

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2013-714

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01S 13/48 (2006.01)
G01S 13/536 (2006.01)
G01S 13/86 (2006.01)
G01S 13/88 (2006.01)
G01S 7/35 (2006.01)
F41H 7/00 (2006.01)
F41H 13/00 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA

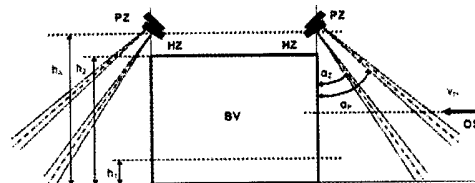


ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **18.09.2013**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **29.04.2015**
(Věstník č. 17/2015)

- (71) Přihlašovatel:
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta
elektrotechnická, Praha 6, CZ
- (72) Původce:
doc. Ing. Přemysl Hudec, CSc., Praha 5, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, 281 03
Chotutice



- (54) Název přihlášky vynálezu:
**Mikrovlnný systém s rozšířenou schopností
detekovat, identifikovat a lokalizovat
pohybující se cíle**

- (57) Anotace:
Mikrovlnný systém je určen pro použití zejména
v systémech aktivní ochrany bojových vozidel. Je založen
na použití mikrovlnných závor, tedy radarových senzorů
vybavených anténami s širokými vyzařovacími diagramy
v horizontální rovině a úzkými ve vertikální rovině.
Pokud se takové mikrovlnné závory upevní pod úhlem
typicky 45° nad bojové vozidlo, tak jsou schopné
detekovat přilet ohrožujících střel, provést jejich
identifikaci, popřípadě i generovat signály potřebné pro
aktivaci protistřel. Tento systém je doplněn ještě jednou
úrovní mikrovlnných závor fungujících jako předzávory
(PZ). Ty jsou uchyceny pod úhlem typicky o 20° vyšším,
než hlavní závory (HZ). Přilétající střela je tedy
detekována nejprve předzavorami (PZ) a potom hlavními
závorami (HZ). Výhodou je to, že takto koncipovaná
sestava umí poskytnout o ohrožující střele více informací,
umí je poskytnout současně a přesněji. Při použití
určitého typu antén (AFZM) lze sloučit funkci
předzávory (PZ) a hlavní závory (HZ) do jedné antény,
celý systém pak na bojovém vozidle zabírá jen málo
místa.

Mikrovlnný systém s rozšířenou schopností detekovat, identifikovat a lokalizovat pohybující se cíle

Oblast techniky

Předkládané řešení se týká bezkontaktního mikrovlnného zařízení schopného detekovat, lokalizovat nebo identifikovat pohybující se cíle, například střely ohrožující vojenská vozidla s tím, že je schopné realizovat výše uvedené funkce současně

Dosavadní stav techniky

Vojenská vozidla nejrůznějších typů patří mezi nejvíce ohrožené vojenské cíle, a to i vozidla velmi dobře opancéřovaná. Důvodem je existence velkého počtu účinných střel, které jsou schopné prorazit i velmi silné pancíře. Co nejvyšší míra ochrany proti ohrožujícím střelám patří proto mezi nejdůležitější vlastnosti každého bojového vozidla.

Vedle zvyšování tloušťky a kvality pancéřování je pozornost v posledních zhruba 10 letech zaměřována na tak zvanou aktivní ochranu. Principem aktivní ochrany je detekce letící ohrožující střely a aktivace určité formy protistřely, která je schopná ohrožující střelu zneškodnit nebo alespoň významně snížit její účinky. Základem většiny prostředků aktivní ochrany je senzor nebo skupina senzorů, které jsou schopné letící ohrožující střely detekovat a generovat spouštěcí signály pro aktivaci protistřel. Díky odolnosti proti dešti a prachu jsou pro vojenské účely velmi často vyvíjeny a používány senzory mikrovlnné, obvykle založené na radarovém principu.

Příklad systému radarových senzorů určeného pro aktivní ochranu je popsán v patentu CZ303331. Tento sensorový systém je založen na principu mikrovlnné závoří, která je vytvořena elektromagnetickým polem soustředěným přibližně do



skloněné plochy obklopující chráněné bojové vozidlo, přičemž zařízení je schopné indikovat průlet ohrožující střely touto plochou. Tuto jednoduchou mikrovlnnou závoru lze sestavit z radarových senzorů schopných indikovat průlet ohrožujících střel. Tyto senzory jsou vybaveny anténami s vyzářovacími diagramy úzkými ve vertikální rovině a širokými v horizontální rovině. Pokud vlétne ohrožující střela do prostoru daného vyzářovacími diagramy použitých antén, tak se na výstupu připojených radarových senzorů objeví elektrické signály úměrné odrazu cíle a dopplerovskému posuvu danému pohybem cíle, které jsou použitelné pro realizaci řady funkcí systému aktivní ochrany. Předně je takto koncipovaná jednoduchá mikrovlnná závora schopná detekovat průlet střely plochou definovanou vyzářovacími diagramy antén. Může tedy být použita pro inicializaci protistřel. Pokud je ohrožující střela detekována více sousedními radarovými senzory, je možné vypočítat její polohu v horizontální rovině. Výpočet je možné provést na základě měření radiálních složek dopplerovských rychlostí, a to metodou popsanou v patentu CZ303331, nebo na základě měření vzdáleností. Sensorový systém je tedy schopný vypočítat odhad místa dopadu ohrožující střely na vozidlo a aktivovat vhodnou protistřelu, popřípadě ji vypálit potřebným směrem. Sensorový systém také umožňuje provést určitou míru identifikace přibližující se střely. Pokud střela prolétne celý vyzářovací diagram antén, zaznamenané signály představují do značné míry specifický „otisk“ v časově-frekvenční rovině. Je například možné rozlišit malé relativně neškodné projektily od podstatně delších ohrožujících střel.

Koncepce jednoduché mikrovlnné závory popsaná v patentu CZ303331 má však také určité nevýhody. Zásadní nevýhodou je to, že není schopná realizovat více výše popsaných funkcí současně. Například, pokud je jednoduchá mikrovlnná závora použita pro odpálení protistřel, tak je toto z časových důvodů realizováno obvykle již při vlétnutí špičky ohrožující střely do vyzářovacího diagramu antén. S ohledem na vysokou rychlost ohrožujících střel, která je typicky $150 \cdot 10^3$ m/s, není možné současně provádět výpočet polohy střely. Pokud by pro výpočet polohy byla potřeba doba například 1 ms, což je docela realistický čas poskytující přesnost měření dopplerovských frekvencí cca 1 kHz, tak během výpočtu uletí střela 15 až 100 cm, což bude v řadě případů již představovat zničující kontakt s vozidlem. Určité komplikace nastávají i s vlastní generací spouštěcích signálů. Jak již bylo výše

uvedeno, pracuje jednoduchá mikrovlnná závora dle patentu CZ303331 na tom principu, že při vniknutí ohrožující střely do prostoru určeného vyzařovacími diagramy antén se objeví na výstupech připojených radarových senzorů signály úměrné odrazu od cíle a dopplerovskému posuvu danému pohybem cíle. Přitom při vletu ohrožující střely do vyzařovacích diagramů antén má amplituda signálu nejprve vzrůstající průběh, pro generaci spouštěcích signálů lze tedy stanovit takový postup, že signálový procesor vygeneruje spouštěcí impuls, pokud napětí na výstupu mikrovlnné závory převyšuje určitý definovaný práh.

Nicméně takové prahování je problematické tím, že amplituda signálu na výstupu mikrovlnné závory výrazně závisí na vzdálenosti mezi anténami radarového senzoru a ohrožující střelou, tedy na tom, jak vysoko nad zemí střela letí. Při výšce chráněného bojového vozidla 2,5m může být rozsah amplitud výstupního signálu až 15dB, takže pevně nastavený práh povede k nezanedbatelně rozdílnému časování odpálení protistřely. Pokud použité radarové senzory umožňují měření vzdálenosti, tak lze problém do jisté míry kompenzovat, nicméně vzhledem k rychlostem ohrožujících střel je dosti pravděpodobné, že takovou kompenzaci bude jen velmi málo času a nemusí být proto prakticky schůdná.

Konfigurace dle patentu CZ303331 teoreticky také umožňuje provádět identifikaci ohrožujících střel. Jak již bylo výše uvedeno, pokud je možné nechat střelu proletět celými vyzařovacími diagramy antén, lze zaznamenat specifický „otisk“, daný časovým průběhem signálů jednoduché mikrovlnné závory, popřípadě i odpovídajícím spektrogramem. Pokud je však jednoduchá mikrovlnná závora použita pro generaci spouštěcích signálů, a to je obvykle její hlavní funkcí, tak není možné nechat ohrožující střelu proletět celým prostorem daným vyzařovacími diagramy antén. Takže identifikace ohrožujících střel je v této konfiguraci neproveditelná.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nevýhody odstraňuje mikrovlnný systém s rozšířenou schopností detekovat, identifikovat a lokalizovat pohybující se cíle podle předkládaného řešení. Tak, jako u řešení podle CZ303331 je systém tvořený alespoň jedním radarovým



senzorem opatřeným prvním anténním systémem tvořeným vysílací a přijímací anténou nebo společnou anténou pro vysílač i přijímač, které jsou buď součástí radarového senzoru, nebo jsou k němu připojeny koaxiálním kabelem či kabely. Tento radarový senzor se skládá z mikrovlnného vysílače a mikrovlnného přijímače. Radarové senzory jsou senzory mající na analogovém nízkofrekvenčním nebo digitálním výstupu informaci o amplitudě přijatého signálu odraženého od střely a o frekvenci rovné dopplerovskému posuvu frekvence přijatého signálu vůči frekvenci vyslaného signálu. Antény radarových sensorů mají vyzařovací diagramy ve vertikální rovině úzké a v horizontální rovině široké a jsou umístěny nad chráněnou částí vozidla ve výšce, která je větší než výška chráněné části daného vozidla. Tyto antény jsou orientovány tak, že osy jejich vyzařovacích diagramů jsou ve vertikální rovině skloněny pod úhlem (α_z) v rozmezí 20° až 70° vzhledem ke svislici procházející stěnou chráněné části vozidla v místě, kde jsou antény daného radarového senzoru umístěny. Zároveň osy vyzařovacích diagramů antén v horizontální rovině v tomto místě svírají se stěnou vozidla úhel (ϵ) v rozmezí 20° až 160° . Počet a rozmístění radarových sensorů nad chráněnou částí vozidla je zvolen tak, že se vyzařovací diagramy jim příslušejících antén v horizontální rovině částečně překrývají. Takto vytvořená soustava tvoří hlavní mikrovlnné závory, kde výstup každého radarového senzoru je v případě, je-li digitální, přímo, a v případě, je-li analogový nízkofrekvenční, tak přes jemu příslušející A/D převodník, připojen na jednotku digitálního zpracování. Podstatou nového řešení je, že každá hlavní mikrovlnná závora je doplněna mikrovlnnou předzávorou tvořenou druhými radarovými senzory opatřenými druhými anténními systémy. Každá dvojice vytváří dvojitou mikrovlnnou závoru, kde antény radarových sensorů mikrovlnné předzávory mají rovněž vyzařovací diagramy ve vertikální rovině úzké a v horizontální rovině široké a jsou orientovány tak, že osy vyzařovacích diagramů antén druhého anténního systému jsou ve vertikální rovině skloněny pod úhlem (α_p) o 10° až 30° větším než je hodnota úhlu (α_z), avšak vždy menším než je 90° . a zároveň osy vyzařovacích diagramů antén druhého anténního systému v horizontální rovině svírají se stěnou vozidla rovněž úhel (ϵ) v rozmezí 20° až 160° . Počet a rozmístění takto vytvořených segmentů nad chráněnou částí vozidla je zvolen tak, že se vyzařovací diagramy jim příslušejících antén v horizontální rovině částečně překrývají. Výstupy všech radarových sensorů mikrovlnné předzávory jsou



analogicky jako výstupy všech radarových senzorů hlavní mikrovlnné závory podle jejich povahy přímo nebo přes A/D převodníky připojeny na vstupy jednotky datového zpracování. Tato jednotka datového zpracování je na svém vstupu tvořena řetězcí, jejichž počet odpovídá dvojnásobku segmentů tvořených hlavní mikrovlnnou závorou a mikrovlnnou předzávorou. Tyto řetězce sestávají z bloku přípravy dat, na který navazují bloky rychlé Fourierovy transformace. Výstup každého bloku rychlé Fourierovy transformace je připojen k vyrovnávací paměti jednak přímo, jednak přes blok dopplerovských frekvencí a amplitud a jednak přes blok výpočtu vzdáleností. Vyrovnávací paměť je dále přes paralelně připojené bloky, a to programový blok identifikace ohrožujících střel, programový blok výpočtu parametrů ohrožujících střel a programový blok generace spouštěcích signálů propojen s blokem vyhodnocení a aktivace protistřely.

Ve výhodném provedení jsou osy vyzařovacích diagramů antén prvního anténního systému ve vertikální rovině skloněny pod úhlem (α_z) 45° vzhledem ke svislici procházející stěnou chráněné části vozidla v místě, kde je anténa daného radarového senzoru umístěna. Zároveň osy horizontálních vyzařovacích diagramů antén hlavní mikrovlnné závory i mikrovlnné předzávory v tomto místě svírají se stěnou vozidla úhel $\varepsilon = 90^\circ$.

V dalším možném provedení mikrovlnný vysílač a přijímač mikrovlnné předzávory pracují na pracovní frekvenci (f_p) a mikrovlnný vysílač a přijímač hlavní závory pracují na pracovní frekvenci (f_z) různé od frekvence (f_p). Výstupy vysílače mikrovlnné předzávory a vysílače hlavní závory jsou sloučeny přes první slučovací/dělicí obvod do jediné vysílací antény AFZM s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů. Vstupy přijímače mikrovlnné předzávory a přijímače hlavní závory jsou spojeny s výstupy druhého slučovacího/dělicího obvodu připojeného svým vstupem na jedinou přijímací anténu AFZM s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů. Modifikací tohoto provedení je, že výstup prvního slučovacího/dělicího obvodu vysílacího bloku a vstup druhého slučovacího/dělicího obvodu přijímacího bloku jsou přes anténní slučovač sloučeny do jediné vysílací/přijímací antény AFZM s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů.



Jednotky digitálního zpracování dat jsou s výhodou realizovány kombinací analogově-digitálních převodníků a programovatelných hradlových poli FPGA.

Výše popsané nové řešení odstraňuje řadu nevýhod řešení dle patentu CZ303331. Jedná se zejména o to, že umožňuje provádět více potřebných funkcí současně. Umožňuje například provést identifikaci ohrožující střely, provést výpočet směru příletu a předpokládaného bodu dopadu a následně vygenerovat spouštěcí signál pro aktivaci protistřely. Výhodou může být i to, že umožňuje přesnější generaci spouštěcích signálů. Uvedena je i taková varianta řešení, kdy je možné sloučit dvě různě nakloněné antény do jedné s tím, že ta má tvar tenkého svisle uchyceného pásku. Takové řešení zabírá na chráněném bojovém vozidle jen velmi málo místa.

Objasnění výkresů

Mikrovlnný systém s rozšířenou schopností detekovat, identifikovat a lokalizovat pohybující se cíle podle předkládaného řešení bude dále popsán pomocí přiložených výkresů. Obr. 1 znázorňuje dvojitou mikrovlnnou závoru v horizontální rovině a Obr. 2 v rovině vertikální. Na Obr. 3 je ve vertikální rovině dvojitá mikrovlnná závora s vyznačenou trajektorií ohrožující střely. Obr. 4 znázorňuje dva sousedící segmenty dvojitě mikrovlnné závory zobrazené v horizontální rovině. Blokové schéma obvodů pro zpracování signálů dvojitě mikrovlnné závory je na Obr. 5. Postup zpracování signálů ve dvojitě mikrovlnné závoře bude vysvětlen pomocí Obr. 6. Na Obr. 7 je uveden příklad vyzařovacích charakteristik antény AFZM. Obecné schéma dvojitě mikrovlnné závory s těmito anténami v bistatickém zapojení je na Obr. 8 a v monostatickém zapojení pak na Obr. 9.

Příklady uskutečnění vynálezu

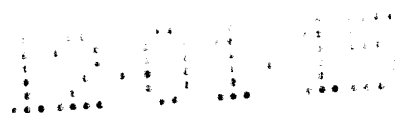
Pro řešení výše popsaných problémů byla navržena dvojitá mikrovlnná závora dle Obr. 1 a Obr. 2. Na Obr. 1 je znázorněno zobrazení v horizontální rovině, tedy pohled shora. V tomto pohledu se dvojitá mikrovlnná závora shoduje s jednoduchou mikrovlnnou závorou dle patentu CZ303331 s tím, že se dvojitá mikrovlnná závora skládá z jednoho nebo více segmentů S_1 až S_k , které jsou také upevněny po obvodu



bojového vozidla BV. Přitom osy vyzařovacích diagramů antén v horizontální rovině v tomto místě svírají se stěnou vozidla úhel ε v rozmezí 20° až 160° , typická hodnota je 90° .

Každý segment S₁ až S_k se skládá ze dvou elementárních mikrovlnných závor, viz Obr. 2. Elementární mikrovlnnou závorou se rozumí jednoduchá mikrovlnná závora dle patentu CZ303331 skládající se jen z jednoho radarového senzoru opatřeného anténním systémem složeným z jedné nebo ze dvou antén s příslušnou vyzařovací charakteristikou nebo charakteristikami. První elementární mikrovlnná závora tvořící jeden segment dvojité mikrovlnné závory funguje jako hlavní mikrovlnná závora HZ a druhá pak jako mikrovlnná předzávora PZ.

Tedy mikrovlnný systém s rozšířenou schopností detekce, lokalizace a identifikace pohybujícího se cíle je z pohledu hlavní mikrovlnné závory HZ tvořen alespoň jedním prvním radarovým senzorem RSZ_i opatřeným prvním anténním systémem ASZ_i. Tento první anténní systém ASZ_i je realizován vysílací a přijímací anténou nebo společnou anténou pro vysílač i přijímač, které jsou buď součástí prvního radarového senzoru RSZ_i, nebo jsou k němu připojeny koaxiálním kabelem nebo kabely. Tento první radarový senzor RSZ_i se skládá z mikrovlnného vysílače TXZ a mikrovlnného přijímače RXZ. První radarové senzory RSZ_i jsou senzory mající na analogovém nízkofrekvenčním nebo digitálním výstupu informaci o amplitudě přijatého signálu odraženého od střely a o frekvenci rovné dopplerovskému posuvu frekvence přijatého signálu vůči frekvenci vyslaného signálu. Antény prvních radarových sensorů RSZ_i mají vyzařovací diagramy ve vertikální rovině úzké a v horizontální rovině široké a jsou umístěny nad chráněnou částí bojového vozidla BV ve výšce h_a, která je větší než výška h₂ chráněné části daného bojového vozidla BV. Tyto Antény prvních radarových sensorů RSZ_i jsou orientovány tak, že osy vyzařovacích diagramů antén jsou ve vertikální rovině skloněny pod úhlem α_z v rozmezí 20° až 70° vzhledem ke svislici procházející stěnou chráněné části bojového vozidla BV v místě, kde jsou antény daného prvního radarového senzoru RSZ_i umístěny. Současně osy vyzařovacích diagramů antén v horizontální rovině v tomto místě svírají se stěnou vozidla úhel ε v rozmezí 20° až 160° . Počet a rozmístění prvních radarových sensorů RSZ_i nad chráněnou částí vozidla je zvolen tak, že se vyzařovací diagramy jim příslušejících antén v horizontální rovině částečně



překrývají. Takto vytvořená soustava tvoří tedy hlavní mikrovlnné závory HZ kde výstup každého radarového prvního senzoru RSZ_i je v případě, je-li digitální, přímo, a v případě, je-li analogový nízkofrekvenční, tak přes jemu příslušející A/D převodník A/D_i připojen na jednotku JDZ digitálního zpracování.

Každá hlavní mikrovlnná závora HZ je doplněná mikrovlnnou předzávorou PZ tvořenou druhými radarovými senzory RSP_i opatřenými druhými anténními systémy ASP_i a každá dvojice vytváří dvojitou mikrovlnnou závoru. Antény druhých radarových senzorů RSP_i mikrovlnné předzávory PZ mají rovněž vyzařovací diagramy ve vertikální rovině úzké a v horizontální rovině široké a jsou orientovány tak, že osy vyzařovacích diagramů antén druhého anténního systému ASP_i jsou ve vertikální rovině skloněny pod úhlem α_p o 10° až 30° větším než je hodnota úhlu α_z , avšak vždy menším než je 90°. Zároveň osy vyzařovacích diagramů antén druhého anténního systému ASP_i v horizontální rovině svírají se stěnou bojového vozidla BV rovněž úhel ε v rozmezí 20° až 160°. Počet a rozmístění takto vytvořených segmentů nad chráněnou částí bojového vozidla BV je zvolen tak, že se vyzařovací diagramy jim příslušejících antén v horizontální rovině částečně překrývají. Výstupy všech druhých radarových senzorů RSP_i mikrovlnné předzávory PZ jsou analogicky jako výstupy všech prvních radarových senzorů RSZ_i hlavní mikrovlnné závory HZ podle jejich povahy přímo nebo přes A/D převodníky ADC připojeny na vstupy jednotky JDZ datového zpracování, která bude popsána níže.

Před hlavní mikrovlnnou závorou HZ prostor sleduje mikrovlnná předzávora PZ se sklonem vzhledem k bojovému vozidlu BV rovným α_p . Obvyklé rozmezí hodnot úhlu α_z je od 20° do 70°, typická hodnota je 45°. Hodnota úhlu α_p je typicky o 10° až 30° vyšší, než hodnota úhlu α_z , nicméně ani hodnota α_p ani α_z nesmí převýšit 90°, jinak se výhody dvojitě mikrovlnné závory pro účely aktivní ochrany bojových vozidel ztrácí.

Při letu je ohrožující střela OS nejdříve detekována mikrovlnnou předzávorou PZ s tím, že pokud je výška h_a antén nad vozidlem dostatečně velká, je možné celou ohrožující střelu OS nechat proletět vyzařovacím diagramem antén mikrovlnné předzávory PZ. Ohrožující střela OS je tedy detekována s dostatečným předstihem a je možné provést její identifikaci, určení horizontální polohy, popřípadě i výpočet



dalších parametrů. Přitom většinu těchto funkcí lze realizovat současně. Pro výpočet dalších parametrů je výhodné, pokud použité radarové senzory mají schopnost měřit dopplerovské frekvence i okamžité hodnoty vzdálenosti cíle. Při použití dvojité mikrovlnné závory lze provádět zejména následující funkce: identifikaci cíle, přesnou generaci spouštěcích signálů a za určitých podmínek i výpočet azimutu a elevace trajektorie ohrožující střely OS

Při identifikaci cíle je při použití mikrovlnné předzávory PZ možné nechat proletět celou ohrožující střelou OS prostorem daným vyzařovacími diagramy použitých antén. Není to možné u velmi dlouhých střel letících na úrovni h_2 , nicméně identifikaci je možné provádět i negativním vymezením tak, že budou identifikovány velmi krátké cíle, například projektily z pistole nebo kulometu, na které systém aktivní ochrany nesmí reagovat. Analýzou časových záznamů a spektrogramů mikrovlnné předzávory PZ lze takové velmi krátké cíle s jistotou identifikovat a nastavit jejich ignorování systémem aktivní ochrany.

Navržená dvojitá mikrovlnná závora umožňuje i podstatně přesnější postup generace spouštěcích signálů, než jednoduchá mikrovlnná závora dle patentu CZ303331. Jak již bylo výše uvedeno, hlavním problémem je závislost optimální hodnoty spouštěcího prahu na výšce ohrožující střely nad zemí. Vzhledem k tomu, že vyzařovací diagramy mikrovlnných antén hlavní mikrovlnné závory HZ a mikrovlnné předzávory PZ se vždy do určité míry překrývají, lze výše uvedený problém řešit pomocí předmětné dvojité mikrovlnné závory. Pro optimální generaci spouštěcích signálů potom stačí stanovit podmínku rovnosti amplitud signálů:





$$A_p = A_z$$

Přitom A_p a A_z jsou okamžité hodnoty amplitud obálky filtrovaných signálů na výstupu mikrovlnné předzávory PZ a hlavní mikrovlnné závory HZ. Množina bodů $A_p = A_z$ leží přibližně na středu mezi úhly α_p a α_z a podmínka je nezávislá na výšce letu ohrožující střely OS nad zemí. Časování spouštěcích signálů je vůči jednoduché mikrovlnné závoře dle patentu CZ303331 podstatně lépe definované a přesnější.

Vzhledem k tomu, že při použití dvojité mikrovlnné závory je ohrožující střela OS měřena 2-násobným počtem radarových senzorů, je možné ze záznamů stanovit




větší počet parametrů ohrožující střely, než v případě jednoduché mikrovlnné závory. Tyto možnosti závisí také na schopnostech použitých radarových senzorů, neboť některé měří jen dopplerovské signály a odpovídající radiální složky rychlosti ohrožujících střel, jiné měří i okamžité hodnoty vzdálenosti radarový senzor-ohrožující střela OS, popřípadě na tom, jaké parametry jsou předem známe, například z přehledového radaru. V následujícím textu je uveden rozbor vycházející z měření dopplerovských frekvencí, při znalosti okamžitých hodnot vzdáleností radarový senzor-ohrožující střela lze odvodit rovnice obdobné.

Řešení lze rozdělit na popis ve vertikální rovině, boční pohled, viz  Obr. 3, a na popis v horizontální rovině, pohled shora, viz  Obr. 4. Ve vertikální rovině je vyznačen vyzařovací diagram antén mikrovlnné předzávory PZ svírající se svislou stěnou bojového vozidla BV úhel α_p a vyzařovací diagram antén hlavní mikrovlnné závory HZ svírající s bojovým vozidlem BV úhel α_z . Ohrožující střela OS přilétá k bojovému vozidlu BV rychlostí v_m po trajektorii s elevací Ψ . Připojený radarový senzor mikrovlnné předzávory PZ pracuje na frekvenci f_p , připojený radarový senzor hlavní mikrovlnné závory HZ pracuje na frekvenci f_z a při velmi úzkých vyzařovacích diagramech použitých antén budou na jejich výstupech signály s dopplerovskými frekvencemi f_{dp} a f_{dz} . Při letu ohrožující střely OS přímo kolmo na střed jednoho segmentu S_k dvojité mikrovlnné závory, kdy jsou úhly $\varepsilon = \pi/2$ a $\beta_p = \beta_z = \pi/2$, viz  Obr. 1 a  Obr. 4, je možné sestavit vztahy:

$$f_{dp} = \frac{2f_p v_m \cos(\Psi + \pi/2 - \alpha_p)}{c} \quad (1)$$

$$f_{dz} = \frac{2f_z v_m \cos(\Psi + \pi/2 - \alpha_z)}{c} \quad (2)$$

Při známých hodnotách vysílaných frekvencí f_p a f_z a úhlů α_p a α_z je možné vypočítat rychlost střely v_m a hodnotu elevace Ψ .

Obecně je nutné počítat s tím, že $\beta_p \neq \beta_z \neq \pi/2$. Potom je nutné provést současně analýzu i v horizontální rovině, pohled shora, viz  Obr. 4.



Na Obr. 4 jsou znázorněny v horizontální rovině dva segmenty S_i a S_{i+1} dvojité mikrovlnné závory vedle sebe s tím, že ohrožující střela OS přilétá k bojovému vozidlu BV pod azimutem Φ . Pro i -tý segment dvojité mikrovlnné závory lze sestavit rovnice pro výstupní dopplerovské frekvence f_{dpi} a f_{dzi} :

$$f_{dpi} = \frac{2f_p v_m \cos(\Psi + \pi/2 - \alpha_p) \cos(\pi - \Phi - \beta_{pi})}{c} \quad (3)$$

$$f_{dzi} = \frac{2f_z v_m \cos(\Psi + \pi/2 - \alpha_p) \cos(\pi - \Phi - \beta_{zi})}{c} \quad (4)$$

V těchto vztazích jsou β_{pi} a β_{zi} úhly v rovině β odpovídající okamžitým polohám ohrožující střely OS v rovinách maxim vyzařovacích diagramů antén mikrovlnné předzávory PZ a hlavní mikrovlnné závory HZ .

Výše uvedené rovnice jsou jednoduše řešitelné jen pro $\Phi = \beta_{pi} = \beta_{zi} = \pi/2$, kdy přechází na rovnice (1) a (2) a lze z nich snadno určit v_m a Ψ . Jinak jsou v nich další neznámé Φ , β_{pi} a β_{zi} . Pro určení všech neznámých je nutné využít měření z více segmentů S_k dvojité mikrovlnné závory vedle sebe, využít měření vzdáleností radarový senzor-ohrožující střela, pokud jsou k dispozici, a využít měření některých parametrů z jiných senzorů, například měření azimutu z přehledového radaru.

Při výpočtu parametrů ohrožující střely OS je nutné počítat s tím, že některé vstupní parametry není možné určit s dokonalou přesností a že vypočtené parametry mohou být zatíženy takovými chybami, že výsledky nebudou prakticky použitelné. Jedná se například o měření dopplerovských frekvencí f_{dpi} a f_{dzi} , které se obvykle získávají ze změřených záznamů radarových senzorů pomocí rychlé Fourierovy transformace FFT. Přesnost určení dopplerovských frekvencí závisí přímo úměrně na době, po kterou je možné vzorky záznamu integrovat. Pro velmi rychle letící střely je doba integrace vždy omezená a omezená je proto i přesnost určení f_{dpi} a f_{dzi} . Možnosti výpočtů parametrů ohrožujících střel OS je tedy nutné řešit pro konkrétní konfiguraci systému aktivní ochrany, nutností je komplexní rozbor chyb. Navržená koncepce dvojité mikrovlnné závory ale výše opsané výpočty obecně umožňuje.



Na ³obr. 5 je znázorněno blokové schéma obvodů pro zpracování signálů výše popsané sestavy dvojité mikrovlnné závory.

Jak bylo již uvedeno, každý segment dvojité mikrovlnné závory se skládá ze dvou radarových senzorů, a to z prvního radarového senzoru RSZ_i, který je součástí hlavní mikrovlnné závory HZ a z druhého radarového senzoru RSP_i který je součástí mikrovlnné předzávory PZ. Přitom mikrovlnné předzávory PZ i hlavní mikrovlnné závory HZ používají jednu nebo dvě separátní antény, a to dle toho, jaké typy radarových senzorů jsou použity. Mohou být použity monostatické radary, které slučují vysílané i přijímané signály radarového senzoru do jedné antény. V případě bistatických radarů jsou ke každému radarovému senzoru připojeny dvě antény, a to jedna separátní anténa pro vysílané signály a jedna separátní anténa pro přijímané signály. Každá mikrovlnná předzávora PZ i-tého segmentu S_i obsahuje druhý anténní systém ASP_i, který se dle výše uvedeného může skládat z jedné nebo ze dvou separátních antén. Stejně tak každá hlavní mikrovlnná závora HZ i-tého S_i segmentu obsahuje první anténní systém ASZ_i, který se skládá z jedné nebo ze dvou separátních antén. Ke každému druhému anténnímu systému ASP_i je připojen i-tý radarový senzor RSP_i mikrovlnné předzávory PZ, ke každému prvnímu anténnímu systému ASZ_i je připojen i-tý radarový senzor RSZ_i hlavní mikrovlnné závory HZ. Druhý anténní systém ASP_i mikrovlnné předzávory PZ, první anténní systém ASZ_i hlavní mikrovlnné závory HZ spolu radarovým senzorem RSP_i mikrovlnné předzávory PZ a radarovým senzorem RSZ_i hlavní mikrovlnné závory HZ tvoří jeden segment dvojité mikrovlnné závory. Okolí chráněného bojového vozidla BV je pokryto pomocí sestavy n takových segmentů. Výstupy všech druhých radarových senzorů RSP_i mikrovlnné předzávory PZ i prvních radarových senzorů RSZ_i hlavní mikrovlnné závory HZ jsou připojeny na vstupy jednotky JDZ digitálního zpracování. Pokud jsou výstupy druhých radarových senzorů RSP_i předzávory PZ i prvních radarových senzorů RSZ_i hlavní závory HZ analogové, jsou použity analogové vstupy jednotky JDZ digitálního zpracování vybavené A/D převodníky ADC. Pokud jsou výstupy použitých radarových senzorů digitální, jsou použity datové vstupy jednotky JDZ datového zpracování.

Na ³obr. 6 je znázorněn postup signálového zpracování v jednotkách JDZ digitálního zpracování. Její vstupy mohou být buď datové, nebo analogové. Datové



vstupy INP_{di} mikrovlnných předzávor PZ a datové vstupy INZ_{di} hlavních mikrovlnných závor HZ jsou napojeny přímo na další obvody zpracování dat. Signály z m případných analogových výstupů druhých radarových senzorů RSP_i mikrovlnných předzávor PZ i hlavních mikrovlnných závor HZ jsou nejprve podrobeny analogově-digitální konverzi v A/D převodnicích ADC . Data z radarových senzorů v digitální formě jsou dále zpracovávána v blocích PD přípravy dat, kde je obvykle prováděna decimace, interpolace nebo filtrace. Na tyto bloky PD přípravy dat navazují bloky FFT rychlé Fourierovy transformace, které provádí spektrální analýzu. Z takto vypočtených dat se v blocích DFA dopplerovských frekvencí a amplitud provádí výpočet příslušných dopplerovských frekvencí a amplitud signálů. Paralelně se v blocích VV výpočtu vzdáleností provádí výpočet okamžitých hodnot vzdáleností radarový senzor-ohrožující střela, a to v případě, že to data z použitých radarových senzorů umožňují. Všechna výše popsaná data ze všech radarových senzorů jsou přivedena do vyrovnávací paměti VP , která pro další výpočty zaznamenává nejprve data z mikrovlnných předzávor PZ a následně i z hlavních mikrovlnných závor HZ . V navazujícím programovém bloku IOS identifikace ohrožujících střel je prováděna identifikace střel zachycených radarovými senzory. Paralelně jsou v programovém bloku POS počítány další parametry ohrožujících střel a v programovém bloku GGG generace spouštěcích signálů jsou generovány signály pro aktivaci protistřel. Pokud programové vybavení předmětné dvojité mikrovlnné závory na základě výše popsaných výpočtů v bloku VAP vyhodnocení a aktivace protistřely vyhodnotí, že na bojové vozidlo BV letí ohrožující střela OS , tak ve vhodný okamžik vhodným směrem odpálí protistřelu.

Určitou nevýhodou výše popsaného řešení je to, že anténní systémy ASP_i mikrovlnných předzávor PZ a anténní systémy ASZ_i hlavních závor HZ jsou vůči jednoduché mikrovlnné závoře zdvojené a zabírají na bojovém vozidle BV větší místo, což může být v některé aplikaci problematické. Proto je možné ve výhodném provedení tyto dva anténní systémy sloučit do jednoho s tím, že jsou použity speciální antény $AFZM$ s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů. U tohoto typu antén závisí úhel maxima vyzařování na pracovní frekvenci, viz, ~~obr.~~ ⁵obr. 7. Pokud jsou k anténám tohoto typu sloučeny dva radarové senzory pracující na dvou různých vhodných frekvencích, tak se výsledné zařízení chová jako dvojitá mikrovlnná závora dle ~~obr.~~ ⁵obr. 2, a to při použití polovičního počtu antén. Obecné



blokové schéma takové sestavy pro bistatickou strukturu použitých radarových senzorů je znázorněno na Obr. 8. V zapojení jsou použity dvě antény AFZM s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů a dva radarové senzory skládající se z vysílačů pracujících na dvou různých frekvencích. Přitom vysílač TXP mikrovlnné předzávory PZ a přijímač RXP mikrovlnné předzávory PZ pracují na frekvenci f_p a vysílač TXZ hlavní mikrovlnné závory HZ a přijímač PXZ hlavní mikrovlnné závory HZ pracují na frekvenci f_z . Vzhledem k tomu, že přijímače radarových senzorů používají koherentní zpracování, je z vysílače TXP mikrovlnné předzávory PZ do přijímače RXP mikrovlnné předzávory PZ veden referenční signál REFP s frekvencí f_p a z vysílače TXZ hlavní mikrovlnné závory HZ je do přijímače RXZ hlavní mikrovlnné závory HZ veden referenční signál REFZ s frekvencí f_z . Signály vysílače TXP mikrovlnné předzávory PZ a vysílače TXZ hlavní mikrovlnné závory HZ pracujících na frekvencích f_p a f_z jsou prvním slučovacím/dělicím obvodem S/D1 sloučeny do jedné vysílací antény AFZM s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů. Tuto anténu lze přitom navrhnout tak, že na frekvenci f_p směřuje maximum vyzařovacího diagramu do potřebného směru mikrovlnné předzávory PZ a na frekvenci f_z směřuje maximum vyzařovacího diagramu do potřebného směru hlavní mikrovlnné závory HZ.

Identické vlastnosti má přijímací anténa AFZM s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů. Výstup přijímací antény je druhým slučovacím/dělicím obvodem S/D2 rozdělen na vstupy přijímačů, přičemž přijímač RXP mikrovlnné předzávory PZ pracuje na frekvenci f_p a na jeho výstupu jsou výstupní signály OUTP mikrovlnné předzávory PZ a přijímač RXZ hlavní mikrovlnné závory HZ pracuje na frekvenci f_z a na jeho výstupu jsou signály OUTZ hlavní mikrovlnné závory HZ. To vše při použití jedné vysílací a jedné přijímací antény, přičemž tyto antény mohou být realizovány svisle uchycenými relativně tenkými podlouhlými pásky. Na bojovém vozidle BV proto zabírají podstatně méně místa, než celkem čtyři různě skloněné antény při standardním provedení dvojité mikrovlnné závory.

Na Obr. 9 je uvedeno blokové schéma dvojité mikrovlnné závory s anténami AFZM s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích charakteristik v monostatickém zapojení. Na rozdíl od provedení s bistatickými radarovými senzory dle Obr. 8, je v tomto zapojení použit anténní slučovací člen AS, který slučuje výstup vysílacího



bloku a vstup přijímacího bloku do jedné antény. Výhodou monostatických radarů oproti bistatickým radarům je potřeba polovičního počtu antén, nevýhodou je obvykle výrazně nižší izolace mezi vysílacím a přijímacím blokem, což vede často na nižší vysílaný výkon a nižší dosah.

Průmyslová využitelnost

Mikrovlnnou dvojitou závorku lze použít v systémech aktivní ochrany bojových vozidel nebo jiných objektů, a to pro detekci a měření ohrožujících protipancéřových střel, určení jejich horizontální polohy ve vztahu ke chráněnému vozidlu, pro generování spouštěcích signálů pro aktivaci vhodné prostistřely nebo protistřel, nebo pro provedení identifikace ohrožující střely. Vynález lze použít i pro monitorování pohybu předmětů v okolí jiných chráněných objektů.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Mikrovlnný systém s rozšířenou schopností detekovat, identifikovat a lokalizovat pohybující se cíle mající hlavní mikrovlnnou závoru (HZ) tvořenou alespoň jedním prvním radarovým senzorem (RSZ_i) opatřeným prvním anténním systémem (ASZ_i) tvořeným vysílací a přijímací anténou nebo společnou anténou pro vysílač i přijímač a kde se tento první radarový senzor (RSZ_i) skládá z mikrovlnného vysílače (TXZ) a mikrovlnného přijímače (RXZ), kde první radarové senzory (RSZ_i) mají vyzařovací diagramy ve vertikální rovině úzké a v horizontální rovině široké a jsou umístěny nad chráněnou částí bojového vozidla (BV) ve výšce (h_a), která je větší než výška (h_2) chráněné části daného bojového vozidla (BV) a orientovány tak, že osy vyzařovacích diagramů antén jsou ve vertikální rovině skloněny pod úhlem (α_z) v rozmezí 20° až 70° vzhledem ke svislici procházející stěnou chráněné části bojového vozidla (BV) v místě, kde jsou antény daného prvního radarového senzoru (RSZ_i) umístěny a zároveň osy vyzařovacích diagramů antén v horizontální rovině v tomto místě svírají se stěnou bojového vozidla (BV) úhel (ϵ) v rozmezí 20° až 160° , přičemž počet a rozmístění prvních radarových senzorů (RSZ_i) je zvolen tak, že se vyzařovací diagramy jim příslušejících antén v horizontální rovině částečně překrývají a výstup každého prvního radarového senzoru (RSZ_i) je v případě, je-li digitální, přímo, a v případě, je-li analogový nízkofrekvenční, tak přes jemu příslušející A/D převodník (A/D_i) připojen na jednotku (JDZ) digitálního zpracování, **vyznačující se tím, že každá hlavní mikrovlnná závořa (HZ) je doplněná mikrovlnnou předzávořou (PZ) tvořenou druhými radarovými senzory (RSP_i) opatřenými druhými anténními systémy (ASP_i) a každá dvojice vytváří dvojitou mikrovlnnou závořu, kde antény druhých radarových senzorů (RSP_i) mikrovlnné předzávořy (PZ) mají rovněž vyzařovací diagramy ve vertikální rovině úzké a v horizontální rovině široké a jsou orientovány tak, že osy vyzařovacích diagramů antén druhého anténního systému (ASP_i) jsou ve vertikální rovině skloněny pod úhlem (α_p) o 10° až 30° větším než je hodnota úhlu (α_z), avšak vždy menším než je 90° , a zároveň osy vyzařovacích diagramů antén druhého anténního systému (ASP_i) v horizontální rovině svírají se stěnou bojového vozidla (BV) rovněž úhel (ϵ)**



v rozmezí 20° až 160° , přičemž počet a rozmístění takto vytvořených segmentů nad chráněnou částí bojového vozidla (BV) je zvolen tak, že se vyzařovací diagramy jim příslušejících antén v horizontální rovině částečně překrývají, výstupy všech druhých radarových senzorů (RSP_i) mikrovlnné předzávory (PZ) jsou analogicky jako výstupy všech prvních radarových senzorů (RSZ_i) hlavní mikrovlnné závory (HZ) podle jejich povahy přímo nebo přes A/D převodníky (ADC) připojeny na vstupy jednotky (JDZ) datového zpracování, kde tato jednotka (JDZ) datového zpracování je na svém vstupu tvořena řetězcí, jejichž počet odpovídá dvojnásobku segmentů tvořených hlavní mikrovlnnou závorou (HZ) a mikrovlnnou předzavorou (PZ), a které sestávají z bloku (PD) přípravy dat, na které navazují bloky (FFT) rychlé Fourierovy transformace, jejichž výstup je připojen k vyrovnávací paměti (VP) jednak přímo, jednak přes blok (DFA) dopplerovských frekvencí a amplitud a jednak přes blok (VV) výpočtu vzdáleností, a tato vyrovnávací paměť (VP) je dále přes paralelně připojené bloky, a to programový blok (IOS) identifikace ohrožujících střel, programový blok (POS) výpočtu parametrů ohrožujících střel a programový blok (GGS) generace spouštěcích signálů propojen s blokem (VAP) vyhodnocení a aktivace protistřely.

2. Mikrovlnný systém podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** osy vyzařovacích diagramů antén prvního anténního systému (ASZ_i) jsou ve vertikální rovině skloněny pod úhlem (α_z) 45° vzhledem ke svislici procházející stěnou chráněné části vozidla v místě, kde je anténa daného radarového senzoru (RSZ_i) umístěna a zároveň osy horizontálních vyzařovacích diagramů antén hlavní mikrovlnné závory (HZ) i mikrovlnné předzávory (PZ) v tomto místě svírají se stěnou vozidla úhel $\varepsilon = 90^\circ$.
3. Mikrovlnný systém podle nároků 1 nebo 2, **vyznačující se tím, že** mikrovlnný vysílač (TXP) a přijímač (RXP) mikrovlnné předzávory (PZ) mají pracovní frekvenci (f_p) a mikrovlnný vysílač (TXZ) a přijímač (RXZ) hlavní mikrovlnné závory (HZ) mají pracovní frekvenci (f_z) různou od frekvence (f_p), přičemž výstupy vysílače (TXP) mikrovlnné předzávory (PZ) a vysílače (TXZ) hlavní mikrovlnné závory (HZ) jsou sloučeny přes první slučovací/dělicí obvod (S/D1) do jediné vysílací antény (AFZM) s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů a vstupy přijímače (RXP) mikrovlnné předzávory (PZ)

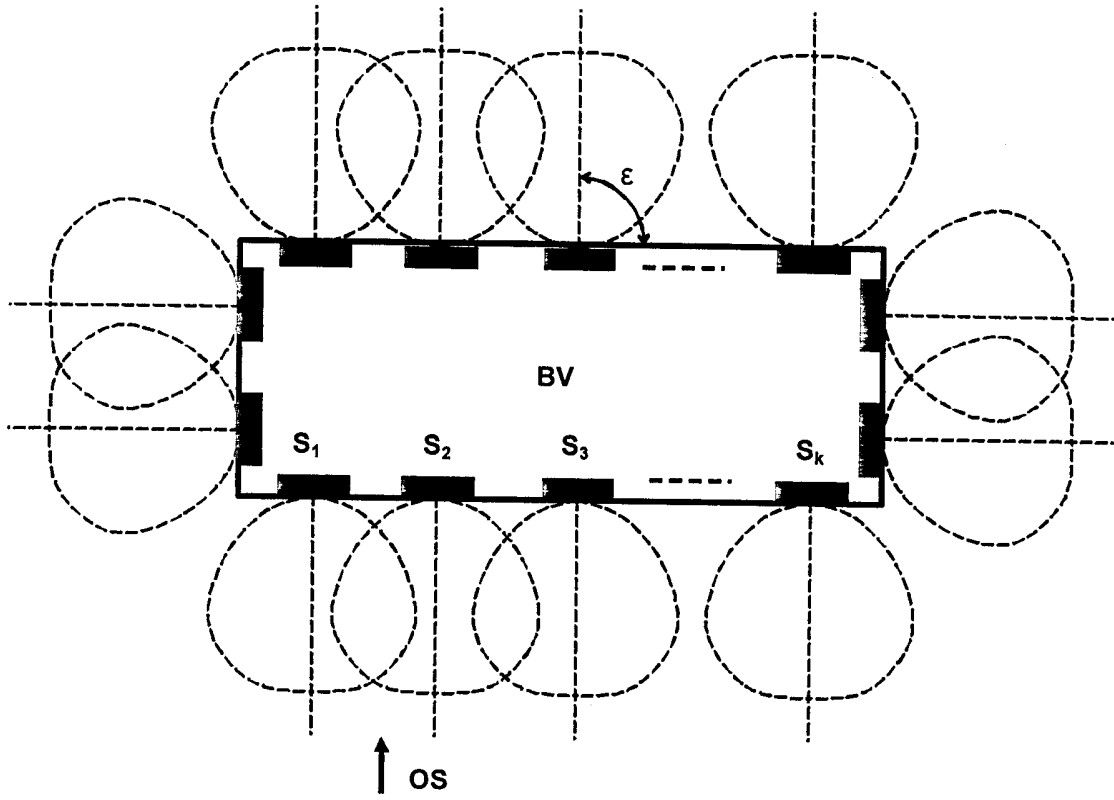


a přijímače (RXZ) hlavní mikrovlnné závory (HZ) jsou spojeny s výstupy druhého slučovacího/dělicího obvodu (S/D2) připojeného svým vstupem na jedinou přijímací anténu (AFZM) s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů.

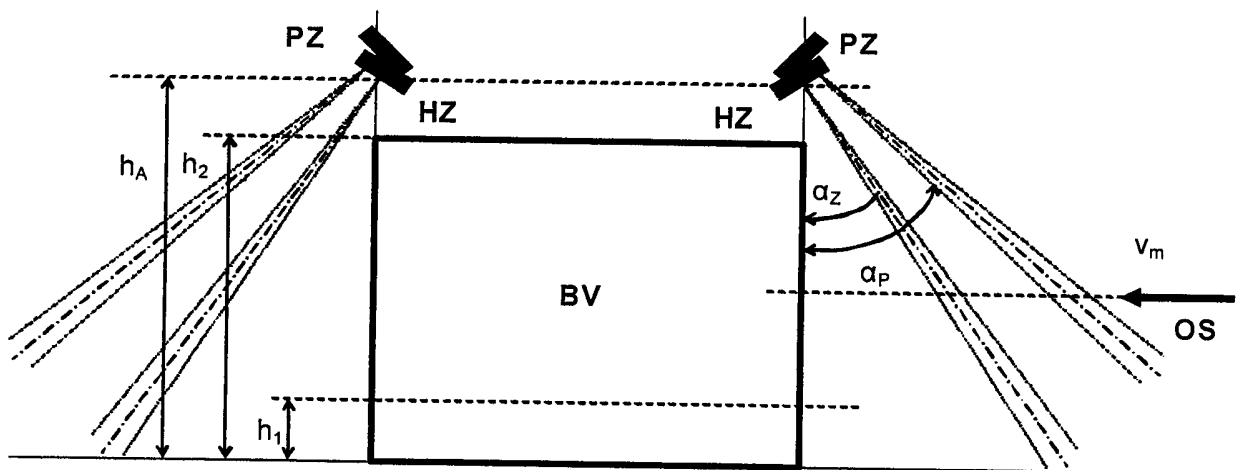
4. Mikrovlnný systém podle nároku 3, **vyznačující se tím, že** výstup prvního slučovacího/dělicího obvodu (S/D1) vysílacího bloku a výstup druhého slučovacího/dělicího obvodu (S/D2) přijímacího bloku jsou přes anténní slučovač (AS) sloučeny do jediné vysílací/přijímací antény (AFZM) s frekvenční závislostí maxim vyzařovacích diagramů.
5. Mikrovlnný systém podle kteréhokoli z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím, že** jednotky (JDZ) digitálního zpracování dat jsou realizovány kombinací analogově-digitálních převodníků a programovatelných hradlových poli FPGA.

~~1/5~~
1/5

2013-714



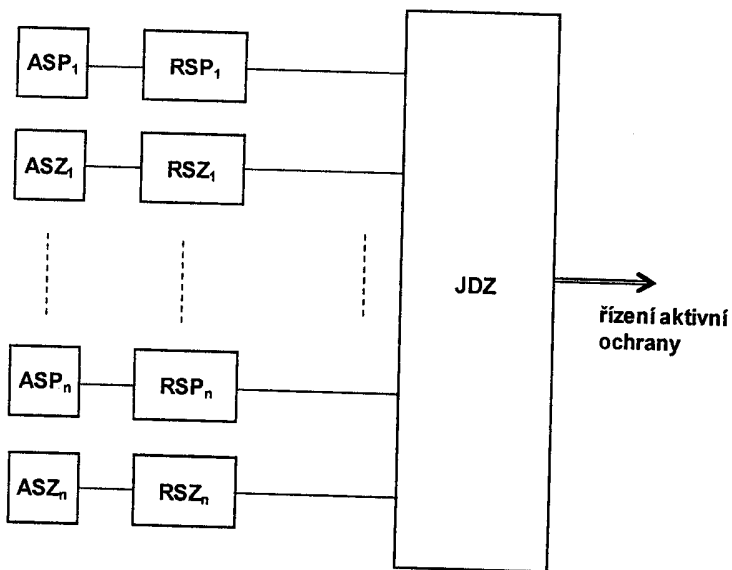
Obr. 1



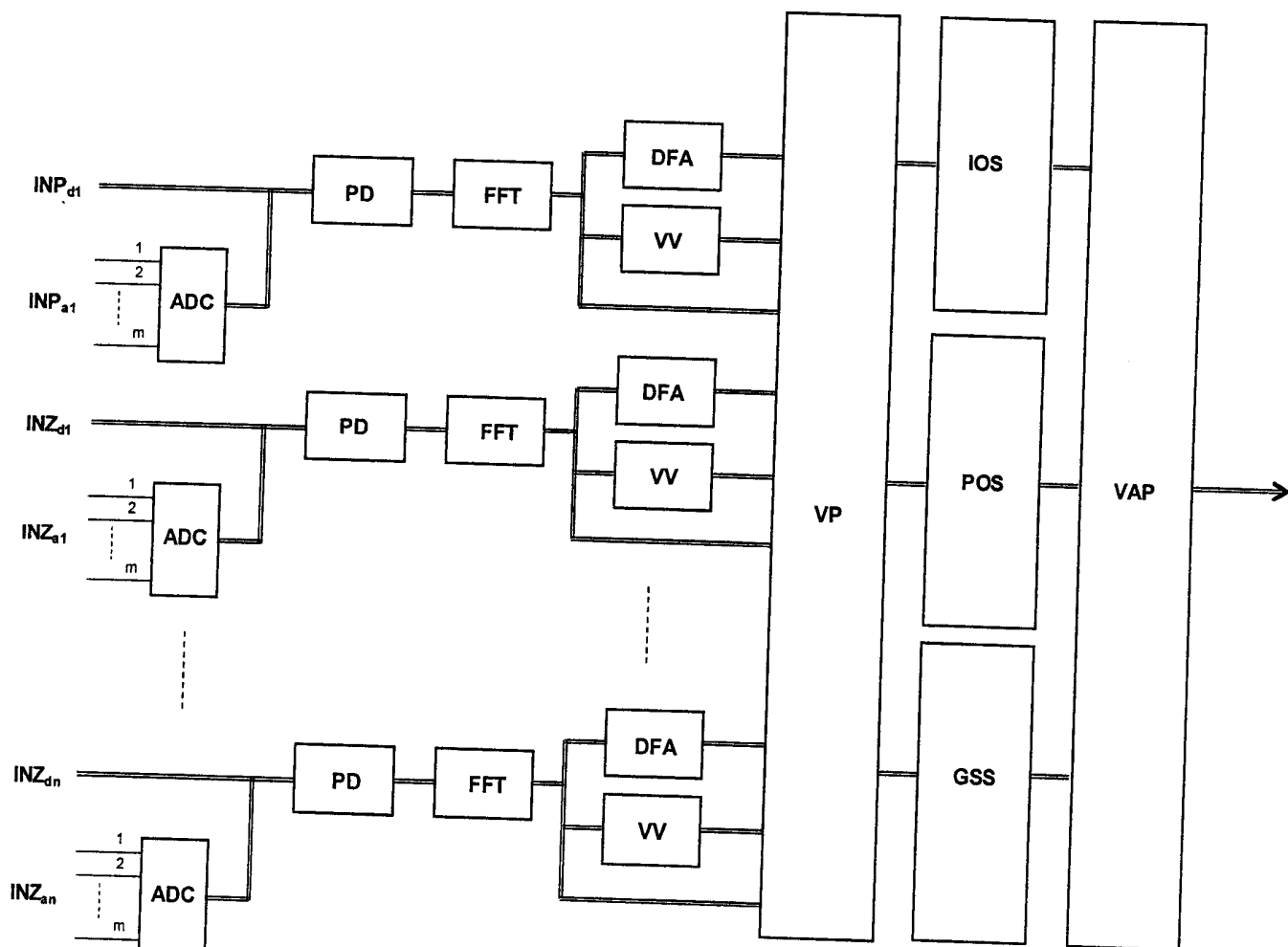
Obr. 2

2/95 3/5

2013-714



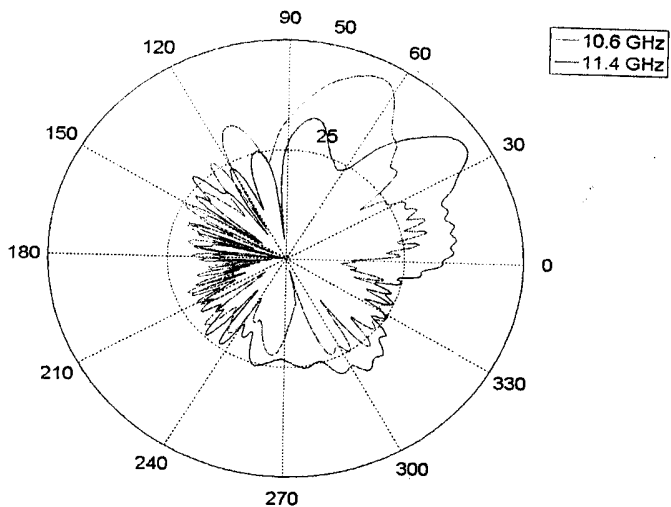
Obr. 5



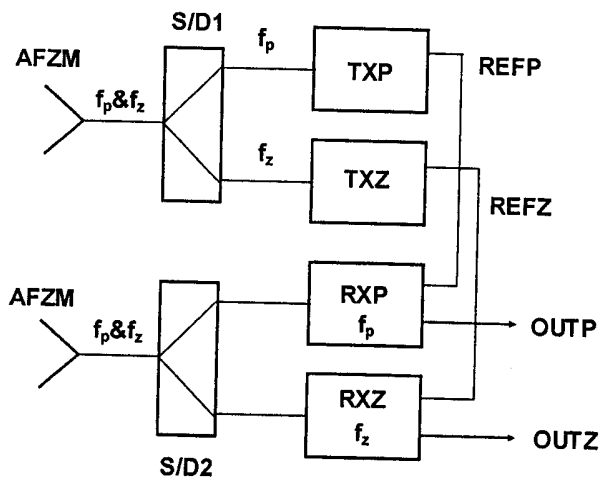
Obr. 6

4/5 4/5

2013-714



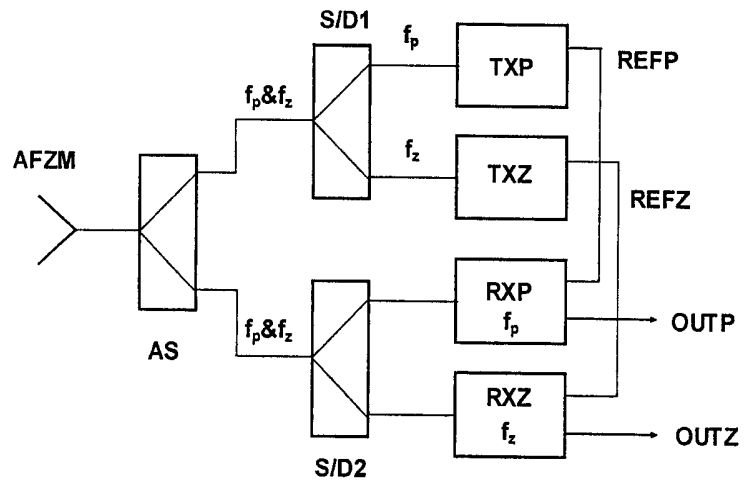
Obr. 7



Obr. 8

5/10/5 5/5

2013-714



Obr. 9