



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Letecké radary stealth

Tomáš Král

Gymnázium Botičská

Botičská 1, Praha 2

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto seminární práci vypracoval samostatně pod vedením Jakuba Šafaříka. Dále prohlašuji, že jsem práci vypracoval pomocí legálního programového vybavení a že jsem uvedl veškeré použité zdroje informací.

V Řevnicích 5. května 2013

Tomáš Král

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu profesoru Šafaříkovi za nápady a poznámky k práci a panu profesoru Markalousovi za korekturu práce, také bych rád poděkoval Dominice Léblové za focení.

Anotace

Abstract

Obsah

Úvod	10
Přehled literatury.....	11
Radar	11
Historie	11
Princip činnosti.....	12
Aktivní radar.....	12
Primární radar.....	12
Sekundární radar.....	12
Pasivní radar.....	14
Pulzní radar.....	14
Radar s kontinuální vlnou	15
Antény	15
Typy antén	15
Stealth.....	18
Odrazy.....	18
Pohlcování.....	19
Rušení	19
Metodika.....	20
Výsledky a diskuse.....	22
Seznam literatury	25

Úvod

Ve své práci se věnuji radarové technologii, rozdělení radarů a jejich využití. Také se v ní zabývám stealth technologií a její využití v letectví proti radarům. Ve své praktické části se především zabývám odrazy radarových „paprsků“ od letadla se stealth technologií. Svou prací chci dokázat „neviditelnost“ stealth letadel pro některé radary.

Přehled literatury

Radar

Radar je přístroj využívající krátké elektromagnetické vlny k určování vzdálenosti, identifikaci a zaměření objektů.

Jsou různě druhy využití radarové technologie. Jak v letectví, k určování polohy a identifikaci objektů, tak například v meteorologii a jiných.

- Aktivní radar
- Pasivní radar
- Pulzní radar
- Radar s kontinuální vlnou

Historie

- **1872** – J. C. Maxwell: Teorie elektromagnetického pole, existence elektromagnetického vlnění šířícího se rychlostí světla
- **1887** – H. Hertz: pokusy s jiskrovým výbojem, objevení elektromagnetického vlnění
- **1895** – A. S. Popov a G. Marconi: využití elektromagnetického vlnění k přenosu signálu z vysílače k přijímači
- **1904** – Ch. Huelsmeyer: pokusy s odrazem radiových vln od lodí na Rýnu. Přístroj s názvem „Telemobiloskop“ (předchůdce radaru)
- **20. léta** – užití radiových vysílačů k navigaci letadel (radiomajáky)
- **1927** – H. Hollmann: pokusy s odrazem radiových vln od lodí a letadel, poprvé použil mikrovlny. Konstrukce německých radarů (2. Světová válka)
- **1935** – sir R. Watson-Watt: konstrukce prvního prakticky použitelného přístroje pro radiovou detekci letadel pomocí mikrovln. „Skutečný vynálezce radaru“
- **1939** – instalace radarů na jižním a východním pobřeží Velké Británie
- **1940** – H. Boot a J. Randall (Velká Británie), H. Hollmann (Německo): konstrukce magnetronu, elektronka (zdroj mikrovln pro radary)
- **1941** – Rozšířené užití radarů, navigace lodí a letadel a pátrání po nich, řízení palby dělostřelectva, palubní radary stíhaček a bombardérů

(Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)

Princip činnosti

Vysílání mikrovlnné energie o velkém výkonu. Tato energie je vysílána ve velmi krátkých impulsích. Používané frekvence se používají v rozmezí 30 MHz až desítky GHz. Výkon má velký vliv na dosah a vlastnosti. Odražené radiové vlny jsou přijímány o pauzách ve vysílání.

Vyslané vlny se mohou odrážet od jednotlivých objektů, nebo rozhraní jednotlivých prostředí (rozhraní teplého a studeného vzduchu).

Prostorový obraz poskytují radiolokátorové soustavy s pohyblivými anténami, některé antény i rotují. Fázované antény umožňují měnit směr vysílání a příjmu i bez pohybu.

Další princip spořívá v tom, že ve vysílači jsou vytvářeny vysokofrekvenční elektromagnetické impulsy, které jsou vysílány ve svazku. Ty se šíří přímočaře přibližně rychlostí světla.

Narazí li na nějaký objekt, tak se odrazí pod stejným úhlem, pod kterým na objekt dopadly. Pokud objekt, na který dopadá energie je přibližně stejných rozměrů jako je vlnová délka šířící se energie a objekt je z kovu, dochází k odrazu. Vlny se od něj odrazí zpět bez ohledu na úhel dopadu. Dalším příkladem jsou antény na povrchu letadel, při dopadu na rozhraní teplého a studeného vzduchu může také dojít k odrazu.

Dosah radiolokátoru je dán výkonem vysílače.

Aktivní radar

Aktivní radar se dále dělí na primární radar a sekundární radar

Primární radar

Primární radar vyzařuje periodicky svojí anténou elektromagnetickou energii, která pokud se odrazí od nějakého předmětu v dostatečné úrovni, je přijata anténou a zpracována přijímačem. Pokud vysílač vysílá stálou vlnu a ne impulsy jsou vysílací a přijímací systémy odděleny. Poskytuje informace o poloze, případně rychlosti cíle.

Sekundární radar

Radar, který potřebuje ke své činnosti další zařízení, které je umístěno na palubě př. letadla (to je tak zvaný: „odpovídač“)

Na zemi jsou umístěny další dvě nutná zařízení (dotazovač, přijímač sekundárního radaru).

Dotazovač je zařízení, které se pravidelně dotazuje. Každý dotázaný odpovídač odpoví svým kódem, který mu byl přidělen pro daný let řízením letového provozu (ŘLP). Tím dokáže sekundární radar identifikovat jednotlivé letadlo. Tímto způsobem lze letadlo nejen identifikovat, ale i zjistit výšku, a pokud radar pracuje v módu S, tak lze zjistit i další informace. (Řízení letového provozu české republiky), (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)

Dotaz má podobu třech impulsů a dále se dělí u určité módy:

„Mód 1 Prodleva mezi impulsy 1 a 3 je 3 ± 1 mikrosekund, je určen pro vojenské aplikace.

Mód 2 Prodleva mezi impulsy 1 a 3 je 5 ± 0.2 mikrosekund, je určen pro vojenské aplikace.

Mód A prodleva mezi impulsy 1 a 3 impulsem je 8 mikrosekund, používá se pro identifikaci a sledování, čtyřmístné identifikační číslo (tzv. „squawk“ nebo „alfa“) je letounu přiděleno v průběhu letu orgánem ŘLP.

Mód B prodleva 17 mikrosekund, určen pro budoucí využití.

Mód C prodleva 21 mikrosekund, odpověď jako u módu A doplněná o barometrickou výšku.

Mód D prodleva 25 mikrosekund, určen pro budoucí využití.

Odpověď je vysílána na frekvenci 1090 MHz a skládá se ze sady impulsů udávajících číslo od 0000 po 7777. První a poslední impuls jsou použity k měření vzdálenosti cíle a jsou vyslány 20,3 mikrosekund po sobě. Některá čísla odpovědí jsou vyhrazena zvláštním případům např.

7500 - nezákonný zásah

7600 - ztráta spojení

7700 - stav nouze

0000 - vyhrazeno pro budoucí použití „

(Wikipedie otevřená encyklopedie, 2012)

Mód S dotaz v tomto módu je určen pouze jednomu letadlu, je konfigurován tak, aby ostatní letadla neodpovídala. Jsou předávány informace o: kurzu, rychlosti, rychlosti klesání/stoupání, úhlu náklonu a výšce letu. (Wikipedie otevřená encyklopedie, 2012)

Pasivní radar

Tento radar pouze sleduje radiovou komunikaci letadla, elektromagnetické rušení a vyzařování způsobované motorem a další elektronikou v letadle

Nejčastěji se využívá signálů z odpovídačů SIF a palubních radiolokátorů.

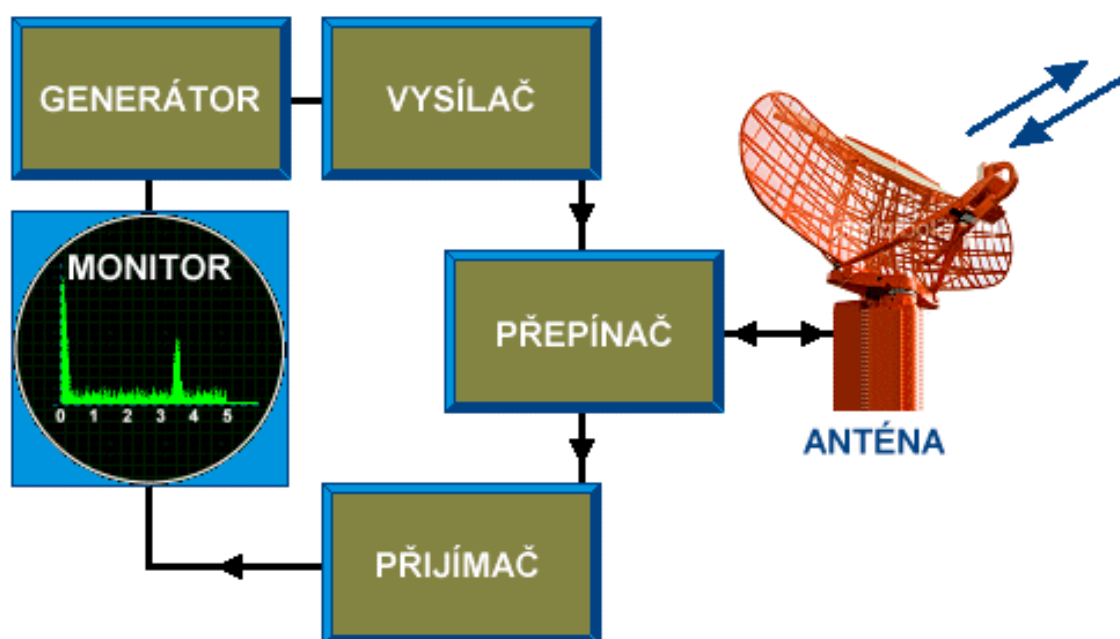
Výška a poloha letadla lze určit na různých místech použitím více antén.

V civilním letectví se tyto radary kombinují a výsledek se zobrazuje na jednom monitoru. Lze rozlišit dva systémy určení polohy na ty, které měří směr příchodu a ty které měří čas příchodu signálu

- Směroměrné systémy (DOA): zjišťují směr příchodu signálu na dvě stanoviště a pomocí triangulace určí polohu zdroje signálu
- Časoměrné systémy (TOA): využívá měření času příchodu signálu na tři stanoviště, z časových rozdílů a rychlosti šíření signálu se určí dráhový rozdíl mezi vzdálenostmi, které signál urazil. Poloha zdroje se určí pomocí známých poloh a vzdáleností mezi přijímači. (Wikipedie otevřená encyklopedie, 2012), (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)

Pulzní radar

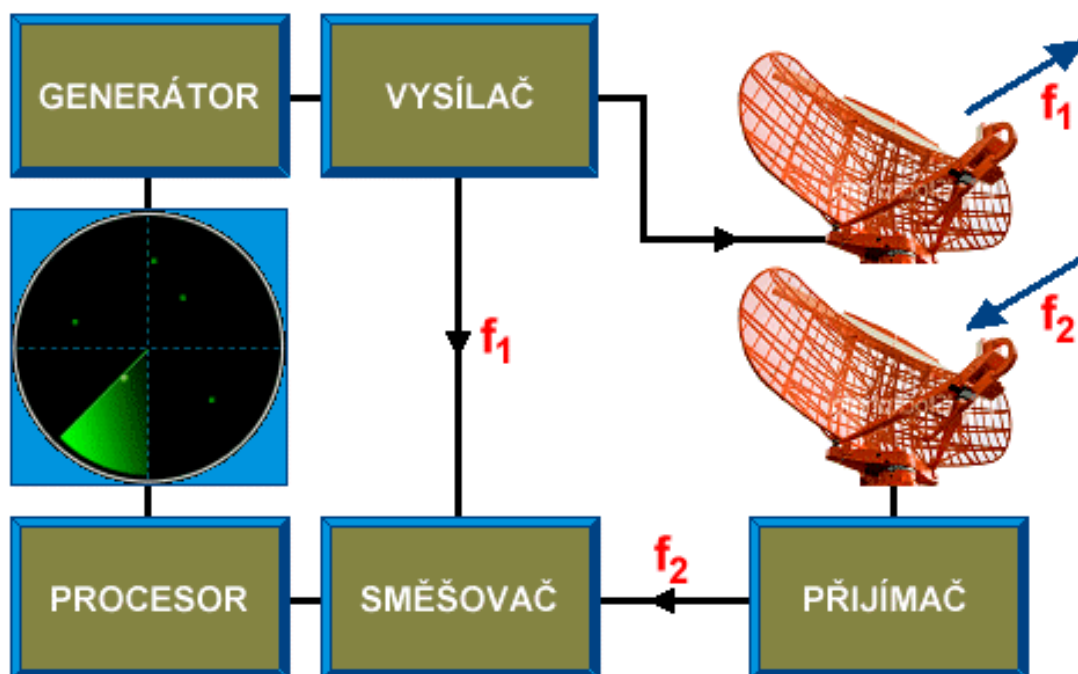
Pulzní radary vysílají jednotlivé impulsy. Mají jedinou anténu, která se střídavě spojuje s vysílačem a s přijímačem. Nejprve vyšle elektromagnetický impuls, po přepnutí přijímá impuls odražený. Tímto způsobem se určuje směr, vzdálenost a výška letadla. (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)



Obrázek 1 (Schéma pulzního radaru)

Radar s kontinuální vlnou

Radar s kontinuální vlnou má spojité vysílání. Vysílá nepřerušovaný signál a přijímá také nepřerušovaný signál odražený od objektu. Díky tomu musí mít tento systém dvě antény, vysílací a přijímací. (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)



Obrázek 2 (Schéma radaru s kontinuální vlnou)

Antény

Mohou fungovat ve dvou režimech: vysílací, přijímací.

- **Vysílací anténa:** vyzařuje energii elektrických kmitů generátoru do prostoru ve formě elektromagnetického vlnění. Anténa musí mít takové rozměry, tvar a uspořádání prvků, aby bylo vyzařování co nejúčinnější.
- **Přijímací anténa:** přeměňuje energii dopadajícího elektromagnetického vlnění na elektrické kmity. Její konstrukce závisí na účelu, kterému má sloužit. Anténa musí zachytit signál odražený od objektu a vyloučit signály přicházející z jiných směrů. (Wikipedie otevřená encyklopedie, 2012), (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)

Typy antén

- Dipól
- Parabolická anténa
- Fázová anténa

Dipól

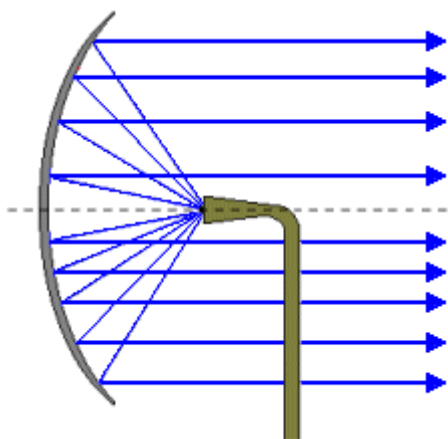
Nejjednodušší typ antény ve tvaru dvojice tyčí, nebo smyčky. Pro dosažení dobré účinnosti musí být délka dipólu rovna polovině vlnové délky vysílaného, nebo přijímaného vlnění. Proto je označení této antény půlvlnný dipól. Jednoduchý dipól bývá doplněn dalšími prvky, nebo je dipóly propojují do soustav. (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)



Obrázek 3 (Dipólová anténa)

Parabolická anténa

Tento typ antény je nejpoužívanější. Je ve tvaru rotačního paraboloidu. Parabolický tvar antény zajišťuje, že se přicházející signál po odrazu od paraboly soustředí do jednoho bodu (ohniska). Z ohniska se signál přivádí do přijímače. Pokud je v ohnisku umístěn výstup z vysokofrekvenčního generátoru (zářič), funguje anténa jako vysílač. Energie se po odrazu od paraboly soustředí do úzkého svazku mikrovln. (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)



Obrázek 4 (Šíření paprsků z parabolické antény)



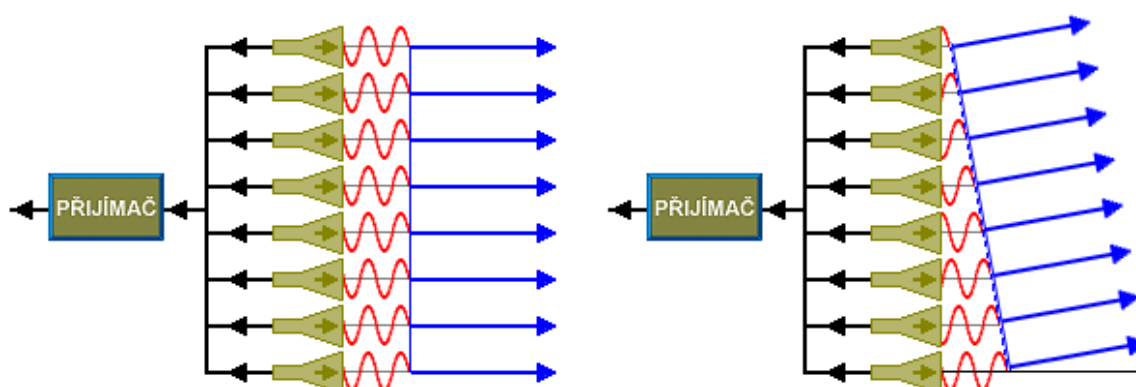
Obrázek 5 (Parabolická anténa)

Fázová anténa

Tento typ antén nemá tvar paraboly, ale plochých desek.

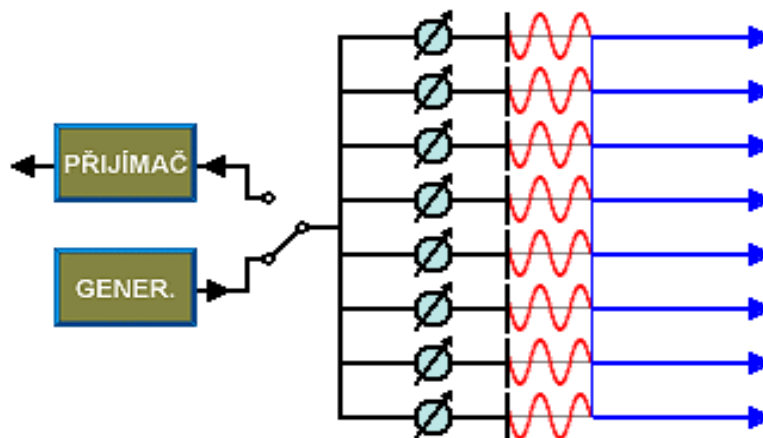
rozdělují se na aktivní a pasivní.

- **Aktivní:** je tvořena velkým počtem malých modulů (i několik desítek tisíc).
- Každý z modulů obsahuje miniaturní polovodičový vysokofrekvenční generátor (vysílací a přijímací modul) o malém výkonu. Jeho energie je vyzařována do určitého směru. Výkon každého modulu lze elektronicky ovládat, tím lze vytvořit výsledný svazek mikrovln. Směr vyzařovaného svazku lze elektronicky měnit. Díky tomu nemusí být anténa pohyblivá. (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)



Obrázek 6 (Schéma aktivní fázové antény)

- **Pasivní:** je tvořena velkým počtem zářičů, které na rozdíl od antény aktivní neobsahují polovodičové vysokofrekvenční generátory. Všechny jsou napájeny jediným společným vysokofrekvenčním generátorem o velkém výkonu. Signál generátoru je přiváděn na anténu a zde se rozděluje k jednotlivým zářičům pomocí fázovačů. U této antény také lze směr elektronicky ovládat jako u antény aktivní. (Ministerstvo obrany a Armáda České republiky)



Obrázek 7 (Schéma pasivní fázové antény)

Stealth

Odvětví zabývající se technologií pro snížení nebo zamezení detekce především před radarem. Stealth technologie se využívá pro letadla, lodě, nebo také pro pozemní vozidla. V minulosti se využívali techniky nátěrů pro oklamání zraku, s těmito technikami se setkáváme i dnes, ale hlavní důraz je kladen na krytí vůči radarům. Důraz je také kladen na minimalizaci tepelné stopy za letadlem, kvůli infra-červeným zaměřovačům a hlavicím s tepelným naváděním. Toho je dosaženo umístěním motorů uvnitř trupu letadla a ochlazováním horkého vzduchu z motorů okolním studeným. Můžeme říci, že se dělí na tři podkategorie (odrazy, pohlcování, rušení).



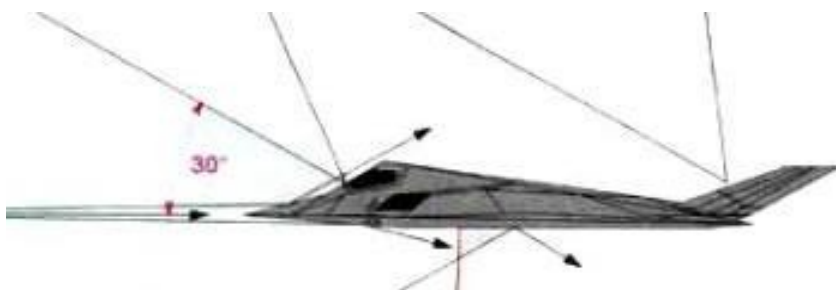
Obrázek 8 (Znázornění ochlazování horkého vzduchu z motoru)

(Vaněk, 2004), (f-22raptor)

Odrazy

Úhel dopadu je roven úhlu odrazu, a proto je základem této kategorie vytvarování odrazových ploch, tak aby se odražené radarové paprsky nevrátily zpět do zdroje. Toho je dosaženo křivkovým tvarem o velkém poloměru, motory ukrytými uvnitř trupu, zbraně jsou u stealth letadel v pumovnicích uvnitř letadla. Je důležité, aby na povrchu letadla nebyly žádné výstupky, nebo prohloubeniny, například antény.

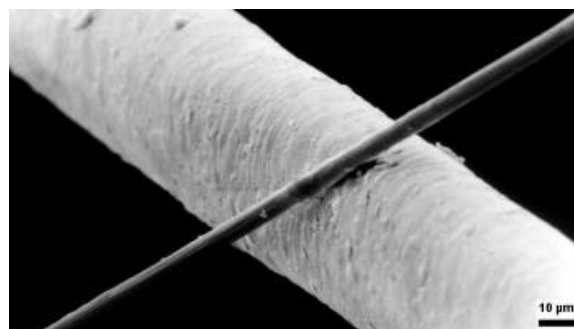
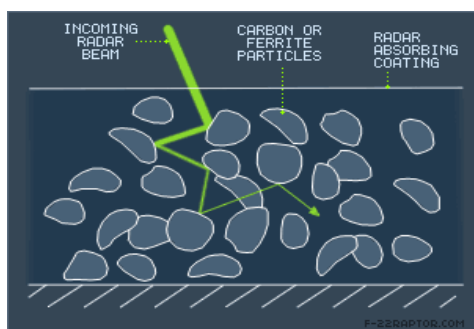
(Vaněk, 2004), (f-22raptor)



Obrázek 9 (Odrazy paprsků od letounu F-117)

Pohlcování

Zde se využívají speciální materiály s menší odrazivostí, než materiály běžně využívané. Například využití uhlíkových kompozitů místo kovů, na obrázku č. 11 je vidět uhlíkové vlákno ve srovnání s lidským vlasem. Nejvyšší efektivitu mají materiály RAM (Radar Absorbent Materials), které jsou schopny pohlit radarové záření. K pohlčení dochází opětovnými odrazy paprsku v materiálu a tím jeho zeslabení, což je vidět na obrázku č. 10. Tyto materiály jsou ale velice drahé a jejich účinnost se liší v různých kmitočtech. (Vaněk, 2004), (f-22raptor)



Obrázek 10

(pohlčení radarového paprsku)

Obrázek 11

(srovnání lidského vlasu-bílý a uhlíkového vlákna-černé)

Rušení

V této kategorii se využívají vysílače, neboli rušičky, které vysílají stejný signál jako je signál odražený od letadla, ale s opačnou fází. Tímto se obě fáze vyruší a zpět do radaru se nevrátí odražený signál. (Vaněk, 2004), (f-22raptor)

Metodika

Ve své praktické části této práce se zabývám „neviditelností“ stealth letadel pro radary. Zaměřím se především na jednu část a tou jsou odrazy radarových paprsků od stealth letadel.

Touto prací chci ověřit závislost chodu odražených paprsků na tvaru letadla, což se týká aktivních radarů, které vyzařují elektromagnetické paprsky.

Pro svou práci jsem si vybral jeden z nejznámějších stealth bombardérů, a tím je letoun B-2 Spirit. Pro pokus jsem zakoupil model letadla B-2 Spirit.

Bylo důležité mít model letadla pro pokus co největší, model, který jsem koupil má rozpětí 36,4 centimetrů a délku 14,6 centimetrů. To je v poměru 1:144 vůči reálnému letadlu.



Obrázek 12 (model bombardéru B-2)



Obrázek 13 (model bombardéru B-2)

Radar a vysílané paprsky jsem nahradil laserovým ukazovátkem. Bylo nutné mít laserové ukazovátka, které má velký výkon, kvůli viditelnosti dopadající a odražených paprsků, proto jsem sehnal laser o výkonu 200 mW, který je viditelný i za denního světla.

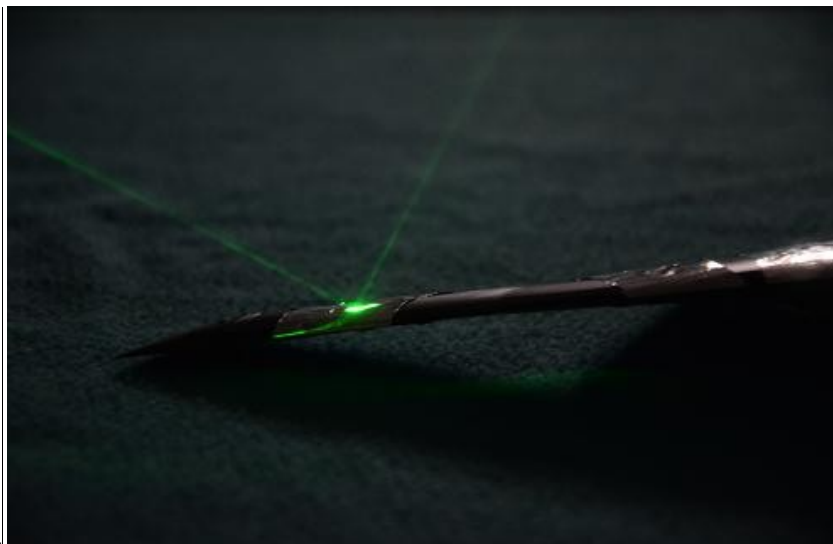
Plastový model letadla se prodává rozložený a je ho nutné složit podle plánu. Od plastového modelu se laserové paprsky viditelně neodráželi a bylo nutné změnit povrch letadla, tak aby lépe a viditelně odrážel dopadající paprsky. Vyzkoušel jsem několik způsobů, jak zajistit lepší odrazivost, jako například použití laku, nebo povrch umastit, ale ani jedno nijak výrazně nepomohlo. Nejlepší odrazy jsem získal, když jsem jednotlivé části pečlivě obalil alobalem, který jsem posloužil jako zrcadlo. Alobal je potřeba k letadlu přilepit, k tomu postačí lepenka. Když jsem obalil jednotlivé části letadla alobalem, tak jsem ho položil na stůl s podložkou jiné barvy než je barva letadla a laseru.

Dále je nezbytné, abychom prováděli pokus v částečně zatemněné místnosti, aby byl viděl laserový paprsek, ale i letadlo. Kvůli dobré viditelnosti paprsků jsem pokus prováděl v místnosti, ve které byl kouř, čehož jsem dosáhl cigaretovým kouřem. Když jsem chtěl maximalizovat viditelnost paprsků, foukal jsem kouř přímo do paprsku.

Pokus jsem prováděl vícekrát a celý jsem ho nafotil.

Výsledky a diskuse

Při pokusu bylo dosaženo vhodné odrazivosti paprsků pomocí alobalu a dopady a odrazy byly zdokumentovány, jak můžete vidět na obrázcích (14-19).



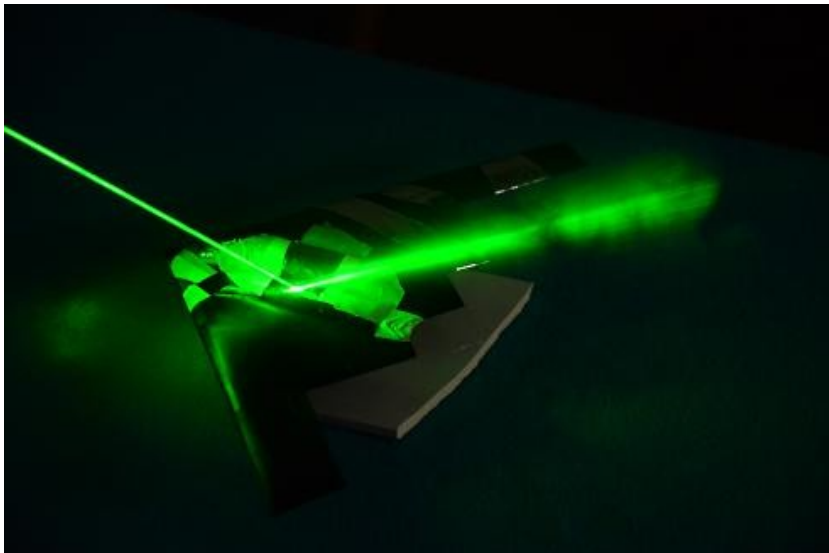
Obrázek 14 (Odražený paprsek od alobalu na povrchu křídla letadla)

Pokus byl prováděn ze všech stran a z různých úhlů. Pokus nebyl prováděn kolmo k spodní části letadla, protože tak většinou aktivní radary nevysílají.

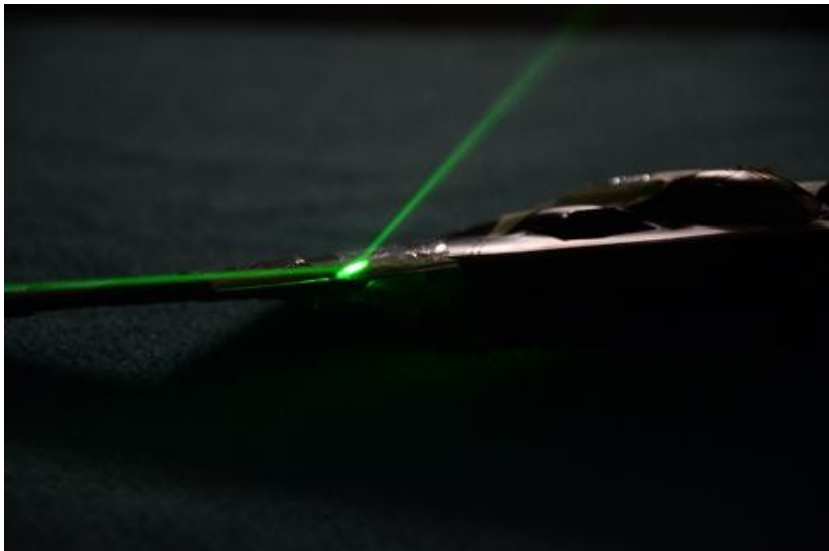
Dá se říci, že jsem při pokusu dokázal „neviditelnost“ stealth letadla, konkrétně bombardéru B-2 Spirit, pro radary.



Obrázek 15 (Odras paprsku od náběžné hrany křídla)



Obrázek 16 (Odras paprsků od krytí motoru)



Obrázek 17 (Odras paprsku od náběžné hrany křídla)



Obrázek 18 (odraz paprsků od spodní části letadla)



Obrázek 19 (Odraz paprsků od spodní části letadla)

Seznam literatury

Radarové antény. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné na WWW:
<http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k25.htm>

Princip radaru. [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné na WWW:
<http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k23.htm>

Rozdělení radarů. [online]. [cit. 2012-02-25]. Dostupné na WWW:
<http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k31.htm>

Z historie radaru. [online]. [cit. 2012-2-25]. Dostupné na WWW:
<http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k22.htm>

Historický úvod. [online]. [cit. 2012-2-25]. Dostupné na WWW:
<http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/vfel/01_2.html>

Šrubař M. Pasivní radary jako strategická zbraň. [online]. Aktualizace 26. 8. 2005 [cit. 2012-2-19]. Dostupné na WWW: <<http://www.techblog.cz/technologie/pasivni-radary-jako-strategicka-zbran.html>>

Řízení letového provozu. Radary, RMCDE, ARTAS. [online]. [cit. 2012-2-10]. Dostupné na WWW: <http://www.rlp.cz/generate_page.php?page_id=591>

Radar. [online]. Aktualizace 28. 2. 2012 [cit. 2012-2-19]. Dostupné na WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Radar>>

Vaněk M. Moderní vojenská letadla. [online]. [cit. 2012-2-23]. Dostupné na WWW:
<<http://mojmirvanek.webzdarma.cz/stealth.html>>

Stealth. [online]. Aktualizace 20. 3. 2013 [cit. 2013-3-27]. Dostupné na WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Stealth>>

Stealth aircraft. [online]. Aktualizace 1. 4. 2013 [cit. 2013-4-5]. Dostupné na WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Stealth_aircraft>

How to become stealthy. [online]. [cit. 2013-1-18]. Dostupné na WWW:
<http://www.f-22raptor.com/st_getstealthy.php#>

Reichl J., Všetička M. Odraz vlnění. [online]. [cit. 2013-1-16]. Dostupné na WWW:
<<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/184-odraz-vlneni>>

AUTOR NEZNÁMÝ. Námořní stealth. Armádní technický magazín. 2004

AUTOR NEZNÁMÝ. Letectví a kosmonautika. 1. díl. Str. 22. 2004