

19



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



11 Veröffentlichungsnummer: **0 623 969 A2**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **94106631.8**

51 Int. Cl.⁵: **H01Q 3/26**

22 Anmeldetag: **28.04.94**

30 Priorität: **03.05.93 DE 4314406**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.11.94 Patentblatt 94/45

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL SE

71 Anmelder: **Deutsche Aerospace AG**

D-81663 München (DE)

72 Erfinder: **Feldle, Heinz-Peter, Dr. Dipl.-Ing.**
Weihermahd 14

D-89250 Senden (DE)

Erfinder: **Banerjee, Sandip, Dipl.-Ing.**

Schöffenstrasse 8

D-89264 Weissenhorn (DE)

Erfinder: **Ludwig, Michael, Dipl.-Ing.**

Kauteräckerweg 3

D-89077 Ulm (DE)

74 Vertreter: **Fröhling, Werner Otto, Dr.**
Deutsche Aerospace AG
Patentabteilung
Sedanstrasse 10
D-89077 Ulm (DE)

54 **Gruppenantenne mit optischem Strahlformungs-Netzwerk.**

57 Vorgeschlagen wird insbesondere eine zweidimensionale aktive Antennengruppe mit optischem Beamforming-Netzwerk für Bordradar und Synthetic Aperture Radar (SAR) im x-Band. Sonderformen bezüglich Antennenapertur, Anwendung und Frequenzbereich sind möglich. Ein Sende- bzw. LO-Signal im Mikrowellenfrequenzbereich und ein alternativ zusätzliches Digitalsignal modulieren im Zeitmultiplex einen zentralen elektrooptischen Wandler. Dessen optisches Überlagerungssignal wird in ein optisches Beamforming-Netzwerk eingekoppelt, über minde-

stens einen optischen Verstärker verstärkt und über optische Teiler entsprechend zu den einzelnen T/R-Modulen übertragen. Nach einer Umsetzung der optischen Signale mittels eines optoelektrischen Wandlers erfolgt nach einer Phasen- und Amplitudenwichtung der Mikrowellensignale eine Verstärkung und Abstrahlung des elektromagnetischen Signals mittels Strahlerelementen. Basierend auf dieser Anordnung wird eine weitere aktive Antennengruppe beschrieben, die das Beamforming-Netzwerk bidirektional ausnutzt.

EP 0 623 969 A2

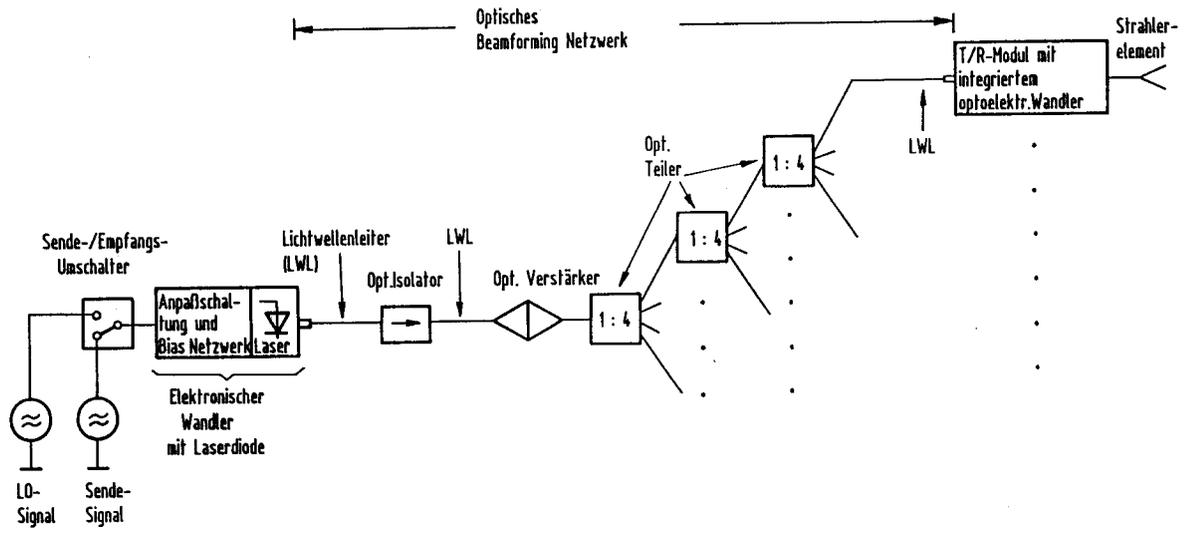


FIG. 1

Die Erfindung betrifft eine Gruppenantenne nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Die Erfindung ist insbesondere anwendbar auf ein Antennensystem für Satellitenkommunikation und Radar-Anwendungen, im Mikro- und Millimeterwellen-Frequenzbereich, die zunehmend als ein (1xN)- oder zweidimensionale (MxN), aktive Antennengruppen realisiert werden.

Eine Anwendung derartiger Gruppenantennen sind phasengesteuerte Antennen für boden- und bordgestützte Radarantennen, deren Apertur durch einige hundert bis mehrere tausend Sende-/Empfangs-Module (T/R-Module) mit direkt zugeordneten Strahlerelementen ausgebildet ist.

Bei konventionellen Radarsystemen wird die erforderliche, hohe Sendeleistung zentral erzeugt (z.B. mittels Wanderfeldröhren) und über entsprechende Verteilungen (einschließlich eventuell erforderlicher Schleifringe) an die Antenne übertragen. Das empfangene Signal der Antenne wird über das gleiche Verteilnetzwerk, das meist als Hohlleiterstruktur oder als Triplate-Struktur ausgebildet ist, oder eine spezielle Empfangsverteilung zum Empfänger übertragen.

Wesentliche Verbesserungen gegenüber diesen konventionellen Radarsystemen bieten aktiven Antennengruppen ("aktive phased arrays") bezüglich ihrer dezentralen Leistungserzeugung in sogenannten T/R-Modulen. Dadurch entstehen geringe Signalverluste und eine sogenannte sanfte Ausfall-Charakteristik (failsoft-Charakteristik). Zusätzlich erfolgt unmittelbar hinter den Strahlerelementen eine rauscharme Verstärkung der Empfangssignale.

Die erforderlichen Einstellungen der HF-Signale zur Formung und Schwenkung des Antennendiagramms, Polarisationsarten und Kalibration für den Sende- und Empfangsbetrieb erfolgt mittels Phasen- und Amplitudenstellern in den jeweiligen T/R-Modulen.

Aus der US 4 258 363 ist ein "phased array"-Radarsystem bekannt, das aus einer Vielzahl von Sende-/Empfangs-Strahlerelementen (S/E-Strahler) besteht. Jeder S/E-Strahler ist an einen zugehörigen Sende-/Empfangsmodul (T/R-Modul) angeschlossen. Jeder T/R-Modul hat einen optischen Eingang, dem über einen Lichtwellenleiter ein optisches Signal zugeführt wird, welches das Sendesignal, bei einer Frequenz von 725 MHz, und das Oszillatorsignal, bei einer Frequenz von 750 MHz als Zeitmultiplexsignale enthalten. In jedem T/R-Modul werden Sende- und Oszillatorsignal durch eine gemeinsame Photodiode und einen daran angeschlossenen elektrischen Verstärker in ein elektrisches Multiplexsignal umgewandelt, das anschließend durch einen elektrischen Diplexer in getrennte Sende- und Oszillatorsignal aufgespalten werden. Diese werden jeweils einem Vierfach-Frequenzmultiplizierer mit nachgeschalteten Phaseinsteller

zugeführt. Es entstehen Sende- und Oszillatorsignale mit einer Frequenz von 2,9 GHz, die ausgesandt (Sendesignal) werden bzw. einem Mischer (Oszillatorsignal) zur Demodulation des Empfangssignales zugeführt werden. Das in dem Mischer demodulierte elektrische Empfangssignal wird elektrisch verstärkt und einem elektrooptischen Modulator zugeführt. Dieser moduliert das von einer Laserdiode ausgesandte Licht zu einem optischen Empfangssignal. Dieses sowie das optische Sende-/Oszillatorsignal werden bevorzugt über zwei getrennte optische Verteilernetze zu einer zentralen Auswerteeinheit geleitet.

Eine solche Anordnung erzeugt in nachteiliger Weise unkontrollierbare Fehler, z.B. Phasenfehler durch die Frequenzmultiplizierer, und ermöglicht keine Veränderung der Amplitudeneinstellung (Amplitudenbelegung).

Aus der US-4 814 773 ist eine Radaranlage mit einer Gruppenantenne bekannt, bei der jedem Strahlerelement ein Sende-/Empfangs-Modul (T/R-Modul) zugeordnet ist. Die Übertragung der Sende- und/oder Empfangssignale zwischen einer Zentraleinheit und den T/R-Modulen erfolgt mit Hilfe von Lichtwellenleiter, optischen Multiplexern und einem optischen Wellenlängenmultiplexverfahren.

Dabei ist jeder T/R-Modul mit einem zugehörigem Lichtwellenleiter unmittelbar mit der Zentraleinheit verbunden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine gattungsgemäße Gruppenantenne anzugeben, die zuverlässig und kostengünstig herstellbar ist, die schnelle und hochgenaue Änderungen der Phasen- und/oder Amplitudenbelegungen ermöglicht und die insbesondere für eine Bordradaranwendung geeignet ist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale. Vorteilhafte Ausgestaltungen und/oder Weiterbildungen sind den Unteransprüche entnehmbar.

Ein erster Vorteil der Erfindung besteht darin, daß zwischen der zentralen Steuereinheit (BSU = "beam steering unit") und der Gruppenantenne eine baum- und/oder sternförmige Lichtwellenleiter-Struktur vorhanden ist, die seitens der Steuereinheit mit einem einzigen Halbleiterlaser betreibbar ist. Eine derartige Lichtwellenleiter-Struktur ist kostengünstig herstellbar.

Ein zweiter Vorteil besteht darin, daß in der Lichtwellenleiter-Struktur eine bidirektionale Datenübertragung aller Signale im Zeitmultiplexverfahren erfolgt.

Ein dritter Vorteil besteht darin, daß in jedem T/R-Modul eine digital ansteuerbare T/R-Modul-Steuerung vorhanden ist, mit der hochgenau und schnell die Phasen- und/oder Amplitudenbelegung der gesamten Antenne einstellbar ist.

Ein vierter Vorteil besteht darin, daß alle Signale, insbesondere das Sendesignal, das LO-Signal sowie das ZF-Signal im Originalfrequenzbereich über die Lichtwellenleiter-Struktur übertragen werden. Dadurch werden ansonsten nötige elektrische und/oder optische Mischer vermieden.

Ein fünfter Vorteil besteht darin, daß in jedem T/R-Modul elektrooptische sowie optoelektrische Bauelemente, die kostengünstig als integrierte III-V-Halbleiterbauelemente herstellbar sind, vorhanden sind.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf schematisch dargestellte Zeichnungen näher erläutert. Die FIG. 1 bis FIG. 6 zeigen schematisch dargestellte Blockbilder zur Erläuterung der Erfindung.

Bei einem beispielhaft gewählttem Bordradarsystem für ein Flugzeug werden Signale im x-Band, z.B. im Frequenzbereich von 9,5 GHz bis 10,5 GHz, von einer Frequenzzentrale über ein Verteilnetzwerk zu den einzelnen T/R-Modulen bzw. von diesen zu einer Signalverarbeitung mit einem zentralen Empfänger oder Antennenuntergruppen zugeordneten Empfängern übertragen. Die konventionelle Verteilungsstruktur(en) für die x-Band-Signale werden vorteilhaft durch Lichtwellenleiter und deren Kombination zu einem optischen Beamforming-Netzwerk ersetzt. Dabei werden vor allem monomodige Lichtwellenleiter bzw. Verteilnetzwerke wegen ihrer geringen Dämpfungs- und Dispersionswerte bei Wellenlängen von 0,8 μm bis 1,55 μm verwendet. Zur optischen Verteilung an die T/R-Module wird das radartypische Sendesignal und LO-Signal (im Zeitmultiplex für Sende- und Empfangsfall) mittels eines elektrooptischen Wandlers, der vorteilhaft als sogenannter DFB-Laser ausgebildet ist, einem optischen Trägersignal direkt aufmoduliert. In jedem der T/R-Module erfolgt dann mittels eines optoelektrischen Wandlers, der vorteilhaft als Fotodiode ausgeführt ist, die Umsetzung des Sende- bzw. LO-Signals in den Mikrowellenbereich sowie dessen Aufbereitung zur Abstrahlung durch das zugeordnete Strahlerelement. Bei diesen Signalumsetzungen bleiben die Amplituden- und Phaseninformationen erhalten. Im Empfangsfall sind verschiedene Übertragungsarten, z.B. analog, digital oder optisch, bzw. uni- sowie bidirektionale Beamforming-Netzwerke anwendbar.

Die Erfindung vereinigt vorteilhaft die günstigen Eigenschaften von optoelektrischen und elektrooptischen Wandlern zur Umsetzung von Mikrowellensignalen, z.B. bis zu einer Frequenz von 12 GHz, sowie der optischen Signalverteilung und -führung, wodurch ein störungsarmer Signalfuß bei geringen elektrischen Verlusten und hoher mechanischer

Flexibilität möglich wird.

Eine Anordnung einer aktiven Antennengruppe ist in FIG. 1 dargestellt. Das radartypische Sendesignal für den Sendefall und das LO(local oscillator)-Signal für den Empfangsfall, beide im Mikrowellenbereich, z.B. bei einer Frequenz von 9 GHz, werden je nach Betriebsmode (Senden oder Empfang) von der Frequenzzentrale des Radarsystems an einen Sende-/Empfangs-Umschalter zugeführt. Das anliegende, hochfrequente Analogsignal gelangt zu einer Anpaßschaltung für einen elektrooptischen Wandler, vorteilhafterweise eine Laserdiode, die z.B. als sogenannte DFB-Laserdiode ausgebildet ist. Die Anpaßschaltung wird für minimale elektrische Verluste und geringes Rauschen sowie auf die erforderliche Signalbandbreite, z.B. von 7,5 GHz. bis 10,5 GHz, optimiert, wobei über ein zusätzliches Netzwerk die Stromversorgung des elektrooptischen Wandlers erreicht wird. Die Anpaßschaltung für das HF-Signal (Sende- oder Empfangssignal) und/oder das Netzwerk für die Stromversorgung wird vorteilhafterweise in Mikrostreifenleitungs- oder Koplanartechnik ausgeführt. Das von der Laserdiode erzeugte optische Überlagerungssignal, z.B. bei einer Wellenlänge von 1550 nm, wird in einen zentralen Lichtwellenleiter (LWL) eines Strahlformungs-(Beamforming)-Netzwerks eingekoppelt. Ein eingespleister optischer Isolator verhindert Rückwirkungen von störenden reflektierten optischen Signalen auf die Laserdiode. Der nachfolgende optische Verstärker, z.B. ausgeführt als faseroptischer Verstärker oder optischer Halbleiterverstärker, erhöht den Pegel des optischen Signals, das anschließend in einem optischen Beamforming-Netzwerk (optische Teiler) zeilenförmig (eindimensionales Array) oder zeilen- und spaltenförmig (zweidimensionales Array) verteilt und an die jeweiligen T/R-Module über entsprechende Lichtwellenleiter geführt wird. Je nach Anzahl der T/R-Module in der Antennenapertur sind möglicherweise auch mehrere dieser optischen Verstärker an den Eingängen der Zeilen- bzw. Spaltenverteilungen erforderlich. Das optische Beamforming-Netzwerk basiert dabei auf optischen 1:4-Teilern, die in einer Stern- oder Baumstruktur über Lichtwellenleiter verbunden sind. Die 1:4-Signalaufteilung ist sogenannten Makromodulen angepaßt, bei denen jeweils 4 T/R-Module in einem gemeinsamen mechanischen Gehäuse zusammengefaßt sind. Zur Erzeugung von BITE (build in test)-Signalen erweisen sich optische 1:5-Teiler von Vorteil, wobei der fünfte Ausgang zur Überwachung (Monitoring) der Signalübertragung genutzt werden kann.

Jeweils ein Ausgang eines optischen Teilers (1:4 oder 1:5) ist über einen Lichtwellenleiter mit einem zugehörigem T/R-Modul gekoppelt, was anhand FIG. 2 näher erläutert wird.

Gemäß FIG. 2 werden die optischen Signale über Lichtwellenleiter an den jeweiligen optoelektronischen Wandler, z.B. eine Photodiode, eines T/R-Modules geleitet. An den Fotodioden dieser Wandler werden dann die optischen Signale demoduliert. Die Fotodioden werden gleichspannungsmäßig vorgespannt und zur Optimierung der Übertragungseigenschaften (z.B. Rauschen, Einfügdämpfung) hochfrequenztechnisch angepaßt. Über die ausgangsseitige HF-Leitung des Anpaßnetzwerks, z.B. mit 50Ω Wellenwiderstand und ausgeführt in Mikrostreifentechnik, werden die aus der Demodulation resultierenden elektrischen Sende- bzw. LO-Signale einem monolithischen, rauscharmen Verstärker (LNA) zugeführt. Der Betriebsfrequenzbereich dieses LNAs umfaßt dabei z.B. 7,5 GHz bis 11,5 GHz, entsprechend dem Sendefrequenzbereich von 9,5 GHz bis 10,5 GHz und dem LO-Frequenzbereich von 7,5 GHz bis 8,5 GHz. Dabei wirkt sich die auf 7,5 GHz bis 11,5 GHz eingeschränkte Bandbreite des LNAs vorteilhaft auf die Rauscheigenschaften des jeweiligen T/R-Moduls aus. Das verstärkte Mikrowellensignal gelangt auf einen Diplexer, der aus der Kombination zweier Bandpaßfilter (BPF) besteht. Eines der BPF ist auf das Sendesignal, z.B. 9,5 GHz bis 10,5 GHz, optimiert, das andere auf das LO-Signal, z.B. 7,5 GHz bis 8,5 GHz. Diese passive Diplexerstruktur ermöglicht somit eine einfache, zuverlässige Signalauftrennung mit sehr geringer Einfügdämpfung, z.B. kleiner 1 dB, und geringem Platzbedarf. Diese Signalauftrennung ist entsprechend dem jeweiligen Betriebsmode des Radarsystems (Senden oder Empfang) alternativ mit einem Umschalter (SPDT-Schalter), z.B. in monolithischer Form wegen der durch die höchste Betriebsfrequenz von 10,5 GHz vorgegebenen mechanischen T/R-Modulbreite, ausführbar. Das Sendesignal gelangt anschließend zu einem für Sende- und Empfangsfall gleichen Kontrollpfad, bestehend aus zwei Umschaltern (SPDT-Schalter), einem Amplitudensteller (ausgeführt z.B. als einstellbarer Verstärker VGA) und einem 6-Bit Phasensteller. Das HF-Signal wird dabei entsprechend den antenntentechnischen Anforderungen, z.B. Keulenform, Keulenschwenkung usw., in Amplitude und Phase gewichtet. Nach der erforderlichen Leistungsverstärkung mittels Treiberverstärker und Leistungsverstärker, vorzugsweise ausgeführt in einer balanced amplifier-Konfiguration, wird das Sendesignal über eine Sende-/Empfangsweiche, z.B. einem Zirkulator, sowie einem Tiefpaßfilter (TPF) dem jeweiligen Strahlerelement der Antennengruppe zugeführt. Das TPF und die Hochpaßcharakteristik des Strahlerelements, z.B. ausgeführt in Hohlleitertechnik, realisieren eine Bandpaßcharakteristik, die auf den Betriebsfrequenzbereich 9,5 GHz bis 10,5 GHz optimiert ist.

Im Empfangsfall gelangt das einfallende elektromagnetische Radar-Signal auf die Anordnung der Strahlerelemente des Arrays. Das jeweilige HF-Signal im x-Band eines Strahlerelements gelangt über das TPF und die Sende-/Empfangsweiche an einen nicht reflektierenden Begrenzer. Dieser schützt den nachfolgenden rauscharmen Verstärker (LNA) gegen einen zu hohen, störenden Empfangspegel und durch seinen nichtreflektiven Aufbau auch den Ausgang des Leistungsverstärkers. Mittels des LNAs wird das Empfangssignal im Frequenzbereich 9,5 GHz bis 10,5 GHz verstärkt, gelangt über den beschriebenen Kontrollpfad (Phasen- und Amplitudenwichtung) auf ein Bandpaßfilter BPF (9,5 GHz-10,5 GHz). Dieses bandbegrenzte Signal sowie das LO-Signal (Diplexer und LO-Treiberverstärker) speisen einen monolithischen Mischer. Das resultierende ZF-Signal, z.B. mit einer Mittenfrequenz von 2 GHz, steht dann nach einem Tiefpaßfilter (TPF) und einem ZF-Verstärker am Ausgang des jeweiligen T/R-Moduls zur Verfügung.

Auf jedem T/R-Modul ist außerdem eine T/R-Modul-Steuerung vorhanden. Diese erzeugt Steuersignale St, welche die SPDT-Schalter (Sende-Empfangs-Umschalter) betätigen und außerdem den Phasensteller und den Amplitudensteller entsprechend des gewünschten (Antennen-)Diagramms einstellen. Die Ansteuerung der T/R-Modul-Steuerung kann z.B. elektrisch erfolgen mit Hilfe eines nicht dargestellten elektrischen Steuerleitungsnetzwerkes. Besonders vorteilhaft ist jedoch, die Steuersignale in kodierter digitaler Form im Zeitmultiplexverfahren über den Lichtwellenleiter zu übertragen. Die T/R-Modul-Steuerung erhält in diesem Fall ein Steuer-Eingangs-Signal von dem Ausgang des rauscharmen Verstärkers LNA. Dieses Zeitmultiplexverfahren wird nachfolgend anhand der FIG. 6 noch näher erläutert.

Auf jedem T/R-Modul ist außerdem eine T/R-Modul-(Fein)Stromversorgung vorhanden, mit welcher z.B. die elektrischen Spannungen für die beschriebenen Bauelemente erzeugt und stabilisiert werden.

Das T/R-Modul entsprechend FIG. 3 unterscheidet sich von demjenigen der FIG. 2 lediglich dadurch, daß nach dem ZF-Verstärker ein Analog/Digital-Wandler für den ZF-Bereich eingefügt ist. Dadurch sind die Empfangssignale (ZF-Bereich) in digitaler Form zur weiteren Übertragung und Bearbeitung in dem Empfänger (konventionelles Radar) oder mehreren Empfängern (Adaptives Array) verfügbar.

Die Signalübertragung im Empfangsfall entsprechend FIG. 2 erfolgt über Koaxialkabel und/oder Verteilungen in Streifenleiterform bzw. entsprechend FIG. 3 über eine Datenbusstruktur. Neben diesen konventionellen und an sich bekannten elektrischen Übertragungsarten ist ebenfalls

eine optische Signalübertragung möglich. Dazu werden innerhalb der T/R-Module die analogen bzw. digitalen Empfangssignale (ZF-Bereich) zur direkten Modulation einer Laserdiode (mit geringer Laserschwelle) benutzt und das entstandene jeweilige optische Signal auf spezielle LWL einer optischen Empfangsverteilung eingekoppelt. Die erforderliche Demodulation erfolgt mittels optoelektrischer Wandler an der/den entsprechenden Auswerteeinheiten (Empfängern).

FIG. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei welchem das anhand der FIG. 1 beschriebene optische Strahlformungs-(Beamforming)-Netzwerk durch eine bidirektionale Nutzung vorteilhaft ausgenutzt wird. Dadurch wird der Aufwand bezüglich des optischen Beamforming-Netzwerks bzw. der optischen Empfangsverteilung minimiert, insbesondere für eine aktive Antennengruppe. Entsprechend dem zeitsequentiellen Radarbetrieb werden innerhalb eines Radarzyklusses zunächst die Initialisierungsdaten von einer in der Radaranlage vorhandenen Strahlformungseinheit ("Beamsteering Unit") (BSU) an die individuellen T/R-Module des ein- oder zweidimensionalen Antennen-Arrays übertragen. Dabei werden die Einstellwerte der Phasen- und Amplitudensteller entsprechend der antennen-technischen Erfordernisse für den Sende- und Empfangsfall übertragen und zwischengespeichert, z.B. in einem digitalen Speicher, der in den T/R-Modulen vorhanden ist. Zeitlich anschließend erfolgt die Übertragung des Sendesignals, gefolgt von dem LO-Signal im Mikrowellenbereich zur Umsetzung des Empfangssignals in den ZF-Bereich. Nach der A/D-Wandlung und einer entsprechenden Zwischenspeicherung können im vierten Teil des Radarzyklusses die digitalen Daten abgerufen werden. Abweichend von der in FIG. 1 beschriebenen Architektur erfolgt hier die optoelektrische Wandlung der Steuersignale für die T/R-Module über eine zusätzliche zweite Laserdiode (Laserdiode 2), mit entsprechender Anpaßschaltung und Bias-Netzwerk. Die resultierenden optischen Signale werden über einen optischen Richtkoppler in das optische Beamforming-Netzwerk (FIG. 4) eingekoppelt und an die T/R-Module übertragen.

Alternativ dazu ist es möglich, die Laserdiode 2 wegzulassen und statt dessen die (Haupt-)Laserdiode (Zur Übertragung des Sende- und/oder LO-Signales) elektrisch mit einem Signal entsprechend den Steuersignalen (Initialisierungssignalen) zu modulieren, so daß ein im Zeitmultiplexverfahren ausgesandtes entsprechendes optisches Signal entsteht.

Es ist vorteilhaft, bei einem T/R-Modul entsprechend FIG. 3 dem dort dargestellten Analog/Digital-Wandler ADC einen digitalen Zwischenspeicher nachzuschalten. Damit können in jedem T/R-Modul die im ZF-Bereich in digitaler Form vorliegenden

Empfangssignale zwischengespeichert werden.

Es ist vorteilhaft, die in den Figuren 2 und 3 mit optoelektrischen Wandler bezeichnende Anordnung in jedem Modul durch eine elektro-optische Sende-/Empfangs-Anordnung gemäß FIG. 5 zu ersetzen. Die Anordnung enthält einen ersten elektrischen Zweig, bestehend aus dem bereits anhand der Fig. 2, 3 beschriebenen optoelektrischen Wandler (Photodiode), einem zugehörigem elektrischem Anpaßnetzwerk und dem nachgeschalteten rauscharmen Verstärker LNA, an dessen Ausgang das Sende- oder LO-Signal entsteht.

Das beschriebene analoge ZF-Signal (Empfangssignal) (FIG. 2) oder das entsprechende digitale ZF-Signal (FIG. 3), das vorteilhafterweise zwischengespeichert wurde, werden an den elektrischen Eingang des zweiten Zweiges gelegt. Dieser enthält ein elektrisches Anpaßnetzwerk und einen nachgeschalteten elektro-optischen Wandler, z.B. eine Laserdiode. Die zu den Wandlern gehörenden optischen Signalführungen werden mit Hilfe eines optischen Richtkopplers an den zu jedem Modul führenden Lichtwellenleiter gekoppelt.

Eine solche Anordnung gemäß FIG. 5 ist vorteilhafterweise vollständig als opto-elektrisches Bauteil in integrierter Form als Halbleiterbauelement, vorzugsweise in sogenannter III-V-Technologie, z.B. GaAs-Technologie, herstellbar. Dabei sind die dargestellten optischen Signalführungen sowie der optische Richtkoppler durch an sich bekannte Diffusions- und Dotierungsvorgänge herstellbar. Es ist vorteilhaft, daß der elektrooptische Wandler eine möglichst geringe sogenannte Laserschwelle besitzt, so daß eine direkte Modulation möglich ist. Das entstehende optische Signal wird dann über den optischen Richtkoppler in das optische Beamforming Netzwerk eingespeist, in der Zentraleinheit (BSU) demoduliert und dort in bekannter Weise ausgewertet.

In den Lichtwellenleitern des Strahlformungs-(Beamforming-)Netzwerkes entsprechend FIG. 4 ist dann eine bidirektionale optische Datenübertragung in dem bereits erwähnten Zeitmultiplex-Betrieb möglich.

FIG. 6a zeigt ein schematisch dargestelltes optisches Zeitmultiplexsignal für einen Radarzyklus n ($n =$ ganze Zahl) für einen einzigen T/R-Modul. Das Zeitmultiplexsignal enthält ein Sendesignal, das z.B. $1,0 \mu\text{s}$ lang ist und das z.B. eine Sendefrequenz aus einem Frequenzbereich von $9,5 \text{ GHz}$ bis $10,5 \text{ GHz}$ enthält. An das Sendesignal anschließend wird z.B. in einem Zeitabschnitt von $0,5 \mu\text{s}$ ein für den nachfolgenden Radarzyklus $n + 1$ benötigtes Initialisierungstelegramm ausgesandt. Das von der Strahlformungseinheit (BSU) ausgesandte Initialisierungstelegramm enthält in digitaler Form zumindest Daten zur Einstellung der SPDT-Schalter sowie der Phasen- und Amplitudensteller (FIG.

2, 3) sowie eine Kennung zur Identifikation des zugehörigen T/R-Moduls. Ein solches Initialisierungstelegramm wird von der T/R-Modul-Steuerung (FIG. 2, 3) ausgewertet und danach die entsprechenden Steuersignale erzeugt. Anschließend an das Initialisierungstelegramm wird von dem T/R-Modul ein von dem Radarzyklus n-1 herrührendes Empfangssignal, z.B. während einer Zeit von ungefähr 0,5 μ s übertragen. Das Empfangssignal enthält vorzugsweise in digitaler Form vorliegende Zf-Empfangsdaten, die sich auf das in dem Radarzyklus n-1 enthaltene Initialisierungstelegramm für den Radarzyklus n beziehen. Anschließend an die Übertragung der digitalen Zf-Empfangsdaten erfolgt in einem Zeitabschnitt von ungefähr 5 μ s die Übertragung des LO-Signals an den T/R-Modul, das zur Umsetzung des Empfangssignals benötigt wird und das z.B. eine Frequenz aus einem Frequenzbereich von 7,5 GHz bis 8,5 GHz enthält. Es folgt nun die Übertragung des Zeitmultiplexsignals für den Radarzyklus n+1, welcher mit der Übertragung des zugehörigen Sendesignals n+1 beginnt.

In FIG. 6b ist alternativ dazu ein weiteres Zeitmultiplexsignal für einen einzigen T/R-Modul dargestellt. Das Zeitmultiplexsignal enthält ein sogenanntes Initialisierungstelegramm, das z.B. insgesamt ungefähr 0,5 μ s lang ist. Das von der Strahlformungseinheit (BSU) ausgesandte Initialisierungstelegramm enthält in digitaler Form zumindest Daten zur Einstellung der SPDT-Schalter sowie der Phasen- und Amplitudensteller (FIG. 2, 3) sowie eine Kennung zur Identifikation des zugehörigen T/R-Moduls. Ein solches Initialisierungstelegramm wird von der T/R-Modul-Steuerung (FIG. 2, 3) ausgewertet und danach die entsprechenden Steuersignale erzeugt. Anschließend an das Initialisierungstelegramm wird das Sendesignal ausgesandt, das z.B. 1,0 μ s lang ist und das z.B. eine Sendefrequenz aus einem Frequenzbereich von 9,5 GHz bis 10,5 GHz enthält. An das Sendesignal anschließend wird z.B. in einem Zeitabschnitt von 5 μ s das zur Umsetzung des Empfangssignals benötigte LO-Signal, das z.B. eine Frequenz aus einem Frequenzbereich von 7,5 GHz bis 8,5 GHz enthält, an den T/R-Modul übertragen. Daran anschließend erfolgt in einem Zeitraum von ungefähr 0,5 μ s von dem durch das Initialisierungstelegramm angesprochenen T/R-Modul eine Übertragung der digitalen Form vorliegenden ZF-Empfangsdaten.

Diese werden im optischen Beamforming Netzwerk zusammengefaßt, zu der Zentraleinheit (BSU) übertragen und dort vor dem optischen Isolator über einen optischen Richtkoppler auf eine zentrale Photodiode (mit entsprechender Anpaßschaltung und Bias-Netzwerk) gekoppelt. Das optische Signal wird detektiert (demoduliert) und als konventionelles Datentelegramm einem Empfänger zugeführt und dort in bekannter Weise ausgewertet.

Mit der beschriebenen Anordnung ist es möglich, innerhalb einer Antennenanordnung, die eine Vielzahl, z.B. 1000, Sende-/Empfangsstrahlerelemente und zugehörige T/R-Module enthalten kann, alle T/R-Module über das anhand der FIG. 1 und/oder FIG. 4 beschriebene Lichtwellenleiter-Netzwerk zu koppeln und dann lediglich einen einzigen Lichtwellenleiter zum Anschluß an die zugehörige Zentraleinheit (BSU) zu verwenden. Ansonsten nötige HF-Übertragungsleitungen, z.B. Koaxialkabel und/oder Hohlleiter, werden in vorteilhafter Weise nicht benötigt.

Die in der Zentraleinheit (BSU) vorhandene Laserdiode ermöglicht, über Lichtwellenleiter mehrere voneinander räumlich entfernte Radarsensoren, z.B. sogenannte Mehrflächen-Anordnungen und/oder sogenannte back/forward-Radarsensoren (Vor-/Rückwärts-Sensoren) und/oder sogenannte look up/look down-Radarsensoren (Auf-/Abwärts gerichtete Sensoren), in vorteilhafter Weise kostengünstig und zuverlässig zu koppeln.

Es ist auch möglich, das von der in der Zentraleinheit vorhandenen Photodiode (FIG. 4) erzeugte elektrische Empfangssignal mehreren (Empfangs-)Auswerteeinheiten zuzuführen, wodurch eine sehr vielseitige und schnelle Auswertung (parallele Datenverarbeitung) ermöglicht wird.

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern sinngemäß auf weitere anwendbar, z.B. auf eine Gruppenantenne für einen wesentlich niedrigeren Frequenzbereich.

Patentansprüche

1. Gruppenantenne mit optischem Strahlformungs-Netzwerk, zumindest bestehend aus
 - mehreren zeilen- und/oder matrixförmig angeordneten Strahlerelementen zum Senden und/oder Empfangen elektromagnetischer Strahlung,
 - mehreren Sende-/Empfangs-Modulen, wobei jedes Strahlerelement an ein zugehöriges Modul angekoppelt ist,
 - einer zentralen Steuer- und Auswerteeinheit, in der zumindest Sendesignale sowie ein Oszillatorsignal für einen in jedem Modul vorhandenen Mischer erzeugt werden und in welcher die von den Strahlerelementen empfangenen Empfangssignale ausgewertet werden, und
 - einem optischen Strahlformungs-Netzwerk, das mit Hilfe eines Lichtwellenleiters die zentrale Steuer- und Auswerteeinheit mit einem Sende/Empfangs-Modul verbindet und über das zumindest die Sendesignale und das Oszillatorsignal zu dem Modul übertragen werden,

- dadurch gekennzeichnet,
- daß in jedem Modul ein einstellbarer Phasensteller zum Ändern der Phasenlage des Sende- oder Empfangssignals vorhanden ist,
 - daß in jedem Modul ein einstellbarer Amplitudensteller zum Ändern der Amplitude des Sende- oder Empfangssignals vorhanden ist,
 - daß in jedem Modul mindestens ein Sende-/Empfangs-Umschalter vorhanden ist,
 - daß in jedem Modul eine Modul-Steuerung, mit welcher der Phasensteller, der Amplitudensteller sowie der Sende-/Empfangs-Umschalter steuerbar sind, vorhanden ist,
 - daß in der zentralen Steuer- und Auswerteeinheit eine zentrale Laseranordnung, die optisch an das Strahlformungs-Netzwerk gekoppelt ist, vorhanden ist, und
 - daß an die Laseranordnung ein Modulator angeschlossen ist, so daß das von der Laseranordnung ausgesandte Laserlicht im Zeitmultiplexverfahren zumindest mit einem Initialisierungssignal zur Einstellung mindestens eines Sende-/Empfangs-Modules, dem Sendesignal sowie dem Oszillatorsignal modulierbar ist.
2. Gruppenantenne nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseranordnung einen Halbleiterlaser enthält und daß in dem Strahlformungs-Netzwerk mindestens ein optischer Verstärker vorhanden ist.
3. Gruppenantenne nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,
- daß in mindestens einem Modul ein elektro-optischer Wandler vorhanden ist,
 - daß der elektro-optische Wandler optisch an das bidirektional im Zeitmultiplexverfahren betreibbare Strahlformungs-Netzwerk angekoppelt ist und
 - daß der elektro-optische Wandler elektrisch an den Ausgang eines elektrischen Mischers, der aus dem Oszillatorsignal und dem Empfangssignal ein entsprechendes Zwischenfrequenzsignal erzeugt, angeschlossen ist.
4. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Mischer und den elektro-optischen Wandler ein Analog-Digital-Wandler zwischengeschaltet ist und daß das Zwischenfrequenzsignal in digitaler Form optisch über das Strahlformungs-Netzwerk zu der zentralen
- Steuer- und Auswerteeinheit übertragbar ist.
5. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem Modul ein integriertes optoelektrisches Halbleiterbauelement vorhanden ist, zumindest bestehend aus einem Halbleitersubstrat, vorzugsweise einem III-V-Halbleitersubstrat, mit
- einer integrierten zentralen optischen Signalführung zur Ankopplung an ein Lichtwellenleiter des Strahlformungs-Netzwerkes,
 - einen an die zentrale optische Signalführung angekoppelten optischen Richtkoppler,
 - einem ersten Zweig, zumindest bestehend aus einem optoelektrischem Wandler, einem nachgeschaltetem elektrischen Anpaßnetzwerk sowie einem diesem nachgeschalteten rauscharmen Verstärker (LNA) und
 - einem zweiten Zweig, zumindest bestehend aus einem elektrooptischen Wandler sowie einem diesem nachgeschalteten elektrischem Anpaßnetzwerk.
6. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils mehrere Module, vorzugsweise vier, zu einer Modulgruppe zusammengefaßt sind und daß in dem Strahlformungs-Netzwerk ein an die Anzahl der Module der Modulgruppe angepaßter optischer Teiler vorhanden ist.
7. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei mindestens einem optischen Teiler die Anzahl der optischen Abzweigungen größer ist als die Anzahl der an diesen Teiler angekoppelten Module und daß eine dieser zusätzlichen Abzweigungen für elektrooptische und/oder optoelektrische Testvorgänge vorgesehen ist.
8. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem Modul ein aus passiven elektrischen Bauelementen aufgebauter elektrischer Diplexer vorhanden ist, in welchem die im Zeitmultiplex anliegenden Sende- und LO-Oszillatorsignale in getrennte elektrische Zweige aufspaltbar sind.
9. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß mehrere räumlich getrennte Antennenanordnungen, die jeweils aus mehre-

- ren Modulen und/oder Modulgruppen bestehen, vorhanden sind und
- daß die getrennten Anordnungen über zugehörige optische Teiler an das optische Strahlformungs-Netzwerk angeschlossen sind. 5
- 10.** Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlerelemente, deren zeilen- oder matrixförmige Anordnung sowie die Module sowie deren zeilen- oder matrixförmige Anordnung auf eine elektromagnetische Strahlung im Millimeterwellen- oder Mikrometerwellen-Bereich abgestimmt sind. 10
15
- 11.** Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß das Strahlformungs-Netzwerk mindestens eine optische Verzweigung in Form einer Stern- oder Baumstruktur enthält, 20
 - daß das Strahlformungs-Netzwerk für einen optisch bidirektionalen Zeitmultiplexbetrieb ausgelegt ist und
 - daß in der zentralen Steuer- und Auswerteeinheit ein optischer Isolator vorhanden ist zur optischen Trennung der ausgesandten und empfangenen optischen Signale. 25
30
35
40
45
50
55
- 9

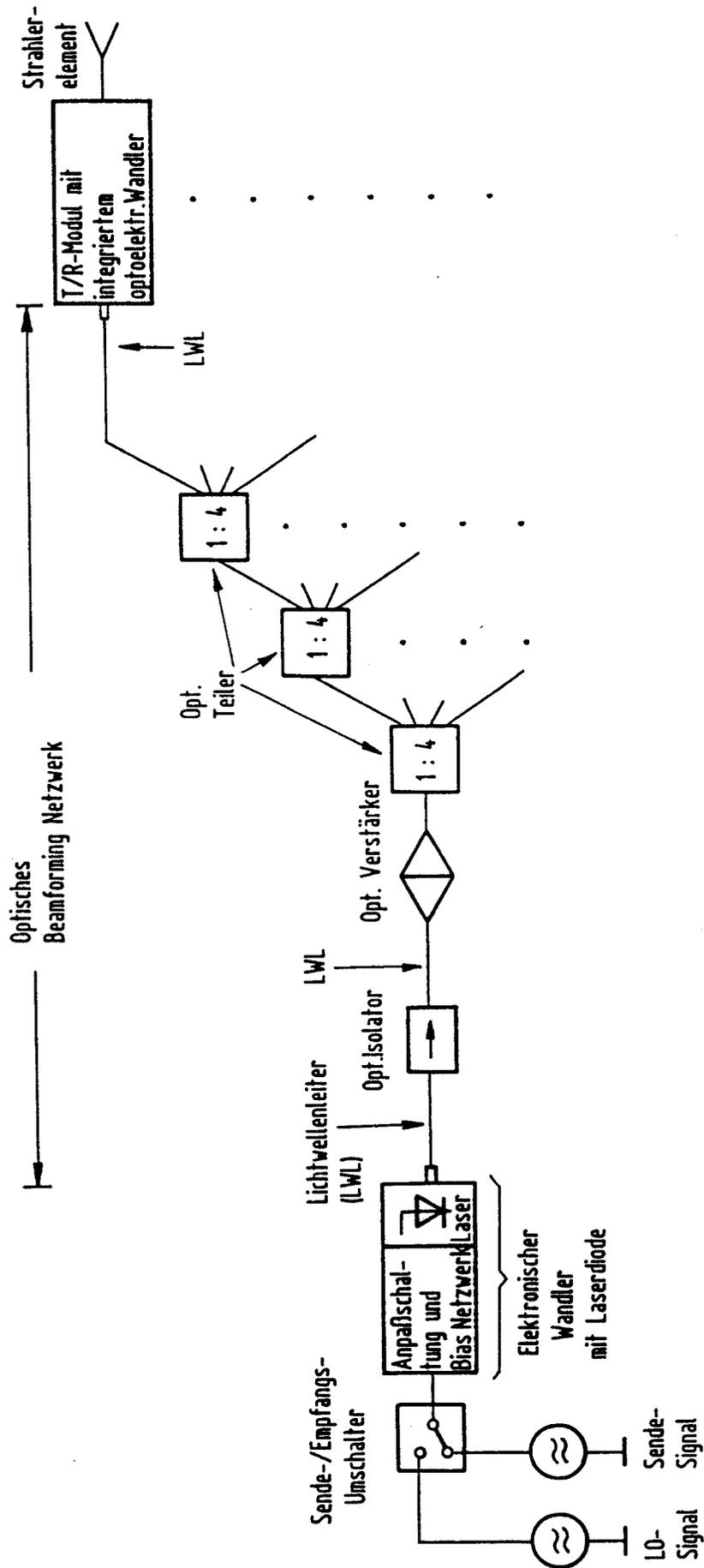


FIG. 1

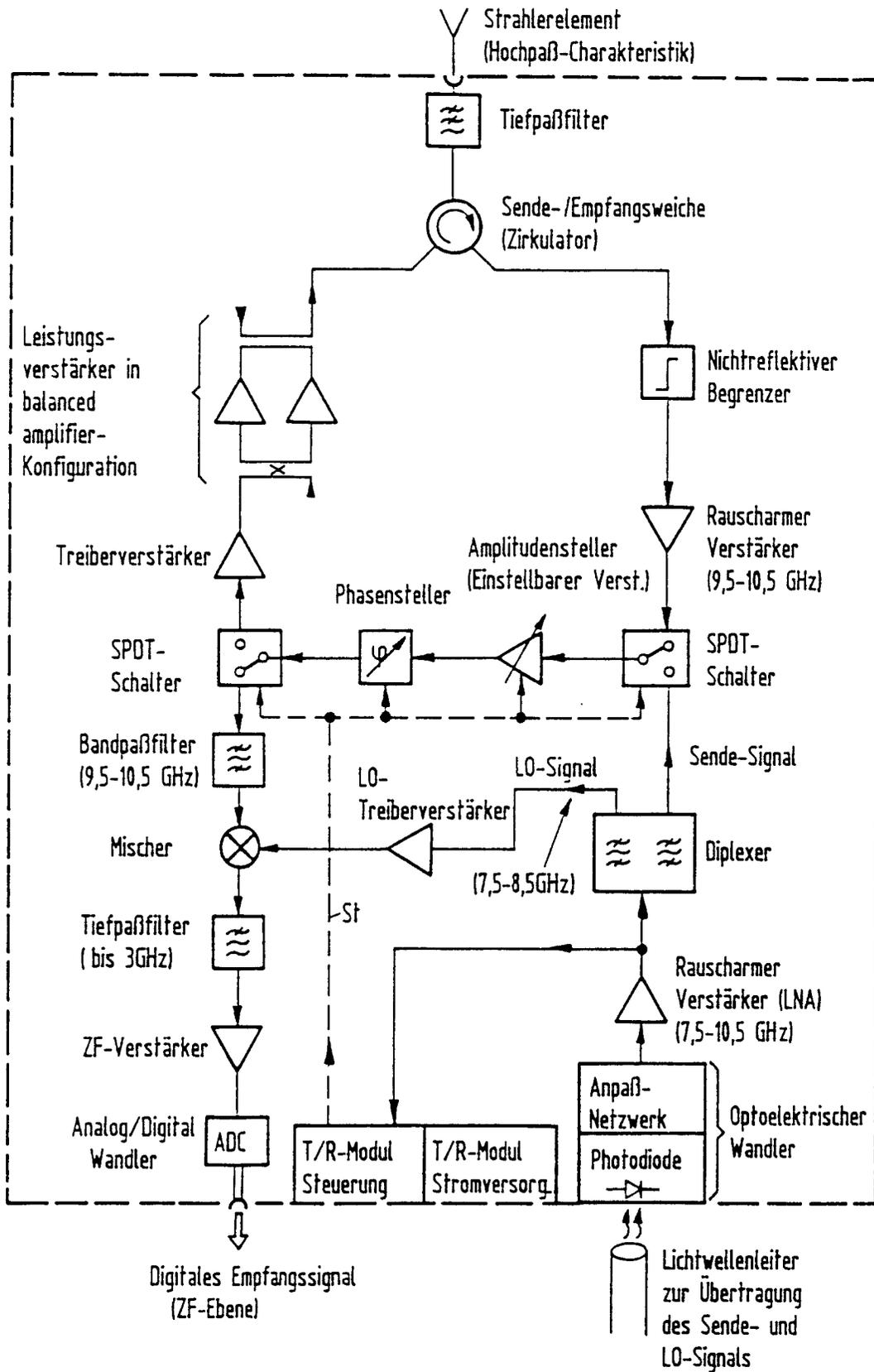


FIG. 3

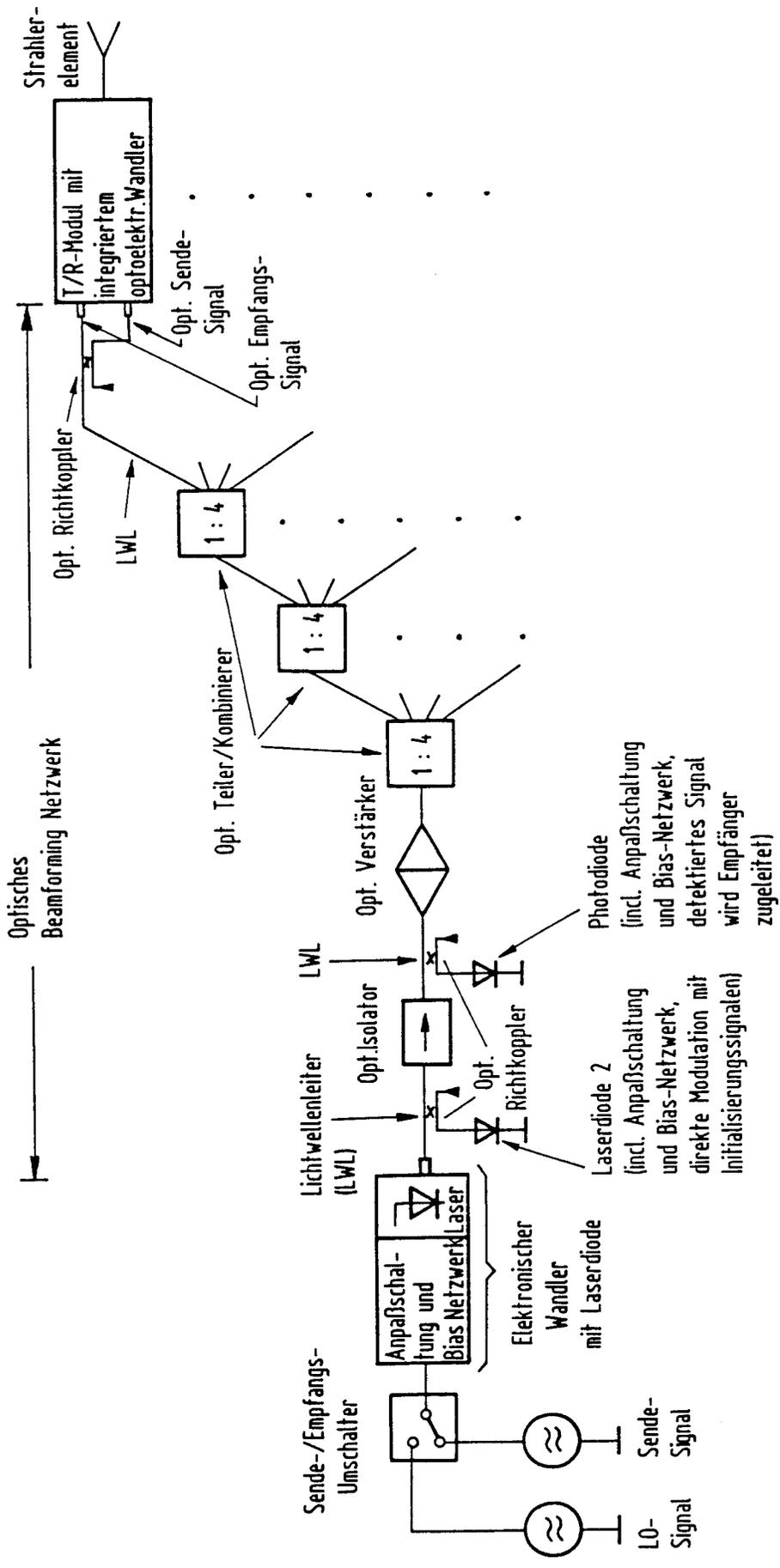


FIG. 4

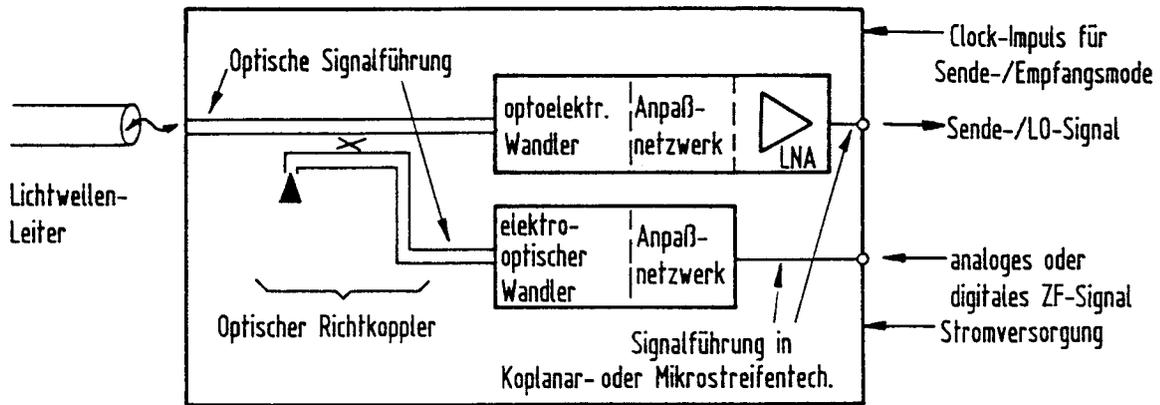


FIG. 5

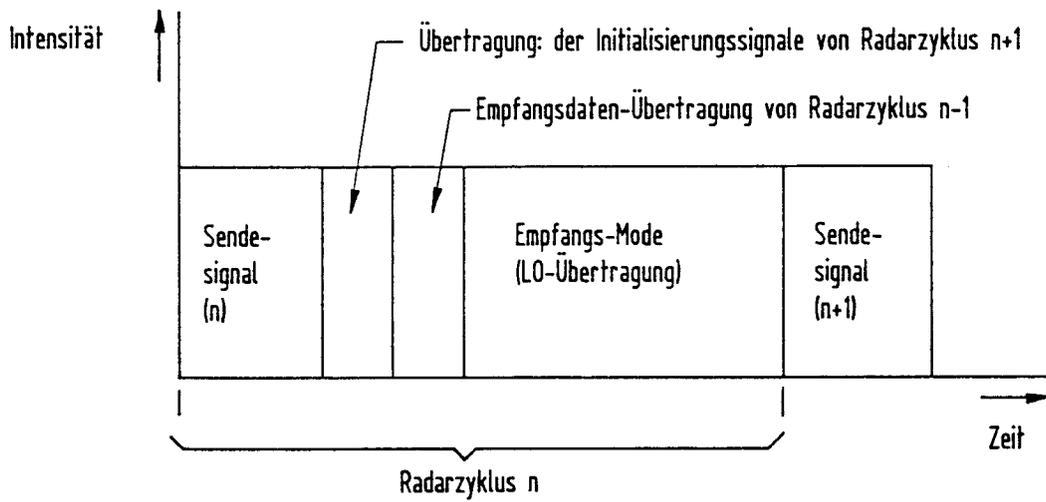


FIG. 6A

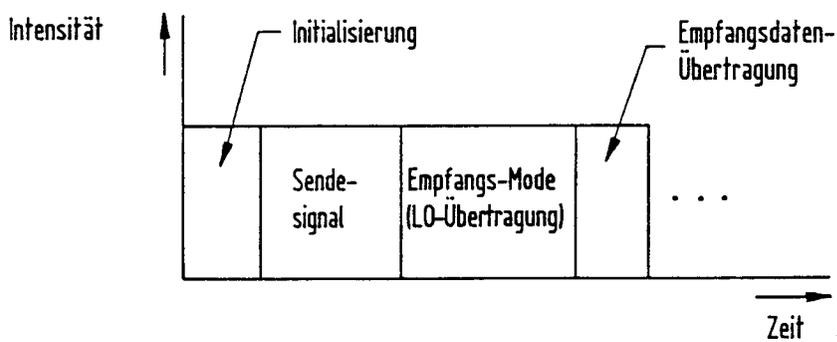


FIG. 6B