

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

307 947

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01S 7/40

(2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2018-324**
(22) Přihlášeno: **02.07.2018**
(40) Zveřejněno: **04.09.2019**
(Věstník č. 36/2019)
(47) Uděleno: **25.07.2019**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **04.09.2019**
(Věstník č. 36/2019)

(56) Relevantní dokumenty:

R. Abou-Jaoude; M. Grace: Test systems for automotive radar; VTC2000-Spring 2000 IEEE 51st Vehicular Technology Conference Proceedings (Cat. No.00CH37026), Tokyo, Japan; 15-18 May 2000; DOI: 10.1109/VETECS.2000.851506.
GB 2552218 A; WO 2016025683 A; US 2004012517 A; WO 0022454 A; WO 9908129 A.

(73) Majitel patentu:

České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,
Dejvice, CZ

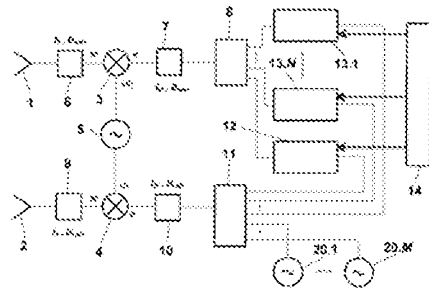
(72) Původce:

doc. Ing. Přemysl Hudec, CSc., Praha 5, Stodůlky,
CZ

(74) Zástupce:

Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, 281 03
Chotutice

druhého děliče (11) jsou zapojeny výstupy generátorů záměrných rušivých signálů (20.1) až (20.M).



(54) Název vynálezu:

**Simulátor radarových cílů pro
automobilové radary s širokým rozsahem
simulovaných vzdáleností a přidavnými
funkcemi**

(57) Anotace:

Simulátor obsahuje přijímací anténu (1) a vysílací anténu (2). Výstup přijímací antény (1) je přes vstupní filtr (6) propojen s bránou (RF) vysokofrekvenčního signálu prvního směšovače (3), jehož brána (IF) mezifrekvenčního signálu je připojena na vstup prvního mezifrekvenčního filtru (7). Na vstup vysílací antény (2) je připojena přes výstupní filtr (9) brána (RF) vysokofrekvenčního signálu druhého směšovače (4), na jehož bránu (IF) mezifrekvenčního signálu je připojen výstup druhého mezifrekvenčního filtru (10). Brány (LO) prvního směšovače (3) a druhého směšovače (4) jsou propojeny s prvním místním oscilátorem (5) s výstupní frekvencí f_{LO1} . Výstup prvního mezifrekvenčního filtru (7) je propojen se vstupem prvního děliče (8). Vstup druhého mezifrekvenčního filtru (10) je propojen s výstupem druhého děliče (11) zapojeného jako slučovač. První dělič (8) má jeden výstup propojen s blokem (12) digitálního zpracování signálu a má další výstupy, kde na každý z nich je připojen vstup bloku (13.1) až (13.N) analogového zpracování signálu. Výstup bloku (12) digitálního zpracování signálu a výstupy bloků (13.1) až (13.N) analogového zpracování signálu jsou propojeny se vstupy druhého děliče (11) a jejich řídicí vstupy jsou propojeny s výstupy řídicího obvodu (14). Na vstupy

CZ 307947 B6

Simulátor radarových cílů pro automobilové radary s širokým rozsahem simulovaných vzdáleností a přídavnými funkcemi

5 Oblast techniky

Předkládané řešení se týká simulátorů cílů pro automobilové radary schopných simulovat cíle v širokém rozsahu vzdáleností od jednotek metrů až po stovky metrů a s dalšími přídavnými funkcemi zahrnujícími zvýšené potlačení parazitního vyzařování a možností injekce záměrných testovacích rušivých signálů

Dosavadní stav techniky

15 Radarová technika patří mezi rychle se rozvíjející obory elektroniky. Hlavním důvodem je to, že vedle tradičních aplikací ve vojenské a bezpečnostní technice velmi rychle roste i počet radarů používaných v civilním sektoru, zejména v automobilové technice. Tam se používají pro detekci překážek a kolem jedoucích vozidel a přispívají k zásadnímu zvýšení bezpečnosti provozu. Perspektivně budou základními senzory i pro autonomní vozidla, která budou schopna jezdit bez
20 řidiče.

S vývojem každého radaru je spojeno rozsáhlé ověřování jeho funkce. To je mimořádně významné i při vývoji automobilových radarů. Primárně se ověřují základní funkce radaru, tedy schopnost detekovat předpokládané cíle a měřit jejich vzdálenosti, rychlosti a aktuální polohy. V
25 automobilové technice je takových testů násobně více. Důvodem je to, že existuje téměř nekonečné množství různých scénářů vztahu radar-cíl nebo radar-cíle, a je nutné zkoumat, jak na tyto scénáře bude vozidlo vybavené často i několika radary a dalšími senzory reagovat jako celek. I výrobci automobilů otevřeně deklarují, že prověření možných scénářů může znamenat až milióny kilometrů ujetých při testování na polygonu nebo i v běžné silniční praxi, což není úplně
30 jednoduše zvládnutelné. Proto se souběžně intenzivně vyvíjí technika simulátorů radarových cílů.

Simulátory radarových cílů jsou zařízení, která lze postavit do vhodné vzdálenosti od testovaného radaru a umí simulovat cíl nebo i několik cílů, které jsou v úplně jiné vzdálenosti, v případě automobilových radarů od cca 2 m až do 200 m, a vykazovat i definovanou rychlost pohybu.
35 Vzdálenost simulátoru stačí relativně malá a je dána vzdálenou zónou použitých antén. Pro automobilové radary pracující v pásmu 76-81 GHz je vhodná vzdálenost cca 0,5 až 1 m.

Radary lze tak testovat i v laboratoři, a přitom vytvářet i určité, zatím spíše jednodušší, scénáře pohybu. Například to, že se vozidlo přibližuje k pevné překážce a testovat, zda začne intenzivně
40 brzdít. Pokud je simulátor cílů doplněn funkcí změny polohy, například otáčením v ohnisku vhodného reflektoru, tak do určité míry může simulovat i boční pohyb. Rozsah simulovatelných scénářů lze pak významně rozšířit, například o předjíždění jiného vozidla nebo o kolmý příjezd jiného vozidla na křižovatku před vozidlem s testovaným radarem.

45 V základní struktuře je simulátor cílů obvykle vybaven dvěma anténami, z nichž jedna je přijímací anténa 1 a druhá je vysílací anténa 2. Přijímací anténa 1 přijímá signály vysílané testovaným radarem. Vnitřní obvody simulátoru cílů musí realizovat následující funkce: Signál je nutné posunout v čase, což zajišťuje požadovanou vzdálenost simulovaného cíle od radaru. Dále je nutné signál posunout ve frekvenci, což zajišťuje nezbytný dopplerovský frekvenční posuv daný radiální složkou rychlosti simulovaného cíle vzhledem k radaru. Nakonec se musí signál
50 zesílit nebo zeslabit z důvodu zajištění odrazu signálu v definované vzdálenosti od různě velkých a různě strukturovaných simulovaných cílů vykazujících i určitou simulovanou hodnotu RSC - radar cross-section.

55 Ve většině případů různých konstrukcí simulátorů cílů je situace komplikovaná tím, že výše

popsané úpravy signálu není možné provádět přímo v pracovním frekvenčním pásmu radaru $f_0 \pm B_{rad}/2$, kde f_0 je střední frekvence pracovního pásma radaru a B_{rad} je šířka pracovního frekvenčního pásma testovaného radaru. Důvodem je to, že pracovní frekvenční pásmo je často tak vysoké, že výše popsané úpravy signálu v něm není možné realizovat. Příkladem mohou být
5 opět automobilové radary, které pracují ve frekvenčním pásmu 76-81 GHz. Na těchto frekvencích nejsou pro přímou úpravu signálů k dispozici potřebné obvody, popřípadě mají nepříjemně velké útlumy. Proto musí být ve většině případů provedena konverze do významně nižšího mezifrekvenčního pásma $f_{IF} \pm B_{rad}/2$, kde f_{IF} je střední frekvence tohoto mezifrekvenčního pásma a platí $f_{IF} \ll f_0$. V pásmu $f_{IF} \pm B_{rad}/2$ jsou úpravy signálu snadněji proveditelné, viz Obr. 1 a
10 2. Vstupní signál v pásmu $f_{IF} \pm B_{rad}/2$ je přiveden na RF bránu prvního směšovače 3, signál místního oscilátoru 5 s frekvencí f_{LO} je přiveden na LO bránu prvního směšovače 3, výstupní signál v pásmu $f_{IF} \pm B_{rad}/2$ je odebrán z IF brány prvního směšovače 3, přičemž platí $f_{IF} = f_0 - f_{LO}$ nebo $f_{IF} = f_{LO} - f_0$. Po provedení potřebných úprav je nutné signál opět konvertovat zpět do pracovního pásma radaru $f_0 \pm B_{rad}/2$ a vyslat zpět k testovanému radaru. Vstupní signál up-
15 konvertoru v pásmu $f_{IF} \pm B_{rad}/2$ je přiveden na IF bránu druhého směšovače 4, signál místního oscilátoru 5 s frekvencí f_{LO} je přiveden na LO bránu druhého směšovače 4, výstupní signál v pásmu $f_0 \pm B_{rad}/2$ je odebrán z RF brány druhého směšovače 4, přičemž platí $f_{RF} = f_{IF} + f_{LO}$. Obě frekvenční konverze jsou provedeny s pomocí stejného místního oscilátoru 5. Vstupní a výstupní signály v pásmu $f_0 \pm B_{rad}/2$ jsou obvykle filtrovány vstupním filtrem 6 a výstupním filtrem 9,
20 mezifrekvenční signály v pásmu $f_{IF} \pm B_{rad}/2$ jsou filtrovány prvním mezifrekvenčním filtrem 7 a druhým mezifrekvenčním filtrem 10, které jsou propojeny s blokem zpracování signálu.

Základní postupy zpracování signálů v simulátorech cílů je možné rozdělit na analogové a digitální. Analogovým zpracováním signálu se rozumí to, že výše popsané funkce jsou prováděny analogově. Schéma provedení s blokem 13.1 analogového zpracování signálu je uvedeno na Obr.
25 1.

Posunutí v čase je zde prováděno v analogových obvodech 13.1.1 časového zpoždění. Ty jsou většinou realizovány pomocí úseků vysokofrekvenčních vedení vhodné délky nebo v obvodech s
30 povrchovou akustickou vlnou SAW nebo prostorovou akustickou vlnou BAW. Posunutí ve frekvenci je prováděno v analogových obvodech 13.1.2 dopplerovského posuvu f_D . Jako obvody dopplerovského posuvu f_D lze použít analogové kvadrurní násobičky, což mohou být IQ směšovače, které jsou na svých IF vstupech buzeny správně náfázovanými nízkofrekvenčním signály, jejichž frekvence odpovídá požadovanému frekvenčnímu posuvu, nebo fázovací obvody,
35 u kterých lze v čase fázi rychle měnit v rozsahu 0 - 360°. Jako obvody 13.1.3 proměnného zisku lze použít kaskády VF zesilovačů a nastavitelných VF atenuátorů.

Simulátory cílů s analogovým zpracováním signálů mají významné výhody. Jsou relativně jednoduché a mohou být proto relativně levné. Mohou být velmi širokopásmové, mohou tedy
40 zpracovat signály širokopásmově vyzařujících radarů. Mají velmi nízkou latenci, tedy časové zpoždění v obvodech simulátoru cílů a mohou tedy simulovat i velmi blízké cíle.

Simulátory cílů s analogovým zpracováním signálů mají ale také nezanedbatelné nevýhody. Pro simulaci cíle ve vzdálenosti R je potřeba VF přenosové vedení délky blízké se $2R$, tedy pro
45 simulaci cíle ve vzdálenosti 20 m je nutné zařadit do kaskády vedení, většinou koaxiální, délky typ. 30 až 40 m. Použité koaxiální kabely přitom nemohou být příliš tenké, ty obvykle vykazují nepříjemně vysoké hodnoty útlumu. Koaxiální kabely s nízkým útlumem mají obvykle větší průměry, což v důsledku může nepříjemně zvyšovat rozměry simulátoru. Proto se v tomto provedení obvykle konstruují simulátory cílů se simulovanými vzdálenostmi R do cca 30 m. Pro
50 větší vzdálenosti lze použít zpožďovací obvody SAW nebo BAW, ty však mají obvykle jen omezenou šířku pásma. Nebo lze použít optická vlákna, která mají velmi malý útlum i rozměry. Každé optické vlákno však vyžaduje zapojení frekvenčně velmi širokopásmových převodníků elektrický signál – optický signál a optický signál – elektrický signál. Tyto převodníky mohou být nákladné a opět zvětšují rozměry simulátoru cílů. Obvykle je možné v jednom analogovém
55 bloku simulovat jen jeden cíl, pro N cílů musí simulátor obsahovat N paralelně zapojených bloků.

To vede na příliš složité struktury a nepřijatelně velké rozměry. Analogové simulátory cílů proto pracují obvykle jen s 1 až 2 cíli.

Jako řešení většiny výše uvedených problémů analogových simulátorů cílů se s výhodou konstruují a používají simulátory cílů s digitálním zpracováním signálů v bloku 12 digitálního zpracování signálu, viz Obr. 2. Přijímaný signál v mezifrekvenčním pásmu je A/D převodníkem 12.1 převeden do digitální formy a všechny potřebné kroky zpracování signálu se realizují v digitálním signálovém procesoru 12.2 v digitální formě. Zpoždění signálu je provedeno v posuvných registrech. Posunutí ve frekvenci je provedeno vynásobením komplexní exponenciálou a zesílení, respektive zeslabení, je provedeno vynásobením amplitudy vhodným reálným číslem.

Po úpravě signálu v digitálním signálovém procesoru 12.2 je signál znovu převeden do analogové formy pomocí D/A převodníku 12.3 a pomocí vysílací antény 2 je vyslán zpět k testovanému radaru. Simulátory cílů s digitálním zpracováním signálů nabízí významné výhody. V digitálních posuvných registrech lze realizovat i velká zpoždění, simulovat lze běžně cíle ve vzdálenosti až km. Bez velkých problémů lze simulovat i více cílů.

Simulátory cílů s digitálním zpracováním signálů mají ale i určitá omezení. Významným omezením je zpracovatelná frekvenční šířka pásma daná zejména převodníky A/D a D/A. Současné automobilové radary pracují obvykle s šířkou pásma B_{rad} do 1000 MHz, což je současnými převodníky zvládnutelné. Přípravované verze však pracují s šířkou pásma B_{rad} až 4 GHz (77-81 GHz), což může být pro současné převodníky stále určitý problém. Patrně nejvýznamnějším omezením digitálních simulátorů cílů je ale latence digitální cesty. Latenci se rozumí základní časové zpoždění vznikající zejména v převodnicích A/D a D/A. Důsledkem tohoto jevu je to, že zařízení tohoto typu jsou schopná simulovat cíle až od určité vzdálenosti. Například pro celkovou latenci $t_L = 40$ ns je minimální $R_{min} = \frac{t_L c}{2} = 6$ m , což je již vzdálenost, která může být při simulaci významná.

Je znám dokument US 2004012517 A, který popisuje starší typ simulátoru cílů s čistě analogovým zpracováním signálů. Časové zpoždění signálů přijatých z testovaného radaru je realizováno pomocí zpožďovacího obvodu s tím, že může být pomocí přepínačů za sebou zařazeno více takových obvodů. Dle bližšího popisu v textu dokumentu se jedná o pevné zpožďovací obvody využívající povrchové akustické vlny, tedy o čistě analogové řešení. Nevýhodou tohoto řešení je, že zcela chybí digitální zpracování signálů, a že umožňuje simulaci jen jednoho cíle. Řešení také neumožňuje injekci záměrných rušivých signálů.

Zařízení dle WO 9908129 A představuje také čistě analogový simulátor cílů, a to v ještě jednodušší verzi, než je US 2004012517 A. Zpoždění je zde prováděno jen ve dvou pevných zpožďovacích obvodech přepínaných přepínači. V jednom stavu přepnutí je zařazen jen krátký úsek koaxiálního vedení, a výsledná vzdálenost simulovaného cíle je 7 m. V druhé poloze přepínače je zařazen zpožďovací obvod BAW, který umožňuje simulovat cíle ve vzdálenosti 120 m. Zařízení ani neprovádí dopplerovský frekvenční posuv, a je tedy použitelné jen pro simulaci nepohyblivých cílů. Neobsahuje větev s digitálním zpracováním signálů ani injekci záměrných rušivých signálů.

Dále existuje článek Abou-Jaoude R., Grace M.: Test Systems for Automotive Radar“, VTC200-Spring 2000 IEEE 51-st Vehicular Technology Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37026) Tokyo, Japan, 15-18 May 2000, DOI: 10.1110A/ETECS.2000.851506, který přináší velmi stručný popis základních principů automobilových radarů a popisuje simulátor cílů vyráběný firmou Anritsu. Dle parametrů se jedná o starší analogový typ umožňující nastavení vzdáleností 10 až 150 m s krokem 10 m. Pro nastavení simulovaných vzdáleností se používají přepínané zpožďovací obvody typu BAW. K dispozici je jen celková fotografie předmětného zařízení, vnitřní struktura popsána není.

V řešení dle WO 0022454 A lze nalézt blok digitálního zpracování signálů, ale i jistou formu bloku analogového zpracování signálů. Nastavení amplitud a dopplerovských frekvenčních posuvů signálů vysílaných zpět k testovanému radaru je ale provedeno pomocí analogových amplitudových a frekvenčních modulátorů. Zásadním rozdílem oproti předkládanému řešení je dále to, že místo děličů jsou pro rozdělení signálu do digitálního a analogového bloku a pro zpětné sloučení použity přepínače. Přitom amplitudový modulátor a frekvenční modulátor jsou společné pro analogový i digitální blok. Proto není možný současný provoz obou bloků a nelze simulovat současně cíle v blízké zóně a současně cíle ve větších a velkých vzdálenostech. Při přepnutí přepínačů na provoz analogového bloku je zapojen jen amplitudový modulátor a frekvenční modulátor. Analogový blok není proto plnohodnotný a umožňuje jen simulaci jednoho cíle na jedné pevné vzdálenosti. Vzhledem k použité kombinaci digitálního nastavení simulovaných vzdáleností a jen analogového nastavení amplitud a dopplerovských posuvů zpracovávaných signálů je počet současně nezávisle simulovatelných cílů velmi omezený, zcela plnohodnotně lze současně simulovat jen 2 cíle. Zařízení dle WO 0022454 také neumožňuje injekci silných rušivých signálů a testování odolnosti automobilových signálů vůči takovým stavům.

20 Podstata vynálezu

Výše uvedené nevýhody odstraňuje Simulátor radarových cílů pro automobilové radary s širokým rozsahem simulovaných vzdáleností a přídatnými funkcemi podle předkládaného řešení. Simulátor obsahuje přijímací a vysílací anténu. Výstup přijímací antény je přes vstupní filtr propojen se vstupem RF vysokofrekvenčního signálu prvního směšovače, jehož výstup (IF) mezifrekvenčního signálu je připojen na vstup prvního mezifrekvenčního filtru. Na vstup vysílací antény je připojen přes výstupní filtr výstup RF vysokofrekvenčního signálu druhého směšovače, na jehož vstup IF mezifrekvenčního signálu je připojen výstup druhého mezifrekvenčního filtru. LO vstupy prvního a druhého směšovače jsou propojeny s prvním místním oscilátorem s výstupní frekvencí f_{LO1} . Frekvence f_{LO1} je přitom zvolena tak, aby odpovídající první mezifrekvenční pásmo $f_{IF1} \pm B_{rad}/2$ leželo v pásmu frekvencí typicky mezi 1 a 10 GHz tak, aby v něm bylo možné snadno realizovat všechny funkce analogového zpracování signálů. Simulátor obsahuje bloky zpracování signálů.

Podstatou nového řešení je, že výstup prvního mezifrekvenčního filtru je propojen se vstupem prvního děliče, a vstup druhého mezifrekvenčního filtru je propojen s výstupem druhého děliče, který je zapojen jako slučovač. První dělič má jeden výstup propojen s blokem digitálního zpracování signálu, a kromě toho má další jeden nebo více výstupů, kde na každý z nich je připojen vstup jemu příslušejícího bloku analogového zpracování signálu. Výstup bloku digitálního zpracování signálu a výstupy bloků analogového zpracování signálu jsou propojeny se vstupy druhého děliče a jejich řídicí vstupy jsou propojeny s výstupy řídicího obvodu.

V dalším možném provedení simulátoru jsou na další vstupy druhého děliče připojeny výstupy až M generátorů záměrných rušivých signálů.

Ve výhodném provedení je výstup prvního děliče s blokem digitálního zpracování signálu propojen přes obvod tvořený třetím směšovačem pro realizaci konverze z $f_{IF1} \pm B_{rad}/2$ do základního pásma, což je frekvenční pásmo od 0 do $B_{rad}/2$, jehož vstup vysokofrekvenčního signálu je zapojen na výstup tohoto prvního děliče. Výstup mezifrekvenčního signálu třetího směšovače je zapojen přes první filtr základního pásma na vstup bloku digitálního zpracování signálu, jehož výstup je propojen přes druhý filtr základního pásma se vstupem mezifrekvenčního signálu čtvrtého směšovače. Čtvrtý směšovač realizuje konverzi ze základního pásma do prvního mezifrekvenčního pásma $f_{IF1} \pm B_{rad}/2$ a jeho výstup vysokofrekvenčního signálu je propojen se vstupem druhého děliče. Mezi vstupy LO třetího a čtvrtého směšovače je zapojen druhý místní oscilátor, který je nastavený na frekvenci f_{IF1} .

Kromě zabezpečení nízké latence přináší předmětné řešení i možnost snadného generování rušivých testovacích signálů. Vliv rušivých signálů se vyšetřuje u každého radaru, vyžadována je taková odolnost, která zabezpečí spolehlivou funkci i při předpokládaných nepříznivých podmínkách. V případě automobilových radarů se rušením rozumí zejména parazitní příjem radarových signálů vysílaných jinými automobily v okolí. Vzhledem k tomu, že vozidel se může vyskytnout v jednom místě, například na křižovatce, více, a každé z nich může mít více radarů, typicky 5 i více, je téměř jisté, že rušení může být intenzivní. To je nutné řešit obvodovými opatřeními na straně radarů i metodami zpracování signálů v radarech a ověřovat testováním. Laboratorní testování probíhá typicky tak, že je testovaný radar ozařován signálem z externí antény napojené na generátor schopný generovat signál odpovídající vysílání jiného radaru. Vzhledem k tomu, že automobilové radary pracují na velmi vysokých frekvencích 76-81 GHz, tak jsou generátory i ozařující antény velmi drahé. Předkládané řešení umožňuje k simulovaným cílům velmi snadno přičíst i větší počet různých rušivých signálů s tím, že ty jsou generovány generátory rušivých signálů na relativně nízkých frekvencích, takže jejich vytváření může být podstatně levnější. Další úspora je dána tím, že rušivé signály jsou vysílány vysílací anténou simulátoru cílů a nejsou potřeba žádné jiné mikrovlnné antény. Ve výhodné verzi s přídavnou konverzí signálu ve větvi s digitálním zpracováním do základního pásma je možné dosáhnout vyššího odstupu parazitního pronikání místního oscilátoru LO do výstupního signálu ze simulátoru cílů, než je tomu u standardního řešení s přímou konverzí do základního pásma.

Předkládané řešení spojuje výhody simulátorů cílů s analogovým zpracováním signálů a digitálním zpracováním signálů s tím, že analogové zpracování je s výhodou použito pro simulování blízkých cílů a digitální zpracování pro simulaci vzdálenějších a vzdálených cílů. Tento simulátor také umožňuje simulovat současně cíle v blízké zóně i cíle ve velkých vzdálenostech. Počet současně simulovaných cílů v blízké zóně je omezen počtem paralelně zapojených bloků analogového zpracování signálů, počet současně simulovaných cílů ve vzdálené zóně může být obecně vysoký. Další výhodou je, že zařízení umožňuje injekci silných rušivých signálů a testování odolnosti automobilových signálů vůči takovým stavům.

Objasnění výkresů

Na Obr. 1 je uvedeno schéma dosavadního stavu techniky s analogovým zpracováním signálu a na Obr. 2 je schéma představující dosud používané zapojení simulátoru s digitálním zpracováním signálu. Oba dva příklady byly popsány v dosavadním stavu techniky. Nové řešení simulátoru je uvedeno na Obr. 3 a jeho výhodné provedení představuje Obr. 4.

Příklady uskutečnění vynálezu

Základní schéma simulátoru radarových cílů pro automobilové radary s širokým rozsahem simulovaných vzdáleností a přídavnými funkcemi je uvedeno na Obr. 3. Simulátor má na svém vstupu přijímací anténu 1 a na výstupu vysílací anténu 2. Výstup přijímací antény 1 je přes vstupní filtr 6 s pracovním pásmem $f_0 \pm B_{rad+}/2$, kde f_0 je střední frekvence pracovního pásma testovaného radaru a B_{rad+} je šířka pracovního frekvenčního pásma filtru, která je stejná nebo o něco větší, typicky o 0 až 10 %, než šířka pracovního pásma testovaného radaru B_{rad} propojen s bránou RF vysokofrekvenčního signálu prvního směšovače 3. Brána IF mezifrekvenčního signálu prvního směšovače 3 je připojena na vstup prvního mezifrekvenčního filtru 7 s pracovním pásmem $f_{IF1} \pm B_{rad+}/2$, kde $f_{IF1} = f_0 - f_{LO1}$ nebo $f_{IF1} = f_{LO1} - f_0$ je střední frekvence mezifrekvenčního pásma. Na vstup vysílací antény 2 je připojena přes výstupní filtr 9 s pracovním pásmem $f_0 \pm B_{rad+}/2$ brána RF vysokofrekvenčního signálu druhého směšovače 4. Na bránu IF mezifrekvenčního signálu druhého směšovače 4 je připojen výstup druhého mezifrekvenčního filtru 10 s pracovním pásmem $f_{IF1} \pm B_{rad+}/2$. Brány LO prvního směšovače 3 a druhého směšovače 4 jsou propojeny s prvním místním oscilátorem 5 s výstupní frekvencí f_{LO1} . Výstup prvního mezifrekvenčního filtru

7 je propojen se vstupem prvního děliče 8, a vstup druhého mezifrekvenčního filtru 10 je propojen s výstupem druhého děliče 11, který je zapojen jako slučovač.

První dělič 8 má jeden výstup propojen s blokem 12 digitálního zpracování signálu a má další jeden nebo více výstupů, kde na každý z nich je připojen vstup jemu příslušejícího bloku 13.1 až 13.N analogového zpracování signálu. Výstup bloku 12 digitálního zpracování signálu a výstupy bloků 13.1 až 13.N analogového zpracování signálu jsou propojeny se vstupy druhého děliče 11 a jejich řídicí vstupy jsou propojeny s výstupy řídicího obvodu 14. V uvedeném schématu jsou dále na další vstupy druhého děliče 11 připojeny výstupy až M generátorů 20.1 až 20.M záměrných rušivých signálů.

Signály z testovaného radaru jsou přijímány vstupní anténou 1 a zpracované signály jsou zpět k radaru vyslány výstupní anténou 2. Protože obě zpracování musí být provedena ve výrazně frekvenčně nižším pásmu, než je pracovní pásmo radaru $f_0 \pm B_{rad}/2$, obsahuje řešení vstupní blok down-konvertoru a výstupní blok up-konvertoru. Blok down-konvertoru se skládá ze vstupního filtru 6, z prvního směšovače 3, který je na své bráně LO buzen signálem prvního místního oscilátoru 5 s výstupní frekvencí f_{LO1} , a prvního mezifrekvenčního filtru 7. Vstupní filtr 6 zabraňuje pronikání nežádoucích signálů do simulátoru cílů a také pronikání signálu prvního místního oscilátoru 5 do vstupní antény 1. První mezifrekvenční filtr 7 vybírá z produktů na bráně IF prvního směšovače 3 signály s šířkou pásma $f_{IF1} \pm B_{rad+}/2$. Modul up-konvertoru se skládá z druhého mezifrekvenčního filtru 10 s frekvenčním pásmem také $f_{IF1} \pm B_{rad+}/2$, druhého směšovače 4, který je na své bráně LO napojen na stejný místní oscilátor 5 jako down-konvertor a výstupního filtru 9 s pracovním pásmem $f_0 \pm B_{rad+}/2$.

Pomocí prvního děliče 8 je signál z bloku down-konvertoru rozbočen do dvou nebo i více větví. Přitom v jedné větvi je zapojen blok 12 digitálního zpracování signálů, v jedné nebo i více větvích větví jsou zapojeny bloky 13.1 až 13.N analogového zpracování signálů. Více větví analogového zpracování signálů je použito v tom případě, že i v blízké zóně je nutné simulovat více cílů. Řídicí obvod 14 řídí funkci jednotlivých větví tak, aby simulátor generoval potřebný počet cílů s požadovanými rychlostmi v potřebných vzdálenostech s tím, že cíle budou plynule přecházet z blízké zóny, simulované pomocí bloků 13.1 až 13.N analogového zpracování, do vzdálené zóny, simulované blokem 12 digitálního zpracování signálů, nebo naopak. Výstupy bloků 13.1 až 13.N analogového zpracování i bloku 12 digitálního zpracování signálů jsou v pásmu $f_{IF1} \pm B_{rad+}/2$ sloučeny druhým děličem 11 zapojeným jako slučovač. Výše popsaná navržená struktura také umožňuje velmi jednoduché a ekonomické testování radarů na vliv externího rušení. Na úrovni druhého děliče 11 lze na dalších vstupech k signálu přičíst i větší počet M libovolných rušivých signálů generovaných generátory 20.1 až 20.M rušivých signálů. Vzhledem k tomu, že se přičítání provádí na relativně nízké frekvenci v okolí f_{IF1} , jsou tyto generátory 20.1 až 20.M rušivých signálů obecně podstatně jednodušší, než kdyby pracovaly přímo v pásmu $f_0 \pm B_{rad}/2$ a mohou být velmi levné. Pro ozařování radaru je použita vysílací anténa simulátoru cílů, což také snižuje náklady na testování.

Ve výhodném zapojení, Obr. 4, je možné použít jiné frekvenční pásmo pro analogové zpracování signálů a jiné frekvenční pásmo pro digitální zpracování signálů.

První down-konverze je provedena z pásma $f_0 \pm B_{rad}/2$ do prvního mezifrekvenčního pásma $f_{IF1} \pm B_{rad+}/2$ daného prvním mezifrekvenčním filtrem 7 a druhým mezifrekvenčním filtrem 10. Je zvoleno takové první mezifrekvenční pásmo, většinou na úrovni jednotek GHz, které je výhodné pro realizaci obvodů analogového zpracování signálů. Toto první mezifrekvenční pásmo ale obvykle není výhodné pro realizaci digitálního zpracování signálů ve větvi digitálního zpracování signálů. Důvodem je to, že A/D převodník 12.1 a D/A převodník 12.3 bloku 12 digitálního zpracování signálu mají vždy omezené frekvenční pásmo s tím, že převodníky použitelné pro zpracování signálů s frekvencemi většími než cca 1 GHz jsou obvykle velmi drahé a mají vždy horší parametry než převodníky použitelné pro zpracování signálů na relativně nižších frekvencích. Z hlediska převodníků je většinou nejvýhodnější konverze signálů do základního

pásma, tím se rozumí pásmo frekvencí od 0 do horní frekvence f_h . Při takové frekvenční konverzi je možné s výhodou na $f=0$ konvertovat signál ze středu pásma B_{rad} , přičemž $f_i=B_{rad}/2$. Pro danou hodnotu B_{rad} tedy stačí převodníky s horní funkční frekvencí $B_{rad}/2$. V základním pásmu však obvykle nejsou schopné pracovat obvody analogového zpracování signálů, proto ty pracují v prvním mezifrekvenčním pásmu $f_{IF1}\pm B_{rad+}/2$.

Aby bylo možné takový frekvenční plán realizovat, je struktura dle Obr. 4 doplněna o třetí směšovač 15, který realizuje konverzi z $f_{IF1}\pm B_{rad+}/2$ do základního pásma a čtvrtý směšovač 18, který realizuje zpětnou up-konverzi ze základního pásma do prvního mezifrekvenčního pásma $f_{IF1}\pm B_{rad+}/2$. Na braně IF třetího směšovače 15 je zapojen první filtr 16 základního pásma, na braně IF čtvrtého směšovače 18 je zapojen druhý filtr 17 základního pásma. Oba směšovače 15 a 18 jsou na branách LO buzeny ze stejného druhého místního oscilátoru 19, jehož výstupní frekvence je nastavena na f_{IF1} . Oproti přímé konverzi z pracovního pásma $f_0\pm B_{rad}/2$ do základního pásma dle Obr.2 při použití frekvence místního oscilátoru 5 $f_{LO}=f_0$ má popsané řešení také výhodu ve větším potlačení parazitního vyzařování použitých místních oscilátorů do vstupní i výstupní antény. Při přímé konverzi spadá frekvence místního oscilátoru 5 přímo do středu pracovního pásma $f_0\pm B_{rad}/2$. Takže signál $f_{LO}=f_0$ na branách LO parazitně pronikající přes směšovače 3 a 4 do vstupní antény 1 a výstupní antény 2 není možné nijak filtrovat. Přitom směšovače pro vysoká GHz pásma, například 76-81 GHz v případě automobilových radarů, mají nižší hodnoty izolací pronikání místního oscilátoru 5 do dalších bran, a tedy vyšší hodnoty parazitně vyzařovaného signálu do vstupní i výstupní antény simulátorů cílů. Při konverzi přes první mezifrekvenční pásmo $f_{IF1}\pm B_{rad+}/2$ spadá signál místního oscilátoru 5 mimo pásmo $f_0\pm B_{rad}/2$ a lze jej filtrovat. Na nízké frekvenci f_{IF1} druhého místního oscilátoru 19 je možné vybrat takový čtvrtý směšovač 18, který bude pronikání druhého místního oscilátoru 19 do výstupního spektra simulátoru cílů minimalizovat. Důvodem je to, že směšovače pro nízká frekvenční pásma v okolí f_{IF1} v případě zařízení dle Obr. 4 mohou mít oproti směšovačům pracujícím na f_0 až o desítky dB vyšší izolaci pronikání druhého místního oscilátoru 19 do dalších bran, a tedy podstatně nižší hodnoty parazitně vyzařovaného signálu do pásma $f_{IF1}\pm B_{rad+}/2$, a tedy finálně i do pásma $f_0\pm B_{rad}/2$ a do výstupní antény 2 simulátoru cílů.

Průmyslová využitelnost

Uvedené řešení je použitelné pro konstrukci simulátorů cílů, a to zejména pro automobilové radary, kde je potřebná, kromě jiného, velmi nízká latence umožňující simulaci i velmi blízkých cílů.

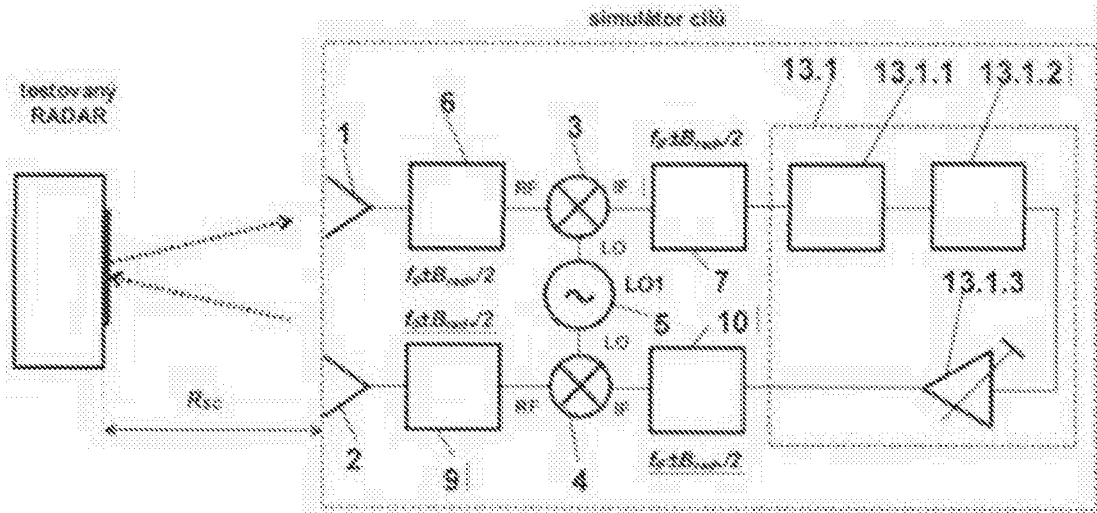
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Simulátor radarových cílů pro automobilové radary s širokým rozsahem simulovaných vzdáleností a přídatnými funkcemi, který obsahuje jednak přijímací anténu (1) a vysílací anténu (2), kde výstup přijímací antény (1) je přes vstupní filtr (6) propojen s branou (RF) vysokofrekvenčního signálu prvního směšovače (3), jehož brána (IF) mezifrekvenčního signálu je připojena na vstup prvního mezifrekvenčního filtru (7), a kde na vstup vysílací antény (2) je připojena přes výstupní filtr (9) brána (RF) vysokofrekvenčního signálu druhého směšovače (4), na jehož bránu (IF) mezifrekvenčního signálu je připojen výstup druhého mezifrekvenčního filtru (10), kde brány (LO) prvního směšovače (3) a druhého směšovače (4) jsou propojeny s prvním místním oscilátorem (5) s výstupní frekvencí f_{LO1} , a jednak bloky zpracování signálů, **vyznačující se tím**, že výstup prvního mezifrekvenčního filtru (7) je propojen se vstupem prvního děliče (8), a vstup druhého mezifrekvenčního filtru (10) je propojen s výstupem druhého děliče (11) zapojeného jako slučovač, přičemž první dělič (8) má jeden výstup propojen s blokem (12) digitálního zpracování signálu a má další jeden nebo více výstupů, kde na každý z nich je připojen vstup jemu příslušejícího bloku (13.1) až (13.N) analogového zpracování signálu, kde

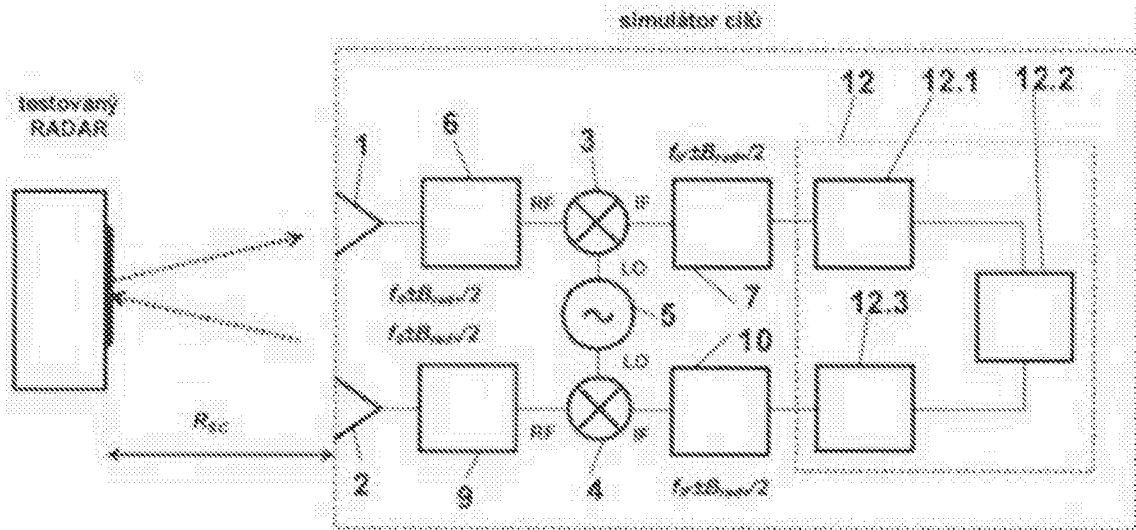
výstup bloku (12) digitálního zpracování signálu a výstupy bloků (13.1) až (13.N) analogového zpracování signálu jsou propojeny se vstupy druhého děliče (11) a jejich řídicí vstupy jsou propojeny s výstupy řídicího obvodu (14).

- 5 2. Simulátor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že na další vstupy druhého děliče (11) jsou připojeny výstupy až M generátorů (20.1 až 20.M) záměrných rušivých signálů.
3. Simulátor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že výstup prvního děliče (8) je s
10 blokem (12) digitálního zpracování signálu propojen přes obvod tvořený třetím směšovačem (15)
pro realizaci konverze z $f_{IF1} \pm B_{rad}/2$ do základního pásma, což je frekvenční pásmo od 0 do $B_{rad}/2$,
jehož brána (RF) vysokofrekvenčního signálu je zapojena na výstup tohoto prvního děliče (8) a
jehož brána (IF) mezifrekvenčního signálu je zapojena přes první filtr (16) základního pásma na
vstup bloku (12) digitálního zpracování signálu, jehož výstup je propojen přes druhý filtr (17)
základního pásma s bránou (IF) mezifrekvenčního signálu čtvrtého směšovače (18) pro realizaci
15 konverze ze základního pásma do prvního mezifrekvenčního pásma $f_{IF1} \pm B_{rad}/2$, jehož brána (RF)
vysokofrekvenčního signálu je propojena se vstupem druhého děliče (11), přičemž mezi brány
(LO) třetího směšovače (15) a čtvrtého směšovače (18) je zapojen druhý místní oscilátor (19)
nastavený na frekvenci f_{IF1} .

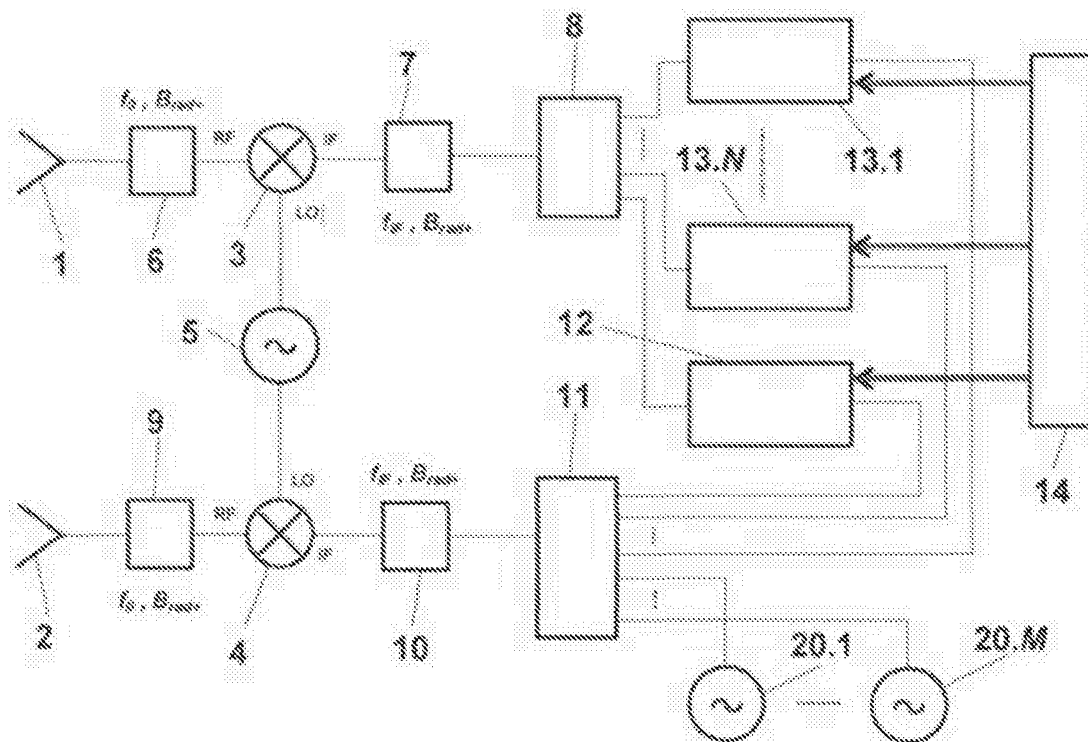
2 výkresy



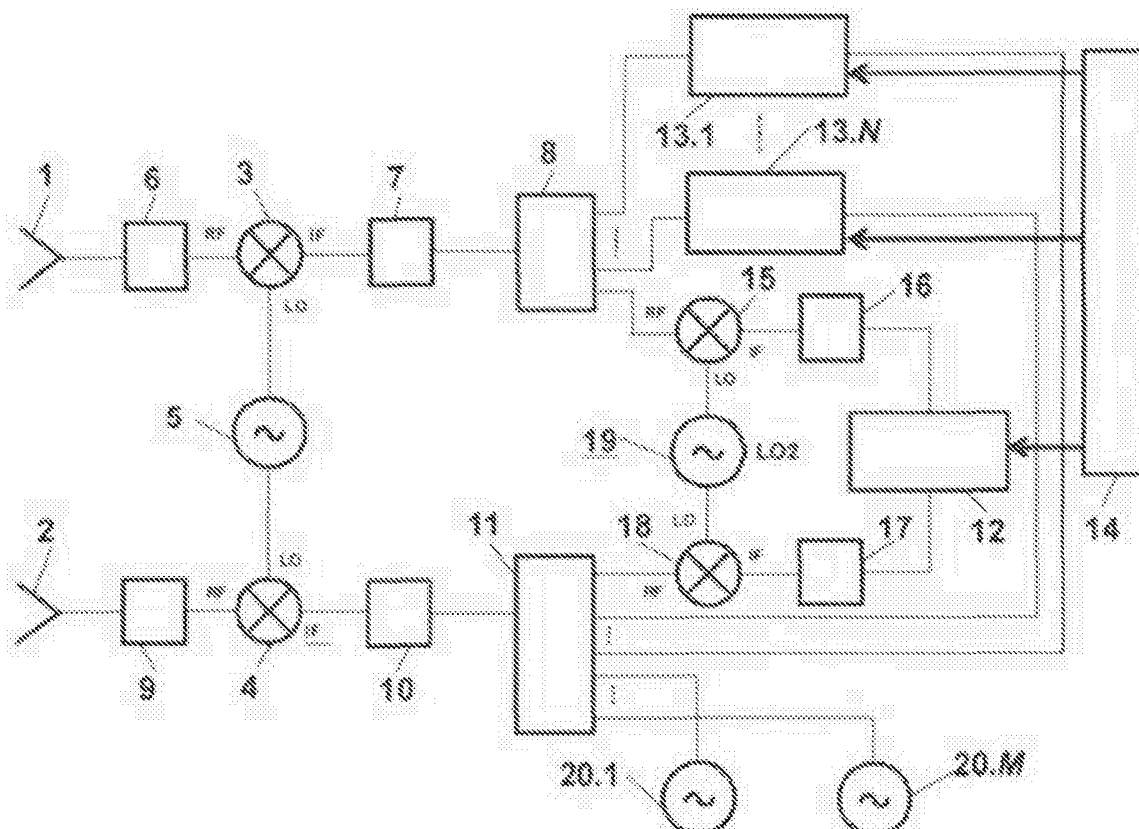
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4