... | 30 |
| 4.3.2 | Formát sestupného spoje DF17..... | 31 |
| 5 | GENERÁTOR SIGNÁLU ODPOVÍDAČE SSR..... | 32 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 5.1 | Vektorový generátor..... | 32 |
| 5.2 | Před spuštěním | 33 |
| 5.2.1 | Pracovní skupina | 33 |
| 5.2.2 | Protokol TCP/IP | 35 |
| 5.3 | Vlastní program..... | 36 |
| 5.3.1 | Popis okna programu | 38 |
| 5.4 | Ověření funkčnosti programu | 43 |
| 5.4.1 | Příklad 1 – Mód S | 43 |
| 5.4.2 | Příklad 2 – Mód A | 44 |
| | ZÁVĚR | 46 |
| | Použitá literatura | 47 |
| | Přílohy..... | 48 |

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 - Řídící věž, letiště Praha [1] | 14 |
| Obrázek 2 - Primární a sekundární radar [2] | 15 |
| Obrázek 3 - Komunikace radaru s letadlem..... | 16 |
| Obrázek 4 - Tvar dotazu | 17 |
| Obrázek 5 - Porovnání amplitudy P1 a P2..... | 17 |
| Obrázek 6 - Systém ADS-B..... | 19 |
| Obrázek 7 – Transpondér [10]..... | 23 |
| Obrázek 8 - Odpověď pro mód A/C | 24 |
| Obrázek 9 - Speciální impulz SPI..... | 25 |
| Obrázek 10 - Přiřazení písmen k číslům..... | 26 |
| Obrázek 11 - SQUAWK 4321 | 27 |
| Obrázek 12 - SQUAWK 4567, 2000, 7700 | 27 |
| Obrázek 13 - Poloha impulzů [13]..... | 28 |
| Obrázek 14 - Odpověď pro mód S [5]..... | 29 |
| Obrázek 15 – Uživatelské rozhraní, mód S | 32 |
| Obrázek 16 - Vektorový generátor SMBV100A [16] | 32 |
| Obrázek 17 - Nabídka START | 34 |
| Obrázek 18 - Vlastnosti systému, Změna názvu pracovní skupiny | 34 |
| Obrázek 19 - Síťové nastavení přístroje | 35 |
| Obrázek 20 - Možnosti připojení | 35 |
| Obrázek 21 - Vlastnosti sítě, Vlastnosti protokolu TCP/IP | 36 |
| Obrázek 22 - Okno IP adresa přístroje..... | 37 |
| Obrázek 23 - Okno Výběr módu..... | 37 |
| Obrázek 24 - Hlavní okno programu | 38 |
| Obrázek 25 - Rozkliknuté menu | 38 |
| Obrázek 26 - Panel nastavení signálu | 39 |
| Obrázek 27 - Blok zprávy, mód A..... | 39 |
| Obrázek 28 - Blok generování signálu | 40 |
| Obrázek 29 - Panel uložení signálu | 40 |
| Obrázek 30 - Panel přístroje neaktivní, aktivní | 41 |
| Obrázek 31 - Blok zprávy, mód C | 41 |
| Obrázek 32 - Blok zprávy, mód S..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 33 - Příklad, mód S..... | 43 |
| Obrázek 34 - Průběh signálu S, osciloskop | 44 |
| Obrázek 35 - Příklad, mód A | 44 |
| Obrázek 36 - Průběh signálu A, osciloskop..... | 45 |
| | |
| Tabulka 1 - Časové prodlevy módů | 18 |
| Tabulka 2 - Poloha impulzů [13] | 24 |
| Tabulka 3 - Přiřazení číslice ke skupině impulzů [13] | 24 |
| Tabulka 4 - Kódy pro speciální případy [14]..... | 25 |
| Tabulka 5 - Binární ekvivalent osmičkového čísla..... | 26 |
| Tabulka 6 - Hodnota čísla podle pozice v bin. soustavě..... | 26 |
| Tabulka 7 - Pořadí indexů..... | 26 |
| Tabulka 8 - Pole DF11 | 30 |
| Tabulka 9 - Pole DF17..... | 31 |
| Tabulka 10 - Parametry vektorového generátoru | 33 |

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

| | |
|-------|--|
| ADS-B | Automatic Dependent Surveillance Broadcast Automatické závislé přehledové vysílání |
| DF | Downlink Format Formát sestupného spoje |
| FIS | Flight Information Service Letová informační služba |
| GNSS | Global Navigation Satellite System Globální navigační družicový systém |
| GPS | Global Positioning System Globální polohový systém |
| ICAO | International Civil Aviation Organization Mezinárodní organizace pro civilní letectví |
| ŘPL | Řízení letového provozu |
| SPI | Special Purpose Identification Speciální identifikace |
| SSR | Secondary Surveillance Radar Sekundární přehledový radar |
| TIS | Traffic Information Service Dopravní informační služba |
| UAT | Universal Access Transceiver Univerzální přístupový přijímač |

0 ÚVOD

Kontrola letového provozu je již nezbytnou součástí dnešní doby. Ve vzduchu se objevuje čím dál více strojů, letový prostor houstne a je důležité, aby vše fungovalo bez chyb a nedocházelo ke kolizím, či ztrátě orientace letadel při snížené viditelnosti. O to a mnohé další se starají desítky lidí na řídicích věžích po celém světě. Ke své práci využívají přístroje a zařízení, které pomáhají pilotům s navigováním, přehledem o počasí a mimo jiné také poskytují užitečné informace, jež by se k nim jinak těžko dostali.

Tato práce si klade za cíl vytvořit program v prostředí MATLAB, který bude generovat signály odpovídající sekundárního přehledového radaru v módech A/C/S. Významové bity obsažené v kódu bude možné vybrat z nabídky nebo budou generované náhodně. Výsledný signál bude možné importovat do vektorového generátoru firmy Rohde & Schwarz přes lokální síť, pomocí síťového kabelu.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, ty jsou dále rozděleny na jednotlivé kapitoly.

Teorie přibližuje, proč je řízení letového prostoru důležité a jaké prostředky využívá. Také je zde popsán přístroj zvaný Transpondér. Interpretace jeho signálů je cílem praktické části.

Úvod praktické části seznámí s vytvořeným programem a přístrojem, do něhož se budou signály importovat. Dále se nastaví počítač a následuje popis programu. V závěru se ověří funkčnost pomocí několika příkladů.

1 ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU

Řízení letového provozu, dále jen ŘLP je služba poskytovaná pozemními kontrolory letadlům, pohybujícím se v řízeném vzdušném prostoru nebo letišti. Ti pomáhají s navigováním a mohou také poskytovat poradenské služby v nekontrolované oblasti vzdušného prostoru.

Hlavním cílem a smyslem je ŘLP zabránit kolizím, organizovat a usnadňovat proud letové dopravy a poskytnout pilotům podporu a užitečné informace.

ŘLP dodržuje striktní pravidla vzdálenosti letadel, jenž udávají minimální odstup a velikost prostoru kolem nich, tím zabraňuje možným srážkám. Mnoho letadel má navíc tzv. proti kolizní systémy, které piloty varují, když se k ostatním letadlům dostanou příliš blízko.

Celé řízení letového provozu probíhá na **řídící věži**:



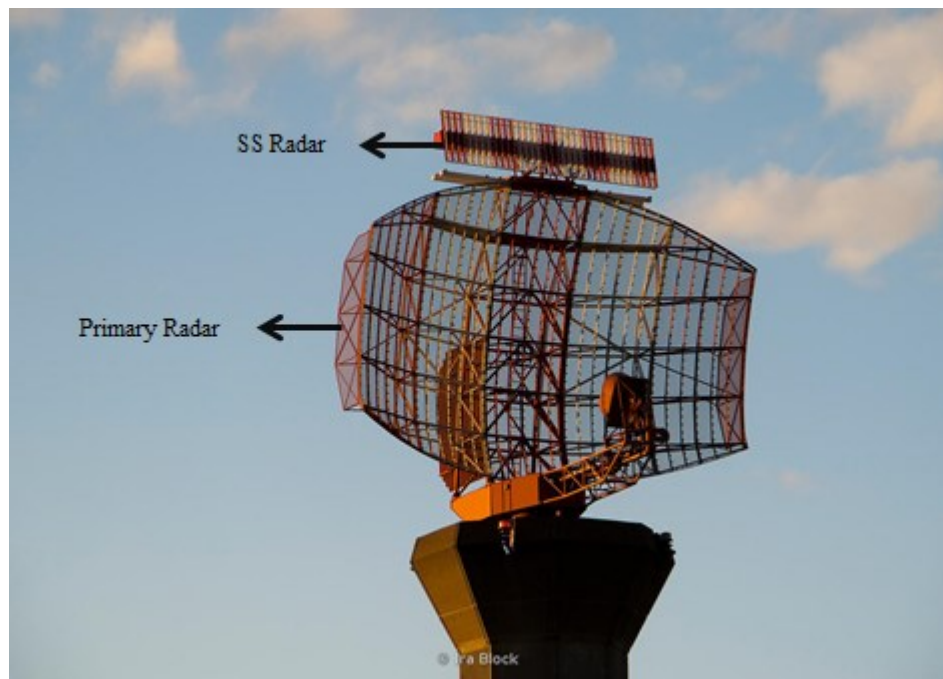
Obrázek 1 - Řídící věž, letiště Praha [1]

Tato věž na obrázku 1 musí mít přehled o všem co se v oblasti jejího řízení děje a žádné letadlo bez jejího povolení nevzlétne ani nepřistane.

2 SEKUNDÁRNÍ PŘEHLEDOVÝ RADAR – SSR

SSR je radarový systém používaný v ŘLP, který nejen zjišťuje polohu, ale také získává informace přímo z letadla, jako je jeho identita a nadmořská výška. Na rozdíl od primárních radarových systémů, které získávají informace o cíli pomocí detekce odražených radiových signálů.

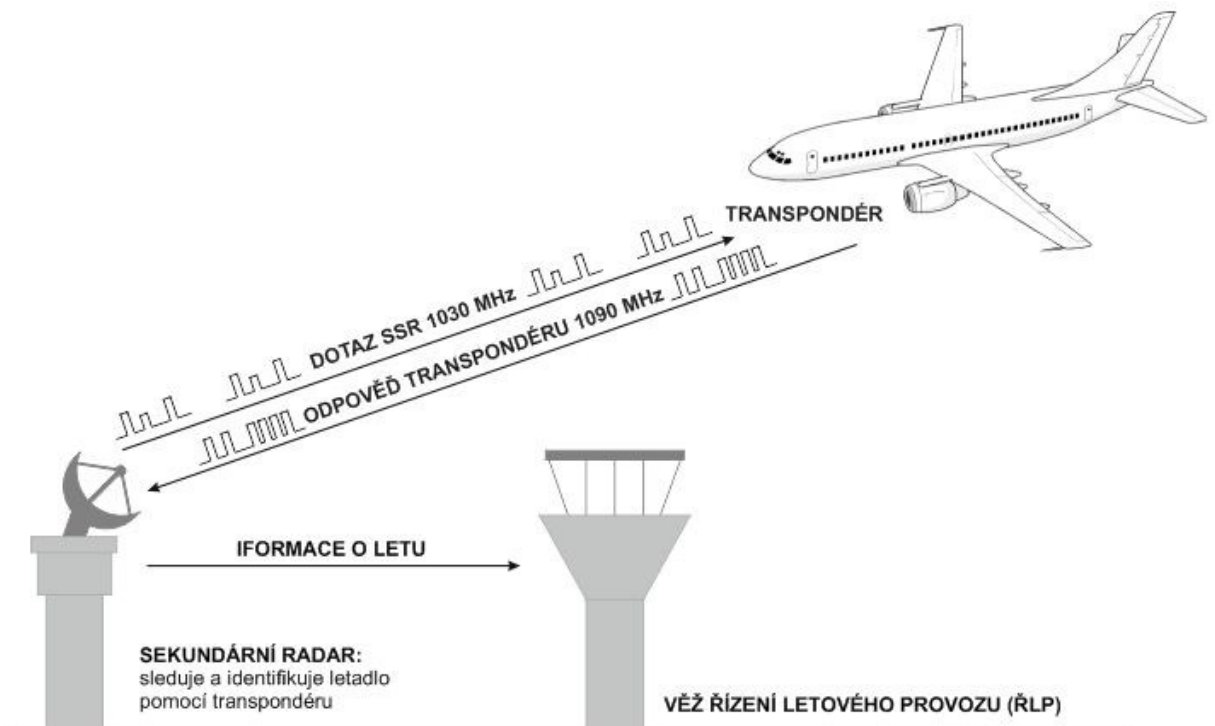
Účelem je snadnější detekce a identifikace letadel při současném zjištění letové hladiny (tlakové nadmořské výšky) letadla.



Obrázek 2 - Primární a sekundární radar [2]

2.1 Princip komunikace

SSR je kooperativní zařízení. Ke správné funkci musí mít letadlo na palubě speciální přístroj. Tento přístroj se nazývá **Transpondér** (odpovídač). Odpovídač proto, že odpovídá dotazům SSR, vysláním odpovědi obsahující kódované informace o letadle.



Obrázek 3 - Komunikace radaru s letadlem

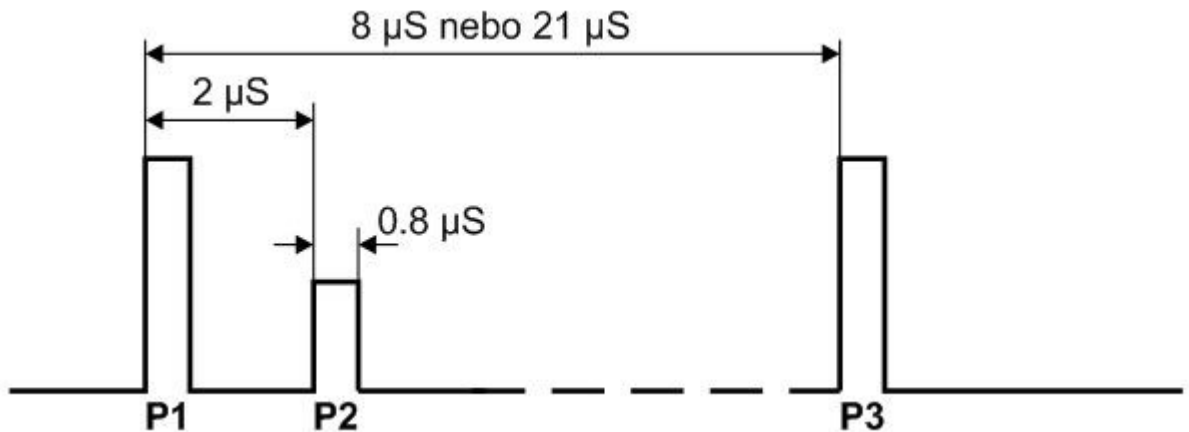
Jak je vidět textem z obrázku 3, pozemní stanice SSR vysílá dotazovací impulzy na frekvenci 1030 MHz a transpondér, který je v dosahu, odpovídá na frekvenci 1090 MHz.

Frekvence SSR jsou standardizované v normě **ICAO** [3] (Mezinárodní organizace pro civilní letectví), což umožňuje používat stejnou anténu pro vysílání i příjem.

Odeslaná odpověď závisí na módu dotazu.

2.2 Dotazovací režimy / módy

Standartní dotaz tvoří sled třech impulzů s definovanou časovou prodlevou na zmíněné nosné frekvenci 1030 MHz. Šířka všech impulzů je 0.8 mikrosekund. [4]

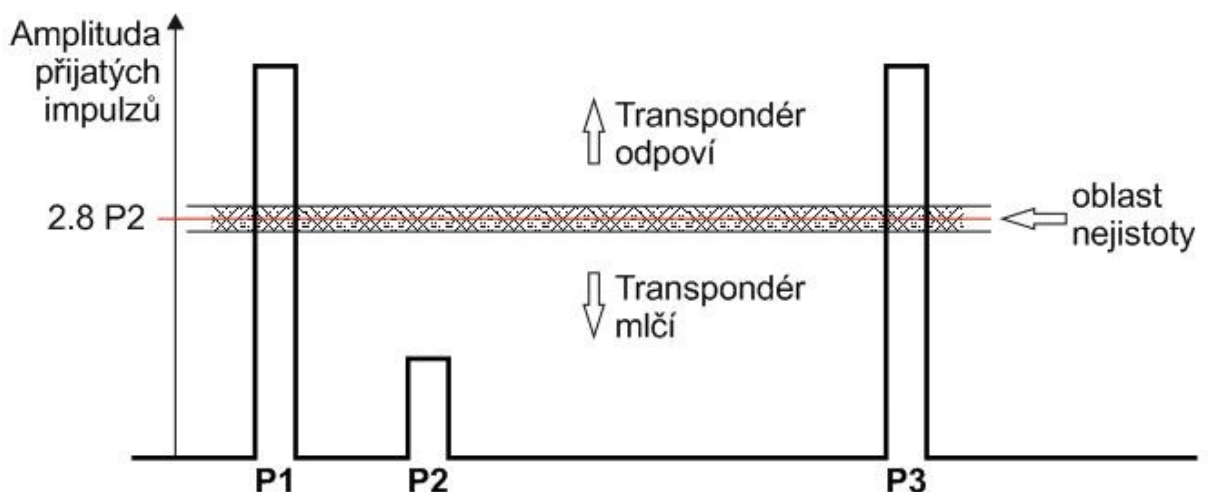


Obrázek 4 - Tvar dotazu

Časová prodleva mezi prvním (P1) a posledním (P3) impulzem (obrázek 4) určuje mód dotazu, druhý (P2) impulz vysílaný 2 mikrosekundy po prvním, pak slouží k zamezení odpovědi od letounů, jež se nenacházejí ve směru orientace hlavního svazku antény. [4]

K tomu slouží funkce **potlačení postranních laloků** [6], jež umožňuje transpondéru poznat, ze kterého laloku dotaz pochází a to tak, že porovná amplitudy přijatých impulzů (obrázek 5).

- - pokud je amplituda impulzů $P1$ a $P2 \geq 2.8 * P2$ - transpondér **odpoví**
- - pokud je amplituda impulzů $P1$ a $P2 < 2.8 * P2$ - transpondér **mlčí**



Obrázek 5 - Porovnání amplitudy P1 a P2

Samotný impulz P2 se na stanovení módu nepodílí. V tabulce 1 jsou časové prodlevy, udávající tři základní módy, které lze nastavit.

Tabulka 1 - Časové prodlevy módů

| Mód | Časová prodleva P1 – P3 |
|-----|-------------------------|
| A | 8 μ s |
| C | 21 μ s |
| S | 3.5 μ s |

2.2.1 Mód A

Tento mód se používá v řízení letového provozu pro identifikaci a sledování letadel. Identifikace se určuje speciálním kódem a je letounu přidělen v průběhu letu. Tolerance prodlevy mezi impulzy P1 a P3 je ± 0.2 mikrosekundy.

2.2.2 Mód C

Je podobný módu A, jelikož je odpověď na jeho dotaz tvořena odpovědí v módu A, doplněná o barometrickou výšku. Tolerance prodlevy je taktéž 0.2 mikrosekundy.

2.2.3 Mód S

Dotaz v tomto módu se od více uvedených velice liší. Protože je určen pouze jednomu letadlu a přednastaven tak, aby ostatní letadla neodpovídala. Princip spočívá v tom, že každé letadlo dostane přidělený specifický identifikační kód, který se již během letu nemění, jako je to běžné u ostatních módů. Kód se uloží do paměti transpondéru hned při jeho instalaci do letadla a změnit ho může pouze oprávněná osoba např. při změně domovského státu letadla. [4]

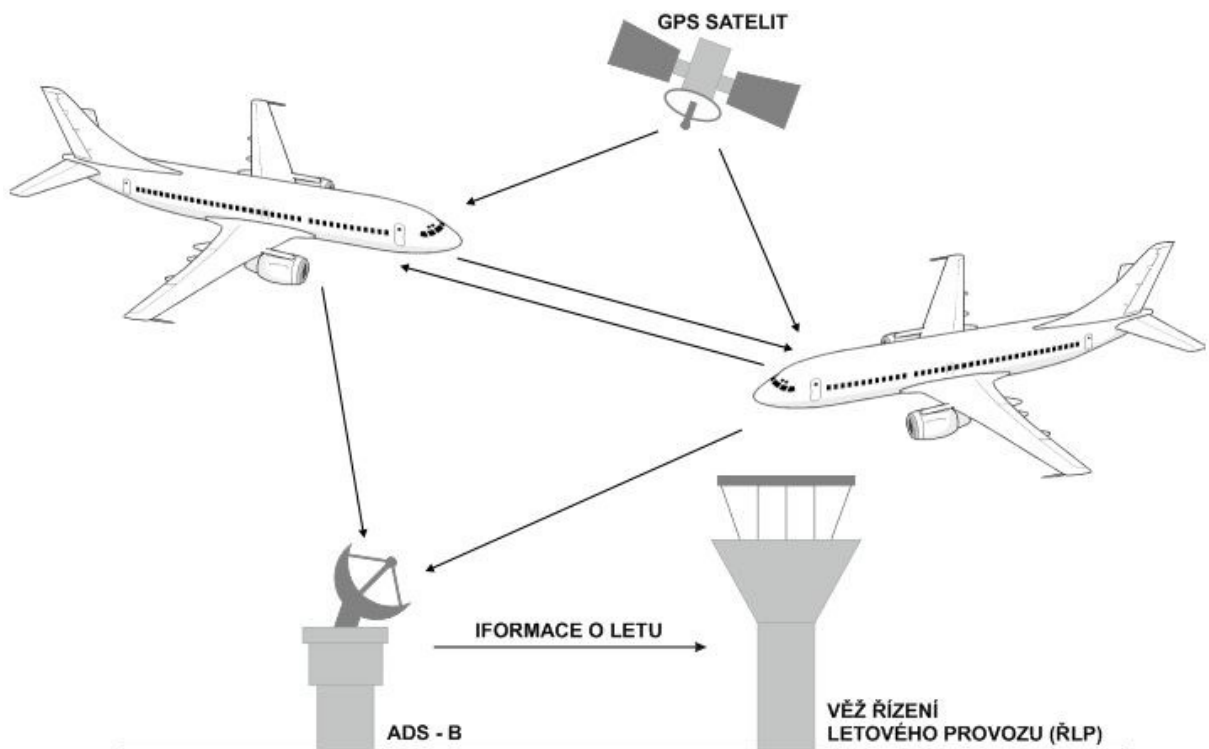
Po nastavení všech potřebných složek a určení módu dotazu vyšle anténa signál, který je zachycen transpondérem.

3 AUTOM. ZÁVISLÉ PŘEHLEDOVÉ VYSÍLÁNÍ, ADS-B

Technologie určená k nahrazení starších systémů ŘLP pro sledování a řízení letadel. Zkratka ADS-B vychází z anglického názvu Automatic dependent surveillance – broadcast.

3.1 Princip komunikace

ADS-B využívá konvenční technologii globálního navigačního družicového systému GNSS [7], při němž letadlo udává svou pozici prostřednictvím GPS [8] a v pravidelných intervalech ji vysílá blízkým stanicím, které tak mohou letadlo sledovat. Tyto signály mohou navíc přijímat také ostatní letadla, vybavená potřebnou technologií (Obrázek 6). To jim poskytuje povědomí o dalších strojích ve vzdušném prostoru.



Obrázek 6 - Systém ADS-B

Systém zvyšuje bezpečnost tím, že sleduje letadlo v reálném čase, a nikoliv se zpožděním jako u SSR.

3.2 Poskytované služby

ADS-B se skládá ze dvou různých služeb ADS-B OUT a ADS-B IN.

3.2.1 ADS-B OUT

Tato služba pravidelně vysílá informace o každém letadle, například identifikaci, aktuální pozici, nadmořskou výšku a rychlost, prostřednictvím palubního vysílače. Tyto informace jsou ve většině případů přesnější než ty, dostupné ze systémů založených na radarech. To umožňuje ŘLP navigovat letadla s větší přesností a přesnějším načasováním.

3.2.2 ADS-B IN

Zajišťuje příjem informací na paluby letadel. Informace jsou odesílány z datových systémů a jejich existence usnadňuje pilotům kontrolu nad celým letem.

Zajištěn je příjem dat TIS a FIS. [12]

- TIS – Traffic information service (Dopravní informační služba)
- FIS – Flight information service (Letová informační služba)

3.3 Výhody ADS-B

ADS-B poskytuje řadu výhod jak pilotům, tak ŘLP, které zlepšují bezpečnost a efektivitu letu.

- Informace:
 - o provozu** – pilot si je schopen zobrazit dopravní informace o okolních letadlech, pokud jsou taktéž vybavena systémem ADS-B. To zahrnuje informace o výšce, směru, rychlosti a vzdálenosti
 - počasí** – letadla, vybavená UAT [12] jsou schopna přijímat zprávy o počasí prostřednictvím vysílání FIS
 - o letu** – také prostřednictvím FIS
- Náklady:

Pozemní stanice ADS-B jsou podstatně levnější k budování a provozu oproti primárním a sekundárním radarovým systémům.

3.3.1 Bezpečnost

Představa o situaci

Piloti letadel se systémem ADS-B mohou vidět grafickou polohu okolních letadel a počasí na displejích v kokpitu podobně jako ŘLP a to vytváří mnohem lepší představu o aktuální situaci a schopnosti rozhodnout se. ADS-B IN také předává oznámení o důležitých letových informacích, jako jsou například dočasná letová omezení nebo uzavřené přistávací dráhy. Taktéž pomáhá pilotům vyhnout se terénu v situacích s nízkou viditelností, neboť mohou být terénní mapy snadno přidány.

Hledání a záchrana

Velmi přesný systém sledování GPS poskytovaný ADS-B zlepšuje schopnost provádět pátrací a záchranné mise. ADS-B OUT přenáší data přibližně jednou za sekundu, a proto ŘLP, které tyto letadla sleduje, má přesnější informace o posledních hlášených pozicích. Menší rozměry pozemních přijímačů také umožňují jejich rozmístění v oblastech, kde by se stavba radaru těžko uskutečňovala.

3.3.2 Účinnost

Snížení dopadu na životní prostředí

Technologie ADS-B poskytuje přesnější zprávu o pozici letadla. To umožňuje ŘLP lépe a rychleji navigovat letadla v přeplněném vzdušném prostoru, než bylo bezpečné a možné v systémech předchozích. Tím se snižuje doba, kterou letadlo čeká, a odhady ukazují, že to má pozitivní dopad na snížení znečištění a spotřebu paliva.

Zvýšení efektivity letů

ADS-B přináší možnosti, které radarové systémy neumějí

- lepší řízení provozu,
- zmenšení vzdálenosti mezi letadly,
- grafické znázornění počasí,
- zlepšení navigace za snížené viditelnosti.

3.4 Bezpečnostní rizika

Jelikož nejsou zprávy nijak zvlášť šifrovány ani ověřovány, může je číst kdokoli. To by mohlo umožnit hackerům zasahovat do navigace letadel vlastními ADS-B zprávami, tedy zprávami obsahující falešné informace, tzv. **Spoofing** [9].

Nedostatek ověřování v rámci technologie činí povinnou validaci všech přijatých dat pomocí primárního radaru.

4 TRANSPONDÉR

Transpondér je zkratka anglického názvu transmitter – responder, což v překladu znamená vysílač – odpovídač. Je to elektronické zařízení na palubě letadla, které vytváří radio - frekvenční odpověď (1090 MHz) na dotaz sekundárního sledovacího radaru (1030 MHz). Toto zařízení umožňuje ŘLP identifikovat letadlo a hlásit doplňující informace, jako třeba výšku, ve které se nachází.



Obrázek 7 – Transpondér [10]

Letadlo bez obslužného transpondéru může být stále pozorováno primárním radarem, ale bude zobrazováno řídicímu subjektu bez výhod dat SSR. Obvykle je požadavek mít funkční transpondér, aby letadlo mohlo létat ve vzdušném prostoru.

4.1 Princip činnosti

Na přístroji (obrázek 7) se nachází přepínač typu provozu: OFF – STBY – ON – ALT a TEST.

Po nastartování motoru se transpondér přepíná z OFF na STBY. V této poloze neodpovídá na dotazy radaru. Po získání kódu od ŘLP, pilot kód nastaví a přepne transpondér do režimu ALT. V tuto chvíli začne odpovídat na příslušné dotazy. [11]

Někdy se stane, že řídicí požaduje zmáčknutí tlačítka IDENT, to způsobí, že vysílač transpondéru začne vysílat navíc signál SPI, který zvýrazní na obrazovce radaru pozici letadla a tím ověří, že řídicí vidí letadlo správně.

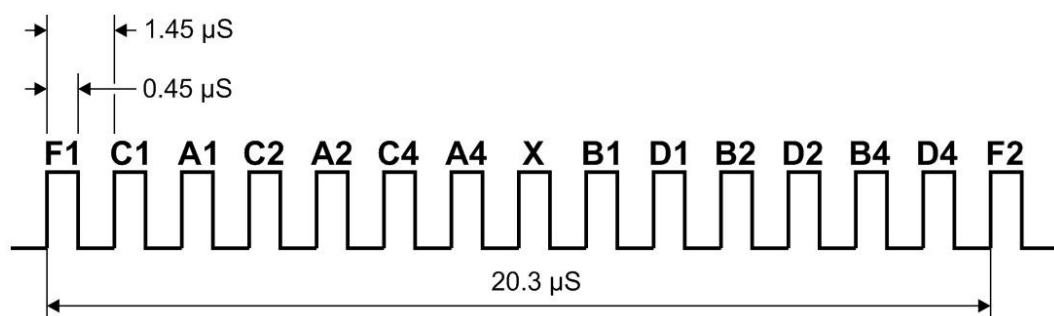
Transpondéry jsou různých typů a zvládají různé módy. Transpondér v módu A vysílá nastavený kód, v němž předává sekundárnímu radaru informaci o poloze. V módu C vysílá navíc údaj o výšce letadla. Módy B a D jsou speciální, určené pouze pro vojenské účely a mód S vysílá navíc zprávu pro ADS-B. [11]

4.2 Odpověď pro mód A / C

Jelikož jsou si módy A a C velice podobné, začneme je popisovat společnými parametry a dále je rozebereme samostatně.

Módy jsou tvořeny posloupností patnácti impulzů (obrázek 8). Všechny impulzy musí mít šířku $0.45 \pm 0.1 \mu\text{s}$, dobu náběžné hrany v rozmezí 0.05 až $0.1 \mu\text{s}$ a dobu trvání závěrné hrany v rozmezí 0.05 až $0.2 \mu\text{s}$. [13]

Nejjednodušší kód tvoří bránové impulzy (F1 a F2), které se pro odpověď musí používat a jejich vzdálenost je $20.3 \mu\text{s}$. [13]



Obrázek 8 - Odpověď pro mód A/C

Informační impulzy musejí být od prvního bránového impulzu (F1) rozmístěny ve vzdálenostech po $1.45 \mu\text{s}$. Pro lepší představu je rozmístění udáno v tabulce 2.

Tabulka 2 - Poloha impulzů [13]

| Impulz | C1 | A1 | C2 | A2 | C4 | A4 | X | B1 | D1 | B2 | D2 | B4 | D4 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Poloha (μs) | 1.45 | 2.09 | 4.35 | 5.80 | 7.25 | 8.70 | 10.15 | 11.60 | 13.05 | 14.50 | 15.95 | 17.40 | 18.85 |

Poloha impulzu X se pro odpovědi v módu A a C nepoužívá a je pouze definovaná z důvodu možného rozšíření systému. [13]

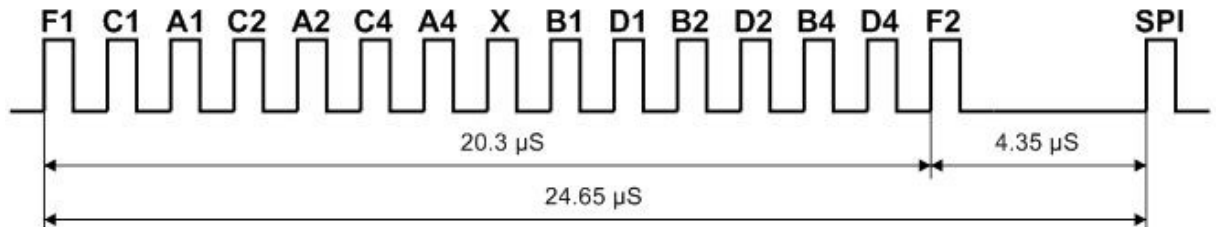
Značení kódů sestává z číslic od 0 do 7 včetně a musí obsahovat součet indexů impulzů použitých následovně:

Tabulka 3 - Přiřazení číslice ke skupině impulzů [13]

| Číslice | Skupina impulzů |
|-----------------------|-----------------|
| První (nevýznamnější) | A |
| Druhá | B |
| Třetí | C |
| Čtvrtá | D |

4.2.1 Odpověď pro mód A

Odpověď se používá pro identifikaci letadla a od módu C se liší tím, že navíc obsahuje speciální impuls SPI (Special Purpose Identification – speciální identifikace), který slouží k potvrzení totožnosti určitých letadel. Impuls lze aktivovat stisknutím tlačítka na ovládacím panelu. SPI se tak přidá do odpovědi 4.35 μs po druhém bránovém impulsu (F2).



Obrázek 9 - Speciální impuls SPI

Při přidělování Při přidělování kódu transpondéru užívají složky ŘLP pojem „SQUAWK“, například „Squawk 7461“. Squawk znamená něco jako „zadejte kód transpondéru“ a „squawking“ něco jako „vybral jsem kód xxxx“.

Odpověď se vybírá manuálně. Při letu může být kdykoliv pilot požádán, aby provedl squawk, který mu řídicí provozu sdělí. Pilot tedy příslušný squawk zadá do transpondéru a tím potvrdí svou identitu a pozici. Musí si ale dávat pozor, aby omylem nenastavil jeden z několika kódů (tabulka 4), které jsou vyhrazené speciálním případům.

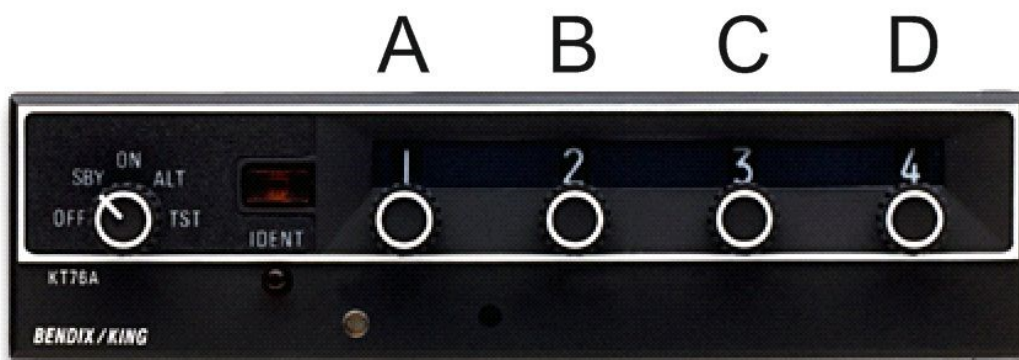
Tabulka 4 - Kódy pro speciální případy [14]

| | |
|------|--|
| 7500 | protiprávní čin na palubě (např. únos) |
| 7600 | ztráta radiového spojení |
| 7700 | stav tísně |
| 0000 | vyhrazeno pro budoucí použití |

Příklad: Pilot mění hodnotu squawku z 1300 na 6504. Pootočí druhým knoflíkem na 5 (1500) a potom zpětným točením v pořadí 1 – 0 – 7 – 6 první knoflík na 6. To způsobí, že v jednu chvíli bude nastavený squawk na 7500 což odpovídá únosu letadla a tím způsobí falešný poplach. Naštěstí mají transpondéry tzv. pohotovostní režim. V dnešní době je jich většina digitálních, takže by se to stávat nemělo.

Kód squawku se tedy skládá ze čtyř čísel v osmičkové soustavě, obsahující hodnoty od 0 do 7 včetně, z čehož vyplývá 4096 možných kombinací.

Na transpondéru je každé číslici přiřazeno písmeno (obrázek 10). Z levé strany nejvýznamnější A, B, C a D.



Obrázek 10 - Přiřazení písmen k číslům

Než se čísla zpracují, převedou se do binární soustavy. Pro každé osmičkové číslo existuje binární ekvivalent - tabulka 5.

Tabulka 5 - Binární ekvivalent osmičkového čísla

| | | | |
|---|-----|---|-----|
| 0 | 000 | 4 | 100 |
| 1 | 001 | 5 | 101 |
| 2 | 010 | 6 | 110 |
| 3 | 011 | 7 | 111 |

Jelikož je binární soustava tvořená pouze jedničkami a nulami, musí mít každá pozice vlastní hodnotu, jak plyne z tabulky 6.

Tabulka 6 - Hodnota čísla podle pozice v bin. soustavě

| | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Pozice | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Mocnina dvou | 2^3 | 2^2 | 2^1 | 2^0 |
| Hodnota | 8 | 4 | 2 | 1 |

Z obrázku 10 vybereme například písmeno A s hodnotou 1. Z tabulky 5 víme, že $1_8 = 001_2$,

Tabulka 7 - Pořadí indexů

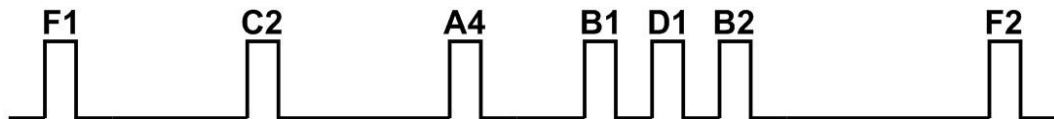
| | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|
| Index písmena | A_4 | A_2 | A_1 |
| Bin. ekvivalent | 0 | 0 | 1 |

takto pak vypadá převedené číslo. Nyní si uvedeme si příklad generování SQUAWKu.

Příklad: Pilot má zadat SQUAWK 4321. Jak bude výsledný signál odeslaný transpondérem vypadat?

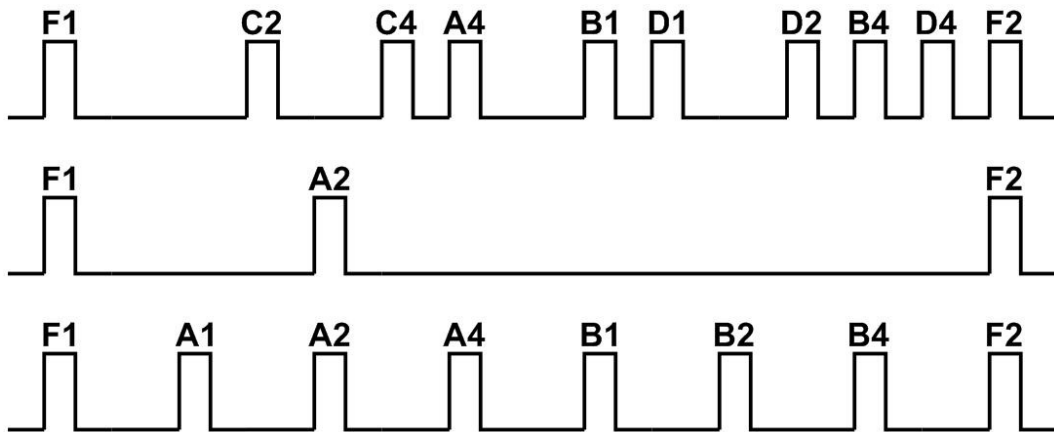
- číslům se přidělí skupina impulzů
 $4 = A \quad 3 = B \quad 2 = C \quad 1 = D$
- následuje převod na binární čísla
 $A = 4 \Rightarrow 100 \quad A_4 = 1 \quad A_2 = 0 \quad A_1 = 0$
 $B = 3 \Rightarrow 011 \quad B_4 = 0 \quad B_2 = 1 \quad B_1 = 1$
 $C = 2 \Rightarrow 010 \quad C_4 = 0 \quad C_2 = 1 \quad C_1 = 0$
 $D = 1 \Rightarrow 001 \quad D_4 = 0 \quad D_2 = 0 \quad D_1 = 1$

- vzniklý binární kód se zpracuje a výsledný signál vypadá takto:



Obrázek 11 - SQUAWK 4321

Několik dalších signálů je na obrázku 12.



Obrázek 12 - SQUAWK 4567, 2000, 7700

Při pohledu na binární kód a impulzy, které se přenesly, stojí za povšimnutí, že kdykoli je v kódu jednička, pulz se přenáší, na druhou stranu impulz chybí pro každou nulu.

4.2.2 Odpověď pro mód C

Odpověď módu C poskytuje ŘLP informace o výšce letadla. Výška se zaokrouhluje na stovky a je udávána ve stopách v rozmezí od - 1000 až po +126 750. K udání jakékoliv výšky z tohoto rozsahu je za potřeby pouze 1278 různých kombinací z možných 4096, které jsou k dispozici.

Přírůstky o 100 stop byly z počátku dostačující, ale se stále zvyšujícím se houstnutím vzdušného provozu to začíná být nedostatečné.

Pilot má možnost povolit automatické odpovídání, což umožní odeslat odpověď pokaždé, když obdrží dotaz.

Pro přenos se využívají skupiny impulzů A, B a C. C je vždy přítomno, ale C₁ a C₄ se nikdy neobjeví spolu v jedné odpovědi, impuls D₁ se nepoužívá. [13] – Obrázek 13

| STUPNICE VÝŠEK | P O L O H A I M P U L S Ů (0 nebo 1 v kterékoli poloze označuje nepřítomnost nebo přítomnost impulsu) | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | INTERVAL (stopy) | | D ₂ | D ₄ | A ₁ | A ₂ | A ₄ | B ₁ | B ₂ | B ₄ | C ₁ | C ₂ |
| 11 250 to 11 350 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 11 350 to 11 450 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 11 450 to 11 550 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 11 550 to 11 650 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 11 650 to 11 750 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 11 750 to 11 850 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 11 850 to 11 950 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 11 950 to 12 050 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 12 050 to 12 150 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12 150 to 12 250 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 12 250 to 12 350 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 12 350 to 12 450 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 12 450 to 12 550 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 12 550 to 12 650 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 12 650 to 12 750 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 12 750 to 12 850 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 12 850 to 12 950 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 12 950 to 13 050 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 13 050 to 13 150 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 13 150 to 13 250 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 13 250 to 13 350 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 13 350 to 13 450 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 13 450 to 13 550 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 13 550 to 13 650 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 13 650 to 13 750 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 13 750 to 13 850 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 13 850 to 13 950 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 13 950 to 14 050 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 14 050 to 14 150 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 14 150 to 14 250 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Obrázek 13 - Poloha impulzů [13]

Následně probíhá generování signálu stejně jako u módu A, kde se na pozici v odpovědi, která obsahuje binární jedničku, objeví impuls.

4.3 Odpověď pro mód S

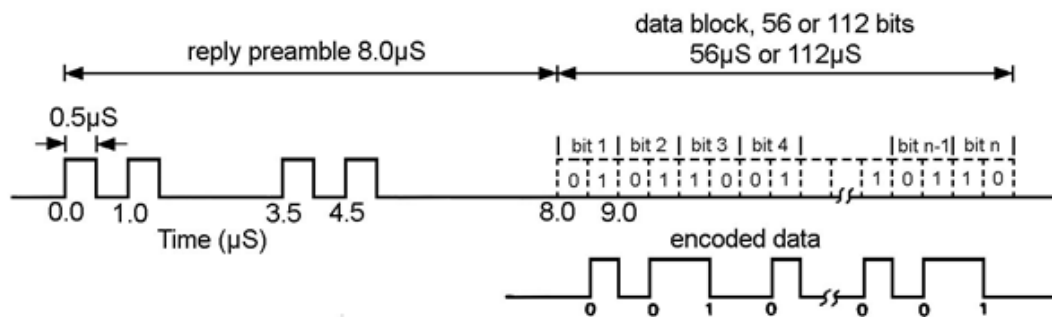
V současném systému SSR jsou letadla identifikována kódem módu A, který je přiřazen ŘLP a následně vybrán pilotem. Vzhledem k tomu, že se letadlo pohybuje, může být kód během letu několikrát změněn a je běžné, že různí poskytovatelé pozemních služeb přiřadí jednomu letadlu kódů více. Jak již víme, v módu A je kódů k dispozici pouze 4096, a proto vzhledem k nárůstu úrovně provozu je stále náročnější letadlu jedinečný kód přiřadit. S tím přichází nebezpečí duplicitního kódu pro více letadel a s tím spojené bezpečnostní rizika.

Proto existuje mód S, který je selektivní (= S v názvu módu). To znamená, že poskytuje individuální adresu každému letadlu.

Odpověď je tvořena určitým počtem impulzů vzdálených od sebe 1 μs . Všechny impulzy musí začínat na definovaném násobku 0.5 μs od prvního vyslaného impulzu. Tolerance $\pm 0.05 \mu\text{s}$. [13]

Skládá ze dvou základních částí:

- Preambule,
- Blok dat.



Obrázek 14 - Odpověď pro mód S [5]

Preambule

Každá odpověď módu S začíná preambulí s celkovou délkou 8 μs . Složena je ze čtyřech impulzů s jednotnou délkou 0.5 μs . Intervaly od prvního z nich jsou 1; 3.5 a 4.5 μs . Umožňuje synchronizaci s hodinami pro dekódování datového bloku. [15]

Blok dat

Začíná 8 μs po vyslání prvního impulsu preamble. Intervaly impulsů (bity) mají délku 1 μs a jsou kódované dvojkovou polohovou impulzní modulací, tzn. impulsy v trvání 0.5 μs se musí vysílat buď v první, nebo druhé polovině každého intervalu. [13]

Impulz vysílaný v první polovině intervalu musí znamenat dvojkovou jedničku, impulz vysílaný ve druhé polovině intervalu pak dvojkovou nulu.

Tolerance trvání je $\pm 0.05 \mu\text{s}$, náběžná hrana v rozmezí 0.05 až 0.1 μs a sestupná hrana v rozmezí 0.05 až 0.2 μs . [13]

Datový blok se skládá z 56 nebo ze 112 bitů, s celkovou délkou 56 nebo 112 μs . Tyto bity se nazývají downlink format – formát sestupného spoje a rozdělují se podle použití.

Dva základní formáty sestupného spoje jsou:

DF11 – 56 bitů a DF17 – 112 bitů.

4.3.1 Formát sestupného spoje DF11

Slouží pro identifikaci letadla a skládá se z těchto polí:

Tabulka 8 - Pole DF11

| | | | |
|----|----|----|----|
| 1 | 6 | 9 | 33 |
| DF | CA | AA | PI |
| 5 | 8 | 32 | 56 |

Význam zkratk z tabulky 8:

DF – Formát sestupného spoje

- velikost 5 bitů (1 – 5)
- obsah tvoří binární hodnota formátu spoje, v tomto případě 11 = 10112

CA – Potencionální možnosti

- velikost 3 bity (6 – 8)
- předává informace o úrovni odpovídače, kód 0 – 7

AA – Označení adresy

- velikost 24 bitů (9 – 32)
- obsahuje adresu, která zajišťuje jednoznačnou identifikaci letadla
- existuje 16 777 214 unikátních adres (HEX kódy)

PI – Parita identifikace dotazovače

- velikost 24 bitů (33 – 56)
- obsah se vytváří tak, že prvních 17 bitů jsou nuly a následující bity jsou opakováním informací z dotazovače

4.3.2 Formát sestupného spoje DF17

Je rozšířený formát 11, který navíc obsahuje pole ME a vypadá takto:

Tabulka 9 - Pole DF17

| | | | | |
|----|----|----|----|-----|
| 1 | 6 | 9 | 33 | 89 |
| DF | CA | AA | ME | PI |
| | 5 | 8 | 32 | 88 |
| | | | | 112 |

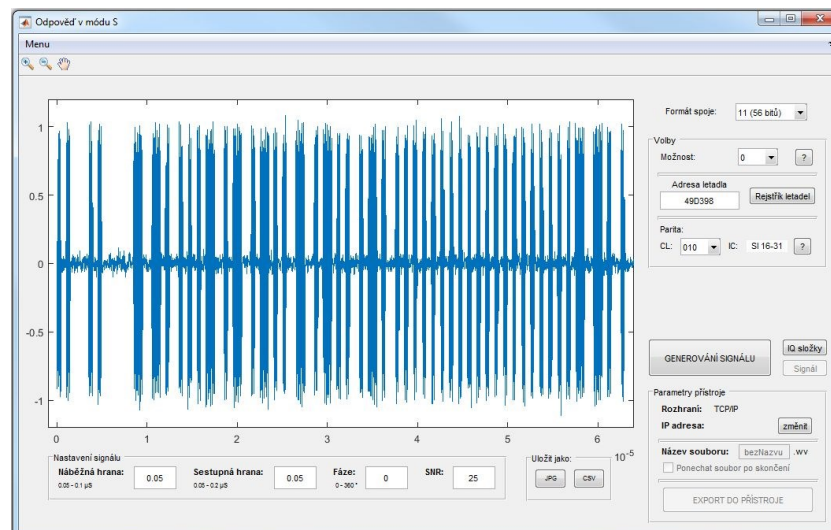
Význam zkratk tabulky 9 je totožný s tabulkou 8. Výjimkou je nové pole ME.

ME – Zpráva, rozšířený dotazovací signál

- velikost 56 bitů (33 – 88)
- používáný pro přenos radiových zpráv
- obsahuje zprávu ADS-B

5 GENERÁTOR SIGNÁLU ODPOVÍDAČE SSR

Software generování signálů vytváří signálové odpovědi pro dotazy sekundárního radaru v módech A/C/S. Jednotlivé módy mají volitelná nastavení obsahu odpovědi, jako například kód SQUAWKu v módu A nebo výšku letadla v módu C. V krátkém formátu módu S lze nastavit adresu letadla, kterému je dotaz určen. V dlouhém je navíc pole zprávy ADS-B, kterého obsah je generován náhodně. Uživatelské rozhraní je zobrazeno na obrázku 15.



Obrázek 15 – Uživatelské rozhraní, mód S

5.1 Vektorový generátor

Program je navržen tak, aby bylo možné odesílat vygenerovaná data do vektorového generátoru SMBV100A od firmy Rohde & Schwarz [16]. – Obrázek 16



Obrázek 16 - Vektorový generátor SMBV100A [16]

Data jsou do generátoru odesílána ve tvaru I/Q složek, které lze posléze namodulovat na nosný kmitočet z frekvenčním rozsahem 1 MHz až 3.2 GHz. Šířka pásma přístroje je 90 MHz.

Generátor se obsluhuje několika způsoby. K základnímu ovládní patří samotný ovládací panel na přední straně přístroje nebo možnost připojit se k počítači a využít software dodávaný spolu s přístrojem, další možností je ovládat přístroj přímo pomocí kódů v MATLABu. V tabulce 10 je zobrazeno několik parametrů tohoto generátoru.

Tabulka 10 - Parametry vektorového generátoru

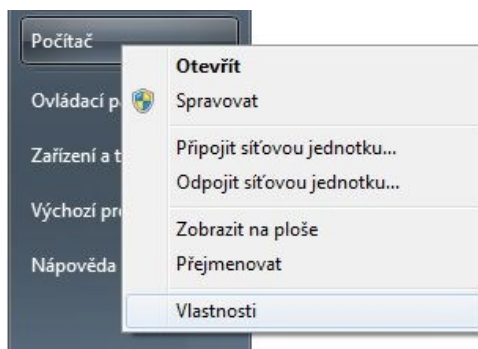
| Frequency range | | |
|--|-----------------------------|--|
| CW mode | | 9 kHz – 3.2 GHz |
| I/Q mode | | 1 MHz – 3.2 GHz |
| Level | | |
| Maximum output power | 1 MHz < f ≤ 6 GHz | > 18 dBm |
| Absolute level error | 200 kHz ≤ f ≤ 3 GHz | < 0.5 dB |
| Supported analog modulation modes | | |
| Amplitude modulation | | standard |
| Frequency/phase modulation | | standard |
| Maximum FM deviation | f > 3 GHz | 16 MHz |
| Maximum φM | F > 3 GHz | 160 rad |
| Rise/fall time | 10 % to 90% of RF amplitude | < 20 ns, 4 ns |
| I/Q modulation | | |
| modulation bandwidth (RF) | internal | 60 MHz, 120MHz or 160 MHz, depending on baseband options |
| | external | > 500 MHz |
| Maximum waveform length | | 32 Msample |
| Connectivity | | |
| Remote control | | IEC/IEEE, Ethernet (LAN), USB |
| Peripherals | | USB 2.0 (high speed) |

5.2 Před spuštěním

Dříve než je možné software spustit, musí se přednastavit samotný počítač. Jelikož jsou data do přístroje R&S odesílána pomocí lokální sítě LAN [17], musí být počítač ve stejné **pracovní skupině**, jako je přístroj a také se musí nastavit parametry protokolu **TCP/IP**.

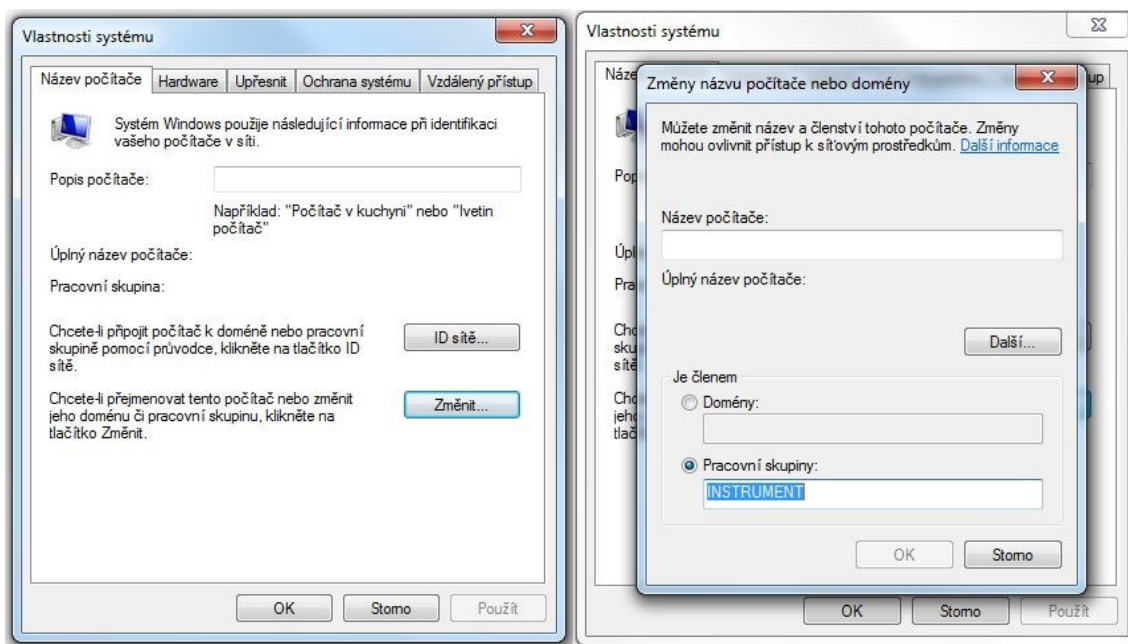
5.2.1 Pracovní skupina

Pracovní skupina se nastaví tak, že se v nabídce „**START**“, klikne pravým tlačítkem na „**Počítač**“ a vyberou se „**Vlastnosti**“, jako na obrázku 17.



Obrázek 17 - Nabídka START

Otevře se okno „**Základní informace o počítači**“, kde je ve spodní části okna úsek pojmenovaný „**Název počítače, doména a nastavení pracovní skupiny**“. Vpravo pod názvem je tlačítko „**Změnit nastavení**“, na které se klikne. Zobrazí se „**Vlastnosti systému**“. - Obrázek 18



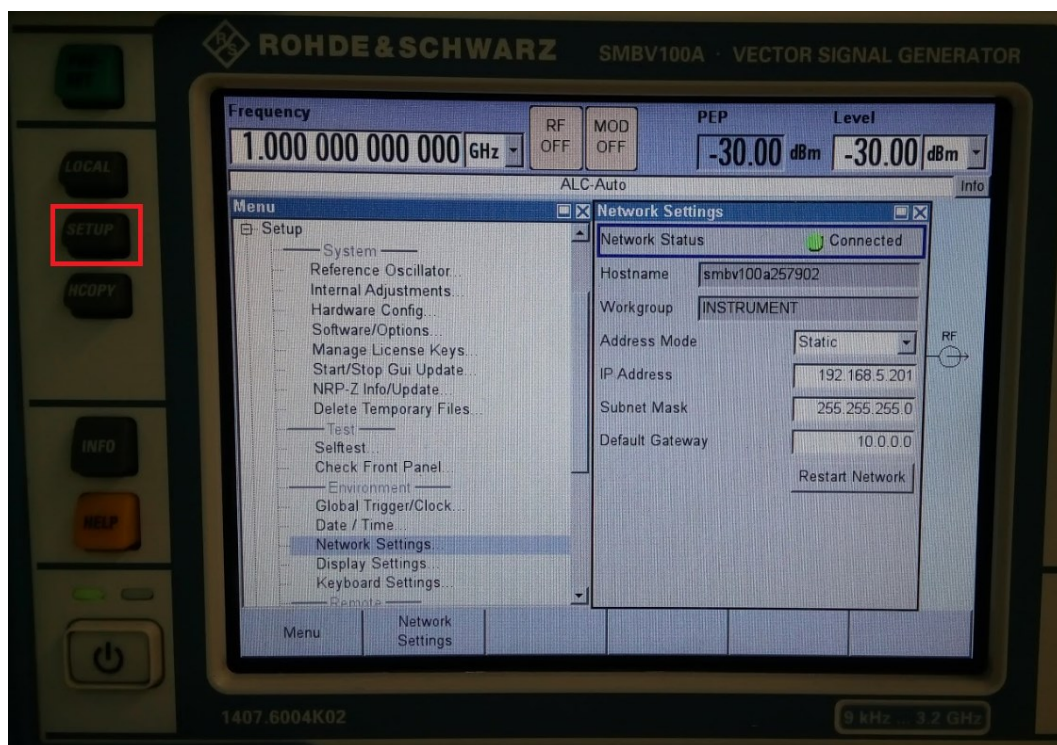
Obrázek 18 - Vlastnosti systému, Změna názvu pracovní skupiny

V první záložce „**Název počítače**“ je tlačítko „**Změnit...**“ po kliknutí se objeví okno „**Změny názvu počítače nebo domény**“. - Obrázek 18

Zde se v poli „**Pracovní skupiny**“ přepíše obsah na „**INSTRUMENT**“. Klikne se na tlačítko „**OK**“ a počítač se zeptá na restart, který je ke změně pracovní skupiny potřebný. Tím je pracovní skupina nastavena.

5.2.2 Protokol TCP/IP

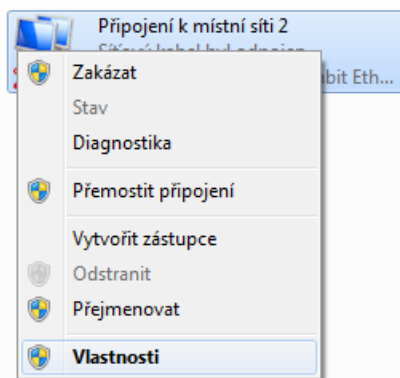
Aby bylo možné komunikovat s přístrojem, je třeba nastavit protokol síťového připojení dle údajů, které se nacházejí v síťovém nastavení přístroje. - Obrázek 19



Obrázek 19 - Síťové nastavení přístroje

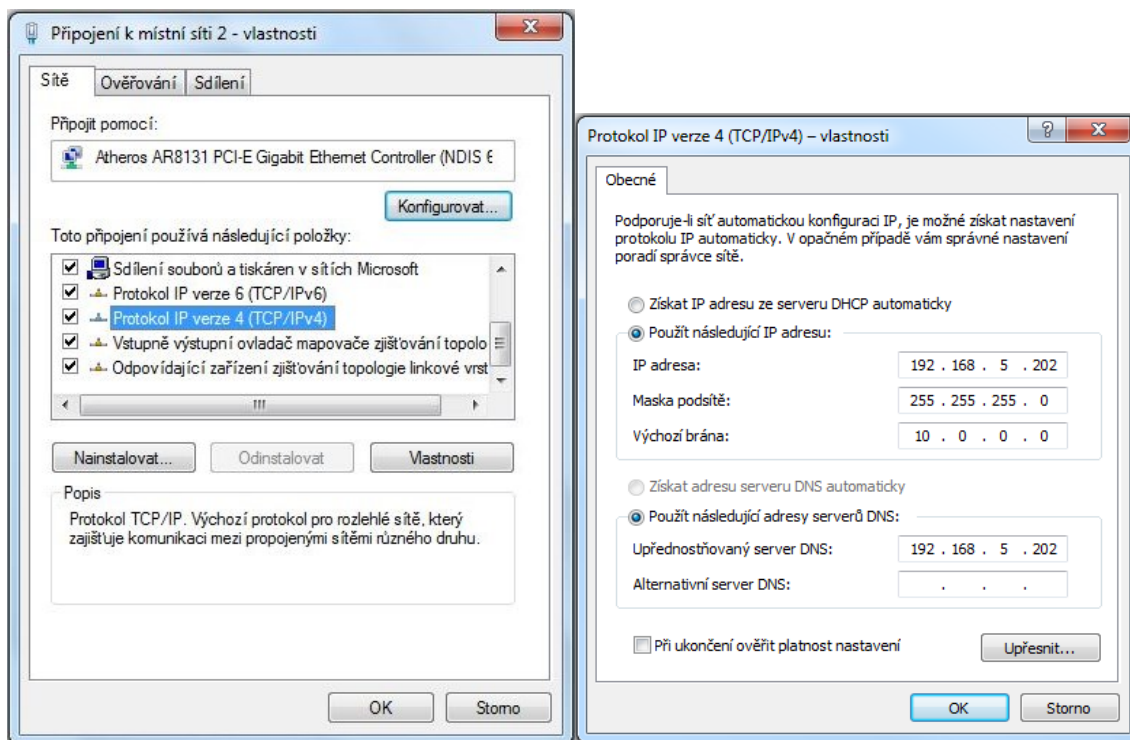
Toto nastavení se skrývá pod tlačítkem „SETUP“, označeného na obrázku 18 červeným rámováním. Po jeho stisku se zobrazí nabídka menu a v sekci „Environment“ se zvolí položka „Network Settings“.

K protokolu síťového připojení se lze dostat přes „Ovládací panely“ – „Síť a Internet“ – „Síťová připojení“. V okně „Síťová připojení“ se pravým tlačítkem myši klikne na připojení, které patří k přístroji a z nabídky se vyberou „Vlastnosti“. - Obrázek 20



Obrázek 20 - Možnosti připojení

Na kartě „**Sítě**“ (Obrázek 21), v seznamu *Toto připojení používá následující položky* se klikne na položku „**Protokol IP verze 4 (TCP/IPv4)**“.



Obrázek 21 - Vlastnosti sítě, Vlastnosti protokolu TCP/IP

Otevře se okno „**Protokol IP verze 4 (TCP/IPv4) – vlastnosti**“. Z nabídky se zvolí možnost „**Použit následující IP adresu**“ a do kolonek níže se vyplní údaje, které jsou již známe z přístroje. Akorát IP adresa se musí od té přístrojové lišit. – Obrázek 21

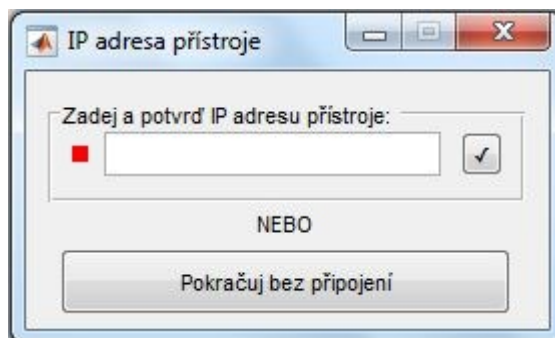
Nyní jsou všechny parametry sítě nastaveny a je možné program řádně spustit.

5.3 Vlastní program

Pro spuštění softwaru je nutné mít nastavenou síť podle předešlé kapitoly, nainstalovaný program MATLAB a počítač připojený k přístroji přes síťový kabel.

Nejprve se musí přidat složka se skripty do MATLABu. Přidá se tak, že se v liště nad adresářem klikne na tlačítko „**Browse for folder**“, zde se najde umístění složky a potvrdí. Nyní je složka v adresáři vidět. Složka obsahuje i podsložky a ty se přidávají tak, že se označí, klikne se na ně pravým tlačítkem a zvolí „**Add to Path**“. Pokud jsou tyto kroky splněny, program je připraven na spuštění.

Samotná aplikace se spouští přes skript **ipAdr.m**. Po spuštění se zobrazí okno *IP adresa přístroje*, jako na obrázku 22.

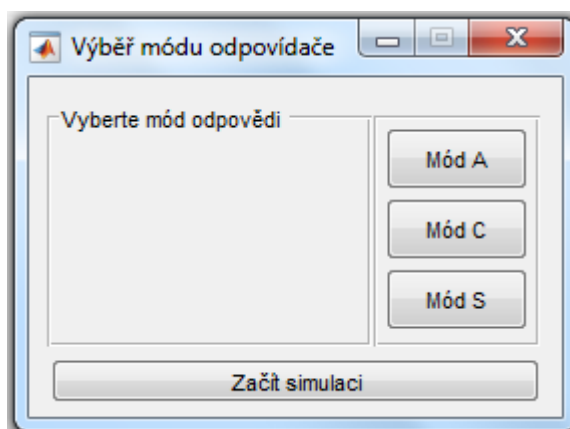


Obrázek 22 - Okno IP adresa přístroje

Je zde na výběr ze dvou možností. Když je k počítači připojený generátor, do okénka „**Zadej a potvrď IP adresu přístroje**“ se vloží IP adresa přístroje, která je již známa z předchozího nastavování. Stiskne se tlačítko „✓“ a program se připojí.

Pokud není generátor k dispozici, zvolí se druhá možnost „**Pokračuj bez připojení**“.

Po výběru jedné či druhé možnosti se otevře okno *Výběr módu odpovědi*. - Obrázek 23



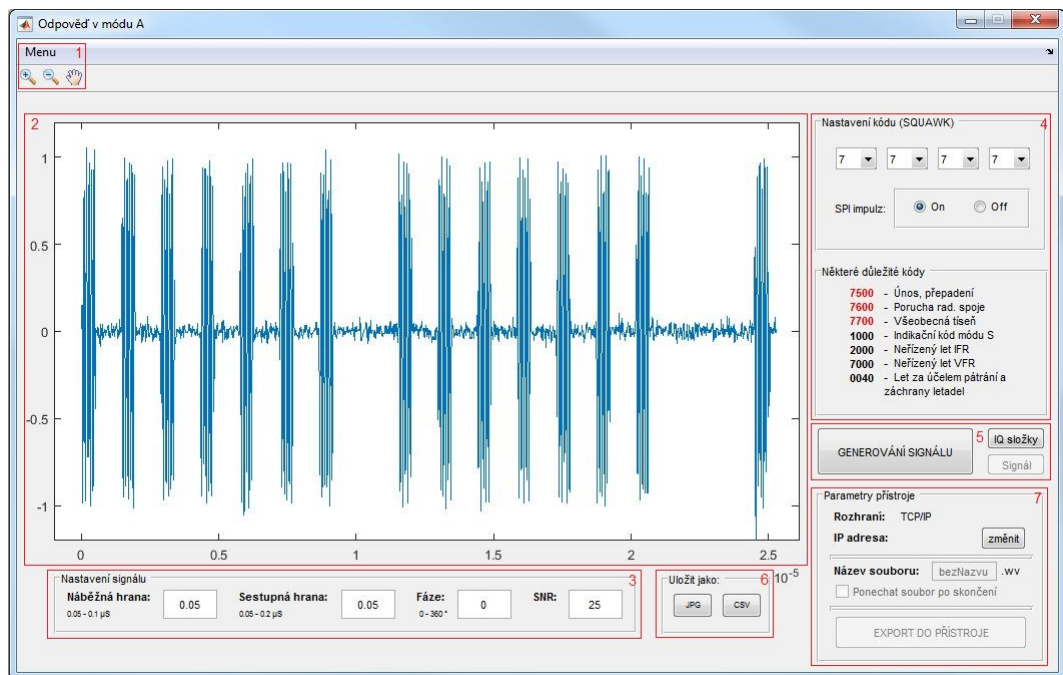
Obrázek 23 - Okno Výběr módu

V tomto okně se nachází čtyři tlačítka. Tlačítka „**Mód A**“, „**Mód C**“, „**Mód S**“ určují módy odpovědi, po kliknutí na jakékoliv z nich se v levé části okna zobrazí jejich stručný popis a funkce. Čtvrtým a zároveň posledním tlačítkem toho okna je tlačítko „**Začít simulaci**“, které je neaktivní, dokud není vybrán jeden z módů. Poté se aktivuje a po stisku se otevře jedno ze tří hlavních oken.

5.3.1 Popis okna programu

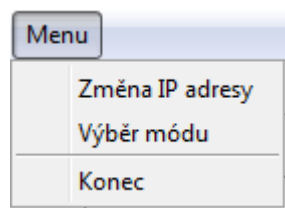
Okna všech tří módů jsou si velice podobná a liší se pouze blokem 4 – Obsah zprávy (Obrázek 24). Proto bude popis proveden pouze na jednom okně a lišící se blok 4 bude popsán u každého módu zvlášť.

Okno je rozděleno do sedmi základních bloků. Na obrázku 24 znázorněných červeným obrysem.



Obrázek 24 - Hlavní okno programu

V levém horním rohu v bloku 1 se nachází tlačítka pro přiblížení a posun signálu a jednoduché „Menu“. Po rozkliknutí se objeví možnosti. – Obrázek 25



Obrázek 25 - Rozkliknuté menu

Z obrázku 25 je patrné, že možnosti jsou tři:

- Změna IP adresy – vrátí uživatele do okna *IP adresa přístroje* (Obrázek 22).
- Výběr módu – otevře uživateli okno *Výběr módu odpovědi* (Obrázek 23).
- Konec – ukončí celý program

V bloku 2 se nachází okno, ve kterém se zobrazuje vygenerovaný signál.

Blok 3 je panel „**Nastavení signálu**“ - Obrázek 26. Zde je možné přednastavit několik parametrů výsledného signálu.

Nastavení signálu

| | | | | | | | |
|---------------------------------|------|----------------------------------|------|-------------------|---|------|----|
| Náběžná hrana: 0.05 - 0.1 μs | 0.05 | Sestupná hrana: 0.05 - 0.2 μs | 0.05 | Fáze: 0 - 360° | 0 | SNR: | 25 |
|---------------------------------|------|----------------------------------|------|-------------------|---|------|----|

Obrázek 26 - Panel nastavení signálu

- Náběžná hrana – rozsah 0.05 až 0.1 μs, udává, jak dlouho impulz „nabíhá“, než dosáhne 1
- Sestupná hrana – rozsah 0.05 až 0.2 μs, udává, za jak dlouho klesne impulz na 0
- Fáze – nastavuje fázi signálu od 0 do 360 °
- SNR – poměr užitečného signálu/šumu

Blok 4 je už samotný obsah zprávy v módu A. – Obrázek 27

Nastavení kódu (SQUAWK)

0 0 0 0

SPI impulz: On Off

Některé důležité kódy

- 7500** - Únos, přepadení
- 7600** - Porucha rad. spoje
- 7700** - Všeobecná tísň
- 1000** - Indikační kód módu S
- 2000** - Neřízený let IFR
- 7000** - Neřízený let VFR
- 0040** - Let za účelem pátrání a záchrany letadel

Obrázek 27 - Blok zprávy, mód A

Panel „**Nastavení kódu (SQUAWK)**“ má čtyři vyskakovací menu. Každé z nich obsahuje číselnou hodnotu 0 – 7. Čísla lze libovolně kombinovat (4096 kombinací). Pod čísly se ještě nachází možnost přidání impulzu SPI do zprávy. Podle vybrané kombinace pak vypadá výsledný signál.

V panelu „**Některé důležité kódy**“ níže, je uvedeno sedm vybraných kódů, které mají speciální význam.

Pod tímto panelem se nachází blok 5, sestávající ze tří tlačítek. – Obrázek 28



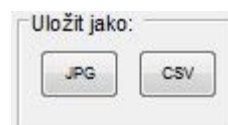
Obrázek 28 - Blok generování signálu

Tlačítko „**Generování signálu**“ vytváří (generuje) z nastavených parametrů a obsahu zprávy signál, který se zobrazuje v bloku 2.

„**IQ složky**“ a „**Signál**“ jsou tlačítka při spuštění aplikace neaktivní. Po vygenerování signálu se aktivuje tlačítko „**IQ složky**“, které po stisku zobrazí v bloku 2 i/q složky signálu a aktivuje tlačítko „**Signál**“, to umožní přepnout z i/q složek zpět na původní signál.

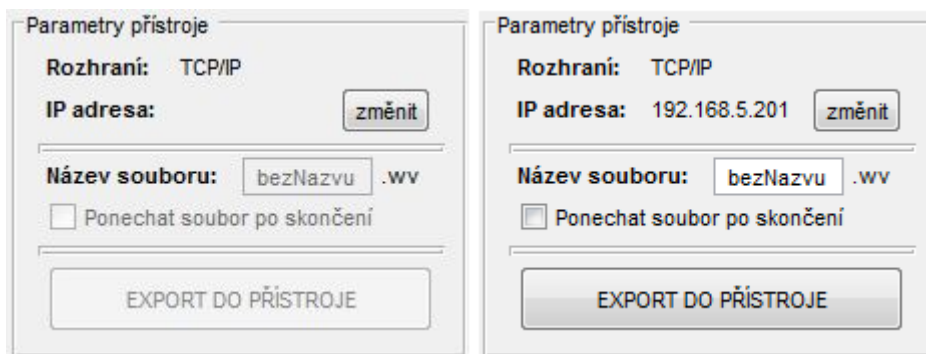
Blok 6, v němž se nachází panel „**Uložit jako:**“ (Obrázek 29) slouží pro uložení aktuálního signálu jako:

- obrázek – tlačítko „**JPG**“
- data – tlačítko „**CSV**“



Obrázek 29 - Panel uložení signálu

Poslední bok 7 s panelem „**Parametry přístroje**“ je aktivní, pouze pokud je přístroj připojen. Na obrázku 30, případ vpravo.



Obrázek 30 - Panel přístroje neaktivní, aktivní

Pokud je přístroj odpojen nebo nebyla při startu zadána IP adresa, jsou všechny položky neaktivní. Výjimkou je tlačítko „**změnit**“, které po kliknutí odkáže uživatele do okna *IP adresa přístroje*, kde se může adresa zadat a tím se aktivují zbylé položky.

Do „**Název souboru**“ se píše název pro soubor vytvořený přístrojem. Na názvu nezáleží, pokud není zaškrtnuté políčko „**Ponechat soubor po skončení**“, jelikož jinak je soubor uložen jen dočasně, než se nahraje do přístroje.

Tlačítko „**EXPORT DO PŘÍSTROJE**“ se aktivuje až po vygenerování signálu, aby se předešlo chybám. Po kliknutí se pošle upravený signál do přístroje

Obsah zprávy mód C

Zpráva v módu C je jednodušší než u módu A, jelikož obsahuje jen jeden panel „**Letová výška ve stopách**“ . – Obrázek 31



Obrázek 31 - Blok zprávy, mód C

Zde se volí hodnota letové výšky v rozmezí -1000 až 50000 stop.

Obsah zprávy mód S

The image shows a software interface for configuring a message format. At the top, there is a dropdown menu labeled 'Formát spoje' (Link Format) with the value '17 (112 bitů)'. Below this is a section titled 'Volby' (Options). Inside 'Volby', there is a 'Možnost' (Option) dropdown set to '0' with a '?' button next to it. Below that is a text input field labeled 'Adresa letadla' (Airplane Address) and a button labeled 'Rejstřík letadel' (Airplane Register). At the bottom of the 'Volby' section, there is a 'Parita' (Parity) section with two dropdown menus: 'CL' set to '000' and 'IC' set to 'II', both with '?' buttons next to them.

Obrázek 32 - Blok zprávy, mód S

Blok (Obrázek 32) se skládá z vyskakovacího menu „**Formát spoje**“, kde lze vybrat ze dvou možností formátu módu S:

- krátký formát 11 s počtem bitů 56,
- dlouhý formát 17 s počtem bitů 112,

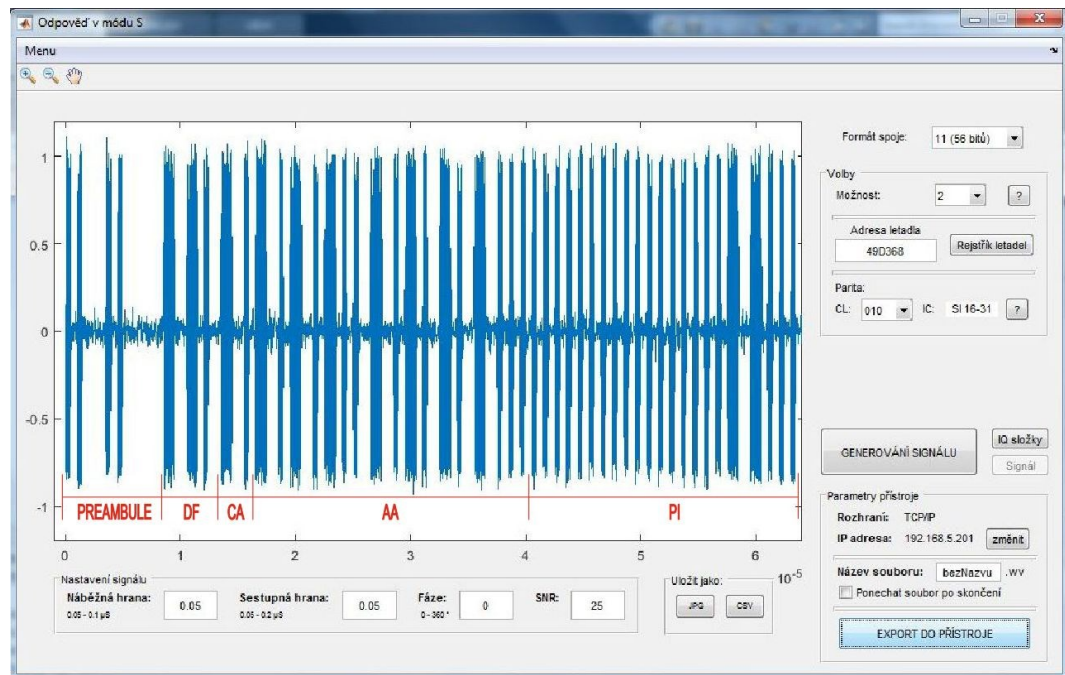
a také z panelu „**Volby**“ obsahující jednotlivá nastavení polí módu S.

- „**Možnost**“ - vyskakovací menu s hodnotami od 0 do 7, jeho popis se schovává pod tlačítkem nápovědy vpravo.
- „**Adresa letadla**“ – do toho pole se píše hexadecimální adresa letadla, kterému je správa určena, pro představu je přidáno tlačítko „**Rejstřík letadel**“ odkazující na webové stránky *Úřadu pro civilní letectví* [18], kde je možnost najít v online rejstříku jakékoli letadlo vedené v České republice.
- „**Parita**“ – obsahuje vyskakovací menu s binární hodnotou 0 až 4 a popis je také pod tlačítkem nápovědy vpravo.

5.4 Ověření funkčnosti programu

Funkčnost programu byla ověřena připojením vektorového generátoru na osciloskop, kde se ukázalo, že signál generovaný programem, převedený do i/q složek a zpracovaný přístrojem, odpovídá signálu vyobrazeném v okně programu. Toto bylo provedeno pro několik příkladů, z nichž jsou 2 uvedeny níže v této kapitole.

5.4.1 Příklad 1 – Mód S



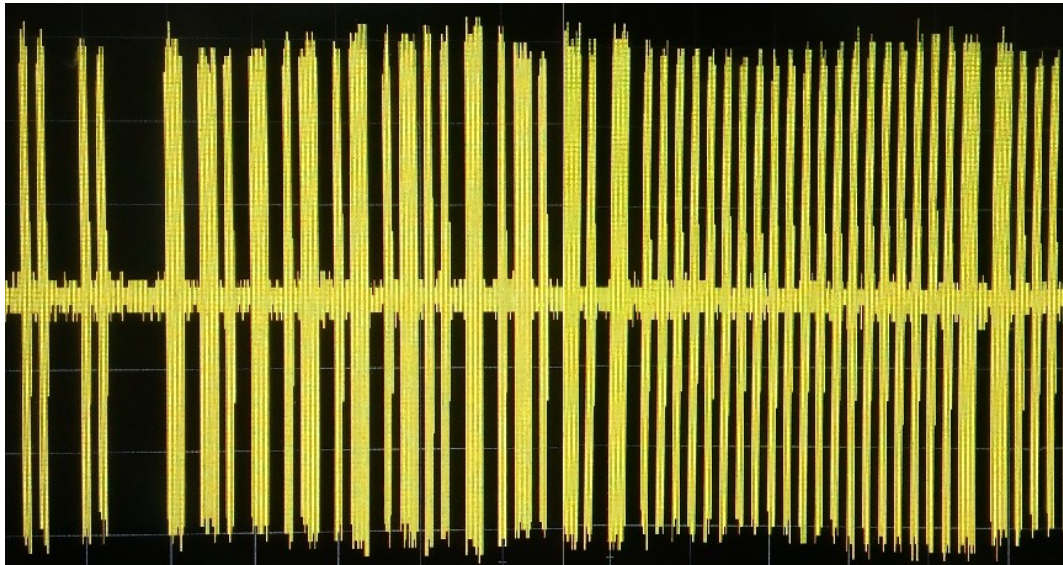
Obrázek 33 - Příklad, mód S

Jedná se o odpověď v krátkém formátu módu S, kde byl nastaven obsah zprávy takto:

- Formát spoje (DF) 11,
- Možnost (CA) 2,
- Adresa letadla (AA) 49D368,
- Parita (PI) CL: 010.

Na obrázku 33 je vidět signál vygenerovaný programem, rozdělený na úseky červeným zvýrazněním. Úseky označují části signálu, které odpovídají zakódovaným polím tohoto formátu.

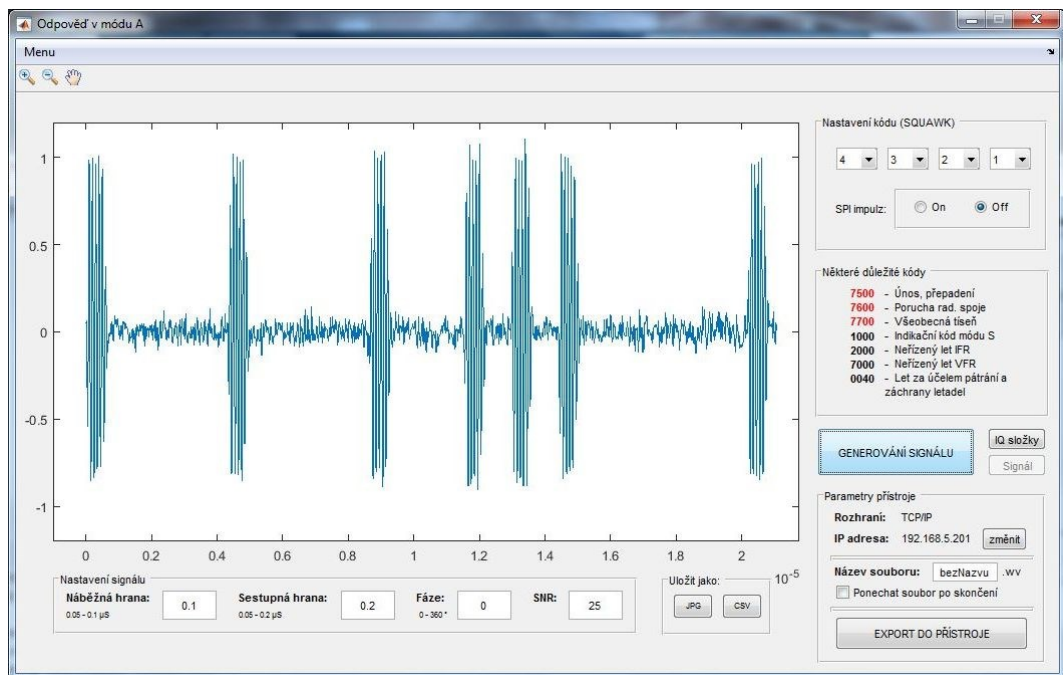
Po exportování do přístroje se na osciloskopu zobrazil průběh jako na obrázku 34.



Obrázek 34 - Průběh signálu S, osciloskop

Při porovnání průběhů z obrázku 33 a 34 je zřejmé, že jsou totožné. Tím se ověřila správná funkce programu.

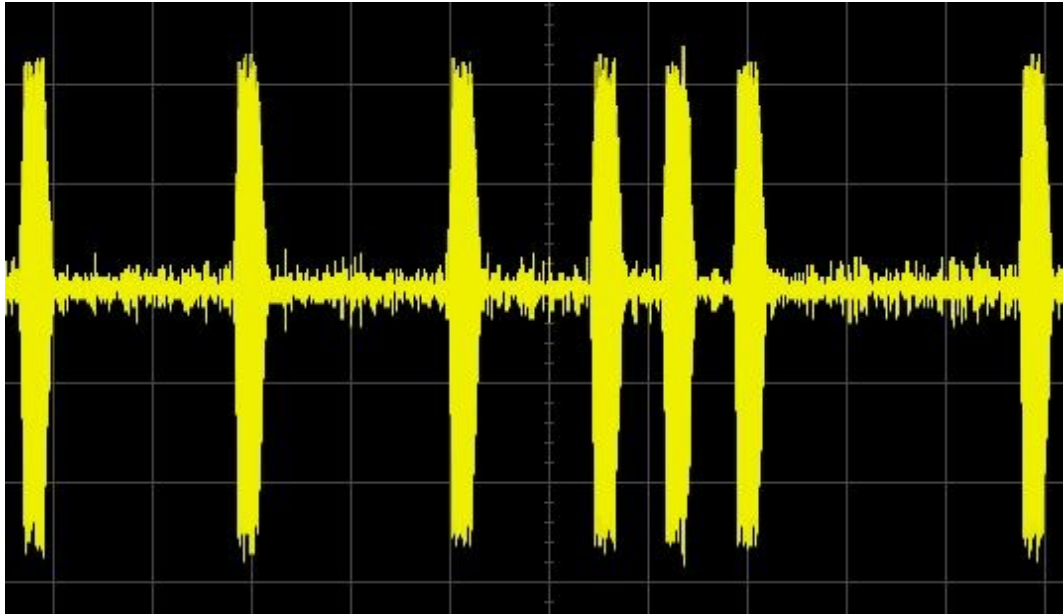
5.4.2 Příklad 2 – Mód A



Obrázek 35 - Příklad, mód A

Zde se jedná o odpověď v módu A, udávající „SQUAWK kód“, jenž je přiřazen letadlu v průběhu letu.

Zvolen byl kód 4321 bez ověřovacího impulsu SPI (Obrázek 35). Průběh, který po nahrání dat do přístroje zobrazil osciloskop, je na obrázku 36.



Obrázek 36 - Průběh signálu A, osciloskop

Oba průběhy vypadají opět totožně, program funguje i v tomto módu. Příklad byl již uveden v teoretické části práce a nyní byl také prakticky realizován.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit program v prostředí MATLAB, generující signály odpovídající sekundárního přehledového radaru v módech A/C/S, které lze importovat do vektorového generátoru firmy Rohde & Schwarz.

V teoretické části bylo popsáno, proč je důležité mít kontrolu nad letovým provozem a jaké výhody to přináší. Dále byl popsán sekundární přehledový radar, jeho funkce, princip komunikace a módy dotazů, kterými se letadla „ptá“ na výšku, pozici a další informace. Následovala kapitola ADS-B, kde byl popsán princip komunikace, poskytované služby a výhody/nevýhody, které tato technologie přináší. Teoretická část byla zakončena kapitolou o přístroji, jehož signály byly cílem praktické části. V kapitole se uvádí princip činnosti přístroje a jsou zde podrobně popsány všechny tři základní módy.

Samotná praktická část se skládá s představení softwaru a přístroje, pro jehož účely byl vytvořen. Dále následuje podkapitola udávající nastavení, která se musí vykonat, než je program možno spustit a konečně rozbor jednotlivých oken uživatelského prostředí. Text je doplněn obrázky týkající se aktuálního okna.

Na závěr bylo provedeno testování, přičemž se software připojil přes síťový kabel k přístroji, vygeneroval se signál s uživatelem určenými parametry a exportoval se. Aby bylo možné ověřit, zda program funguje správně, na vektorový generátor se připojil osciloskop, který zobrazil signálový průběh. Průběh se shodoval s tím v okně programu. Tento pokus se provedl několikrát pro různá nastavení každého módu, tím bylo potvrzeno, že software funguje.

Ke konci lze konstatovat, že všechny body práce byly splněny. Byl vytvořen software generující signály podle odpovídající sekundárního radaru, který lze připojit k vektorovému generátoru firmy Rohde & Schwarz a prakticky se ověřilo, že je funkční.

POUŽITÁ LITERATURA

1. Letiště Václava Havla Praha. In: *Flying Revue* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.flying-revue.cz/letiste-praha-naslapnuto-k-rekordu>
2. Radary. In: *Quora* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-primary-and-secondary-radar>
3. *ICAO* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.icao.int/>
4. Radar. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radar#>
5. Secondary surveillance radar. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Secondary_surveillance_radar
6. Lesson SSR. *Gabriele Falciasecca* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.gabrielefalciasecca.it/documenti/lesson_SSR.pdf
7. Satellite navigation. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation
8. *GPS: The Global Positioning System* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/>
9. Spoofing. *Management Mania* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/spoofing>
10. KT 76A. In: *Bendix King* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.bendixking.com/Products/Discontinued/KT-76A>
11. KOLMAN, Libor. *Odpověď* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.kolmanl.info/index.php?show=show_txt&alias=ODPOVIDAC
12. Automatic dependent surveillance – broadcast. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_dependent_surveillance_%E2%80%93_broadcast
13. *Letecký předpis: O civilní letecké telekomunikační službě* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
14. KOMÁR, Viktor. *Odpověď SSR* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.ivaoc.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=148
15. Why mode S? *Radar Basic* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr20.en.html>
16. R&S®SMBV100A Vector Signal Generator. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://www.rohde-schwarz.com/us/product/smbv100a-productstartpage_63493-10220.html?rusprivacypolicy=0
17. Lokální síť (LAN). *Základy IT gramotnosti* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/1492/el/sitmu/law/html/lokalni-site-lan.html>
18. Letecký rejstřík. *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://portal.caa.cz/letecky-rejstrik#>

PŘÍLOHY

| | |
|-----------------------------|----|
| Příloha A – <i>CD</i> | 49 |
|-----------------------------|----|

Příloha A – *CD*

Obsah CD:

| | |
|--|--------------------------|
| MATLAB | - Zdrojové kódy programu |
| NepovimM_GeneratorSignalu_JP_2017.pdf | - Text práce |