



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 31 100 T2** 2005.02.10

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 931 370 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 31 100.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/18209**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 911 653.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/015993**

(86) PCT-Anmeldetag: **08.10.1997**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **16.04.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.07.1999**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **06.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.02.2005**

(51) Int Cl.⁷: **H01S 3/00**

H04J 14/08, H04B 10/17, H04B 10/00

(30) Unionspriorität:

728649 10.10.1996 US

(73) Patentinhaber:

**Tyco Telecommunications (US) Inc., Eatontown,
N.J., US**

(74) Vertreter:

Vossius & Partner, 81675 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, IT

(72) Erfinder:

ALPHONSUS, E., Justin, Howell, US

(54) Bezeichnung: **SYSTEM-ARCHITEKTUR FÜR VERLUSTFREIE OPTISCHE ÜBERTRAGUNG**

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

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

Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im allgemeinen optische Übertragungssysteme und insbesondere Architekturen für optische Übertragungssysteme mit redundanten und nichtredundanten Übertragungsendeinrichtungen, die optische Verstärker einsetzen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Im Design optischer Übertragungssysteme sind die Systemzuverlässigkeit und die Minimierung des Systemleistungsverlustes von großer Bedeutung. Um die Zuverlässigkeit zu steigern, werden häufig redundante Architekturen eingesetzt. In herkömmlichen redundanten Übertragungsendeinrichtungen- (TTE)-Systemen, werden redundante Sender und Nachverstärker am Übertragungsende des Systems eingesetzt, während redundante Vorverstärker und Empfänger am Empfangsende eingesetzt werden. Die Auswahl eines bestimmten Sender/Nachverstärker-Paars wird über ein Schutzelement vorgenommen, wie einen optischen Schalter, während ein optischer Koppler eingesetzt wird, um das optische Signal an jedes Vorverstärker/Empfänger-Paar zu verteilen.

[0003] Es gibt jedoch einen Einfügungssignalleistungsverlust, der mit den Schutzelementen verbunden ist, wie optischen Kopplern und Schaltern. Zum Beispiel könnte ein typischer optischer Schalter einen Leistungsverlust von 2,5 Dezibel (dB) bewirken, während ein typischer optischer Koppler einen Verlust von 4,5 dB verursachen könnte. In einem herkömmlichen redundanten optischen TTE-System, das solche Bauteile einsetzt, gibt es daher eine Belastung des Systemleistungshaushalts von annähernd 7 dB, die den Schutzelementen zuzuschreiben ist.

[0004] Zusätzlich nutzen herkömmliche redundante optische TTE-Übertragungssysteme, die passive optische Verstärker mit Laserpumpen einsetzen, die zusätzliche Leistung nicht aus, die potentiell in den Vor- und Nachverstärker-Pumpen verfügbar ist, die mit den Ersatz- (d.h. redundanten) Übertragungs- und Empfangswegen verbunden sind.

[0005] Es ist daher erwünscht, eine redundante optische TTE-Übertragungssystem-Konfiguration bereitzustellen, die den Systemleistungsverlust beseitigt, der durch die Schutzelemente (z.B. die optischen Schalter und Koppler) verursacht wird, und die die Leistung nutzt, die aus den Laserpumpen im Ersatzweg verfügbar ist, um die Systemleistungsreserve zu erhöhen.

[0006] In herkömmlichen redundanten TTE- und nichtredundanten optischen Übertragungssystemen führt ein Ausfall einer Laserpumpe zum Ausfall des passiven optischen Verstärkers, der durch die Pumpe angeregt wird. In redundanten Systemen macht dies das Umschalten auf den Ersatzübertragungsweg notwendig, was einen vorübergehenden Übertragungsausfall während des Umschaltprozesses verursacht. In nichtredundanten Systemen (d.h. Systemen mit ungeschützten TTEs) verursacht ein Ausfall eines optischen Verstärkers einen Übertragungsausfall, bis die Pumpenreparaturen beendet werden können.

[0007] Es ist daher erwünscht, auch eine optische Übertragungssystem-Konfiguration mit einen praktisch ausfallsicheren optischen Verstärker bereitzustellen, d.h. eine Konfiguration, in der der Ausfall einer Laserpumpe nicht zu einem Übertragungsausfall führt, weder momentan noch über eine ausgedehnte Zeitspanne.

[0008] EP-A-O 440 276 offenbart eine Lichtleitfaser-Übertragungsleitung, die es ermöglicht, optische Dienstschnale einzukoppeln und auszukoppeln, ohne das übertragene Signal in eine elektrische Form umzuwandeln.

[0009] In US-A-5 339 183 wird eine optische Signalübertragungsvorrichtung beschrieben, die die stimulierte Brillouin-Streuung unterdrückt, die durch die Lichtleitfaser in der Übertragungsleitung erzeugt wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0010] Die vorliegende Erfindung stellt eine redundante optische TTE-Übertragungssystem-Architektur bereit, die den System-Signalleistungsverlust infolge der Schutzelemente beseitigt und stellt folglich einen Systemleistungshaushalt bereit, der mit nichtredundanten TTE-Systeme vergleichbar ist. Zusätzlich setzt die vorliegende Erfindung weniger passive Verstärkerbauteile als herkömmliche redundante optische TTE-Übertragungssysteme ein.

[0011] Die vorliegende Erfindung stellt sowohl für redundante TTE-als auch nichtredundante optische Übertragungssysteme einen praktisch ausfallsicheren optischen Verstärker bereit, und beschränkt folglich den Systemausfall auf die Fälle eines TTE-Ausfalls. Ferner läßt die vorliegende Erfindung die gleichzeitige Ausnutzung der Pumpleistung aus beiden Sätzen von Laserpumpen in einer Doppelpumpen-Konfiguration zu, wodurch sie die Systemleistungsreserve erhöht.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0012] Fig. 1 stellt eine herkömmliche, redundante

optische TTE- Übertragungssystem-Architektur dar.

[0013] Fig. 2 stellt eine erfindungsgemäße, redundante optische TTE-Übertragungssystem-Architektur dar.

[0014] Fig. 3 stellt die Konfiguration der Übertragungsseite eines herkömmlichen, ungeschützten optischen Übertragungssystems dar.

[0015] Fig. 4 stellt die Konfiguration der Übertragungsseite eines ungeschützten optischen Übertragungssystems mit einem erfindungsgemäßen ausfallsicheren optischen Verstärker dar.

[0016] Fig. 5 stellt eine entfernte Verstärkungsarchitektur mit einem erfindungsgemäßen ausfallsicheren optischen Verstärker dar.

Detaillierte Beschreibung

[0017] Für redundante optische TTE-Übertragungssysteme stellt die vorliegende Erfindung eine Architektur bereit, wobei die Schutzelemente strategisch so angeordnet sind, daß sie den Übertragungsleistungshaushalt optimieren. Die vorliegende Erfindung beseitigt den Systemsignalleistungsverlust infolge der Schutzelemente, wodurch folglich ein Systemleistungshaushalt bereitgestellt wird, der mit nichtredundanten TTE-Systeme vergleichbar ist. Zusätzlich sorgt die vorliegende Erfindung verglichen mit herkömmlichen redundanten optischen TTE-Systemen für Bauteilkosteneinsparungen, da sie weniger Verstärkerbauteile einsetzt.

[0018] Sowohl in redundanten TTE- als auch nicht-redundanten optischen Übertragungssystemen stellt die vorliegende Erfindung einen praktisch ausfallsicheren optischen Verstärker bereit und beschränkt folglich einen Systemausfall auf die Fälle eines TTE-Ausfalls. Ferner läßt die vorliegende Erfindung die gleichzeitige Ausnutzung der Pumpleistung aus beiden Sätzen von Laserpumpen in einer Doppelpumpen-Konfiguration zu, wodurch die verfügbare Systemleistungsreserve erhöht wird.

[0019] Fig. 1 stellt ein herkömmliches, redundantes optisches TTE-Übertragungssystem dar. Auf der Sendeseite **160** wird ein optisches Signal durch den Sender A **10** und den Nachverstärker A **30** geleitet, der durch einen Satz von Laserpumpen A **50** gepumpt wird. Im Falle eines Ausfalls im Weg A (d.h. eines Ausfalls des Senders A **10**, des Nachverstärkers A **30** oder der Pumpen A **50**), wird das optische Signal durch den Weg B geleitet, der aus dem Sender B **10**, dem Nachverstärker B **30**, und einem Satz Laserpumpen B **50** besteht. Das Umschalten zwischen den Übertragungswegen A und B wird durch einen optischen Schalter **70** ausgeführt.

[0020] Entsprechend wird das optische Signal auf der Empfangsseite **170** durch einen optischen Koppler **90** geschickt, der das Signal auf die Empfangsweg A und B verteilt, die aus einem Vorverstärker A **30** mit den Laserpumpen A **50** und dem Empfänger A **120** bzw. dem Vorverstärker B **30** mit den Pumpen B **50** und dem Empfänger B **120** bestehen. Das optische Signal wird zwischen der Sendeseite **160** und der Empfangsseite **170** des Systems über eine Lichtleitfaser **80** geleitet.

[0021] Der optische Schalter **70** weist einen mit ihm verbundenen Einfügungssignalleistungsverlust auf. In einem herkömmlichen optischen Schalter beträgt dieser Verlust zum Beispiel 2,5 Dezibel. Wenn die Nachverstärker A **30** und B **30** zum Beispiel ein Ausgangssignal von 21 dBm erzeugen, wird die Signalstärke beim Verlassen des optischen Schalters **70** auf 18,5 dBm reduziert. Entsprechend verursacht der optische Koppler **90** einen Signalleistungsverlust, der in einem typischen optischen Koppler annähernd 4,5 dB betragen könnte. Die Empfindlichkeit der vorverstärkten Empfänger **120** wird daher um 4,5 dB verschlechtert.

[0022] In einem herkömmlichen, redundanten optischen TTE-Übertragungssystem gibt es folglich eine Belastung des Systemleistungshaushalts von annähernd 7,0 dB, die durch die Schutzelemente (d.h. den optischen Schalter **70** und den Koppler **90**) verursacht wird. Zusätzlich wird, da es getrennte optische Verstärker **30** und Pumpen **50** für jeden Übertragungsweg auf der Sendeseite **160** und der Empfangsseite **170** gibt, die Verstärkerleistung im Ersatzweg nicht genutzt. Überdies erfordert ein Ausfall des optischen Verstärkers **30**, einschließlich eines Ausfalls der zugehörigen Pumpen **50** des Verstärkers, im aktiven Übertragungsweg ein Umschalten auf den Ersatzweg, mit einem damit verbundenen vorübergehenden Übertragungsausfall während des Umschaltens.

[0023] Fig. 2 stellt eine verlustlose, redundante optische TTE-Übertragungssystem-Konfiguration mit einem erfindungsgemäßen ausfallsicheren optischen Verstärker dar. In dieser Konfiguration sind die Schutzelemente strategisch angeordnet, um den Übertragungsleistungshaushalt zu optimieren. Es ist ein einzelner Nachverstärker **30** nach dem optischen Schalter **70** angeordnet, der den gewünschten Ausgang des Senders **10** auswählt. Da der Nachverstärker **30** im Sättigungsbereich mit einem Eingangsdynamikbereich von zum Beispiel +3 dBm bis -12 dBm arbeitet, beeinflusst der Signalverlust von 2,5 dB, der durch den optischen Schalter **70** verursacht wird, die Ausgangsleistung des Nachverstärkers **30** nicht.

[0024] Entsprechend wird auf der Empfangsseite das optische Signal durch den Vorverstärker **30** verstärkt, bevor es in den optischen Koppler **90** eintritt.

Folglich wird die Signalleistung verstärkt, bevor sie durch den optischen Koppler **90** geschwächt wird. So lange der Vorverstärker **30** eine adäquate Verstärkung bereitstellt, wird daher die Empfindlichkeit der Empfänger **120** nicht durch den Signalverlust von z.B. 4,5 dB verschlechtert, der durch den optischen Koppler **90** verursacht wird.

[0025] In der optischen Übertragungskonfiguration, die in **Fig. 2** dargestellt wird, ist jeder Verstärker **30** imstande, gleichzeitig durch die Laserpumpen **50** von beiden Übertragungswegen A und B gepumpt zu werden. Folglich kann die gesamte verfügbare Pumpleistung in beiden Wegen genutzt werden, um die Systemleistungsreserve zu verbessern, und dadurch die Systembitfehlerrate (BER) zu reduzieren. Wenn herkömmliche Laserpumpen **50** und passive Verstärkerbauteile **30** verwendet werden, kann eine zusätzliche Verstärkung von z.B. 3 dB durch dieses doppelte Pumpen erzielt werden. Wenn folglich zum Beispiel ein Nachverstärker **30** mit einer Ausgangsleistung von 21 dBm mit einem Satz Pumpen verwendet wird, erhöht die gleichzeitige Verwendung eines zusätzlichen Satzes Pumpen **50** die Ausgangsleistung des Verstärkers **30** auf annähernd 24 dBm. Um eine stimulierte Brillouin-Streuung (SBS) zu überwinden, erfordert jedoch eine Zunahme von 3 dB der Ausgangsleistung die doppelte Übertragungslinienbreite von der bei 21 dBm.

[0026] Wenn der Nachverstärker **30** und Vorverstärker **30** aus passiven Bauteilen bestehen, stellt die System-Konfiguration in **Fig. 2** praktisch ausfallsichere optische Verstärker **30** bereit. Da sie passiv sind, können die Verstärkerbauteile selbst nicht ausfallen. Da es ferner eine Redundanz der Pumplaser **50** gibt, führt der Ausfall eines Satzes der Pumplaser **50** nicht zu einem Ausfall des zugehörigen optischen Verstärkers **30**. Die Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Ausfalls beider Sätze von Laserpumpen **50** ist winzig. Zusätzlich wird keine Übertragungswegumschaltung im Falle eines Ausfalls des Pumplasers **50** benötigt. Folglich führt der Ausfall eines Satzes der Laserpumpen **50** auch nicht zu einem vorübergehenden Übertragungsausfall.

[0027] Die optische Übertragungssystem-Konfiguration der **Fig. 2** sorgt infolge der Beseitigung eines Satzes der Bauteile des Verstärkers **30** sowohl auf der Sendeseite **160** als auch auf der Empfangsseite **170** des Übertragungssystems für Kosteneinsparungen gegenüber der in **Fig. 1** dargestellten.

[0028] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden Übertragungsanschlüsselemente (TTEs) mit synchroner digitaler Hierarchie (SDH), und/oder SDH/Leitungsendeinrichtung (LTU) mit 1550 Nanometern (nm) verwendet, auf der Sendeseite werden Pumplaser mit 1480 nm verwendet, und auf der Empfangsseite werden Pumplaser mit 980

nm verwendet.

[0029] **Fig. 3** stellt die Konfiguration der Übertragungsseite eines herkömmlichen, ungeschützten (d.h. nichtredundanten) optischen Übertragungssystems dar. In einem einfachen, ungeschützten optischen TTE-Übertragungssystem (d.h. einer Konfiguration gemäß **Fig. 3**, wobei $n=1$), wird nur ein Sender **10** mit einem zugehörigen Verstärker **30** und Pumpen **50** eingesetzt. In einem Wellenlängenmultiplex-(WDM) System, werden mehrere Sender **10** eingesetzt, die jeweils ein optisches Signal einer anderen Wellenlänge abgeben, die jeweils einen zugehörigen Verstärker **30** und Pumplaser **50** aufweisen.

[0030] In einem einfachen, ungeschützten TTE-System führt ein Ausfall der Pumplaser **50** zu einem totalen Übertragungsausfall, bis Reparaturen vorgenommen werden können. In einem ungeschützten WDM-System führt ein Ausfall eines Satzes von Pumpen **50** zu einem Ausfall der Übertragung- bei allen Wellenlängen, bis die Pumpen repariert werden.

[0031] **Fig. 4** stellt die Konfiguration der Übertragungsseite eines ungeschützten optischen Übertragungssystems mit einem erfindungsgemäßen ausfallsicheren optischen Verstärker dar. Wie in der erfindungsgemäßen redundanten TTE-Konfiguration, die in **Fig. 2** dargestellt wird, wird ein einzelner, passiver Verstärker **30** mit zwei Sätzen zugehöriger Pumplaser **50** zur Übertragung eingesetzt. Diese Pumpredundanz sorgt für einen praktisch ausfallsicheren optischen Verstärker **30**. Das heißt, der optische Verstärker **30** fällt nicht aus, wenn ein Satz der Pumpen **50** ausfällt. Folglich ist der Ausfall des optischen Verstärkers **30** auf den seltenen Umstand beschränkt, in dem beide Sätze von Laserpumpen **50** gleichzeitig außer Betrieb sind.

[0032] Während beide Sätze von Pumplasern **50** betriebsfähig sind, sorgt das doppelte Pumpen der **Fig. 4** für eine erhöhte Systemleistungsreserve (und folglich für eine niedrigere BER). Für WDM-Konfigurationen (d.h. Konfigurationen gemäß **Fig. 4**, wobei $n > 1$), sorgt die vorliegende Erfindung infolge der reduzierten Anzahl der Verstärker **30**, die eingesetzt werden, gegenüber herkömmlichen WDM-Systemen für Bauteilkosteneinsparungen.

[0033] **Fig. 5** stellt eine entfernte Verstärkungsarchitektur mit einem erfindungsgemäßen ausfallsicheren optischen Verstärker dar. Wie bei den ausfallsicheren Verstärkern, die auf der Sendeseite **160** und der Empfangsseite **170** der erfindungsgemäßen redundanten TTE- und nichtredundanten Übertragungssystemen eingesetzt werden, die in den **Fig. 2** und **4** dargestellt werden, kann ein entfernter Verstärker **30** durch zwei Sätze von Pumpen **50** angeregt werden. Dieses doppelte Pumpen stellt eine erhöhte System-

leistungsreserve bereit, wenn beide Pumpen **50** gleichzeitig betriebsfähig sind, und stellt eine Pumpredundanz für eine kontinuierliche Systemverfügbarkeit im Fall eines Pumpenversagens bereit. Es wird ein Polarisationskombinator **500** verwendet, um die Signale aus den beiden Sätzen von Pumpen **50** zur Übertragung längs der Lichtleitfaser **80** zum entfernten Verstärker **30** zu kombinieren.

[0034] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Pumpsignal mit 1480 nm verwendet, um den entfernten Verstärker **30** anzuregen. Der passive entfernte Verstärker **30**, ebenso wie die passiven Verstärker **30**, die auf der Sendeseite **160** und der, Empfangsseite **170** der Übertragungssysteme eingesetzt werden, wie in den **Fig. 2** und **4** gezeigt, können zum Beispiel Erbium-dotierte Faserverstärker (EDFAs) sein.

erste Laserpumpe und die zweite Laserpumpe gepumpt wird.

5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der optische Verstärker (**30**) ein Erbium-dotierter Faserverstärker ist.

6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die erste Laserpumpe (**50**) und die zweite Laserpumpe (**50**) bei 1480 Nanometern arbeiten.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Patentansprüche

1. Redundantes optisches Übertragungssystem mit:

- (A) einem ersten optischen Sender (**10**);
- (B) einem zweiten optischen Sender (**10**);
- (C) einem optischen Verstärker (**30**);
- (D) einem optischen Schalter (**70**), der zwischen den ersten und zweiten optischen Sendern (**10**) einerseits und dem optischen Verstärker (**30**) andererseits gekoppelt ist;
- (E) einer ersten Laserpumpe (**50**), die mit dem optischen Verstärker (**30**) gekoppelt ist; und
- (F) einer zweiten Laserpumpe (**50**), die mit dem optischen Verstärker (**30**) gekoppelt ist.

2. Optisches Übertragungssystem, mit:
 einem ersten optischen Empfänger (**120**);
 einem zweiten optischen Empfänger (**120**);
 einem optischen Verstärker (**30**);
 einem optischen Koppler (**90**), wobei der optische Koppler (**90**) zwischen den ersten und zweiten optischen Empfängern (**120**) einerseits und dem optischen Verstärker (**30**) andererseits gekoppelt ist;
 einer ersten Laserpumpe (**50**), die mit dem optischen Verstärker (**30**) gekoppelt ist; und
 einer zweiten Laserpumpe (**50**); die mit dem optischen Verstärker (**30**) gekoppelt ist.

3. System nach Anspruch 1 oder 2 ferner mit einem zweiten optischen Verstärker (**30**) und einem Polarisationskombinator (**500**), wobei der zweite optische Verstärker (**30**) entfernt vom optischen Verstärker angeordnet ist und wobei die erste Laserpumpe (**50**) und die zweite Laserpumpe (**50**) mit dem Polarisationskombinator (**500**) gekoppelt sind und der Polarisationskombinator (**500**) mit dem zweiten optischen Verstärker (**30**) gekoppelt ist.

4. System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der optische Verstärker (**30**) gleichzeitig durch die

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

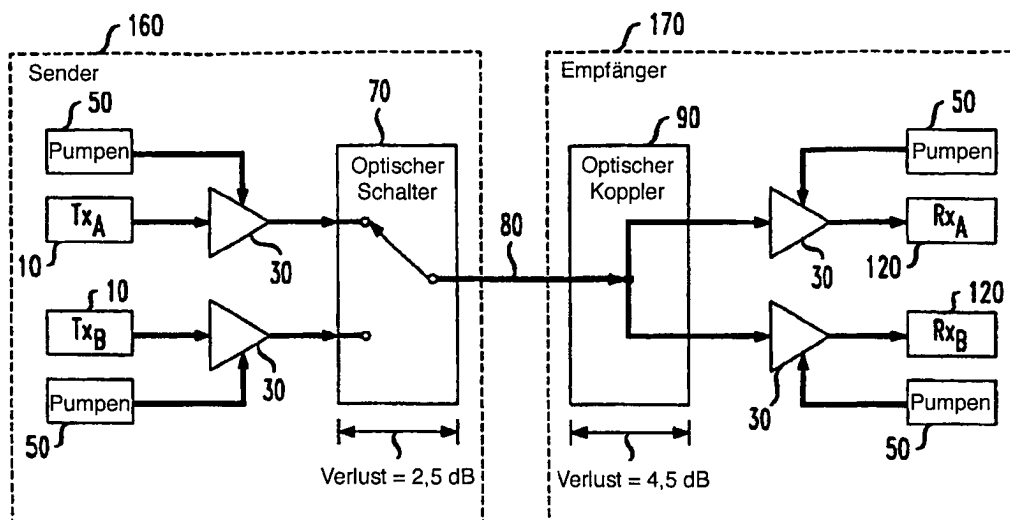


FIG. 2

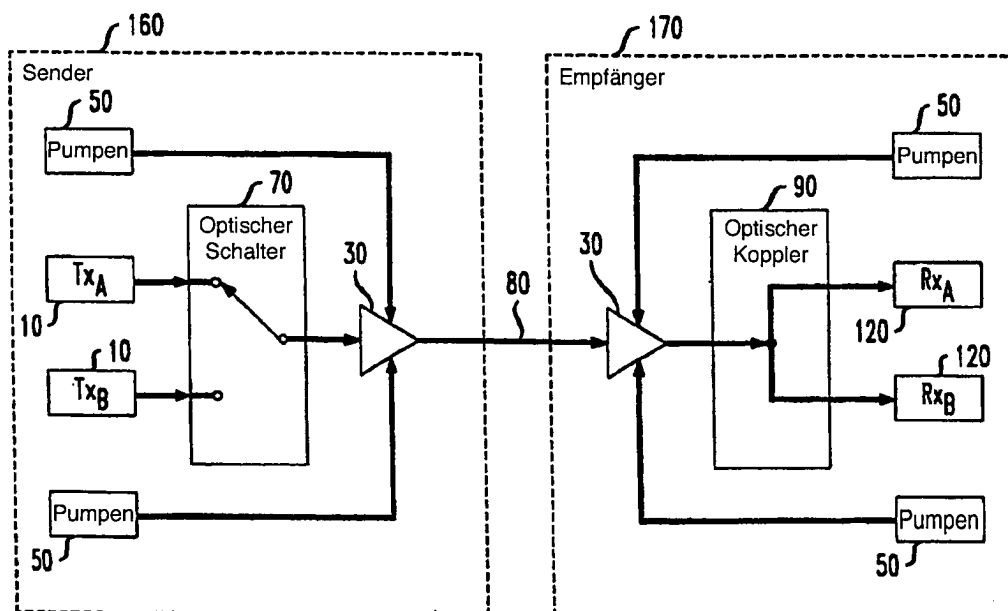


FIG. 3

Stand der Technik

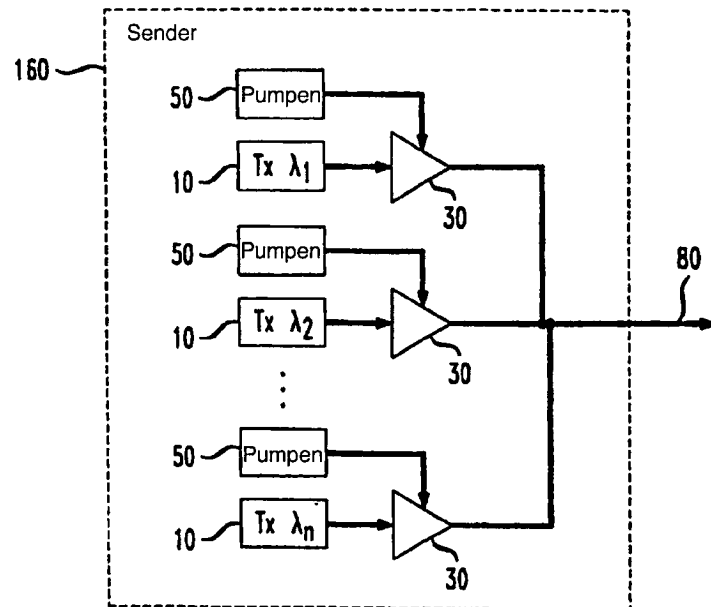


FIG. 4

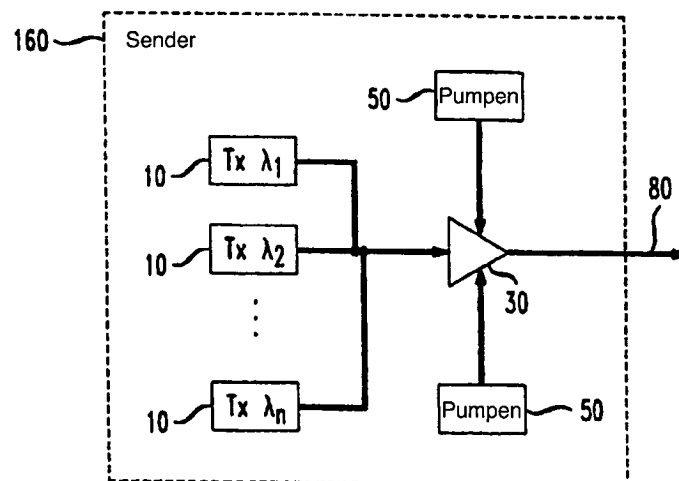


FIG. 5

