



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 185 708** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) МПК⁷ **H 04 B 10/16, G 02 B 5/20**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 97118611/09, 05.11.1997

(24) Дата начала действия патента: 05.11.1997

(30) Приоритет: 06.11.1996 US 60/030,378

(43) Дата публикации заявки: 20.09.1999

(46) Дата публикации: 20.07.2002

(56) Ссылки: WO 95/15625 A1, 08.09.1995. RU 2048703 C1, 20.11.1995. EP 0684713 A, 29.11.1995.

(98) Адрес для переписки:
193036, Санкт-Петербург, а/я 24, "НЕВИНПАТ",
А.В.Поликарпову

(71) Заявитель:

КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

(72) Изобретатель: БАТТОН Лесли Джеймс (US),
ЯДЛОВСКИ Майкл Джон (US), УИГЛИ Питер
Джерард (US), ДЖЕЙКОБСОН Пол Энтони (US)

(73) Патентообладатель:

КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

(74) Патентный поверенный:

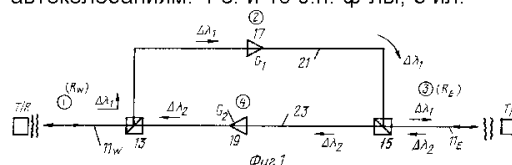
Поликарпов Александр Викторович

(54) **ПОДАВЛЕНИЕ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В МНОГОКАНАЛЬНОМ ОПТИЧЕСКОМ УСИЛИТЕЛЕ**

(57)

Оптический усилитель с несколькими усилительными трактами содержит первый усилительный тракт для передачи и усиления первого внутриполосного сигнала оптической связи, включающий избирательный по длине волны фильтр для по существу блокировки распространения и усиления внеполосного сигнала оптической связи в первом усилительном тракте, и второй усилительный тракт для передачи и усиления второго внутриполосного сигнала оптической связи, включающий избирательный по длине волны фильтр для по существу блокировки распространения и усиления внеполосного сигнала оптической связи во втором усилительном тракте, причем размещение

избирательных по длине волны фильтров в соответствующих усилительных трактах выбирают так, чтобы обеспечить получение в устройстве желаемой величины шума и выходной мощности. Техническим результатом является подавление перекрестных искажений или оптических утечек, которые приводят к многолучевой интерференции, обратным потерям и автоколебаниям. 4 с. и 10 з.п. ф-лы, 5 ил.





(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 185 708** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl.⁷ **H 04 B 10/16, G 02 B 5/20**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 97118611/09, 05.11.1997
 (24) Effective date for property rights: 05.11.1997
 (30) Priority: 06.11.1996 US 60/030,378
 (43) Application published: 20.09.1999
 (46) Date of publication: 20.07.2002
 (98) Mail address:
 193036, Sankt-Peterburg, a/ja 24,
 "NEVINPAT", A.V.Polikarpovu

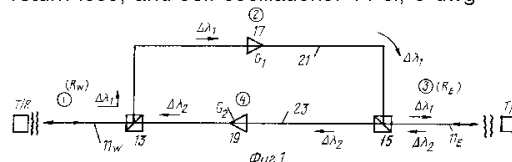
(71) Applicant:
 KORNING INKORPOREJTED (US)
 (72) Inventor: BATTON Lesli Dzhejms (US),
 JaDLOVSKI Majkl Dzhon (US), UIGLI Piter
 Dzherard (US), DZhEJKOBSON Pol Ehntoni (US)
 (73) Proprietor:
 KORNING INKORPOREJTED (US)
 (74) Representative:
 Polikarpov Aleksandr Viktorovich

(54) **CROSS-COLOR SUPPRESSION IN MULTICHANNEL OPTICAL AMPLIFIER**

(57) Abstract:

FIELD: optical amplifiers. SUBSTANCE: optical amplifier incorporating several amplifier channels has first amplifier channel for transmitting and amplifying first in-band optical-coupling signal including wavelength-selective filter essentially used for disabling propagation and amplification of out-of-band optical-coupling signal in first amplifier channel; second amplifier channel for transmitting and amplifying second in-band optical-coupling signal including wavelength-selective filter used essentially for disabling propagation and amplification

of out-of-band optical-coupling signal in second amplifier channel; wavelength-selective filters are disposed in respective amplifier channels so as to ensure desired noise and output power in device. EFFECT: reliable suppression of cross-color or optical loss that might otherwise cause multibeam interference, return loss, and self-oscillations. 14 cl, 5 dwg



Изобретение относится к многочастотным устройствам для усиления оптического сигнала и оптическим системам связи, использующим такие устройства, а более конкретно к двунаправленным (многоканальным) оптическим усилителям, имеющим спектральный фильтр для подавления перекрестных искажений, обусловленных многолучевой интерференцией, обратными потерями и автоколебаниями, которые, кроме того, несмотря на возрастающие вносимые потери, обусловленные фильтром, обеспечивают желаемый коэффициент шума и величину выходной мощности (то есть эффективность использования накачки).

Используемый ниже термин "перекрестные искажения" относится к явлениям, зависящим от усиления и отражения в усилителе и приводящим к возникновению явлений многолучевой интерференции, обратных потерь и автоколебаний, каждое из которых является вредным для работы системы волоконнооптической связи, содержащей оптический усилитель. Источник обусловленной перекрестными искажениями многолучевой интерференции иллюстрируется на фиг.1, на которой в наиболее общем виде показан двунаправленный оптический усилитель, содержащий тракт 1-2-3 передачи/усиления оптического сигнала с "запада" на "восток" (где позициями 1 и 3 обозначены западная и восточная области отражения соответственно, а позицией 2 - область усиления при передаче сигнала с "запада" на "восток" для сигнала, например, с длинами волн $\Delta\lambda_1$), и тракт 3-4-1 передачи/усиления оптического сигнала с "востока" на "запад" (позицией 4 обозначена область усиления при передаче сигнала с "востока" на "запад" для сигнала с длинами волн $\Delta\lambda_2$). Контур многолучевой интерференции для сигнала с длинами волн $\Delta\lambda_1$ представлен узлами 1-2-3-4-1 (то есть, вход сигнала $\Delta\lambda_1$ -G₁-R_E-G₂-R_W). Интерференция между первоначально переданными сигналами $\Delta\lambda_1$ и сигналами $\Delta\lambda_1$, идущими по контуру многолучевой интерференции, приводит к появлению многолучевой интерференции. Аналогично, узлы 3-4-1-2-3 представляют контур многолучевой интерференции для сигнала $\Delta\lambda_2$.

Обратные потери для сигналов $\Delta\lambda_1$, идущих через узлы 2-3-4 (то есть, G₁-R_E-G₂), и/или для сигналов $\Delta\lambda_2$, идущих через узлы 4-1-2, представляют собой эффективное обратное отражение усилителя с точки зрения системы связи.

Автоколебания в усилителе (лазерные колебания) имеют место тогда, когда образуется контур или резонатор, в котором усиление превышает потери. Поэтому, например, если G₁+R_W+G₂+R_E>0, то весьма вероятно генерация когерентного излучения.

Хотя в последующем описании изобретение будет описано в терминах двунаправленного (два усилительных тракта, идущих в противоположных направлениях) оптического усилителя, изобретение в равной степени относится к многоканальному однонаправленному (два усилительных

тракта, идущих в одном направлении) оптическому усилителю.

Устройство для усиления двунаправленного оптического сигнала обычно может иметь один усилительный тракт по существу в одном направлении (например, с "востока" на "запад") для одного или более частотных каналов, лежащих в конкретной полосе частот (например, "красной" полосе спектра или далее $\Delta\lambda_1$), и второй усилительный тракт сигнала в противоположном направлении (то есть, с "запада" на "восток") для одного или более каналов, лежащих в другой полосе частот (например, "синей" полосе спектра или далее $\Delta\lambda_2$). Оптические усилители, используемые в системах передачи для оптической связи, типично содержат в тракте усиления оптический вентиль для фильтрации нежелательных отражений или для подавления спонтанной эмиссии, влияние которой ухудшает работу усилителя и системы. Хотя хорошо известно, что большая часть "чисто оптических" усилителей, например, усилителей с волокном, легированным эрбием, и полупроводниковых усилителей усиливают входной сигнал независимо от того, в каком направлении сигнал поступил на устройство, использование вентиля в усилительном тракте по существу ограничивает возможность такого устройства работой только в одном направлении. С другой стороны, для оптических усилителей, которые функционально являются двунаправленными, и в особенности тех, которые содержат по существу однонаправленный усилительный тракт для каждой полосы сигналов, идущих соответственно во взаимно противоположных направлениях, требуются средства маршрутизации исходных сигналов через соответствующие усилительные тракты, идущие в противоположных направлениях. Средства маршрутизации сигналов, первоначально идущих в противоположных направлениях, могут содержать, например, оптические циркуляторы или направленные избирательные по длине волны фильтры в каждом входном/выходном порте двунаправленного усилителя. Оптические циркуляторы не являются предпочтительными для маршрутизации компонент первоначального поданного сигнала, поскольку они не являются избирательными по длине волны устройствами и дороги. Доступные на сегодняшний день избирательные по длине волны направленные фильтры, в особенности однокаскадные компоненты, не могут обеспечить желаемую степень выделения спектральной полосы в заданном узком спектральном диапазоне. Например, в усилителе с волокном, легированным эрбием, окно спектра усиления составляет порядка 30 нм (1530-1560 нм). Как показано на фиг.5, типичный интерференционный фильтр может обеспечить спектральную избирательность порядка 10 дБ за счет ослабления, вызванного отражением. Это происходит, однако, в ограниченном спектральном диапазоне и сопровождается нерабочей зоной шириной приблизительно 3-10 нм, примыкающей к полосе сигнала, вместо того, чтобы спектр был идеальной ступенчатой функцией, как показано на фиг.5. Таким

образом, нерабочая зона уменьшает канальную емкость и без того узкого спектрального окна. Более того, ослабление на 10 дБ обычно недостаточно для устранения эффектов многолучевой интерференции, обратных потерь и автоколебаний, например, из-за отражения и двойного отражения света с длиной волны $\Delta\lambda_2$ (от соединителей или из-за релеевского рассеяния), идущего внутрь и усиливаемого в первом усилительном тракте для света с длиной волны $\Delta\lambda_1$ и наоборот. Более конкретно, мы обнаружили, что избирательная развязка в двунаправленном устройстве оптического усиления особенно необходима для подавления перекрестных искажений, вызванных многолучевой интерференцией, обратными потерями и автоколебаниями. Даже при использовании вентилей в однонаправленном усилительном тракте многолучевая интерференция может происходить, например, из-за света (например, внутрисполосного света $\Delta\lambda_1$), который идет через усилитель, посредством какого-либо механизма отражается в оптическом тракте системы и идет в обратном направлении через усилитель по главному усилительному тракту для света с длиной волны $\Delta\lambda_2$ (то есть, как внеполосный сигнал $\Delta\lambda_1$ за счет прохождения через избирательный по длине волны фильтр маршрутизации - тракт, нормально закрытый для сигналов с длиной волны $\Delta\lambda_1$), испытывает еще одно отражение в системе с другой стороны усилителя и, наконец, идет в первоначальном направлении для сигнала с длиной волны $\Delta\lambda_1$ (как внутрисполосный сигнал $\Delta\lambda_1$) и усиливается повторно. Одним из предлагаемых решений этой проблемы является увеличение спектрального разделения в местах маршрутизации входных/выходных сигналов усилителя в главных, по существу однонаправленных усилительных трактах для соответствующих внутрисполосных сигналов, например, с помощью использования многоступенчатых фильтров во входном и выходном портах усилителя. Это, однако, также приводит к повышению вносимых потерь в устройстве, что нежелательно, поскольку специалистам в данной области хорошо известно, что возрастание вносимых потерь во входной части оптического усилителя приводит к общему увеличению коэффициента шума (из-за спонтанного шума) устройства, в то время как увеличение вносимых потерь в выходной части усилителя приводит к уменьшению выходной мощности при заданной мощности накачки.

Поэтому заявители осознали необходимость создания устройства для эффективной маршрутизации сигналов в соответствующих полосах частот сигналов связи, как в усилитель, так и из него, и, кроме того, для подавления прохождения сигналов нежелательных (внеполосных) длин волн через усилитель, которые при отсутствии подавления приводят к индуцированным многолучевой интерференции, обратным потерям и автоколебаниям, но не ухудшая при этом подавлении коэффициент шума и выходную мощность из-за возрастания вносимых

потерь, обусловленных спектральной фильтрацией.

Дополнительные особенности и преимущества изобретения будут сформулированы в последующем описании и будут понятны из этого описания или из практического использования изобретения. Цели и преимущества изобретения будут понятны из описания устройства и способа, а также формулы изобретения и прилагаемых чертежей.

Для достижения преимуществ изобретения и в соответствии с его целью, как описано ниже, в одном варианте выполнения изобретения предложено устройство усиления оптического сигнала, имеющее первый по существу однонаправленный главный усилительный тракт для усиления внутрисполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн и второй по существу однонаправленный главный усилительный тракт для усиления внутрисполосных сигналов другой полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн, причем по меньшей мере один из первого и второго усилительных трактов содержит избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, для по существу блокирования прохождения в усилительном тракте внеполосных сигналов и, кроме того, расположение в усилительном тракте избирательного по длине волны элемента, вносящего потери, выбрано так, чтобы обеспечить или желаемый коэффициент шума, или выходную мощность устройства.

В одном из аспектов этого изобретения избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, является диэлектрическим оптическим интерференционным фильтром. В альтернативных аспектах этого изобретения избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, может быть получен из, например, распределенного волоконного брэгговского отражателя, фильтра-ответвителя с большой постоянной решетки и волоконного устройства связи, характеристики которого зависят от длины волны, например, скрученного устройства с затухающими волнами или многооболочечного устройства спектрального уплотнения сигнала.

В еще одном аспекте изобретения усилительный тракт включает волоконно-оптический волновод, например, из волокна, легированного эрбием. Однако изобретение не ограничено использованием усилительной среды из волокон, а может включать и планарную среду усиления, а указанная среда усиления может включать любую из множества стеклоподобных композиций, включая диоксид кремния, ZBLA (X), оксигалогенид (например, оксифторид), композиции из стеклокерамики, имеющие легирующие примеси, которые подходят для генерации когерентного излучения.

В другом варианте выполнения изобретения предложено двунаправленное устройство для усиления оптического сигнала, которое содержит первый входной/выходной порт для полосы $\Delta\lambda_1$ оптического сигнала и полосы $\Delta\lambda_2$ оптического сигнала соответственно и второй входной/выходной порт для полосы $\Delta\lambda_2$ оптического сигнала и полосы $\Delta\lambda_1$ оптического сигнала

соответственно; по существу усилительный тракт для внутриполосных сигналов $\Delta\lambda_1$, содержащий волноводную среду усиления, и первый избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, который помещен в указанной среде усиления для по существу блокировки распространения внеполосного сигнала $\Delta\lambda_2$ вдоль указанного первого главного усилительного тракта при одновременном пропускании внутриполосного сигнала $\Delta\lambda_1$ вдоль указанного усилительного тракта; по существу усилительный тракт для внутриполосных сигналов $\Delta\lambda_2$, содержащий волноводную среду усиления, и первый избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, который помещен в указанной среде усиления для по существу блокировки распространения внеполосного сигнала $\Delta\lambda_1$ вдоль указанного первого главного усилительного тракта при одновременном пропускании внутриполосного сигнала $\Delta\lambda_2$ вдоль указанного усилительного тракта; первые средства маршрутизации сигналов связи, соединенные с $\Delta\lambda_1$ -входным/ $\Delta\lambda_2$ -выходным портом и дополнительно соединенные с указанным первым усилительным трактом для по существу направления указанных сигналов связи с длиной волны $\Delta\lambda_1$, поданных в указанный порт, в указанный первый усилительный тракт; и вторые средства маршрутизации сигналов связи, соединенные с указанным $\Delta\lambda_2$ -входным/ $\Delta\lambda_1$ -выходным портом и дополнительно соединенные с указанным вторым усилительным трактом для по существу направления указанных сигналов связи с длиной волны $\Delta\lambda_2$, поданных в указанный порт, в указанный второй усилительный тракт. В одном из аспектов этого варианта выполнения изобретения как средства маршрутизации, так и избирательные по длине волны компоненты, вносящие потери, могут содержать, например, распределенный брэгговский отражатель, фильтр с большой постоянной дифракционной решетки и устройство связи, характеристики которого зависят от длины волны, например, скрученного устройства с затухающими волнами или многооболочечного устройства спектрального уплотнения сигнала.

В еще одном варианте выполнения изобретения описана система передачи оптического сигнала, содержащая передатчик, приемник и оптический усилитель, имеющий по меньшей мере первый и второй по существу однонаправленные главные усилительные тракты для внутриполосных сигналов различных полос $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$ длин волн соответственно, причем каждый указанный усилительный тракт содержит волноводную среду усиления и избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, который помещен в указанной среде усиления для по существу блокировки распространения внеполосного сигнала связи вдоль соответствующего усилительного тракта, причем указанные избирательные по длине волны элементы, вносящие потери, расположены в соответствующих

усилительных трактах для достижения или желаемого коэффициента шума, или выходной мощности устройства.

В еще одном варианте выполнения изобретения описан способ подавления перекрестных помех, обусловленных многолучевой интерференцией, обратными потерями и автоколебаниями в устройстве оптического усиления, при сохранении желаемого коэффициента шума и выходной мощности устройства, включающий операции направления внутриполосного сигнала связи, по существу включающего сигнал в полосе $\Delta\lambda_1$ длин волн, в первый, по существу однонаправленный усилительный тракт; установки в указанный усилительный тракт избирательного по длине волны элемента, вносящего потери, который по существу блокирует распространение внеполосного сигнала связи, по существу включающего полосу $\Delta\lambda_2$ длин волн, но при этом разрешает прохождение внутриполосного сигнала $\Delta\lambda_1$ связи; направления внутриполосного сигнала связи, по существу включающего сигнал в полосе $\Delta\lambda_2$ длин волн, во второй, по существу однонаправленный усилительный тракт; установки в указанный усилительный тракт избирательного по длине волны элемента, вносящего потери, который по существу блокирует распространение внеполосного сигнала связи, по существу включающего полосу $\Delta\lambda_1$ длин волн, но при этом разрешает прохождение внутриполосного сигнала $\Delta\lambda_2$ связи; причем указанные элементы, вносящие потери, расположены в указанных усилительных трактах так, чтобы обеспечить такое усиление до элемента, вносящего потери, и усиление после элемента, вносящего потери, при котором достигается или заданный коэффициент шума, или заданная выходная мощность устройства.

Должно быть понятно, что последующее описание касается примеров и предназначено для облегчения понимания формулы изобретения.

Для лучшего понимания изобретения в описание в качестве неотъемлемой его части включены сопровождающие чертежи, которые иллюстрируют варианты выполнения изобретения и, совместно с описанием, служат для объяснения его принципов.

Соответственно, изобретение направлено на создание способа и устройства, обладающего такими признаками.

На фиг. 1 схематично представлено обычное устройство усиления двунаправленного оптического сигнала, имеющее направленные навстречу друг другу усилительные тракты для соответствующих внутриполосных сигналов, лежащих в полосах $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$ длин волн;

на фиг. 2 более подробно показан один из усилительных трактов устройства, изображенного на фиг. 1;

на фиг. 3А и 3В представлены соответствующие усилительные тракты, идущие в противоположных направлениях, двунаправленного устройства усиления сигнала согласно варианту выполнения изобретения, включающего избирательный по длине волны элемент, вносящий потери,

который помещен в усилительном тракте;

на фиг.4 представлены графики мощности накачки (необходимой для поддержания заданной выходной мощности) и коэффициента шума (расположенные друг против друга оси Y) как функции разделения усиления (ось X), возникающего из-за введения элемента, вносящего потери, в усилительный тракт устройства усиления оптического сигнала согласно одному из вариантов выполнения изобретения;

на фиг.5 показаны идеальная (сплошная линия) и реальная (штриховая линия) кривые пропускания/ослабления для известного фильтра маршрутизации как функции длины волны.

Перейдем к подробному описанию предпочтительных вариантов выполнения изобретения, примеры которых иллюстрируются на прилагаемых чертежах. На фиг.1 показана схема двунаправленного устройства 10 для усиления оптических внутриполосных сигналов, лежащие в первой полосе $\Delta\lambda_1$ длин волн с направлением их с "запада" на "восток" и для одновременного усиления оптических внутриполосных сигналов, лежащих во второй полосе $\Delta\lambda_2$ длин волн, с направлением их с "востока" на "запад". Устройство 10 содержит первый по существу однонаправленный главный усилительный тракт 21 для внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн и идущий в противоположном направлении второй по существу однонаправленный главный усилительный тракт 23 для внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн для одновременного усиления и пропускания в противоположных направлениях оптических сигналов соответствующих полос $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$ длин волн, как показано на чертеже. Усилительные тракты 21 и 23 соединены с передающим волокном 11_W посредством первых средств 13 маршрутизации и со вторым передающим волокном 11_E посредством вторых средств 15 маршрутизации. В предпочтительном варианте выполнения изобретения средства маршрутизации 13 и 15 представляют собой избирательные по длине волны направленные фильтры, например, диэлектрические интерференционные фильтры. Альтернативными компонентами для маршрутизации оптических сигналов могут быть оптические циркуляторы, используемые сами по себе или в комбинации, например, с дифракционными решетками, а также распределенный волоконный брэгговский отражатель, дифракционный фильтр с большим периодом решетки и волоконное устройство связи, характеристики которого зависят от длины волны, например, скрученное устройство спектрального уплотнения с затухающими волнами или многооболочечное устройство спектрального уплотнения. Как показано на фиг.2, каждый главный усилительный тракт 21 и 23 включает среду 17 и 19 усиления сигнала с соответствующей длиной волны, которая предпочтительно включает волокно 31, легированное эрбием, и источник 37 накачки, соединенный с этим волокном с помощью оптического ответвителя 35 или эквивалентного устройства, известного специалистам в данной области, для подачи

мощности накачки в активное волокно. Оптический вентиль 39 по выбору расположен в некотором месте вдоль активного волоконно-оптического волновода 31 для предотвращения попадания света, идущего в обратном направлении, в активное волокно; то есть для превращения усилительного тракта по существу в однонаправленный тракт. Однако изобретение не ограничено использованием только усилительной среды, содержащей волокна, легированные эрбием; могут использоваться также волноводы с волокнами, легированными другими редкоземельными элементами, планарные волноводы или другие волоконные или планарные структуры, содержащие оксигалогенид (например, оксифторид), стеклокерамику, ZBLA(X) и другие композиции, хорошо известные специалистам в данной области.

Вернемся к фиг.1. Сигналы оптической связи, по существу являющиеся внутриполосными сигналами $\Delta\lambda_1$, по передающему волокну 11_W приходят с "запада" к устройству 10 и поступают в него через первый фильтр 13 маршрутизации сигнала. Фильтр 13 предназначен для эффективного направления максимальной части внутриполосного сигнала $\Delta\lambda_1$, пришедшего с "запада", в усилительный тракт 21, и направления максимальной части внутриполосного сигнала λ_2 , пришедшего с "востока" через усилительный тракт 23, в передающее волокно 11_W. Аналогично, сигналы оптической связи, по существу являющиеся внутриполосными сигналами полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн, по передающему волокну 11_E приходят с "востока" к устройству 10 и поступают в него через второй фильтр 15 маршрутизации сигнала. Фильтр 15 предназначен для эффективного направления максимальной части внутриполосного сигнала $\Delta\lambda_2$, пришедшего с "востока", в усилительный тракт 23 и направления максимальной части внутриполосного сигнала $\Delta\lambda_1$, пришедшего через усилительный тракт 21, в передающее волокно 11_E.

Вследствие известных технологических ограничений фильтры 13 и 15 имеют в лучшем случае эффективность маршрутизации около 90%, то есть понятно, что если фильтр 13 обеспечивает направление максимальной доли внутриполосных сигналов $\Delta\lambda_1$ в тракт 21 для их прохождения и усиления, то фильтр 13 обеспечивает вносимые потери для входного сигнала приблизительно 10 дБ, поэтому около 10% падающего света не направляется, куда предназначено, а вместо этого передается в тракт 23, где обычно гасится посредством вентиля (не показан). Внутриполосный свет $\Delta\lambda_1$, который с помощью фильтра 13 маршрутизации направлен в тракт 21, а в конечном итоге - через фильтр 15 маршрутизации в восточное передающее волокно 11_E, неизбежно подвергнется отражению, частично назад в фильтр 15 маршрутизации, из-за отражений в системе, включающих отражения из-за перекосов в местах соединений, в соединителях, из-за релеевского рассеяния и других причин. Хотя

в предпочтительных вариантах выполнения изобретения фильтры 13 и 15 являются избирательными по длине волны, небольшая доля света длины волны $\Delta\lambda_1$, отраженного вдоль волокна 11_Е, пройдет через фильтр 15 в усилительный тракт 23 (внеполосный свет $\Delta\lambda_1$ для этого усилительного тракта), где будет усилена блоком 19 усиления и через фильтр 13 направлена в западном направлении вдоль передающего волокна 11_W. Это небольшое количество внеполосного света $\Delta\lambda_1$ не задерживается фильтром 15 из-за того, что последний имеет неидеальную избирательную характеристику и пропускает небольшое, но конечное (типично 10%) количество света (который он должен отражать). Кроме того, из-за тех же ограничений фильтра свет из нерабочего спектрального диапазона, близкого к полосам $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$ или лежащего между ними, но не в них, может идти по любому усилительному тракту, что делает усилитель подверженным автоколебаниям, например, когда суммарное усиление в тракте превышает суммарные потери, что может привести к возникновению лазерного излучения. Часть внеполосного света $\Delta\lambda_1$, идущего из усилительного тракта 23 вдоль волокна 11_W, вновь неизбежно будет отражена одной или более точками отражения в передающем волокне 11_W, после чего большая часть этого отраженного света через фильтр 13 маршрутизации вновь поступит в главный усилительный тракт 21 (как внутриполосный свет $\Delta\lambda_1$). Этот свет будет усилен усилительным трактом 17 и через фильтр 15 подан в передающее волокно 11_Е в восточном направлении, как описано выше. Этот дважды отраженный свет $\Delta\lambda_1$ вызовет многолучевую интерференцию при взаимодействии с первоначально передаваемым светом $\Delta\lambda_1$. Должно быть понятно, что точно такое же явление имеет место и в отношении света $\Delta\lambda_2$, первоначально вошедшего в устройство с "востока". В то время как понятно, что для по существу подавления перекрестных искажений у входа/выхода 13, 15 устройства могут быть помещены дополнительные каскады, вносящие потери, хорошо известно, что внесение потерь до усиления или на ранней стадии усиления сигнала приводит к увеличению коэффициента шума в системе, в то время как неэффективная потеря после или на более поздней стадии усиления сигнала приводит к уменьшению выходной мощности сигнала при заданной мощности накачки. Поэтому в то время, как фильтры 13 и 15 маршрутизации предназначены для наиболее эффективного направления сигналов связи в соответствующие тракты пропускания/усиления, избирательные по длине волны фильтры 41 и 43 в усилительных трактах 21 и 23 соответственно установлены для предотвращения прохождения внеполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_2$ вдоль тракта 21 и внеполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_1$ вдоль тракта 23, как показано на фиг. 3а и 3б. В предпочтительном варианте выполнения изобретения избирательные по длине волны фильтры 41 и 43 являются

5 диэлектрическими интерференционными фильтрами, аналогичными фильтрам 13 и 15. Однако специалистам в данной области понятно, что подойдет любой элемент для спектральной фильтрации и любой способ ее реализации при условии, что максимальная часть внутриполосных сигналов может проходить по предназначенному для них тракту, а максимальная часть внеполосных сигналов не допускается к прохождению по 10 тракту, предназначенному для внутриполосных сигналов. Примерами таких компонентов являются брэгговский отражатель с распределенным волокном, фильтр-ответвитель с большим периодом дифракционной решетки и волоконное устройство связи, характеристики которого 15 зависят от длины волны, например, скрученное устройство спектрального уплотнения с затухающими волнами или многооболочечное устройство для спектрального уплотнения. В дополнение к достигаемым спектральным характеристикам фильтрации, как таковым, введение фильтров 41 и 43 в соответствующих усилительных трактах важно из-за того эффекта, который связан с 20 влиянием места внесения потерь на величину шума и выходную мощность. Это можно увидеть на фиг.4, где показаны мощность накачки (необходимая для поддержания заданной выходной мощности) и коэффициент шума в зависимости от того, в какой пропорции длина (а следовательно, и усиление) волокна, легированного эрбием, которое входит в состав усилителя, делится 25 между двумя участками или каскадами этого волокна. В этом варианте выполнения изобретения двухкаскадный усилитель с волокном, легированным эрбием, содержит элемент, вносящий потери 2,2 дБ, и подвергается накачке на длине волны 980 нм с использованием прямой накачки. Штрихпунктирная линия показывает мощность накачки, необходимую для достижения в 30 усилителе с волокном, легированным эрбием, уровня инверсии 70% и усиления приблизительно 29 дБ. Сплошная линия показывает коэффициент шума устройства при тех же условиях. Фиг.4 наглядно демонстрирует компромисс между величиной шума и эффективностью использования мощности накачки при внесении потерь между 35 двумя частями усилительного тракта из волокна, легированного эрбием. Кроме того, этот чертеж указывает, что имеется ограниченный диапазон мест в усилительном тракте для размещения элемента, вносящего потери, в котором влияние этого элемента как на коэффициент шума, так и на выходную мощность является приемлемым, что 40 позволяет получить в устройстве желаемые или заданные коэффициенты шума и выходную мощность. Типично требуется согласовать требования на величину выходной мощности с желаемым коэффициентом шума, или наоборот, и эти параметры для разработки подскажут специалисту в данной области, где 45 лучше всего внести потери вследствие спектральной фильтрации, осуществляемой фильтрами 41 и 42, то есть, как произвести разделение усиления на усиление до элемента, вносящего потери, и усиление после элемента, вносящего потери. Приведенный ниже пример 1

иллюстрирует вариант выполнения изобретения, относящийся к подавлению перекрестных искажений из-за многолучевой интерференции.

Пример 1

Пусть заданы следующие параметры:

P (критический предел перекрестных искажений, то есть амплитуда вторичного импульса по отношению к первичному импульсу) = (-)43 дБ,

$G_{\Delta\lambda_1}$ (то есть усиление для внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_1$ вдоль главного усилительного тракта) = 27 дБ,

$G_{\Delta\lambda_2}$ (то есть усиление для внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_2$ вдоль главного усилительного тракта) = 27 дБ,

$R_{\text{worst case}}$ (то есть требования к отражению в заданном направлении в наихудшем случае) = (-)24 дБ,

$G_{\text{out-of-band } \Delta\lambda_1}$ (то есть усиление для внеполосных сигналов в усилительном тракте) = 27 дБ,

тогда для подавления многолучевой интерференции необходимо, чтобы:

$$G_{\Delta\lambda_2} + R_{\text{East}} + G_{\text{out-of-band } \Delta\lambda_1} + R_{\text{West}} < P.$$

При подстановке заданных значений получаем, что для подавления многолучевой интерференции необходимо внесение дополнительно 50 дБ потерь для внеполосного сигнала. Принимая в расчет, что каждый из фильтров 15 и 13 маршрутизации обеспечивает ослабление сигнала приблизительно на 15 дБ, требуется еще внести ослабление внеполосного сигнала на 30 дБ. Поэтому помещают один или несколько каскадов внесения потерь, например, с помощью фильтра 43, каждый из которых отражает приблизительно 90% внеполосного сигнала $\Delta\lambda_1$ в тракте 23, в волокно 31, легированное эрбием, во втором усилительном тракте 23, что обеспечивает достижение устройством или желаемого коэффициента шума, или выходной мощности, при этом обеспечивается также блокировка прохождения внеполосного сигнала $\Delta\lambda_1$, что по существу удовлетворяет заданным пороговым требованиям к многолучевой интерференции. Аналогичные вычисления проводятся и для внеполосных сигналов $\Delta\lambda_2$ и размещения фильтра (фильтров) 41 в тракте 21. Кроме того, специалисты в данной области могут вычислить величину необходимых вносимых потерь для по существу подавления обратных потерь и автоколебаний, обусловленных перекрестными искажениями. В отношении обратных потерь (RL), если, например, $RL_{\text{limit}} = X$, то $RL_{\text{East}} = G + R_w + G < X$ и $RL_{\text{West}} = G + R_e + G < X$. При расчете систем связи обычно устанавливают конкретное значение RL_{limit} .

Для специалистов в данной области понятно, что в устройстве и способе согласно настоящему изобретению могут быть сделаны различные модификации и изменения. Таким образом, подразумевается, что настоящее изобретение охватывает модификации и изменения этого изобретения в пределах прилагаемой формулы изобретения.

Формула изобретения:

1. Устройство для усиления оптического сигнала, содержащее первый по существу

однонаправленный усилительный тракт для усиления внутриполосных сигналов в полосе $\Delta\lambda_1$ длин волн и второй по существу однонаправленный усилительный тракт для усиления внутриполосных сигналов в полосе $\Delta\lambda_2$ длин волн, отличающейся от полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн, причем по меньшей мере один из первого и второго усилительных трактов содержит избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, отличающееся тем, что указанный элемент, вносящий потери, размещен в указанном усилительном тракте между первой средой усиления и второй средой усиления, расположенными в указанном усилительном тракте, причем указанный элемент, вносящий потери, по существу блокирует внеполосный сигнал связи, а указанный усилительный тракт обеспечивает усиление внутриполосного сигнала оптической связи до элемента, вносящего потери, и после элемента, вносящего потери, тем самым обеспечивая по меньшей мере или заданный коэффициент шума, или заданную выходную мощность устройства.

2. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее первые средства маршрутизации сигнала связи для по существу направления входных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_1$ в указанный первый усилительный тракт и усиленных выходных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_2$ в передающий волновод, и вторые средства маршрутизации сигнала связи для по существу направления входных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_2$ в указанный второй усилительный тракт и усиленных выходных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_1$ в передающий волновод.

3. Устройство по п. 1 или 2, в котором избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, представляет собой диэлектрический оптический интерференционный фильтр, или распределенный волоконный брэгговский отражатель, или фильтр-осветлитель с большим периодом дифракционной решетки.

4. Устройство по п. 1 или 2, в котором избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, представляет собой волоконное устройство связи, характеристики которого зависят от длины волны, содержащее по меньшей мере или скрученное устройство спектрального уплотнения сигнала с затухающими волнами, или устройство спектрального уплотнения сигнала многооболочечного типа.

5. Устройство по п. 1 или 2, в котором по меньшей мере один из первого и второго усилительных трактов содержит волоконно-оптический волновод из волокна, легированного редкоземельным элементом.

6. Устройство по п. 5, в котором волновод, легированный редкоземельным элементом, легирован эрбием.

7. Устройство по п. 1 или 2, в котором по меньшей мере один из первого и второго усилительных трактов содержит плоский усилительный волновод или в котором один из первого и второго усилительных трактов содержит стеклокерамическую композицию или композицию из оксигалогенидового стекла.

8. Устройство по п. 1 или 2, в котором по

меньшей мере первый и второй усилительные тракты являются сонаправленными или противонаправленными.

9. Устройство по п. 1 или 2, в котором первая полоса $\Delta\lambda_1$ длин волн внутриполосного сигнала связи лежит между приблизительно 1520 и 1540 нм, а вторая полоса $\Delta\lambda_2$ длин волн внутриполосного сигнала связи лежит между приблизительно 1540 и 1570 нм, или в котором первая полоса $\Delta\lambda_1$ длин волн внутриполосного сигнала связи лежит между приблизительно 1540 и 1570 нм, а вторая полоса $\Delta\lambda_2$ длин волн внутриполосного сигнала связи лежит между приблизительно 1520 и 1540 нм.

10. Двухнаправленное устройство для усиления оптического сигнала, содержащее первый входной/выходной порт для полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн оптического сигнала связи и полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн оптического сигнала связи, соответственно, второй входной/выходной порт полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн оптического сигнала связи и полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн оптического сигнала связи, соответственно, по существу односторонний первый усилительный тракт для пропускания и усиления сигнала связи из полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн, как внутриполосного сигнала связи, содержащий волноводную среду усиления, и первый избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, который размещен в указанной среде усиления так, чтобы по существу блокировать распространение внеполосного сигнала связи из полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн вдоль указанного первого усилительного тракта, но по существу пропустить внутриполосный сигнал связи из полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн вдоль указанного усилительного тракта, по существу односторонний второй усилительный тракт для пропускания и усиления сигнала связи из полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн, как внутриполосного сигнала связи, содержащий волноводную среду усиления, и второй избирательный по длине волны элемент, вносящий потери, который размещен в указанной среде усиления для по существу блокировки распространения внеполосного сигнала связи из полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн вдоль указанного второго усилительного тракта при по существу пропускании им внутриполосного сигнала связи из полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн вдоль указанного усилительного тракта, первые средства маршрутизации сигналов связи для по существу направления указанных входных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_1$ длин волн в указанный первый усилительный тракт и усиленных выходных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_2$ длин волн в передающий волновод и вторые средства маршрутизации сигналов связи для по существу направления указанных входных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_2$ длин волн в указанный второй усилительный тракт и усиленных выходных внутриполосных сигналов связи в полосе $\Delta\lambda_1$ длин волн в передающий волновод, отличающееся тем, что расположение первого элемента, вносящего

потери, и второго элемента, вносящего потери, выбрано соответственно так, чтобы обеспечить усиление до элемента, вносящего потери, и усиление после элемента, вносящего потери, для достижения по меньшей мере или заданного коэффициента шума, или заданной выходной мощности устройства.

11. Способ улучшения характеристик волоконнооптической системы связи, включающей устройство для усиления оптического сигнала, которое содержит по существу односторонний первый усилительный тракт для внутриполосного сигнала в полосе $\Delta\lambda_1$ длин волн и по существу односторонний второй усилительный тракт для внутриполосного сигнала в полосе $\Delta\lambda_2$ длин волн, которая отличается от полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн, согласно которому направляют оптические сигналы из полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн в указанный первый усилительный тракт для усиления и пропускания этих сигналов, как внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн, направляют оптические сигналы из полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн в указанный второй усилительный тракт для усиления и пропускания этих сигналов, как внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн, и размещают избирательный по длине волны фильтр, вносящий потери по меньшей мере в одном из первого и второго усилительных трактов для блокировки прохождения внеполосных сигналов вдоль первого усилительного тракта и усиления его там, отличающийся тем, что расположение указанного фильтра выбирают так, чтобы обеспечить в соответствующем усилительном тракте усиление до этого фильтра и усиление после этого фильтра для достижения по меньшей мере или заданного коэффициента шума, или заданной выходной мощности устройства.

12. Способ по п. 11, в котором при направлении входного внутриполосного сигнала полосы $\Delta\lambda_1$ и входного внутриполосного сигнала полосы $\Delta\lambda_2$ направляют максимальную часть этих сигналов в соответствующие усилительные тракты.

13. Способ по п. 11, в котором указанный избирательный по длине волны фильтр блокирует максимальную часть внеполосных сигналов в каждом из соответствующих усилительных трактов.

14. Двухнаправленное устройство для усиления оптического сигнала, содержащее первый усилительный тракт, имеющий входной и выходной концы и содержащий отрезок волоконно-оптического волновода из активного волокна для по существу пропускания и усиления внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_1$ длин волн и первый избирательный по длине волны фильтр, расположенный в указанном активном волокне для по существу блокировки прохождения внеполосных сигналов связи полосы $\Delta\lambda_2$ вдоль первого усилительного тракта и их усиления там, второй усилительный тракт, имеющий входной и выходной концы и содержащий отрезок волоконно-оптического волновода из активного волокна для по существу

пропускания и усиления внутриполосных сигналов полосы $\Delta\lambda_2$ длин волн и второй избирательный по длине волны фильтр, расположенный в указанном активном волокне для по существу блокировки прохождения внеполосных сигналов связи полосы $\Delta\lambda_1$ вдоль первого усилительного тракта и их усиления там, первый направленный элемент для маршрутизации оптического сигнала, соединенный с передающим волокном и с одним из входного и выходного концов первого усилительного тракта и, соответственно, с одним из входного и выходного концов второго усилительного тракта для по существу направления внутриполосного оптического сигнала в один из первого и второго усилительных трактов и второй направленный

5

10

15

20

25

30

35

40

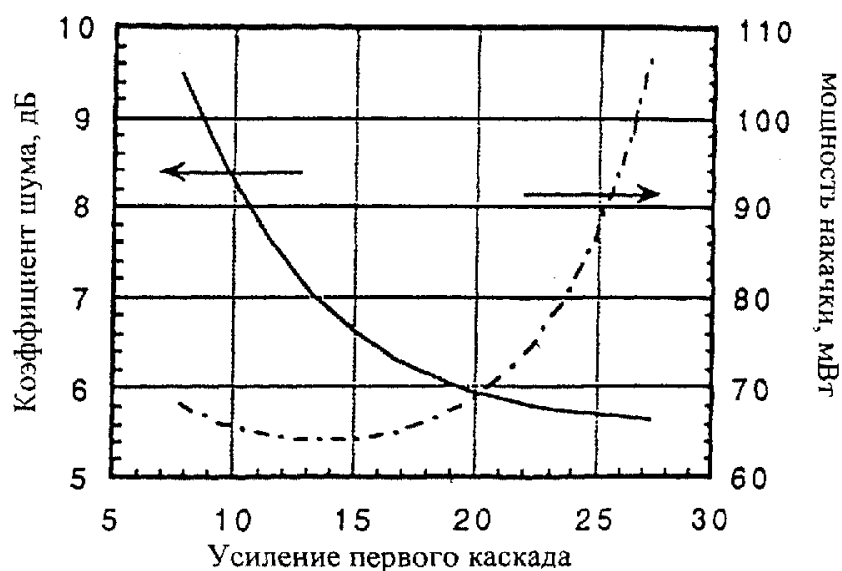
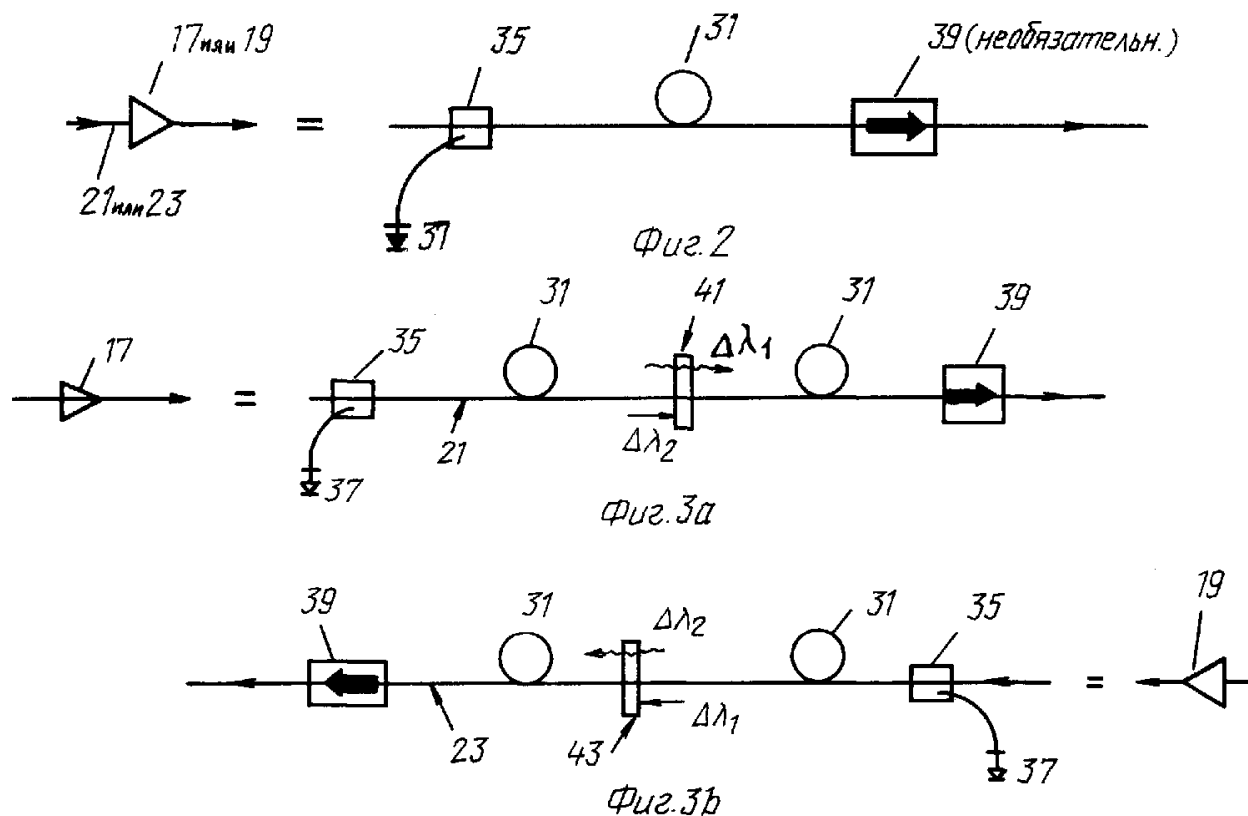
45

50

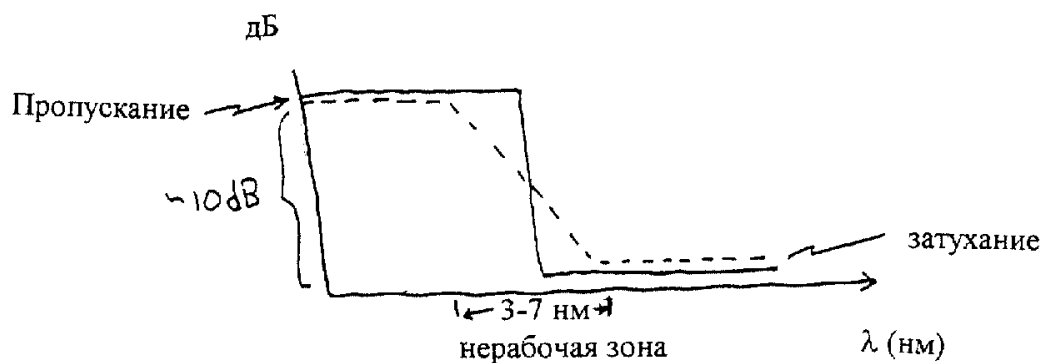
55

60

элемент для маршрутизации оптического сигнала, соединенный с передающим волокном и с одним из входного и выходного концов второго усилительного тракта и, соответственно, с одним из входного и выходного концов первого усилительного тракта, для по существу направления другого внутриполосного оптического сигнала в один из второго и первого усилительных трактов, отличающееся тем, что соответствующее расположение первого избирательного по длине волны фильтра и второго избирательного по длине волны фильтра выбрано так, чтобы разделить усиление в активном волокне для достижения по меньшей мере или заданного коэффициента шума, или заданной выходной мощности для устройства, имеющего соответствующую выходную мощность и коэффициент шума.



Фиг.4



Фиг.5