



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 010 765 T2 2008.04.30**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 526 605 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 010 765.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 400 056.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **22.10.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.04.2005**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.12.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.04.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01Q 3/34 (2006.01)**

**H01Q 25/00 (2006.01)**

**H01Q 21/06 (2006.01)**

**H01Q 1/28 (2006.01)**

**H04B 7/06 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**689626                      22.10.2003                      US**

(73) Patentinhaber:

**ITT Mfg. Enterprises, Inc., Wilmington, Del., US**

(74) Vertreter:

**Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188  
Stuttgart**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI,  
SK, TR**

(72) Erfinder:

**Canginai, Gene, 07054 Parsippany New Jersey, US**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur gleichzeitigen Aussendung von mehreren Signalen in unterschiedlichen Richtungen mittels eine aktive phasengesteuerte Gruppenantenne**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

künftige Versionen des GPS.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Verfahren und Vorrichtungen zum Erzeugen von Sendungen mehrerer Signale in mehreren Strahlenbündeln unter Verwendung einer aktiven phasengesteuerten Gruppenantenne.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0002]** Es gibt viele Kommunikations-, Radar- und Navigationsanwendungen, die mehrere Sendestrahlenbündel von einem gemeinsamen Standort mit verschiedenen Signalen in den verschiedenen Strahlenbündeln erfordern. Die nächste Generation der Satelliten des globalen Positionierungssystems (GPS-Satelliten) erfordert z. B. die Sendung von Fleckstrahlenbündeln, um militärische Signale mit höherer Leistung auf Operationsschauplätze zu richten, zusammen mit breiteren die Erde überstreichenden Strahlenbündeln für herkömmliche Navigationsanwendungen. Die vorgeschlagenen Lösungen enthalten die Verwendung einer separaten kardanisch aufgehängten Antenne, um das Fleckstrahlenbündel bereitzustellen, zusätzlich zur vorhandenen die Erde überstreichenden Antenne. Alternative Zugänge, die eine aktive phasengesteuerte Gruppenantenne mit einem elektronisch gesteuerten Strahlenbündel verwenden, um das Fleckstrahlenbündel zu implementieren, sind außerdem vorgeschlagen worden.

**[0003]** Die Verwendung einer separaten Antenne (mechanisch gesteuert oder elektronisch gesteuert) für jedes Strahlenbündel erfordert außerdem die Verwendung eines separaten Senders und der zugeordneten Elektronik, um jede Antenne anzusteuern. Dies vergrößert die Kosten, die Größe, das Gewicht und die Leistungsanforderungen des Systems im hohen Maße gegenüber jenen, die für eine einzige phasengesteuerte Gruppenantenne und einen einzigen Sender erforderlich sein würden. Es würden z. B. separate Hochleistungsverstärker (HPAs) erforderlich sein, um jede Antenne anzusteuern. Außerdem begrenzt die Verwendung separater Antennen und separater Sender für die verschiedenen Strahlenbündel (z. B. für die die Erde überstreichenden Strahlenbündel und die Fleckstrahlenbündel) die Fähigkeit, die Leistung zwischen den verschiedenen Strahlenbündeln neu zuzuteilen. Diese Flexibilität würde für viele Anwendungen einen signifikanten Vorteil schaffen. Die Fähigkeit, die Leistung zwischen den Strahlenbündeln neu zuzuteilen, würde z. B. mehr Leistung bereitstellen, um zusätzliche Missionen mit dem die Erde überstreichenden Strahlenbündel zu unterstützen, wenn sich die Fleckstrahlenbündel nicht in Gebrauch befinden – ein sehr erwünschtes Merkmal für

**[0004]** Es wird angegeben, dass aktive phasengesteuerte Gruppenantennen konfiguriert worden sind, um mehrere gleichzeitige Strahlenbündel mit dem gleichen Signal in allen Strahlenbündeln bereitzustellen. Vorzugsweise würde ein System, das mehrere Strahlenbündel für mehrere Signale erzeugen kann, die Verwendung zusammengesetzter Signale erlauben, deren Amplituden-Hüllkurven konstant sind. Falls Signale mit nicht konstanter Hüllkurve an die HPAs angelegt werden, ist die Verwendung im hohen Grade effizienter Sättigungs-HPAs ausgeschlossen. Lineare Verfahren, die zusammengesetzte Signale mit nicht konstanter Hüllkurve erzeugen, führen zu leistungseffizienten Mechanisierungen, weil die Leistungsverstärker, die für die Sendung der zusammengesetzten Signale verwendet werden, im linearen Bereich arbeiten müssen. Die Leistungsverstärker sind sehr viel effizienter, wenn sie in der Sättigungsbetriebsart betrieben werden. Die lineare Überlagerung von chip-synchronen orthogonalen Signalen, die zu senden sind, ist eine theoretisch verlustlose Multiplexierung, falls die nachfolgende Sendekette linear bleibt. Das Aufrechterhalten der Linearität erfordert einen linearen Hochleistungsverstärker (HPA). Weil jede HPA-Kennlinie schließlich gesättigt wird, wie seine Eingangsleistung zunimmt, werden derartige lineare Verstärker der Basisstations-Sender/Empfänger typischerweise bei 4-5 dB durchschnittlicher Leistungs-Unteraussteuerung betrieben, um den Spitzenleistungsbedarf unterzubringen.

**[0005]** Folglich sind lineare Kombinationstechniken in dem Sinn maximal effizient, dass es keinen tatsächlichen Signalleistungsverlust gibt, aber der Gesamtwirkungsgrad derartiger Techniken wird durch die Notwendigkeit gefährdet, den Verstärker bei einer signifikanten Leistungs-Unteraussteuerung zu betreiben, um die momentanen Fluktuationen der Signal-Hüllkurve unterzubringen. Ein alternativer Zugang, um eine größere Durchschnittsleistung zu produzieren, besteht darin, eine effektivere Zuordnung des Verlustbudgets zwischen dem Multiplexierer und dem Hochleistungsverstärker zu erreichen. Nichtlineare Multiplexierungsverfahren, die ein zusammengesetztes Signal mit konstanter Hüllkurve erzeugen, erlauben, dass ein größerer Bruchteil der verfügbaren Senderleistung für die Kommunikation verwendet wird, aber auf Kosten eines Multiplexierungsverlusts, der als ein Intermodulationsprodukt charakterisiert werden kann. Dieser Multiplexierungsverlust ist jedoch typischerweise kleiner als die Leistungs-Unteraussteuerung, die er ersetzt, was zu einem vorteilhaften Kompromiss führt. Deshalb sind Signalstrukturen mit konstanter Hüllkurve erforderlich, falls nach unverzerrter Sendung mit voller Leistung gestrebt wird. Folglich würde es beim Entwickeln eines Schemas zum gleichzeitigen Senden mehrerer Strahlenbündel mit mehreren Signalen erwünscht sein, von jedem

Antennenelement in der Gruppe ein zusammengesetztes Signal mit konstanter Amplituden-Hüllkurve zu senden, um die Verwendung leistungseffizienter Sättigungs-HPAs zu erlauben.

**[0006]** Das US-Patent 5.754.139 beschreibt ein Verfahren für die digitale Strahlenbündelbildung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Das Verfahren schafft im Zusammenhang mit einer Gruppenantenne mehrere Antennenstrahlbündel, die verschiedene Signale übertragen. Das Verfahren umfasst die Schritte des Erzeugens der Signale, die zu senden sind, und des Bildens eines zusammengesetzten Signals aus diesen Signalen.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0007]** Deshalb ist es angesichts des Obigen und aus anderen Gründen, die offensichtlich werden, wenn die Erfindung vollständig beschrieben wird, eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, gleichzeitig mehrere verschiedene Signale in mehreren verschiedenen Strahlenbündeln mit der gleichen Trägerfrequenz von einer gemeinsamen Antenne zu senden.

**[0008]** Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Gesamt-Hardware für ein System zu verringern, die erforderlich ist, um mehrere verschiedene Signale in mehreren verschiedenen Strahlenbündeln von einem gemeinsamen Standort oder Ort zu senden, und dadurch die Kosten, das Gewicht, die Größe und die Leistung des Systems zu verringern.

**[0009]** Es ist eine nochmals weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Leistung zwischen mehreren Strahlenbündeln, die gleichzeitig durch eine gemeinsame Antenne gesendet werden, dynamisch zuzuteilen.

**[0010]** Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Signale mit konstanter Hüllkurve effektiv zu erzeugen, um die Verwendung von Sättigungs-Hochleistungsverstärkern bei der Signalsendung zu erlauben.

**[0011]** Die obenerwähnten Aufgaben werden einzeln oder in Kombination gelöst, wobei es nicht vorgesehen ist, dass die vorliegende Erfindung so ausgelegt wird, dass sie es erfordert, dass zwei oder mehrere der Aufgaben kombiniert werden, es sei denn, es ist durch die hierzu beigefügten Ansprüche ausdrücklich erforderlich.

**[0012]** Gemäß der vorliegenden Erfindung enthält das Verfahren zum Senden von zwei Signalen von einer gemeinsamen Antenne die Merkmale, wie sie im Anspruch 1 definiert sind. Das erste Sendestrahlenbündel kann z. B. ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel des GPS sein, während das zweite

Sendestrahlenbündel ein steuerbares Fleckstrahlenbündel des GPS sein kann. Dies kann leicht erweitert werden, um zusätzliche Strahlenbündel mit zusätzlichen Signalen einzubeziehen.

**[0013]** Die gemeinsame Antenne ist eine phasengesteuerte Gruppenantenne, die eine Gruppe von Antennenelementen umfasst, bei der mehrere zusammengesetzte Signale, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, gebildet werden, wobei die Phasen der zusammengesetzten Signale eine Funktion der Signalmodulation und der Phasen der jeweiligen Antennenelemente sind, die erforderlich sind, um die mehreren Sendestrahlenbündel zu bilden.

**[0014]** Gemäß einer Ausführungsform sind mehrere erste modulierte Signale in Übereinstimmung mit den Phasen der jeweiligen Antennenelemente, die erforderlich sind, um das erste Sendestrahlenbündel zu bilden, phasenverschoben, während mehrere zweite modulierte Signale in Übereinstimmung mit den Phasen der jeweiligen Antennenelemente, die erforderlich sind, um das zweite Sendestrahlenbündel zu bilden, separat phasenverschoben sind. Die zwei Sätze der phasenverschobenen Signale werden dann kombiniert, um die mehreren zusammengesetzten Signale zu bilden. Die ersten und zweiten modulierten Signale können separat gedämpft werden, um die Verteilung der Leistung zwischen dem ersten und dem zweiten Sendestrahlenbündel zu steuern.

**[0015]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden mehrere digitale zusammengesetzte Signale, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, gebildet, wobei die Phasen der digitalen zusammengesetzten Signale eine Funktion der Modulation der ersten und zweiten Signale und der Phasen der jeweiligen Antennenelemente sind, die erforderlich sind, um die ersten und zweiten Sendestrahlenbündel zu bilden. Die digitalen zusammengesetzten Signale werden in analoge zusammengesetzte Signale umgesetzt, wobei die Trägersignale mit den analogen zusammengesetzten Signalen moduliert werden, um die mehreren zusammengesetzten Signale zu bilden. Die Phasen mehrerer erster digitaler Signale, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, werden basierend auf einer Modulation des ersten Signals und den Phasen der jeweiligen Antennenelemente, die erforderlich sind, um das erste Sendestrahlenbündel zu bilden, bestimmt. Ähnlich werden die Phasen mehrerer zweiter digitaler Signale, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, basierend auf einer Modulation des zweiten Signals und den Phasen der jeweiligen Antennenelemente, die erforderlich sind, um das zweite Sendestrahlenbündel zu bilden, bestimmt. Die mehreren digitalen zusammengesetzten Signale werden dann basierend auf den Phasen und den Amplituden der mehreren ersten und zweiten digitalen Signale gebildet.

**[0016]** Bei dieser Ausführungsform werden entsprechend einem Zugang die digitalen zusammengesetzten Signale aus einer Vektorsumme der ersten und zweiten digitalen Signale berechnet. Spezifischer wird für jedes Antennenelement eine zusammengesetzte Phase basierend auf der Phase und der Amplitude der Komponentensignale bestimmt, wobei die Phase jedes Komponentensignals wiederum aus der momentanen Modulationsphase und der Strahlenbündel-Bildungsphase des Komponentensignals für jedes Antennenelement bestimmt wird. Vorteilhaft kann das zusammengesetzte Signal eine konstante Hüllkurve besitzen, was die Verwendung effizienter Sättigungs-Hochleistungsverstärker erlaubt.

**[0017]** Gemäß einem weiteren Zugang werden die digitalen zusammengesetzten Signale gebildet, indem die ersten und zweiten digitalen Signale in einer Zeiteinteilungs-Weise verschachtelt werden. Dieser Zugang vermeidet die Signalbegrenzung, die beim Summieren der Signale auftreten kann. Die Verteilung der Leistung zwischen den Strahlenbündeln kann gesteuert werden, indem das Verhältnis der Zeitsegmente ausgewählt wird, die jedem der Signale im Verschachtelungsmuster zugeordnet sind.

**[0018]** Eine Vorrichtung zum Senden mehrere Signale gemäß der Erfindung umfasst die Merkmale gemäß Anspruch 9.

**[0019]** Die folgenden Beschreibungen verschiedener Ausführungsformen nehmen für die Einfachheit an, dass nur zwei Signale mittels zweier Sendestrahlenbündel zu senden sind. Es wird angegeben, dass die Erfindung nicht auf zwei Signale mittels zweier Strahlenbündel begrenzt ist. Sie kann verwendet werden, um mehrere unabhängige Signale zu senden, jedes mittels seines eigenen dedizierten, unabhängig steuerbaren Strahlenbündels.

**[0020]** Gemäß der digitalen Implementierung enthält das Sendersystem einen Prozessor, der mehrere digitale zusammengesetzte Signale bildet, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, wobei die Phasen der digitalen zusammengesetzten Signale eine Funktion der Modulation der ersten und zweiten Signale und der Phasen der jeweiligen Antennenelemente, die erforderlich sind, um die ersten und zweiten Sendestrahlenbündel zu bilden, sind. Eine Gruppe von Digital-Analog-Umsetzern setzt die digitalen zusammengesetzten Signale in analoge zusammengesetzte Signale um, während eine Gruppe von Signalmodulatoren die Trägersignale mit den analogen zusammengesetzten Signalen moduliert, um die mehreren zusammengesetzten Signale zu bilden.

**[0021]** Der Prozessor bestimmt die Phasen mehrerer erster digitaler Signale, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, basierend auf einer Modulation des ersten Signals und den Phasen der je-

weiligen Antennenelemente, die erforderlich sind, um das erste Sendestrahlenbündel zu bilden, und bestimmt die Phasen mehrerer zweiter digitaler Signale, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, basierend auf einer Modulation des zweiten Signals und den Phasen der jeweiligen Antennenelemente, die erforderlich sind, um das zweite Sendestrahlenbündel zu bilden. Dann bildet der Prozessor die mehreren digitalen zusammengesetzten Signale basierend auf den Phasen und den Amplituden der mehreren ersten und zweiten digitalen Signale. Dies kann unter Verwendung des obenerwähnten Summierungszugangs oder des Verschachtelungszugangs ausgeführt werden.

**[0022]** Die obigen und noch weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden bei Betrachtung der folgenden Definitionen, Beschreibungen und anschaulichen Figuren ihrer spezifischen Ausführungsformen offensichtlich, in denen gleiche Bezugszeichen in den verschiedenen Figuren verwendet werden, um gleiche Komponenten zu bezeichnen. Obwohl die Beschreibung in spezifische Einzelheiten der Erfindung geht, sind selbstverständlich Abwandlungen daran möglich, die für den Fachmann auf dem Gebiet basierend auf dieser Beschreibung offensichtlich sind.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0023]** [Fig. 1](#) ist ein funktionaler Blockschahtplan, der einen typischen Zweiantennenzugang veranschaulicht, um mehrere Strahlenbündel zum Senden mehrerer Signale zu erzeugen.

**[0024]** [Fig. 2](#) ist ein funktionaler Blockschahtplan, der ein Sendersystem zum gleichzeitigen Senden mehrerer Signale in mehreren Strahlenbündeln von einer gemeinsamen Antenne veranschaulicht, worin ein vom Verstärker geliefertes zusammengesetztes Signal kein zusammengesetztes Signal mit konstanter Amplitude ist.

**[0025]** [Fig. 3](#) ist eine graphische Darstellung, die eine Konvention zum Beschreiben von Vektoren gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

**[0026]** [Fig. 4](#) ist eine graphische Darstellung, die die Vektoraddition von Signalen veranschaulicht, um ein zusammengesetztes Signal mit konstanter Hüllkurve gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu erzeugen.

**[0027]** [Fig. 5](#) ist ein funktionaler Blockschahtplan, der ein Sendersystem zum gleichzeitigen Senden mehrerer Signale in mehreren Strahlenbündeln von einer gemeinsamen Antenne gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

## BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0028]** Das hierin beschriebene System schafft ein eindeutiges Verfahren zum gleichzeitigen Senden mehrerer Strahlenbündel, jedes mit seiner eigenen Signalkomponente, von derselben aktiven phasengesteuerten Gruppenantenne. Diese Konfiguration eliminiert den Bedarf an separaten Antennen und Sendern für jedes der erforderlichen Strahlenbündel. Das System kann mehrere gleichzeitige Strahlenbündel, z. B. ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel und mehrere Fleckstrahlenbündel, die mehrere Operationsschauplätze überstreichen, mit der Fähigkeit bilden, die Leistung zwischen den verschiedenen Strahlenbündeln neu zuzuteilen, was im Kontext der Satellitensysteme in der Umlaufbahn ausgeführt werden kann. Das an jeden der Hochleistungsverstärker (HPA) angelegte zusammengesetzte Signal besitzt vorzugsweise, obwohl nicht notwendigerweise eine konstante Amplituden-Hüllkurve, die die Verwendung von Sättigungs-HPAs mit ihrem zugehörigen Leistungswirkungsgrad erlaubt.

**[0029]** Wie die Begriffe Antennenstrahlenbündel, Sendestrahlenbündel oder einfach "Strahlenbündel" einschließlich Fleckstrahlenbündel und die Erde überstreichende Strahlenbündel hierin verwendet werden, bezeichnen sie im Allgemeinen die in einer bestimmten Richtung konzentrierte ausgestrahlte Energie. Das ausgestrahlte Antennenstrahlenbündel wird durch eine Richtantenne gebildet und über einen speziellen Winkelbereich in Übereinstimmung mit dem Antennenmuster (d. h. der ausgestrahlten Feldintensität als eine Funktion des Winkels) ausgestrahlt, was zur Sendung eines gerichteten Signals führt. Das Antennenstrahlenbündel kann in einer speziellen Richtung fest sein oder kann elektronisch oder mechanisch über einen Bereich von Richtungen gesteuert werden. In dem Fall einer Antenne, die eine Gruppe von Antennenelementen umfasst, die in einer koordinierten Weise einzeln Signale senden, ist es möglich, das Antennenstrahlenbündel elektronisch zu steuern, indem die relativen Phasen der durch die Antennenelemente gesendeten Signale gesteuert werden.

**[0030]** Der Begriff "mehrere Signale in mehreren Strahlenbündeln" bezieht sich auf die gleichzeitige Sendung von zwei oder mehr verschiedenen Strahlenbündeln (die z. B. verschiedene Richtungen und/oder Formen besitzen) von einer gemeinsamen Antenne mit der gleichen Trägerfrequenz, wobei zwei oder mehr verschiedene Signale (die z. B. verschiedene Informationen enthalten, eine verschiedene zeitliche Abstimmung, eine verschiedene Signalstruktur, eine verschiedene Codierung usw. besitzen) mittels der Strahlenbündel gesendet werden, wobei wenigstens eines der Strahlenbündel ein Signal überträgt, das von einem Signal verschieden ist, das

durch wenigstens ein anderes der Strahlenbündel übertragen wird. Das einfachste Beispiel ist eine Zwei-Strahlenbündel-Konfiguration (z. B. ein GPS-Fleckstrahlenbündel und ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel des GPS), bei dem eines der Strahlenbündel ein erstes Signal überträgt, während das andere Strahlenbündel ein zweites, verschiedenes Signal überträgt, wobei beide Signale mit der gleichen Frequenz (z. B. der GPS-L1-Frequenz) gesendet werden. Der Begriff "mehrere Signale in mehreren Strahlenbündeln" schließt keine komplexeren Anordnungen aus (z. B. drei oder mehr Strahlenbündel, wobei jedes Strahlenbündel sein eigenes eindeutiges Signal oder das gleiche Signal, das in einem oder mehreren der anderen Strahlenbündel übertragen wird, übertragen kann).

**[0031]** Um die Erfindung besser zu erkennen, wird zuerst eine typischere Zweiantennenkonfiguration zum Erzeugen zweier separater Strahlenbündel mit separaten Signalen beschrieben. In [Fig. 1](#) ist ein GPS-Satelliten-Sendersystem **10** gezeigt, das zwei separate Antennen verwendet. Der GPS-Satellit muss Signale auf den Frequenzen des L-Bandes des GPS (L1 bei 1575,42 MHz und L2 bei 1227,6 MHz) sowohl mittels Fleckstrahlenbündel mit schmaler Strahlenbündelbreite (z. B. für potentielle militärische Anwendungen) als auch mittels die Erde überstreichender Strahlenbündel mit breiterer Strahlenbündelbreite (z. B. für die zivile und kommerzielle Verwendung) senden. Um diesen Anforderungen zu entsprechen, enthält das System **10** eine erste Fleckstrahlenbündel-Antenne **12** und eine zweite Antenne **14** für die die Erde überstreichenden Strahlenbündel. Die Antennen **12** und **14**, die in [Fig. 1](#) durch Ovale dargestellt sind, können phasengesteuerte Gruppenantennen sein, die Gruppen von Antennenelementen umfassen (die Mehrelementnatur der Antennen wird durch die kleineren Ovale angedeutet, die in den größeren Antennenovalen dargestellt sind). Weil die Strahlenbündelbreite zur Antennengröße umgekehrt proportional ist, ist die Fleckstrahlenbündel-Antenne **12** physisch größer als die Antenne **14** für die die Erde überstreichenden Strahlenbündel, wie es durch die relativen Größen der Ovale in [Fig. 1](#) angedeutet ist. Die Größe der Antennen ist durch den kleinsten erforderlichen Fleck oder die kleinste erforderliche Ausleuchtzone bestimmt. Die kleinere Antenne **14** für die die Erde überstreichenden Strahlenbündel kann z. B. einen Durchmesser von etwa drei Fuß besitzen, falls die Strahlenbündelformung erforderlich ist, oder sie kann ohne Strahlenbündelformung etwas kleiner sein. Um die Sendung mit beiden L1- und L2-Frequenzen zu ermöglichen, enthalten beide Antennen **12** und **14** Antennenelemente, die mit der L1-Frequenz senden, die mit Antennenelementen durchgesetzt sind, die mit der L2-Frequenz senden. Diese Konfiguration stellt eigentlich vier Antennen dar, die mittels der Verschachtelung der Elemente den physikalischen Raum von zwei Antennen belegen.

**[0032]** Unter Bezugnahme auf das auf der linken Seite nach [Fig. 1](#) gezeigte Fleckstrahlenbündel-Sendersystem wird ein Signal des Fleckstrahlenbündels mit der L1-Frequenz durch einen Vorverstärker **16** verstärkt und an einen Leistungsteiler **18** geliefert, der das Signal des L1-Fleckstrahlenbündels an eine Gruppe variabler Phasenschieber **20** verteilt, die den jeweiligen L1-Antennenelementen in der Fleckstrahlenbündel-Antennengruppe entsprechen. Jeder der variablen Phasenschieber **20** verleiht in Übereinstimmung mit einem einzelnen Phasenbefehl dem Eingangssignal des L1-Fleckstrahlenbündels eine Phasenverschiebung. Der Satz der jeweils an die Gruppe variabler Phasenschieber **20** gelieferten Phasenbefehle veranlasst, dass das Fleckstrahlenbündel elektronisch in einer speziellen Richtung gesteuert wird. Durch das Einstellen der relativen Phasen der Phasenbefehle kann das Strahlenbündel über einen Bereich von Winkeln gesteuert werden, wie es notwendig ist, um spezielle GPS-Funktionen oder -Operationen zu unterstützen, die Fleckstrahlenbündel verwenden. Eine Gruppe von Hochleistungsverstärkern (HPAs) **22**, die den jeweiligen L1-Antennenelementen in der Antennengruppe entsprechen, verstärkt die phasenverschobenen Signale der L1-Fleckstrahlenbündel von den variablen Phasenschiebern **20** vor der Sendung der Signale durch die jeweiligen L1-Antennenelemente.

**[0033]** Ähnlich wird ein Signal des Fleckstrahlenbündels mit der L2-Frequenz durch einen Vorverstärker **24** verstärkt und an einen Leistungsteiler **26** geliefert, der das Signal des L2-Fleckstrahlenbündels an eine Gruppe variabler Phasenschieber **28** verteilt, die den jeweiligen L2-Antennenelementen in der Antennengruppe entsprechen und die Strahlenbündelsteuerung des L2-Fleckstrahlenbündels ausführen. Jedes der Signale der L2-Fleckstrahlenbündel wird durch einen entsprechenden HPA **30** (ein HPA für jedes L2-Antennenelement) verstärkt und mittels eines entsprechenden L2-Antennenelements gesendet, so dass die Gruppe phasenverschobener Signale der L2-Fleckstrahlenbündel das elektronisch gesteuerte L2-Fleckstrahlenbündel bildet.

**[0034]** In dem in [Fig. 1](#) gezeigten System werden die die Erde überstreichenden L1- und L2-Strahlenbündel unter Verwendung einer separaten die Erde überstreichenden Antenne erzeugt, die zusätzliche Hardware benötigt, um die die Erde überstreichenden L1- und L2-Strahlenbündel zu erzeugen. Speziell wird unter Bezugnahme auf das auf der rechten Seite nach [Fig. 1](#) gezeigte Sendersystem für die die Erde überstreichenden Strahlenbündel ein Signal des die Erde überstreichenden Strahlenbündels mit der L1-Frequenz durch einen Vorverstärker **32** verstärkt und an einen Leistungsteiler **34** geliefert, der das Signal des L1-Fleckstrahlenbündels an eine Gruppe fester Phasenschieber **36** verteilt. Weil das die Erde überstreichende Strahlenbündel nicht elek-

tronisch gesteuert wird, können feste Phasenschieber verwendet werden. Auf Grund der Symmetrie besitzen bestimmte L1-Antennenelemente die gleiche Phasenverschiebung, was die Gruppierung von Sätzen von Elementen mit der gleichen festen Phasenverschiebung erlaubt. Folglich können ein einziger fester Phasenschieber und ein einziger HPA verwendet werden, um den Satz von Antennenelementen anzusteuern, die die gleiche Phasenverschiebung besitzen. Nach der Verstärkung durch die HPAs **38** werden die Signale des die Erde überstreichenden L1-Strahlenbündels mittels der die Erde überstreichenden L1-Antennenelemente gesendet, um das die Erde überstreichende Strahlenbündel zu bilden.

**[0035]** Ähnlich wird ein Signal des die Erde überstreichenden Strahlenbündels mit der L2-Frequenz durch einen Vorverstärker **40** verstärkt und an einen Leistungsteiler **42** geliefert, der das Signal des die Erde überstreichenden L2-Strahlenbündels an eine Gruppe von Phasenschiebern **44** verteilt. Jedes der phasenverschobenen Signale wird vor der Sendung durch einen entsprechenden HPA **46** verstärkt. Wie beim die Erde überstreichenden L1-Strahlenbündel können bestimmte Elemente gruppiert werden und durch einen einzigen festen Phasenschieber und einen einzigen HPA angesteuert werden, weil Sätze von Antennenelementen des die Erde überstreichenden L2-Strahlenbündels die gleiche Phasenverschiebung besitzen, so dass die Anzahl der festen Phasenschieber und der HPAs kleiner als die Anzahl der L2-Antennenelemente sein kann. Wie aus der in [Fig. 1](#) gezeigten Konfiguration klar wird, sind zwei separate Antennen erforderlich, um das Fleckstrahlenbündel und das die Erde überstreichende Strahlenbündel zu erzeugen, wobei jede dieser Antennen die vollständige Sender-Hardware zum Erzeugen der Signale mit den L1- und L2-Frequenzen benötigt (d. h. zwei Antennen und vier Sätze von Sender-Hardware). Diese Hardware-Anforderungen machen diese Konfiguration teuer. Außerdem gibt es keine Möglichkeit des dynamischen Zuteilens der Leistung zwischen dem Fleckstrahlenbündel und dem die Erde überstreichenden Strahlenbündel für die Anpassung an wechselnde Betriebsanforderungen oder -bedingungen.

**[0036]** Die Signalkombinationstechniken der vorliegenden Erfindung erlauben, dass mehrere verschiedene Antennen-Strahlenbündel, die mehrere verschiedene Signale übertragen, gleichzeitig unter Verwendung eines einzigen Satzes von Sender-Hardware und einer einzigen Antenne gesendet werden. Spezifischer wirkt die Kombinationstechnik auf einen speziellen HF-Träger, um gleichzeitig mittels einer gemeinsamen Antenne (z. B. einer phasengesteuerten Gruppenantenne) wenigstens erste und zweite Signale mit der gleichen Frequenz zu senden, wobei das erste Signal mittels eines ersten Antennen-Strahlenbündels gesendet wird, während das

zweite Signal mittels eines zweiten Antennen-Strahlenbündels gesendet wird, das im Allgemeinen in der Richtung, der Strahlenbündelbreite, der Leistung, dem Antennenverstärkungsmuster usw. vom ersten Antennen-Strahlenbündel verschieden sein kann.

**[0037]** Die meisten für Kommunikations- und Navigationsanwendungen interessierenden Signale sind verschiedene Phasenmodulationen desselben HF-Trägers, wobei die Strahlenbündelformung ausgeführt wird, indem den Signalen, die an jedes der Antennenelemente angelegt werden, zusätzliche Phasenverschiebungen verliehen werden. Ein wichtiges Konzept, das der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt, besteht darin, die Phasenmodulation und die Strahlenbündelformung zu kombinieren, um eine zusammengesetzte Phase für das Anlegen an jedes Gruppenelement abzuleiten. Zu irgendeinem Zeitpunkt verändert sich die Signalphase von einem Gruppenelement zu einem weiteren, um die Konfiguration der Strahlenbündel zu verursachen, während sich bei irgendeinem Gruppenelement die Signalphase auf Grund der Phasenmodulation in den verschiedenen Signalen zeitlich ändert. Es können verschiedene Verfahren verwendet werden, um die verschiedenen Signalkomponenten zu kombinieren, um das gewünschte zusammengesetzte Signal zu erreichen, wobei die optimale Technik des Kombinierens von der spezifischen Anwendung abhängig ist. Hierin sind einige Beispieltechniken beschrieben.

**[0038]** Die einfachste Signalkombinationstechnik, um das gewünschte Ergebnis der mehreren Strahlenbündel mit entsprechenden verschiedenen Signalen zu erreichen, ist die Summation der jedem Strahlenbündel entsprechenden Signale. [Fig. 2](#) veranschaulicht ein Signalkombinationssystem **50**, das diesen Zugang im Kontext eines GPS-Satelliten-Senders implementiert, der sowohl ein Fleckstrahlenbündel als auch ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel mit einer speziellen Frequenz senden muss. Die Komponenten des in [Fig. 2](#) gezeigten Signalkombinationssystems **50** beziehen sich auf ein einziges Antennenelement einer phasengesteuerten Gruppenantenne (oder einer Gruppe von Antennenelementen, bei der bestimmte Antennenelemente auf Grund der Symmetrie immer die gleiche Phase besitzen). Das Gesamtsendersystem enthält mehrere dieser Komponenten mit einem Satz von Komponenten für jedes Antennenelement (oder für jede Gruppe von Elementen) in der Antennengruppe.

**[0039]** Für jedes Antennenelement (oder für jede Gruppe) enthält das Signalkombinationssystem **50** einen Phasenschieber **52**, der die Phasenverschiebung des die Erde überstreichenden Signals (das als das "EC-Signal" bezeichnet ist) mit einer speziellen Frequenz ausführt, und einen Phasenschieber **54**, der die Phasenverschiebung des Signals des Fleckstrahlenbündels mit der gleichen Frequenz ausführt.

Das in [Fig. 2](#) gezeigte die Erde überstreichende Eingangssignal ist eines aus einer Gruppe derartiger Signale, die durch das Aufspalten eines anfänglichen die Erde überstreichenden Signals mittels eines (nicht gezeigten) Leistungsteilers nach der Verstärkung durch einen (nicht gezeigten) Vorverstärker erzeugt wird und die der Gruppe von Antennenelementen entspricht. Das in [Fig. 2](#) gezeigte Eingangssignal des Fleckstrahlenbündels ist ebenfalls eines aus einer Gruppe derartiger Signale, die in einer ähnlichen Weise erzeugt wird. Falls die Richtung des die Erde überstreichenden Strahlenbündels während der Zeit konstant bleibt, kann der Phasenschieber **52** ein fester Phasenschieber sein. Der Phasenschieber **54** ist vorzugsweise ein digital gesteuerter variabler Phasenschieber, um die elektronische Steuerung des Fleckstrahlenbündels zu erlauben.

**[0040]** Das phasenverschobene die Erde überstreichende Signal und das Signal des Fleckstrahlenbündels werden jeweils durch die Dämpfungsglieder **56** und **58** gedämpft, die verwendet werden, um die Leistung zwischen den zwei Strahlenbündeln zuzuteilen. Das gedämpfte Signal des die Erde überstreichenden Strahlenbündels und das gedämpfte Signal des Fleckstrahlenbündels, die beide Signale mit konstanter Hüllkurve sind, werden an einen Nullphasen-Hybriden **60** geliefert, der z. B. ein Standard-HF-Signal-Kombinator, wie z. B. ein Wilkinson-Kombinator, sein kann. Das resultierende zusammengesetzte Signal besitzt keine konstante Hüllkurve. Folglich wird ein linearer Verstärker **62** verwendet, um das zusammengesetzte Signal vor der Sendung durch ein Antennenelement **64** (oder eine Gruppe von Elementen, wo dies durch die Symmetrie erlaubt ist) zu verstärken.

**[0041]** Diese Konfiguration erzeugt ein doppeltes Strahlenbündel (ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel und ein Fleckstrahlenbündel) mit separaten Signalen in jedem Strahlenbündel und schafft die Fähigkeit, die Gesamtleistung zwischen den zwei Strahlenbündeln durch das Einstellen der Dämpfungsglieder zuzuteilen. Ein Nachteil dieser Technik ist, dass das zusammengesetzte Signal, das an den Verstärker geliefert wird, kein Signal mit konstanter Hüllkurve ist, deshalb muss der Verstärker ein linearer Verstärker sein, der weniger effizient als ein Sättigungsverstärker ist, wie oben beschrieben worden ist. Falls außerdem zusätzliche Strahlenbündel mit zusätzlichen Signalen hinzugefügt werden, muss im linearen Verstärker ein zusätzlicher Spielraum hinzugefügt werden, um die größeren Amplitudenhübe im zusammengesetzten Signal unterzubringen, was den Leistungswirkungsgrad weiter verschlechtert.

**[0042]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kann der Leistungswirkungsgrad im Allgemeinen verbessert werden, indem eine dritte Signalkomponente hinzugefügt wird, die zu einem zusammen-

gesetzten Signal mit konstanter Hüllkurve führt. Zu irgendeinem Zeitpunkt besitzen das die Erde überstreichende Signal und das Signal des Fleckstrahlenbündels eine beliebige Phasenverschiebung zwischen ihnen, weil die absolute Phase jedes Signals die Summe der Phase von seinem Modulationssignal und der Phase, die erforderlich ist, um seine gewünschte Strahlenbündelform zu bilden, ist. Im Kontext des GPS-Beispiels, das ein Fleckstrahlenbündel und ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel umfasst, ändert sich der Strahlenbündelformungs-Phasenwinkel für das Fleckstrahlenbündel im Allgemeinen viel langsamer als der Phasenwinkel von der Signalmodulation, wobei der Phasenwinkel für das feste die Erde überstreichende Strahlenbündel für jedes Antennenelement konstant ist.

**[0043]** Das Verständnis des Konzepts des Erzeugens eines Signals mit konstanter Hüllkurve unter Verwendung einer zusätzlichen Signalkomponente wird durch die Vektoranalyse unterstützt, die im Zusammenhang mit den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) beschrieben wird. In [Fig. 3](#) kann ein Vektor  $\underline{a}$  als aus einem Betrag  $a$  und dem Winkel  $\theta$  bestehend beschrieben werden, den er mit der gleichphasigen Achse  $I$  bildet,  $\underline{a} = a < \theta$ , wobei das Zeichen  $<$  "mit dem Winkel" bedeutet. Dann sind die Beträge der Komponenten von  $\underline{a}$  längs der  $I$ - und  $Q$ -Achsen:  $a_i = a \cdot \cos(\theta)$  bzw.  $a_q = a \cdot \sin(\theta)$ .

**[0044]** In [Fig. 4](#) sei das Signal des Fleckstrahlenbündels als der Vektor  $\underline{s} = s < \alpha$  dargestellt und das die Erde überstreichende Signal als der Vektor  $\underline{e} = e < \beta$  dargestellt. Der in [Fig. 4](#) gezeigte Kreis repräsentiert eine konstante Hüllkurve. Der Kreis besitzt einen Radius, der gleich der maximalen möglichen Amplitude der Summe des Signals des Fleckstrahlenbündels und des Signals des die Erde überstreichenden Strahlenbündels ist, die sich ergibt, wenn der Vektor des Signals des Fleckstrahlenbündels und der Vektor des Signals des die Erde überstreichenden Strahlenbündels den gleichen Winkel besitzen (d. h. die Skalarsumme der Amplituden der zwei Strahlenbündel). Falls zu irgendeinem Zeitpunkt diese Vektoren kollinear sind (d. h. die gestrichelte Orientierung für  $\underline{e}$ , die in [Fig. 4](#) gezeigt ist), würde der Betrag des zusammengesetzten Signals  $c = e + s$  oder der Radius des Kreises sein. Sobald die einzelnen Pegel des Signals des Fleckstrahlenbündels und des Signals des die Erde überstreichenden Strahlenbündels bestimmt worden sind, ist folglich die zusammengesetzte Amplitude  $c$  des Signals mit konstanter Hüllkurve auf die Summe dieser zwei Signalpegel oder  $c = e + s$  gesetzt.

**[0045]** Zu irgendeinem beliebigen Zeitpunkt kann das zusammengesetzte Signal wie folgt abgeleitet werden:

$$m_i = s \cdot \cos(\alpha) + e \cdot \cos(\beta), \quad (1)$$

$$m_q = s \cdot \sin(\alpha) + e \cdot \sin(\beta). \quad (2)$$

**[0046]** Dann kann der Winkel  $\theta$  des zusammengesetzten Signals bestimmt werden:

$$\theta = \tan^{-1}(m_q/m_i). \quad (3)$$

**[0047]** Die Eingaben des gleichphasigen Kanals ( $I$ ) und des um  $90^\circ$  phasenverschobenen Kanals ( $Q$ ) können als:

$$I = c \cdot \cos(\theta), \quad (4)$$

$$Q = c \cdot \sin(\theta) \quad (5)$$

berechnet werden.

**[0048]** Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, ist, wenn die zwei Vektoren nicht den gleichen Winkel besitzen, die Amplitude des resultierenden Vektors  $\underline{e} + \underline{s}$  kleiner als der Radius des Kreises. Indem eine dritte Signalkomponente mit dem Winkel  $\theta$  addiert wird, kann der Betrag des resultierenden Vektors zum Kreis der konstanten Hüllkurve hinaus verlängert werden. Folglich kann das gewünschte zusammengesetzte Signal als der Vektor mit dem Winkel  $\theta$  konstruiert werden, dessen Betrag auf den gewünschten Betrag  $c = e + s$  (den Kreisradius) skaliert ist. Dann besitzt zu jedem Zeitpunkt das berechnete zusammengesetzte Signal die gleiche Amplitude, was die Verwendung der im hohen Grade effizienten Sättigungsverstärker erlaubt. Die Eingaben des gleichphasigen Kanals und des um  $90^\circ$  phasenverschobenen Kanals können folglich für jedes Element der Antennengruppe leicht berechnet werden.

**[0049]** Das resultierende zusammengesetzte Signal kann als die Vektorsumme des Vektors des Signals des Fleckstrahlenbündels und des Vektors des Signals des die Erde überstreichenden Strahlenbündels und der zusätzlichen dritten Signalkomponente, die dazu dient, das Signal zur geeigneten Amplitude umzuskalieren, betrachtet werden. Das Endergebnis des Hinzufügens dieser dritten Signalkomponente ist das zusammengesetzte Signal  $\underline{c}$ , das eine konstante Amplitude (den Radius des Kreises) besitzt, was die Verwendung der im hohen Grade effizienten Sättigungsverstärker erlaubt. Dieses Konzept kann leicht auf mehr als zwei Strahlenbündel mit einem eindeutigen Signal in jedem Strahlenbündel erweitert werden, während ein Signal mit konstanter Amplitude (Hüllkurve) aufrechterhalten wird. Die in der zusätzlichen Signalkomponente, die als die "dritte Signalkomponente" in [Fig. 4](#) beschriftet ist, enthaltene Leistung ist verschwendete Leistung. Es sind die "Kosten" des Erhaltens eines zusammengesetzten Signals mit konstanter Hüllkurve, ähnlich zur Intermodulationskomponente in einem Interplex-Modulator. Wie bei der Interplex-Modulation ist der Gesamtwirkungsgrad gegenüber der Konfiguration mit linearen

Verstärkern signifikant verbessert. Ein Nachteil dieser Technik ist, dass sie äquivalent zur "Begrenzung" des Vektors des gewünschten zusammengesetzten Signals ist, wobei es abhängig von der Anwendung nicht möglich sein kann, eine effektive Steuerung über die relativen Leistungsverhältnisse zwischen den verschiedenen Signalkomponenten auszuüben.

**[0050]** Es wird angegeben, dass es nicht notwendig ist, für jedes Gruppenelement drei Signalkanäle zu implementieren, um diesen Zustand konstanter Hüllkurve zu erreichen. Der Vektor  $\underline{c}$  des zusammengesetzten Signals in [Fig. 4](#) kann berechnet werden, wobei dann die gleichphasigen und die um  $90^\circ$  phasenverschobenen Komponenten als  $c \cdot \cos(\theta)$  bzw.  $c \cdot \sin(\theta)$  berechnet werden können, wobei der konstante Betrag  $c$  gleich der Summe  $e + s$  der Beträge der Vektoren ist. Dann können diese zwei Komponenten an die gleichphasigen und um  $90^\circ$  phasenverschobenen Signalkanäle in jedem Gruppenelement angelegt werden. Spezifisch empfängt der gleichphasige Kanal (I) das Signal  $c \cdot \cos(\theta)$ , während der um  $90^\circ$  phasenverschobene Kanal (Q) das Signal  $c \cdot \sin(\theta)$  empfängt, wie oben angegeben worden ist. Im Betrieb wird der Winkel  $\theta$  aus den zwei Eingangsvektoren (ohne Rücksicht auf den Betrag der resultierenden Vektorsumme) bestimmt, wobei dann der Betrag des resultierenden Vektors einfach auf  $c = e + s$  gesetzt (skaliert) wird. Folglich gibt es keinen Bedarf, den Wert der dritten Signalkomponente (mit verschwendeter Leistung) tatsächlich zu "berechnen". Alles, was erforderlich ist, um die I- und Q-Eingangssignale zu bestimmen, ist die Berechnung des Winkels  $\theta$  aus den zwei Signalvektoren  $\underline{e}$  und  $\underline{s}$ , aus denen dann die Signale  $c \cdot \cos(\theta)$  und  $c \cdot \sin(\theta)$  bestimmt werden können.

**[0051]** Diese Konfiguration eliminiert den Bedarf an Hochgeschwindigkeits-Hardware-Phasenschiebern in jedem Gruppenelement. Jedem Gruppenelementverstärker werden die gleichphasige und die um  $90^\circ$  phasenverschobene Komponente (zwei HF-Trägerkomponenten, die eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$  besitzen) geliefert, wobei der Betrag und das Vorzeichen dieser zwei Komponenten im Prozessor erzeugt werden. Es wird angegeben, dass der Prozessor schnell genug sein muss, um diese Berechnungen für jedes Gruppenelement mit der Rate des Modulationssignals auszuführen. Dies liegt gut innerhalb der Fähigkeiten moderner Prozessoren/FPGA für die GPS-Signale.

**[0052]** Eine Implementierung eines Systems mehrerer Signale in mehreren Strahlenbündeln unter Verwendung eines zusammengesetzten Signals mit konstanter Hüllkurve im Kontext eines GPS-Satelliten-Senders, der Fleckstrahlenbündel und die Erde überstreichende Strahlenbündel mit der L1- und der L2-Frequenz erzeugt, ist in [Fig. 5](#) gezeigt. Im in [Fig. 5](#) gezeigten GPS-Satelliten-Sendersystem muss

der Satellit die Signale auf allen beiden GPS-Frequenzen L1 und L2 senden. Folglich enthält die Antennengruppe eine erste Gruppe von Antennenelementen, die mit der L1-Frequenz ausstrahlen, und eine mit der ersten Gruppe durchgesetzte zweite Gruppe von Antennenelementen, die mit der L2-Frequenz ausstrahlen. Während die Senderkomponenten für nur ein einziges L1-Antennenelement und eine einzige L2 in [Fig. 5](#) gezeigt sind, ist es selbstverständlich, dass das System Gruppen derartiger Komponenten enthält, die jeweils den Gruppen der L1- und L2-Antennenelemente entsprechen.

**[0053]** Mit der L1-Trägerfrequenz wird ein zusammengesetztes digitales Signal des gleichphasigen Kanals (I) an den Digital-Analog-Umsetzer **74** geliefert, während ein zusammengesetztes digitales Signal des um  $90^\circ$  phasenverschobenen Kanals (Q) an den Digital-Analog-Umsetzer **76** geliefert wird. Die digitalen Eingangssignale des I- und Q-Kanals, die sowohl die Signale des Fleckstrahlenbündels als auch die Signale des die Erde überstreichenden Strahlenbündels enthalten, werden periodisch durch einen Prozessor mit einer Rate in der Größenordnung der Rate des Modulationssignals in Übereinstimmung mit den obigen Gleichungen (1)-(5) für jedes Element in der Gruppe erzeugt. Spezifisch wird die zusammengesetzte Phase  $\theta$  periodisch aus den Amplituden und den momentanen Phasen der Signale des Fleckstrahlenbündels und des die Erde überstreichenden Strahlenbündels bestimmt, wobei die digitalen Signale mit den Amplituden  $c \cdot \cos(\theta)$  und  $c \cdot \sin(\theta)$  periodisch an die I- und Q-D/A-Umsetzer **74** bzw. **76** geliefert werden. Es wird angegeben, dass für jedes Antennenelement die momentane Phase des Signals des Fleckstrahlenbündels die Summe aus der momentanen Modulationsphase des Signals des Fleckstrahlenbündels und aus der Phasenverschiebung, die dem Antennenelement zugeordnet ist, das für die Steuerung des Strahlenbündels erforderlich ist, ist. Ebenfalls ist für jedes Antennenelement die momentane Phase des Signals des die Erde überstreichenden Strahlenbündels die Summe aus der momentanen Modulationsphase des Signals des die Erde überstreichenden Strahlenbündels und aus der der Strahlenbündelformung für dieses Antennenelement zugeordneten Phasenverschiebung. Folglich unterscheiden sich im Allgemeinen die I- und Q-Signale von Element zu Element und werden für jedes Antennenelement in der Antennengruppe mit der Rate des digitalen Signals (d. h. mit der Signalmodulationsrate) bestimmt.

**[0054]** Es ist selbstverständlich, dass irgendeine von verschiedenen herkömmlichen Berechnungstechniken verwendet werden kann, um den Winkel  $\theta$  und die I- und Q-Eingangssignale zu bestimmen, einschließlich der Verwendung von Nachschlagtabellen und dergleichen. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt ist, kann der Prozessor zum Erzeugen der digitalen zusammenge-

setzten Signale ein Spezialprozessor sein, wie z. B. eine im Einsatz programmierbare Gatteranordnung (FPGA) oder eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC). Der Prozessor des Sendersystems ist jedoch nicht auf irgendeine spezielle Hardware-Konfiguration eingeschränkt und könnte z. B. unter Verwendung eines universellen Prozessors implementiert werden, der ein geeignetes Programm ausführt.

**[0055]** In [Fig. 5](#) wird nach der D/A-Umsetzung das analoge Signal des I-Kanals an einen Signalmodulator **78** (z. B. einen Mischer) geliefert, der das gleichphasige L1-Trägersignal ( $\cos(\omega_{L1}t)$ ) mit dem Signal des I-Kanals moduliert. Ähnlich wird das analoge Signal des Q-Kanals an einen Signalmodulator **80** geliefert, der das um  $90^\circ$  phasenverschobene L1-Trägersignal ( $\sin(\omega_{L1}t)$ ) mit dem Signal des Q-Kanals moduliert. Die modulierten gleichphasigen und um  $90^\circ$  phasenverschobenen Signale werden durch einen Kombiniierer **82** kombiniert und vor der Sendung des zusammengesetzten Signals durch das jeweilige L1-Antennenelement durch einen Hochleistungsverstärker **84** verstärkt. Die Sender-Hardware enthält eine Gruppe ähnlicher D/A-Umsetzer, Mischer, Kombiniierer und HPAs, die der Gruppe von L1-Antennenelementen entsprechen, während dies in [Fig. 5](#) für die Zweckmäßigkeit nicht gezeigt ist.

**[0056]** Ähnlich wird bei der L2-Trägerfrequenz ein zusammengesetztes digitales Signal des gleichphasigen Kanals (I) an einen Digital-Analog-Umsetzer **86** geliefert, während ein zusammengesetztes digitales Signal des um  $90^\circ$  phasenverschobenen Kanals (Q) an einen Digital-Analog-Umsetzer **88** geliefert wird. Das analoge Signal des I-Kanals wird an einen Signalmodulator **90** (z. B. einen Mischer) geliefert, der das gleichphasige L2-Trägersignal ( $\cos(\omega_{L2}t)$ ) mit dem Signal des I-Kanals moduliert. Ähnlich wird das analoge Signal des Q-Kanals an einen Signalmodulator **92** geliefert, der das um  $90^\circ$  phasenverschobene L2-Trägersignal ( $\sin(\omega_{L2}t)$ ) mit dem Signal des Q-Kanals moduliert. Die modulierten gleichphasigen und um  $90^\circ$  phasenverschobenen Signale werden durch einen Kombiniierer **94** kombiniert und vor der Sendung des zusammengesetzten Signals durch das jeweilige L2-Antennenelement durch einen Hochleistungsverstärker **96** verstärkt. Die Sender-Hardware enthält eine Gruppe ähnlicher D/A-Umsetzer, Mischer, Kombiniierer und HPAs, die der Gruppe von L2-Antennenelementen entsprechen, während dies in [Fig. 5](#) für die Zweckmäßigkeit nicht gezeigt ist.

**[0057]** Es ist wichtig, dass das an jeden HPA **84** in der L1-Gruppe (und an jeden HPA **96** in der L2-Gruppe) gelieferte kombinierte Signal ein Signal mit konstanter Hüllkurve ist, das sowohl das Signal des Fleckstrahlenbündels als auch das Signal des die Erde überstreichenden Strahlenbündels enthält.

Folglich kann jeder HPA **84** (und jeder HPA **96**) ein Sättigungs-HPA sein, der ein Signal mit konstanter Hüllkurve sendet. Die Gesamtsendeleistung kann eingestellt werden, indem der Sättigungsleistungspegel jedes HPA **84** mittels eines Leistungsbefehls eingestellt wird, der den Arbeitspunkt des Verstärkers ändert, wobei die Zuteilung der Gesamtleistung zwischen den verschiedenen Kombinationen der zusammengesetzten Signale und der Strahlenbündel im Signalkombinationsprozess ausgeführt wird. Es wird angegeben, dass sich die Leistungspegel der einzelnen Antennenelemente in Abhängigkeit von derartigen Faktoren wie der Strahlenbündelformung und der Anzahl der Strahlenbündel, die durch spezielle Elemente unterstützt werden, voneinander unterscheiden können, während jedes einzelne Antennenelement ein Signal mit konstanter Hüllkurve erzeugt. Während die meisten oder alle der Antennenelemente in der Gruppe z. B. typischerweise verwendet werden würden, um ein steuerbares Fleckstrahlenbündel zu erzeugen, könnte nur eine bestimmte Anzahl von Antennenelementen in der Nähe des Mittelpunkts der Gruppe erforderlich sein, um ein stationäres die Erde überstreichendes Strahlenbündel zu erzeugen. Folglich kann eine Gruppe von inneren Antennenelementen in der Gruppe erforderlich sein, um ein zusammengesetztes Signal zu erzeugen, das einen höheren Leistungspegel besitzt, während die verbleibenden äußeren Elemente, die nur das Fleckstrahlenbündel unterstützen, niedrigere Leistungspegel besitzen können.

**[0058]** Während die in [Fig. 5](#) gezeigte Konfiguration digitale Signale und D/A-Umsetzer verwendet, um die zusammengesetzten phasenmodulierten Signale zu erzeugen, kann andere Hardware verwendet werden, um die zusammengesetzten Signale zu erzeugen. Die Phasenverschiebung könnte z. B. mit Phasenschiebern wie in [Fig. 1](#) ausgeführt werden; es wäre jedoch erforderlich, dass sich die Phasenschieber anstatt mit der viel langsamere Rate, mit der sich die Phasenschieber nach [Fig. 1](#) ändern, die die Rate ist, mit der sich die Peilung der Strahlenbündel ändert, mit der Rate der Signalmodulation ändern. Dies würde Phasenschieber mit sehr hoher Geschwindigkeit erfordern, die sehr teuer sein können.

**[0059]** Gemäß einer noch weiteren Ausführungsform besteht eine weitere Technik zum Kombinieren der verschiedenen Signalkomponenten darin, ein Zeitmultiplex-Vielfachzugriff-Schema (TDMA-Schema) zu verwenden, um die verschiedenen Strahlenbündel zeitlich zu verschachteln. Für jedes Element der Antennengruppe kann der zusammengesetzten Phasenwinkel für jedes Strahlenbündel berechnet werden, wie oben im Zusammenhang mit [Fig. 4](#) beschrieben worden ist. Anstatt der Summation der zwei Vektoren wird jedoch der Phasenwinkel, der an das Gruppenelement anzulegen ist, zwischen den zwei Winkeln gewechselt. Die Verschachtelung der

Strahlenbündel kann ausgeführt werden, indem digitale Signale mit der geeigneten Phase mit der Modulationsrate der Signale erzeugt werden. Demgemäß kann diese Ausführungsform unter Verwendung der gleichen Sender- und Antennen-Hardware ausgeführt werden, die in [Fig. 5](#) gezeigt ist.

**[0060]** Das gleichmäßige Wechseln zwischen den zwei Winkeln würde eine gleiche Leistungsverteilung zwischen den zwei Strahlenbündeln bewirken, es kann aber jedes gewünschte Leistungsverhältnis erreicht werden, indem mehr von dem einen als von dem anderen erzeugt wird. Das zweimalige Auswählen des Phasenwinkels für das Strahlenbündel A für jede einzelne Auswahl des Phasenwinkels für das Strahlenbündel B würde z. B. zu einem Leistungsverhältnis von  $2^2$  (oder 4) führen. Das gleichmäßige Wechseln zwischen A und B mit Ausnahme, dass zu jedem fünften Zeitpunkt der Winkel für A zweimal hintereinander erzeugt wird, würde zu einem Leistungsverhältnis von  $(6/5)^2$  (oder 1,44) führen. Mit dieser Technik kann praktisch jedes Leistungsverhältnis verursacht werden, wobei das Verfahren leicht auf mehr als zwei Strahlenbündel erweitert werden kann. Bei dieser Technik gibt es etwas Kombinationsverlust, wobei der Verlust von den Leistungsverhältnissen abhängig ist, aber der Leistungswirkungsgrad ist im Allgemeinen viel größer als beim linearen Kombinieren (d. h. der obenbeschriebenen ersten Ausführungsform), wobei dieser Zugang die Nachteile eliminiert, die der "Begrenzungs"-Technik (d. h. der obenbeschriebenen zweiten Ausführungsform) zugeordnet sind.

**[0061]** Es wird angegeben, dass das Konzept mehrerer Signale in mehreren Strahlenbündeln nicht von der speziellen Signalkombinationstechnik abhängig ist, die verwendet wird. Es können mehrere unabhängig gesteuerte Strahlenbündel, jedes mit seinem eigenen Signal, mit einer einzigen aktiven phasengesteuerten Gruppe unter Verwendung irgendeiner der oben erwähnten Signalkombinationstechniken oder anderer erreicht werden. Bei dieser Technologie können zusätzliche Strahlenbündel und zusätzliche Signale ohne Hardware-Änderungen hinzugefügt (oder entfernt werden), vorausgesetzt, dass ausreichend Gesamtleistung verfügbar ist. Im Kontext der Satellitensysteme können Signale und Strahlenbündel in der Umlaufbahn mittels Software-Änderungen hinzugefügt werden, wobei die Leistung frei zwischen verschiedenen Strahlenbündeln und Signalen zugeteilt werden kann.

**[0062]** Die Fähigkeit, mehrere Strahlenbündel, jedes mit seinem eigenen eindeutigen Signal, zu senden, ist ein höchst erwünschtes Merkmal für einen ausgedehnten Bereich verschiedener Anwendungen, die die gleichzeitige Sendung mehrerer Signale erfordern, einschließlich künftiger Generationen des GPS, GPS-Zusatzsystemen, Radar-Systemen,

drahtloser Telephonie, Satellitenkommunikationssystemen, der globalen Mehrmissions-Dienstplattform (GMSP), Systemen, die die Multiplexierung im Vielfachzugriff im Codemultiplex (CDMA-Multiplexierung) verwenden, und anderer Kommunikationssysteme.

**[0063]** Das System der vorliegenden Erfindung kann unter Verwendung irgendeiner von verschiedenen Hardware- und Software-Konfigurationen implementiert werden, wobei es nicht auf irgendeine spezielle Konfiguration eingeschränkt ist. Die HF-Signalverstärkung und/oder die Phasenverschiebung kann z. B. in einem integrierten Modul ausgeführt werden, das das Antennenelement enthält, oder es können diskrete Verstärker-, Phasenschieber- und Antennenelement-Komponenten verwendet werden. Die Größe der Antennengruppe ist nicht auf irgendeine spezielle Anzahl ausstrahlender Antennenelemente begrenzt, wobei sie unter Verwendung irgendeiner geeigneten Anzahl und irgendeiner geeigneten Anordnung der Antennenelemente konfiguriert sein kann, die erforderlich sind, um den speziellen Systemanforderungen, wie z. B. der Strahlenbündelbreite, dem Abtastwinkel, dem Antennengewinn und der ausgestrahlten Leistung, zu entsprechen. Weil die Strahlenbündelbreite eine Funktion der Antennengröße ist, ist das kleinste erforderliche Fleckstrahlenbündel ein bestimmender Faktor der Gesamtgröße der Antennengruppe.

**[0064]** Die Techniken mehrerer Signale in mehreren Strahlenbündeln der vorliegenden Erfindung können in einem programmierbaren Signalformgenerator eines Sendersystems implementiert sein, der fernprogrammierbar ist. Eine derartige Implementierung erlaubt die Fernprogrammierbarkeit der Sendend- und/oder Empfangsparameter (z. B. der Modulationscharakteristiken) der Einheiten in der Praxis, wie z. B. der Satelliten in der Umlaufbahn, der Kommunikationsinfrastruktur und der Mobilkommunikationsvorrichtungen, einschließlich drahtloser Telephone, um die Systemanforderungen unterzubringen, die sich während der Lebensdauer der Kommunikationsausrüstung ändern. Die Fähigkeit, den Signalformgenerator umzuprogrammieren, ist im Kontext von Weltraumsatelliten besonders wertvoll, wo das Ausführen der Änderungen in der erforderlichen Modulation viele Jahre dauern und eine neue Satellitenkonstruktion erfordern kann. Mit dem umprogrammierbaren Signalformgenerator der vorliegenden Erfindung an Bord kann ein Satellit in der Umlaufbahn umprogrammiert werden. Im Allgemeinen können die Techniken mehrerer Signale in mehreren Strahlenbündeln unter Verwendung irgendeiner geeigneten Kombination aus Hardware und Software implementiert sein.

**[0065]** Abhängig von der Strahlenbündelbreite, dem Antennengewinn und den Leistungsanforderungen kann es nicht notwendig sein, jedes Antennenele-

ment in der Gruppe zu verwenden, um jedes Strahlenbündel zu bilden. Es können z. B. alle Antennenelemente der Gruppe verwendet werden, um ein Fleckstrahlenbündel zu bilden, während nur eine Teilmenge dieser Elemente notwendig sein kann, um ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel zu bilden. In diesem Fall senden bestimmte Antennenelemente (die inneren Elemente) zusammengesetzte Signale, die zwei Signale (d. h. das Signal des Fleckstrahlenbündels und das Signal des die Erde überstreichenden Strahlenbündels) enthalten, die in der obenbeschriebenen Weise kombiniert worden sind, während die anderen Antennenelemente (die äußeren Elemente) nur ein Signal (d. h. das Signal des Fleckstrahlenbündels) senden.

**[0066]** Obwohl die Techniken der vorliegenden Erfindung mit jedem entsprechenden Strahlenbündel ein anderes Signal senden können, können die Techniken der vorliegenden Erfindung verwendet werden, um die gleichen Signale in mehr als einem Strahlenbündel zu senden. Es könnte z. B. ein Szenario vorhanden sein, in dem ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel ein erstes Signal überträgt, während zwei separate Fleckstrahlenbündel, die in verschiedenen Richtungen orientiert sind, beide das gleiche zweite Signal übertragen. Im Allgemeinen kann irgendeine Kombination aus Signalen und Strahlenbündeln erzeugt werden, indem geeigneten Phasenverschiebungen an die einzelnen Antennenelemente angelegt werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Senden mehrerer Signale von einer gemeinsamen phasengesteuerten Gruppenantenne (**72**), das umfasst:

- Erzeugen eines ersten Signals, das mittels eines ersten Sendestrahlenbündels gesendet werden soll;
- Erzeugen eines zweiten Signals, das mittels eines zweiten Sendestrahlenbündels gesendet werden soll;
- Bilden eines zusammengesetzten Signals, das das erste und das zweite Signal enthält, wobei die Phase des zusammengesetzten Signals die Signalmodulations- und Strahlenbündelformungscharakteristiken des ersten und des zweiten Signals berücksichtigt;
- Liefern des zusammengesetzten Signals zu der gemeinsamen Antenne (**72**); und
- Senden des zusammengesetzten Signals von der gemeinsamen Antenne (**72**), um dadurch das erste Signal mittels des ersten Sendestrahlenbündels zu senden und das zweite Signal mittels des zweiten Sendestrahlenbündels zu senden;

**dadurch gekennzeichnet**, dass

- entweder das zusammengesetzte Signal durch die Vektorsumme des ersten und des zweiten Signals (e, s) und einer zusätzlichen dritten Signalkomponente, die zu einer Umskalierung des zusammengesetzten Signals auf ein zusammengesetztes Signal (c) mit

konstanter Amplitude dient, gebildet wird,

– oder das zusammengesetzte Signal als ein Signal mit konstanter Amplitude gebildet wird, das eine zusammengesetzte Phase, die der Phase der Vektorsumme des ersten und des zweiten Signals (e, s) entspricht, und eine konstante Amplitude (c), die der Skalarsumme des ersten und des zweiten Signals (e, s) entspricht, gebildet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste Signal von dem zweiten Signal verschieden ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste und das zweite Signal mit einer gemeinsamen Frequenz gesendet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste Sendestrahlenbündel ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel des globalen Positionierungssystems ist und das zweite Strahlenbündel ein lenkbares Fleckstrahlenbündel des globalen Positionierungssystems ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei: mehrere zusammengesetzte Signale gebildet werden, die jeweiligen Antennenelementen der phasengesteuerten Gruppenantenne zugeordnet sind, wobei die Phasen der zusammengesetzten Signale die Signalmodulations- und Strahlenbündelformungscharakteristiken des ersten und des zweiten Signals berücksichtigen; und die mehreren zusammengesetzten Signale an die jeweiligen Antennenelemente der phasengesteuerten Gruppenantenne (**72**) geliefert werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das erste und/oder das zweite Strahlenbündel durch Einstellen von Phasen der zusammengesetzten Signale elektronisch steuerbar sind.

7. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Bilden der mehreren zusammengesetzten Signale umfasst: – Bilden mehrerer digitaler zusammengesetzter Signale, die den jeweiligen Antennenelementen entsprechen, wobei die Phasen der digitalen zusammengesetzten Signale Signalmodulations- und Strahlenbündelformungscharakteristiken des ersten und des zweiten Signals berücksichtigen; – Umsetzen der digitalen zusammengesetzten Signale in analoge zusammengesetzte Signale; – Modulieren von Trägersignalen mit den analogen zusammengesetzten Signalen, um die mehreren zusammengesetzten Signale zu bilden.

8. Verfahren nach Anspruch 4, das ferner umfasst:

Verstärken der mehreren zusammengesetzten Signale unter Verwendung jeweiliger Sättigungs-Hochleistungsverstärker (**84**, **96**).

9. Vorrichtung (**70**) zum Senden mehrerer Signale, die umfasst:

- eine phasengesteuerte Gruppenantenne (**72**), die eine Gruppe von Antennenelementen enthält; und
- ein Sendersystem, das ein erstes Signal, das mittels eines ersten Sendestrahlenbündels gesendet werden soll, und ein zweites Signal das mittels eines zweiten Sendestrahlenbündels gesendet werden soll, empfängt, wobei das Sendersystem mehrere zusammengesetzte Signale bildet und die mehreren zusammengesetzten Signale zu entsprechenden Antennenelementen der phasengesteuerten Gruppenantenne (**72**) liefert,

wobei Phasen der zusammengesetzten Signale Signalmodulations- und Strahlenbündelformungscharakteristiken des ersten und des zweiten Signals berücksichtigen und wobei die phasengesteuerte Gruppenantenne (**72**) das erste Signal mittels des ersten Sendestrahlenbündels sendet und das zweite Signal mittels des zweiten Sendestrahlenbündels sendet, dadurch gekennzeichnet, dass

- entweder das Sendersystem so beschaffen ist, dass es die zusammengesetzten Signale durch die Vektorsumme des ersten und des zweiten Signals ( $e$ ,  $s$ ) und einer zusätzlichen dritten Signalkomponente, die zu einer Umskalierung der zusammengesetzten Signale auf zusammengesetzte Signale ( $c$ ) mit konstanter Amplitude dient, bildet,

- oder das Sendersystem so beschaffen ist, dass es die zusammengesetzten Signale als Signale mit konstanter Amplitude bildet, die eine zusammengesetzte Phase, die der Phase der Vektorsumme des ersten und des zweiten Signals ( $e$ ,  $s$ ) entspricht, und eine konstante Amplitude ( $c$ ), die der Skalarsumme des ersten und des zweiten Signals ( $e$ ,  $s$ ) entspricht, besitzen.

10. Vorrichtung (**70**) nach Anspruch 9, wobei das erste Signal von dem zweiten Signal verschieden ist.

11. Vorrichtung (**70**) nach Anspruch 9, wobei die phasengesteuerte Gruppenantenne (**72**) das erste und das zweite Signal mit einer gemeinsamen Frequenz sendet.

12. Vorrichtung (**70**) nach Anspruch 9, wobei das erste und/oder das zweite Sendestrahlenbündel durch Einstellen von Phasen der zusammengesetzten Signale elektronisch steuerbar sind.

13. Vorrichtung (**70**) nach Anspruch 9, wobei die Vorrichtung (**70**) ein Satellit des globalen Positionierungssystems ist und wobei das erste Sendestrahlenbündel ein die Erde überstreichendes Strahlenbündel des globalen Positionierungssystems ist und das zweite Sendestrahlenbündel ein lenkbares Fleckstrahlenbündel des globalen Positionierungssystems ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

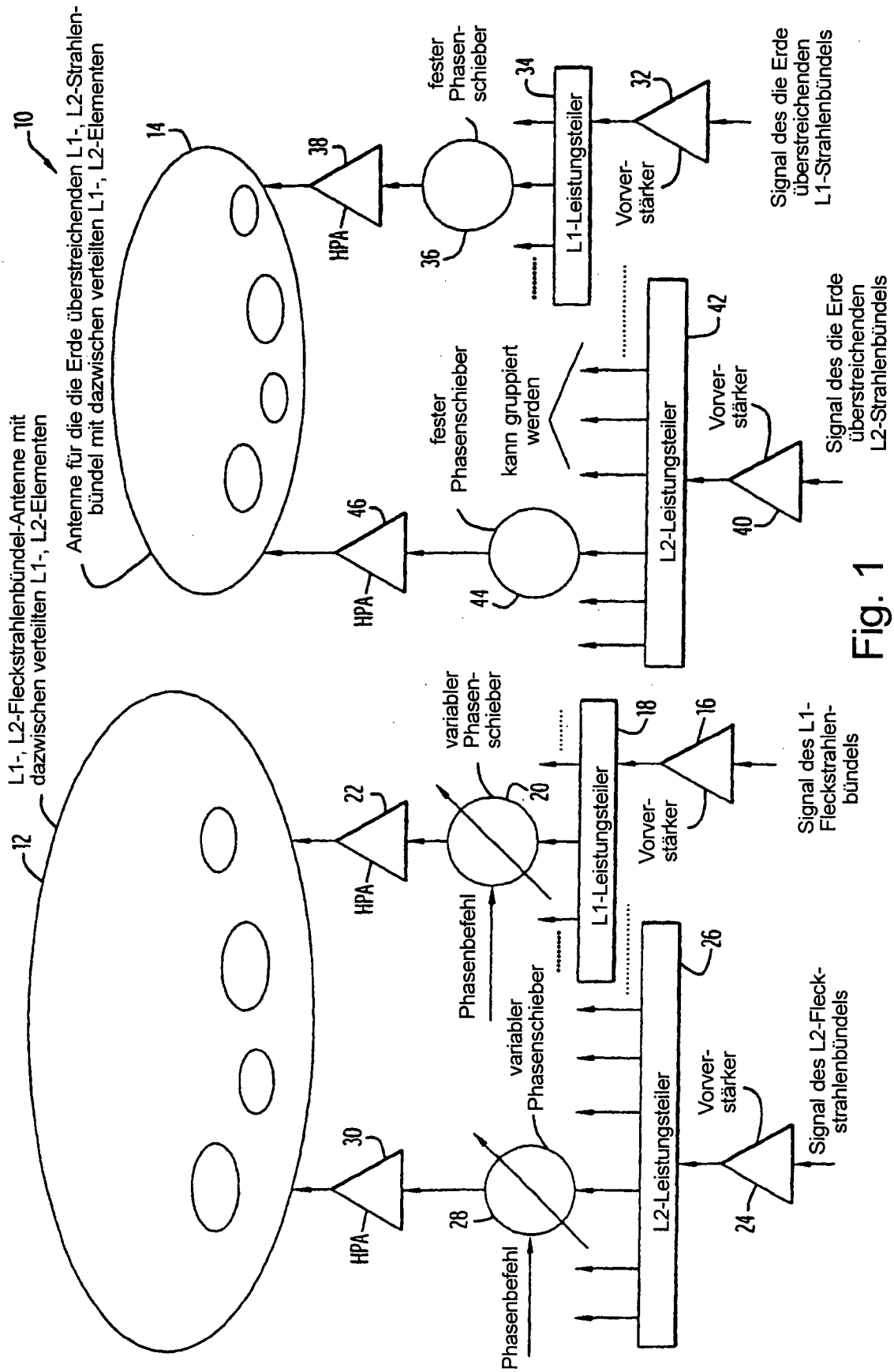


Fig. 1

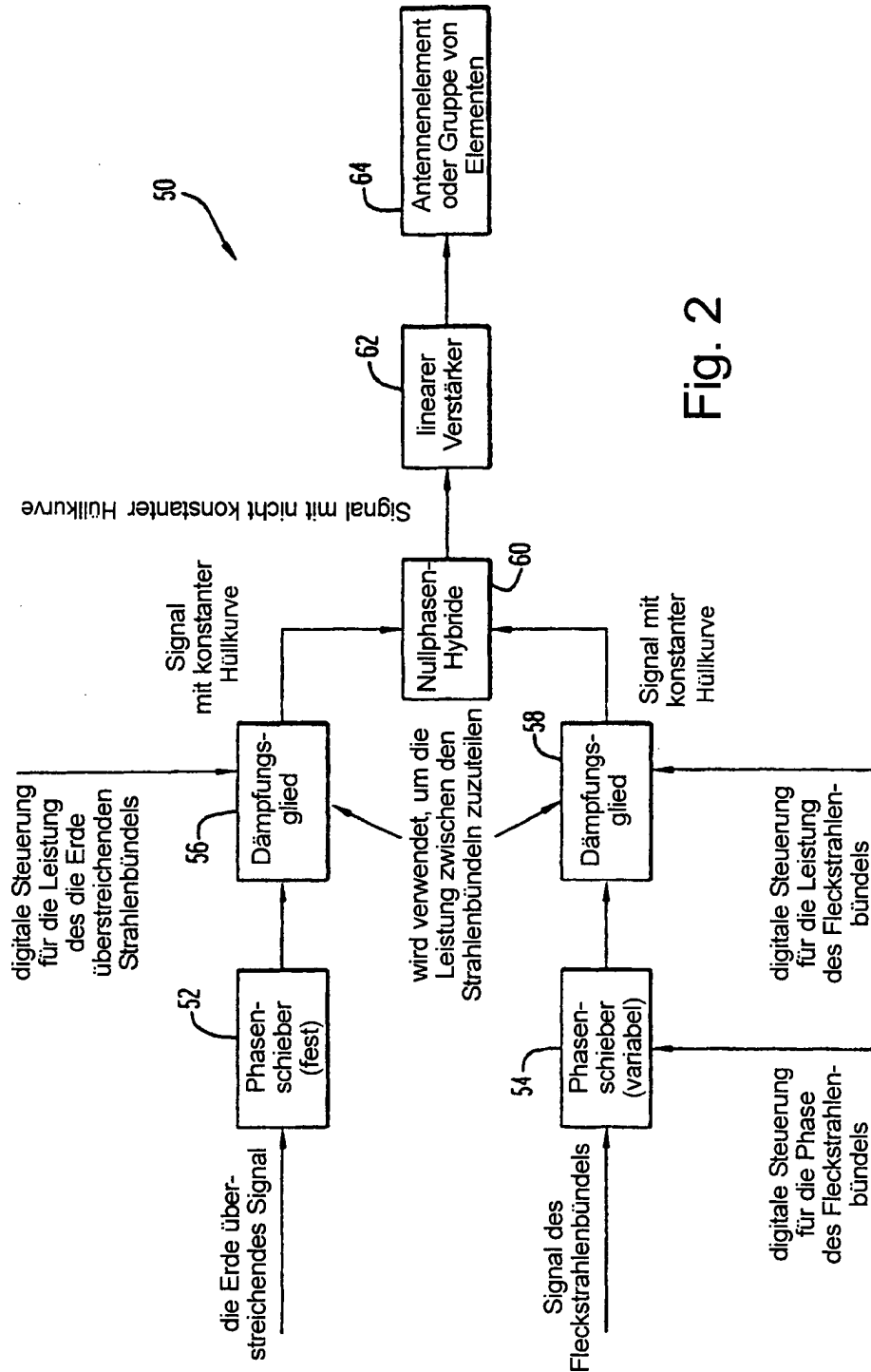


Fig. 2

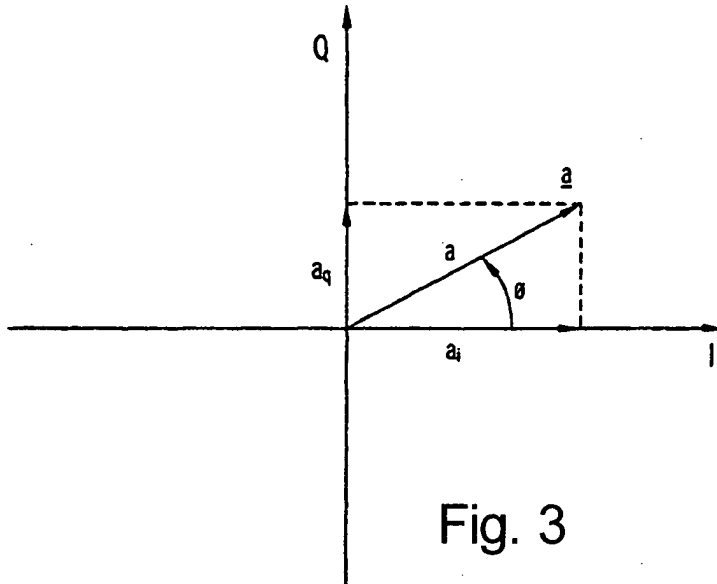


Fig. 3

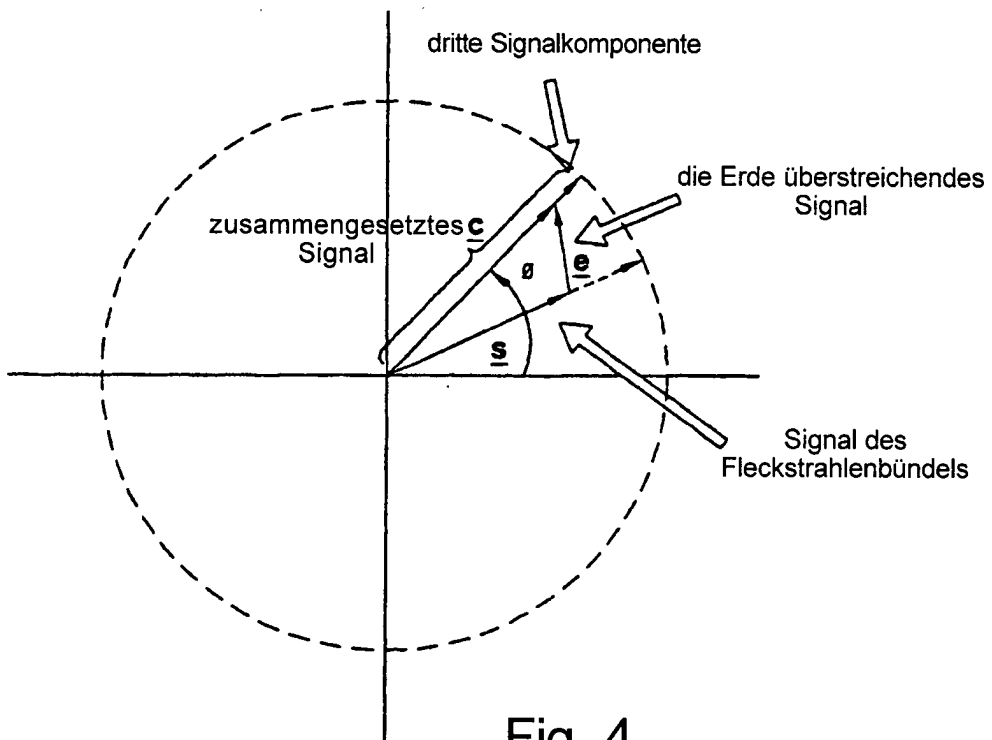


Fig. 4

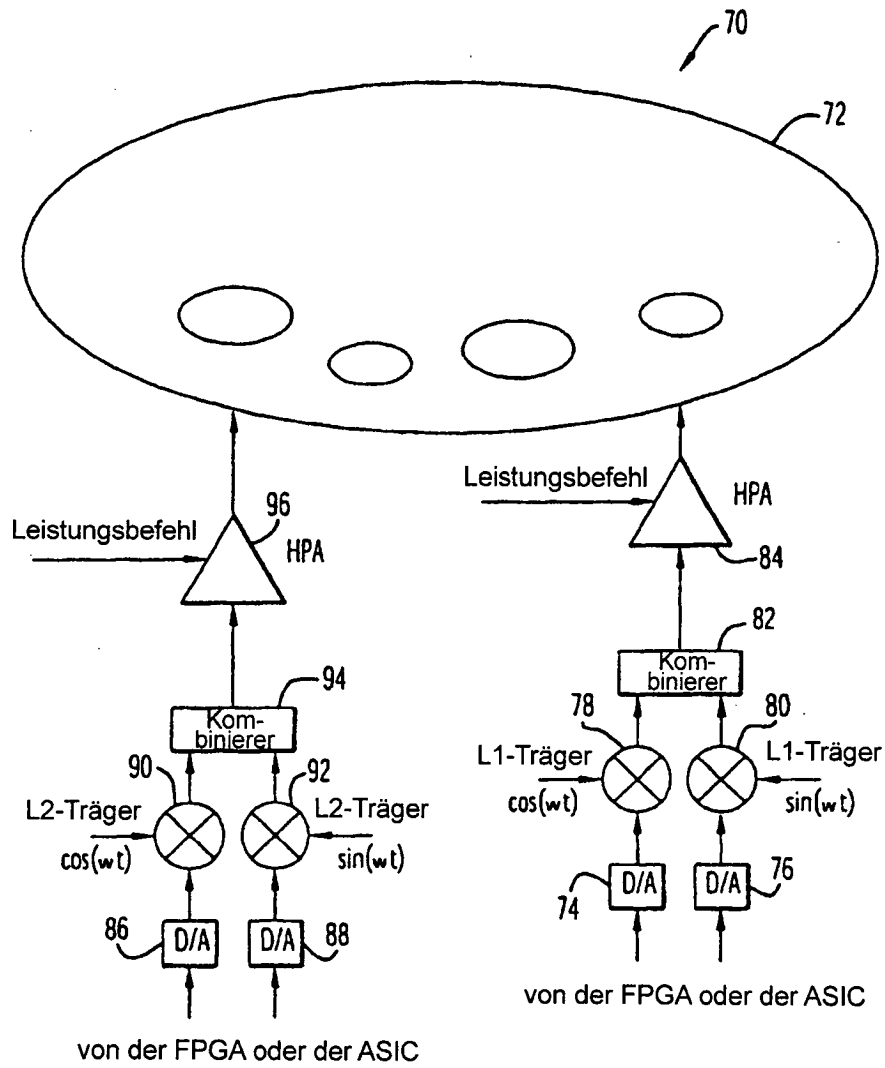


Fig. 5