



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112016014434-1 B1**



**(22) Data do Depósito: 24/11/2014**

**(45) Data de Concessão: 13/09/2022**

---

**(54) Título:** RADAR BIESTÁTICO E MASTRO DE NAVIO, NAVIO MILITAR E VEÍCULO TERRESTRE COMPREENDENDO UM RADAR BIESTÁTICO

**(51) Int.CI.:** G01S 13/42; G01S 13/00; H01Q 3/24; H01Q 21/20.

**(30) Prioridade Unionista:** 09/01/2014 IT RM2014A000005.

**(73) Titular(es):** FINCANTIERI S.P.A..

**(72) Inventor(es):** FRANCESCO MADIA; ALBERTO MAESTRINI.

**(86) Pedido PCT:** PCT IT2014000310 de 24/11/2014

**(87) Publicação PCT:** WO 2015/104728 de 16/07/2015

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 20/06/2016

**(57) Resumo:** RADAR BIESTÁTICO. É descrito um radar biestático (1), que compreende: um sistema de antena transmissora de fase ativa (20) adaptado para irradiar um sinal de saída de radiofrequência (40) e que compreende um sistema de colunas (21) cilíndrico, cônico ou de cone truncado de módulos de transmissão ativos (22); uma antena receptora (30) que compreende um conjunto de colunas de cone truncado (31) de módulos de recepção (32) dirigidos ao longo da geratriz de um cone truncado, em que cada módulo de recepção (32) compreende em cascata um elemento de antena (33), um amplificador analógico (34), um conversor de analógico para digital (36) adaptado para produzir amostras digitais na saída; e um bloco formador de feixes totalmente digital (3) adaptado para receber na entrada e processar numericamente as mencionadas amostras digitais.

## **RADAR BIESTÁTICO E MASTRO DE NAVIO, NAVIO MILITAR E VEÍCULO TERRESTRE COMPREENDENDO UM RADAR BIESTÁTICO**

[001] O presente relatório descritivo refere-se ao campo técnico de sistemas de radar e refere-se particularmente a um radar biestático.

[002] É conhecido o fornecimento a veículos terrestres ou embarcações, tais como embarcações militares, com sistemas de radar que permitem o monitoramento do espaço circunvizinho para identificar possíveis ameaças.

[003] Esses sistemas de radar sofreram longa evolução ao longo do tempo. Sistemas de radar foram inicialmente desenvolvidos para obter varredura de 360° do feixe do radar no plano azimutal, que compreende uma antena refletora volumosa, tipicamente instalada sobre uma plataforma giratória fornecida sobre o veículo. Os sistemas de radar supracitados evoluíram ao longo do tempo, subseqüentemente, até os sistemas de radar mais modernos que não fornecem plataformas giratórias e que, para obter a visibilidade mais ampla possível no plano azimutal, explora uma série de sistemas de antenas de fase plana ativa. São conhecidos, por exemplo, sistemas de radar que possuem quatro sistemas de antenas de fase plana ativa, cada qual instalado sobre uma face de um mastro do navio substancialmente moldado na forma de pirâmide truncada com base quadrangular.

[004] O radar ativo do tipo de sistema em fase, graças à capacidade de mudar a direção do feixe rapidamente e de forma controlada, permite que um veículo tal como um navio militar utilize um único sistema de radar para detecção e monitoramento de superfícies (por exemplo, para identificar embarcações), monitoramento do espaço aéreo (para detectar aeronaves e mísseis), orientação de mísseis e controle de dispositivos de artilharia.

[005] Os radares de sistemas em fase planos ativos da técnica até agora instalados em veículos como embarcações militares são tipicamente radares monoestáticos, pois cada sistema de antena é composto de uma série de módulos receptores e transmissores (módulos TX/RX), cada um dos quais é sequencialmente comutado entre os dois modos de operação, respectivamente, transmissão e recepção. Por este motivo, os sistemas de radar de conjunto em fase do estado da técnica acima são particularmente caros. Também se observou que, na configuração em que são fornecidas quatro antenas de

sistema em fase plana ativa, cada qual instalada sobre uma face de um mastro do navio substancialmente na forma de pirâmide truncada com base quadrangular, esses sistemas de radar não exibem desempenho uniforme ao longo de todo o plano azimutal, em que esse desempenho é particularmente prejudicado nas direções localizadas de forma frontal às bordas da pirâmide truncada. Em outras palavras, o radar supracitado do estado da técnica exhibe perdas de varredura no plano horizontal.

[006] Um radar conhecido que possui forma geométrica cônica é descrito no documento JP H06249945 A. Esse documento descreve um radar diferente do biestático, ou seja, um radar com módulos TX/RX, em que alternadores de fase analógica estão presentes na cadeia de recepção para o posicionamento dos feixes de recepção. Por esse motivo, esse radar sobre o lado receptor não adota um bloco de formação de feixes totalmente digital nem formação de feixes digital. A antena é adicionalmente dividida em seções de cone truncado horizontais, cada uma das quais operando em uma frequência correspondente. Esse radar possui a séria desvantagem de não permitir a formação de vários feixes independentes e não permitir o controle da amplitude sobre a superfície do cone truncado, de forma a produzir feixes com lóbulos laterais altos.

[007] Um propósito geral do presente relatório descritivo é o de oferecer um radar que não apresenta as desvantagens mencionadas acima com referência ao estado da técnica.

[008] Este e outros propósitos são alcançados por meio de um radar biestático conforme definido na primeira reivindicação em sua forma mais geral e nas reivindicações dependentes em algumas de suas realizações específicas.

[009] A compreensão da presente invenção tornar-se-á mais clara a partir da descrição detalhada de suas realizações a seguir, elaborada em forma de exemplo não limitador com referência às figuras anexas, nas quais:

- a Figura 1 exhibe um diagrama em bloco funcional de uma realização de um radar biestático que compreende uma antena transmissora e uma antena receptora;
- a Figura 2 exhibe uma vista esquemática em elevação lateral de uma realização de uma antena transmissora e uma antena receptora, em que as duas antenas são exibidas em configuração de acoplamento mecânico entre si;
- a Figura 3 exhibe uma vista plana esquemática da antena transmissora e da antena

receptora, em que as duas antenas são exibidas em uma configuração de acoplamento mecânico entre si;

- a Figura 4 exhibe uma vista esquemática em corte transversal lateral da antena transmissora;
- a Figura 5 exhibe uma vista frontal em elevação da antena transmissora;
- a Figura 6 exhibe esquematicamente um primeiro modo de transmissão da antena transmissora;
- a Figura 7 exhibe esquematicamente um segundo modo de transmissão da antena transmissora;
- a Figura 8 exhibe esquematicamente um terceiro modo de transmissão da antena transmissora;
- a Figura 9 exhibe uma vista esquemática em corte transversal lateral da antena receptora;
- a Figura 10 exhibe um mastro de navio que compreende o radar biestático da Figura 1; e
- a Figura 11 exhibe um veículo terrestre que compreende o radar biestático da Figura 1.

[0010] Nas figuras anexas, elementos que são idênticos ou similares serão indicados utilizando os mesmos números de referência.

[0011] A Figura 1 exhibe um diagrama de blocos funcional de um radar biestático 1 que compreende uma antena transmissora 20 e uma antena receptora 30. No exemplo específico representado e sem introduzir com isso nenhuma limitação, o radar biestático 1 é um radar de uma embarcação militar. Dever-se-á observar, entretanto, que os ensinamentos do presente relatório descritivo podem ser aplicados sem restrição ao campo específico de uso do radar biestático 1, em que o radar biestático 1 ao qual se refere o presente relatório descritivo poderá ser qualquer radar que possa ser utilizado, por exemplo, na indústria de telecomunicações, no campo da aviação civil e no campo de instrumentação de medição científica.

[0012] O radar biestático 1 compreende um sistema de antena transmissora de fase ativa 20 adaptado para irradiar um sinal de saída de radiofrequência 40. O sistema de antena

transmissora de fase ativa 20 compreende um sistema cilíndrico, cônico ou de cone truncado de colunas 21 de módulos de transmissão ativos 22. No exemplo exibido nas figuras, o sistema de colunas 21 de módulos de transmissão ativos 22 é, particularmente, um sistema que possui a forma de cone truncado com uma base circular na qual as colunas 21 dos módulos de transmissão ativos 22 são direcionadas ao longo da geratriz do cone truncado supracitado.

[0013] O sistema de colunas 21 mencionado acima dos módulos de transmissão 22 compreende, por exemplo, cem colunas 21 de módulos de transmissão ativos 22 e cada coluna 21 compreende 16 módulos de transmissão ativos, de forma que o número de módulos de transmissão ativos 22 da antena transmissora é, por exemplo, igual a 160.

[0014] Preferencialmente, cada uma das colunas 21 é um bloco fisicamente independente dos demais fixado dentro de uma estrutura de suporte 27 da antena transmissora 20, por exemplo, em forma de cone truncado tubular e, por exemplo, feita de fibra de carbono ou alumínio. Essa estrutura de suporte 27 possui fendas, por exemplo (destinadas a serem aberturas de passagem na forma de fendas), em cada uma das quais é fixada uma coluna 21 correspondente de módulos de transmissão ativos 22. Segundo uma realização, a estrutura de suporte 27 mencionada acima é coberta com uma redoma, não exibida nas figuras, sobreposta e em contato com a estrutura de suporte 27 e que possivelmente é feita de um material adequado para agir como filtro passa-banda para a porção do espectro de frequências de interesse. A redoma é feita, por exemplo, de kevlar ou fibra de vidro.

[0015] Com referência à Figura 1, segundo uma realização, cada módulo de transmissão ativo 22 da antena transmissora 20 compreende, em cascata: uma entrada adaptada para receber um sinal de radiofrequência modulado RF<sub>t</sub> a ser transmitido, um alternador de fases 24 adaptado para retardar a fase do mencionado sinal modulado RF<sub>t</sub>, um amplificador de potência 25 (por este motivo, a antena transmissora é definida como "sistema de fase ativa") e um elemento de antena transmissora 23. O elemento de antena transmissora 23 é, por exemplo, uma antena de painel ou uma antena dipolo. O radar biestático 1 compreende, por exemplo, um gerador de sinais 4 adaptado para fornecer a cada módulo de transmissão ativo 22 com o sinal modulado de radiofrequência a ser

transmitido RF\_t.

[0016] O radar biestático 1 compreende ainda um programador de bloco da atividade de radar 2 adaptado para controlar o gerador de sinais 4 e a antena transmissora 20. Em cada módulo de transmissão ativo 22, por exemplo, o alternador de fases 24 é adaptado para receber na entrada um sinal de controle digital fornecido na saída pelo bloco programador 2 para controlar o atraso de fase introduzido pelo alternador de fase 24 no sinal modulado de radiofrequência RF\_t.

[0017] O radar biestático 1 compreende ainda uma antena receptora 30 que compreende um conjunto de cone truncado de colunas 31 de módulos de recepção 32 dirigidos ao longo da geratriz de um cone truncado. Com referência à Figura 9, segundo uma realização preferida, o cone truncado supracitado possui ângulo sólido de abertura  $\alpha$  de  $10^\circ$  a  $60^\circ$ , inclusive. O mencionado ângulo sólido de abertura  $\alpha$ , por exemplo, é igual ou aproximadamente igual a  $30^\circ$ .

[0018] Cada módulo de recepção 32 compreende em cascata um elemento receptor de antena 33, um amplificador analógico 34 e um conversor de analógico para digital 36 adaptado para produzir amostras digitais na saída. Preferencialmente, o amplificador analógico 34 é um LNA (Amplificador de Baixo Ruído). Cada elemento receptor de antena 33 é, por exemplo, uma antena de painel ou dipolo. O conversor de analógico para digital é, por exemplo, um conversor de oito ou dezesseis bits.

[0019] Segundo uma realização, cada módulo receptor 32 compreende acima no fluxo do conversor de analógico para digital 36 um bloco de conversão de baixa frequência 35, tal como um misturador, adaptado para converter o sinal recebido em banda base ou em frequência intermediária. Com este propósito, cada módulo de recepção 32 é adaptado para receber na entrada um sinal de radiofrequência RF\_o fornecido na saída pelo gerador de sinais 4. Dever-se-á lembrar que alguns dos componentes do módulo de recepção 32 podem ser duplicados para permitir a amostragem da parte de fase e da parte de quadratura do sinal recebido pelo elemento de antena 33.

[0020] Preferencialmente, cada uma das colunas 31 ou dos módulos de recepção 32 é um bloco fisicamente independente dos demais e é fixado no interior de uma estrutura de suporte 37 da antena receptora 30, por exemplo, com forma de cone truncado tubular e,

por exemplo, feita de fibra de carbono ou alumínio. Essa estrutura de suporte 37 possui fendas, por exemplo (destinadas a serem aberturas de passagem na forma de fendas), em cada uma das quais é fixada uma coluna 31 correspondente dos módulos de recepção 32. Segundo uma realização, a estrutura de suporte 37 supracitada é coberta com uma redoma, não exibida nas figuras, sobreposta e em contato com a estrutura de suporte 37 e que é feita, possivelmente, de material adequado para agir como filtro passa-banda para a parte do espectro de frequências de interesse. A redoma é feita, por exemplo, de kevlar ou fibra de vidro.

[0021] No caso em que ambas as estruturas de suporte 27 e 37 sejam sobrepostas fisicamente (ou seja, empilhadas uma em cima da outra), é possível fornecer uma única redoma que cubra tanto a antena transmissora 20 quanto a antena receptora 30.

[0022] Segundo uma realização, a antena transmissora 20 e a antena receptora 30 são duas estruturas separadas coaxialmente sobrepostas. No exemplo específico exibido nas Figuras 2 e 3, a antena transmissora 20 e a antena receptora 30 juntas formam uma estrutura em forma de cone truncado contínua. Além disso, no exemplo não limitador específico exibido nas Figuras 2 e 3, a antena transmissora 20 é sobreposta à antena receptora 30.

[0023] Segundo uma realização preferida, o número de módulos de recepção 32 da antena receptora 30 é maior que o número de módulos de transmissão ativos 22 da antena transmissora 20. A antena receptora 30 compreende, por exemplo, 200 colunas 31, em que cada qual compreende 64 módulos de recepção 32. Neste exemplo, a antena receptora compreende, portanto, 12.800 módulos de recepção 32 (enquanto, no exemplo descrito acima, a antena transmissora 20 compreende 1600 módulos de transmissão 22 e o número de módulos de recepção 32 é, portanto, igual a oito vezes o número de módulos de transmissão 22). Além disso, o número de módulos de recepção 32 na mesma coluna 31 da antena receptora 30 é preferencialmente maior que o número de módulos de transmissão 22 na mesma coluna 21 da antena transmissora 20.

[0024] Segundo uma realização, a antena receptora 30 compreende, para cada uma das colunas 31 dos módulos de recepção 32, uma ou mais placas FPGA adaptadas para processar o sinal recebido pelos elementos receptores da antena 33, para fornecer

amostras digitais na saída. Para cada coluna 31 com 64 módulos de recepção 32, por exemplo, são fornecidas dezesseis placas FPGA, cada uma das quais é operativamente interconectada a quatro elementos receptores de antena 33 correspondentes. Pode também ser fornecida uma coluna concentradora de dados, adaptada para coletar as amostras digitais fornecidas na saída de todos os módulos de recepção 32 que pertencem à mesma coluna 31 e para concentrar as mencionadas amostras em um ou mais sinais.

[0025] O radar biestático 1 compreende ainda um bloco de formação de feixes totalmente digitais 3 adaptado para receber na entrada e processar numericamente as amostras digitais fornecidas na saída pela antena receptora 30. Particularmente, esse bloco 3 compreende um processador digital que recebe os coeficientes de peso  $W$  na entrada e é configurado e adaptado para calcular combinações lineares com pesos diferentes das amostras digitais supracitadas fornecidas na saída pela antena receptora 30. Segundo uma realização na qual as colunas concentradoras são fornecidas na antena receptora 30, é possível fornecer uma conexão de fibra óptica entre as colunas concentradoras e o bloco formador de feixes totalmente digitais 3.

[0026] Segundo uma realização, o radar biestático 1 compreende um processador de sinais 5 conectado operativamente ao programador 2 e ao bloco formador de feixes totalmente digitais 3 e adaptado para fornecer a este último os coeficientes de peso  $W$  e para receber na entrada deste último as combinações lineares ponderadas calculadas. Cada combinação linear corresponde a um feixe da antena receptora e os coeficientes de peso são preferencialmente selecionados, bem como para determinar o direcionamento do feixe da antena receptora, para criar "orifícios" de recepção em direções que possuem alto nível de distúrbios ambientais. O número de pulsos e o momento da transmissão são programados pelo bloco programador 2 em função da atividade de radar em andamento, que é atualizada automaticamente em função do processamento do processador de sinais 5.

[0027] Além do processador de sinais 5, é possível conceber que o radar biestático 1 compreende adicionalmente um processador de dados 6 conectado operativamente ao processador de sinais 5 e um comando e console de controle 7 conectados operativamente ao processador de dados 6.

[0028] Segundo uma realização, o bloco formador de feixes totalmente digitais 3 é

adequado para processar as amostras digitais numericamente para a síntese digital de uma série de feixes de recepção independentes e simultâneos.

[0029] Com referência às Figuras 6 e 7, de acordo com uma realização, o bloco programador da atividade do radar 2 é adaptado para controlar a antena transmissora 20, a antena receptora 30 e o bloco de formação de feixes totalmente digitais 3 de acordo com um primeiro modo de operação no qual a antena transmissora 20 é controlada de forma que o sinal de saída de radiofrequência 40 (ou seja, o sinal irradiado) possui N feixes de transmissão direcionais 41, em que N é um número inteiro maior ou igual a um e, caso N seja maior que um, os mencionados feixes 41 são simultâneos, ou seja, irradiados simultaneamente.

[0030] A direção de orientação e a abertura de cada feixe de transmissão direcional 41 podem ter elevação e/ou azimute controlados pelo bloco programador da atividade do radar 2. Particularmente, cada feixe de transmissão direcional 41, por exemplo em forma de lápis, é produzido por um subconjunto de colunas adjacentes 21 correspondente de módulos de transmissão ativos 22 que podem ser selecionados eletronicamente e ter seu azimute centralizado com relação à direção de orientação do feixe de transmissão direcional correspondente 41. Os subconjuntos de colunas adjacentes 21 supracitados não possuem colunas compartilhadas, ou seja, eles não são sobrepostos.

[0031] No exemplo da Figura 6, o sinal 40 irradiado pela antena transmissora 20 compreende quatro feixes direcionais simultâneos 41 (portanto,  $N = 4$ ), por exemplo, para realizar, por meio do radar biestático 1, vigilância ou rastreamento de um ou mais alvos de longa distância (por exemplo, até distâncias da ordem de 80-100 km). Para obter esse sinal irradiado, a antena transmissora 20 é, por exemplo, dividida em quatro subconjuntos de colunas 21 e cada um desses subconjuntos é dedicado à emissão de um feixe direcional correspondente 41. No caso em que é realizada atividade de vigilância de longo alcance, os feixes de transmissão direcionais 41 giram no plano azimutal, fazendo com que os subconjuntos girem eletronicamente de forma a garantir monitoramento a 360°. A varredura no azimute ocorre por meio de um controle de fase dos módulos de transmissão 22, particularmente por meio dos alternadores de fase 24.

[0032] No exemplo da Figura 7, o sinal 40 irradiado pela antena transmissora 20

compreende dez feixes direcionais simultâneos 41 (portanto,  $N = 10$ ), por exemplo, para realizar, por meio do radar biestático 1, rastreamento de vários alvos simultaneamente a média distância (por exemplo, até distâncias da ordem de 30-40 km).

[0033] No primeiro modo de operação supracitado, a antena receptora 30 e o bloco formador de feixes totalmente digitais 32 são controlados pelo programador de atividades do radar 2 para produzir, para cada um dos mencionados  $N$  feixes de transmissão direcionais, uma série correspondente de  $M$  feixes de recepção simultâneos, em que  $M$  é um número inteiro maior que um e menor ou igual ao número de colunas 31 dos módulos de recepção 32. Consequentemente, o bloco formador de feixes totalmente digitais 3 é configurado para sintetizar simultaneamente  $M \times N$  feixes de recepção.

[0034] Segundo uma realização vantajosa, cada série de  $M$  feixes de recepção é apropriada para apontar na direção de um feixe de transmissão direcional correspondente 41 e é produzida por um ou mais subconjuntos correspondentes de colunas 31 de módulos de recepção 32 que podem ser selecionados eletronicamente e ter seu azimute centralizado com relação à direção de orientação do feixe de transmissão direcional correspondente 41. Desta forma, é possível evitar convenientemente perdas de varredura no plano horizontal. Os subconjuntos supracitados de colunas 31 de módulos de recepção 32 podem também possuir colunas compartilhadas 31, ou seja, podem ser parcialmente sobrepostos.

[0035] Deve-se observar que, no primeiro modo de operação, o radar biestático 1 é configurado para realizar atividade de vigilância e rastreamento e o bloco programador 2 é configurado para controlar a antena transmissora 20, a antena receptora 30 e o bloco formador de feixes totalmente digitais 3, de forma a realizar varredura eletrônica de um setor a ser monitorado por meio da mencionada transmissão direcional 41 e feixes de recepção, em que a varredura do azimute é realizada por meio da seleção eletrônica dos mencionados subconjuntos de colunas 21, 31 (tanto os módulos transmissores quanto os módulos receptores), enquanto a varredura em elevação é realizada por meio de controle de fases.

[0036] Segundo uma realização adicional, o bloco programador da atividade do radar 2 é adaptado para controlar a antena transmissora 20, a antena receptora 30 e o bloco

formador de feixes totalmente digitais 3 de acordo com um segundo modo de operação, que pode ser selecionado alternativamente ao primeiro. No segundo modo de operação, a antena transmissora 20 é controlada de forma que o sinal de saída de radiofrequência 40 possua diagrama de radiação não dirigido 43 que possui formato hemisférico ou substancialmente hemisférico, por exemplo, conforme exibido na Figura 8. No exemplo específico exibido na Figura 8, o diagrama de radiação possui formato com cobertura de azimute de  $360^\circ$  e em elevação de  $70^\circ$ , podendo ser definido neste particular como substancialmente hemisférico (feixe  $\Omega$ ).

[0037] No segundo modo de operação, a antena receptora 30 é controlada por meio do direcionamento simultâneo de uma ou mais séries de feixes de recepção M ao longo de uma ou mais direções correspondentes nas quais é sinalizada a presença de um alvo. Convenientemente, é possível, portanto, realizar por meio do radar biestático 1 atividade de rastreamento de vários alvos simultaneamente ao longo de distâncias curtas (por exemplo, até distâncias de 10 km). De forma geral, é possível conceber que, no segundo modo de operação, o radar biestático 1 seja configurado para realizar:

- atividade de perseguir um alvo ou, simultaneamente, perseguir vários alvos; e/ou
- atividade de orientação de arma controlada remotamente ou orientação simultânea de várias armas controladas remotamente; e/ou
- atividade de mira de um dispositivo de artilharia ou mira simultânea de diversos dispositivos de artilharia.

[0038] Segundo uma realização, a transição entre o primeiro modo de operação e o segundo modo de operação e vice-versa é gradual, por exemplo, progressivamente desfocando os feixes direcionais 41 conforme exibido na Figura 7 até que seja obtido um sinal transmitido, que possui padrão de radiação do tipo conhecido na Figura 8.

[0039] Alternativa ou adicionalmente ao segundo modo de operação, é possível fornecer um modo de operação adicional em que o sinal transmitido possui padrão de radiação com perfil de disco, cobertura de azimute de  $360^\circ$ , amplitude de  $5^\circ$ - $10^\circ$  e direcionamento variável na elevação (feixe de  $2\pi$ ). Neste caso, os feixes de recepção que apontam para todas as direções de forma a cobrir inteiramente o sinal transmitido são sintetizados na recepção por meio do bloco formador de feixes digitais.

[0040] Em todos os modos de operação descritos acima, é possível armazenar o sinal de eco do radar em forma digital e processá-lo utilizando o bloco formador de feixes totalmente digitais 3 posteriormente.

[0041] Isso possibilita a redução do número de canais de recepção, que, no caso de processamento em tempo real, deverá ser igual ao número de feixes de recepção, pois cada canal pode processar sequencialmente vários feixes de recepção com direcionamento diferente, obtidos posteriormente pelo bloco formador de feixes digitais 3 que processa o eco de radar armazenado. Como a transmissão de energia não é necessária durante o processamento deferido, neste caso, também se atinge redução do ciclo de trabalho do sinal transmitido. Obviamente, esse modo de operação determina aumento do tempo de atualização dos dados do radar e pode, portanto, ser aplicado quando esse parâmetro não for relevante para as operações do radar ou quando for essencial para minimizar o tempo de transmissão para reduzir a interceptação do radar.

[0042] Com referência ao exemplo exibido na Figura 10, é possível integrar um ou mais radares biestáticos descritos acima em um mastro de navio 50. O mastro do navio 50, ou pelo menos uma parte dele, é instalado preferencialmente sobre uma plataforma estabilizada mecanicamente.

[0043] No exemplo exibido na Figura 10, o mastro de navio possui antena ESM (Medição de Vigilância Eletrônica) no topo. Abaixo dela, o mastro de navio 50 compreende uma antena transmissora 20 e uma antena receptora 30 do radar biestático 1 descrito acima, operando, por exemplo, em frequência de 10 GHz.

[0044] Segundo uma realização, o mastro do navio 50 compreende adicionalmente uma antena de transmissão de cone truncado adicional 20a similar à antena transmissora 20 descrita acima e que é, por exemplo, uma antena ECM (Contra medida Eletrônica) que opera na banda de 2-18 GHz.

[0045] Segundo uma realização, o mastro do navio 50 compreende adicionalmente uma antena transmissora de cone truncado adicional 20b similar à antena transmissora 20 descrita acima e que, por exemplo, é uma antena dupla adaptada para executar tanto a função de antena transmissora de um radar de longo alcance (por exemplo, que opera em frequência de 1,3 GHz), quanto a função de antena transmissora de um sistema de IFF

(Identificação de Amigo ou Inimigo), por exemplo, que opera em frequência de 1,06 GHz. Nessa realização, o mastro do navio 50 compreende ainda:

- uma antena receptora de cone truncado adicional 30a similar à antena receptora 30 descrita acima e que, por exemplo, é a antena receptora do radar de longo alcance supracitado que compreende a antena transmissora 20b; e
- uma antena receptora de cone truncado adicional 30b similar à antena receptora 30 descrita acima e que, por exemplo, é a antena receptora do sistema IFF supracitado que compreende a antena transmissora 20b.

[0046] Na base do mastro do navio 50, pode ser fornecida uma sala de controle para abrigar o console de comando e controle 7 do diagrama de blocos na Figura 1 e, possivelmente, outros equipamentos de hardware/software adaptados para processar os sinais conectados à operação das antenas transmissoras e receptoras descritas acima.

[0047] Com referência à Figura 11, deve-se observar que um radar biestático 1 do tipo descrito acima pode ser instalado a bordo de um veículo terrestre 60, por exemplo, sobre haste telescópica 61. No exemplo específico exibido, o veículo terrestre supracitado 60 é um caminhão equipado com um contêiner habitável que abriga o console de comando e controle 7 do diagrama de blocos da Figura 1 e, possivelmente, outros equipamentos de hardware/software adaptados para processar os sinais conectados à operação do radar biestático 1.

[0048] A partir do relatório descritivo acima, é evidente como um radar biestático do tipo descrito acima torna possível alcançar os propósitos supracitados com referência ao estado da técnica.

[0049] Sem prejudicar o princípio da presente invenção, as realizações e os detalhes de construção podem variar amplamente com relação ao que foi descrito e ilustrado simplesmente como exemplo não limitador, sem abandonar, com isso, o escopo da presente invenção conforme definido nas reivindicações anexas.

### Reivindicações

1. Radar biestático (1), **caracterizado por** compreender:
  - um sistema de antena transmissora em fase ativa (20) adaptado para irradiar um sinal de saída de radiofrequência (40) e que compreende um conjunto de colunas cilíndricas, cônicas ou de cone truncado (21) de módulos de transmissão ativos (22);
  - uma antena receptora (30) que compreende um conjunto de colunas (31) de cone truncado de módulos de recepção (32) dirigidos ao longo da geratriz de um cone truncado, em que cada módulo de recepção (32) compreende em cascata um elemento receptor de antena (33), um amplificador analógico (34) e um conversor de analógico para digital (36) adaptado para produzir amostras digitais na saída; e
  - um bloco formador de feixes totalmente digitais (3) adaptado para receber na entrada e processar numericamente as mencionadas amostras digitais.
2. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o bloco formador de feixes totalmente digitais (3) ser adequado para processar as mencionadas amostras digitais numericamente para a síntese digital de uma série de feixes de recepção independentes e simultâneos.
3. Radar biestático (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** compreender um bloco programador da atividade do radar (2) adaptado para controlar a antena transmissora (20), a antena receptora (30) e o bloco formador de feixes totalmente digitais (3) de acordo com um primeiro modo de operação, em que:
  - a antena transmissora (20) é controlada de tal forma que o sinal de saída de radiofrequência (40) possui N feixes de transmissão direcionais (41), em que N é um número inteiro maior ou igual a um e, no caso em que N é maior que um, os mencionados feixes (41) são simultâneos, a direção de orientação e a abertura de cada feixe (41) podem ter sua elevação e/ou azimute controlados pelo bloco programador (2), em que cada feixe de transmissão direcional (41) é produzido por um subconjunto correspondente de colunas adjacentes (21) de módulos de transmissão (22) eletronicamente selecionáveis e com azimute centralizados com relação à direção de orientação do feixe de transmissão direcional correspondente (41); e

- a antena receptora (30) e o bloco formador de feixes totalmente digitais (3) são controlados para produzir, para cada um dos mencionados N feixes de transmissão direcionais (41), uma série correspondente de M feixes de recepção simultâneos, em que M é um número inteiro maior que um e menor ou igual ao número de colunas (31) de módulos de recepção (32).

4. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** cada série de feixes de recepção M:

- ser apropriada para apontar na direção do feixe de transmissão direcional correspondente (41); e

- ser produzida por um ou mais subconjuntos de colunas (31) de módulos de recepção (32) correspondentes que podem ser selecionados eletronicamente e ter seu azimute centralizado com relação à direção de orientação do feixe de transmissão direcional (41) correspondente.

5. Radar biestático (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 ou 4, **caracterizado por** o bloco programador da atividade do radar (2) também ser adaptado para controlar a antena transmissora (20), a antena receptora (30) e o bloco formador de feixes totalmente digitais (3) de acordo com um segundo modo de operação, que pode ser selecionado alternativamente ao primeiro, em que:

- a antena transmissora (20) é controlada de forma que o sinal de saída de radiofrequência (40) possua um diagrama de radiação não dirigido (43) que possui forma hemisférica ou substancialmente hemisférica; e

- a antena receptora (30) é controlada simultaneamente dirigindo-se a uma ou mais séries de M feixes de recepção ao longo de uma ou mais direções correspondentes em que a presença de alvo é sinalizada.

6. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por**, no primeiro modo de operação, o radar (1) ser configurado para realizar atividades de vigilância e rastreamento em que o bloco programador (2) é configurado para controlar a antena transmissora (20), a antena receptora (30) e o bloco formador de feixes totalmente digitais (3), de forma a realizar varredura eletrônica de um setor a ser monitorado por meio da mencionada transmissão direcional e dos feixes de recepção, em

que a varredura do azimute é realizada por meio da seleção eletrônica dos mencionados subconjuntos de colunas e a varredura em elevação é realizada por meio de um controle de fases.

7. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado por**, no segundo modo de operação, o radar biestático (1) ser configurado para realizar:

- atividade de busca a um alvo ou de busca simultânea a diversos alvos; e/ou
- atividade de orientação de arma controlada remotamente ou de orientação simultânea de várias armas controladas remotamente; e/ou
- atividade de mira de um dispositivo de artilharia ou de mira simultânea de vários dispositivos de artilharia.

8. Radar biestático (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 7, **caracterizado por** cada módulo de transmissão (22) compreender em cascata: uma entrada adaptada para receber um sinal de radiofrequência modulado (RF\_t) a ser transmitido, um alternador de fases (24) adaptado para retardar a fase do mencionado sinal modulado (RF\_t), um amplificador de potência (25) e um elemento de antena (23), em que o alternador de fases (24) é adaptado para receber na entrada um sinal de controle digital fornecido na saída pelo mencionado bloco programador (2) para controlar o atraso de fase introduzido no mencionado sinal modulado de radiofrequência (RF\_t).

9. Radar biestático (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** a antena transmissora (20) possuir forma de cone truncado e em que as colunas (21) de módulos de transmissão (22) são direcionadas ao longo da geratriz do mencionado cone truncado.

10. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** a antena transmissora (20) e a antena receptora (30) serem sobrepostas de forma coaxial.

11. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado por** a antena transmissora (20) e a antena receptora (30) juntas formarem uma estrutura em forma de cone truncado.

12. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o mencionado cone truncado possuir ângulo sólido de abertura ( $\alpha$ ) compreendido entre  $10^\circ$  e  $60^\circ$ .

13. Radar biestático (1), de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado por** o mencionado cone truncado possuir ângulo sólido de abertura ( $\alpha$ ) igual a  $30^\circ$ .

14. Radar biestático (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** o número de módulos de recepção (32) ser maior que o número de módulos de transmissão (22).

15. Mastro de navio (50), **caracterizado por** compreender pelo menos um radar biestático (1) conforme definido em qualquer uma das reivindicações anteriores.

16. Navio militar, **caracterizado por** compreender pelo menos um radar biestático (1) conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 14, ou um mastro de navio (5) conforme definido na reivindicação 15.

17. Veículo terrestre (60) **caracterizado por** compreender pelo menos um radar biestático (1) conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 14.

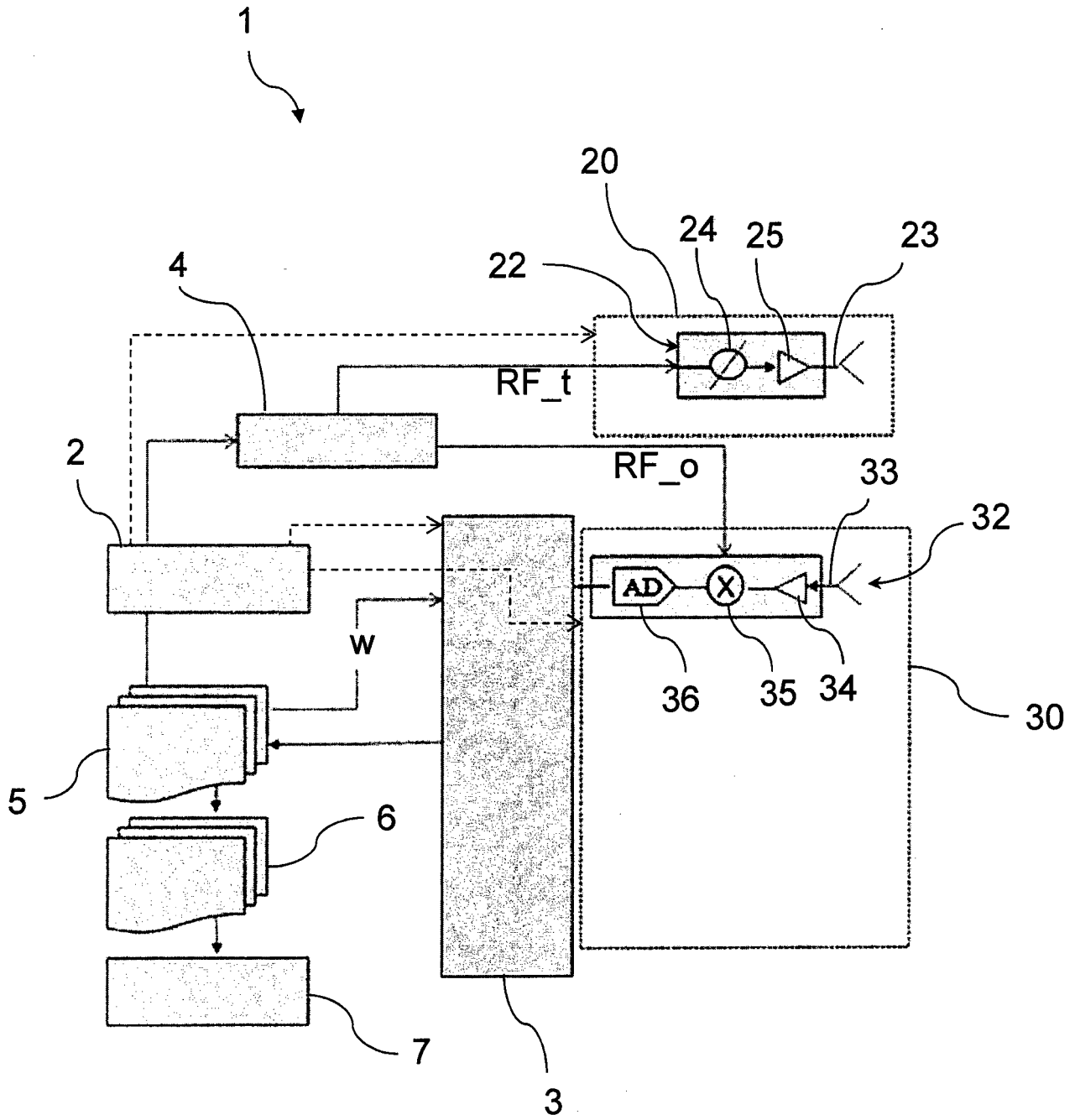


FIG. 1

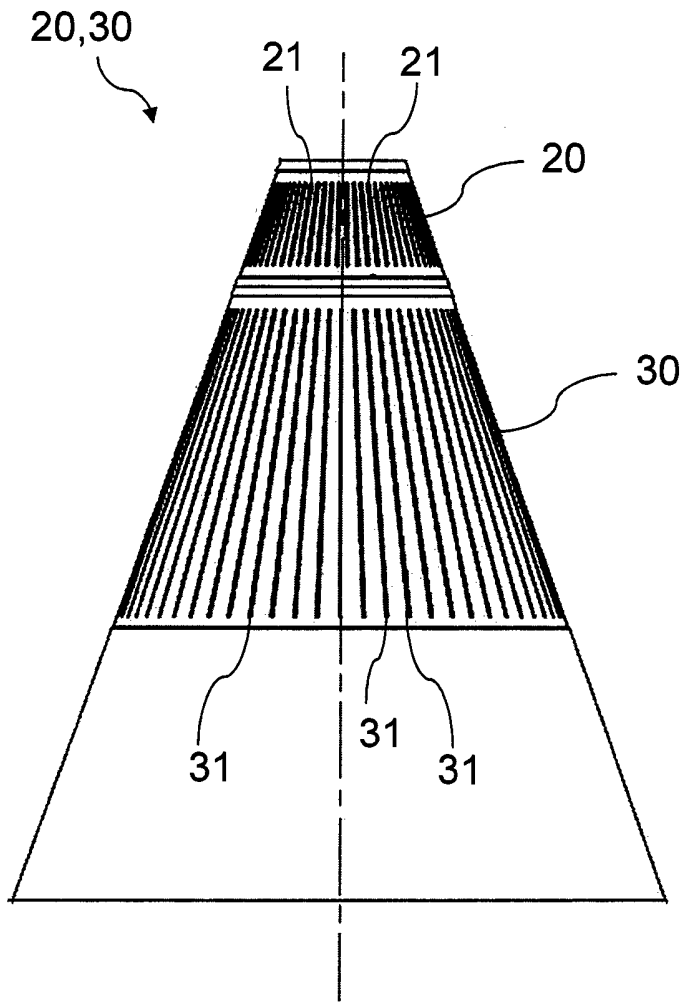


FIG. 2

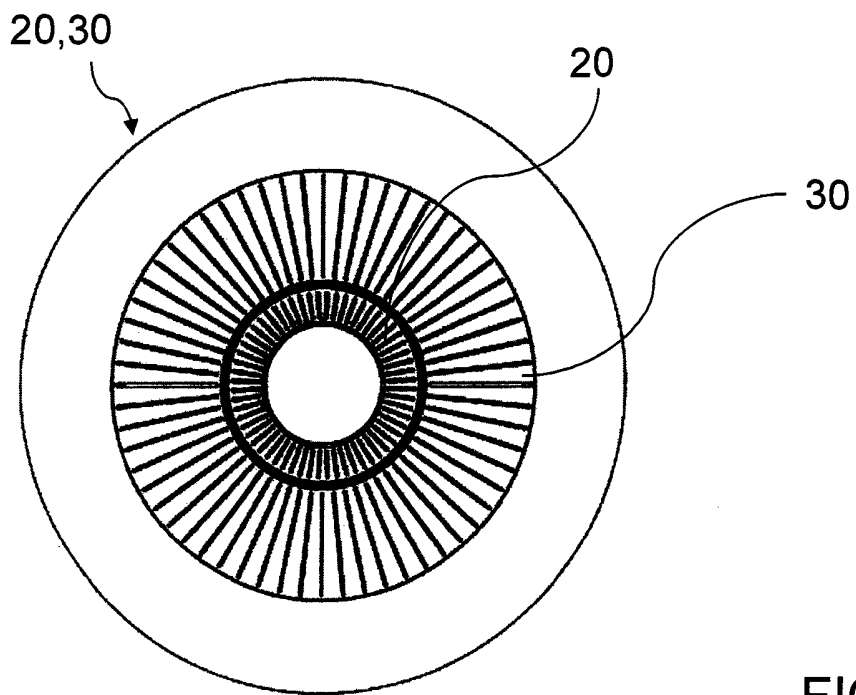


FIG. 3

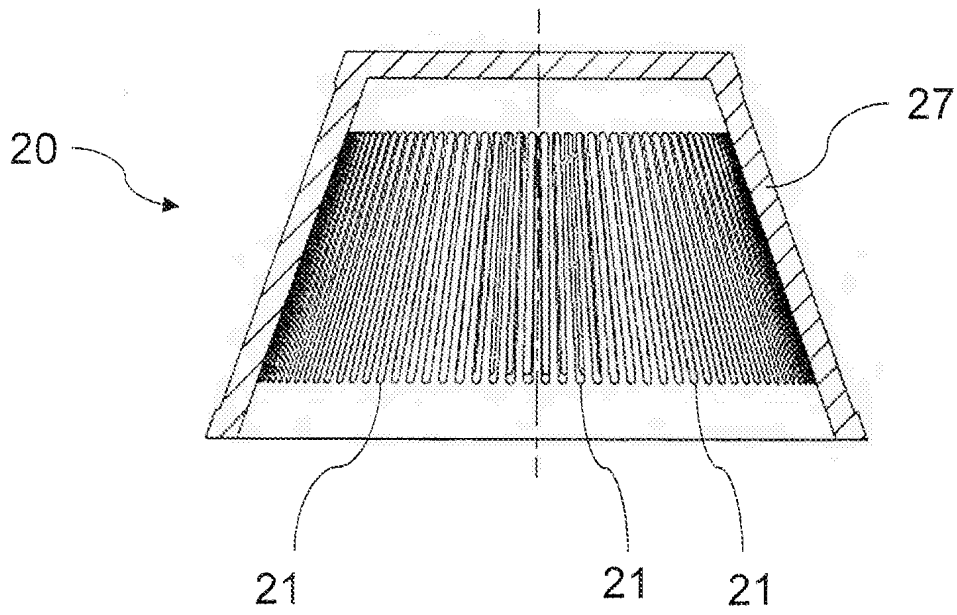


FIG. 4

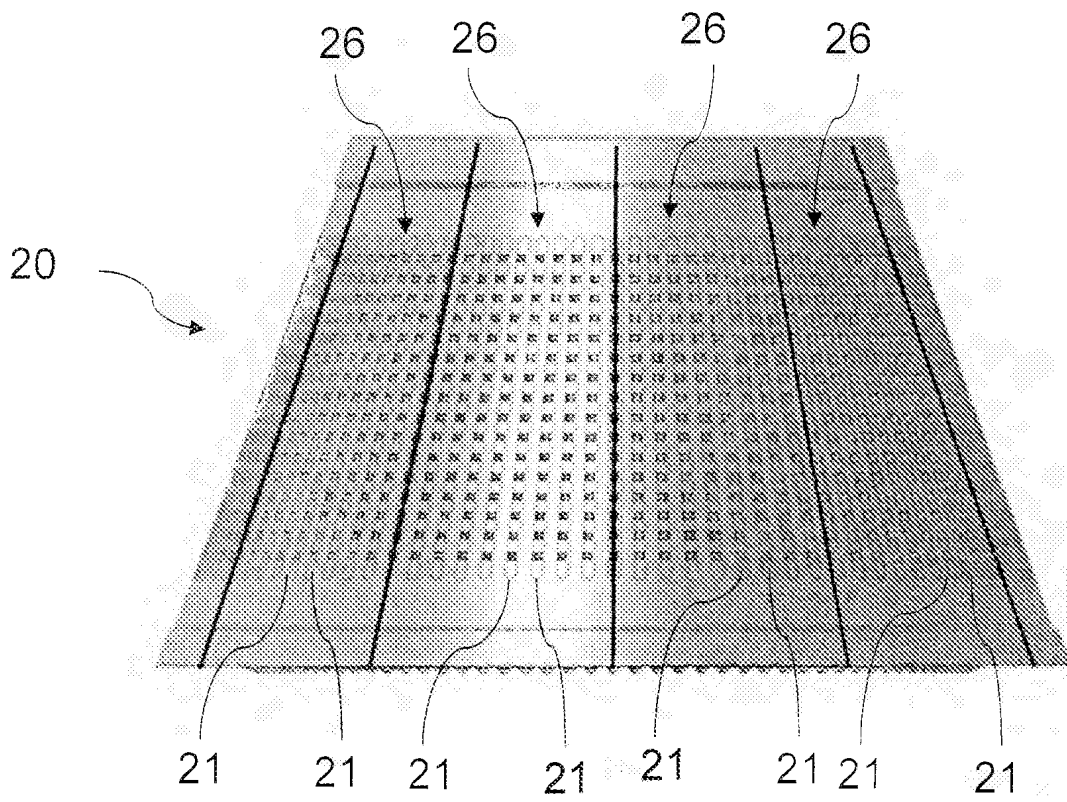


FIG. 5

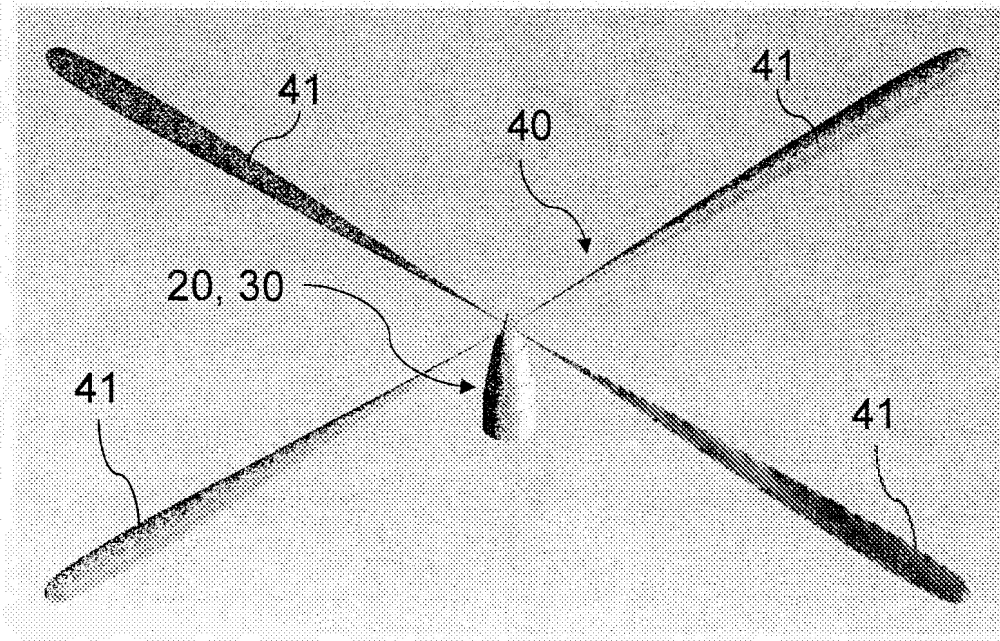


FIG. 6

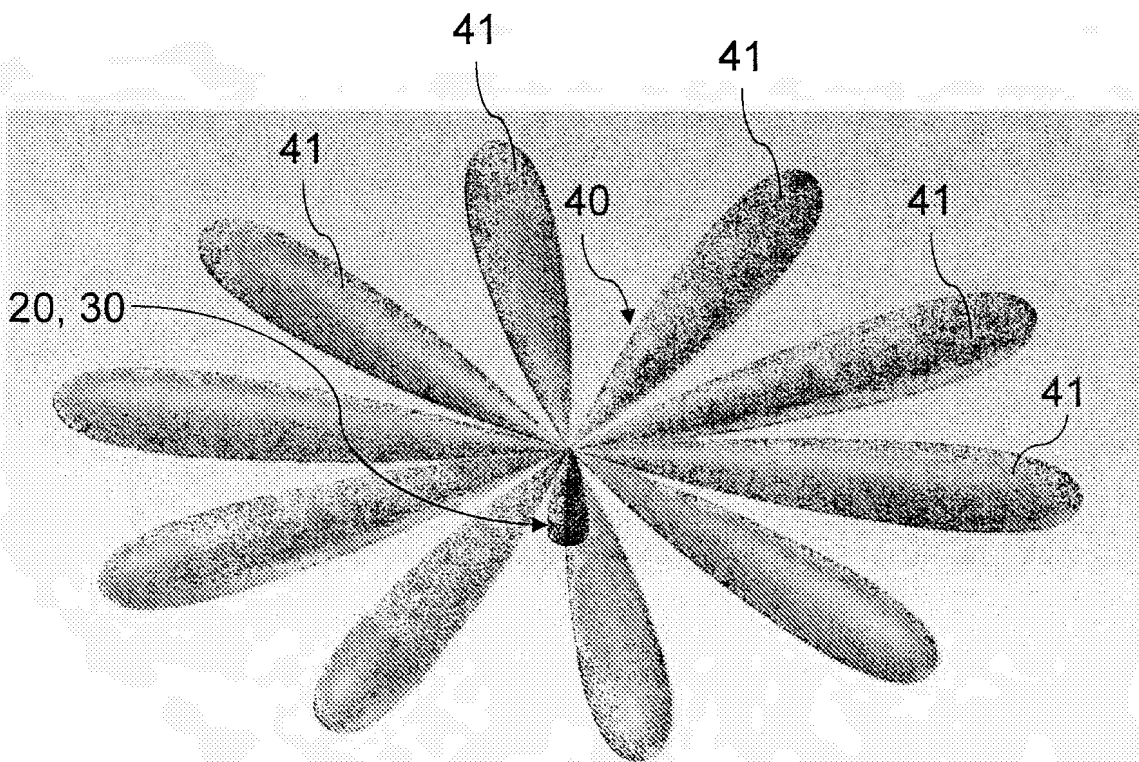


FIG. 7

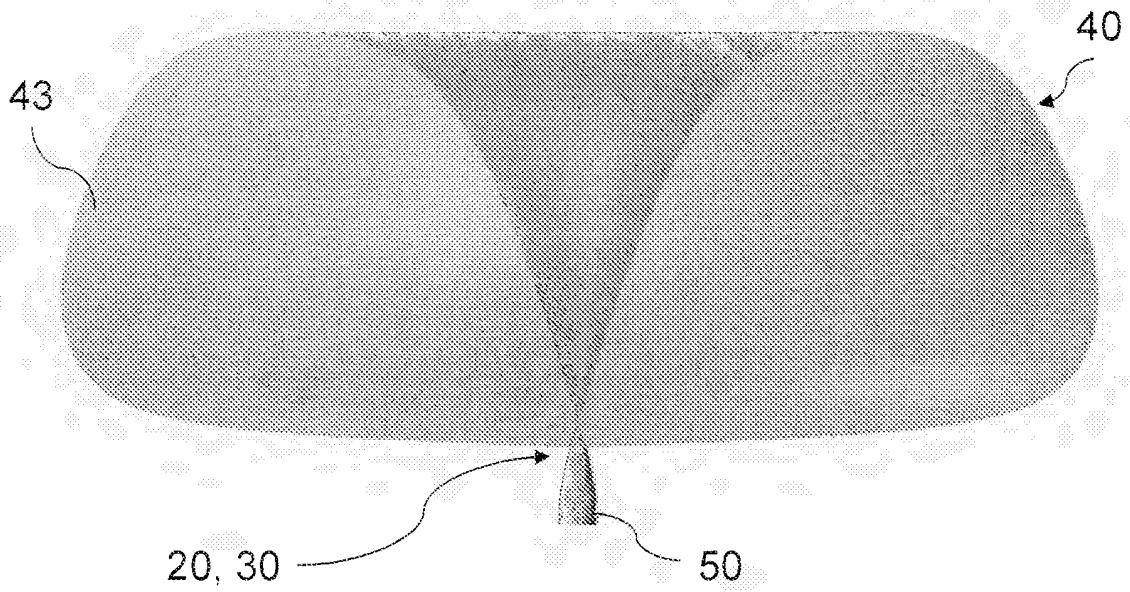


FIG. 8

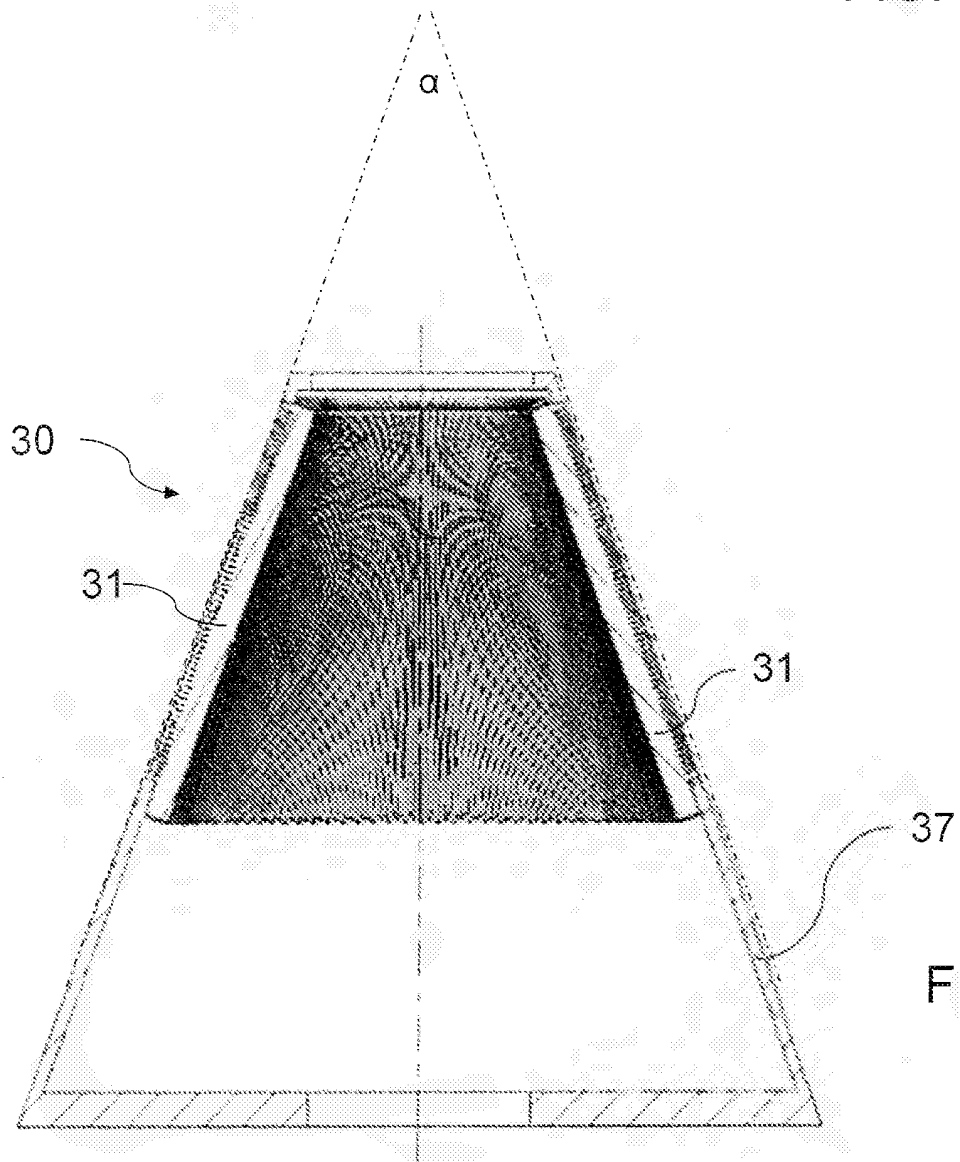


FIG. 9

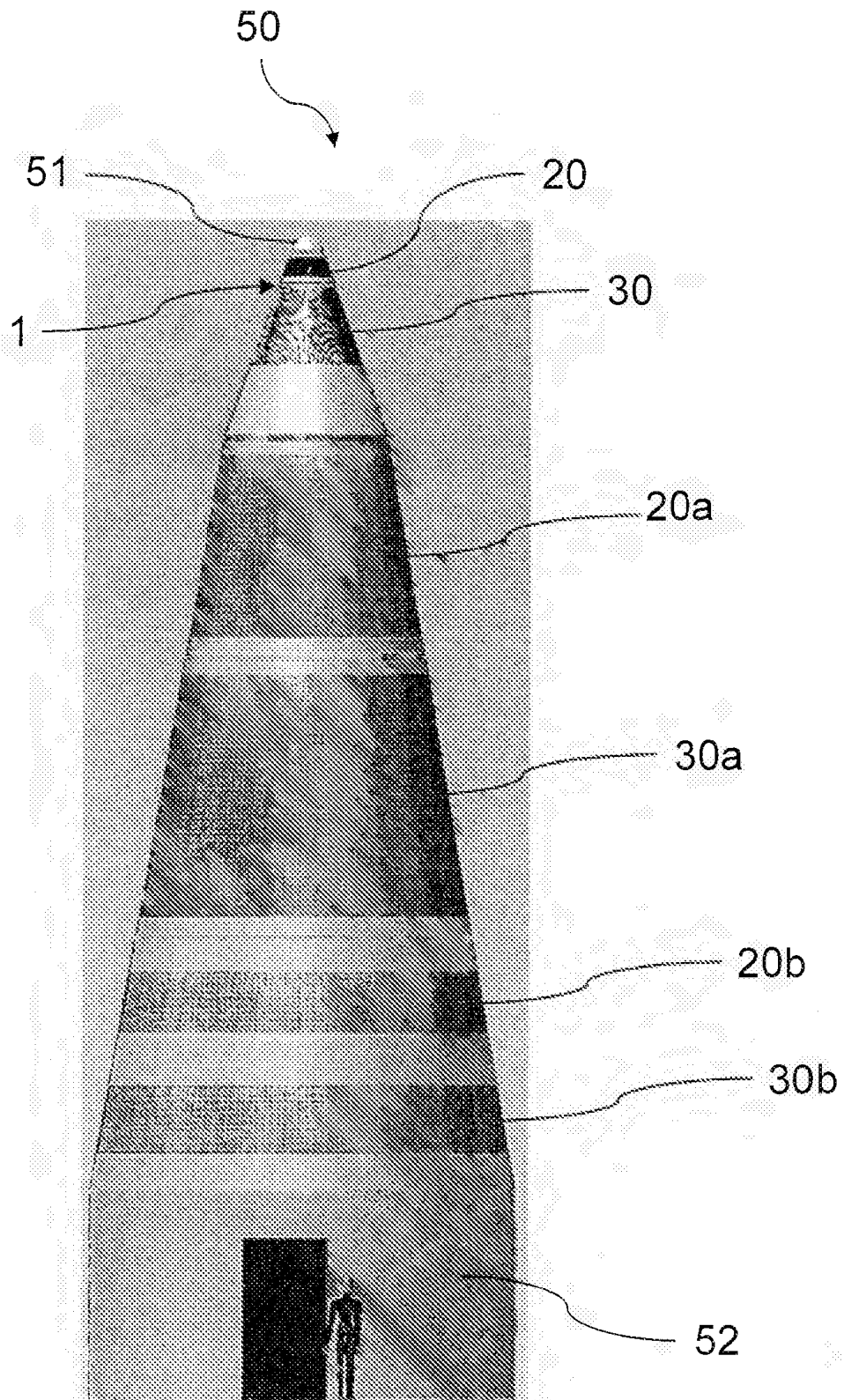


FIG. 10

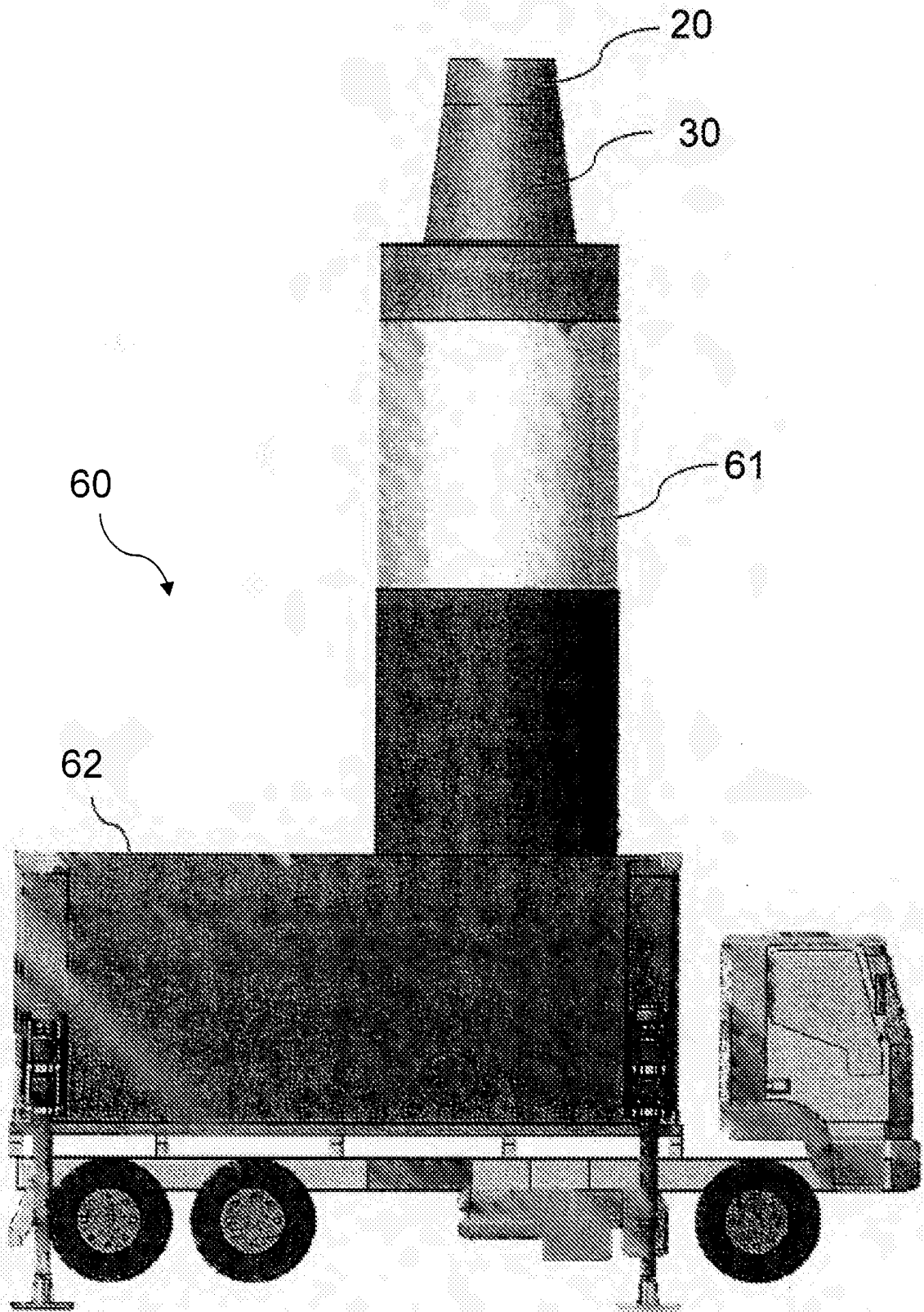


FIG. 11