República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112016026114-3 B1

(22) Data do Depósito: 23/05/2014

(45) Data de Concessão: 07/02/2023

(54) Título: COMUTADORES ÓPTICOS, APARELHO DE COMUTAÇÃO ÓPTICO E NÓ DE REDE DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA RELACIONADOS

(51) Int.Cl.: H04J 14/02.

(73) Titular(es): TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL).

(72) Inventor(es): FRANCESCO TESTA; ALBERTO BIANCHI.

(86) Pedido PCT: PCT EP2014060621 de 23/05/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/176764 de 26/11/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 08/11/2016

(57) Resumo: COMUTADOR ÓPTICO, A PARELHO DE COMUTAÇÃO ÓPTICO, NÓ DE REDE DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA E REDE DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA. A presente invenção se refere a um comutador óptico compreendendo: um primeiro guia de onda óptico, um primeiro caminho de adição óptico, um segundo caminho de adição óptico e um microanel ressonador. O microanel ressonador é operável para adicionar um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico para se deslocar em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico. O microanel ressonador é ainda operável para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico para se deslocar em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposto à primeira direção. É também fornecido um comutador de remoção óptico, um aparelho de comutação óptico, um nó de rede de comunicação óptica e uma rede de comunicação óptica.

COMUTADORES ÓPTICOS, APARELHO DE COMUTAÇÃO ÓPTICO E NÓ DE REDE DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA RELACIONADOS

CAMPO DA INVENÇÃO

[0001] A presente invenção refere-se a um comutador óptico, um aparelho de comutação óptico, um nó de rede de comunicação óptica e uma rede de comunicação óptica, que pode, em particular, mas não exclusivamente, ser uma rede de acesso via rádio.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[0002] A Figura 1 ilustra uma Rede de Acesso via Rádio (RAN). Neste exemplo, a RAN compreende uma pluralidade de redes fronthaul 10 e uma rede backhaul 20.

[0003] Cada uma das redes fronthaul 10 compreende uma pluralidade de Unidades de Rádio Remoto, RRUs 30 (que também podem ser chamadas de Equipamentos de Rádio REs). Estes REs 30 estão localizados em respectivos sítios geográficos, e cada um é acoplado a uma ou mais antenas de rádio 40. Cada RE 30 está acoplado a um respectivo nó de rede fronthaul 50. Neste exemplo, cada rede fronthaul 10 compreende ainda um conjunto de unidades de banda base (que podem ser chamados de controladores de equipamento de rádio RECs), que está localizado em um nó de rede de conexão 55. Este nó de conexão 55 pode estar a poucos quilômetros de cada um dos REs 30.

[0004] A fim de lidar eficazmente com a comunicação entre o conjunto de RECs e os respectivos REs 30, redes WDM ópticas (multiplexadas por divisão de comprimento de onda) são consideradas uma tecnologia promissora. Isso ocorre porque as redes WDM ópticas podem fornecer alta largura de banda e escalabilidade, baixa latência e também alta utilização de fibra e um alto nível de resiliência.

[0005] Em uma rede de anel WDM óptica, o conjunto de RECs pode utilizar os respectivos comprimentos de onda para comunicar com os respectivos REs 30. Estes comprimentos de onda são multiplexados pelo nó de conexão 55 em um sinal WDM de enlace descendente que é transmitido em torno do anel. Cada um dos nós de rede 50 solta apenas o(s) comprimento(s) de onda para o seu RE 30, e permite

que os outros comprimentos de onda passem mais ao redor do anel. Cada um dos nós de rede 50 pode também adicionar um ou mais respectivos comprimentos de onda de seu RE 30 para um sinal WDM de enlace ascendente que também é transmitido em torno do anel, para o nó de conexão 55.

[0006] O tráfego móvel a partir de cada rede fronthaul 10 é agregado pelas respectivas placas de roteamento 70 e enviado via a rede de backhaul 20 para nós periféricos 80. A partir dos nós periféricos 80, o tráfego móvel agregado é transmitido através da rede de núcleo IP, que é indicada pelo número de referência 90. A rede backhaul 20 pode, similarmente, compreender uma rede de anel WDM óptica.

[0007] No entanto, as redes ópticas WDM utilizam comutadores seletivos de comprimento de onda (WSSs) que, uma vez que são baseados em óptica de espaço livre complexa, são dispositivos dispendiosos e volumosos. Isto proibiu a adoção de redes ópticas WDM em redes de acesso via rádio. Nas redes de acesso via rádio, as capacidades a serem transportadas são inferiores às das redes de transporte. Ademais, o nível de desempenho exigido de comutadores ópticos pode ser menor, uma vez que, em redes de acesso via rádio, os sinais ópticos podem precisar atravessar menos nós e as ligações entre os nós podem ser mais curtas do que nas redes de transporte.

[0008] Uma alternativa ao uso de WSSs é usar FOADMs (multiplexadores ópticos fixos de adição/remoção). Os FOADMs podem compreender uma cascata de filtros de película fina. No entanto, uma vez que os FOADMs são dispositivos passivos, eles não podem ser reconfigurados, por exemplo, para fornecer proteção no caso de uma falha na rede óptica WDM.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0009] De acordo com a presente invenção, é fornecido um comutador óptico, compreendendo um primeiro guia de onda óptico, um primeiro caminho de adição óptico, um segundo caminho de adição óptico e um microanel ressonador. O microanel ressonador é operável para adicionar um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de

adição óptico ao primeiro guia de onda óptico deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico. O microanel ressonador é ainda operável para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposto à primeira direção.

[0010] De acordo com a presente invenção, é fornecido ainda um comutador óptico, que compreende um primeiro guia de onda óptico, um primeiro caminho de remoção óptico, um segundo caminho de remoção óptico e um microanel ressonador. O microanel ressonador é operável para remover um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico para o primeiro caminho de remoção óptico. O microanel ressonador é ainda operável para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção para o segundo caminho de remoção óptico.

[0011] O presente invenção tem a vantagem de que pode fornecer um comutador óptico mais barato, mais eficiente em termos de energia e menos volumoso, que também permite que um mecanismo de proteção seja implementado em uma rede de comunicação óptica, como será descrito abaixo. Vantajosamente, apenas um único microanel ressonador é necessário para adicionar comprimentos de onda para se deslocar ou em qualquer direção através do primeiro guia de onda óptico (ou para remover comprimentos de onda que se deslocam em qualquer direção através do primeiro guia de onda óptico).

[0012] De acordo com modalidades da presente invenção, o microanel ressonador no comutador de adição óptico pode ser disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico, recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico, passe em uma direção horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador, e o segundo sinal óptico, recebido a partir do segundo caminho de adição óptico, passa em uma direção anti-horária em torno de ao menos uma parte do microanel

ressonador.

[0013] O primeiro caminho de adição óptico pode compreender uma primeira parte de um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de adição óptico pode compreender uma segunda parte do segundo guia de onda óptico. O segundo guia de onda óptico pode ser disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico se desloque em uma primeira direção através da primeira parte do segundo guia de onda óptico, e de tal modo que o segundo sinal óptico se desloque em uma segunda direção através da segunda parte do segundo guia de onda óptico oposta à primeira direção. Esta configuração pode tornar o comutador óptico mais fácil de fabricar e, portanto, mais confiável do que as configurações alternativas.

[0014] No entanto, alternativamente, por exemplo, o primeiro caminho de adição óptico pode compreender um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de adição óptico pode compreender um terceiro guia de onda óptico diferente. Esta configuração alternativa pode ter melhores parâmetros de desempenho, por exemplo, menor perda óptica, em algumas implementações de rede.

[0015] Em modalidades preferenciais da presente invenção, o comutador de adição óptico pode, vantajosamente, compreender ainda um aparelho de acoplamento óptico tendo uma entrada configurada para receber um sinal óptico, uma primeira saída acoplada ao primeiro caminho de adição óptico e uma segunda saída acoplada ao segundo caminho de adição óptico.

[0016] Esta modalidade tem a vantagem de que um sinal óptico pode ser fornecido à mesma entrada, se o sinal óptico é adicionado na primeira direção, ou na segunda direção ou nas duas direções através do primeiro guia de onda óptico. Deste modo, quando o comutador óptico é implementado em um nó de comunicação óptico, pode ser vantajosamente necessário que o resto do nó óptico seja reconfigurado, por exemplo, apenas um único transmissor pode ser necessário.

[0017] O aparelho de acoplamento óptico pode compreender um divisor de potência óptico que está configurado para dividir o sinal óptico recebido na entrada do aparelho de acoplamento óptico em um primeiro sinal óptico que é emitido a partir da primeira saída (para o primeiro caminho de adição óptico) e um segundo

sinal óptico que é emitido a partir da segunda saída (para o segundo caminho de adição óptico).

[0018] Alternativamente, o aparelho de acoplamento óptico pode compreender um elemento de comutação óptico que tem um primeiro estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente o sinal óptico recebido na entrada a partir da primeira saída (para o primeiro caminho de adição óptico) e um segundo em que o elemento de comutação óptico está configurado para emitir seletivamente o sinal óptico recebido na entrada a partir da segunda saída (para o segundo caminho de adição óptico).

[0019] O elemento de comutação óptico pode ainda ser configurado para receber um primeiro sinal de controle e para comutar entre o primeiro e o segundo estado em dependência do primeiro sinal de controle (que pode ser fornecido em resposta a uma indicação de que uma falha ocorreu na rede óptica).

[0020] Em uma modalidade preferencial da presente invenção, o comutador óptico pode compreender um ajustador de potência óptico configurado para receber um sinal óptico, ajustar a potência do sinal óptico e passar o sinal óptico para a entrada do aparelho de acoplamento óptico.

[0021] Isto tem a vantagem de que, quando o comutador óptico é implementado em um nó de comunicação óptico, a potência óptica do sinal óptico que é adicionado ao primeiro guia de onda óptico e, portanto, que pode ser transmitido através da rede óptica, pode ser ajustada de tal modo que seja a mesma dos outros sinais ópticos que são transmitidos através da rede óptica por outros nós na rede. Além disso, uma vez que o ajustador de potência óptica está disposto antes do aparelho de acoplamento óptico, vantajosamente, pode ser necessário apenas um ajustador de potência óptica.

[0022] O ajustador de potência óptica pode ser configurado para receber um sinal de controle e para ajustar a potência do sinal óptico em dependência do sinal de controle recebido.

[0023] Ademais, em uma modalidade preferencial da presente invenção, o microanel ressonador pode ter um estado ativo e um estado inativo. No estado ativo,

o microanel ressonador está configurado para adicionar um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico, e para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção. No estado inativo, o microanel ressonador não está configurado para adicionar um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico, ou para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção.

[0024] Em adição, o comutador óptico pode compreender ainda um elemento de controle configurado para receber um segundo sinal de controle e fazer com que o microanel ressonador comute entre o estado ativo e o estado inativo em dependência do segundo sinal de controle.

[0025] Esta modalidade preferencial tem a vantagem de que o comutador de adição óptico pode, de fato, ser ligado e desligado, por um sinal de controle.

[0026] Quando o microanel ressonador está no estado inativo, o microanel ressonador pode ainda ser configurado para permitir que um sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado se desloque de uma extremidade do primeiro guia de onda óptico (na primeira direção ou na segunda direção) passem para a outra extremidade do primeiro guia de onda óptico.

[0027] Ademais, quando o microanel ressonador está no estado ativo ou inativo, o microanel ressonador pode ainda ser configurado para permitir que os sinais ópticos que não estão no comprimento de onda pré-selecionado se desloquem de uma extremidade do primeiro guia de onda óptico (na primeira direção ou na segunda direção) passem para a outra extremidade do primeiro guia de onda óptico.

[0028] Vantajosamente, o comutador de adição óptico pode ser implementado em um único dispositivo fotônico de silício (por exemplo, um chip).

[0029] O microanel ressonador no comutador de remoção óptico pode também ser disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico, removido do primeiro guia de onda óptico, passe em uma direção horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador, e o segundo sinal óptico, removido do primeiro guia de onda óptico, passa em uma direção anti-horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador.

[0030] O primeiro caminho de remoção óptico pode compreender uma primeira parte de um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de remoção óptico pode compreender uma segunda parte do segundo guia de onda óptico. O segundo guia de onda óptico pode ser disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico se desloque em uma primeira direção através da primeira parte do segundo guia de onda óptico, e de tal modo que o segundo sinal óptico se desloque em uma segunda direção através da segunda parte do segundo guia de onda óptico oposta à primeira direção. Alternativamente, o primeiro caminho de remoção óptico pode compreender um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de adição óptico compreende um terceiro guia de onda óptico diferente.

[0031] Em uma modalidade preferencial da presente invenção, o comutador de remoção óptico pode compreender ainda um aparelho de acoplamento óptico que tem uma primeira entrada acoplada ao primeiro caminho de remoção óptico, uma segunda entrada acoplada ao segundo caminho de remoção óptico e uma saída configurada para emitir um sinal óptico.

[0032] Isto tem a vantagem de que o sinal óptico pode ser emitido a partir da mesma saída, se o sinal óptico estivesse se deslocando na primeira e/ou na segunda direção através do primeiro guia de onda óptico quando foi removido pelo microanel ressonador. Deste modo, quando o comutador de remoção óptico é implementado em um nó de comunicação óptico, pode não ser vantajosamente necessário que o resto do nó óptico seja reconfigurado, por exemplo, apenas um único receptor pode ser necessário.

[0033] Este aparelho de acoplamento óptico pode compreender um elemento de comutação óptico tendo um primeiro estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente um sinal óptico recebido na primeira entrada a partir da saída e um segundo estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para seletivamente emitir um sinal óptico recebido na segunda entrada a partir da saída. O elemento de comutação óptico pode ser configurado para receber um terceiro sinal de controle e para comutar entre o primeiro e o segundo estado em dependência do terceiro sinal de controle. Esta modalidade tem a vantagem de que o elemento de comutação óptico pode bloquear a diafonia proveniente da direção não selecionada através do primeiro guia de onda óptico. No entanto, alternativamente, este aparelho de acoplamento óptico pode acoplar simplesmente ambas as entradas à saída simultaneamente.

[0034] Ademais, em uma modalidade preferencial da presente invenção, o microanel ressonador (remoção) pode ter um estado ativo e um estado inativo. No estado ativo, o microanel ressonador está configurado para remover um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico para o primeiro caminho de remoção óptico e para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado se deslocando em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção para o segundo caminho de remoção óptico. No estado inativo, o microanel ressonador não é configurado para remover um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico para o primeiro caminho de remoção óptico ou para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção para o segundo caminho de remoção óptico.

[0035] Em adição, o comutador de remoção óptico pode compreender ainda um elemento de controle configurado para receber um quarto sinal de controle e fazer com que o microanel ressonador comute entre o estado ativo e o estado inativo em

dependência do quarto sinal de controle.

[0036] Assim, vantajosamente, o comutador de remoção óptico pode, similarmente ao comutador de adição óptico, de fato, ser ligado e desligado, por um sinal de controle.

[0037] Quando o microanel ressonador está no estado inativo, o microanel ressonador pode ainda ser configurado para permitir que um sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado se desloque de uma primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico (na primeira direção ou na segunda direção) passem para a outra extremidade do primeiro guia de onda óptico.

[0038] Ademais, quando o microanel ressonador está no estado ativo ou inativo, o microanel ressonador pode ainda ser configurado para permitir que sinais ópticos que não estão no comprimento de onda pré-selecionado, se deslocando a partir de uma primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico (na primeira direção ou na segunda direção), passem para a outra extremidade do primeiro guia de onda óptico.

[0039] Vantajosamente, o comutador de remoção óptico pode ser implementado em um único dispositivo fotônico de silício (por exemplo, um chip).

[0040] A presente invenção fornece ainda um aparelho de comutação óptico compreendendo uma primeira pluralidade de comutadores de adição ópticos como descrito acima e/ou uma segunda pluralidade de comutadores de remoção ópticos como descrito acima.

[0041] Em uma modalidade preferencial da presente invenção, o comprimento de onda pré-selecionado para cada um da primeira pluralidade de comutadores ópticos pode ser diferente do comprimento de onda pré-selecionado para cada um da primeira pluralidade de comutadores ópticos e/ou o comprimento de onda pré-selecionado para cada um da segunda pluralidade de comutadores ópticos pode ser diferente do comprimento de onda pré-selecionado para cada um da segunda pluralidade de comutadores ópticos.

[0042] A primeira pluralidade de comutadores ópticos pode compartilhar o mesmo primeiro guia de onda óptico e ou a segunda pluralidade de comutadores

ópticos pode compartilhar o mesmo primeiro guia de onda óptico. Assim, vantajosamente, o aparelho de comutação óptico pode atuar como um multiplexador e/ou demultiplexador WDM.

[0043] Em uma modalidade preferencial da presente invenção, o mesmo primeiro guia de onda óptico compartilhado pela primeira pluralidade de comutadores ópticos pode ser um guia de onda diferente do mesmo primeiro guia de onda óptico compartilhado pela segunda pluralidade de comutadores ópticos. Deste modo, a primeira pluralidade de comutadores ópticos e a segunda pluralidade de comutadores ópticos podem ser configuradas para adicionar/remover os mesmos comprimentos de onda pré-selecionados.

[0044] É ainda fornecido um nó de rede de comunicação óptica compreendendo o aparelho de comutação óptico como descrito acima.

[0045] Em uma modalidade preferencial da presente invenção, o nó de rede de comunicação óptica pode compreender uma primeira porta de saída, uma segunda porta de saída, uma terceira porta de entrada e uma quarta porta de entrada.

[0046] Uma primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico compartilhado pela primeira pluralidade de comutadores ópticos pode ser acoplada à primeira porta de saída e uma segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico compartilhado pela primeira pluralidade de comutadores ópticos pode ser acoplada à segunda porta de saída. Uma primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico compartilhado pela segunda pluralidade de comutadores ópticos pode ser acoplada à terceira porta de entrada e uma segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico compartilhado pela segunda pluralidade de comutadores ópticos pode ser acoplada à quarta porta de entrada.

[0047] O nó de rede de comunicação óptica pode ainda compreender uma primeira unidade de controle (por exemplo, um controlador de proteção) configurada para fornecer o primeiro sinal de controle e/ou o terceiro sinal de controle em resposta a uma indicação de que uma falha ocorreu na rede de comunicação óptica.

[0048] O nó de rede de comunicação óptica pode ainda compreender uma segunda unidade de controle configurada para fornecer o segundo sinal de controle

e/ou o quarto sinal de controle.

[0049] De acordo com a presente invenção, é ainda fornecida uma rede de comunicação óptica compreendendo um ou mais nós de rede de comunicação óptica como descrito acima.

[0050] A rede de comunicação óptica pode ser uma rede de acesso via rádio. Por exemplo, a rede de comunicação óptica pode ser uma rede frontaul e/ou uma rede backhaul.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0051] As modalidades da presente invenção serão agora descritas, apenas a título de exemplo, com relação aos desenhos em anexo.

[0052] A Figura 1 ilustra uma rede de acesso via rádio.

[0053] A Figura 2a ilustra um comutador de adição óptico de acordo com uma primeira modalidade da presente invenção.

[0054] A Figura 3a ilustra um comutador de remoção óptico de acordo com uma primeira modalidade da presente invenção.

[0055] A Figura 2b ilustra um comutador de adição óptico de acordo com uma segunda modalidade da presente invenção.

[0056] A Figura 3b ilustra um comutador de remoção óptico de acordo com uma segunda modalidade da presente invenção.

[0057] A Figura 4 ilustra um aparelho de comutação óptico de acordo com uma modalidade preferencial da presente invenção.

[0058] A Figura 5 mostra uma rede de comunicação óptica compreendendo uma pluralidade de nós, cada um compreendendo um aparelho de comutação óptico de acordo com uma modalidade preferencial da presente invenção em um modo de trabalho.

[0059] A Figura 6 mostra a rede de comunicação óptica no modo de proteção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0060] A Figura 2a ilustra um comutador de adição óptico 100 de acordo com uma primeira modalidade preferencial da presente invenção.

[0061] O comutador de adição óptico 100 compreende um primeiro guia de onda óptico 110. O comutador de adição óptico 100 compreende ainda um microanel ressonador 120, um primeiro caminho de adição óptico 130 e um segundo caminho de adição óptico 140. O microanel ressonador 120 é operável para adicionar um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico 130 ao primeiro guia de onda óptico 110 deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico. O microanel ressonador 120 é ainda operável para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico 140 ao primeiro guia de onda óptico 110 deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110 oposta à primeira direção. O microanel ressonador 120 é pré-configurado de tal modo que possa operar dessa maneira.

[0062] Neste exemplo, este primeiro guia de onda óptico 110 tem uma primeira extremidade, rotulada WEST e uma segunda extremidade, rotulada EAST. Os sinais ópticos que se deslocam a partir da primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 para a segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 (isto é, de WEST para EAST) serão ditos como se deslocando em uma “primeira” direção através do primeiro guia de onda óptico 110. Os sinais ópticos que se deslocam a partir da segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 para a primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico (isto é, de EAST para WEST) deslocam-se em uma “segunda” direção através do primeiro guia de onda óptico 110.

[0063] O microanel ressonador 120 está disposto adjacente ao primeiro guia de onda óptico 110 em um ponto intermediário entre a sua primeira extremidade e a sua segunda extremidade. Deste modo, neste exemplo, um sinal óptico, a partir do primeiro caminho de adição óptico 130, adicionado pelo microanel ressonador 120 para deslocar-se na primeira direção através do primeiro guia de onda óptico 110, desloca-se a partir do microanel ressonador 120, através do primeiro guia de onda óptico 110, para a segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico 110. Um

sinal óptico adicionado pelo microanel ressonador 120, a partir do segundo caminho de adição óptico 140, para deslocar-se na segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110, se desloca a partir do microanel ressonador 120, através do primeiro guia de onda óptico 110, para a primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico 110.

[0064] Neste exemplo, tal como ilustrado pelas linhas tracejadas, o microanel ressonador 120 está disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico, recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico 130, passa na direção horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador 120, e o segundo sinal óptico, recebido a partir do segundo caminho de adição óptico 140, passa na direção anti-horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador 120.

[0065] Nesta modalidade da presente invenção, o primeiro caminho de adição óptico 130 e o segundo caminho de adição óptico 140 compreendem um único (segundo) guia de onda óptico 135. O segundo guia de onda óptico 135 tem uma primeira extremidade e uma segunda extremidade. O primeiro caminho de adição óptico 130 compreende uma primeira parte (ou comprimento) do segundo guia de onda óptico 135 (neste exemplo uma primeira metade do segundo guia de onda óptico). O segundo caminho de adição óptico 140 compreende uma segunda parte (ou comprimento) do segundo guia de onda óptico 135 (neste exemplo a segunda metade do segundo guia de ondas óptico).

[0066] O microanel ressonador 120 está disposto similarmente adjacente ao segundo guia de onda óptico 135 em um ponto intermediário entre a sua primeira extremidade e a sua segunda extremidade. Este ponto define a interseção entre a primeira e a segunda parte do segundo guia de onda óptico 135. Assim, a segundo guia de onda óptico 135 está disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico se desloca em uma primeira direção através da primeira parte do segundo guia de onda óptico 135 (isto é, o primeiro caminho de adição óptico 130) e o segundo sinal óptico desloca-se em uma segunda direção através da segunda parte do segundo guia de onda óptico 135 (ou seja, o segundo caminho de adição óptico 140) oposta à primeira direção. Nota-se que, neste exemplo, a primeira e a segunda direção

referidas com relação ao segundo guia de onda óptico 135 estão nas direções opostas, respectivamente, à primeira e à segunda direção referidas acima em relação ao primeiro guia de onda óptico 110.

[0067] Nesta modalidade preferencial da presente invenção, o comutador de adição óptico 100 compreende ainda um aparelho de acoplamento óptico 150. O aparelho de acoplamento óptico 150 tem uma entrada 151 (por exemplo, uma porta de entrada) configurada para receber um sinal óptico, uma primeira saída 152 (por exemplo, uma primeira porta de saída) acoplada ao primeiro caminho de adição óptico 130 e uma segunda saída 153 (por exemplo, uma segunda porta de saída) acoplada ao segundo caminho de adição óptico 140.

[0068] Deste modo, neste exemplo, a primeira extremidade do segundo guia de onda óptico 135 é acoplada à primeira saída 152, e a segunda extremidade do segundo guia de onda óptico 135 é acoplada à segunda saída 153.

[0069] Esta modalidade é vantajosa uma vez que, como explicado acima, significa que um sinal óptico a ser adicionado ao primeiro guia de onda óptico 110 pode ser fornecido a uma entrada única ou comum, se o sinal óptico for adicionado para deslocar-se na primeira e/ou na segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110. No entanto, aprecia-se que, em modalidades alternativas, o comutador de adição óptico 100 pode não compreender um aparelho de acoplamento óptico 150 e pode, por exemplo, alternativamente, compreender duas entradas configuradas para receber um respectivo sinal óptico e acopladas aos primeiro e segundo caminhos de adição ópticos 130, 140, respectivamente.

[0070] O aparelho de acoplamento óptico 150 pode compreender um divisor de potência óptica. O divisor de potência óptica pode ser um dispositivo passivo. Neste exemplo, um sinal óptico recebido na entrada 151 do aparelho de acoplamento óptico 150 é dividido em um primeiro sinal óptico e um segundo sinal óptico. Cada sinal óptico tem apenas uma parte da potência óptica do sinal óptico recebido pelo aparelho de acoplamento óptico 150 na entrada 151, mas tem o mesmo comprimento de onda do sinal óptico recebido. O divisor de potência óptica é configurado de tal modo que o primeiro sinal óptico é emitido a partir da primeira

saída 152 para o primeiro caminho de adição óptico 130, e o segundo sinal óptico é emitido a partir da segunda saída 153 para o segundo caminho de adição óptico 140.

[0071] Deste modo, neste exemplo, a entrada 151 do aparelho de acoplamento óptico 150 é acoplada opticamente simultaneamente à primeira saída 152 e, portanto, ao primeiro caminho de adição óptico 130, e à segunda saída 153 e, portanto, ao segundo caminho de adição óptico 140. Os sinais ópticos podem então ser adicionados ao primeiro guia de onda óptico 110 para deslocarem-se respectivamente na primeira e na segunda direção, simultaneamente.

[0072] Alternativamente, o aparelho de acoplamento óptico 150 pode compreender um elemento de comutação óptico, que é configurado para acoplar seletivamente a entrada 151 do aparelho de acoplamento óptico 150 à sua primeira saída 152 ou à sua segunda saída 153.

[0073] O elemento de comutação óptico pode ter um primeiro estado no qual o elemento de comutação óptico está configurado para emitir seletivamente um sinal óptico recebido na entrada 151, a partir da primeira saída 152 (e, portanto, para o primeiro caminho de adição óptico 130) e um segundo estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente um sinal óptico recebido na entrada 151, a partir da segunda saída 153 (e, portanto, para o segundo caminho de adição óptico 140).

[0074] O elemento de comutação óptico pode ainda ser configurado para receber um sinal de controle (que será chamado de um primeiro sinal de controle) e para comutar entre o primeiro e o segundo estado em dependência do primeiro sinal de controle, como será descrito em mais detalhes abaixo.

[0075] Neste exemplo, o comutador de adição óptico 100 compreende ainda um ajustador de potência óptica 160. O ajustador de potência óptica 160 é configurado para receber um sinal óptico, em uma entrada 161 (por exemplo, uma porta de entrada), ajustar a potência do sinal óptico e passar o sinal óptico de potência ajustada, a partir de uma saída 162 (por exemplo, uma porta de saída) para a entrada 151 do aparelho de acoplamento óptico 150. O ajustador de potência óptica

160 pode ser um atenuador óptico. Neste exemplo, o ajustador de potência óptica 160 é ainda configurado para receber um sinal de controle e para ajustar a potência do sinal óptico em dependência do sinal de controle recebido.

[0076] Neste exemplo, o comutador de adição óptico 100 pode compreender ainda um elemento de controle 121. Este elemento de controle 121 pode, por exemplo, compreender um aquecedor localizado acima do microanel ressonador 120, ou o elemento de controle 121 poderia ser uma parte integrada do microanel ressonador 120. Como será entendido pelos versados na técnica, ativar a corrente no aquecedor (por exemplo, aumentar ou diminuir a quantidade de corrente no aquecedor) alterará a temperatura do microanel ressonador 120 e, consequentemente, o comprimento de onda de ressonância do microanel ressonador 120.

[0077] Quando o microanel ressonador 120 está “em canal” (referido como um estado ativo), o microanel ressonador 120 é configurado para adicionar um primeiro sinal óptico ao comprimento de onda pré-selecionado, recebido a partir do primeiro caminho óptico 130, para deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico 110 e para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado, recebido a partir do segundo caminho de adição óptico 140, para deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110.

[0078] Contudo, quando a ressonância do microanel ressonador 120 está “fora de canal”, por exemplo, porque o aquecedor aumentou a temperatura do microanel ressonador 120 de tal modo que o microanel ressonador 120 é deslocado “para fora de canal”, o microanel ressonador 120 não está configurado para adicionar um primeiro sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado, recebido a partir do primeiro caminho óptico 130, para deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico 110 ou para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado, recebido a partir do segundo caminho de adição óptico 140, para deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110. Este estado é chamado de estado inativo.

[0079] No estado inativo, o microanel ressonador 120 é ainda configurado para permitir que os sinais ópticos no comprimento de onda pré-selecionado passem (em qualquer direção) ao longo do primeiro guia de onda óptico, a partir de uma extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 para a outra extremidade do primeiro guia de ondas óptico 110.

[0080] Em ambos os estados inativo e ativo, o microanel ressonador 120 é ainda configurado para permitir que sinais ópticos em comprimentos de onda diferentes do comprimento de onda pré-selecionado passem (em qualquer direção) ao longo do primeiro guia de onda óptico 110, a partir de uma extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 para a outra extremidade do primeiro guia de onda óptico 110.

[0081] Ademais, neste exemplo, o elemento de controle 121 (por exemplo, o aquecedor) pode ser configurado para receber um sinal de controle (que será chamado de um segundo sinal de controle) e para fazer com que o microanel ressonador 120 comute entre o estado ativo e o estado inativo em dependência do segundo sinal de controle.

[0082] A Figura 2b ilustra um comutador de adição óptico 105 de acordo com uma segunda modalidade preferencial da presente invenção. Os mesmos números de referência são utilizados na Figura 2b como na Figura 2a. A principal diferença entre a Figura 2b e a Figura 2a é que, em vez do primeiro caminho de adição óptico 130 e do segundo caminho de adição óptico 140 compreendendo as respectivas partes do mesmo segundo guia de onda óptico, na Figura 2a, o primeiro caminho de adição óptico 130 compreende um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de adição óptico 140 compreende uma terceiro guia de onda óptico (diferente).

[0083] Dever-se-ia notar que o microanel ressonador 120 está disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico, recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico 130, passa em uma direção anti-horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador 120, e o segundo sinal óptico, recebido a partir do segundo caminho de adição óptico 140, passa em uma direção horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador 120.

[0084] Ademais, segue-se que, neste exemplo, a primeira saída 153 (por exemplo, a primeira porta de saída) do aparelho de acoplamento óptico 150 é acoplada a uma primeira extremidade do segundo guia de onda óptico. A segunda saída 152 (por exemplo, segunda porta de saída) do aparelho de acoplamento óptico 150 é acoplada a uma primeira extremidade do terceiro guia de onda óptico.

[0085] Um comutador de remoção óptico 170 de acordo com uma primeira modalidade da presente invenção será agora descrito em relação à Figura 3a.

[0086] O comutador de remoção óptico 170 compreende um primeiro guia de ondas óptico 110, um primeiro caminho de remoção óptico 180, um segundo caminho de remoção óptico 190 e um microanel ressonador 125. O microanel ressonador 125 pode ser operado para remover um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma primeira direção (neste exemplo, de WEST para EAST) através do primeiro guia de onda óptico 110 para o primeiro caminho de remoção óptico 180 e para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma segunda direção (neste exemplo, de EAST para WEST) através do primeiro guia de onda óptico 110 oposta à primeira direção para o segundo caminho de remoção óptico 190. O microanel ressonador 120 é pré-configurado de modo que possa operar desta maneira.

[0087] Neste exemplo, o microanel ressonador 125 é disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico, removido do primeiro guia de onda óptico 110, passa em uma direção anti-horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador 125, e o segundo sinal óptico, removido do primeiro guia de onda óptico 110, passa em uma direção horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador 125.

[0088] Nesta primeira modalidade, similarmente à primeira modalidade do comutador de adição óptico 100 ilustrado na Figura 2a, o primeiro caminho de remoção óptico 180 e o segundo caminho de remoção óptico 190 compreendem respectivas partes (ou comprimentos) de um mesmo segundo guia de onda óptico 185 (tendo primeira e segunda extremidades). O primeiro caminho de remoção óptico 180 compreende uma primeira parte do segundo guia de onda óptico 185 e o

segundo caminho de remoção óptico 190 compreende uma segunda parte do segundo guia de onda óptico 185. O segundo guia de onda óptico está disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico desloca-se em uma primeira direção através da primeira parte do segundo guia de onda óptico e o segundo sinal óptico desloca-se em uma segunda direção através da segunda parte do segundo guia de onda óptico oposta à primeira direção.

[0089] Em uma modalidade alternativa, contudo, como mostrado na Figura 3b, o primeiro caminho de remoção óptico 180 e o segundo caminho de remoção óptico 190 podem, em vez disso, compreender respectivos guias de ondas ópticos. Por exemplo, o primeiro caminho de remoção óptico 180 pode compreender um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de remoção óptico 190 pode compreender um terceiro guia de onda óptico diferente.

[0090] Nestas modalidades preferenciais da presente invenção, o comutador de remoção óptico 170/175 compreende ainda um aparelho de acoplamento óptico 200. O aparelho de acoplamento óptico 200 tem uma primeira entrada 201 (por exemplo, uma primeira porta de entrada), uma segunda entrada 202 (por exemplo, uma segunda porta de entrada) e uma única saída 203 (por exemplo, uma porta de saída). A primeira entrada 201 é acoplada ao primeiro caminho de remoção óptico 180. A segunda entrada 202 é acoplada ao segundo caminho de remoção óptico 190, e a saída 203 é configurada para emitir um sinal óptico.

[0091] Assim, na modalidade da Figura 3a, a primeira entrada 201 é acoplada à primeira extremidade do segundo guia de onda óptico 185 e a segunda entrada 202 é acoplada à segunda extremidade do segundo guia de onda óptico 185. Na modalidade da Figura 3b, a primeira entrada 201 é acoplada a uma primeira extremidade do segundo guia de onda óptico, e a segunda entrada 202 é acoplada a uma primeira extremidade do terceiro guia de onda óptico.

[0092] Esta modalidade é vantajosa, uma vez que, como explicado acima, significa que os sinais ópticos removidos pelo comutador de remoção óptico 170/175 podem ser emitidos a partir de uma única porta de saída ou porta de saída comum, independentemente da direção em que se deslocam através do primeiro guia de

onda óptico 110. No entanto, aprecia-se que, em modalidades alternativas, o comutador de remoção óptico 170/175 não pode compreender um aparelho de acoplamento óptico 200, e pode, em vez disso, incluir duas saídas (por exemplo, portas de saída) configuradas para os sinais de saída removidos pelo primeiro e segundo caminhos de remoção ópticos 180, 190, respectivamente.

[0093] O aparelho de acoplamento óptico 200 pode ser configurado para acoplar opticamente tanto a primeira entrada 201 (e, portanto, o primeiro caminho de remoção óptico 180) quanto a segunda entrada 202 (e, portanto, o segundo caminho de remoção óptico 190) à saída 203 simultaneamente.

[0094] Alternativamente, o aparelho de acoplamento óptico 200 pode compreender um elemento de comutação óptico configurado para acoplar seletivamente ou a primeira entrada 201 ou a segunda entrada 202 à saída 203. O elemento de comutação óptico tem um primeiro estado no qual o elemento de comutação óptico está configurado para seletivamente emitir um sinal óptico recebido na primeira entrada 201 a partir da saída 203. O elemento de comutação óptico pode ainda ter um segundo estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente um sinal óptico recebido na segunda entrada 202 a partir da saída 203. Neste exemplo, o elemento de comutação óptico é ainda configurado para receber um sinal de controle (que será chamado de um terceiro sinal de controle) e para comutar entre o primeiro e i segundo estado em dependência do terceiro sinal de controle.

[0095] Neste exemplo, o comutador de remoção óptico 170 também compreende um elemento de controle 126. Conforme descrito acima, este elemento de controle 126 pode, por exemplo, compreender um aquecedor localizado acima do microanel ressonador 125, ou o elemento de controle 126 poderia ser uma parte integrada do microanel ressonador 120. Como será entendido pelos especialistas na técnica, ativar a corrente no aquecedor (por exemplo, aumentar ou diminuir a quantidade de corrente no aquecedor) alterará a temperatura do microanel ressonador 120 e, consequentemente, o comprimento de onda de ressonância do microanel ressonador 120.

[0096] Deste modo, se o microanel ressonador 125 está “em canal” e, portanto, ativo, o microanel ressonador 125 é configurado para remover um primeiro sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca na primeira direção através do primeiro guia de onda óptico 110 para o primeiro caminho de remoção óptico 180 e para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca na segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110 para o segundo caminho de remoção óptico 190.

[0097] Se, contudo, o microanel ressonador 125 estiver “fora de canal” e, portanto, inativo, o microanel ressonador 125 não será configurado para remover um primeiro sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca na primeira direção através do primeiro guia de onda óptico 110 para o primeiro caminho de remoção óptico 180 ou para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca na segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110 para o segundo caminho de remoção óptico 190.

[0098] Em ambos os estados ativo e inativo, o microanel ressonador 125 é ainda configurado para não remover os sinais ópticos (ou se deslocando na primeira direção ou na segunda direção através do primeiro guia de onda óptico 110) que não estão no comprimento de onda pré-selecionado. Isto é, o microanel ressonador 125 é configurado para permitir que os sinais ópticos em comprimentos de onda diferentes do comprimento de onda pré-selecionado passem de uma primeira extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 para a outra extremidade do primeiro guia de onda óptico 110.

[0099] Neste exemplo, o elemento de controle 126 (por exemplo, um aquecedor) é configurado para receber um sinal de controle (que será chamado de um quarto sinal de controle) e para fazer com que o microanel ressonador comute entre o estado ativo e o estado inativo em dependência do quarto sinal de controle.

[00100] Nota-se que, vantajosamente, cada um dos comutadores de adição ópticos 100, 105 / comutadores ópticos 170, 175 descritos acima pode ser implementado em um único dispositivo fotônico integrado de silício (por exemplo, um

chip).

[00101] A Figura 4 ilustra um exemplo de um aparelho de comutação óptico 210 de acordo com uma modalidade preferencial da presente invenção, compreendendo uma primeira pluralidade de comutadores de adição ópticos 100 incorporando a presente invenção, e uma segunda pluralidade de comutadores de remoção ópticos 170 incorporando a presente invenção.

[00102] Neste exemplo, cada um dos comutadores de adição ópticos 100 é um comutador de adição óptico 100 como descrito acima em relação à Figura 2a. No entanto, toda ou parte da primeira pluralidade de comutadores de adição ópticos 100 pode, em vez disso, ser um comutador de adição óptico 105 como descrito acima em relação à Figura 2b ou qualquer outro comutador de adição óptico incorporando a presente invenção. Similarmente, neste exemplo, cada um dos comutadores de remoção ópticos 100 é um comutador de remoção óptico 100 como descrito acima em relação à Figura 3a. No entanto, toda ou parte da primeira pluralidade de comutadores de remoção ópticos 170 pode, em vez disso, ser um comutador de remoção óptico 175 como descrito acima em relação à Figura 3b ou qualquer outro comutador de remoção óptico incorporando a presente invenção.

[00103] Cada um da primeira pluralidade de comutadores (adição) ópticos 100 é operável para adicionar sinais ópticos em um comprimento de onda pré-selecionado diferente dos outros um ou mais da primeira pluralidade de comutadores ópticos 100 ao primeiro guia de ondas óptico 110. Do mesmo modo, cada um da segunda pluralidade de comutadores ópticos (de remoção) 170 é operável para remover sinais ópticos em um comprimento de onda pré-selecionado diferente dos outros um ou mais da segunda pluralidade de comutadores ópticos 170. Estes comprimentos de onda pré-selecionados podem ser chamados de ג1, ג2 ... גn. Neste exemplo, os comprimentos de onda pré-selecionados que podem ser adicionados pela primeira pluralidade de comutadores ópticos 100 são os mesmos comprimentos de onda pré-selecionados que podem ser removidos pela segunda pluralidade de comutadores ópticos 170.

[00104] Ademais, neste exemplo, a primeira pluralidade de comutadores (adição) ópticos 100 compartilham o mesmo primeiro guia de onda óptico 110, e a segunda pluralidade de comutadores ópticos (de remoção) 170 compartilham o mesmo primeiro guia de ondas óptico 110. No entanto, o mesmo primeiro guia de onda óptico 110 compartilhado pela segunda pluralidade de comutadores (remoção) ópticos (170) é um guia de onda óptico diferente do mesmo primeiro guia de onda óptico compartilhado pela primeira pluralidade de comutadores (adição) ópticos (100).

[00105] A Figura 5 mostra uma rede de comunicação óptica (em particular uma rede de anéis ópticos WDM) 500. Esta rede de comunicação óptica 500 pode ser uma rede de acesso via rádio. No entanto, alternativamente, a rede de comunicação óptica 500 pode ser um tipo diferente de rede de comunicação.

[00106] Neste exemplo, a rede de comunicação óptica 500 compreende uma pluralidade de nós de comunicação óptica 510: nó A, nó B, nó C e um nó de conexão.

[00107] Cada um dos nós A, B e C 510 compreende um aparelho de comutação óptico 210 como descrito acima. Neste exemplo, o nó A tem quatro comutadores de adição ópticos 100 e quatro comutadores de remoção ópticos 170, configurados para adicionar/remover comprimentos de onda nos comprimentos de onda: λ1, λ2, λ3 e λ4, respectivamente. O nó B tem quatro comutadores de adição ópticos 100 e quatro comutadores de remoção ópticos 170 configurados para adicionar/remover comprimentos de onda em comprimentos de onda: λ5, λ6, λ7 e λ8 respectivamente. O nó C tem quatro comutadores de adição ópticos 100 e quatro comutadores de remoção ópticos 170 configurados para adicionar/remover comprimentos de onda em comprimentos de onda: λ9, λ10, λ11 e λ12 respectivamente.

[00108] O nó de conexão 510 também compreende um aparelho de comutação óptico 210 como descrito acima. No entanto, o nó de conexão 510 tem doze comutadores de adição ópticos 100 (não ilustrados) e doze comutadores de remoção ópticos 170 (não ilustrados) configurados para adicionar/remover comprimentos de onda λ1 a λ12 respectivamente.

[00109] Cada nó 510 compreende uma primeira porta de entrada/saída 511, uma segunda porta de entrada/saída 512, uma terceira porta de entrada/saída 513 e uma quarta porta de entrada/saída 514, que são configuradas, cada uma, para acoplamento a uma ligação de comunicação óptica (por exemplo, a uma fibra óptica).

[00110] Em cada um dos nós A, B e C 510, a primeira e a segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 compartilhado pela primeira pluralidade de comutadores ópticos (adição) 100 são acopladas à primeira porta de entrada/saída 511 do nó da segunda porta de entrada/saída 512, respectivamente. A primeira e a segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 compartilhado pela segunda pluralidade de comutadores (de remoção) ópticos 170 são acopladas à terceira porta de entrada/saída 513 do nó e à quarta porta de entrada/saída 514, respectivamente.

[00111] No entanto, no nó de conexão 510, a primeira e a segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 compartilhado pela primeira pluralidade de comutadores (adição) ópticos 100 são acopladas à sua terceira porta de entrada/saída 513 e à quarta porta de entrada/saída 514, respectivamente. A primeira e a segunda extremidade do primeiro guia de onda óptico 110 compartilhado pela segunda pluralidade de comutadores (de remoção) ópticos 170 são acopladas à sua primeira porta de entrada/saída 511 e à segunda porta de entrada/saída 512, respectivamente.

[00112] Neste exemplo, a rede de comunicação óptica 500 compreende ainda um primeiro anel de fibra óptica 520 (que pode ser chamado de um anel de fibra óptica interno) e um segundo anel de fibra óptica 525 (que pode ser chamado de um anel de fibra óptica externo).

[00113] Cada anel de fibra óptica 520, 525 compreende uma pluralidade de segmentos de fibra, que acoplam o nó de conexão 510 ao nó A 510, o nó A 510 ao nó B 510, o nó B 510 ao nó C 510, o nó C 510 ao nó de conexão 510, respectivamente. Os segmentos de fibra do primeiro anel de fibra óptica 520 (o anel interno) acoplam a primeira porta de entrada/saída 511 de cada nó 510 à segunda

porta de entrada/saída 512 do próximo nó 510. Os segmentos de fibra do segundo anel de fibra óptica 525 (o anel externo) acoplam a terceira porta de entrada/saída 513 de cada nó 510 à quarta porta de entrada/saída do próximo nó 510.

[00114] Deste modo, os sinais ópticos adicionados pelo nó de conexão 510 ao seu primeiro guia de onda óptico (adição) 110 (que serão chamados de sinais à jusante) deslocar-se-ão através do segundo anel de fibra óptica 525 (ou seja, o anel externo) a partir do qual eles podem ser removidos pelos nós A, B e C 510. Os siais ópticos adicionais pelos nós A, B e C 510 aos seus primeiros guias de onda ópticos (adição) 110 (que serão chamados de sinais a montante), no entanto, deslocar-se-ão através do primeiro anel de fibra óptica 520 (ou seja, o anel interno), a partir do qual eles podem ser removidos pelo nó de conexão 510.

[00115] Neste exemplo, cada um dos nós 510 compreende ainda uma pluralidade de transmissores (não ilustrados), cada um configurado para gerar um sinal óptico em um dos comprimentos de onda pré-selecionados do nó. Além disso, cada um dos nós 510 compreende uma pluralidade de receptores (não ilustrados), cada um disposto para receber os sinais ópticos removidos por um respectivo dos comutadores de remoção ópticos 170 do nó.

[00116] Cada um dos nós 510 pode ainda compreender uma primeira unidade de controle (que será chamada de um controlador de proteção) 530, uma segunda unidade de controle 540 e uma terceira unidade de controle 550. Cada uma destas unidades de controle 530, 540, 550 pode compreender um processador (por exemplo, circuito de processamento), e pode ser implementada em qualquer combinação de software e/ou hardware. Cada unidade de controle 530, 540, 550 pode compreender uma ou mais unidades, integradas em qualquer grau.

[00117] Se o aparelho de acoplamento óptico 150 em cada um da primeira pluralidade de comutadores ópticos (adição) 100 compreende um elemento de comutação como descrito acima, então a primeira unidade de controle 530 pode ser configurada para fornecer um primeiro sinal de controle, como descrito acima, ao elemento de comutação em cada um dos comutadores de adição ópticos 100. Por exemplo, estes primeiros sinais de controle podem ser fornecidos em resposta a

uma indicação de que uma falha ocorreu na rede de comunicação óptica 500.

[00118] Em adição, ou alternativamente (por exemplo, se o aparelho de acoplamento óptico 150 em cada um dos comutadores de adição ópticos 100 compreende um divisor de potência em vez de um elemento de comutação), se o aparelho de acoplamento óptico 200 em cada uma da segunda pluralidade de comutadores ópticos (remoção) 170 compreende um elemento de comutação como descrito acima, então a primeira unidade de controle 530 pode ser configurada para fornecer um terceiro sinal de controle, como descrito acima, ao elemento de comutação em cada um dos comutadores de remoção ópticos 170. Por exemplo, estes terceiros sinais de controle podem ser fornecidos em resposta a uma indicação de que uma falha ocorreu na rede de comunicação óptica 500.

[00119] A segunda unidade de controle 540 pode ser configurada para fornecer um segundo sinal de controle, como descrito acima, ao elemento de controle 121 em cada um da primeira pluralidade de comutadores ópticos (adição) 100. A segunda unidade de controle 540 pode ainda ser configurada para fornecer um quarto sinal de controle, tal como descrito acima, para o elemento de controle 126 em cada um da segunda pluralidade de comutadores (adição) ópticos 100, 170.

[00120] A terceira unidade de controle 550 pode ser configurada para fornecer um sinal de controle, como descrito acima, para o ajustador de potência óptica 161 de cada um da primeira pluralidade de comutadores (adição) ópticos 100.

[00121] Assim, vantajosamente, as segundas unidades de controle 540 podem, dinamicamente, alterar quais e ou quantos comprimentos de onda são removidos/adicionados por cada nó 510, por exemplo, em dependência da quantidade de tráfego a ser transmitida de/para cada nó 510.

[00122] Além disso, a proteção pode ser conseguida no caso de uma falha na rede de comunicação óptica 500 (por exemplo, um corte de fibra).

[00123] A Figura 5 ilustra um exemplo da rede de comunicação óptica 500 no modo de trabalho. Neste exemplo, cada um dos comutadores de adição ópticos 100 tem um aparelho de acoplamento óptico 150 que compreende um elemento de comutação como descrito acima.

[00124] O nó de conexão 510 adiciona um sinal WDM a jusante para se deslocar na direção anti-horária em torno do anel de fibra óptica externo 530. Cada nó A, B e C 510 remove seus um ou mais comprimentos de onda (isto é, os comprimentos de onda pré-selecionados dos seus microanéis ressonadores ativos 125), e permite que os outros comprimentos de onda passem ainda mais em torno do anel de fibra óptica externo 530. Cada nó A, B, C 510 adiciona os seus comprimentos de onda a montante (isto é, sinais ópticos nos comprimentos de onda pré-selecionados dos seus microanéis ressonadores ativos 120) para deslocar-se na direção horária em torno do anel de fibra óptica interno 520, ao nó de conexão 510, que remove os comprimentos de onda.

[00125] A Figura 6 ilustra um exemplo da rede de comunicação óptica 500 no modo de proteção. Neste exemplo, ocorreu um corte de fibra óptica nos segmentos de fibra óptica dos anéis de fibra óptica interno e externo 520, 525 entre os nós B e C 510. Esta falha pode ser detectada de várias maneiras como será compreendido pelos versados na técnica, por exemplo, por blocos de monitoração de sinal (não ilustrados) em cada nó 510.

[00126] Neste exemplo, o nó de conexão 510 continua a adicionar o(s) seu(s) comprimento(s) de onda à jusante ao nó C 510, para deslocar-se na direção anti-horária em torno do anel de fibra óptica externo 530. No entanto, o nó de conexão 510, ao invés, adiciona o seu comprimento(s) de onda à jusante para os nós A e B 510, para se deslocar na direção horária em torno do anel de fibra óptica externo 530. O nó C 510 continua a adicionar o(s) seu(s) comprimento(s) de onda a montante para deslocar-se na direção horária em torno do anel de fibra óptica interno 520. No entanto, os nós A e B 510 adicionam o(s) seu(s) comprimento(s) de onda para deslocar-se na direção anti-horária em torno do anel de fibra óptica interno (520).

[00127] Isto pode ser conseguido fornecendo primeiros sinais de controle para os elementos de comutação (adição) dos sinais à jusante/a montante afetados, neste exemplo, no nó de conexão 510 e nos nós A e B.

[00128] Em uma modalidade alternativa, contudo, onde o aparelho de acoplamento óptico 150 dos comutadores de adição ópticos 100 compreende um divisor de potência, tanto nos modos de trabalho quanto de proteção, os sinais ópticos à jusante e a montante podem ser transmitidos em ambas as direções (isto é, na direção horária e anti-horária) em torno do respectivo anel de fibra óptica 520, 525. Neste caso, no entanto, o aparelho de acoplamento óptico 200 em cada um dos comutadores de remoção ópticos 170 pode compreender um elemento de comutação, de modo que no modo de trabalho apenas um dos sinais ópticos é recebido pelo nó (e não ocorre interferência). Ademais, neste caso, a proteção pode ser conseguida fornecendo os terceiros sinais de controle aos elementos de comutação (remoção) dos sinais à jusante/a montante afetados pela falha (por exemplo, na Figura 6, no nó de conexão 510, no nó A e no nó B).

[00129] Deste modo, vantajosamente, as modalidades da presente invenção permitem que a proteção seja conseguida em uma rede de comunicação óptica (em particular, uma rede WDM). Além disso, isto pode ser conseguido utilizando comutadores ópticos mais rentáveis, eficientes em termos de energia e menos volumosos. Vantajosamente, em modalidades da presente invenção, pode ser utilizado um único microanel ressonador para adicionar sinais ópticos para deslocarem-se em qualquer uma ou ambas as direções através de um primeiro guia de onda óptico ou para remover sinais ópticos que se deslocam em uma ou em ambas as direções através de um primeiro guia de onda óptico. Além disso, em modalidades preferenciais da presente invenção, incluindo uma pluralidade de comutadores de adição (ou remoção) ópticos incorporando a presente invenção compartilhando o mesmo primeiro guia de onda óptico, a largura de banda de sinais ópticos adicionados (ou removidos) pode, vantajosamente, ser aumentada seletivamente.

REIVINDICAÇÕES

1. Comutador óptico (100) **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um primeiro guia de onda óptico (110);

um primeiro caminho de adição óptico (130);

um segundo caminho de adição óptico (140);

um microanel ressonador (120) operável para adicionar um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico (130) ao primeiro guia de onda óptico (110) para deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico, e para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico (140) ao primeiro guia de onda óptico para deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção; e

um aparelho de acoplamento óptico (150) tendo uma entrada (151) configurada para receber um sinal óptico, uma primeira saída (152) acoplada ao primeiro caminho de adição óptico (130) e uma segunda saída (153) acoplada ao segundo caminho de adição óptico (140); em que o aparelho de acoplamento óptico compreende um elemento de comutação óptico tendo um primeiro estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente o sinal óptico recebido a partir da primeira saída (152) e um segundo estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente o sinal óptico recebido a partir da segunda saída (153).

2. Comutador óptico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o microanel ressonador (120) é disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico, recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico (130), passa na direção horária em torno de ao menos uma parte do microanel

ressonador, e o segundo sinal óptico, recebido a partir do segundo caminho de adição óptico (140), passa em uma direção anti-horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador.

3. Comutador óptico, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro caminho de adição óptico (130) compreende uma primeira parte de um segundo guia de onda óptico (135) e o segundo caminho de adição óptico (140) compreende uma segunda parte do segundo guia de onda óptico (135), e o segundo guia de onda óptico é disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico se desloca em uma primeira direção através da primeira parte do segundo guia de onda óptico e o segundo sinal óptico se desloca em uma segunda direção através da segunda parte do segundo guia de onda óptico oposta à primeira direção, ou, em que o primeiro caminho de adição óptico (130) compreende um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de adição óptico compreende um terceiro guia de onda óptico diferente.

4. Comutador óptico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de que o elemento de comutação óptico é adicionalmente configurado para receber um primeiro sinal de controle e para comutar entre o primeiro e o segundo estado em dependência do primeiro sinal de controle.

5. Comutador óptico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de que o comutador óptico compreende adicionalmente um ajustador de potência óptica (160) configurado para receber um sinal óptico, ajustar a potência do sinal óptico e passar o sinal óptico de potência ajustada para a entrada do aparelho de acoplamento óptico, e opcionalmente, em que o ajustador de potência óptica (160) é configurado para receber um sinal de controle e para ajustar a potência do sinal óptico em

dependência do sinal de controle recebido.

6. Comutador óptico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de que o microanel ressonador tem um estado ativo no qual o microanel ressonador (120) é configurado para adicionar um primeiro sinal óptico ao comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico para deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico (110), e para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico (110) para deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção, e um estado inativo no qual o microanel ressonador não é configurado para adicionar um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do primeiro caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico para deslocar-se em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico (110) ou para adicionar um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado recebido a partir do segundo caminho de adição óptico ao primeiro guia de onda óptico para deslocar-se em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção, e o comutador óptico compreende adicionalmente:

um elemento de controle (121) configurado para receber um segundo sinal de controle e para fazer com que o microanel ressonador comute entre o estado ativo e o estado inativo em dependência do segundo sinal de controle.

7. Comutador óptico (170) **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um primeiro guia de onda óptico (110);

um primeiro caminho de remoção óptico (180);

um segundo caminho de remoção óptico (190);

um microanel ressonador (125) operável para remover um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico (110) para o primeiro caminho de remoção óptico (180) e para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico (110) oposta à primeira direção para o segundo caminho de remoção óptico (190); e

um aparelho de acoplamento óptico (200) tendo uma primeira entrada (201) acoplada ao primeiro caminho de remoção óptico (180), uma segunda entrada (202) acoplada ao segundo caminho de remoção óptico e uma saída (203) configurada para emitir um sinal óptico, em que o aparelho de acoplamento óptico (200) compreende um elemento de comutação óptico tendo um primeiro estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente um sinal óptico recebido na primeira entrada (201) a partir da saída (203) e um segundo estado no qual o elemento de comutação óptico é configurado para emitir seletivamente um sinal óptico recebido na segunda entrada (202) a partir da saída (203).

8. Comutador óptico, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que o microanel ressonador (125) é disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico, removido do primeiro guia de onda óptico (110), passa em uma direção horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador, e o segundo sinal óptico, removido do primeiro guia de onda óptico, passa em uma direção anti-horária em torno de ao menos uma parte do microanel ressonador.

9. Comutador óptico, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro caminho de remoção óptico (180)

compreende uma primeira parte de um segundo guia de onda óptico (185) e o segundo caminho de remoção óptico compreende uma segunda parte do segundo guia de onda óptico (185), e o segundo guia de onda óptico é disposto de tal modo que o primeiro sinal óptico se desloca em uma primeira direção através da primeira parte do segundo guia de onda óptico e o segundo sinal óptico se desloca em uma segunda direção através da segunda parte do segundo guia de onda óptico (185) oposta à primeira direção, ou, o primeiro caminho de remoção óptico (180) compreende um segundo guia de onda óptico e o segundo caminho de remoção óptico compreende um terceiro guia de onda óptico diferente.

10. Comutador óptico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, **caracterizado** pelo fato de que o elemento de comutação óptico é adicionalmente configurado para receber um terceiro sinal de controle e para comutar entre o primeiro e o segundo estado em dependência do terceiro sinal de controle.

11. Comutador óptico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 10, **caracterizado** pelo fato de que o microanel ressonador (125) tem um estado ativo no qual o microanel ressonador é configurado para remover um primeiro sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico para o primeiro caminho de remoção óptico e para remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção para o segundo caminho de remoção óptico, e um estado inativo no qual o microanel ressonador não é configurado para remover um primeiro sinal óptico em um comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma primeira direção através do primeiro guia de onda óptico para o primeiro caminho de remoção

óptico ou para não remover um segundo sinal óptico no comprimento de onda pré-selecionado que se desloca em uma segunda direção através do primeiro guia de onda óptico oposta à primeira direção para o segundo caminho de remoção óptico, e o comutador óptico compreende adicionalmente:

um elemento de controle (126) configurado para receber um quarto sinal de controle e para fazer com que o microanel ressonador comute entre o estado ativo e o estado inativo em dependência do quarto sinal de controle.

12. Aparelho de comutação óptico (210) **caracterizado** pelo fato de que compreende uma primeira pluralidade de comutadores ópticos conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6 e/ou uma segunda pluralidade de comutadores ópticos conforme definido em qualquer uma das reivindicações 7 a 11.

13. Aparelho de comutação óptico (210), de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que o comprimento de onda pré-selecionado para cada um da primeira pluralidade de comutadores ópticos é diferente do comprimento de onda pré-selecionado para cada um dos outros da primeira pluralidade de comutadores ópticos e/ou o comprimento de onda pré-selecionado para cada um da segunda pluralidade de comutadores ópticos é diferente do comprimento de onda pré-selecionado para cada um dos outros da segunda pluralidade de comutadores ópticos; e/ou, em que a primeira pluralidade de comutadores ópticos compartilha o mesmo primeiro guia de onda óptico e a segunda pluralidade de comutadores ópticos compartilha o mesmo primeiro guia de onda óptico.

14. Nó de rede de comunicação óptica **caracterizado** pelo fato de que compreende o aparelho de comutação óptico conforme definido na reivindicação 12 ou 13.

15. Nó de rede de comunicação óptica, de acordo com a reivindicação

14, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente uma primeira unidade de controle configurada para fornecer o primeiro sinal de controle e/ou o terceiro sinal de controle em resposta a uma indicação de que uma falha ocorreu em uma rede de comunicação óptica.

Fig. 1

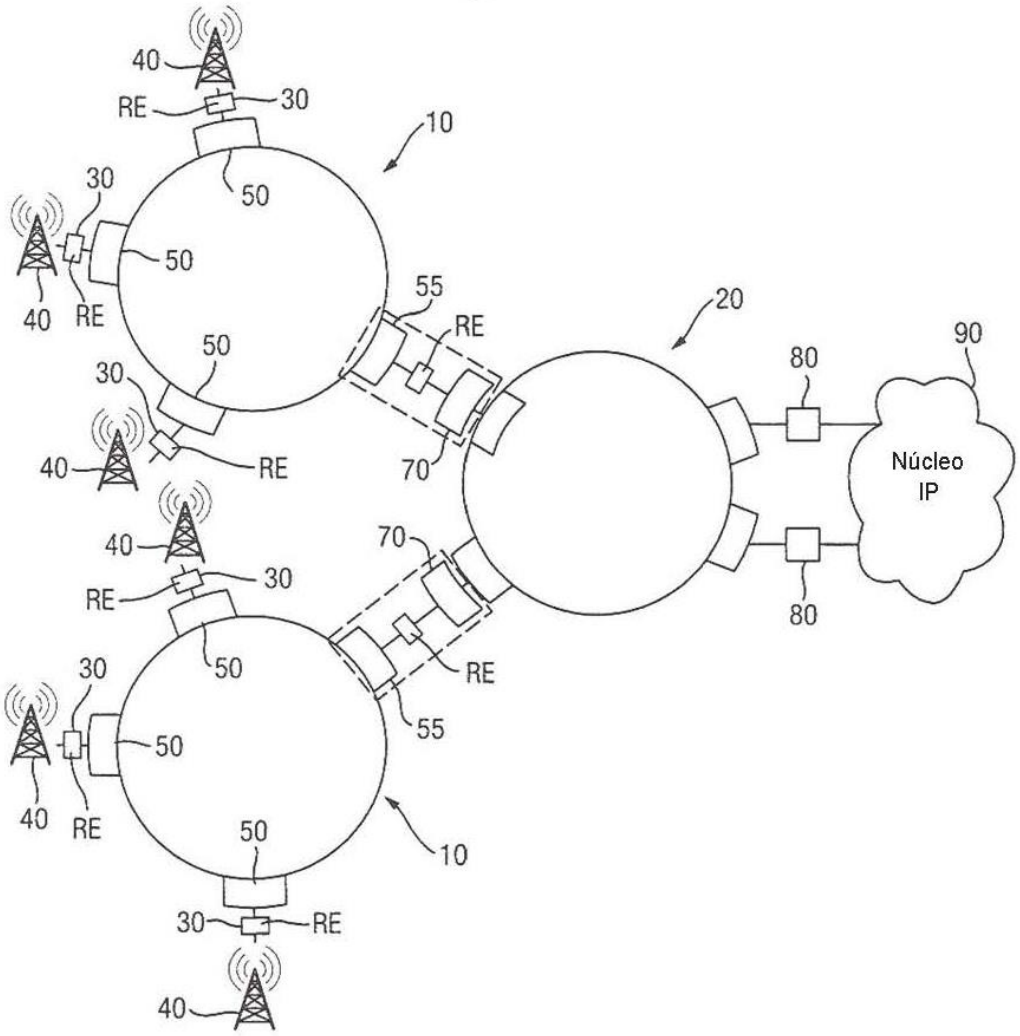

40
RE
30
10
50
30
50
40
RE
55
RE
20
50
90
80
30
70
Núcleo
IP
40
RE
40
70
30
80
RE
50
30
50
55
40
RE
50
10
30
RE
40

Fig. 2a

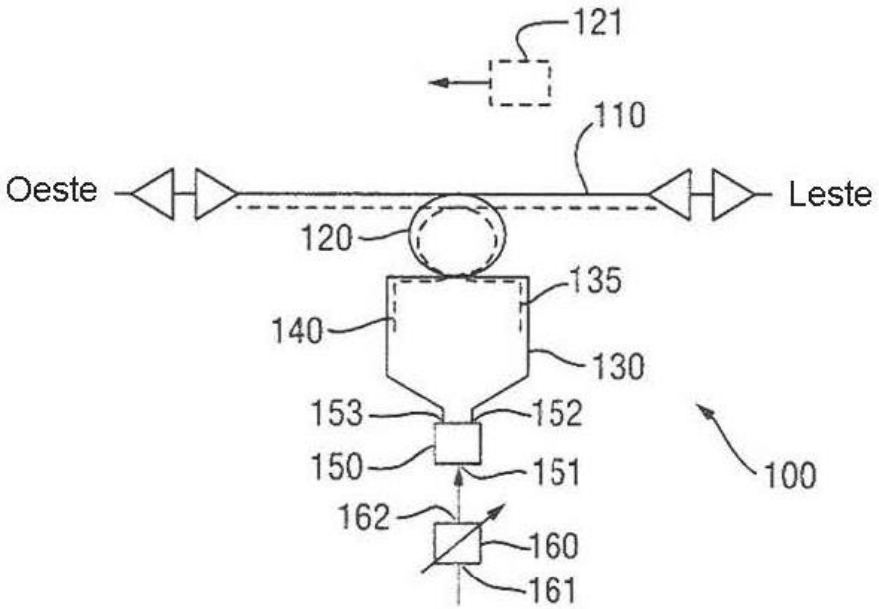

121
110
Oeste
Leste
120
135
140
130
153
152
150
151
100
162
160
161
Porta de adição

Fig. 3a

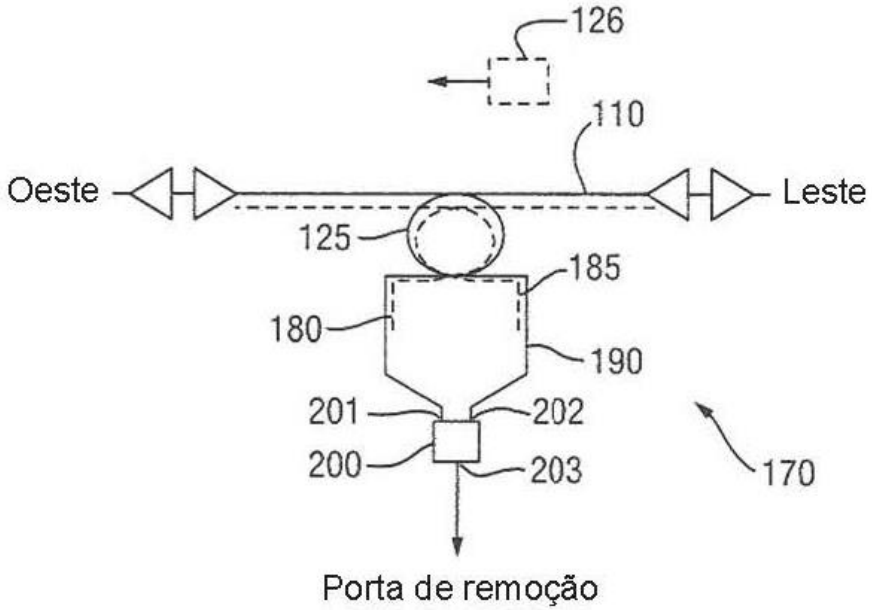

126
110
Oeste
Leste
125
185
180
190
201
202
200
203
170
Porta de remoção

Fig. 2b

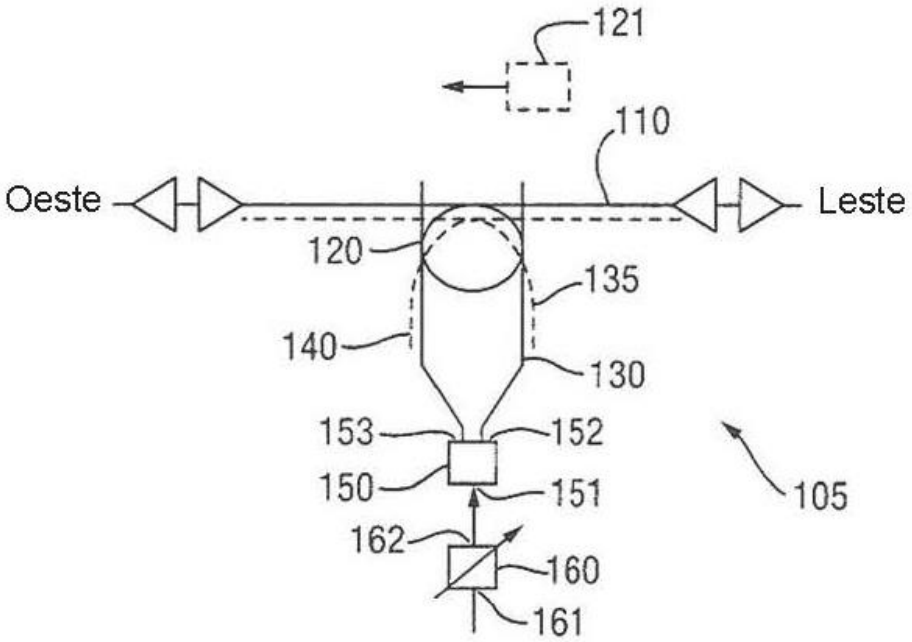

121
110
Oeste
Leste
120
135
140
130
153
152
150
151
105
162
160
161
Porta de adição

Fig. 3b

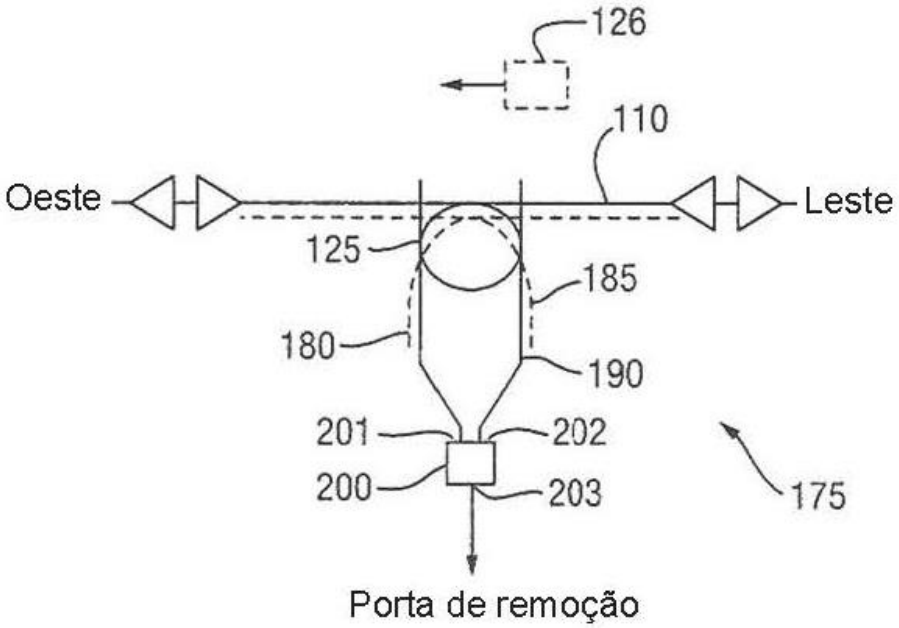

126
110
Oeste
Leste
125
185
180
190
201
202
200
203
175
Porta de remoção

Fig. 4

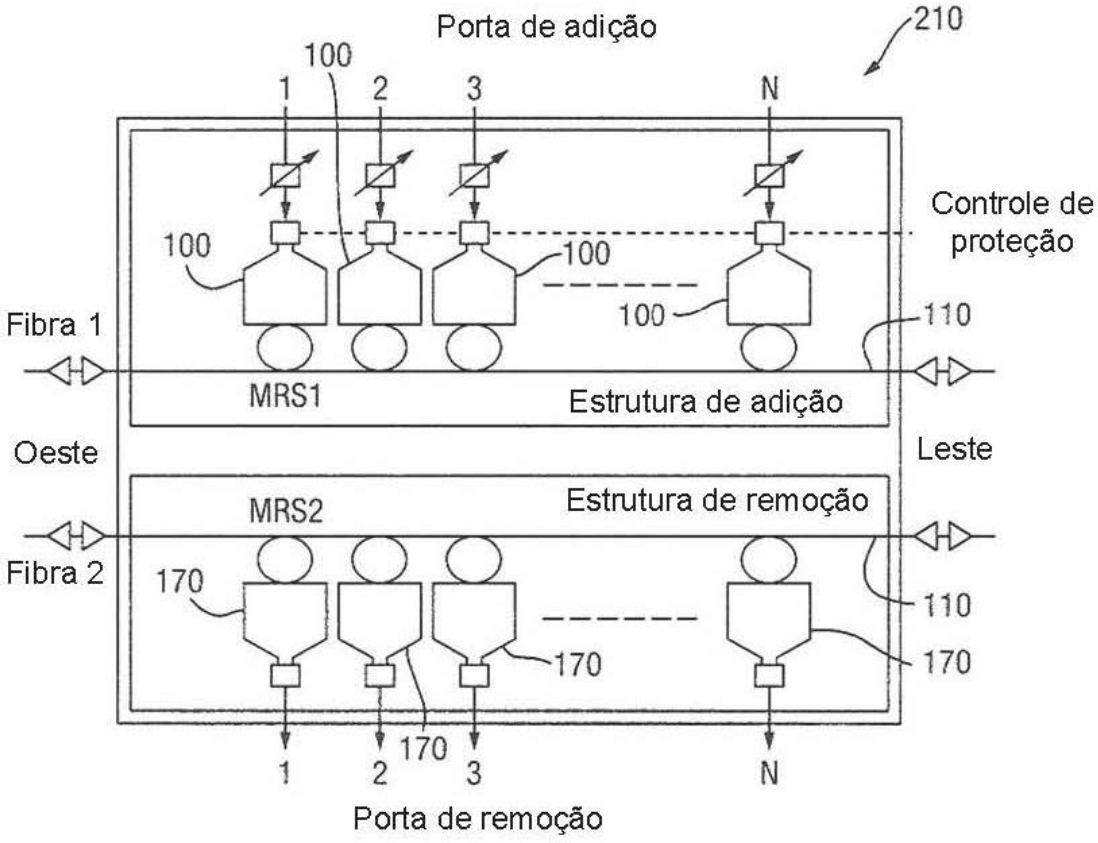

Porta de adição
210
100
1
2
3
N
Controle de proteção
100
100
100
110
Fibra 1
MRS1
Estrutura de adição
Oeste
Leste
MRS2
Estrutura de remoção
Fibra 2
170
110
170
170
170
1
2
3
N
Porta de remoção

Fig. 5

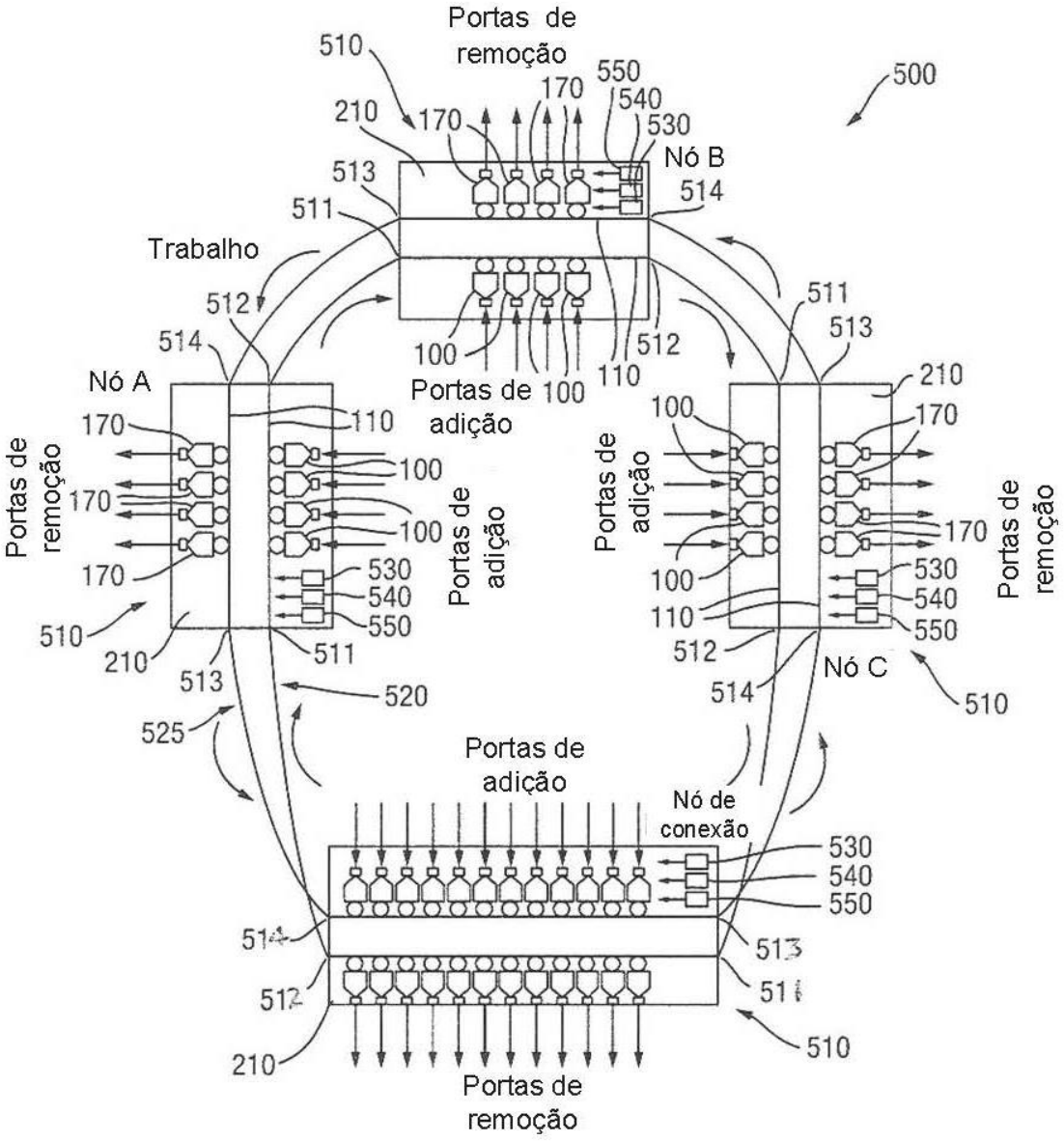
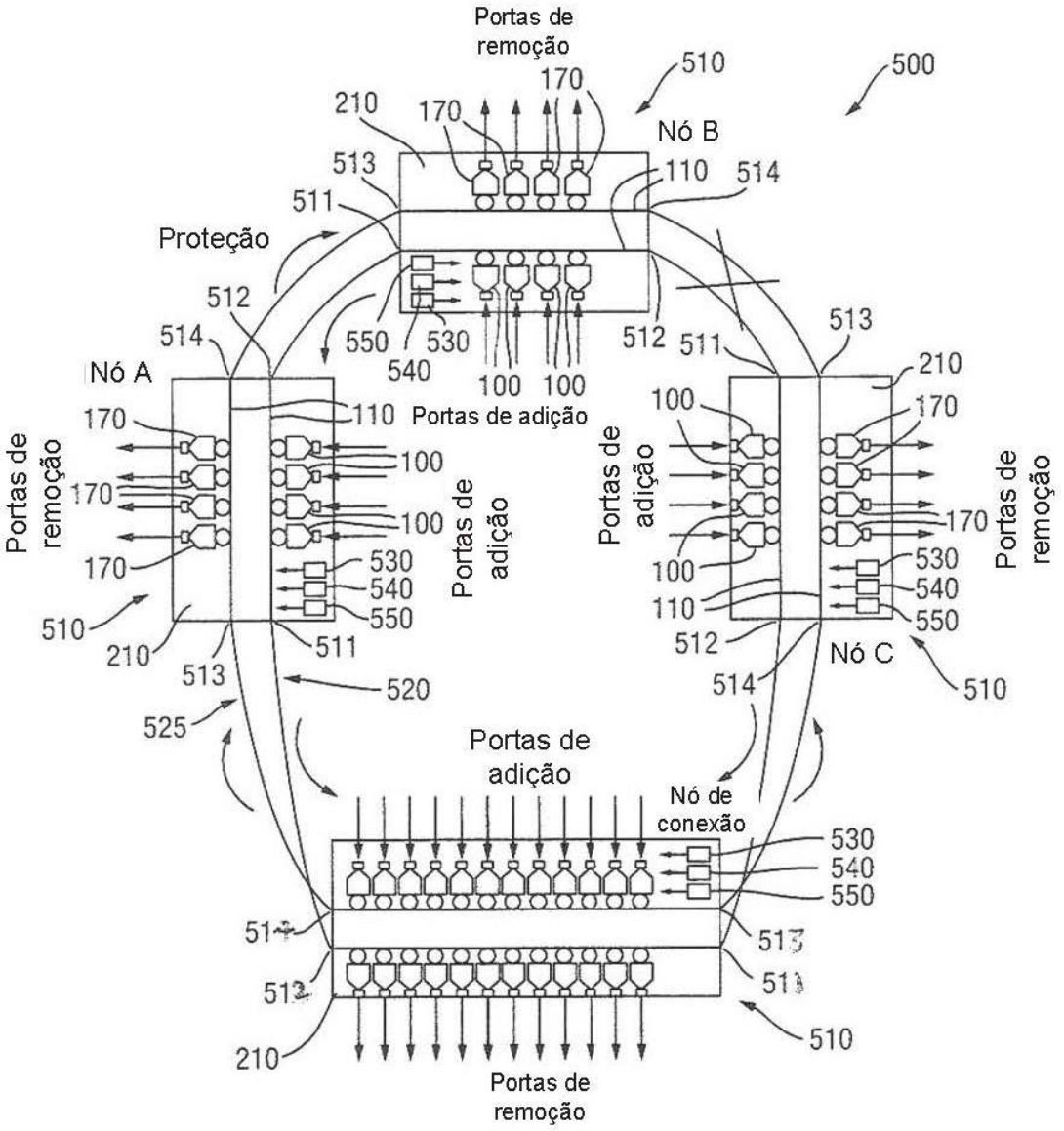

Portas de remoção
510
550
170
540
530
500
210
170
Nó B
513
514
511
Trabalho
512
511
513
514
512
100
110
Portas de adição
100
Nó A
210
170
110
100
Portas de remoção
Portas de adição
Portas de adição
100
170
170
Portas de remoção
530
540
550
170
100
530
540
550
510
210
511
110
512
513
514
Nó C
510
520
525
Portas de adição
Nó de conexão
530
540
550
514
513
512
511
210
510
Portas de remoção

Fig. 6


Portas de remoção
170
510
500
210
170
Nó B
513
110
514
511
Proteção
512
514
550
530
540
100
100
Portas de adição
512
513
511
210
Nó A
170
110
100
Portas de remoção
170
100
Portas de adição
530
540
550
510
210
513
511
520
525
Portas de adição
100
170
Portas de adição
170
Portas de remoção
530
540
550
110
512
Nó C
514
510
Portas de adição
Nó de conexão
530
540
550
514
513
512
511
210
510
Portas de remoção