



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 18 805 T2 2005.08.04

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 055 298 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 18 805.9

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/FI99/00115

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 903 713.8

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 99/041857

(86) PCT-Anmeldetag: 12.02.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 19.08.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 29.11.2000

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 21.07.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 04.08.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H04B 10/12

H04J 14/02

(30) Unionspriorität:

980329 13.02.1998 FI

(84) Benannte Vertragsstaaten:

BE, DE, FR, GB, IT, SE

(73) Patentinhaber:

Nokia Corp., Espoo, FI

(72) Erfinder:

TAMMELA, Simo, FIN-02130 Espoo, FI; AARNIO, Jaakko, FIN-02130 Espoo, FI

(74) Vertreter:

TBK-Patent, 80336 München

(54) Bezeichnung: OPTISCHES TELEKOMMUNIKATIONSNETZWERK

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 eingelebt, 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****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die Erfindung betrifft optische Telekommunikation im Allgemeinen und im Besonderen ein optisches Telekommunikationsnetzwerk, das Wellenlängenmultiplex (WDM: „Wavelength Division Multiplexing“) verwendet.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0002]** Wellenlängenmultiplex (WDM) ist eine effiziente Art und Weise zum Vervielfachen der Kapazität einer Lichtleitfaser bzw. eines Glasfaserleiters. Bei Wellenlängenmultiplex verwenden mehrere unabhängige Sender-Empfänger-Paare die gleiche Lichtleitfaser. [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) veranschaulichen das Prinzip von Wellenlängenmultiplex, wobei als Beispiel ein System mit vier parallelen Sender-Empfänger-Paaren verwendet wird. Jede der vier (nicht in der Figur gezeigten) Informationsquellen moduliert einen der vier optischen Sender, von denen jeder Licht mit einer unterschiedlichen Wellenlänge ( $\lambda_1, \dots, \lambda_4$ ) erzeugt. Wie aus [Fig. 1a](#) ersichtlich ist die Modulationsbandbreite jeder Quelle kleiner als die Distanz bzw. der Abstand zwischen den Längenwellen, und daher überlappen sich die Spektren bzw. Frequenzbänder der modulierten Signale nicht. Die von den Sendern erzeugten Signale werden in einem WDM-Multiplexer WDM1, welcher eine vollauf optische (und oft passive) Komponente ist, auf die gleiche Lichtleitfaser OF kombiniert. Am entgegengesetzten Ende der Faser trennt ein WDM-Demultiplexer WDM2, welcher ebenfalls eine vollauf optische (und oft passive) Komponente ist, die unterschiedlichen spektralen Komponenten des kombinierten Signals voneinander. Jedes dieser Signale wird an einem separaten Empfänger erfasst. Daher ist in einem gegebenen Wellenlängenbereich ein schmales Wellenlängenfenster für die Verwendung von jedem Signal zugeordnet. Ein typisches praktisches Beispiel kann ein System sein, bei dem die Signale im 1550 nm-Wellenlängenbereich zum Beispiel derart ausgestaltet sind, dass das erste Signal auf der Wellenlänge 1544 nm, das zweite Signal auf der Wellenlänge 1548 nm, das dritte Signal auf der Wellenlänge 1552 nm und das vierte Signal auf der Wellenlänge 1556 nm liegt. Heutzutage wird ein Vielfaches von 100 GHz (ungefähr 0,8 nm) zur allgemeinen Norm für den Abstand zwischen Wellenlängen.

**[0003]** Um zu ermöglichen, dass ein bestimmter Wellenlängenkanal von einer Übertragungsstrecke unter Verwendung von Wellenlängenmultiplex abgezweigt wird, oder dass ein bestimmter Wellenlängenkanal zu dieser hinzugefügt bzw. addiert wird, wurde ein Hinzufügungs-/Entfernungsfilter genanntes Element entwickelt. Die Aufgabe eines optischen nachfolgend als Add/Drop-Filter bezeichneten Hinzufü-

gungs-/Entfernungsfilters ist (1) ein Herauslenken eines ausgewählten schmalbandigen Kanals (Wellenlänge) aus dem optischen Gesamtsignal, das die in das Filter einlaufende Faser durchläuft (Drop- bzw. Entfernungsfunction) und/oder (2) ein Addieren eines schmalbandigen Kanals zu der vom Filter abgehenden Faser (Add- bzw. Hinzufügungsfunktion). Die Signale (Wellenlängen), die nicht zum Entfernen ausgewählt wurden, durchlaufen das Add/Drop-Element von der einlaufenden Faser zu der abgehenden Faser. Dadurch wird ein gewünschter schmalbandiger Kanal im Filter hinzugefügt oder entfernt, ohne andererseits das Spektrum des optischen Gesamtsignals in irgendeiner Art und Weise zu beeinflussen (vorausgesetzt, dass in der beteiligten Faser freie Wellenlängen verfügbar sind).

**[0004]** [Fig. 2](#) veranschaulicht den Aufbau eines bekannten Add/Drop-Filters OADE mit drei Anschlüssen. Bezugszeichen L1 ... L3 bezeichnen Anschluss-spezifische Linsen und Bezugszeichen F ein Interferenzfilter. Die einlaufende Faser ist mit Anschluss A verbunden, über den eine Anzahl von Wellenlängenkanälen ( $\lambda_1, \dots, \lambda_4$ ) ankommt. Einer der Wellenlängenkanäle (in diesem Beispiel  $\lambda_1$ ) durchläuft das Interferenzfilter F (und Linsen L1 und L2) zu Anschluss B. Die verbleibenden Wellenlängenkanäle durchlaufen auch Linse L1, aber werden vom Interferenzfilter (durch Linse L3) zu Anschluss C reflektiert. Die Wellenlänge des in Anschluss B eintretenden Kanals ist eine feste, Filterspezifische Konstante.

**[0005]** Das Filter arbeitet in beide Richtungen, und daher wird die Hinzufügungsfunktion derart erreicht, dass die bestehenden Kanäle an Anschluss C und ein hinzuzufügender Kanal an Anschluss B geführt und dadurch am Anschluss A alle Kanäle erhalten werden.

**[0006]** Ein Drei-Anschluss-Filter der vorstehend beschriebenen Art wird zum Beispiel von Optical Corporation of America, U.S.A. hergestellt.

**[0007]** Die bestehenden optischen Telekommunikationssysteme, die auf Wellenlängenmultiplex basieren, waren größtenteils Punkt-zu-Punkt-Systeme, die auf Fernverbindungen hoher Kapazität (Hauptleitungen) verwendet werden. Optische Übertragungstechnologie wird jedoch fortwährend weiterentwickelt, um in der Lage zu sein, die niedrigsten Schichten von Breitband-Netzwerkarchitekturen als vollauf optische Systeme zu implementieren, was es möglich machen würde, die Übertragung von Informationsflüssen hoher Kapazität mittels rein optischer Einrichtungen (d. h. unter Verwendung optischer Querverbindungen bzw. Rangierverteiler und optischem Routing bzw. Leitweglenkung) zu bewerkstelligen.

**[0008]** Nach den Punkt-zu-Punkt-Systemen werden bei dieser Entwicklung optische Netzwerke der

nächste Schritt sein, die Add/Drop-Funktionen ermöglichen, wie etwa Ringnetzwerke. Um es zu ermöglichen, diesen Netzwerktyp als Antwort auf Verkehrsbelastungen flexibel zu konfigurieren, wurden Add/Drop-Filter zu Netzwerkelementen aufgerüstet, die eine freie Auswahl der Wellenlängen ermöglichen, die zu entfernen und/oder hinzuzufügen sind. Dieser Typ von Add/Drop-Vorrichtung ist daher ein Netzwerkelement, das zum Ermöglichen einer freien Auswahl der zu entfernenden/hinzuzufügenden Wellenlängen konfiguriert werden kann.

**[0009]** Der folgende Abschnitt bietet unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) eine kurze Beschreibung eines typischen Ringnetzwerks. Bei dem gemäß [Fig. 3](#) gezeigten Beispiel wird das Netzwerk zum Übertragen von SDH-(„Synchronous Digital Hierarchy“)Signalen verwendet, aber der von jeder Wellenlänge transportierte Signaltyp kann natürlich variieren. Das Signal kann jedes analoge oder digitale Signal sein, wie etwa ein PDH-(„Plesiochronous Digital Hierarchy“)Signal oder ein ATM-(„Asynchronous Transfer Mode“)Signal.

**[0010]** Bei diesem Beispiel weist das Ringnetzwerk vier Knoten auf, die aus Add/Drop-Vorrichtungen OADM1 bis OADM4 bestehen. Für beide Übertragungsrichtungen existiert ein fest zugeordneter bzw. dedizierter Ring. Zwischen den Knoten besteht eine aus Lichtleitfasern OF bestehende optische Übertragungsverbindung, und wie vorstehend beschrieben wird auf jeder gerichteten Verbindung zwischen zwei Knoten Wellenlängenmultiplex verwendet. Bei dem Beispiel werden vier Wellenlängen ( $\lambda_1 \dots \lambda_4$ ) und eine Verwaltungswellenlänge ( $\lambda_m$ ) verwendet, aber es ist zu verstehen, dass die Anzahl von im Netzwerk verwendeten Wellenlängen variieren und sogar größer sein kann. Jede Add/Drop-Vorrichtung kann eine Schnittstelle zum Steuersystem ONC der Vorrichtung und/oder des gesamten optischen Netzwerks aufweisen, was ermöglicht, dass alle Add/Drop-Vorrichtungen im Netzwerk wie gewünscht konfiguriert werden.

**[0011]** Die Einrichtungen in einem optischen Netzwerk können mit SDH-Einrichtungen integriert werden und das optische Steuersystem kann mit dem Steuersystem der SDH-Einrichtungen integriert werden. Das optische Signal von der SDH-Vorrichtung ist auf der ausgewählten Wellenlänge mit dem Ringnetzwerk verbunden. Eine gewünschte Anzahl von Wellenlängen wird für Knoten-zu-Knoten-Verbindungen gemäß den Verkehrserfordernissen definiert. Mit anderen Worten können die den verschiedenen Wellenlängen entsprechenden Routing-Konfigurationen als Antwort auf Verkehrslast verändert werden. Unter Verwendung des von den Verwaltungswellenlängen transportierten Verwaltungssignals ist es möglich, jeden einzelnen Knoten zum Entfernen/Hinzufügen der gewünschten Wellenlängen zu konfigurieren. Wie es gemäß der Figur an Knoten OADM1 gezeigt ist, kann

es in beiden Richtungen ein dediziertes Drop- bzw. Entfernungselement MCD für eine Knotenverwaltungswellenlänge geben, um den Steuerkanal auf der Verwaltungswellenlänge  $\lambda_m$  zu der Knotensteuer-Einheit CU abzunehmen, welche das Signal dann in ein elektrisches Signal wandelt und den Add/Drop-Teil AD des Knotens steuert, wie es durch das Verwaltungssignal angegeben wird, um die gewünschten Kanäle in die SDH-Einrichtungen abzunehmen, und um die gewünschten Wellenlängen von den SDH-Einrichtungen hinzuzufügen. Zusätzlich zum Drop-Element gibt es für beide Übertragungsrichtungen ein Add- bzw. Hinzufügungselement MCA, um den Verwaltungskanal von der Steuereinheit CU zu dem von dem Knoten übertragenen Signal hinzuzufügen.

**[0012]** Eine Knotenverwaltung kann auch direkt mit Hilfe einer (optischen oder elektrischen) lokalen Steuerschnittstelle erfolgen, um jeden Knoten einzeln über die lokale Schnittstelle zu steuern; eine Knotenverwaltung kann auch unter Verwendung sowohl einer lokalen Steuerschnittstelle als auch des Netzwerkverwaltungskanals erfolgen, so dass ein Signal über die lokale Steuerschnittstelle mit dem Netzwerkverwaltungskanal verbunden werden kann.

**[0013]** Jede Wellenlänge kann zum Beispiel zum Transportieren eines STM-N-(„Synchronous Transport Module“)Signals verwendet werden, wie beispielsweise STM-16 (N = 16). Bei dem Beispiel gemäß [Fig. 3](#) wurde einfach vorausgesetzt, dass Wellenlänge  $\lambda_1$  einer SDH-Vorrichtung SDH1 entspricht, Wellenlänge  $\lambda_2$  einer SDH-Vorrichtung SDH2 entspricht, Wellenlänge  $\lambda_3$  einer SDH-Vorrichtung SDH3 entspricht und Wellenlänge  $\lambda_4$  einer SDH-Vorrichtung SDH4 entspricht.

**[0014]** Eine wichtige Betrachtung neben der Kosteneffizienz des Netzwerks ist seine Zuverlässigkeit beim Betrieb. Um diese sicherzustellen, weisen Ringnetzwerke üblicherweise eine Sicherungssysteme mit optischen Schaltern auf, um zu ermöglichen, die erforderliche Verbindung über den verbleibenden Ring herzustellen, falls eine Verbindung zwischen zwei Knoten ausfällt.

**[0015]** [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) veranschaulichen ein typisches Sicherungssystem. Netzwerknoten N1 bis N4 sind mittels zweier separater Ringe miteinander verbunden: einem Arbeitsring WR und einem Sicherungsring PR. Arbeitet das Netzwerk fehlerfrei, wird das Signal normalerweise in eine Richtung entlang des Arbeitsrings WR transportiert und die gewünschten Signale werden an den Knoten entfernt/hinzugefügt ([Fig. 4](#)). Tritt ein Fehler auf, zum Beispiel wenn die Verbindung zwischen zwei Knoten ausfällt, wie es gemäß [Fig. 5](#) beispielhaft durch Knoten N2 und N3 dargestellt ist, wird das Signal am Knoten (N2) im Arbeitsring, der vor dem Störungspunkt liegt, vom Ar-

beitsring auf den Sicherungsring umgeschaltet und am Knoten (N3), der nach der Störungsstelle liegt, vom Sicherungsring auf den Arbeitsring. So breitet sich das Signal in der Vorwärtsrichtung entlang des Arbeitsrings und in der Rückwärtsrichtung entlang des Sicherungsring aus. Die Pfeile gemäß den Figuren zeigen den Weg eines Wellenlängenkanals von Knoten N1 zu Knoten N3 in beiden Fällen.

**[0016]** Mit der zunehmenden Verwendung von Ringnetzwerken werden optische Telekommunikationsnetzwerke zunehmend als Netzwerke implementiert, die einen begrenzteren geografischen Bereich abdecken. In der nächsten Phase werden die Netzwerke typischerweise regionale Netzwerke mit einem Durchmesser von 10 bis 100 km sein. Da die Anzahl von Knoten und unterschiedlichen Schnittstellen in derartige Netzwerken dramatisch ansteigen wird, ist es von wachsender Wichtigkeit, dass das Netzwerk- und Sicherungssystem unter Verwendung einer minimalen Anzahl von Komponenten aufgebaut werden kann. Dies ist in der Anfangsphase von spezieller Wichtigkeit, weil die WDM-Technologie für den Teilnehmer immer noch teuer ist. Außerdem ist es wesentlich, dass alle Komponenten unter Verwendung bestehender und wirtschaftlich realisierbarer Technologien hergestellt werden können. Ein Nachteil des vorstehend beschriebenen Sicherungssystems besteht zum Beispiel darin, dass der Signalpfad für die Vervollständigung der erforderlichen Funktionen ziemlich lang wird, falls die Add/Drop-Vorrichtungen nur im Arbeitspfad verwendet werden. Dies beruht auf der Tatsache, dass eine Kanalentfernung/-hinzufügung an einigen Knoten nicht erfolgt, bevor das Signal entlang des Arbeitsrings (WR) zurückkehrt. Als Folge davon kann es sein, dass eine zusätzliche Verstärkung im Netzwerk bereitzustellen ist, nur um sicher zu stellen, dass das Sicherungssystem arbeitet.

**[0017]** Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt im Interesse der Kosteneffizienz besteht darin, dass die Knotensender und -empfänger mit so niedrigen Kosten wie möglich implementiert werden können. Was optische Empfänger betrifft, sind sie zum Empfangen mehrerer Wellenlängen fähig. Sender zum Beispiel arbeiten jedoch üblicherweise nur auf einer Wellenlänge. Auf mehreren Wellenlängen arbeitende Sender wurden entwickelt, aber sie sind deutlich komplizierter herzustellen und zu handhaben als Einzelwellenlängensender. Daher wäre es nützlich, falls Netzwerke, bei denen eine Verbindung zwischen zwei beliebigen Knoten hergestellt werden kann (wie etwa bei einem völligen Maschennetzwerk), zumindest anfänglich fähig wären, mit einem Einzelwellenlängensender an jedem Knoten (ausschließlich der überschüssigen Sender) auszukommen.

#### KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0018]** Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein

optisches Telekommunikationsnetzwerk bereit zu stellen, dass zum möglichst effizienten Erreichen der vorstehend beschriebenen Zielsetzungen beiträgt.

**[0019]** Dies wird durch die in den unabhängigen Patentansprüchen definierte Lösung erreicht.

**[0020]** Aus der Perspektive von Netzwerkarchitektur und -funktionalität gibt es zwei Parameter, die zum Beeinflussen der Kosteneffizienz der grundlegenden Architektur verwendet werden können: die (Anzahl von) verwendeten Wellenlängen und die Fasern, an die jede Wellenlänge zugeführt wird. Die Erfindung basiert auf der Tatsache, dass beim Durchführen von Installationen im Vorgriff auf zukünftige Erfordernisse üblicherweise eine Anzahl zusätzlicher Lichtleitfasern gelegt wird. Da die bestehenden Installationen bereits derartige „dunkle“ oder Einzelwellenlängenfasern enthalten, können sie nun eingesetzt werden und so die Anzahl erforderlicher WDM-Komponenten reduzieren. Die Erfindung macht Gebrauch von SDM-(„Space Division Multiplexing“: Raummultiplex)Technologie, bei der entlang der Fasern eines Kabels unterschiedliche Kanalgruppen übertragen werden.

**[0021]** Die Idee ist es, N Knoten, N Arbeitsringe und N Wellenlängenkanäle zu verwenden, um ein betriebsbereites Netzwerk oder Unternetzwerk zu erzeugen, bei dem jeder Knoten fähig ist, auf einer Wellenlänge zu allen anderen Arbeitsringen mit Ausnahme desjenigen zu senden, von dem er empfängt, und in nur einem der Ringe aus beiden Richtungen auf allen Wellenlängen mit Ausnahme der Wellenlänge zu empfangen, auf der er sendet. Mit diesem Aufbau ist an den Knoten kein Hinzufügen/Entfernen erforderlich, weil der Empfangsknoten durch den Zielring bestimmt wird. Daher müssen die Knoten nicht fähig sein, Wellenlängen voneinander zu trennen.

**[0022]** Ist der Knoten außerdem ausgelegt, um gleichzeitig in beide Ringrichtungen oder in einzelnen Ringen in jede Richtung zu senden, ist im Netzwerk kein spezielles Sicherungssystem erforderlich; stattdessen können Störungen entweder durch Auswählen der richtigen Empfangsrichtung am Empfangsende oder durch Umkehren der Senderichtung an den ausgewählten Knoten behoben werden. So ist das Sicherungssystem sozusagen im Netzwerk eingebettet oder eingebaut und es sind keine speziellen Fasern für das Sicherungssystem erforderlich.

**[0023]** Außerdem macht es eine Lösung gemäß der Erfindung möglich, sogar mit einem Einzelwellensender an jedem Knoten zu bewerkstelligen, dass der Knoten fähig ist, eine Verbindung mit jedem anderen Knoten im Netzwerk aufzubauen. Die Verwendung mehrerer Senderkomponenten im Knoten bietet den Vorteil, dass eine von ihnen als eine überschüssige Einheit für alle anderen Sender dient.

[0024] Der grundlegende Aufbau des Netzwerks ermöglicht auch eine flexible Erweiterung. Mit anderen Worten können neue Verbindungen und Knoten mit großer Flexibilität zum Netzwerk hinzugefügt werden.

#### LISTE VON ZEICHNUNGEN

[0025] Die Erfindung und ihre bevorzugten Ausführungsbeispiele werden mit Bezugnahme auf [Fig. 6](#) bis [Fig. 12b](#) unter Verwendung der in den zugehörigen Zeichnungen veranschaulichten Beispiele ausführlicher beschrieben, bei denen zeigen:

[0026] [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) ein optisches Übertragungssystem, das von Wellenlängenmultiplex Gebrauch macht;

[0027] [Fig. 2](#) ein bekanntes Add/Drop-Filter, das zum Hinzufügen/Entfernen einer einzelnen Wellenlänge verwendet werden kann;

[0028] [Fig. 3](#) ein bekanntes optisches Ringnetzwerk;

[0029] [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) ein bekanntes Sicherungssystem;

[0030] [Fig. 6](#) ein Netzwerk gemäß der Erfindung;

[0031] [Fig. 7](#) den Sendebetrieb eines einzelnen Knotens beim gemäß [Fig. 6](#) gezeigten Netzwerk;

[0032] [Fig. 8](#) den normalen Betrieb des gemäß [Fig. 6](#) gezeigten Netzwerks;

[0033] [Fig. 9](#) das Netzwerk gemäß [Fig. 6](#) bei einer Störungssituation;

[0034] [Fig. 10](#) das Netzwerk gemäß [Fig. 6](#) bei einer anderen Störungssituation;

[0035] [Fig. 11](#) einen Empfang durch einen Knoten bei einer Situation, bei der die Knoten gleichzeitig in beide Richtungen senden; und

[0036] [Fig. 12a](#) und [Fig. 12b](#) die Verwendung eines überschüssigen Senders in einem Knoten.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0037] Gemäß [Fig. 6](#) ist das optische Netzwerk gemäß der Erfindung in seinem grundlegenden Aufbau gezeigt, d. h. in einem Aufbau, bei dem zwischen zwei beliebigen Knoten nur ein Wellenlängenkanal existiert. Das Netzwerk ist jedoch in dem Sinne vollständig, dass jeder beliebige Knoten fähig ist, mit jedem anderen Knoten im Netzwerk zu kommunizieren.

[0038] Das gemäß [Fig. 6](#) als Beispiel gezeigte Netzwerk weist insgesamt vier Knoten N1 bis N4 auf, die beginnend am obersten Knoten gemäß der Figur im Uhrzeigersinn nummeriert sind. Die Knoten sind durch insgesamt vier Faserringe R1 bis R4 miteinander verbunden (wobei die Nummerierung am äußeren Ring beginnt und in Richtung des Innersten läuft).

[0039] Das Netzwerk arbeitet auf vier Wellenlängen  $\lambda_1$  bis  $\lambda_4$ , die gemäß der Figur derart durch unterschiedliche Pfeile dargestellt sind, dass Wellenlängen  $\lambda_1$  durch einen aus einer durchgezogenen Linie und einer schwarzen Spitze bestehenden Pfeil, Wellenlänge  $\lambda_2$  durch einen aus einer gestrichelten Linie und einer schwarzen Spitze bestehenden Pfeil, Wellenlänge  $\lambda_3$  durch einen aus einer durchgezogenen Linie und einer weißen Spitze bestehenden Pfeil, Wellenlänge  $\lambda_4$  durch einen aus einer gestrichelten Linie und einer schwarzen Spitze bestehenden Pfeil. Jeder Knoten sendet auf einer einzelnen Wellenlänge, die für diesen bestimmten Knoten spezifisch ist.

[0040] Die Figur zeigt für jeden Knoten den Empfänger R und den Sender TR, welcher um der Klarheit willen als in zwei Stücke auf beiden Seiten des Empfängers R aufgespaltet dargestellt ist. Zusätzlich zeigt die Figur für jeden Knoten den Demultiplexer DM (Bezugszeichen nur für Knoten N1), der (unter Verwendung einer bekannten Methode) die von der einlaufenden Faser ankommenden Wellenlängen trennt und sie zu ihren jeweiligen Empfangsfasern lenkt, die mit dem Knotenempfänger R verbunden sind. Die unterschiedlichen Pfeile an jedem Demultiplexerausgang deuten die Wellenlängen an, die von jeder Faser an dem Knoten ankommen.

[0041] Wie die Figur zeigt, empfängt jeder Knoten Signale von einem speziellen (einzelnen) Ring. Beide Enden jedes Rings sind verbunden, um als Eingänge zum Demultiplexer eines bestimmten Knotens zu dienen. Mit anderen Worten weist jeder Knoten einen eigenen Ring auf und ist zum Empfangen von Signalen aus beiden Richtungen in diesem Ring fähig; Knoten N1 empfängt Signale von Ring R1, Knoten N2 von Ring R4, Knoten N3 von Ring R3 und Knoten N4 von Ring R2. Jeder Knoten sendet Signale auf seiner spezifischen Wellenlänge an alle anderen Ringe mit Ausnahme desjenigen, von dem er Signale empfängt. Beim ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung erfolgt eine Übertragung jederzeit in einer Richtung, aber die Übertragungsrichtung an jedem Ring ist wählbar. Knoten N1 sendet auf der Wellenlänge  $\lambda_1$ , Knoten N2 auf der Wellenlänge  $\lambda_4$ , Knoten N3 auf der Wellenlänge  $\lambda_3$  und Knoten N4 auf der Wellenlänge  $\lambda_2$ . Gemäß der Figur veranschaulichen die unterschiedlichen, jede Wellenlänge darstellenden Pfeile, die vom Sender weg gezeichnet sind, die von jedem Knoten verwendete Sendewellenlänge und die Richtungen, in die der Knoten zum Senden fähig ist. Ob-

wohl der Knoten bei diesem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung jederzeit nur in eine Richtung in jedem einzelnen Ring senden kann, ist er weiterhin fähig, in unterschiedlichen Ringen in unterschiedliche Richtungen zu senden, wie gezeigt werden wird.

**[0042]** [Fig. 7](#) veranschaulicht den Betrieb eines einzelnen Senders unter Verwendung einer Übertragung durch Knoten N1 als ein Beispiel einer Situation, bei der jeder Knoten nur in eine Richtung im Ring sendet. Die Übertragung zu jedem Ring Ri (wobei für Knoten N1 gilt:  $i = 2, 3, 4$ ) wird über einen Schalter Si ( $i = 2, 3, 4$ ) gelenkt. Die Richtung der Übertragung zu jedem Ring ist durch einen für diesen Ring spezifischen Schalter wählbar. Die Schalter werden einzeln gesteuert. Mit anderen Worten kann die Übertragungsrichtung für jeden Ring einzeln bzw. gesondert gewählt werden.

**[0043]** [Fig. 8](#) veranschaulicht den normalen Betrieb des gemäß [Fig. 7](#) gezeigten Netzwerks. Dabei ist es wünschenswert, die Übertragungsrichtung an jedem Knoten derart zu wählen, dass Kommunikationen zwischen zwei Knoten in beiden Richtungen entlang des gleichen Wegs erfolgen. Die Figur zeigt die Wege, über die jeder Knoten bei dem als das Beispiel verwendeteten Fall zum Kommunizieren mit den anderen Knoten fähig ist. Möchte ein Knoten mit einem anderen Knoten kommunizieren, sendet er in der gewählten Übertragungsrichtung zu dem Ring, von dem der andere Knoten empfängt. Möchte zum Beispiel Knoten N1 mit Knoten N2 kommunizieren, sendet er zu Ring R4. Möchte Knoten N2 wiederum zu Knoten N1 senden, sendet er auf seiner spezifischen Wellenlänge zu Ring R1. Um sicherzustellen, dass beide Übertragungsrichtungen den gleichen Weg verwenden, sendet Knoten N1 in der Uhrzeigerrichtung und Knoten N2 in der Gegenuhrzeigerrichtung, wie es gemäß der Figur gezeigt ist, oder umgekehrt, in welchem Fall der Weg über Knoten N3 und N4 verläuft.

**[0044]** Fällt zum Beispiel die Verbindung zwischen Knoten N1 und N4 im gemäß [Fig. 8](#) gezeigten Netzwerk aus, eine gemäß [Fig. 9](#) veranschaulichte Situation, wird die Übertragungsrichtung an Knoten N1 für Ringe R2 und R3, an Knoten N2 für Ring R2, an Knoten N3 für Ring R1 und an Knoten N4 für Ringe R1 und R4 umgekehrt. Durch Verändern der Übertragungsrichtung wie vorstehend beschrieben ist jeder Knoten trotz der Störung immer noch zum Kommunizieren mit jedem anderen Knoten fähig. Gemäß [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) stellt die unterbrochene, gepunktete Linie CH beispielhaft den Weg eines Wellenlängenkanals durch das Netzwerk von Knoten N4 zu Knoten N2 dar.

**[0045]** Fällt jedoch die Verbindung zwischen Knoten N2 und N3 aus, wie es gemäß [Fig. 10](#) gezeigt ist, wird die Übertragungsrichtung von Knoten N2 zu Ring R3 umgekehrt, und diejenige von Knoten N3 zu

Ring R4 ebenfalls. Die Übertragungsrichtung von Knoten N1 und N4 bleibt unverändert.

**[0046]** Auf die vorstehende Art und Weise wird die Übertragungsrichtung der Knoten zu unterschiedlichen Ringen abhängig von der Störungsstelle derart verändert, dass die Störungsstelle nicht zwischen dem Sende- und dem Empfangsknoten verbleibt. Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die normal arbeitenden Abschnitte des Netzwerks unbeträchtigt bleiben, falls mehrere Unterbrechungen oder Störungen gleichzeitig stattfinden. Außerdem stören Fehlfunktionen auf den höheren Netzwerkschichten nicht mit dem Betrieb der optischen Schicht.

**[0047]** Gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung sendet jeder Knoten gleichzeitig in beiden Richtungen zu seinen Sendefasern, während das Empfangsende die Entscheidung darüber trifft, aus welcher Richtung jede Wellenlänge empfangen wird. Am Empfangsende kann es (a) einen Sender an jedem Knoten, der gleichzeitig in beide Richtung sendet, oder (b) zwei separate Sender geben, die in entgegengesetzte Richtungen senden. Demgegenüber kann es am Empfangsende (a) einen Empfänger, vor dem passende Signale verglichen werden und eine Entscheidung getroffen wird, aus welcher Richtung jedes Signal empfangen wird, oder (b) zwei Empfänger geben, nach denen eine Entscheidung bezüglich jeder Wellenlänge über die Richtung getroffen wird, aus der das zu verwendende Signal empfangen wird.

**[0048]** Der Vorteil dieses zweiten Ausführungsbeispiels mit den gleichzeitig in beide Richtungen sendenden Knoten besteht darin, dass es im Fall einer Störung nicht erforderlich ist, die Schalterumkehrdaten an die Knoten weiterzuleiten; stattdessen ist der Sender jedes Knotens fähig, die Empfangsrichtung schnell zu verändern.

**[0049]** [Fig. 11](#) veranschaulicht das vorhergehende Beispiel, indem an Knoten N1 ein Empfang unter Verwendung des vorstehend beschriebenen Verfahrens gezeigt wird. Weil die Knoten fortwährend in beide Richtungen senden, sind die (drei) vom Demultiplexer (DM1, DM2) für jede Empfangsrichtung empfangenen Signale identisch und eine Entscheidung über die Richtung, aus der jede Wellenlänge empfangen wird, wird nicht vor dem Selektor bzw. der Auswahlseinrichtung SEL getroffen, die nach den Demultiplexern angeordnet ist. Es ist ebenso möglich, alle optischen Signale zu erfassen und die Empfangsrichtung für jede Wellenlänge später auf der elektrischen Seite des Empfängers zu entscheiden.

**[0050]** Zur Verdeutlichung der eigentlichen Erfindung wurde als Beispiel ein Netzwerk verwendet, das zwischen zwei Knoten einen Wellenlängenkanal einsetzt. Zum Erhöhen der Kapazität eines Ringnetz-

werks (wie etwa des gemäß [Fig. 6](#) gezeigten „grundlegenden Netzwerks“), kann es mehr als einen Wellenlängenkanal oder mehrere Fasern oder Faserringe geben als bei den vorhergehenden Beispielen gezeigt sind. Es ist jedoch wesentlich, dass die vorstehend beschriebene Art von Vorrat mit N Knoten, N Faserringen und N Wellenlängenkanälen wie erläutert verwendet wird. Daher kann ein auf einem derartigen Vorrat basierendes Netzwerk ein unabhängiges Netzwerk bilden oder als ein Unternetzwerk in einem größeren Netzwerk dienen.

**[0051]** Außerdem müssen die Knoten nicht physikalisch voneinander entfernt sein, sondern es können sich mehrere Knoten an einer Stelle bzw. einem Ort befinden. Der Knoten oder seine Komponenten können über das Netzwerk verteilt sein, was es möglich macht, falls erforderlich, zusätzliche Kanäle bereitzustellen. Die vorstehend gelieferte Beschreibung betrifft vielmehr den logischen Aufbau des Netzwerks, weil seine physikalische Konfiguration variieren kann.

**[0052]** Da der Empfänger durch die Faser bestimmt wird, zu der das Signal gesendet wird, ist es bei einem Netzwerk gemäß der Erfindung nicht notwendig, am Knoten zwischen einzelnen Wellenlängen zu unterscheiden, um die Drop- bzw. Entfernungsfunktion durchzuführen. Selbst wenn die Anzahl von Arbeitsringen im Netzwerk höher wäre als normal, muss die Gesamtzahl von Fasern nicht größer sein als üblich, weil keine Sicherungsringe erforderlich sind.

**[0053]** Auch ist das Netzwerk gemäß der Erfindung auf der optischen Schicht bei Beibehalten der physikalischen Ringtopologie skalierbar. Skalierbarkeit bedeutet, dass die logischen Verbindungen innerhalb des Netzwerks nicht unterbrochen werden, wenn logische Verbindungen oder Knoten hinzugefügt oder entfernt werden. Zusätzlich ist das Netzwerk auf der optischen Schicht in begrenztem Ausmaß in eine willkürlich verbundene physikalische und logische Maschentopologie skalierbar. Außerdem ist das Netzwerk durch Zuweisen von Netzwerkressourcen auf der optischen und elektrischen Schicht frei erweiterbar.

**[0054]** Wird die physikalische Ringtopologie beibehalten, kann die Verkehrsmatrix des Netzwerks derart umorganisiert werden, dass eine logische Verbindung zwischen zwei beliebigen Knoten unter Verwendung eines optischen Kanals aufgebaut werden kann. (Die Verkehrsmatrix gibt die logischen Verbindungen zwischen den Knoten an.) Bei einer willkürlich verbundenen physikalischen und logischen Maschentopologie kann die Verkehrsmatrix nur in begrenztem Ausmaß umorganisiert werden. Bei Unternetzwerken kann die Umorganisation durch Bereitstellen einer logischen Verbindung zwischen zwei beliebigen Knoten auf einem optischen Kanal durchge-

führt werden. Bei einer willkürlich verbundenen physikalischen und logischen Maschentopologie kann die Verkehrsmatrix (innerhalb der durch Netzwerkressourcen auferlegten Grenzen) durch gemeinsames Benutzen von Netzwerkressourcen auf der optischen und der elektrischen Schicht frei umorganisiert werden.

**[0055]** Ein weiterer durch die Lösung gemäß der Erfindung gebotener Vorteil besteht darin, dass eine Senderkomponente als eine gemeinsame überschüssige Sendereinheit für alle anderen Sendereinheiten dienen kann, falls mehrere Senderkomponenten im Netzwerk verwendet werden, weil sie alle auf der gleichen Wellenlänge senden. [Fig. 12a](#) veranschaulicht eine Situation mit drei Senderblöcken TB1 bis TB3, die bei normalem Betrieb verwendet werden. Die Ausgabe jedes betriebsbereiten Senderblocks ist mit einem der beiden Eingänge der entsprechenden optischen 2 × 2-Koppeleinrichtung verbunden. Bei normalem Betrieb sind alle Koppeleinrichtungen in der Durchschaltposition, wie es gemäß [Fig. 12a](#) gezeigt ist. Der vierte Senderblock TB4 am Knoten ist ein gemeinsamer überschüssiger Senderblock, dessen Ausgang über alle Koppeleinrichtungen geschalten ist. Fällt einer der Sender aus, wird die entsprechende Koppeleinrichtung in die Querverbindungsposition gelenkt und das Signal des überschüssigen Senders ersetzt das des gestörten Senders (und umgekehrt). [Fig. 12b](#) gibt ein Beispiel einer Situation, bei der Senderblock TB2 ausgefallen bzw. gestört ist.

**[0056]** Obwohl die Erfindung vorstehend mit Hilfe von Beispielen unter Bezugnahme auf die in Beziehung stehenden Zeichnungen beschrieben wurde, ist es offensichtlich, dass die Erfindung nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern innerhalb des Konzepts der Erfindung, wie es in den zugehörigen Patentansprüchen dargestellt ist, variiert werden kann. Zum Beispiel können verschiedene Komponenten wie etwa Verstärker zum Netzwerk hinzugefügt werden. Ist das Netzwerk zum Beispiel so großflächig bzw. ausgedehnt, dass die Länge des Rings den maximalen Abstand zwischen einem Sender-Empfänger-Paar überschreitet, können optische Verstärker im Netzwerk installiert werden. Derartige Verstärker sollten vorzugsweise an den Stellen angeordnet werden, die gemäß [Fig. 8](#) mit OFA angedeutet sind. Abhängig davon, ob sich die Sicherungsrichtung in Betrieb befindet, kann die Richtung des Verstärkers geändert werden müssen. Eine gleichzeitige bidirektionale Verstärkung ist jedoch nicht erforderlich, falls eine Übertragung jeweils nur in eine Richtung erfolgt. Das Netzwerk kann auch ohne Sicherungsrichtungen implementiert werden, aber dann gehen natürlich einige der Vorteile verloren, die durch das Netzwerk geboten werden.

**Patentansprüche**

1. Optisches Telekommunikationsnetzwerk mit mehreren Knoten (N1 bis N4), die mittels optischer Übertragungspfade miteinander verbunden sind, welche mehrere Arbeitsringe (R1 bis R4) bilden, von denen jeder über jeden Knoten führt, wobei bei dem Netzwerk Informationen auf mehreren unterschiedlichen Wellenlängen übertragen werden,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

– das Netzwerk eine Gruppe von Knoten (N1 bis N4) mit N Knoten, eine Gruppe von Arbeitsringen (R1 bis R4) mit N Ringen und eine Gruppe von Wellenlängen ( $\lambda_1$  bis  $\lambda_4$ ) mit N Wellenlängen dergestalt aufweist, dass jeder Knoten in der Gruppe von Knoten konfiguriert ist, Signale auf einer Wellenlänge in der Gruppe von Wellenlängen an alle Ringe in der Gruppe von Ringen mit Ausnahme des Rings zu übertragen, von dem er Signale empfängt, und in nur einem der Ringe in der Gruppe von Ringen aus beiden Richtungen Signale auf allen Wellenlängen in der Gruppe von Wellenlängen mit Ausnahme seiner eigenen Übertragungswellenlänge zu empfangen, wobei jeder Knoten eine individuelle, für den Knoten spezifische Wellenlänge aufweist, wobei die besagte Wellenlänge eine der Wellenlängen in der Gruppe von Wellenlängen ist, sowie einen für den Knoten spezifischen Empfangsring aufweist, von welchem die anderen Knoten in der Gruppe von Knoten nicht empfangen.

2. Telekommunikationsnetzwerk gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Knoten zum Übertragen in jeweils nur eine Richtung konfiguriert ist, und dass das Netzwerk die für jeden Knoten spezifischen Einrichtungen (S2, S3, S4) aufweist, die ermöglichen, dass die Übertragungsrichtung von einem einzelnen Knoten an einen einzelnen Ring umgedreht wird.

3. Telekommunikationsnetzwerk gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Übertragungsrichtungen der Knoten bei einem regulären Betrieb, wenn keine Fehlfunktionen im Netzwerk existieren, derart ausgewählt werden, dass die sich zwischen den Knoten in entgegengesetzten Richtungen ausbreitenden Signale den gleichen Leitweg verwenden.

4. Telekommunikationsnetzwerk gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Knoten zum gleichzeitigen Übertragen in beide Richtungen an diejenigen Ringe konfiguriert ist, an die der beteiligte Knoten zu übertragen konfiguriert ist, und dass die Empfangsrichtung am Knoten speziell für jede einzelne Wellenlänge ausgewählt wird.

5. Telekommunikationsnetzwerk gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl an Knoten mindestens vier beträgt.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

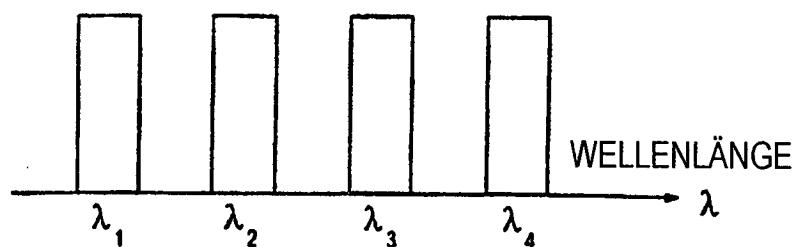


FIG. 1a

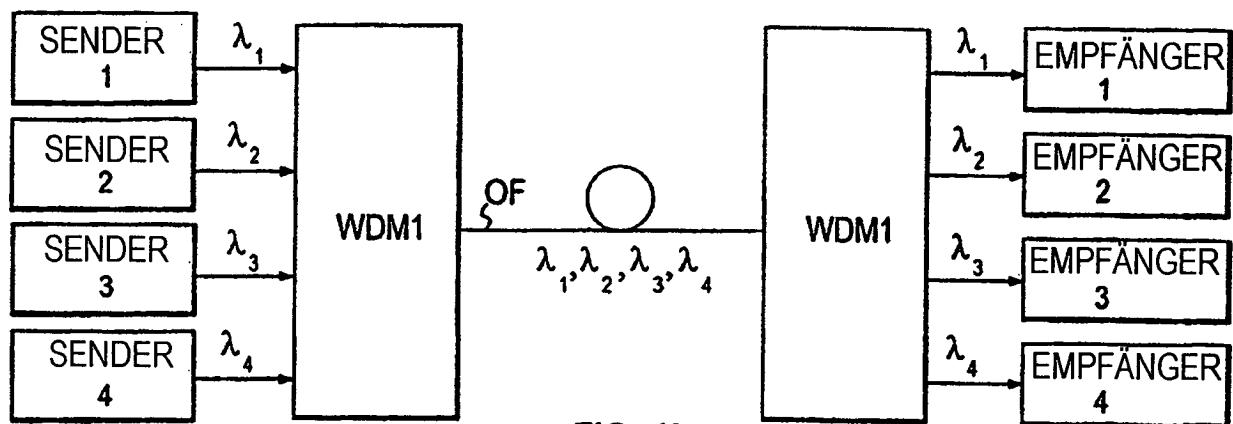


FIG. 1b

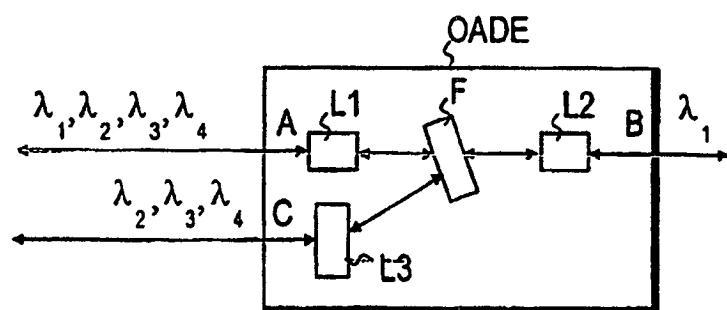


FIG. 2

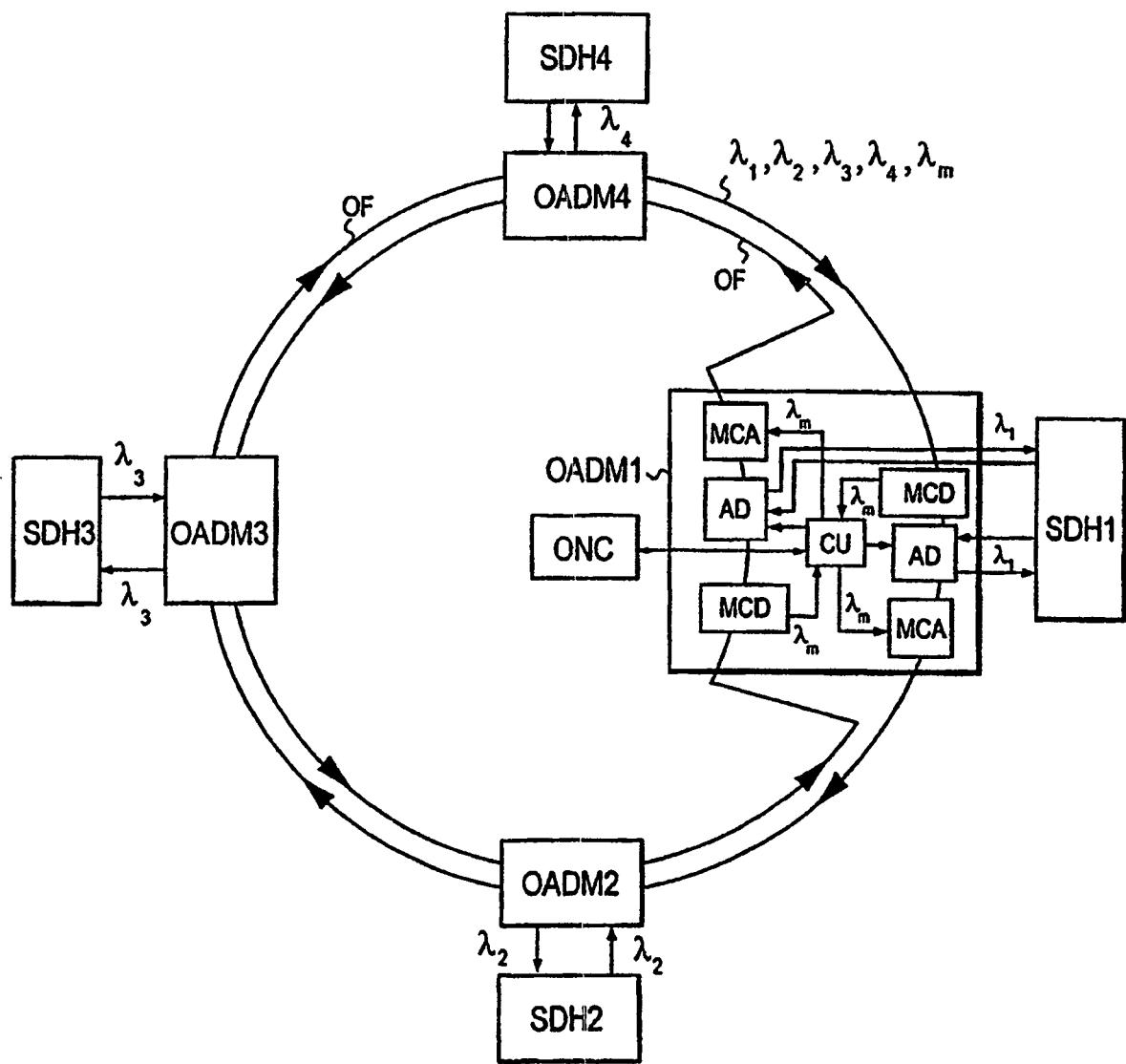
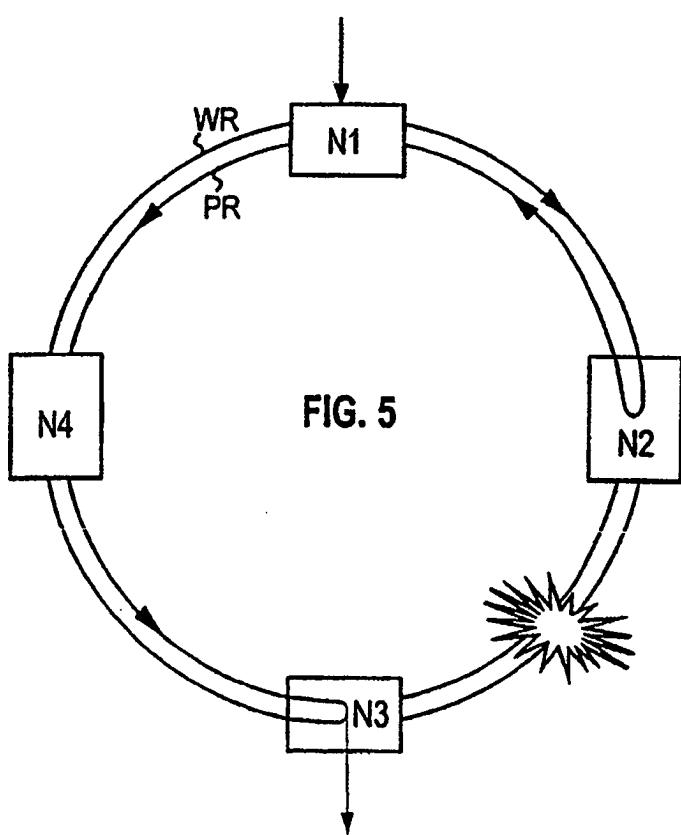
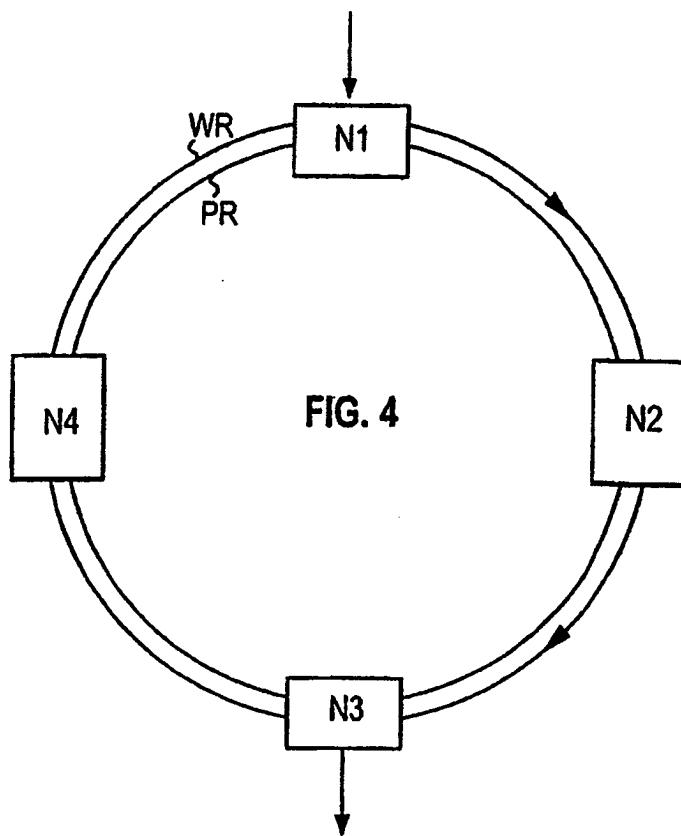
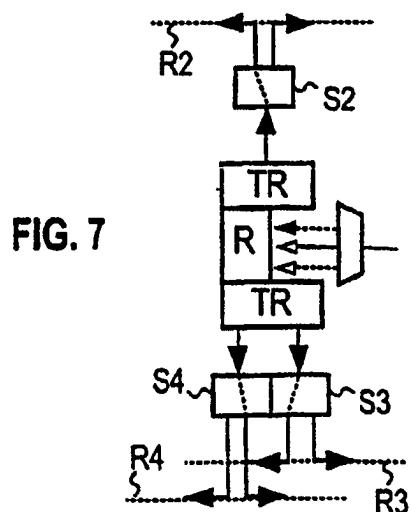
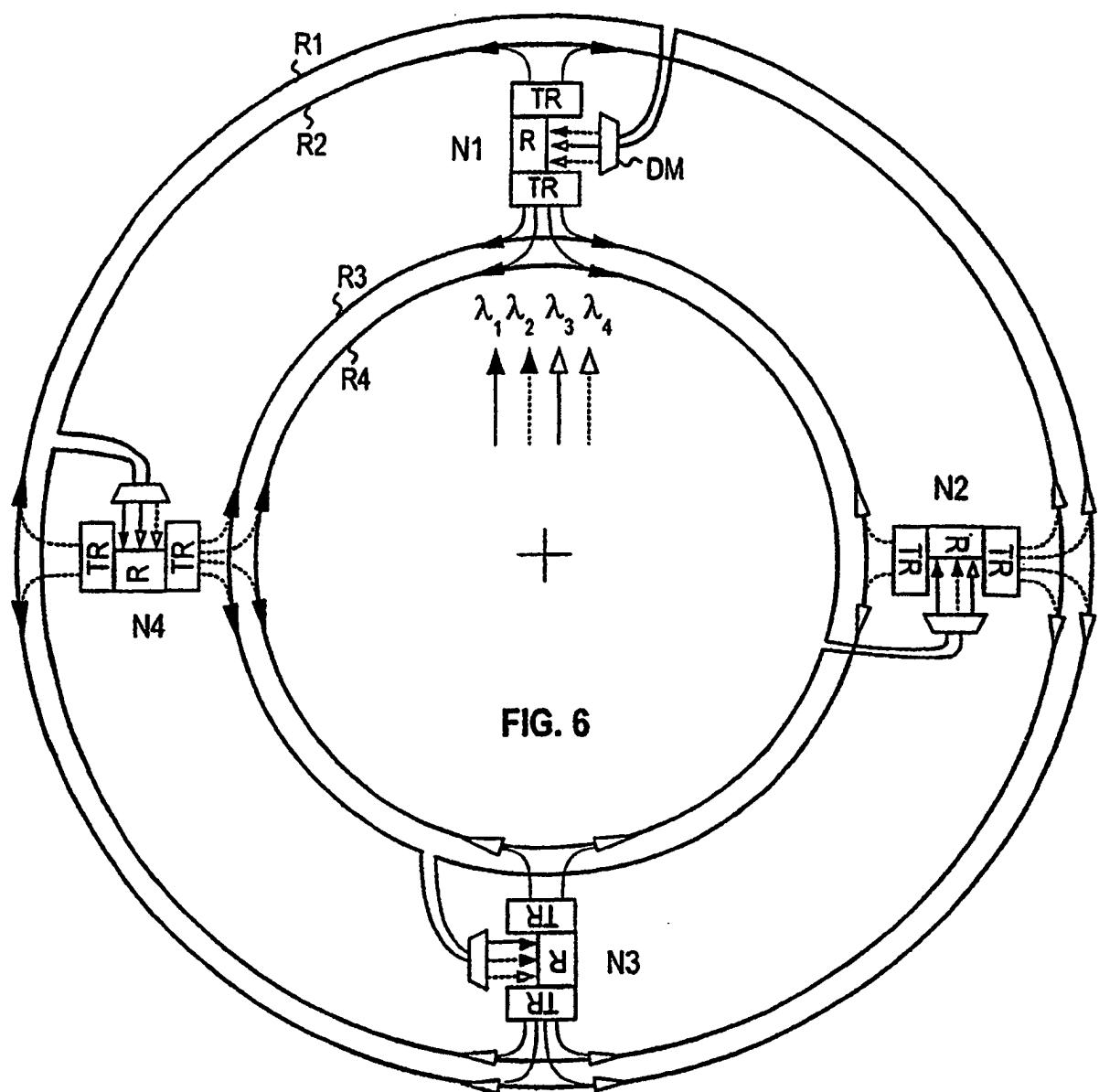


FIG. 3





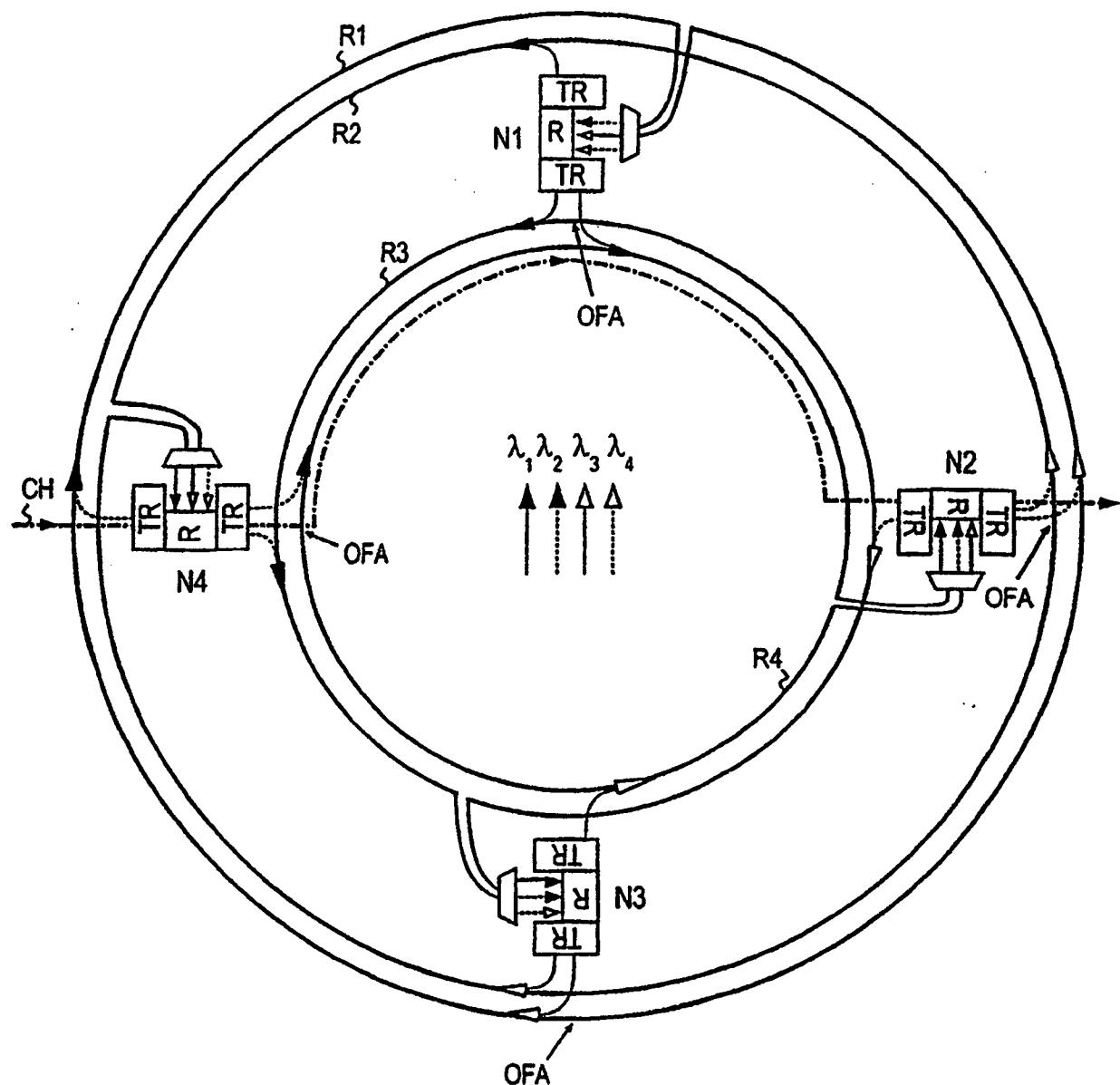


FIG. 8

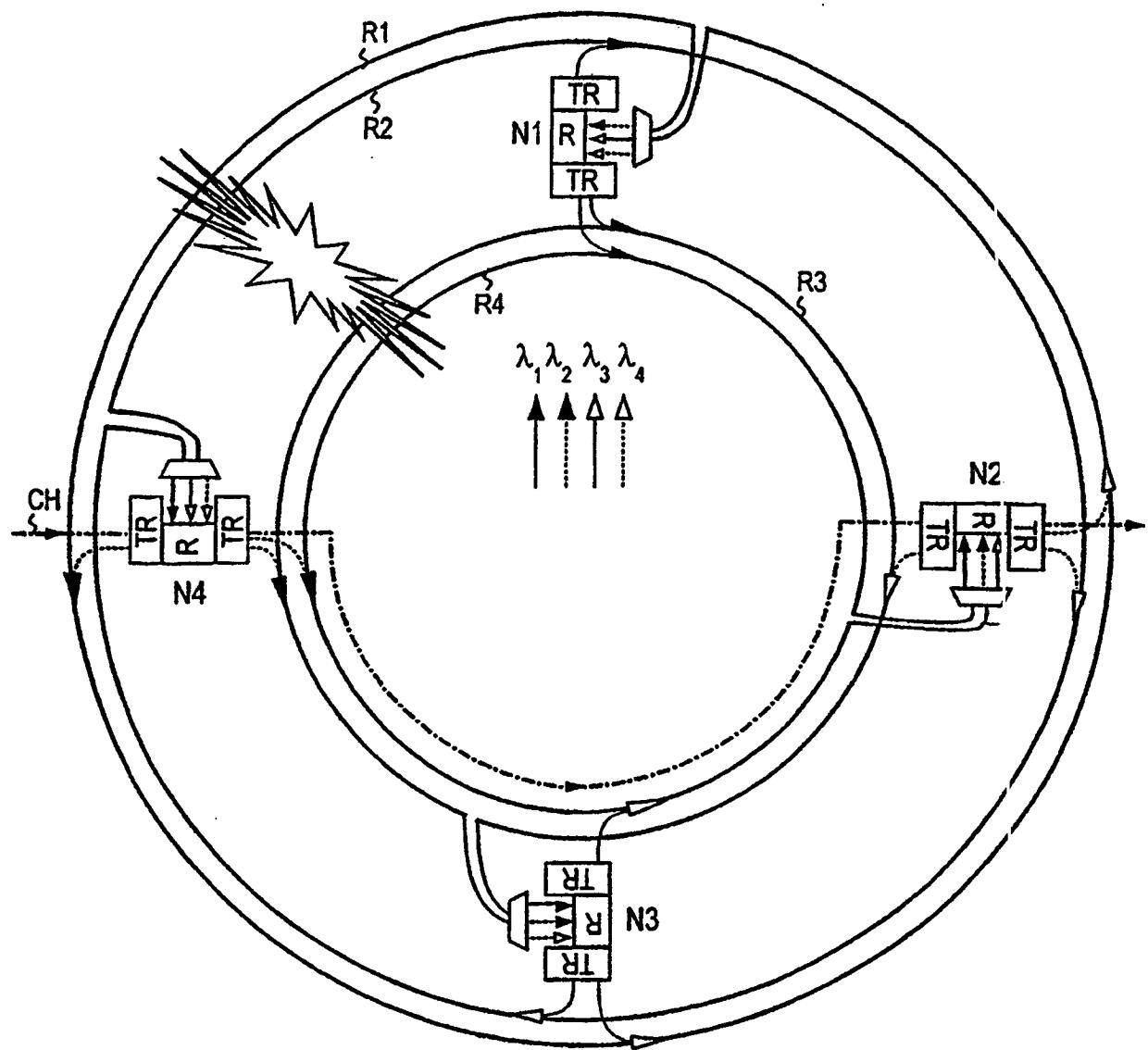
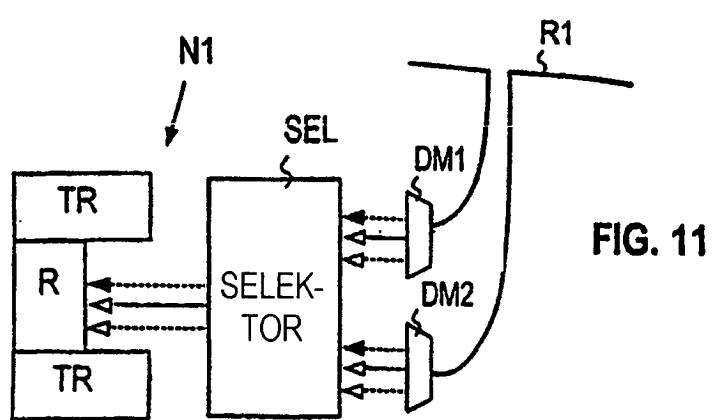
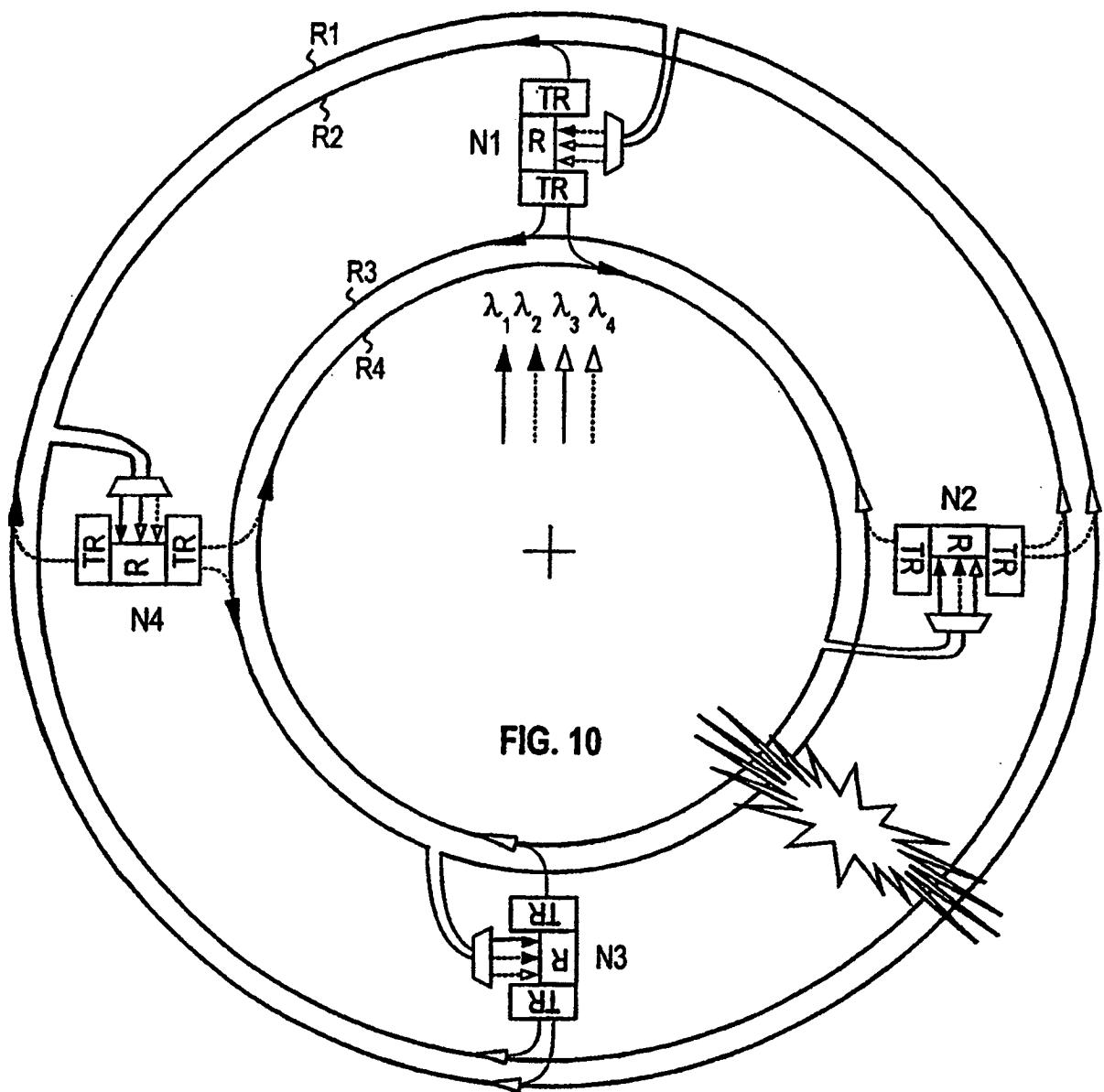


FIG. 9



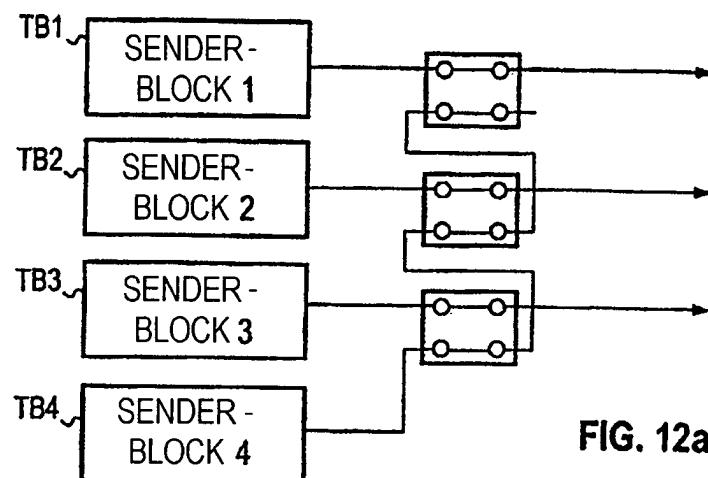


FIG. 12a

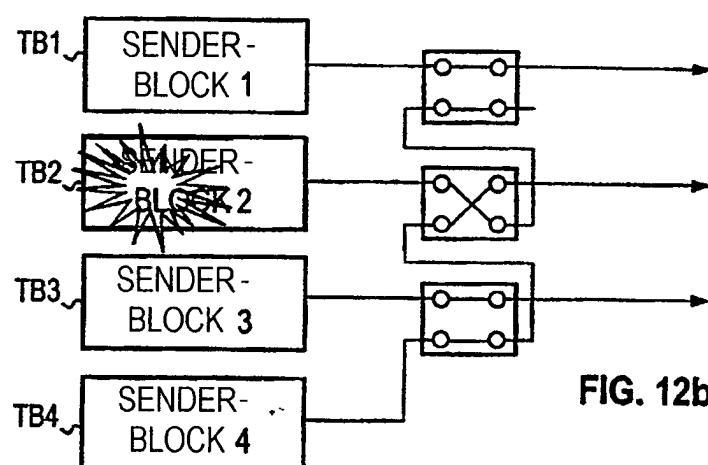


FIG. 12b