



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
05.03.2008 Patentblatt 2008/10

(51) Int Cl.:
F41H 13/00 (2006.01) F41H 11/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07016701.0**

(22) Anmeldetag: **25.08.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

- **Urban, Jürgen, Dr.**
91056 Erlangen (DE)
- **Ehlen, Tilo, Dr.**
48155 Münster (DE)
- **Weixelbaum, Dieter**
91790 Nennslingen (DE)

(30) Priorität: **02.09.2006 DE 102006041225**

(71) Anmelder: **Diehl BGT Defence GmbH & Co.KG**
88662 Überlingen (DE)

(74) Vertreter: **Diehl Patentabteilung**
c/o Diehl Stiftung & Co. KG
Stephanstrasse 49
90478 Nürnberg (DE)

(72) Erfinder:
• **Stark, Robert, Dr.**
91438 Bad Windsheim (DE)

(54) **Verfahren und System zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern**

(57) Es wird ein Verfahren und ein System zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern (Manpads) beschrieben, die bei Start und Landung eine Bedrohung von militärischen und zivilen Flugzeugen darstellen. Zur Flug-

körperabwehr wird eine Störung des Flugkörpers durch eine Bestrahlung mit einer elektromagnetischen Störstrahlung durchgeführt. Bei dieser Störstrahlung kann es sich um eine Dauer-Bestrahlung oder um Frequenzpakete mit definierter Pulswiederholrate handeln.

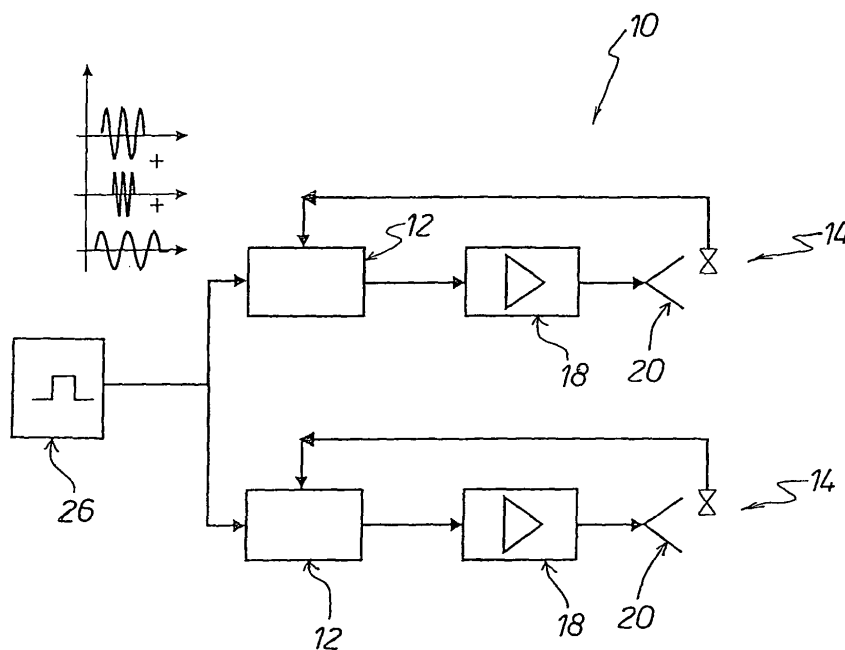


FIG.9

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein System gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 13 zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern.

[0002] Beim Start und bei der Landung können militärische und zivile Flugzeuge von Boden-Luft-Flugkörpern (Manpads = Man Portable Air Defense Systems) angegriffen werden. Solche Manpads sind weltweit auch terroristischen Kreisen verfügbar und stellen folglich eine ernstzunehmende Bedrohung dar. Diese Boden-Luft-Flugkörper sind in der Regel älterer Bauart und derzeit meist noch mit einer analogen Elektronik ausgestattet.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und ein System der eingangs genannten Art zu schaffen, das mit einfachen Mitteln zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern (= Manpads), die beim Start und bei der Landung eine Bedrohung von militärischen und zivilen Flugzeugen darstellen, geeignet ist.

[0004] Diese Aufgabe wird verfahrensgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Aus- bzw. Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Ansprüchen 2 bis 12 gekennzeichnet. Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird systemgemäß durch die Merkmale dieses Anspruchs 13 gelöst. Bevorzugte Aus- bzw. Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Systems sind in den Ansprüchen 14 bis 16 gekennzeichnet. Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe kann systemgemäß auch durch die Merkmale des Anspruchs 17 gelöst werden.

[0005] Die Anmelderin hat für verschiedene Manpads Wechselwirkungsdaten bezüglich deren Beeinflussbarkeit durch die Bestrahlung mit einer elektromagnetischen Störstrahlung erarbeitet. Die untersuchten Manpads zeigen über die jeweils eingestrahlte Frequenz der elektromagnetischen Störstrahlung unterschiedliche Empfindlichkeitsverläufe. Es ergeben sich in Abhängigkeit von der Frequenz der Störstrahlung Störspannungen mit unterschiedlichen Amplituden auf den empfindlichen Signalleitungen der analogen Steuerungselektronik der Manpads. Außerdem treten ausgeprägte Resonanzeffekte auf. Dabei hat sich des Weiteren gezeigt, dass die Resonanzfrequenzen sich in einem gewissen Umfang in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Strahlung (AOI = angle of incidence) der Störstrahlung auf den Boden-Luft-Flugkörper ändern.

[0006] Außerdem besitzen solche ältere, eine analoge Steuerungselektronik besitzende Flugkörper interne Arbeitsfrequenzen. Wird die bezüglich einer idealen Einkopplung geeignete Störstrahlung zusätzlich moduliert oder mit einer Frequenz getaktet, die der entsprechenden Arbeitsfrequenz entspricht, so ist ein Zielverlust des Suchkopfes des abzuwehrenden Flugkörpers wahrscheinlich.

[0007] Eine notwendige Pulsfolgefrequenz kann zusätzlich noch durch die Frequenz einer Rollbewegung des abzuwehrenden Flugkörpers überlagert sein.

[0008] Das Verhalten des Suchkopfes und damit die Flugbahn des abzuwehrenden Flugkörpers ist simulierbar. Entsprechende Simulationstools wurden von der Anmelderin für diverse Manpads entwickelt. Damit lässt sich die Effektivität einer in ihren Parametern optimierten elektromagnetischen Störbestrahlung nachweisen.

[0009] Bei einer gepulsten Bestrahlung mit der idealen Taktungsfrequenz steigt die zur Flugkörper-Abwehr bzw. -bekämpfung notwendige Feldstärke mit kürzerer Pulsdauer, d.h. die Feldstärke ist zur Pulsdauer umgekehrt abhängig. Es ist folglich in Bezug auf die jeweils minimal erforderliche Feldstärke und eine möglichst kurze Pulslänge eine Optimierung möglich.

[0010] Neben der Abhängigkeit der Resonanzfrequenzen vom Einfallswinkel (AOI) unterscheiden sich die erforderlichen Feldstärken und Pulslängen bei unterschiedlichen Flugkörpern ebenso wie die erforderlichen Taktungsfrequenzen.

[0011] Ein abzuwehrender Flugkörper oder mehrere - auch unterschiedliche - angreifende Flugkörper können erfindungsgemäß nach der Detektion mit einer richtbaren und gegebenenfalls nachführbaren Phasensteuerung mit einer elektromagnetischen Störstrahlung beaufschlagt werden. Bei der Nachführung kann es sich um eine mechanische oder um eine elektronische Nachführung über eine Phasensteuerung (Beam Steering) handeln.

[0012] Bei der elektromagnetischen Störstrahlung kann es sich um Radiofrequenzwellen (RF) oder um Mikrowellen (MW) handeln. Die von mindestens einer Störstrahlungsquelle abgestrahlte Wellenform bezüglich Frequenz, Pulslänge, Pulsamplitude d.h. elektrische Feldstärke, Taktung usw. und deren zeitlicher Verlauf sind derart, dass der mindestens eine angreifende Flugkörper nachhaltig in seiner Funktionsweise gestört wird, so dass dieser seine Mission nicht mehr durchführen kann.

[0013] Erfindungsgemäß ist eine Störung und somit eine Abwehr eines Flugkörpers durch eine Dauerstrich-Bestrahlung (CW) mit einer geeigneten Frequenz f möglich. Bei der Bestrahlung eines Manpads mit einer bekannten, vorher in Laborversuchen bestimmten und bezüglich der Einkopplung von Störungen idealen Frequenz kann der Flugkörper von seiner Flugbahn abgelenkt werden. Ein Vorteil einer Dauerstrich-Bestrahlung besteht in der Regel darin, dass am Ziel eine relativ geringe Feldstärkenamplitude notwendig ist. Damit sind mit einer gegebenen Sendeleistung und Antennenkonfiguration die größten Reichweiten erzielbar. Eine CW-Bestrahlung bedingt jedoch einen relativ hohen Leistungsbedarf. Außerdem wird mit einer bestimmten festen Frequenz meist nur ein bestimmter abzuwehrender Flugkörper getroffen. Das bedeutet, dass ggf. eine Identifizierung des angreifenden Flugkörpers notwendig werden kann. Außerdem ist bei unterschiedlichen Bestrahlungs-d.h. Einfallswinkeln (AOI) in der Regel die ideale Einkopplungsfrequenz verschoben, woraus eine Reduktion der Stör- bzw. Abwehrwirkung resultieren kann.

[0014] Um eventuelle Abweichungen von der optimalen Störfrequenz, die sich beispielsweise durch Flugkörper-spezifische und/oder Flugbahn-spezifische Rahmenbedingungen ergeben kann, ist es erfindungsgemäß auch möglich, die Störstrahlungs-Frequenz über einen vorgegebenen Frequenzbereich durchzustimmen. Das bedingt einen etwas größeren technologischen Aufwand sowie die Notwendigkeit, den Frequenzbereich innerhalb einer relativ engen Zeitspanne zu scannen, um am abzuwehrenden Flugkörper die entsprechende Wirkung sicherzustellen. Eine andere Möglichkeit besteht erfindungsgemäß darin, als elektromagnetische Störstrahlung Frequenzpakete der Frequenz f mit einer geeigneten definierten Pulswiederholrate zu verwenden. Das heißt, alternativ zur oben erwähnten Dauerstrich-Bestrahlung eines abzuwehrenden Flugkörpers kann dieser auch getaktet mit kurzen Pulsen der optimalen Einkoppelfrequenz f_1 bestrahlt werden. Die zur Abwehr des Flugkörpers erforderliche Feldstärke E_1 am Target, d.h. am abzuwehrenden Flugkörper, steigt in der Regel mit kürzeren Pulsen. Dabei kann ein Optimum gefunden werden, bei dem die notwendige Feldstärke noch sehr gering gegenüber der CW-Bestrahlung steigt, um den gleichen Abwehreffekt zu erzielen. Die Taktung, d.h. die Wiederholrate der Pulse, und die Einkoppelfrequenz sind dem abzuwehrenden Flugkörper entsprechend zu wählen.

[0015] Die Störung d.h. Abwehr eines Flugkörpers durch Bestrahlung mit Frequenzpaketen der Frequenz f_1 und einer geeigneten Pulswiederholrate weist im Vergleich zu einer CW-Bestrahlung den Vorteil auf, dass bei einer entsprechenden Optimierung bei gleicher Abwehrwirkung ein geringerer mittlerer Leistungsbedarf gegeben ist. Andererseits ist am Ziel eine etwas höhere Spitzefeldstärke notwendig und bei Erreichen der Grenzleistung der Strahlungsquelle eine etwas geringere Reichweite möglich.

[0016] Bei der Bestrahlung mit Dauerstrich d.h. bei der CW-Bestrahlung bzw. bei der Störung des Flugkörpers durch Bestrahlung mit Frequenzpaketen ist die Abhängigkeit der Resonanzfrequenzen des Flugkörpers vom Einfallswinkel nicht gelöst. Da der Einfallswinkel nicht einfach feststellbar ist, wird vorgeschlagen, beispielsweise direkt nacheinander unterschiedliche Frequenzpakete pro Taktung zu emittieren. Diese Frequenzpakete werden aus vorherigen Einkoppel-Untersuchungen mit unterschiedlichen Einfallswinkeln geeignet ausgewählt, um einen guten Querschnitt an Einkopplung in mindestens einem Fall, d.h. für mindestens eine Frequenz, zu erhalten. Das heißt, anstelle Frequenzpakete mit einer bestimmten konstanten Einkoppelfrequenz zu verwenden, kann es vorteilhaft sein, wenn Frequenzpakete mit sich ändernden Einkoppelfrequenzen verwendet werden. Diese Änderungen der Einkoppelfrequenzen können stufenweise oder kontinuierlich erfolgen. Alternativ zu diskreten Frequenzen ist also auch ein sogenannter Frequenzsweep geeignet. Auch dieser Frequenzsweep wird anhand der Wechselwirkungsdaten geeignet ausge-

wählt. Die Bandbreite und die Sweep-Geschwindigkeit werden relativ klein gehalten, um - bezogen auf die Breite der Einkoppelresonanz - mit ausreichender Bestrahlungszeit wirksam einzukoppeln. Bei einem zu schnellen Sweep würde nämlich analog zu sehr kurzen Pulsdauern die notwendige Feldstärke für Störungen ansteigen. Bei einer Bestrahlung eines abzuwehrenden Flugkörpers mit getakteten Frequenz- d.h. Pulspaketen, die jeweils aus einem Frequenzsweep bestehen, ergibt sich der Vorteil, dass bei passender Auslegung die Kenntnis des Einkreiswinkels des Flugkörpers nicht notwendig ist. Der mittlere Leistungsbedarf steigt jedoch.

[0017] Erfindungsgemäß ist es des Weiteren möglich, dass als elektromagnetische Störstrahlung voneinander verschiedene Frequenzpakete mit voneinander verschiedenen Pulswiederholraten verwendet werden, wobei die durch die Pulswiederholrate eines ersten Frequenzpaketes bestimmten Zeitfenster für mindestens ein zweites Frequenzpaket verwendet werden. Auf diese Weise ist eine Störung mehrerer bzw. unterschiedlicher Flugkörper durch Time-Multiplex von verschiedenen Flugkörper-spezifischen Frequenzpaketen möglich. Sind alle Frequenzen für eine Art von Flugkörper oder für Gruppen von Flugkörpern bei verschiedenen Einfallswinkeln (AOI) abgedeckt, so ergeben sich durch die Pulsung mit einer ersten Pulswiederholrate Zeitlücken, die für weitere Flugkörper genutzt werden können. Diese Zeitlücken werden mit mindestens einem weiteren Frequenzpaket aufgefüllt. Die Anzahl der mit unterschiedlichen Parametern zu bekämpfenden Flugkörper ist dabei nur durch das Zeitfenster begrenzt, das für die Bekämpfung maximal zur Verfügung steht. Diese Verfahrensvariante weist den Vorteil auf, dass mehrere Flugkörper-Typen bekämpft werden können, wobei eine Identifizierung der unterschiedlichen Flugkörper-Typen nicht erforderlich ist. Dieses erfindungsgemäße Verfahren benötigt jedoch einen hohen mittleren Leistungsbedarf; bei einer maximalen Ausnutzung der Zeitlücken ergibt sich ein Leistungsbedarf, der annähernd dem Leistungsbedarf einer Dauerstrich-Bestrahlung, wie sie weiter oben beschrieben worden ist, entspricht.

[0018] Erfindungsgemäß ist es auch möglich, dass als elektromagnetische Störstrahlung parallele additive Frequenzpakete mit voneinander verschiedenen Frequenzen verwendet werden. Damit ist eine Störung mehrerer bzw. unterschiedlicher Flugkörper durch die parallele additive Strahlung mehrerer verschiedener Flugkörper-spezifischer Frequenzpakete möglich. Ähnlich dem oben zuerst beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren ist es erfindungsgemäß nämlich auch möglich, die ermittelten, Flugkörperspezifisch optimalen Frequenzpakete parallel und additiv abzustrahlen. Das hat den Vorteil, dass eine Begrenzung auf Zeitlücken bzw. auf das zur Verfügung stehende Zeitfenster vermieden wird. Es kann also prinzipiell eine beliebige Anzahl unterschiedlicher Flugkörper bestrahlt werden. Durch additive Frequenzmischung ist es dabei möglich, mehrere Flugkörpergruppen gleichzeitig zu bekämpfen. Dabei steigt selbstver-

ständig der Leistungsbedarf eines Verstärkers, da die maximale Amplitude d.h. Feldstärke das Zwei- bzw. Mehrfache der zwei Einzelamplituden oder mehrere Einzelamplituden betragen kann. Diese Verfahrensweise besitzt jedoch die Vorteile, dass mehrere Flugkörper-Typen bekämpft werden können, wobei eine Identifizierung der unterschiedlichen Flugkörper-Typen nicht erforderlich ist. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass keine Begrenzung der Anzahl von Frequenzmustern durch die Aufteilung von Zeitlücken existiert.

[0019] Das erfindungsgemäße System zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann dadurch gekennzeichnet sein, dass ein Arbitrary Waveform Generator (AWG) und eine Anzahl parallel geschaltete Einzelmodule vorgesehen sind, die jeweils einen Phasenschieber, einen dem Phasenschieber nachgeschalteten Verstärker, eine dem Verstärker nachgeschaltete Antenne und einen dem Phasenschieber zugeordneten Phasendetektor aufweisen. Damit ist die Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen hoher Leistung möglich, die durch geeignete abgestrahlte Signalformen eine Missionsverteilung eines oder mehrerer Flugkörper gleichzeitig durch Störung seiner Regel- und Lenkkreiselektronik hervorrufen. Da die einzelnen Verstärkersysteme in ihrer maximalen Leistung begrenzt sind, wird erfindungsgemäß eine phasenrichtige Addition mehrerer Verstärkersysteme angestrebt. Die Verstärker und die Antennen der Einzelmodule besitzen üblicherweise zwischen dem Eingang und dem Ausgang eine frequenz- und amplitudenabhängige Phasenverschiebung, die auch noch zwischen den jeweiligen Verstärkern die Einzelmodule variieren kann. Bei der Kaskadierung von Verstärker-Antennensystemen zur Beeinflussung von Manpads muss jedoch eine Phasensynchronisation an den jeweiligen Antennenausgängen gewährleistet werden. Zu diesem Zwecke wird zwischen dem jeweiligen Verstärkereingang und der Antenne eine Phasenregelung realisiert.

[0020] Die Parallelschaltung der Einzelmodule ermöglicht eine erhöhte Leistungsabstrahlung und einen größeren Gewinn. Die notwendige Phasensynchronität wird durch eine Phasendetektor/Phasenschieberstruktur erreicht, welche die Phase zwischen dem Antennen-Ausgangssignal und dem AWG-Ausgang gleich regelt. Zu diesem Zwecke können entsprechende Signale direkt an der Antenne oder am jeweils zugehörigen Verstärker abgegriffen werden.

[0021] Im AWG werden unterschiedliche Frequenzbursts sequentiell im Rhythmus der kritischen Pulswiederholrate ausgegeben. Das ermöglicht eine Adaption der richtungsabhängigen Frequenzselektivität des Targets d.h. Manpads. Die Begrenzung der Pulswiederholrate, der Pulslänge und der Anzahl Frequenzen ist durch das oben erwähnte, endliche Zeitfenster definiert.

[0022] Dieses erfindungsgemäße System weist den Vorteil auf, dass nur ein einziger AWG - oder DDS-Synthesizer - notwendig ist. Die rückgekoppelten Einzelmodule garantieren die Phasengleichheit, so dass in vorteilhafter Weise eine einfache Parallelschaltung und An-

kopplung an den AWG möglich ist.

[0023] Ist eine elektrisch gesteuerte Richtwirkung erwünscht, so kann diese über zusätzliche Phasenschieber d.h. Verzögerungsglieder hinter dem AWG realisiert werden.

[0024] Die Notwendigkeit einer sequentiellen Anordnung der Sinusfunktionen im AWG beruht darauf, dass der oben genannte Phasendetektor und Phasenschieber nur für eine Sinus-Zeit-Funktion wirksam ist. Eine Erweiterung des Systems basiert auf einer frequenzmäßigen Trennung des Antennen-Messsignals und des AWG-Signals mit Hilfe von Bandpässen. Dabei erfolgt für jede damit herausgefilterte Frequenz eine Phasendetektion und Korrektur am Phasenschieber. Auf diese Weise ist auch eine zeitgleiche Addition der auszustrahlenden Frequenzen möglich, und eine Einschränkung bezüglich eines maximalen zur Verfügung stehenden Zeitfensters entfällt.

[0025] Das erfindungsgemäße System ist auch in der Weise realisierbar, dass eine Anzahl parallel geschaltete Einzelmodule vorgesehen sind, die jeweils einen AWG mit integriertem, multifrequentem Phasenschieber, einen diesem nachgeschalteten Verstärker und eine diesem nachgeschaltete Antenne aufweisen, wobei die AWG's über einen Masterclock synchronisiert sind. Bei einer solchen Ausbildung des erfindungsgemäßen Systems besitzen Verstärker und Antennensystem zwischen dem Eingang und dem Ausgang ebenfalls eine frequenz- und amplitudenabhängige Phasenverschiebung. Diese Phasenverschiebung kann zwischen den Verstärkern auch noch variieren. Bei der Kaskadierung von Verstärker-Antennensystemen zur Beeinflussungen von Manpads muss an den jeweiligen Antennenausgängen jedoch Phasengleichheit herrschen. Zu diesem Zwecke wird eine Phasenregelung d. h. -korrektur zwischen einer absoluten Referenzphase aller AWG's und dem jeweiligen Antennenausgang im AWG digital realisiert.

[0026] Die Parallelschaltung der Einzelmodule ermöglicht eine erhöhte Leistungsabstrahlung und einen größeren Gewinn. Die notwendige Phasensynchronität wird durch eine vollständig digital realisierte multifrequente Phasenadaption erzielt, die für alle gleichzeitig ausgegebenen Frequenzen die Phase zwischen dem Antennen-Ausgangssignal und der internen AWG-Frequenz gleich regelt. Alle AWG's sind hierbei über einen Masterclock synchronisiert. Im AWG werden Frequenzbursts unterschiedlicher Frequenz aufaddiert und im Rhythmus der kritischen Pulswiederholrate ausgegeben. Dies ermöglicht eine Adaption der richtungsabhängigen Frequenzselektivität des Targets und die gleichzeitige Bekämpfung unterschiedlicher Targets. Es existiert nur eine Limitierung der Anzahl unterschiedlicher Frequenzen durch die maximale Verstärker-Ausgangsleistung.

[0027] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung.

[0028] Es zeigen:

- Figur 1 ein Energie-Zeit-Diagramm einer Bestrahlung mit Dauerstrich,
- Figur 2 ein Energie-Zeit-Diagramm einer Bestrahlung eines Flugkörpers mit Energie-Pulsen,
- Figur 3 ein Energie-Zeit-Diagramm einer Bestrahlung mit getakteten Energie-Paketen, die jeweils aus unterschiedlichen diskreten Frequenzen zusammengesetzt sind,
- Figur 4 ein Energie-Zeit-Diagramm einer Bestrahlung mit getakteten Energie-Paketen, die jeweils aus einem Frequenzsweep bestehen,
- Figur 5 ein Energie-Zeit-Diagramm zur Verdeutlichung einer sequentiellen Bestrahlung mit in der Frequenz und der Pulswiederholrate angepassten Parametern für unterschiedliche Flugkörper oder Flugkörper-Gruppen,
- Figur 6 ein Energie-Zeit-Diagramm zur Verdeutlichung einer Bestrahlung mit in der Frequenz und der Pulswiederholrate angepassten Parametern für unterschiedliche Flugkörper oder Flugkörper-Gruppen im parallel additiven Modus,
- Figur 7 eine Ausbildung des erfindungsgemäßen Systems mit einem AWG,
- Figur 8 eine Erweiterung der Realisierungsmöglichkeit des Systems gemäß Figur 7, wobei nur ein Einzelmodul dargestellt ist, und
- Figur 9 eine andere Ausbildung des erfindungsgemäßen Systems mit einer Parallelschaltung von Einzelmodulen, die jeweils einen AWG aufweisen.

[0029] Figur 1 zeigt in einem Energie-Zeit-Diagramm die Bestrahlung eines Manpads mit Dauerstrich mit einer für einen bestimmten abzuwehrenden Flugkörper idealen Frequenz f_1 und der Energie E_0 . Bei der Bestrahlung eines abzuwehrenden Flugkörpers mit einer bekannten, vorher in Laborversuchen bestimmten und bezüglich der Einkopplung von Störungen idealen Frequenz f_1 kann der Flugkörper von seiner Flugbahn abgelenkt werden. Bei einer solchen Dauerstrich-Bestrahlung ist am Target in der Regel die geringste Feldstärkenamplitude E_0 notwendig. Damit sind bei einer gegebenen Sendeleistung und Antennenkonfiguration die höchsten Reichweiten erzielbar.

[0030] Figur 2 verdeutlicht in einem Energie-Zeit-Diagramm die Störung eines abzuwehrenden Flugkörpers durch eine Bestrahlung mit Frequenzpaketen der Frequenz f_1 und einer geeigneten Pulswiederholrate Δt . Mit $\Delta t = 1/f_{\text{PRR}}$, wobei f_{PRR} die jeweilige Taktung ist, die wie

die Einkoppelfrequenz f_1 flugkörperspezifisch gewählt wird. Die zur Abwehr eines Flugkörpers notwendige Feldstärke E_1 am Target steigt in der Regel mit kürzeren Pulsen; es kann jedoch ein Optimum gefunden werden, bei welchem die notwendige Feldstärke E_1 noch sehr gering im Vergleich zur Feldstärke E_0 bei einer Dauerstrich-Bestrahlung (siehe Figur 1) steigt, um die gleiche Wirkung zu erzielen.

[0031] Bei einer Dauerstrich-Bestrahlung gemäß Figur 1 und bei einer Störung des Flugkörpers durch Bestrahlung mit Frequenzpaketen der Frequenz f_1 und einer geeigneten Pulswiederholrate Δt ist die Abhängigkeit der Resonanzfrequenzen des jeweiligen Flugkörpers vom Einfallswinkel nicht gelöst. Da der Einfallswinkel nicht einfach feststellbar ist, bietet es sich an, beispielsweise direkt aufeinander folgend unterschiedliche Frequenzpakete pro Taktung Δt zu emittieren. Diese Frequenzpakete werden aus vorherigen Einkoppeluntersuchungen mit unterschiedlichen Einfallswinkeln geeignet ausgewählt, um einen guten Querschnitt an Einkopplung in mindestens einem Fall - für mindestens eine Frequenz - zu erhalten. Das ist in Figur 3 dargestellt, die in einem Energie-Zeit-Diagramm die Bestrahlung mit getakteten Paketen verdeutlicht, die jeweils aus unterschiedlichen aufeinander folgenden diskreten Frequenzen f_{1-} , f_1 , f_{1+} zusammengesetzt sind. Die Pulswiederholrate Δt ist der gemäß Figur 2 gleich.

[0032] Figur 4 verdeutlicht in einem Energie-Zeit-Diagramm die Bestrahlung eines abzuwehrenden Flugkörpers mit getakteten Paketen, die jeweils aus einem Frequenzsweep $f_{1-} \dots f_{1+}$ bestehen. Das heißt, alternativ zu geschalteten diskreten Frequenzen f_{1-} , f_1 , f_{1+} ist auch ein Frequenzsweep, d.h. eine kontinuierliche Frequenzänderung, möglich. Dieser Frequenzsweep wird anhand der entsprechenden Wechselwirkungsdaten geeignet ausgewählt.

[0033] Figur 5 verdeutlicht in einem Energie-Zeit-Diagramm eine sequentielle Bestrahlung mit in der Frequenz und in der Pulswiederholrate angepassten Parametern für unterschiedliche abzuwehrende Flugkörper oder Flugkörper-Gruppen. Sind alle Frequenzen für eine Art von Flugkörper - oder Flugkörper-Gruppe - bei verschiedenen Bestrahlungswinkeln (AOI) abgedeckt, so ergeben sich durch die Pulsung mit einer bestimmten Pulswiederholrate Δt_1 im entsprechenden Zeitbereich Zeitlücken, die für weitere Flugkörper genutzt werden können. Diese Zeit-Lücken zwischen den Frequenzpaketen f_{1-} , f_1 , f_{1+} werden mit weiteren Frequenzpaketen f_2 aufgefüllt. Die Anzahl der mit unterschiedlichen Parametern zu bekämpfenden Flugkörper ist nur durch das besagte Zeitfenster begrenzt, das für die Bekämpfung maximal zur Verfügung steht.

[0034] Die Pulswiederholrate Δt_2 der Frequenzpakete f_2 ist durch die Pulswiederholrate Δt_1 bestimmt.

[0035] Figur 6 verdeutlicht eine Bestrahlung mit in der Frequenz und in der Pulswiederholrate angepassten Parametern für unterschiedliche Flugkörper oder Flugkörper-Gruppen im parallel additiven Modus. Damit wird ei-

ne Begrenzung auf Lücken im Zeitbereich, d.h. auf ein zur Verfügung stehendes Zeitfenster, vermieden. Es kann prinzipiell eine beliebige Anzahl unterschiedlicher Flugkörper bestrahlt werden, um diese abzuwehren. Die Figur 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel für zwei Flugkörpergruppen, wobei sich die notwendigen Frequenzpakete f_1 und f_2 zeitlich überschneiden. Durch die additive Frequenzmischung können dennoch beide Flugkörpergruppen gleichzeitig bekämpft werden.

[0036] Figur 7 verdeutlicht ein erfindungsgemäßes System 10 zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern (Manpads), die bei Start und Landung eine Bedrohung von militärischen bzw. zivilen Flugzeugen darstellen. Das System 10 weist einen Arbitrary Waveform Generator (AWG) 12 und eine Anzahl parallel geschalteter Einzelmodule 14 auf. Jeder Einzelmodul 14 weist einen Phasenschieber 16, einen dem Phasenschieber 16 nachgeschalteten Verstärker 18 und eine dem Verstärker 18 nachgeschaltete Antenne 20 auf. Dem jeweiligen Phasenschieber 16 ist ein Phasendetektor 22 zugeordnet. Damit ist eine phasenrichtige Addition einer entsprechenden Anzahl Verstärkersystem möglich, da die einzelnen Verstärkersysteme in ihrer maximalen Leistung begrenzt sind. Die Verstärker 18 und die Antennen 20 besitzen üblicherweise zwischen dem Eingang und dem Ausgang eine frequenz- und amplitudenabhängige Phasenverschiebung, wobei diese Phasenverschiebung auch noch zwischen den einzelnen Verstärker 18 variieren kann. Bei der Kaskadierung von Verstärker-Antennensystemen zur Beeinflussung d.h. Abwehr von Manpads ist es jedoch erforderlich, dass eine Phasensynchronisation an den jeweiligen Antennenausgängen gewährleistet wird. Zu diesem Zwecke erfolgt zwischen dem jeweiligen Verstärkereingang und der Antenne 20 eine Phasenregelung.

[0037] Die Parallelschaltung der Einzelmodule 14 ermöglicht eine erhöhte Leistungsabstrahlung und einen größeren Antennengewinn. Die notwendige Phasensynchronität wird durch die Phasendetektor/Phasenschieberstruktur erreicht, die die Phase zwischen dem Antennenausgangssignal und dem Ausgang des AWG 12 gleich regelt. Hierzu können die entsprechenden Signale beispielsweise direkt an der jeweiligen Antenne 20 - oder an dem entsprechenden Verstärker 18 - abgegriffen werden.

[0038] Im AWG 12 werden unterschiedliche Frequenzbursts sequentiell im Rhythmus der kritischen Pulswiederholrate Δt ausgegeben. Das ermöglicht eine Adaption der richtungsabhängigen Frequenzselektivität eines Manpads.

[0039] Bei dem System 10 gemäß Figur 7 ist nur ein einziger AWG 12 - oder DDS-Synthesizer - notwendig.

[0040] Die Einzelmodule 14 sind jeweils mittels eines Parallel-Phasenschiebers 28 zueinander parallel geschaltet. Die Parallel-Phasenschieber 28 sind miteinander mittels einer Frequenzinformation aus der AWG 12 verarbeitenden gemeinsamen Phase-Array-Steuerung 30 wirkverbunden.

[0041] Figur 8 verdeutlicht eine Erweiterung des Systems gemäß Figur 7. Bei dieser Ausbildung sind ein AWG 12 und eine Anzahl parallel geschalteter Einzelmodule 14 vorgesehen, von welchen in Figur 8 nur einer gezeichnet ist. Jeder Einzelmodul 14 weist ein Paar zueinander parallele Phasenschieber 16, einen dem jeweiligen Phasenschieber 16 zugeordneten Phasendetektor 22, einen den beiden Phasenschiebern 16 nachgeschalteten Verstärker 18 und eine dem Verstärker 18 nachgeschaltete Antenne 20 auf. Dem jeweiligen Phasenschieber 16 und dem jeweils zugehörigen Phasendetektor 22 ist jeweils ein Bandpass 24 zugeordnet.

[0042] Die Notwendigkeit der sequentiellen Anordnung der Sinusfunktionen im AWG 12 beruht darauf, dass der Phasendetektor 22 und der Phasenschieber 16 nur für eine Sinus-Zeitfunktion wirksam sind. Die Erweiterung des Systems gemäß Figur 8 basiert auf einer frequenzmäßigen Trennung des Antennen-Messsignals und des AWG-Signals mittels Bandpässen 24, wobei für jede damit herausgefilterte Frequenz nur die Phasendetektion und Korrektur am Phasenschieber 16 erfolgt. Auf diese Weise ist eine zeitgleiche Addition der auszustrahlenden Frequenzen möglich und es entfällt eine Einschränkung bezüglich des maximal zur Verfügung stehenden Zeitfensters. Damit ist der in Figur 6 verdeutlichte Anwendungsfall abgedeckt.

[0043] Die Figur 9 verdeutlicht eine Ausbildung des Systems 10, wobei eine Anzahl parallel geschalteter Einzelmodule 14 vorgesehen sind, die jeweils einen AWG 12 mit einem integrierten multifrequenten Phasenschieber, einen dem jeweiligen AWG 12 nachgeschalteten Verstärker 18 und eine dem jeweiligen Verstärker 18 nachgeschaltete Antennen 20 aufweisen, wobei die AWG's 12 über einen Masterclock 26 synchronisiert sind.

[0044] Die Parallelschaltung der Einzelmodule 14 gemäß Figur 9 ermöglicht eine erhöhte Leistungsabstrahlung und einen entsprechend größeren Antennengewinn. Die notwendige Phasensynchronität wird durch eine vollständig digital realisierte multifrequente Phasennadaption erreicht, die für alle gleichzeitig ausgegebenen Frequenzen die Phase zwischen dem Ausgangssignal der jeweiligen Antenne 20 und der internen AWG-Frequenz gleich regelt. Im AWG 12 werden Frequenzbursts unterschiedlicher Frequenz aufaddiert und im Rhythmus der kritischen Pulswiederholrate Δt ausgegeben. Das ermöglicht eine Adaption der richtungsabhängigen Frequenzselektivität des abzuwehrenden Flugkörpers sowie die gleichzeitige Bekämpfung unterschiedlicher Targets d.h. Flugkörper.

Bezugsziffernliste:

[0045]

- | | |
|----|---|
| 10 | System |
| 12 | AWG/Arbitrary Waveform Generator (von 10) |
| 14 | Einzelmodul (von 10) |
| 16 | Phasenschieber (von 14) |

- 18 Verstärker (von 14)
- 20 Antenne (von 14)
- 22 Phasendetektor (für 16)
- 24 Bandpass (von 14)
- 26 Masterclock (von 10)
- 28 Parallel-Phasenschieber
- 30 Phase-Array-Steuerung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern (Manpads = Man Portable Air Defense Systems), die bei Start und Landung eine Bedrohung von militärischen und zivilen Flugzeugen darstellen, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Störung des Flugkörpers durch eine Bestrahlung mit einer elektromagnetischen Störstrahlung durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als elektromagnetische Störstrahlung eine Mikrowellenstrahlung oder eine Radiofrequenzstrahlung verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als elektromagnetische Störstrahlung eine Dauerstrich-Bestrahlung verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dauerstrich-Bestrahlung mit einer konstanten Störstrahlungsfrequenz erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dauerstrich-Bestrahlung über einen vorgegebenen Störstrahlungs-Frequenzbereich durchgeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als elektromagnetische Störstrahlung Frequenzpakete mit einer definierten Pulswiederholrate verwendet werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Frequenzpakete mit einer bestimmten konstanten Einkoppelfrequenz verwendet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Frequenzpakete mit sich stufenweise ändernden Einkoppelfrequenzen verwendet werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

9. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Frequenzpakete mit sich kontinuierlich ändernden Einkoppelfrequenzen verwendet werden.
10. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als elektromagnetische Störstrahlung voneinander verschiedene Frequenzpakete mit voneinander verschiedenen Pulswiederholraten verwendet werden, wobei die durch die Pulswiederholrate eines ersten Frequenzpaketes bestimmten Zeitfenster für mindestens ein zweites Frequenzpaket verwendet werden.
11. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als elektromagnetische Störstrahlung parallele additive Frequenzpakete mit voneinander verschiedenen Frequenzen verwendet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** Frequenzpakete mit unterschiedlichen Pulswiederholraten verwendet werden.
13. System zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern (Manpads = Man Portable Air Defense Systems), die bei Start und Landung eine Bedrohung von militärischen und zivilen Flugzeugen darstellen, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Arbitrary Waveform Generator (AWG) (12) und eine Anzahl parallel geschaltete Einzelmodule (14) vorgesehen sind, die jeweils einen Phasenschieber (16), einen dem Phasenschieber nachgeschalteten Verstärker (18), eine dem Verstärker nachgeschaltete Antenne (20) und einen dem Phasenschieber (16) zugeordneten Phasendetektor (22) aufweisen.
14. System nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einzelmodule (14) jeweils mittels eines Parallel-Phasenschiebers (28) zueinander parallel geschaltet sind.
15. System nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Parallel-Phasenschieber (28) miteinander mittels einer Frequenzinformation aus der AWG (12) verarbeitenden gemeinsamen Phase-Array-Steuerung (30) wirkverbunden sind.
16. System nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein AWG (12) und eine Anzahl parallel geschaltete Einzelmodule (14) vorgesehen sind, jeweils ein Paar zueinander parallel Phasenschieber (16), ei-

nen den jeweiligen Phasenschieber zugeordneten Phasendetektor (22), einen den beiden Phasenschiebern (16) nachgeschalteten Verstärker (18) und eine dem Verstärker nachgeschaltete Antenne (20) aufweisen, wobei dem jeweiligen Phasenschieber (16) und dem zugehörigen Phasendetektor (22) jeweils ein Bandpass (24) zugeordnet ist. 5

17. System zur Abwehr von Boden-Luft-Flugkörpern (Manpads = Man Portable Air Defense System), die bei Start und Landung eine Bedrohung von militärischen und zivilen Flugzeugen darstellen, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** eine Anzahl parallel geschaltete Einzelmodule (14) vorgesehen sind, die jeweils einen AWG (12) mit integriertem, multifrequenitem Phasenschieber, einen diesem nachgeschalteten Verstärker (18) und eine diesem nachgeschaltete Antenne (20) aufweisen, wobei die AWG's (12) über einen Masterclock (26) synchronisiert sind. 10 15 20

25

30

35

40

45

50

55

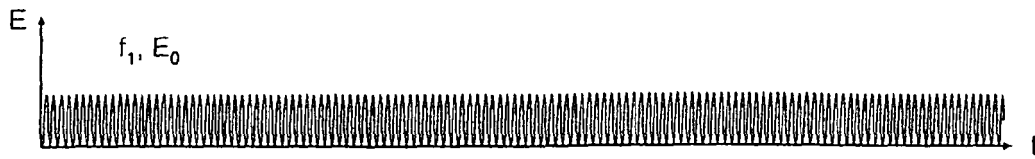


FIG. 1

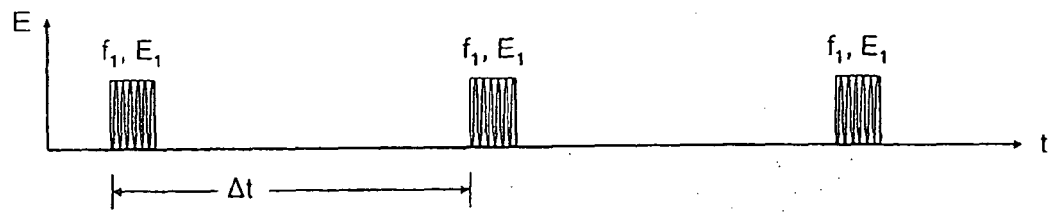


FIG. 2

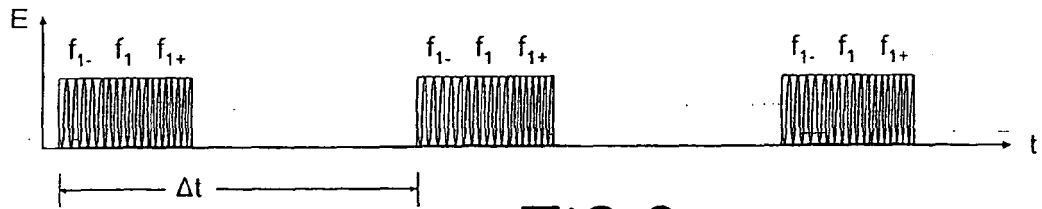


FIG. 3

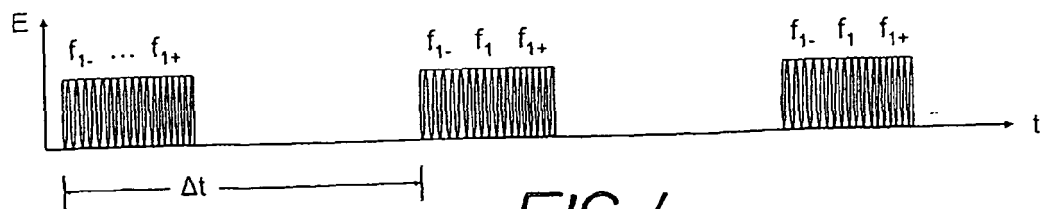


FIG. 4

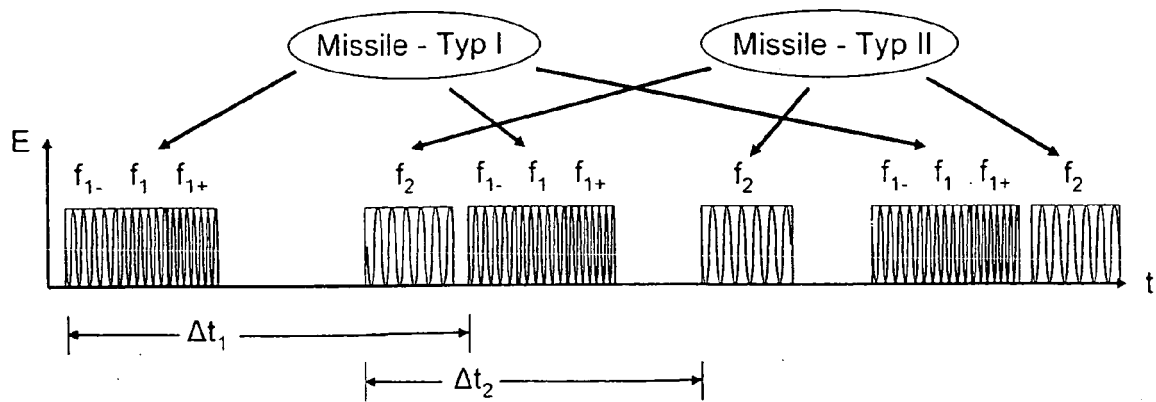


FIG. 5

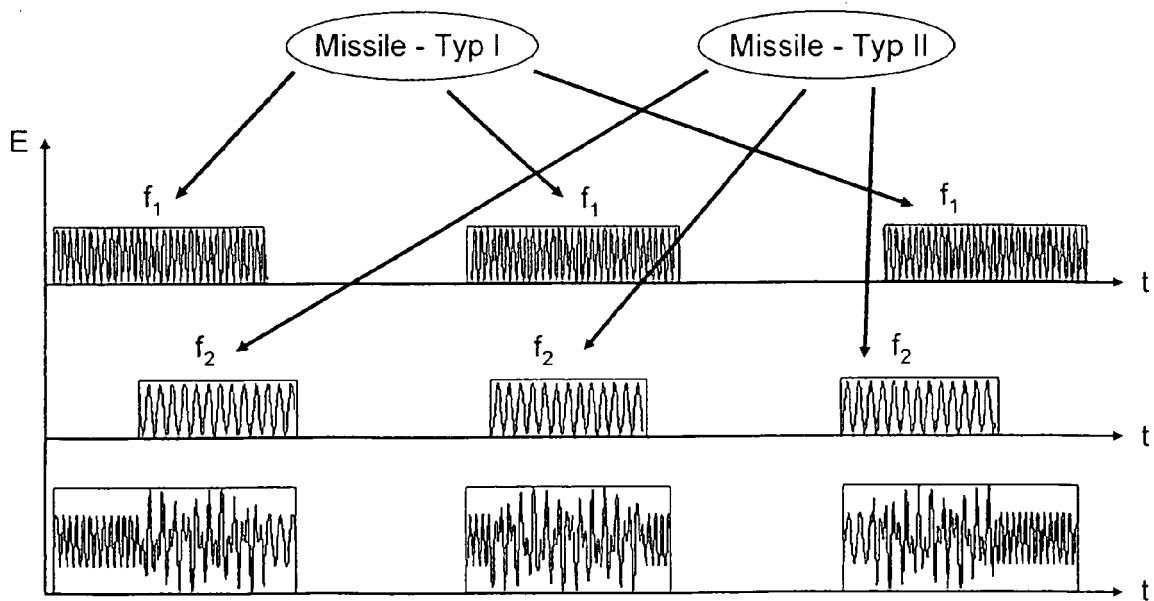


FIG. 6

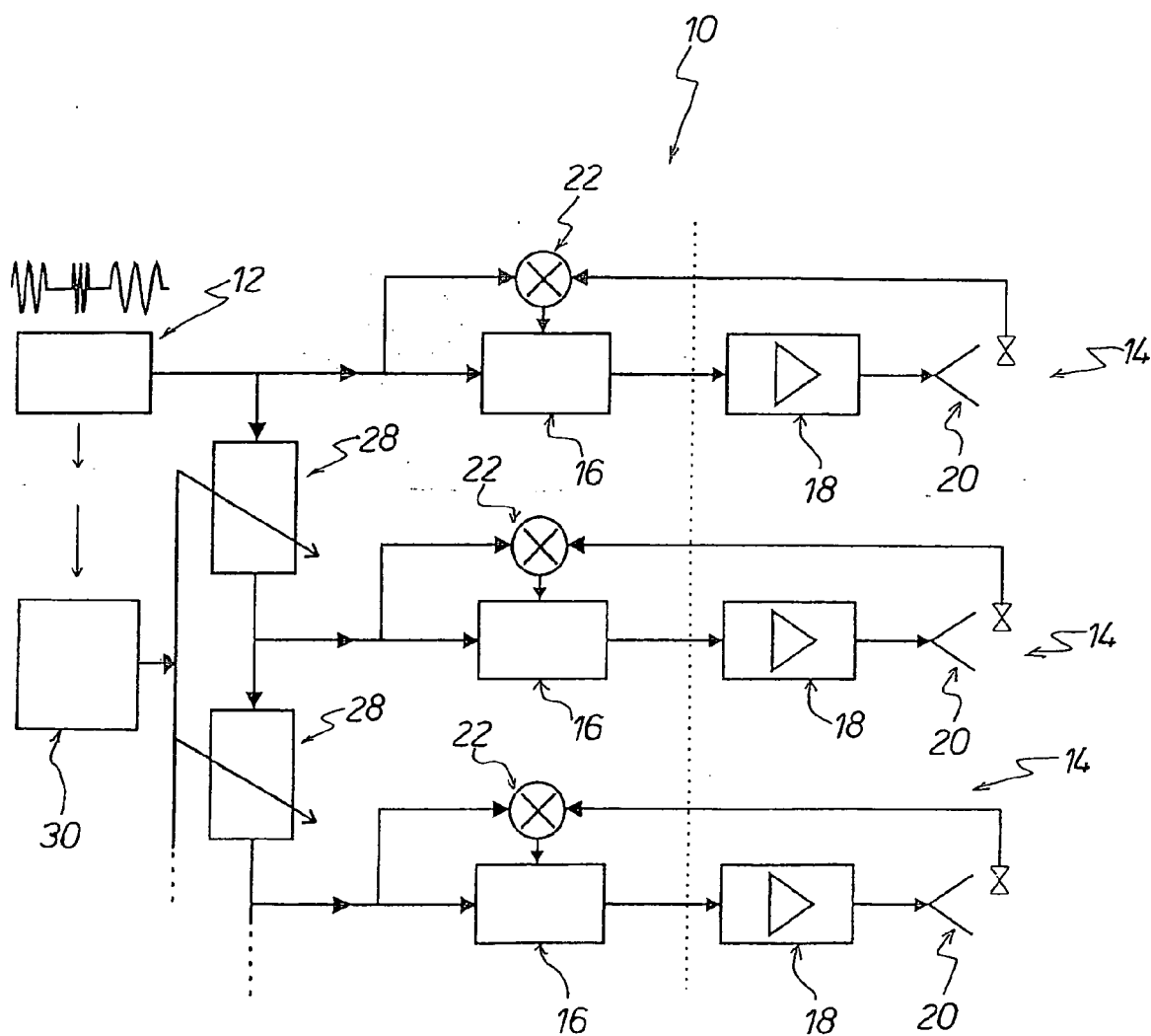


FIG. 7

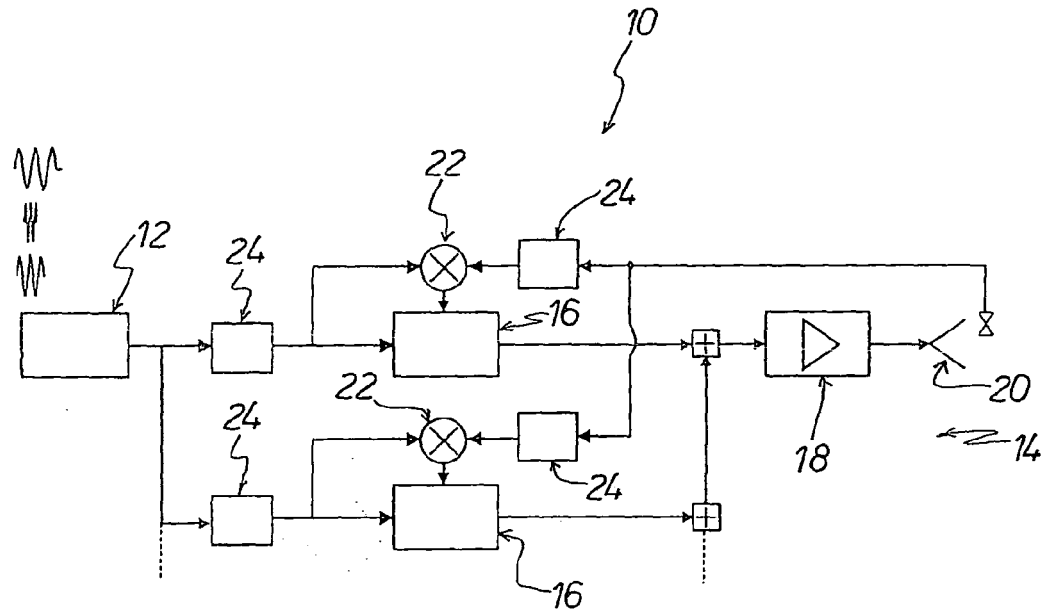


FIG. 8

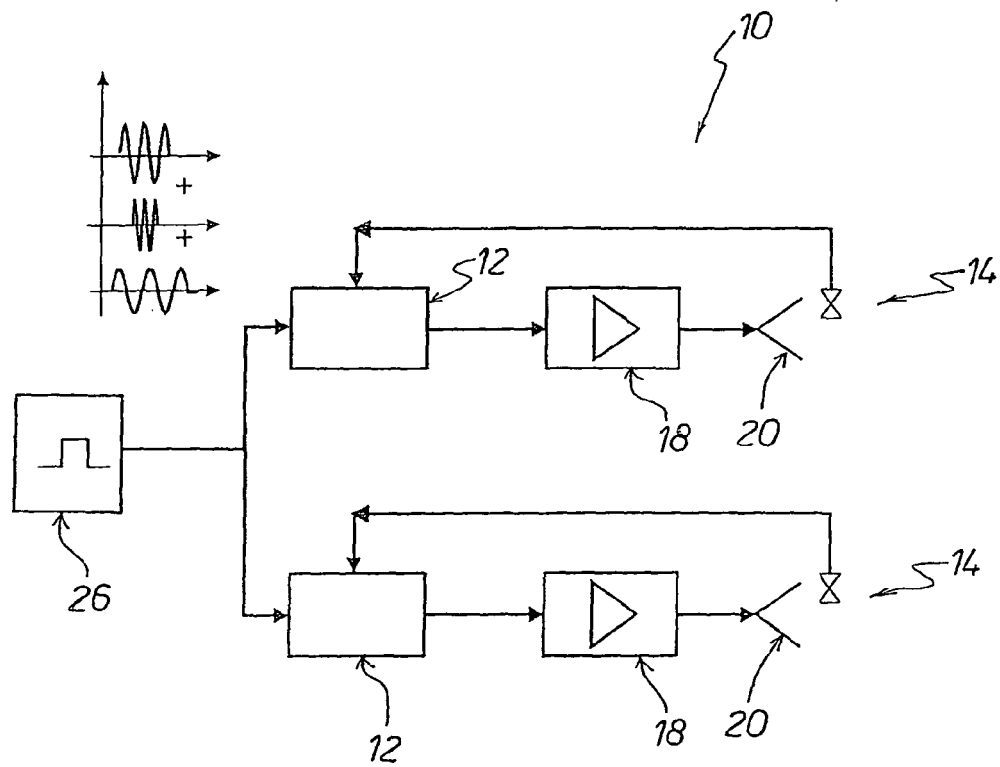


FIG. 9