

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 623 969 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
27.06.2001 Patentblatt 2001/26

(51) Int Cl.7: **H01Q 3/26**

(21) Anmeldenummer: **94106631.8**

(22) Anmeldetag: **28.04.1994**

(54) **Gruppenantenne mit optischem Strahlformungs-Netzwerk**

Phased array antenna with optical beamforming device

Réseau d'antennes à commande de phase à dispositif de commande de faisceau opto-électronique

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL SE

(30) Priorität: **03.05.1993 DE 4314406**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.11.1994 Patentblatt 1994/45

(73) Patentinhaber: **EADS Deutschland GmbH**
81663 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Feldle, Heinz-Peter, Dr. Dipl.-Ing.**
D-89250 Senden (DE)
• **Banerjee, Sandip, Dipl.-Ing.**
D-89264 Weissenhorn (DE)
• **Ludwig, Michael, Dipl.-Ing.**
D-89077 Ulm (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A- 0 006 650	DE-A- 4 136 801
US-A- 4 814 773	US-A- 4 885 589
US-A- 5 051 754	US-A- 5 247 309

- **MICROWAVE JOURNAL**, Bd.35, Nr.7, Juli 1992, **NORWOOD, MA, US** Seiten 74 - 83 A. **SEEDS** 'Optical beamforming techniques for phased-array antennas'
- **20 TH EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE**, Bd.1, September 1990, **BUDAPEST, HUNGARY** Seiten 89 - 94 P. R. **HERCZFELD** 'The application of lightwave technology to microwaves'
- **ELECTRONICS LETTERS**, Bd.27, Nr.5, 28. Februar 1991, **STEVENAGE GB** Seiten 404 - 406 **E. PANSINI ET AL** 'Experimental evaluation of optical signal distribution for phased array antenna'

EP 0 623 969 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Gruppenantenne nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] 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.

[0003] 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.

[0004] 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 Verteilernetzwerk, das meist als Hohlleiterstruktur oder als Triplate-Struktur ausgebildet ist, oder eine spezielle Empfangsverteilung zum Empfänger übertragen.

[0005] 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 (fail-soft-Charakteristik). Zusätzlich erfolgt unmittelbar hinter den Strahlerelementen eine rauscharme Verstärkung der Empfangssignale.

[0006] 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.

[0007] 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.

[0008] Eine solche Anordnung erzeugt in nachteiliger Weise unkontrollierbare Fehler, z.B. Phasenfehler durch die Frequenzmultiplizierer, und ermöglicht keine Veränderung der Amplitudeneinstellung (Amplitudenbelegung).

[0009] 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.

[0010] Dabei ist jeder T/R-Modul mit einem zugehörigen Lichtwellenleiter unmittelbar mit der Zentraleinheit verbunden.

[0011] Aus dem US-Patent 4,885,589 ist eine gattungsgemäße Gruppenantenne bekannt, die mittels einer zentralen Laseranordnung über eine erstes optisches Strahlformungs-Netzwerk modulierte Sendesignale bzw. das unmodulierte Oszillatorsignal an die T/R-Module leitet, welche im Sendebetrieb das optische Sendesignal mittels gesteuerter Phasenschieber und Verstärker an ein zugeordnetes Strahlerelement leitet. Im Empfangsbetrieb wird das über das Strahlerelement empfangene Radarsignal über gesteuerte Empfangsverstärker und Phasenschieber verarbeitet und mittels des unmodulierten Modulatorsignals und eines Modulators in ein optisches moduliertes Empfangssignal gewandelt, das über ein zweites optisches Strahlformungs-Netzwerk einer abgesetzten Auswerteeinheit zugeführt wird. Die Steuerung der T/R-Module erfolgt über eine separate Steuerleitungsstruktur. Diese Anordnung einer Gruppenantenne erweist sich als sehr aufwendig und sehr anfällig in der Verbindungsstruktur.

[0012] 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.

[0013] Diese Aufgabe wird gelöst durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale. Vorteilhafte Ausgestaltungen und/oder Weiterbildungen sind den Unteransprüchen entnehmbar.

[0014] 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.

[0015] Ein zweiter Vorteil besteht darin, daß in der Lichtwellenleiter-Struktur eine bidirektionale Datenübertragung aller Signale im Zeitmultiplexverfahren erfolgt.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] 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.

[0019] Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung.

[0020] 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.

[0021] Bei einem beispielhaft gewähltem 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 verschiede-

ne Übertragungsarten, z.B. analog, digital oder optisch, bzw. uni- sowie bidirektionale Beamforming-Netzwerke anwendbar.

[0022] 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 Signalfluß bei geringen elektrischen Verlusten und hoher mechanischer Flexibilität möglich wird.

[0023] 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 Laserdioden, die z.B. als sogenannte DFB-Laserdioden 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 Laserdioden 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 Laserdioden. 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 Si-

gnalübertragung genutzt werden kann.

[0024] 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.

[0025] 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, Einfügungsdämpfung) 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 Einfügungsdämpfung, 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 amplifizier-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.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 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 je-

weilige optische Signal auf spezielle LWL einer optischen Empfangsverteilung eingekoppelt. Die erforderliche Demodulation erfolgt mittels optoelektrischer Wandler an der/den entsprechenden Auswerteeinheiten (Empfängern).

[0031] 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 Antennen-Gruppe. 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 antenntentechnischen 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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 zugehörigen elektrischem Anpaßnetzwerk und dem

nachgeschaltetem rauscharmen Verstärker LNA, an dessen Ausgang das Sende- oder LO-Signal entsteht.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] In den Lichtwellenleitern des Strahlformungs-(Beamforming-)Netzwerkes entsprechend FIG. 4 ist dann eine bidirektionale optische Datenübertragung in dem bereits erwähnten Zeitmultiplex-Betrieb möglich.

[0038] 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 $0,5 \mu\text{s}$ 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 $5 \mu\text{s}$ die Übertragung des LO-Si-

gnals 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.

[0039] 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 µs 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 µs 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 µs 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 µs von dem durch das Initialisierungstelegramm angesprochenen T/R-Modul eine Übertragung der digitaler Form vorliegenden ZF-Empfangsdaten.

[0040] 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.

[0041] 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.

[0042] Die in der Zentraleinheit (BSU) vorhandene Laserdioden 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.

[0043] 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.

[0044] Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern sinngemäß auf weitere anwendbar, z.B. auf eine Gruppenantenne für einen wesentlich niedrigeren Frequenzbereich.

15 Patentansprüche

1. Gruppenantenne mit optischen Strahlformungs-Netzwerk, zumindest bestehend aus

- mehreren zeilen- und/oder matrixförmig angeordneten Strahlerelementen zum Senden und/oder Empfangen elektromagnetischer Strahlung,
- mehreren Sende-/Empfangsmodulen, wobei jedes Strahlerelement an ein zugehöriges Modul angekoppelt ist,
- einer Steuereinheit, in der zumindest Sendesignale sowie ein Oszillatorsignal für einen in jedem Modul vorhandenen Mischer erzeugt wird,
- einer Auswerteeinheit, in welcher die von den Strahlerelementen empfangenen Empfangssignale ausgewertet werden,
- einem ersten optischen Strahlformungs-Netzwerk, das mit Hilfe eines Lichtwellenleiters die Steuereinheit mit einem Sende-/Empfangsmodul verbindet und über das die Sendesignale und das Oszillatorsignal zu dem Modul übertragen werden und
- einem zweiten optischen Strahlformungs-Netzwerk, das mit Hilfe eines Lichtwellenleiters die Auswerteeinheit mit einem Sende-/Empfangsmodul verbindet und über das die Empfangssignale von dem Modul übertragen werden, wobei
- in jedem Modul ein einstellbarer Phasensteller zum Ändern der Phasenlage des Sende- oder Empfangssignals vorhanden ist,
- in jedem Modul ein einstellbarer Amplitudensteller zum Ändern der Amplitude des Sende- oder Empfangssignals vorhanden ist,

- in jedem Modul mindestens ein Sende-/Empfangsumschalter vorhanden ist und
- in der Steuereinheit eine einzige zentrale Laseranordnung, die optisch an das erste Strahlformungs-Netzwerk gekoppelt ist, vorhanden ist,

dadurch gekennzeichnet,

- daß die Steuereinheit und die Auswerteeinheit zu einer zentralen Steuer- und Auswerteeinheit zusammengefaßt sind,
 - daß die beiden optischen Strahlformungs-Netzwerke zu einen gemeinsamen optischen Strahlformungs-Netzwerk zusammengefaßt sind, das mit Hilfe jeweils eines einzigen Lichtwellenleiters die zentralen Steuer- und Auswerteeinheit mit einem Sende-/Empfangsmodul verbindet und über das die Sendesignale, die Empfangssignale, das Oszillatorsignal und die Steuersignale zum und von dem Modul übertragen werden,
 - daß in jedem Modul eine Modul-Steuerung, mit welcher der Phasensteller, der Amplitudensteller sowie der Sende-/Empfangsumschalter auf Basis der Steuersignale der zentralen Steuer- und Auswerteeinheit steuerbar sind, 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-/Empfangsmoduls, dem Sendesignal sowie dem Oszillatorsignals 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 nachgeschaltetem 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 elektro-optische und/oder optoelektrische Testvorgänge vorgesehen ist.

8. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in min-

destens 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.

5

9. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

- daß mehrere räumlich getrennte Antennenanordnungen, die jeweils aus mehreren Modulen und/oder Modulgruppen bestehen, vorhanden sind und 10
- daß die getrennten Anordnungen über zugehörige optische Teiler an das optische Strahlformungs-Netzwerk angeschlossen sind. 15

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. 20 25

11. Gruppenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

- daß das Strahlformungs-Netzwerk mindestens eine optische Verzweigung in Form einer Stern- oder Baumstruktur enthält, 30
- daß das Strahlformungs-Netzwerk für einen optisch bidirektionalen Zeitmultiplexbetrieb ausgelegt ist und 35
- daß in der zentralen Steuer- und Auswerteeinheit ein optischer Isolator vorhanden ist zur optischen Trennung der ausgesandten und empfangenen optischen Signale. 40

Claims

45

1. An array aerial with an optical beam-forming network, consisting of at least

- a plurality of beam members arranged in a one-dimensional array or in the form of a matrix for transmitting and/or receiving electromagnetic radiation, 50
- a plurality of transmitting/receiving modules, each beam member being linked to an associated module, 55
- a beam-steering unit in which at least transmit-

ter signals and an oscillator signal are produced for a mixer present in each module,

- an evaluation unit, in which the receiver signals received by the beam members are evaluated,
- a first optical beam-forming network which, with the aid of a light-wave guide, connects the beam-steering unit with a transmitter/receiver module and via which the transmitter signals and the oscillator signal are conducted to the module, and
- a second optical beam-forming network which, with the aid of a light-wave guide, connects the evaluation unit with a transmitter/receiver module and via which the receiver signals are conducted from the module, in association with which
- an adjustable phase shifter for changing the phase position of the transmitter or receiver signal is present in each module,
- an adjustable amplitude regulator for changing the amplitude of the transmitter or receiver signal is present in each module,
- at least one transmitter/receiver selector switch is present in each module, and
- a single central laser arrangement, which is optically linked to the first beam-forming network, is present in the beam-steering unit,

characterised in that

- the beam-steering unit and the evaluation unit are combined to form a central beam-steering and evaluation unit,
- the two optical beam-forming networks are combined to form a joint optical beam-forming network which, with the aid of a single light-wave guide in each case, connects the central beam-steering and evaluation unit to a transmitter/receiver module and via which the transmitter signals, the receiver signals, the oscillator signal and the beam-steering signals are conducted to and from the module,
- a module controller, with which the phase shifter, the amplitude shifter and the transmitter/receiver selector switch are controllable on the basis of the control signals of the beam-steering and evaluation unit, is present in each module, and

- a modulator is connected to the laser arrangement in such a way that the laser light emitted by the laser arrangement is modulatable to the transmitter signal and the oscillator signal by the time-division multiplex method, at least with an initialisation signal to adjust at least one transmitter-/receiver module.
2. A array aerial according to Claim 1, characterised in that the laser arrangement includes a semiconductor laser, and that at least one optical intensifier is present in the beam-forming network.
3. A array aerial according to Claim 1 or Claim 2, characterised in that
- an electro-optical converter is present in at least one module,
 - the electro-optical converter is optically linked to the beam-forming network bidirectionally operable by the time-division multiplex method, and
 - the electro-optical converter is electrically connected to the output of an electrical mixer, which generates a corresponding intermediate-frequency signal from the oscillator signal and the receiver signal.
4. An array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that an analog-digital converter is connected between the mixer and the electro-optical converter, and that the intermediate-frequency signal is optically transmissible in a digital form to the central beam-steering and evaluation unit via the beam-forming network.
5. An array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that an integrated optoelectrical semiconductor member is present in at least one module, consisting at least of a semiconductor substrate, preferably a III-V semiconductor substrate, with
- integrated central optical signal guiding for linking to a light-wave guide of the beam-forming network,
 - an optical directional coupler, linked to the central optical signal guide,
 - a first branch, consisting at least of an optoelectrical converter, an electrical matching network connected downstream thereof, and a low-noise amplifier (LNA) connected downstream of the electrical matching network, and
- a second branch, consisting at least of an optoelectrical converter, and an electrical matching network connected downstream thereof.
6. An array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that a plurality of modules, preferably four, are in each case combined to form a module group, and that an optical divider matching the number of modules in the module group is present in the beam-forming network.
7. A array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that, in at least one optical divider, the number of optical branches is greater than the number of modules linked to this divider, and that one of these additional branches is provided for electro-optical and/or optoelectrical test procedures.
8. An array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that an electrical diplexer constructed from passive electrical components is present in at least one module, the transmitter and LO-oscillator adjacent in the time multiplex being splittable into separate electrical branches in the said diplexer.
9. An array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that
- a plurality of spatially separated aerial arrangements, in each case consisting of a plurality of modules and/or module groups, are present, and
 - the separate arrangements are connected to the optical beam-forming network via associated optical dividers.
10. An array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that the beam members, their one-dimensional array or arrangement in the form of a matrix, as well as the modules and their one-dimensional array or arrangement in the form of a matrix are matched to a beam of electromagnetic radiation in the millimetre-wave or microwave range.
11. An array aerial according to one of the preceding claims, characterised in that
- the beam-forming network contains at least one optical branch in the form of a stellate or dendritic structure,
 - the beam-forming network is laid out for optically bi-directional time-multiplex operation, and

- an optical isolator for optical separation of the transmitted and received optical signals is present in the central beam-steering and evaluation unit.

5

Revendications

1. Antenne en réseau avec un réseau de formation de faisceau optique composé au moins de :

10

- plusieurs éléments rayonnants répartis en ligne et/ou sous la forme d'une matrice pour émettre et/ou recevoir des ondes électromagnétiques,
- plusieurs modules d'émission/réception, chaque élément rayonnant étant couplé à un module correspondant,
- une unité de commande qui génère au moins les signaux d'émission et un signal d'oscillateur pour un mélangeur dans chaque module,
- une unité d'exploitation qui exploite les signaux de réception reçus par les éléments rayonnants,
- un premier réseau de formation de faisceau optique qui relie à l'aide d'un guide de lumière, l'unité de commande à un module d'émission/réception et permet de transmettre vers le module les signaux d'émission et le signal d'oscillateur,
- un second réseau de formation de faisceau optique, qui relie à l'aide d'un guide de lumière, l'unité d'exploitation à un module d'émission/réception et qui transmet les signaux de réception du module,

15

20

25

30

35

dans lequel,

- dans chaque module on a un organe de réglage de phase commandé pour modifier la position de phase du signal d'émission ou de réception,
- dans chaque module il est prévu un organe de réglage d'amplitude, commandé pour modifier l'amplitude du signal d'émission ou de réception,
- dans chaque module il y a au moins un commutateur émission/réception, et
- dans l'unité de commande on a un unique dispositif laser central couplé optiquement au premier réseau de formation de faisceaux, caractérisée en ce que
- l'unité de commande et l'unité d'exploitation sont réunies dans une unité de commande et d'exploitation centrale,
- les deux réseaux de formation de faisceau optiques sont réunis dans un même réseau optique reliant à l'aide d'un unique guide de lumière, l'unité de commande et d'exploitation centrale à un module d'émission/réception, et par

40

45

50

55

lequel les signaux d'émission, les signaux de réception, le signal d'oscillateur et les signaux de commande sont échangés avec le module,

- dans chaque module il est prévu une commande qui agit sur l'organe de réglage de phase, l'organe de réglage d'amplitude et sur le commutateur émission/réception, sur la base des signaux de commande de l'unité centrale de commande et d'exploitation, et
- un modulateur est relié au dispositif laser pour que la lumière laser émise par le dispositif laser puisse être, selon le procédé de multiplexage dans le temps au moins avec un signal d'initialisation pour régler au moins un module d'émission/réception, modulée avec le signal d'émission et avec le signal d'oscillateur.

2. Antenne en réseau selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif laser comporte un laser semi-conducteur et le réseau de formation de faisceaux comporte au moins un amplificateur optique.

3. Antenne en réseau selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée en ce que dans au moins un module il est prévu un convertisseur électro-optique, - le convertisseur électro-optique est couplé optiquement au réseau de formation de faisceau fonctionnant de manière bidirectionnelle selon le procédé de multiplexage dans le temps, et - le convertisseur électro-optique est relié électriquement à la sortie d'un mélangeur électrique qui partant du signal d'oscillateur et du signal de réception génère un signal de fréquence intermédiaire correspondant.

4. Antenne en réseau selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'entre le mélangeur et le convertisseur électro-optique il y a un convertisseur analogique-numérique et le signal de fréquence intermédiaire est transmis sous forme optique numérique par le réseau de formation de faisceau vers l'unité centrale de commande et d'exploitation.

5. Antenne en réseau en selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que dans au moins un module, on a un composant semi-conducteur optoélectrique intégré formé au moins d'un substrat semi-conducteur de préférence d'un substrat semi-conducteur de type III-V et ayant,

- un moyen de guidage optique central intégré du signal pour être couplé sur un guide de lumière du réseau de formation de faisceaux ;

- un coupleur optique directionnel couplé sur le moyen de guidage central optique du signal,
 - une première branche formée au moins d'un convertisseur optoélectrique, d'un réseau adaptateur électrique en aval ainsi que d'un amplificateur à faible bruit en aval (LNA), et
 - une seconde branche formée au moins d'un convertisseur électro-optique et d'un réseau adaptateur électrique en aval.
- 5
- 10
6. Antenne en réseau selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que chaque fois plusieurs modules, de préférence quatre, sont regroupés dans un groupe de modules, et dans le réseau de formation de faisceau, on a un nombre de diviseurs optiques adapté au nombre de modules des groupes de modules.
- 15
7. Antenne en réseau selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que pour au moins un diviseur optique, le nombre de dérivation optiques est supérieur au nombre des modules couplés à ce diviseur, et l'une des dériva- 20
tions supplémentaires est prévue pour des opérations de contrôle électro-optiques et/ou optoélectro- 25
niques.
8. Antenne en réseau selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que dans au moins un module, on a un diplexeur élec- 30
trique formé de composants électriques passifs dans lequel on divise les signaux d'émission et les 35
signaux d'oscillateur (LO) fournis en multiplexage dans le temps pour les répartir dans deux branches électriques séparées.
9. Antenne en réseau selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que 40
- plusieurs dispositifs d'antennes séparés dans l'espace sont formés chaque fois de plusieurs 45
modules et/ou groupes de modules, et
 - les dispositifs séparés sont reliés au réseau optique de formation de faisceau par des divi-
seurs optiques correspondants.
- 50
10. Antenne en réseau selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les éléments rayonnants dont la répartition en ligne ou en matrice ainsi que les modules et leur dispo- 55
sition en ligne ou en matrice sont accordés sur un rayonnement électromagnétique dans la plage des ondes millimétriques ou micrométriques.
11. Antenne en réseau selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que
- le réseau de formation de faisceau comporte au moins une dérivation optique sous la forme d'une structure en étoile ou une structure arbo-
rescente,
 - le réseau de formation de faisceau est conçu pour un fonctionnement optique bidirectionnel à multiplexage dans le temps, et
 - l'unité centrale de commande et d'exploitation comporte un isolateur optique pour la sépara-
tion optique des signaux optiques d'émission et de réception.

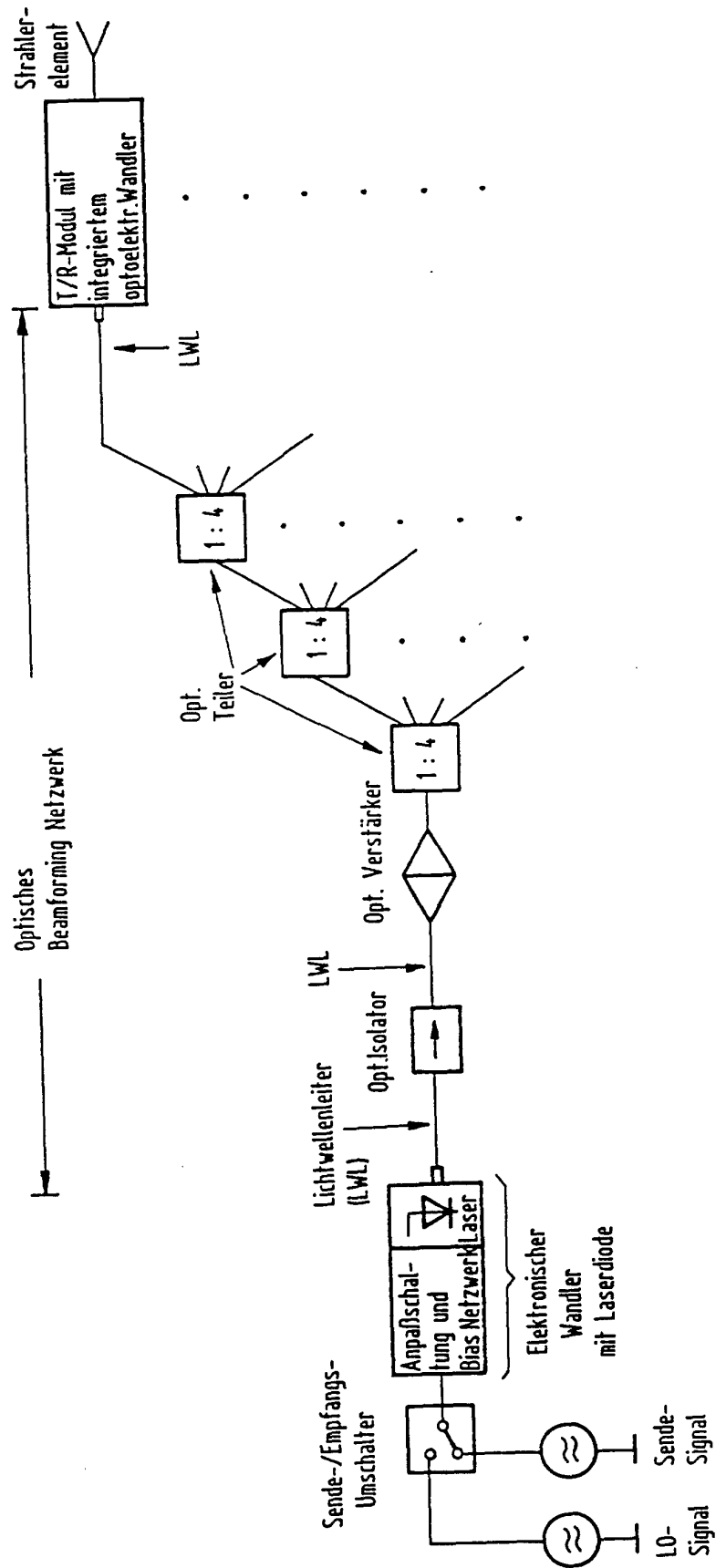


FIG. 1

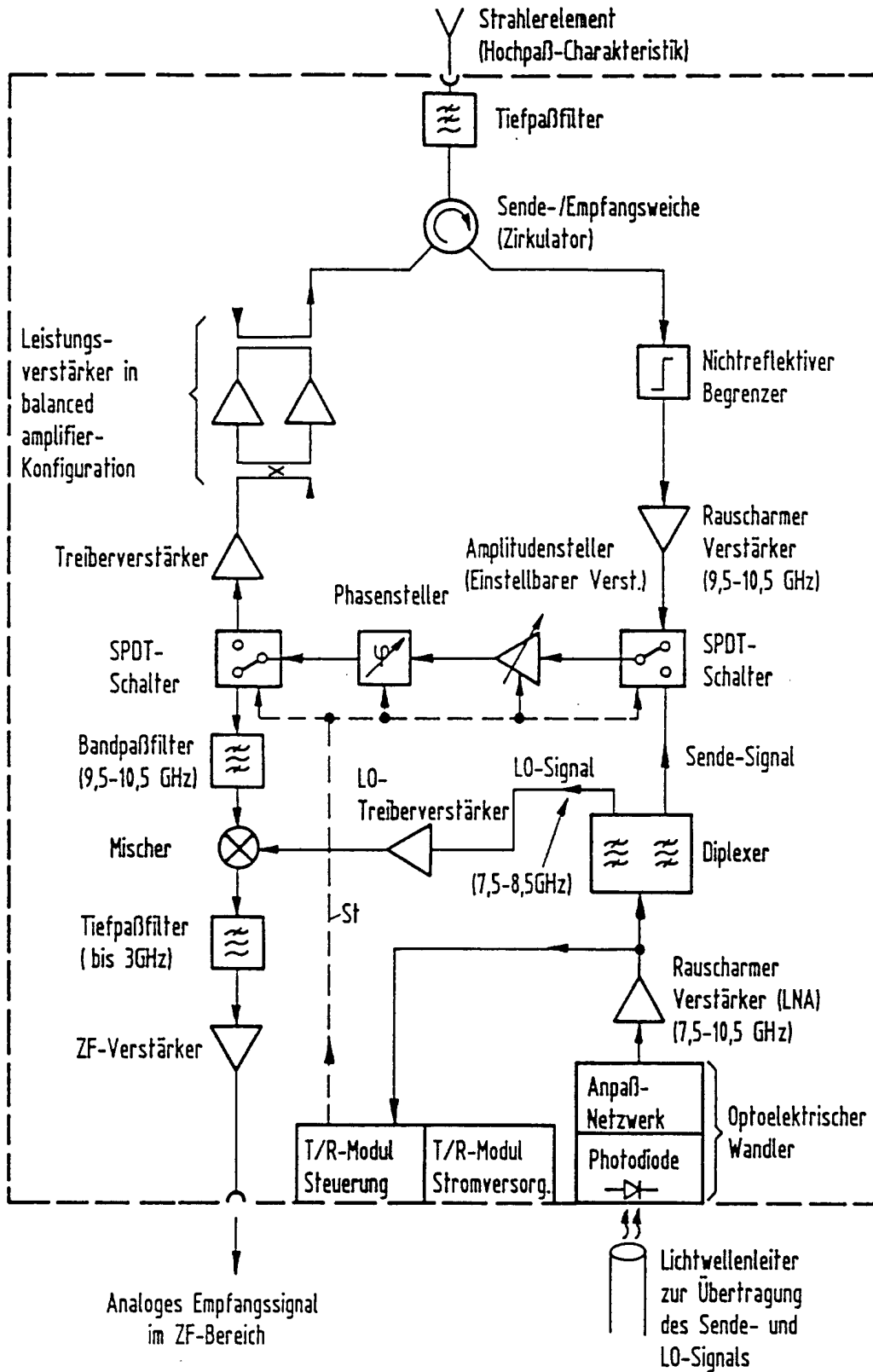


FIG. 2

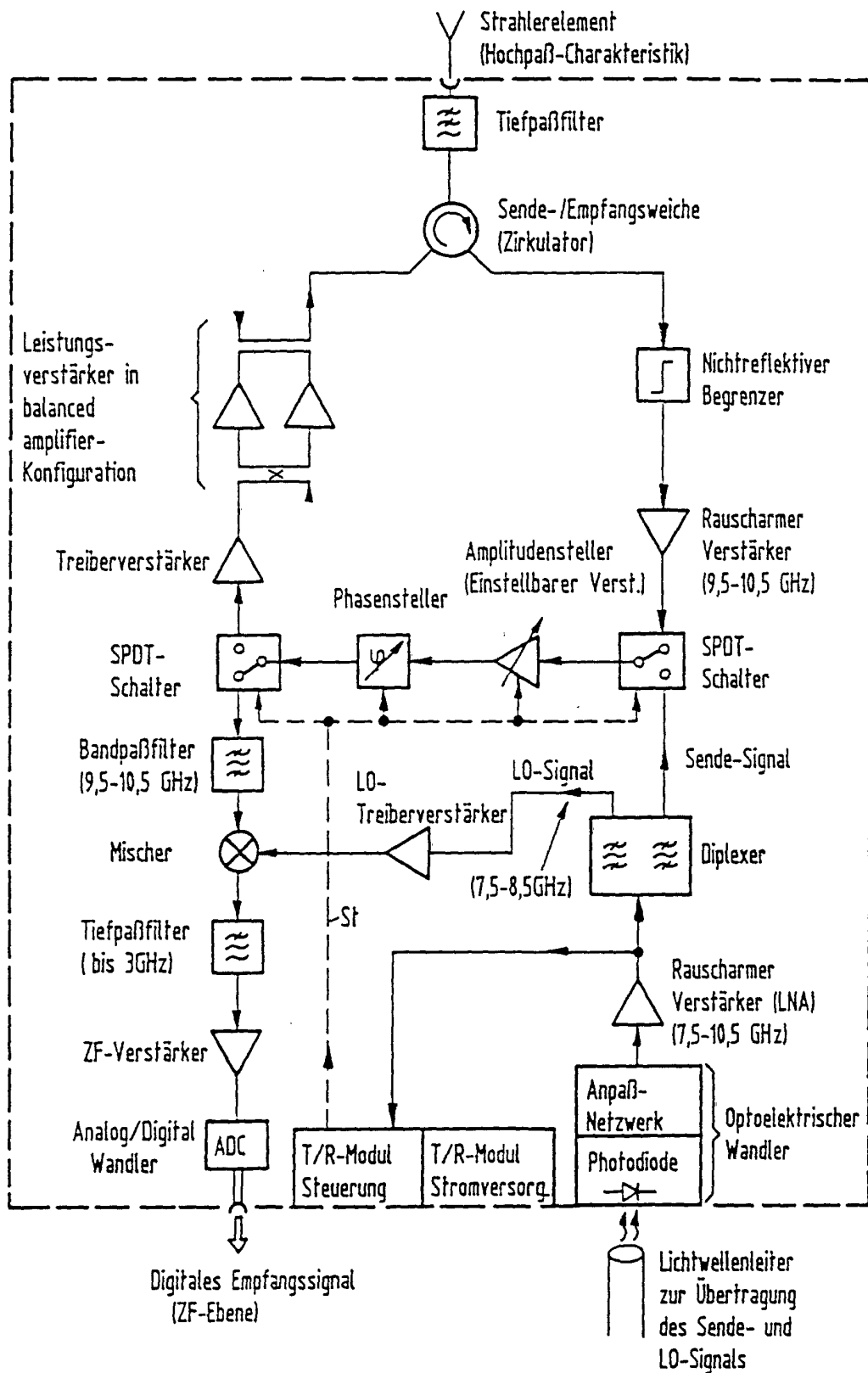


FIG. 3

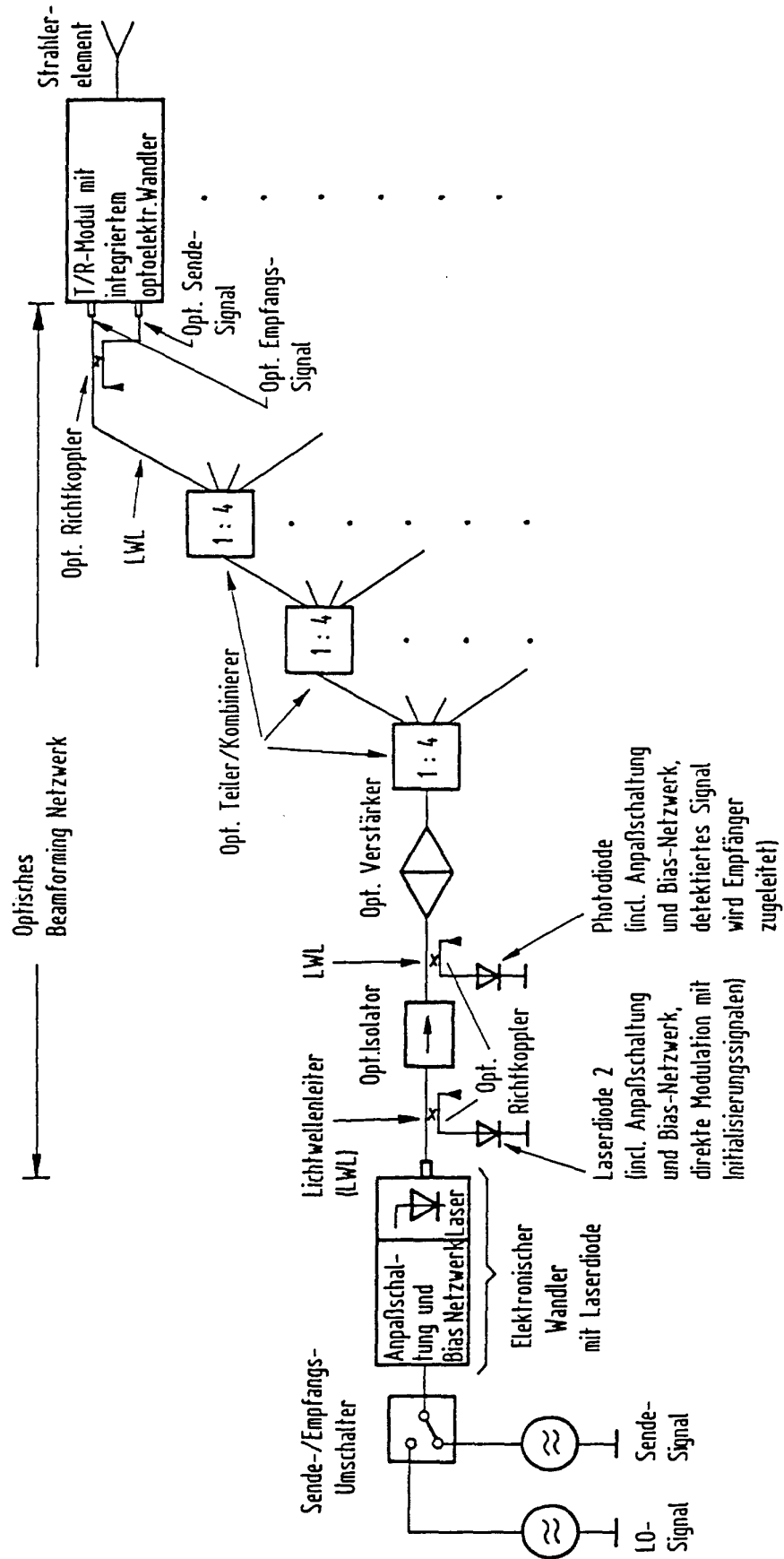


FIG. 4

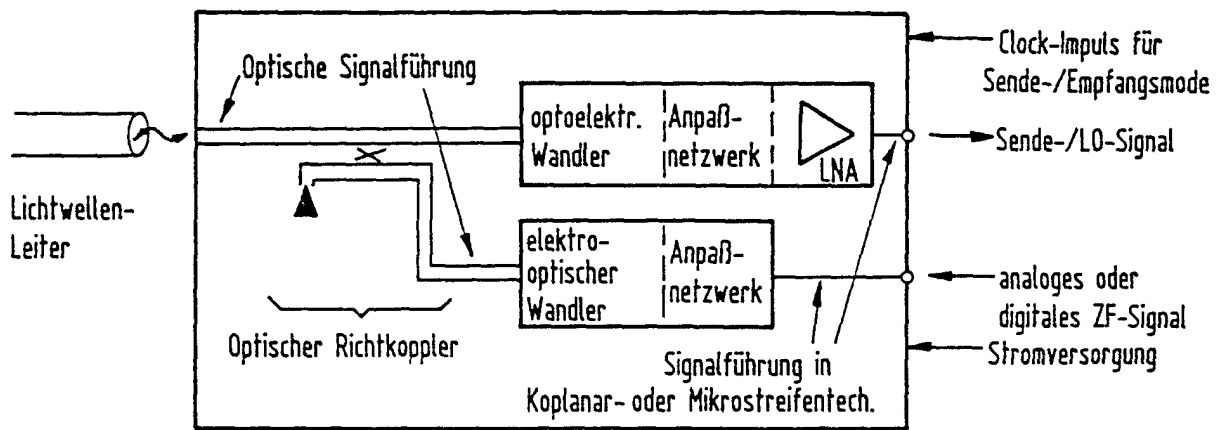


FIG. 5

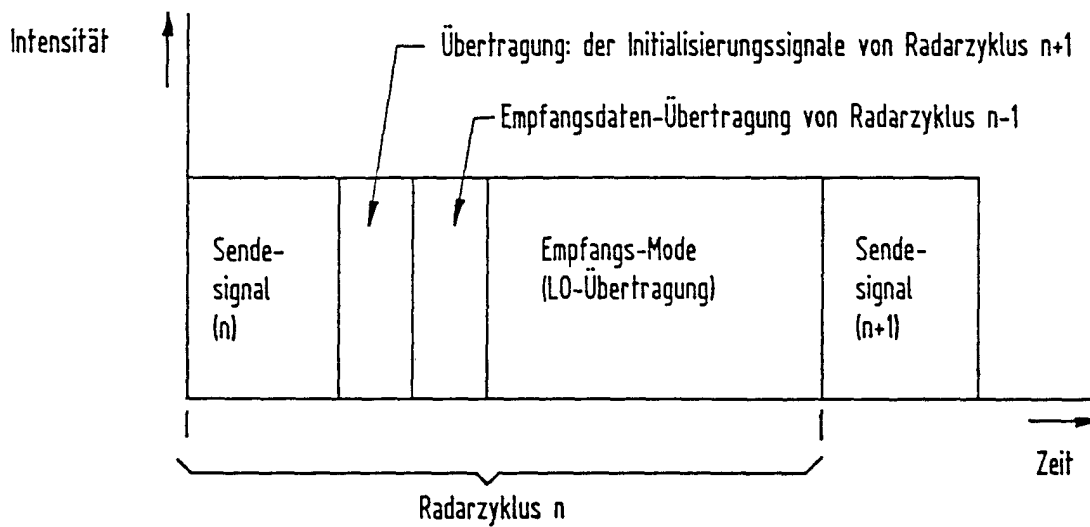


FIG. 6A

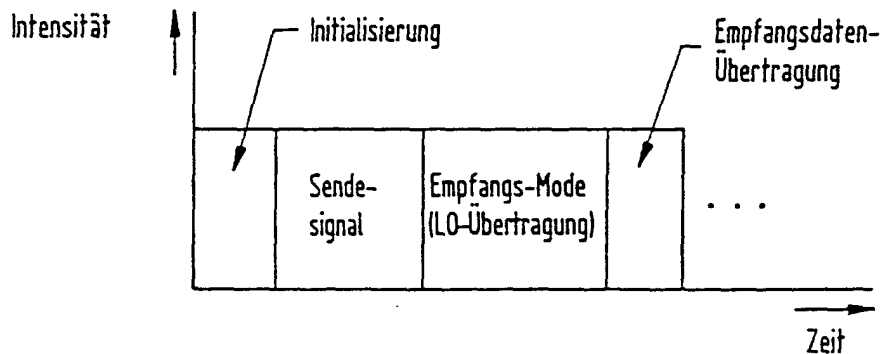


FIG. 6B