

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 960359 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE
PUBLIC**

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application 960359

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification
G02F 1/39

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date 26.01.1996

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date 26.01.1996

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public 28.07.1996

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date 13.06.2019

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

27.01.1995 IT 95000143

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 •Pirelli Cavi S.p.A, Viale Sarca 20126 Milano, Italy, ITALIA, (IT)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 •Meli, Fausto, Italy, ITALIA, (IT)

2 •Cavaciuti, Alessandro, Italy, ITALIA, (IT)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Berggren Oy Ab, Antinkatu 3 C, 00100 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Kaksisuuntainen optinen tietoliikennejärjestelmä, jossa on kaksisuuntainen optinen vahvistin

Dubbelriktat optiskt telekommunikationssystem som innebär en dubbelriktad optisk förstärkare

Kaksisuuntainen optinen tietoliikennejärjestelmä, joka käsittää kaksisuuntaisen optisen vahvistimen

- 5 Esillä oleva keksintö liittyy optista kuitua käyttävään kaksisuuntaiseen tietoliikennejärjestelmään ja kaksisuuntaiseen optiseen vahvistimeen.

- 10 Viime aikoina optisten kuitujen käyttäminen informaatiota sisältävien optisten signaalien kaukosiirtoon on tullut tietoliikenteen alalla tunnetuksi.

- 15 Tunnettu on myös se seikka, että optisen kuidun kautta lähetetyt signaalit ovat siirtonsa aikana alttiina vaimenemiselle, mikä tekee välttämättömäksi vahvistaa signaalia siten, että se voi siirtyä koko tarkoitetun etäisyyden ja saapua vastaanottoasemalle riittävän tehotason omaavana lähetettyjen viestien vastaanottamiseksi oikein.

- 20 Tämä vahvistus voidaan suorittaa sopivilla vahvistimilla, jotka sijaitsevat johdolla ennalta määrätyn välein ja jotka nostavat lähetetyn optisen signaalin tehoa jaksoittaisesti.

- 25 Tässä tarkoituksessa käytetään tavallisesti optisia vahvistimia, joilla signaalia vahvistetaan sen pysyessä optisessa muodossa, toisin sanoen ilman signaalin optoelektronista ilmaisuja ja sen sähköoptista uudistamista.

- 30 Tällaiset optiset vahvistimet perustuvat fluoresoivan seostusaineen (esimerkiksi erbiumin) ominaisuuksiin, joka seostusaine valoenergian avulla sopivasti viritettynä antaa voimakasta säteilyä aallonpituuskaistalla, joka vastaa mahdollisimman pientä valonvaimennusta piidioksidipohjaisissa optisissa kuiduissa.

35

Tällaiset vahvistimet ovat yksisuuntaista tyyppiä olevia laitteita, toisin sanoen sellaisia, joissa optisella signaalilla on ennalta määrätty kulkusuunta. Kuten esimerkiksi

saman patentinhakijan US-patenttijulkaisussa 5 204 923 ja US-patenttijulkaisussa 5 210 808 on tuotu esille, tämä joh-
tuu siitä seikasta, että optiset vahvistimet, erityisesti
mikäli vaaditaan suuria vahvistusarvoja, käsittävät yksi-
suuntaista tyyppiä olevia komponentteja, jotka on sovitettu
estämään vahvistimien ulkopuolella heijastuneita signaaleja
palaamasta itse vahvistimeen, joka heijastuminen aiheutuu
esimerkiksi Rayleigh-sironnasta vahvistimiin kytketyissä
optisen johdon kuiduissa.

10

Tämän johdosta kaksisuuntainen siirto edellyttää kahden
erillisen vastaavilla vahvistimilla varustetun siirtojohdon
käyttämistä, joita kumpaakin käytetään siirtoon yhdessä
suunnassa, mikä aiheuttaa suuret liitântäkustannukset.

15

On tehty yrityksiä saada aikaan kaksisuuntainen vahvistus
käyttämällä yhtä ainoata yksisuuntaista vahvistinta käyttäen
hyväksi fluoresoivien seostusaineiden tarjoamaa mahdolli-
suutta vahvistaa signaaleja eri aallonpituuksilla riippumat-
tomalla tavalla. Tälle periaatteelle nojautuva kaksisuuntai-
nen vahvistin on kuvattu S. Seikain ym. kirjoituksessa "No-
vel Optical Circuit Suitable for Wavelength Division Bidi-
rectional Optical Amplification", julkaistu Electronic Let-
tersissä, Vol. 29, No. 14, 8. heinäkuuta 1993, sivut 1268-
1270. Se on laite, joka sijoitetaan optista kuitua käyttä-
vään siirtojohtoon, jossa kaksi eri aallonpituuden omaavaa
signaalia etenevät vastakkaisiin suuntiin, ja joka laite
käsittää aallonpituuden suhteen selektiiviset kytkimet ja
tunnettua tyyppiä oleva yksisuuntaisen seostettuun kuituun
perustuvan vahvistusyksikön kytkettynä toisiinsa passiivisen
optisen kuidun muodostamalla osilla. Kumpikin signaaliaal-
lonpituuksista on seostetun kuidun vahvistuskaistan sisäpuo-
lella. Nämä kaksi eri aallonpituuden omaavaa signaalia pääs-
tetään eri optisille kulkuteille selektiivisten kytkimien
kautta. Nämä kaksi optista kulkutietä osuvat yhteen vain
sitä vahvistavaa kuitua vastaavassa osassa, jossa nämä kaksi
signaalia kulkevat samaan suuntaan. Seuraavassa lähemmin
kuvatulla laitteella on ongelmana epästabiilius, jonka ai-

35

heuttavat sisäiset heijastukset etenevien signaalien aallonpituuksien välillä olevalla aallonpituudella, mikä ongelma voidaan ratkaista vain lisäämällä suodattimia, joista jotkin ovat viritettäviä. Tämän johdosta vaaditaan hyvin mutkikas
 5 rakenne, ja on välttämätöntä käyttää laitteita mainittujen suotimien jatkuvaksi ja tarkaksi virittämiseksi.

Esillä oleva keksintö liittyy erään näkökohdan mukaan kaksisuuntaiseen optiseen vahvistimeen, joka käsittää:

- 10 - optisen vahvistusyksikön, johon kuuluu ainakin yksi optinen eristin ja jolla on vahvistusaallonpituuskaista,
 - kaksi optista tulo- ja lähtöporttia ainakin kahta optista signaalia varten, joilla on vastakkaiset etenemissuunnat ja joilla on vastaavasti ensimmäinen ja toinen aallonpituus,
 15 jotka ovat toisistaan eriävät ja kuuluvat samalle vahvistusaallonpituuskaistalle,
 - kaksi ensimmäisen ja toisen aallonpituuden suhteen selektiivistä optista kytkintä, joilla on ensimmäinen aallonpituuspäästökaista, jolle ensimmäinen aallonpituus kuuluu, ja
 20 toinen aallonpituuspäästökaista, jolle toinen aallonpituus kuuluu, jotka mainitut ensimmäinen ja toinen aallonpituuspäästökaista eivät ole keskenään limittäin,
 jolloin mainittu vahvistusyksikkö on kytketty optisen silta-
 piirin kahden vastakkaisen solmun välille, jonka siltapiirin
 25 muihin vastakkaisiin solmuihin mainitut tulo- ja lähtöportit ovat kytketyt ja jonka solmuissa ensimmäinen ja toinen optisesti selektiivinen kytkin sijaitsevat,
 keksinnön mukaisen vahvistimen ollessa tunnettu siitä, että mainittu ensimmäinen ja toinen selektiivinen kytkin on si-
 30 joitettu mainitun vahvistusyksikön ja mainittujen optisten signaalien mainittujen tulo- ja lähtöportin suhteen symmetrisesti.

Parhaana pidetyssä suoritusmuodossa mainittu vahvistusyksikkö käsittää ainakin yhden erbiumseostetun optisen kuidun.
 35

Kuitu sisältää mieluummin alumiinia ja germaniumia seostusaineiden joukossa; kuitu sisältää mieluummin alumiinia, germaniumia ja lantaania seostusaineiden joukossa.

- 5 Selektiivisten kytkimien mainittu päästökaista on edullisesti vähintään 10 nm:n levyinen.

10 Eräässä erityisessä suoritusmuodossa ainakin toinen mainituista päästökaistoista käsittää ainakin kaksi eri aallonpituuden omaavaa signaalia.

Parhaana pidetyssä suoritusmuodossa aallonpituuden suhteen selektiivisten kytkimien laatuluku (figure of merit) on yhtä suuri tai suurempi kuin 0,5.

15

Esillä oleva keksintö liittyy toisen näkökohdan mukaan kaksisuuntaiseen optiseen vahvistimeen, joka käsittää:

- optisen vahvistusyksikön, joka käsittää ainakin yhden optisen eristimen ja jolla on vahvistusaallonpituuskaista,
- 20 - kaksi optista tulo- ja lähtöporttia ainakin kahta optista signaalia varten, joilla on vastakkaiset etenemissuunnat ja joilla on vastaavasti ensimmäinen ja toinen aallonpituus, jotka ovat toisistaan eriävät,
- ainakin kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä optista
- 25 kytkintä, joilla on aallonpituuspäästökaista, jolle ensimmäinen aallonpituus kuuluu, ja aallonpituusheijastuskaista, jolle toinen aallonpituus kuuluu, jotka mainitut aallonpituuspäästökaistat eivät ole keskenään limittäin,
- jolloin mainittu vahvistusyksikkö on kytketty optisen silta-
- 30 piirin kahteen vastakkaiseen solmuun, jonka siltapiirin muihin vastakkaisiin solmuihin mainitut tulo- ja lähtöportit ovat kytketyt ja joka muodostaa ainakin yhden takaisinkytkentäsilmaan, joka käsittää mainitun vahvistusyksikön eikä enempää kuin kolme mainituista kytkimistä,
- 35 keksinnön mukaisen vahvistimen ollessa tunnettu siitä, että mainittujen aallonpituuden suhteen selektiivisten kytkimien sovitelma on sellainen, että kunkin mainituista takaisinkytkentäsilma-koista kokonaisvaimennus on suurempi kuin vahvis-

timen vahvistus kullakin mainitulle vahvistuskaistalle kuuluvalla aallonpituudella, kun heijastuskyky toisessa mainituista tulo- ja lähtöporteista on vähintään 15 dB eikä suodinelimiä ole käytetty.

5

Esillä olevan keksinnön mainitun toisen näkökohdan parhaana pidetyssä suoritusmuodossa mainitulle kaksisuuntaiselle optiselle vahvistimelle on tunnusomaista se, että optinen sil-
tapiiri käsittää kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä
10 kytkintä, joilla on ensimmäinen päästökaista, ja kaksi aal-
lonpituuden suhteen selektiivistä kytkintä, joilla on toinen
päästökaista, sijoitettuna itse piirin solmuihin, jolloin
kytkimet on sijoitettu vahvistusyksikön suhteen symmetrisesti.

15

Esillä oleva keksintö liittyy erään toisen näkökohdan mukaan kaksisuuntaiseen optiseen vahvistimeen, joka käsittää:

- optisen vahvistusyksikön, johon kuuluu ainakin yksi opti-
20 nen eristin, jolla on vahvistusaallonpituuskaista,
- kaksi tulo- ja lähtöporttia ainakin kahta optista signaalia varten, joilla on vastakkaiset etenemissuunnat ja joilla on vastaavasti ensimmäinen ja toinen aallonpituus, jotka
25 aallonpituudet ovat toisistaan eriävät ja kuuluvat mainitulle vahvistusaallonpituuskaistalle,
- kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä optista, ensimmäistä tyyppiä olevaa kytkintä ja kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä optista, toista tyyppiä olevaa kytkintä,
30
- joilla on vastaavasti ensimmäinen aallonpituuspäästökaista, jolle mainittu ensimmäinen aallonpituus kuuluu, ja toinen aallonpituuspäästökaista, jolle mainittu toinen aallon-
35 pituus kuuluu, jotka mainitut ensimmäinen ja toinen aallonpituuspäästökaista eivät ole keskenään limittäin,

-- ja joilla on vastaavasti ensimmäinen aallonpituusheijastuskaista, jolle mainittu toinen aallonpituus kuuluu, ja toinen aallonpituusheijastuskaista, jolle mainittu ensimmäinen aallonpituus kuuluu,

5

-- joilla kullakin on yksi yhteinen liitäntäkuitu, yksi liitäntäkuitu, joka johtaa ulostuloonsa mainitulle aallonpituuspäästökaistalle kuuluvat signaalit, ja yksi liitäntäkuitu, joka johtaa ulostuloonsa mainitulle aallonpituusheijastuskaistalle kuuluvat signaalit, ja keksinnön mukaiselle vahvistimelle on tunnusomaista se, että ensimmäinen tulo-/lähtöportti on kytketty ensimmäistä tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen yhteiseen kuituun; kuitu, joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen mainitulle päästökaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun, joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen mainitulle heijastuskaistalle kuuluvat signaalit; kuitu, joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen mainitulle heijastuskaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun, joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen mainitulle päästökaistalle kuuluvat signaalit, jolloin yksisuuntainen vahvistusyksikkö on kytketty toista tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen yhteisen kuidun ja toista tyyppiä olevan toisen optisen kytkimen yhteisen kuidun välille siten, että optinen eristin sallii säteilyn pääsyn toista tyyppiä olevasta ensimmäisestä selektiivisestä kytkimestä toista tyyppiä olevaan toiseen selektiiviseen kytkimeen päin olevassa suunnassa; kuitu, joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen mainitulle päästökaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun, joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen mainitulle heijastuskaistalle kuuluvat signaalit; kuitu, joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen mainitulle heijastuskaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun, joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä

olevan toisen selektiivisen kytkimen mainitulle päästökais-
talle kuuluvat signaalit; ja ensimmäistä tyyppiä olevan toi-
sen selektiivisen kytkimen yhteinen kuitu on kytketty toi-
seen tulo-/lähtöporttiin.

5

Esillä oleva keksintö liittyy erään toisen näkökohdan mukaan
kaksisuuntaiseen tietoliikennemenetelmään, joka käsittää:

10 - ensimmäisen optisen signaalin ja toisen optisen signaalin
kehittämisen vastaavasti ensimmäisellä ja toisella aallonpi-
tuudella ensimmäisessä ja toisessa lähetysasemassa;

15 - mainitun ensimmäisen ja toisen signaalin syöttämisen vas-
taavasti tietoliikennejohdon optisen kuidun vastakkaisiin
päihin;

20 - mainitun ensimmäisen ja toisen signaalin vahvistamisen
ainakin kerran johdolle välivahvistimeksi sijoitetussa opti-
sessä vahvistimessa;

20

- mainitun ensimmäisen ja toisen signaalin vastaanottamisen
vastaavaan ensimmäiseen ja toiseen vastaanottoasemaan maini-
tun optisen kuidun vastakkaisessa päässä mainittuun ensim-
mäiseen ja toiseen lähetysasemaan nähden;

25

jolloin mainitun ensimmäisen ja toisen signaalin mainittu
vahvistusvaihe suoritetaan yhdessä ainoassa optisessa vah-
vistimessa, johon kuuluu kuituvahvistusyksikkö, joka käsit-
tää optisen eristimen, ja joka menetelmä käsittää:

30

- kummankin mainituista signaaleista lähettämisen ainakin
kerran ensimmäisen aallonpituuden suhteen selektiivisen op-
tisen kytkimen kautta, ja

35

- kummankin mainituista signaaleista heijastamisen ainakin
kerran toisen aallonpituuden suhteen selektiivisen optisen
kytkimen kautta, sekä vastavirtaan että myötävirtaan maini-
tun vahvistusyksikön suhteen,

menetelmän ollessa tunnettu siitä, että mainitut lähetys- ja vastaanottovaihe tapahtuvat samassa järjestyksessä kummallakin mainituista signaaleista.

- 5 Lisää yksityiskohtia käy ilmi seuraavasta selityksestä, jossa on viitattu oheisiin piirustuksiin, joissa:

- kuvio 1 on keksinnön mukaisen kaksisuuntaisen siirtojohdon kaavio;

10

- kuvio 2 on keksinnön mukaiselle johdolle tarkoitetun liittäntäyksikön kaavio;

- 15 - kuvio 3 on selektiivisen kaksisuuntaisissa vahvistimissa käytettävän heijastuskytkimen kaavio sekä sen spektrinen läpäisykäyrä;

- 20 - kuvio 4 esittää ensimmäistä tyyppiä olevan selektiivisen heijastuskytkimen kahden liittäntäkuittuparin välillä siirrettyjen signaalien spektrivaimennuskäyriä;

- kuvio 5 on tunnetun tekniikan mukaista kaksisuuntaista optista vahvistinta esittävä kaavio;

- 25 - kuvio 6 on patentinhakijan kokeileman kaksisuuntaisen optisen vahvistimen kaavio;

- kuvio 7 esittää kaksisuuntaisen optisen vahvistimen yksityiskohtaista kaaviota keksinnön eräässä suoritussuodossa;

30

- kuvio 8 esittää toista tyyppiä olevan selektiivisen heijastuskytkimen kahden liittäntäkuittuparin välillä siirrettyjen signaalien spektrivaimennuskäyriä;

- 35 - kuvio 9 on keksinnön erään suoritussuodan käsittävän siirtojohdon kaavio;

- kuvio 10 on kuvaaja, joka esittää limittäisiä signaali-

spektrejä kaksisuuntaisen optisen vahvistimen kahdessa ulostulossa kuvion 9 siirtojohdolla;

5 - kuvio 11 on kuvion 9 siirtojohdolla olevien vahvistimien välisestä vaimennuksesta riippuvan BER:n (Bit Error Rate; bittivirhesuhteen) kuvaaja;

10 - kuvio 12 on kaksisuuntaisen optisen vahvistimen yksityiskohtainen kaavio keksinnön toisessa suoritusmuodossa;

- kuvio 13 on graafinen piirros, joka esittää mitattujen spektrien limittymistä kaksisuuntaisen optisen vahvistimen kahdessa ulostulossa optisten tulosignaalien poissaollessa;

15 - kuvio 14 on graafinen piirros, joka esittää mitattujen spektrien limittymistä kaksisuuntaisen optisen vahvistimen kahdessa ulostulossa optisten tulosignaalien läsnäollessa;

20 - kuvio 15 on sellaisen yksisuuntaisen vahvistinyksikön kaavio, jota voidaan käyttää keksinnön kaksisuuntaisessa vahvistimessa;

25 - kuvio 16 on kaksisuuntaisen optisen vahvistimen tarkkailu- ja ohjausjärjestelmän kaavio.

30 Kuten kuviossa 1 on esitetty, esillä olevan keksinnön mukainen kaksisuuntaisen optinen tietoliikennejohto käsittää kaksi pääteasemaa A ja B, jotka kumpikin muodostuvat vastaavasta lähetysasemasta 1A, 1B ja vastaavasta vastaanottoasemasta 2A, 2B.

35 Lähetysasema 1A käsittää erityisesti laserlähettimen, jolla on ensimmäinen aallonpituus λ_1 (esimerkiksi 1533 nm), ja lähetysasema 1B käsittää laserlähettimen, jolla on toinen aallonpituus λ_2 (esimerkiksi 1556 nm).

Lähettimet 1A, 1B ovat lähettämiä, jotka moduloidaan joko suoraan tai ulkoisella moduloinnilla johdon vaatimusten,

erityisesti optisten johtokuitujen kromaattisen dispersi-
on yhteydessä, niiden pituuden ja ennakoitun siirtonopeuden
mukaan.

- 5 Kummankin lähettimen 1A, 1B ulostulo lähetetään vastaavan
lisävahvistimen (booster) 3 sisäänmenoon ja viimeksi maini-
tusta kytkimen 4 sisäänmenoon, joka kytkin on selektiivinen
mainittujen laserlähettimien 1A, 1B asianomaisten aallonpi-
tuuksien suhteen.

10

Selektiivisen kytkimen 4 ulostulo, jossa kytkimessä mainitut
kaksi aallonpituutta λ_1 ja λ_2 multipleksoidaan keskenään
samaan kuituun, on kytketty optisen johdon 5 pääteosaan,
joka johto käsittää optisen kuidun, joka yhdistää kaksi pää-
15 teasemaa A ja B toisiinsa.

- Optisen johdon 5 optinen kuitu on tavallisesti yksimuotokui-
tu, joka on joko askelindeksityyppinen (step index (SI) ty-
pe) tai dispersiosiirotyyppiä (dispersion shifted type) ja
20 joka on tarkoituksenmukaisesti sijoitettu sopivaan optiseen
kaapeliin, ja sen kokonaispituus kunkin vahvistimen välillä
on joitakin kymmeniä (tai satoja) kilometrejä riippuen sii-
tä, mille etäisyydelle yhteyden halutaan ulottuvan.

- 25 Johdolle 5 on sijoitettu esillä olevan keksinnön mukainen
kaksisuuntainen optinen vahvistin, joka on yleisesti osoi-
tettu viitenumerolla 6.

- Vaikka esillä olevassa selityksessä on esitetty vain yksi
30 optinen vahvistin, niin useita optisia vahvistimia voi olla
peräkkäin optisen yhteyden kokonaispituudesta ja sen eri
osien tehoista riippuen; pääteaseman ja vahvistimen tai kah-
den peräkkäisen vahvistimen välinen kuituosuus voi olla esi-
merkiksi noin 100 kilometrin pituinen.

35

Mikäli lähetettävät optiset signaalit kehitetään signaali-
lähteillä, joilla on omat lähetysominaisuudet (mitä tulee
aallonpituuteen, modulointityyppiin, tehoon) ja kuvatul-
le

yhteydelle aikaansaaduista ominaisuuksista eriävät, niin kukin lähetysasema 1A, 1B muodostuisi vastaavasta liitännäysyksiköstä, joka on sovitettu vastaanottamaan alkuperäiset ulkoiset optiset signaalit ja ilmaisemaan ja regeneroimaan ne siirtojärjestelmään sovitettut uudet piirteet omaavina.

Mainitut liitännäysyksiköt kehittävät erityisesti vastaavat optiset toimintesignaalit, joiden aallonpituudet ovat λ_1 , λ_2 (joita lyhyiden vuoksi kutsutaan myös " λ_1 -signaaliksi" ja " λ_2 -signaaliksi") ja jotka on sovitettu järjestelmävaatimukseen, kuten seuraavassa on selitetty.

Saman patentinhakijan US-patenttijulkaisussa 5 267 073, jonka selitys on sisällytetty tähän viitteenä, on kuvattu liitännäysyksiköt, jotka käsittävät erityisesti lähetyssovitin, joka on sovitettu muuntamaan optinen tulosaalaus optiselle siirtojohtolalle sopivaan muotoon, sekä vastaanotto-sovitin, joka on sovitettu muuntamaan siirretty saalaus vastaanottoyksikölle sopivaan muotoon.

Esillä olevan keksinnön järjestelmässä käyttämistä varten lähetyssovitin käsittää mieluummin laserina, joka kehittää lähtösaalalin, ulkoisesti moduloitavaa tyyppiä olevan laserin.

Kaavio, joka esittää lähetysliitännäysyksikköä, joka on esillä olevan keksinnön yhteydessä käytettäväksi sovitettua tyyppiä, on esitetty kuviossa 2, jossa optiset yhteydet on selvyyden vuoksi esitetty yhtenäisellä viivalla ja sähköiset yhteydet katkoviivalla.

Ulkoisesta lähteestä 7 tuleva optinen saalaus vastaanotetaan valoilmalsimella (valodiodilla) 8, joka antaa elektroniseen vahvistimeen 9 syötettävän sähköisen saalalin.

Vahvistimesta 9 saatava sähköinen lähtösaalaus syötetään moduloitavan lasersäteilijän ohjauspiiriin 10, joka lasersäteilijä on yleisesti merkitty viitenumerolla 11 ja joka on

sovitettu kehittämään tulosignaalin informaation sisältävä optinen signaali ennalta valitulla aallonpituudella.

5 Palvelukanavan sallintapiiri (admitting circuit) 12 voidaan tarkoituksenmukaisesti kytkeä ohjauspiiriin 10.

Moduloitava lasersäteilijä 11 käsittää jatkuvasti säteilevän laserin 13 ja esimerkiksi Mach-Zender-tyyppisen ulkoisen modulaattorin 14, jota ohjataan piirin 10 lähtösignaalilla.

10

Piiri 15 tarkistaa laserin 13 säteilyn aallonpituuden pitäen sen vakiona ennalta valitussa arvossa kompensoimalla mahdolliset ulkoiset häiriöt kuten lämpötilan vaikutuksen ja muut sellaiset.

15

Vastaanottoliitännäyksiköt, jotka ovat esitettyä tyyppiä, on selitetty edellä mainitussa patenttijulkaisussa, ja niitä on saatavissa patentinhakijalta kauppanimellä TXT/E-EM.

20

Vaihtoehtoisesti laserlähettimet 1A, 1B voivat olla sellaisia laserlähettämiä, jotka toimivat valituilla aallonpituuksilla ja käyttävät DFB 1533 ja 1556 nm:n lasereita. Jäljempänä selitetyissä lähetyskokeiluissa on käytetty erityisesti DFB 1533 nm:n laseria, joka on suoraan moduloitu bittinopeudella 2,5 Gbit/s, sisällytetty yhdessä vastaanottimen kanssa
25 päätelaitteeseen SDH malli SLX-1/16, jonka PHILIPS NEDERLAND BV, 2500 BV, 's Gravenhage (NL), on kaupallistanut, sekä jatkuvasti säteilevää tyyppiä olevaa DFB 1556 nm:n laseria, jonka valmistaja on ANRITSU CORP., 5-10-27 Minato-ku, Tokio
30 (JP).

Kuviossa 1 lisävahvistimet 3 nostavat lähettimien 1A, 1B kehittämien signaalien tasoa, kunnes saavutetaan arvo, joka on riittävä mahdollistamaan mainittujen signaalien siirtymisen niiden jäljessä ennen vastaanottoasemaa tai vahvistus-
35 elimiä olevan optisen kuituosuuden kautta, pitäen samalla tehotason riittävänä loppupäässä vaaditun siirronlaadun taakamiseksi.

Esillä olevan keksinnön tarkoituksissa ja edellä mainitussa käytössä lisävahvistin 3 on esimerkiksi kaupallisesti saatavaa tyyppiä oleva optinen kuituvahvistin, jolla on seuraavat ominaisuudet:

5

- tuloteho -5 - +2 dBm
- lähtöteho 13 dBm
- toiminta-aallonpituus 1530-1560 nm.

10 Tarkoituksenmukainen malli on patentinhakijalta saatavissa oleva TPA/E-12.

Selektiiviset kytkimet 4 ovat optisia komponentteja, jotka on sovitettu siirtämään kaksi optista signaalia eri aallon-
 15 pituuksilla yhteen lähtökuituun ja vastaavasti erottamaan kaksi limitettyä signaalia yhdestä kuidusta kahteen optiseen lähtökuituun asianomaisista aallonpituuksista riippuen. Mainittujen selektiivisten kytkimien päästökaistanleveyyden edellytetään olevan sovitettu mahdollistamaan signaalien
 20 erottamisen kahdessa suunnassa ilman ylikuulumista.

Selektiiviset kytkimet 21, 22 voivat mieluummin olla kuviossa 3A kaavamaisesti esitettyä tyyppiä; niissä on neljä optista liittäntäkuitua (tulo- tai lähtöporttia), jotka on
 25 osoitettu viitenumeroilla 101, 102, 103, 104, ja ne sisältävät keskiosassaan selektiivisen heijastavan komponentin 105, joka läpäisevänä käyttäytyy kaistanpäästöelementin tavoin ja heijastavana kaistanestoelementin tavoin; ts. tämä komponentti on sovitettu sallimaan ennalta määrätyllä kaistalla
 30 olevan aallonpituuden omaavien signaalien läpipäästön ja heijastamaan sellaisen aallonpituuden omaavat signaalit, joka on mainitun kaistan ulkopuolella. Selektiivisen kytkimen kuituun 101 saapuva tulosignaali, jonka aallonpituus λ_p esimerkiksi on komponentin 105 päästökaistalla, siirtyvät
 35 merkittävästi vaimenematta kuituun 103, ja vastaavasti λ_p -signaalit siirtyvät kuidusta 102 kuituun 104 tai symmetrisesti kuidusta 103 kuituun 101 ja kuidusta 102 kuituun 104. Kuituun 101 saapuva tulosignaali, jonka aallonpituus λ_r on

mainitun kaistan ulkopuolella, taas heijastuu kuituun 104 päin, ja vastaavasti λ_r -signaalit menevät kuidusta 102 kuituun 103 ja symmetrisesti kuidusta 104 kuituun 101 ja kuidusta 103 kuituun 102.

5

Kuviossa 3B esitettyä kaistaa on seuraavassa kutsuttu selektiivisen heijastavan komponentin 105 päästökaistaksi tai laajemmin selektiivisen kytkimen päästökaistaksi, sellaisten aallonpituuksien kaistaksi, jotka ovat lähellä siirron minimivaimennuksen aallonpituutta ja joita selektiivisen heijastavan komponentin 105 kautta tapahtuvassa siirrosta vastaa enintään 0,5 dB:n vaimennus minimivaimennuksen lisäksi. Tämän päästökaistan leveys on kuviossa 3B esitetty merkittynä "-0,5 dB:n KL".

15

Seuraavassa on vastaavasti kutsuttu selektiivisen heijastavan komponentin 105 heijastuskaistaksi tai laajemmin selektiivisen kytkimen heijastuskaistaksi sellaisten aallonpituuksien kaistaa, jotka ovat lähellä heijastuksen minimivaimennuksen aallonpituutta ja joita selektiivisen heijastavan komponentin suorittamassa heijastuksessa vastaa enintään 0,5 dB:n vaimennus minimivaimennuksen lisäksi.

20

Selektiiviset kytkimet on valittu siten, että ainakin osa niiden päästökaistasta ja ainakin osa niiden heijastuskaistasta kuuluu kaksisuuntaisen vahvistusyksikön 6 vahvistuskaistalle ja että aallonpituudet λ_1 ja λ_2 kuuluvat vastaavasti mainitulle päästökaistalle ja heijastuskaistalle.

25

Vaikka edellä mainittuun käyttöön sovitettut selektiiviset kytkimet on kuvattu neljä liitântäkuitua omaavina, niissä voi olla vain kolme liitântäkuitua neljänneen (esimerkiksi viitenumerolla 104 osoitetun) ollessa käyttämätön.

30

Esimerkkinä mainittakoon, että tarkoituksenmukainen optinen kytkin on malli WD1515AY-A3, jonka JDS FIBER INC., Heston Drive, Nepean, Ontario (CA) on kaupallistanut ja jonka rakenne vastaa kuvion 3A yhteydessä esitettyä kuvausta vain

35

sillä erotuksella, että siinä on käytetty kolmea liittäntä-kuitua 101, 102, 103.

5 Suhteellisen spektrivaimennuksen käyrät on esitetty kuviois-
sa 4A ja 4B.

Käyrät esittävät selektiivisen kytkimen tiettyyn kuituun syötetyn signaalin kärsimää vaimennusta eri aallonpituuksilla sen edetessä tiettyyn lähtökuituun asti. Käyrä 4A liittyy
10 erityisesti kuitujen 102 ja 103 välillä etenevien signaalien tapaukseen ja osoittaa merkittävää vaimennusta (> 20 dB) 1533 nm:n tienoille keskittyneelle 10 nm:n kaistalle kuuluvilla aallonpituuksilla ja hyvin pientä vaimennusta (noin 0,5 dB) yli 1543 nm:n aallonpituuksilla. Käyrä 4B, joka
15 liittyy kuitujen 101 ja 103 välillä kulkevien signaalien tapaukseen, on edelliseen verrattuna symmetrinen ja osoittaa hyvin pientä vaimennusta (noin 0,7 dB) 1533 nm:n tienoille keskittyneelle 10 nm:n kaistalle kuuluvilla aallonpituuksilla ja merkittävää vaimennusta (> 20 dB) yli 1543 nm:n aal-
20 lonpituuksilla.

Esitettyä mallia olevalla selektiivisellä kytkimellä edellä määritellyn päästökaistan leveys on noin 10 nm.

25 Analogisesti kuviossa 3B on esitetty selektiivisen kytkimen -20 dB:n päästökaistana aallonpituuskaista, jota vastaa enintään 20 dB:n vaimennus minimivaimennuksen lisäksi siirrossa selektiivisen kytkimen kautta.

30 Tämän päästökaistan leveys -20 dB:n kohdalla ("-20 dB:n KL" kuviossa 3B) on noin 20 nm esitettyä mallia olevalla selektiivisellä kytkimellä.

Selektiivisen kytkimen laatuluku (figure of merit, F.O.M.)
35 määriteltynä päästökaistan leveyden suhteena päästökaistan leveyteen -20 dB:n kohdalla on noin 0,5 esitettyä mallia olevalla selektiivisellä kytkimellä.

Kuviossa 5 on esitetty tunnetun kaksisuuntaisen aallonpituusjakovahvistimen kaavio, jollainen on kuvattu edellä mainitussa Electronics Lettersissä julkaistussa S. Seikain ym. kirjoituksessa. Kaavio on otettu kirjoituksen kuvioista 1.

5

Laite käsittää optisen yksisuuntaisen vahvistinyksikön EDFA, neljä aallonpituuden suhteen selektiivistä kytkintä WSC1, WSC8, WSC9, WSC2 sekä kaksi optista liittintä 106, 107.

- 10 Mainitun kirjoituksen kuviossa esitetty vahvistusyksikkö EDFA käsittää kaksi erbiumseostetun kuidun muodostamaa astetta sekä ensimmäisen optisen eristimen sijoitettuna näiden kahden asteen välille ja toisen optisen eristimen sijoitettuna toisen asteen ulostuloon, jotka kummatkin optiset eristimet on kaaviossa osoitettu viitteellä ISO.

15

Aallonpituuden suhteen selektiiviset optiset kytkimet on mainitussa kirjoituksessa esitetty malleina JDS1535 (WSC1, WSC2) ja JDS1550 (WSC8, WSC9).

20

Kirjoituksen mukaan näiden kahden tyyppin käytön välillä ei ole mitään eroa.

- 25 Selektiivisillä kytkimillä WSC on kaksi kanavaa aallonpituuksilla λ_a ja λ_b 1,533 ja 1,550 μm :n tienoilla.

- 30 Vahvistinpiiri, joka on esitetty liittimien 106 ja 107 välillä olevana, on siltapiiri, jossa selektiivisen kytkimen WSC ominaisuuksien ansiosta kaksi optista vastakkaisiin suuntiin etenevää signaalia eri aallonpituuksilla kulkevat vahvistusyksikön EDFA läpi samaan suuntaan.

- 35 Mainittu kirjoitus esittää sen näkökohdan, että tämä yksinkertainen laitekokoonpano, jossa on käytetty neljää kaupallisesti saatavilla olevaa (ei keskenään erilaista) selektiivistä kytkintä WSC, voi toimia alle 25 dB:n vahvistuksen omaavien vahvistimien tapauksessa, kun taas yli 30 dB:n vahvistuksilla piiri tulee epästabiiliksi selektiivisten kytki-

mien aiheuttamien häviöiden vuoksi. Tämän ongelman ratkaisemiseksi kirjoituksessa on ehdotettu toisen, tyyppiä JDS1535 olevan selektiivisen kytkimen WSC4 käyttämistä silmukan tulohaarassa 1,55 μm :llä sekä kahden optisen viritettävän suotimen TOF1 ja TOF2 käyttämistä tulohaaroissa spontaanin emissiokohinan vähentämiseksi. Mikäli mainitut suotimet korvataan selektiivisillä kytkimillä WSC, järjestelmä tulee epästabiiliksi 1,54 μm :llä selektiivisten kytkimien päästökaistojen ylimenokohdassa.

10

Toisten selektiivisten optisten kytkimien lisääminen ehdotetulla tavalla tekee rakenteen paljon mutkikkaammaksi. Lisäksi tarkkaa ja jatkuvaa säätämistä vaativien viritettävää tyyppiä olevien suotimien käyttö ja siitä johtuen tarkistuselimen käyttö tekevät ehdotetun laitekokoonpanon valmistuksen käytännössä vielä vaikeammaksi.

15

Kuviossa 6 esitetyssä kaaviollisessa esityksessä yleisesti viitenumerolla 6 osoitettu laite vastaa kaksisuuntaista vahvistinta patentinhakijan kokeileman erään laitekokoonpanon mukaan.

20

Se käsittää yhden kaksisuuntaisen vahvistusyksikön, merkitty viitenumerolla 20, selitetty jäljempänä, kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä optista kytkintä 21 ja 22, kaksi optista liittintä 106, 107 ja passiiviset optiset kuituosuudet 23, 29.

25

Kuten kuviossa 6 on esitetty, liitin 106 on liitetty selektiivisen kytkimen 21 kuituun 101. Selektiivisen kytkimen 21 kuidun 102 ja selektiivisen kytkimen 22 kuidun 102 välinen kytkentä on tehty kuidulla 23, ja selektiivisen kytkimen 21 kuidun 104 ja selektiivisen kytkimen 22 kuidun 104 välinen kytkentä on tehty kuidulla 29. Yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 on kytketty selektiivisen kytkimen 21 kuidun 103 ja selektiivisen kytkimen 22 kuidun 101 välille siten, että mainitun yksikön toimintasuunta on selektiivisestä kytkimestä 21 selektiiviseen kytkimeen 22 päin kulkeva. Lopuksi vie-

30

35

lä liitin 107 on liitetty selektiivisen kytkimen 22 kuituun 103.

5 Yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 on optinen vahvistusyksikkö, mieluummin optista johtovahvistintyyppiä, jolle tunnusomaista on vahvistusaallonpituuskaista, jolta toiminta-aallonpituudet λ_1 ja λ_2 kaksisuuntaisen vahvistimen 6 kummassakin suunnassa valitaan. Tarkoituksenmukainen johtovahvistin on esimerkiksi patentinhakijan kauppanimellä OLA/E-MW
10 kaupallistama johtovahvistin, joka on jäljempänä selitetty yksityiskohtaisesti.

Selektiiviset kytkimet 21, 22 ovat kuvion 3A yhteydessä selitettyä tyyppiä.

15

Selektiiviset kytkimet valitaan siten, että ainakin osa niiden päästökaistasta ja ainakin osa niiden heijastuskaistasta kuuluu vahvistusyksikön vahvistuskaistalle ja että aallonpituus λ_1 on mainitulla päästökaistalla ja aallonpituus λ_2 on sen heijastuskaistalla.
20

Tarkoituksenmukaisia selektiivisiä kytkimiä ovat esimerkiksi malli WD1557AY-4, jota edellä mainittu JDS FITEL valmistaa. Se on samankaltainen malli kuin edellä mainittu WD1515AY-A3,
25 joka on kuitenkin varustettu neljällä liitäntäkuidulla 101, 102, 103, 104. Vastaavat spektrivaimennuskäyrät kuitujen 101 ja 104 välillä sekä kuitujen 102 ja 103 välillä ovat käytännöllisesti katsoen samat kuin kuviossa 4A esitetyt. Samaten spektrivaimennuskäyrät kuitujen 101 ja 103 välillä sekä kuitujen 102 ja 104 välillä ovat käytännöllisesti katsoen samat kuin kuviossa 4B esitetyt. Myös tällä selektiivisen kytkimen mallilla laatuluvun (F.O.M.) arvo on noin 0,5.
30

Optiset kytkimet 106, 107 voivat olla sarjan SPC kytkimiä, joita valmistaa SEIKON GIKEN, 296-1 Matsuhidai, Matsudo, Chiba (JP).
35

Kuviossa 6 selektiivisen kytkimen 21 tapauksessa liitäntä-
 kuituun 101 tuleva, aallonpituuden λ_1 omaava tulosa signaali
 kulkee selektiivisen kytkimen läpi muuttumattomana ja tulee
 ulos kuidusta 103; kuituun 104 tuleva λ_2 -signaali heijastuu
 5 ja lähetetään ulostulosta kuituun 101; kuituun 102 tuleva
 λ_2 -signaali heijastuu ja lähetetään ulostulosta kuituun 103.
 Samaten selektiivisen kytkimen 22 tapauksessa liitäntäkuidun
 101 tulosa signaalien esiintyessä, aallonpituudella λ_1 ja aal-
 lonpituudella λ_2 , λ_1 -signaali kulkee selektiivisen kytkimen
 10 läpi muuttumattomana ja tulee ulos kuidusta 103, kun taas
 λ_2 -signaali heijastuu ja lähetetään ulostulosta kuituun 104;
 kuituun 103 tuleva λ_2 -signaali heijastuu ja lähetetään ulos-
 tulosta kuituun 102. Siirtojohdosta liittimen 107 kautta
 tulevalla λ_2 -signaalilla tapahtuu siksi kaksi heijastusta
 15 (22 ja 21), se vahvistetaan vahvistusyksikössä 20, ja sillä
 tapahtuu kaksi muuta heijastusta (22 ja 21) ennen kuin se
 tulee ulos liittimestä 106. Siirtojohdosta liittimen 106
 kautta tuleva λ_1 -signaali sen sijaan siirtyy selektiivisen
 kytkimen 21 läpi, se vahvistetaan, minkä jälkeen se pääste-
 20 tään selektiivisen kytkimen 22 läpi.

Laite pystyy siksi samanaikaisesti vahvistamaan signaalit
 kahdella aallonpituudella kummassakin suunnassa.

25 Kussakin läpipäästössä sen läpi selektiivinen kytkin käyt-
 täytyy kaistanpäästösuotimena (kuten kuviossa 4B on esitet-
 ty) poistaen siten spontaanin emission signaalien mukana
 etenevillä, λ_1 :n ja λ_2 :n välillä olevilla aallonpituuksilla.
 Toisaalta kussakin heijastuksessa selektiivinen kytkin käyt-
 30 täytyy kaistanestosuotimena (kuvio 4A) eikä vaimenna spon-
 taania emissiota.

Edellä kuvatun kaksisuuntaisen vahvistimen 6 ollessa sijoi-
 tettuna kuviossa 1 esitetyn kaavion mukaan optiselle yhtey-
 35 delle, jolla lähetin 1A toimii 1533 nm:llä ja lähetin 1B
 toimii 1556 nm:llä, käyttämällä 26,7 dB:n vaimennusta kussa-
 kin kuidussa 5, on määritetty tehot kuviossa 1 esitetyissä

kohdissa I, II, III, IV, V, VI. Yhteenvedo niistä on seuraavassa taulukossa 1.

TAULUKKO 1

5	Kohta	Teho (dBm)	
		$\lambda_1 = 1533 \text{ nm}$	$\lambda_2 = 1556 \text{ nm}$
	I	+ 11	- 19
	II	- 15,7	+ 7,7
	III	+ 7,7	- 15,7
10	IV	- 19	+ 11
	V	- 20	
	VI		- 20

Esillä olevan keksinnön ensimmäisen laitekokoonpanon mukaisen kaksisuuntaisen optisen vahvistimen vaihtoehtoinen muunnos saadaan aikaan muuttamalla esillä olevaa laitekokoonpanoa käyttämällä selektiivisiä kytkimiä 21', 22', jotka valitaan siten, että aallonpituudet λ_1 ja λ_2 kuuluvat vastaavalle heijastus- ja päästökaistalle, ja kääntämällä samalla λ_1 - ja λ_2 -signaalien etenemissuunta, toisin sanoen kytkemällä optinen liitin 106 siihen siirtojohdon osaan, josta λ_2 -signaali tulee, ja optinen liitin 107 siihen siirtojohdon osaan, josta λ_1 -signaali tulee.

Kuviossa 7 patentinhakijan kokeileman kaksisuuntaisen vahvistimen toinen laitekokoonpano käsittää kaksi selektiivistä optista kytkintä 31 ja 32, yksisuuntaisen vahvistinyksikön 20, kaksi optista liitintä 106, 107, optisen eristimen 33 sekä passiiviset optiset kuituosuudet 34, 35.

30

Kuten kuviossa 7 on esitetty, liitin 106 on kytketty selektiivisen kytkimen 31 kuituun 101. Kytkentä selektiivisen kytkimen 32 kuidun 102 ja selektiivisen kytkimen 31 kuidun 102 välillä on tehty kuidulla 34, johon on sijoitettu optinen eristin 33, joka on sovitettu sallimaan säteilyn eteneminen vain selektiivisestä kytkimestä 32 selektiiviseen kytkimeen 31 päin olevassa suunnassa. Kytkentä selektiivisen kytkimen 31 kuidun 103 ja selektiivisen kytkimen 32 kuidun

104 välillä on tehty kuidun 35 avulla. Yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 on kytketty selektiivisen kytkimen 31 kuidun 104 ja selektiivisen kytkimen 32 kuidun 101 välille siten, että mainitun yksikön toimintasuunta on selektiivisestä kytkimestä 31 selektiiviseen kytkimeen 32 päin. Lopuksi vielä liitin 107 on kytketty selektiivisen kytkimen 32 kuituun 103.

Yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 ja optiset liittimet 106, 107 ovat samaa tyyppiä kuin kuvion 6 yhteydessä selitetyssä laitteessa käytetyt optiset liittimet.

Toiminta-aallonpituudet λ_1 ja λ_2 kaksisuuntaisen vahvistimen kummassakin suunnassa valitaan vahvistusyksikön 20 vahvistuskaistalta.

Optinen eristin 33 on siirrettävän signaalin polarisaatiosta riippumatonta tyyppiä, ja sen eristys on suurempi kuin 35 dB ja heijastuskyky pienempi kuin -50' dB.

Tarkoituksenmukainen eristin on malli DML I-15 PIPT-A S/N 1016, saatavissa ISOWAVE:ilta, 64 Harding Avenue, Dover, New Jersey (US).

Selektiiviset kytkimet 31 ja 32 ovat heijastustyyppisiä selektiivisiä kytkimiä kuten kuvion 3A yhteydessä selitetyt, ja ne valitaan siten, että vastaavat päästökaistat kuuluvat kumpikin yksisuuntaisen vahvistusyksikön 20 vahvistuskais-
talle. Selektiivisten kytkimien 31, 32 päästökaistat sisältävät vastaavasti aallonpituudet λ_1 ja λ_2 . Lisäksi näiden kahden selektiivisen kytkimen päästökaistat eivät ole limit-
tään. Aallonpituudet λ_1 ja λ_2 kuuluvat vastaavasti selektiivisten kytkimien 32, 31 heijastuskaistoille.

Selektiivisenä kytkimenä 31 voidaan käyttää mallia WD1515AX-4, kun taas selektiivisenä kytkimenä 32 voidaan käyttää mallia WD1557AY-4, joita kumpaakin JDS FITEK valmistaa. Viimeksi mainitun piirteet, jotka ovat samanlaiset kuin kuvion 6 laitteessa käytettäväksi sovitettun selektiivisen kytkimen,

on jo edellä kuvattu. Ensin mainitun spektriominaisuudet on esitetty kuvioissa 8A ja 8B. Ne ovat samanlaisia käyriä kuin kuvioissa 4A ja 4B esitetyt, ja tässä viitataankin mainittuja kuvioita koskevaan selitykseen. Erityisesti tässäkin tapauksessa selektiivisen kytkimen laatuluvun (F.O.M.) arvo on noin 0,5. Toisin kuin kuvioissa 4A ja 4B esitetyssä tapauksessa selektiivisen kytkimen päästökaistan keskikohdan aallonpituus mallin WD1515AX-4 tapauksessa on noin 1557 nm.

10 Kuviossa 7 selektiivisen kytkimen 31 tapauksessa selektiivinen kytkin heijastaa yhden signaalin aallonpituudella λ_1 , joka on selektiivisen kytkimen kaistan sisäpuolella ja joka syötetään liittäntäkuituun 101, ja se tulee ulos kuidusta 104; yksi signaali, joka syötetään selektiivisen kytkimen 32
15 kaistan sisäpuolella (ja siksi selektiivisen kytkimen 31 kaistan ulkopuolella) olevalla aallonpituudella λ_2 ja syötetään kuituun 103, päästetään läpi ja lähetetään ulostulosta kuituun 101; yksi kuituun 102 aallonpituudella λ_2 syötetty signaali päästetään läpi ja lähetetään ulostulosta kuituun
20 104.

Selektiivisen kytkimen 32 tapauksessa, liittäntäkuituun 101 syötettyjen signaalien esiintyessä aallonpituuksilla λ_1 ja λ_2 , λ_1 -signaali kulkee muuttumattomana selektiivisen kytkimen läpi ja tulee ulos kuidusta 103, kun taas λ_2 -signaali
25 heijastuu ja lähetetään ulos kuidusta 104; kuituun 103 aallonpituudella λ_2 syötetty signaali heijastuu ja lähetetään ulos kuidusta 102.

30 Siirtojohdosta liittimen 107 kautta tulevalla λ_2 -signaalilla tapahtuu siksi heijastus (32) ja läpipäästö (31), se vahvistetaan vahvistusyksikössä 20 ja sillä tapahtuu jälleen heijastus (32) ja läpipäästö (31) ennen sen tulemistä ulos liittimestä 106. Selektiivinen kytkin 31 heijastaa siirtojohdosta liittimen 106 kautta tulevan λ_1 -signaalin, se vahvistetaan, minkä jälkeen se päästetään selektiivisen kytkimen 32 läpi liittimeen 107.

Tässäkin tapauksessa laite siis pystyy samanaikaisesti vahvistamaan signaalit kahdella aallonpituudella kummassakin suunnassa.

- 5 Selektiiviset kytkimet käyttäytyvät läpäisevänä kullakin kerralla niiden läpi kuljettaessa kaistanpäästösuotimina kuten kuvioissa 4B, 8B on esitetty poistaen siten spontaanin emission signaalien mukana etenevillä λ_1 :n ja λ_2 :n välillä olevilla aallonpituuksilla. Toisaalta kussakin heijastuksessa selektiiviset kytkimet käyttäytyvät kaistanestosuotimina (kuviot 4A, 8A) eivätkä vaimenna spontaania emissiota.

Siksi kummassakin etenemissuunnassa tapahtuu ainakin yksi spontaania emissiota vaimentava komponentin läpipäästö.

- 15 Lisäksi optinen eristin estää selektiivisen kytkimen 31 kuidusta 102 selektiivisen kytkimen 32 kuituun 102 etenevän spontaanin emission, joka muutoin tulisi heijastumisen jälkeen lisätyksi itse selektiivisen kytkimen kuidusta 103
- 20 liittimeen 107 menevään λ_2 -lähtösignaaliin.

- Edellä kuvattua laitetta kokeiltiin yhteydellä, jolla simuloitiin samaa tyyppiä olevaa siirtojohtoa kuin edellä kuvion 1 yhteydessä on selitetty. Tässä käytetty, kuviossa 9 esitetty kokeellinen laitekokoonpano (jossa kuviossa 1 esitettyjä komponentteja vastaaville komponenteille on annettu samat viitenumerot) käsitti kaksi pääteasemaa A ja B, kolme kaksisuuntaista vahvistinta 6 ja neljä säädettävää vaimenninta 5'.

- 30 Käytetyt vahvistimet, jotka on osoitettu viitenumerolla 6, olivat erityisesti kolme keksinnön mukaista kaksisuuntaista vahvistinta kuvion 7 yhteydessä kuvatussa laitekokoonpanossa. Viitenumerolla 5' osoitetut olivat neljä säädettävää
- 35 vaimenninta, joka simuloivat passiivisen optisen kuidun osuutta. Käytetyt vaimentimet olivat mallia VA5, valmistaja JDS FITEL, ja ensimmäisen kokeen aikana ne aseteltiin siten, että kukin aiheutti 27 dB:n vaimennuksen.

Kummassakin suunnassa aallonpituuksilla 1533 nm ja 1556 nm etenevien signaalien teho mitattuna väliasemaan sijoitetun vahvistimen 6 vastaavissa sisäänmenoissa II ja III oli -14 dBm.

5

Kuvio 10 esittää kaksisuuntaisesta vahvistimesta saatavien lähtösignaalien spektrejä; kuvio saatiin asettamalla kohdis-
sa II ja III ilmaistut vastaavat spektrit limittäin optisel-
la spektrianalysointilaitteella malli MS9030A (keskussyksikkö) ja
10 malli MS9701B (optinen yksikkö), valmistaja edellä mainittu
ANRITSU CORP.

Signaalikohinasuhde mitattuna 0,5 nm:n kaistalla oli 24,2 dB
1533 nm:n signaalilla ja 28 dB 1556 nm:n signaalilla.

15

Toinen koe suoritettiin muuttamalla säädettävien vaimenti-
mien 5' vaimennusta kaikkien muiden parametrien osalta muut-
tumattomissa olosuhteissa. Yhdellä vaimennusarvojen joukolla
mitattiin siirtojohdon BER 1533 nm:n signaalilla bittinopeu-
20 della 2,5 Gbit/s moduloituna. Tulokset on esitetty kuviossa
11, jossa y-akselilla on esitetty BER kunkin kahden peräk-
kään olevan kaksisuuntaisen vahvistimen välisestä vaimennuk-
sesta (dB:inä) riippuvana: nähdään että alle 27 dB:n vaimen-
nusarvoilla BER on pienempi kuin 10^{-12} .

25

Esillä olevan toisen laitekokoonpanon mukaisen kaksisuuntais-
sen optisen vahvistimen vaihtoehtoinen muunnos saadaan ai-
kaan muuttamalla esillä olevaa laitekokoonpanoa käyttämällä
selektiivisiä kytkimiä 31', 32', jotka valitaan siten, että
30 aallonpituudet λ_1 , λ_2 kuuluvat vastaaville päästökaistoille
ja että aallonpituudet λ_1 , λ_2 kuuluvat vastaaville heijas-
tuskaisoille, ja kääntämällä samalla λ_1 - ja λ_2 -signaalien
etenemissuunta, toisin sanoen kytkemällä optinen liitin 106
siihen siirtojohdon osaan, josta λ_2 -signaali tulee, ja opti-
35 nen liitin 107 siihen siirtojohdon osaan, josta λ_1 -signaali
tulee.

Kuviossa 12 on esitetty kolmas patentinhakijan kokeilema
kaksisuuntaisen vahvistimen laitekokoonpano, joka käsittää

neljä selektiivistä optista kytkintä 121, 122, 123, 124, yhden yksisuuntaisen vahvistusyksikön 20, kaksi optista liittintä 106, 107 sekä passiiviset optiset kuituosuudet 125, 126, 127, 128, jotka komponentit on kytketty keskenään optisen siltakytkennän muodostamiseksi.

Kuten kuviossa 12 on esitetty, liitin 106 on kytketty selektiivisen kytkimen 121 kuituun 103. Kytkentä selektiivisen kytkimen 121 kuidun 101 ja selektiivisen kytkimen 122 kuidun 102 välillä on tehty kuidun 125 avulla. Kytkentä selektiivisen kytkimen 121 kuidun 102 ja selektiivisen kytkimen 124 kuidun 101 välillä on tehty kuidun 128 avulla. Yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 on kytketty selektiivisen kytkimen 122 kuidun 103 ja selektiivisen kytkimen 124 kuidun 103 välille sillä tavoin, että mainitun yksikön toimintasuunta on selektiivisestä kytkimestä 122 selektiiviseen kytkimeen 124 päin. Kytkentä selektiivisen kytkimen 122 kuidun 101 ja selektiivisen kytkimen 123 kuidun 102 välillä on tehty kuidun 126 avulla. Kytkentä selektiivisen kytkimen 124 kuidun 102 ja selektiivisen kytkimen 123 kuidun 101 välillä on tehty kuidun 127 avulla. Lopuksi vielä liitin 107 on kytketty selektiivisen kytkimen 123 kuituun 103.

Yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 ja optiset liittimet 106, 107 ovat samaa tyyppiä kuin kuvioiden 6 ja 7 yhteydessä selitetyissä laitteissa käytetyt.

Toiminta-aallonpituudet λ_1 ja λ_2 kaksisuuntaisen vahvistimen kummassakin suunnassa valitaan yksisuuntaisen vahvistusyksikön 20 vahvistuskaistalta.

Selektiiviset kytkimet 121, 122, 123, 124 ovat heijastavaa tyyppiä olevia selektiivisiä kytkimiä, jollaiset on kuvattu kuvion 3A yhteydessä, kolmella liitäntäkuidulla 101, 102, 103 varustetussa muodossa. Kytkimet valitaan siten, että ainakin osa vastaavista päästökaistoista ja ainakin osa vastaavista heijastuskaistoista kuuluu yksisuuntaisen vahvistusyksikön 20 vahvistuskaistalle. Kytkimet 121 ja 123 ovat keskenään samanlaiset, ja kytkimet 122 ja 124 ovat myös kes-

kenään samanlaiset. Selektiivisten kytkimien 121, 123 päästökaista käsittää aallonpituuden λ_1 . Selektiivisten kytkimien 122, 124 päästökaista käsittää aallonpituuden λ_2 . Lisäksi selektiivisten kytkimien 121, 123 päästökaista ei ole selektiivisten kytkimien 122, 124 päästökaistan kanssa limittäin. Aallonpituus λ_1 kuuluu selektiivisten kytkimien 122, 124 heijastuskaistalle, ja aallonpituus λ_2 kuuluu selektiivisten kytkimien 121, 123 heijastuskaistalle.

Kuten kuviossa on esitetty, kytkimet ovat siis keskenään samanlaiset ja ne on sijoitettu symmetrisesti signaalien etenemissuuntiin nähden, ja optisessa siltakytkennässä, johon ne on sijoitettu, selektiiviset kytkimet 122 ja 124 ovat niissä optisen sillan kärkekohdissa, joihin yksisuuntaisen vahvistusyksikön 20 kaksi pääteosaa on kytketty, selektiiviset kytkimet 121 ja 123 ovat niissä optisen sillan kärkekohdissa, joihin liittimet siirtojohtoon liittämistä varten on kytketty.

Mitä tulee esimerkiksi selektiivisiin kytkimiin 121, 123, voidaan käyttää mallia WD1515AY-A3, kun taas mitä tulee selektiivisiin kytkimiin 122, 124, voidaan käyttää mallia WD1515AX-A3, kummankin valmistaja on JDS FIDEL. Malli WD1515AY-A3 on edellä jo kuvattu, ja sen spektriominaisuudet on esitetty kuvioissa 4A, 4B. Malli WD1515AX-A3 eroaa mallista 1515AX-4, joka on edellä jo kuvattu patentinhakijan kokeileman toisen optisen vahvistimen laitekokoonpanon yhteydessä, liittäntäkuitujen lukumäärän osalta; siihen liittyvät spektriominaisuudet on esitetty kuvioissa 8A, 8B. Kummankin käytetyn mallin laatuluku (F.O.M.) on noin 0,5.

Kuviossa 12, selektiivisen kytkimen 121 tapauksessa, liittäntäkuituun 103 syötetty, selektiivisen kytkimen kaistan sisäpuolella aallonpituudella λ_1 oleva signaali siirtyy kuituun 101, ja kuituun 102 syötetty, aallonpituudella λ_2 oleva signaali heijastuu kuituun 103 päin.

Selektiivisen kytkimen 122 tapauksessa, liittäntäkuituun 102 syötetty, selektiivisen kytkimen kaistan ulkopuolella aal-

lonpituudella λ_1 oleva signaali heijastuu kuituun 103 päin, ja kuituun 101 syötetty, aallonpituudella λ_2 oleva signaali siirtyy kuituun 103.

- 5 Selektiivisen kytkimen 123 tapauksessa, liitântäkuituun 101 syötetty, selektiivisen kytkimen kaistan sisäpuolella aallonpituudella λ_1 oleva signaali siirtyy kuituun 103; kuituun 103 syötetty, aallonpituudella λ_2 oleva signaali heijastuu kuituun 102 päin.

10

Selektiivisen kytkimen 124 tapauksessa, liitântäkuituun 103 syötetty, selektiivisen kytkimen kaistan ulkopuolella aallonpituudella λ_1 oleva signaali heijastuu kuituun 102 päin; kuituun 103 syötetty, aallonpituudella λ_2 oleva signaali

15

siirtyy kuituun 101.

Selektiivinen kytkin 121 päästää siirtojohdosta liittimen 106 kautta tulevan λ_1 -signaalin lävitseen, selektiivinen kytkin 122 heijastaa sen, yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 vahvistaa sen, minkä jälkeen selektiivinen kytkin 124 heijastaa sen, ja se päästetään liittimeen 107 selektiivisen kytkimen 123 läpi.

20

Selektiivinen kytkin 123 heijastaa siirtojohdosta liittimen 107 kautta tulevan λ_2 -signaalin, selektiivinen kytkin 122 päästää sen lävitseen, yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20 vahvistaa sen, minkä jälkeen selektiivinen kytkin 124 päästää sen lävitseen ja selektiivinen kytkin 121 heijastaa sen liittimen 106 kautta.

30

Tässäkin tapauksessa laite siis pystyy samanaikaisesti vahvistamaan signaalit kahdella aallonpituudella kummassakin suunnassa.

35

Kummallakin aallonpituudella signaaleilla tapahtuu kaksisuuntaisessa vahvistimessa kaksi läpipäästöä ja kaksi heijastusta. Koska kutakin heijastusta ja läpipäästöä vastaa pieni vaimennus (vastaavasti noin 0,5 dB ja 0,7 dB tässä käytettyjen komponenttien tapauksessa), niin tämä selektiiv-

visten kytkimien läpipäästöjen lukumäärä takaa vahvistimelle kummassakin etenemissuunnassa samanlaisen vasteen.

Selektiiviset kytkimet käyttäytyvät kussakin läpipäästössä
 5 kaistanpäästösuotimina, kuten kuvioissa 4B, 8B on esitetty, poistaen siten spontaanin emission signaalien mukana etenevillä, λ_1 :n ja λ_2 :n välillä olevilla aallonpituuksilla. Toisaalta kussakin heijastuksessa selektiiviset kytkimet käyttäytyvät kaistanestosuotimina (kuviot 4A, 8A) eivätkä vaimenna spontaania emissiota.
 10

Sen ansiosta, että selektiiviset kytkimet on sijoitettu symmetrisesti kumpaankin etenemissuuntaan nähden, säteilyn läpipäästö kummassakin etenemissuunnassa tapahtuu spontaania
 15 emissiota vaimentavassa komponentissa ainakin kahdesti.

Esillä oleva kaksisuuntaisen vahvistimen laitekoonpano on erityisen stabiili ja värähtelemätön signaalin aallonpituuksista eriävillä taajuuksilla vaatimatta lisäsuotimia. Eri-
 20 tyisesti se on stabiili optisten liittimien 106, 107 aiheuttamien mahdollisten säteilyn osittaisten takaheijastusten suhteen. Edellä kuvattu vahvistin on erityisen tarkoituksenmukainen sellaisessa tapauksessa, jossa sitä käytetään optisten kuitujen muodostamissa siirtojohdoissa, joissa vahvistin on kytketty johdon kuituihin optisten liittimien
 25 avulla, jotka voivat olla sellaista tyyppiä, että vaikka ne päästävät läpi suurimman osan niiden kautta kulkevien signaalien tehosta ja takaavat siksi itse signaalien optisen jatkuvuuden, ne joissakin olosuhteissa takaheijastavat pienen osan mainituista signaaleista (esimerkiksi virheellisen
 30 kiinnityksen tapauksessa johtuen kahden kuituliitoksen huonosta sijoituksesta mainituissa liittimissä).

Edellä kuvattua laitetta testattiin pienenevillä signaalitehoilla, kunnes saavutettiin -28 dB kanavaa kohti, mittaamalla vastaava vahvistus vahvistimen suurimman vahvistuksen toteamiseksi kyllästymättömissä olosuhteissa; näiden mit-
 35 tausten perusteella määritetty piensignaali vahvistuksen arvo oli noin 32 dB.

Eräässä kokeessa vahvistinta testattiin jättämällä optiset liittimet 106 ja 107 avoimiksi, toisin sanoen kytkemättä siirtojohtoihin. Näissä olosuhteissa käytettyä tyyppiä olevilla liittimillä esiintyi säteilyn takaheijastusta vahvistimesta vaimennuksen ollessa 14 dB.

Kuviossa 13 on esitetty selektiivisen kytkimen 121 kuidusta 103 ja selektiivisen kytkimen 123 kuidusta 103 saatavien lähtösignaalien spektrit ilmaistuna samaa tyyppiä olevilla aallonpituuden suhteen selektiivisillä kytkimillä kuin edellä kuvatut, jotka selektiiviset kytkimet on sijoitettu itse kuituihin (ei esitetty kuviossa 12) ja jotka erottavat vastaavat siirtokaistat (edellä mainitun tyyppistä) optista spektrianalysaattoria varten.

Koe osoitti, että epästabiiliusilmiöitä ei esiintynyt lainkaan.

Tämän arvellaan johtuvan siitä, että mahdolliset vahvistusyksikön sisältävät takaisinkytkentäsilmut, joita voisi muodostua kahta tyyppiä olevien selektiivisten kytkimien päästökaistojen välisillä aallonpituuksilla itse kytkimien kaistojen epätäydellisen erotuksen vuoksi ja liittimiin päin suuntautuvien heijastusten esiintyessä, kummassakin tapauksessa käsittävät ainakin kaksi läpipäästöä komponenttien (selektiivisten kytkimien) kautta, jotka vaimentavat mainittuja aallonpituuksia vähintään 20 dB:n verran. Näissä olosuhteissa, myöskin hyvin voimakkaiden heijastusten esiintyessä liittimillä, värähtelyitä aiheuttavia olosuhteita ei läheskään saavuteta.

Arvellaan että käytettävillä selektiivisillä kytkimillä myöskään 40 dB:n vahvistuksen omaavilla vahvistimilla ei esiinny värähtelyongelmia, vaikka käytetään suuren heijastuskyvyn omaavia liittimiä.

Edellä kuvatulla laitteella suoritettiin myös toinen koe yhteydellä, joka simuloi samaa tyyppiä olevaa siirtojohtoa kuin edellä kuvion 1 yhteydessä on kuvattu. Kokeessa käytet-

ty laitekokoonpano oli sama kuin edellä kuvion 9 yhteydessä on kuvattu, ja viittaammekin tähän kuvaukseen.

Käytetyt vahvistimet 6 olivat kolme esillä olevan keksinnön mukaista kaksisuuntaista vahvistinta kuvion 12 yhteydessä selitetyssä laitekokoonpanossa.

Vaimentimet 5' aseteltiin siten, että ne kukin aiheuttivat 27 dB:n vaimennuksen.

10

Kummassakin suunnassa 1535 nm:n ja 1555 nm:n aallonpituuksilla etenevien signaalien teho keskikohtaan sijoitetun vahvistimen 6 vastaavissa sisäänmenoissa II ja III mitattuna oli -13 dBm molemmissa tapauksissa.

15

Kuvio 14 esittää kaksisuuntaisesta vahvistimesta saatujen lähtösignaalien spektrejä; kuvio saatiin asettamalla kohdis-
sa II ja III ilmaistut vastaavat spektrit limittäin edellä mainittua tyyppiä olevalla optisella spektrianalysaattorilla.

20

Signaalikohinasuhde mitattuna 0,5 nm:n kaistalla oli 26,7 dB 1535 nm:n signaalilla ja 25,5 dB 1555 nm:n signaalilla.

25 Esillä olevan kolmannen laitekokoonpanon mukaisen kaksisuuntaisen optisen vahvistimen eräs vaihtoehtoinen muunnos saadaan muuttamalla esillä olevaa laitekokoonpanoa käyttämällä selektiivisiä kytkimiä 121', 122', 123' ja 124', jotka valitaan siten, että selektiivisten kytkimien 122', 124' päästö-
30 kaista käsittää aallonpituuden λ_1 ; selektiivisten kytkimien 121', 123' päästökaista käsittää aallonpituuden λ_2 ; lisäksi selektiivisten kytkimien 121', 123' päästökaista ei ole selektiivisten kytkimien 122', 124' päästökaistan kanssa li-
mittäin; aallonpituus λ_1 kuuluu selektiivisten kytkimien
35 121', 123' heijastuskaistalle, ja aallonpituus λ_2 kuuluu selektiivisten kytkimien 122', 124' heijastuskaistalle; sekä kääntämällä samalla λ_1 - ja λ_2 -signaalien etenemissuunta (toisin sanoen kytkemällä optinen kytkin 106 siihen siirto-
johdon osaan, josta λ_2 -signaali tulee, ja kytkemällä optinen

kytkin 107 siihen siirtojohdon osaan, josta λ_1 -signaali tulee).

5 Kaksisuuntaiset vahvistimet ja kaksisuuntaiset tietoliikennejärjestelmät esillä olevan keksinnön mukaisina on edellä selitetty sovitettuna eri aallonpituuden omaavien signaalien siirtoon kummassakin suunnassa.

10 Samoja laitteita ja järjestelmiä voidaan kuitenkin myös käyttää WDM (wavelength-division multiplexing; aallonpituusjakokanavointi) -tekniikan mukaan siirrettävien signaalien kaksisuuntaiseen vahvistamiseen, jossa toisin sanoen sopivasti koodattuja signaaleja siirretään eri aallonpituuksilla kumpaankin suuntaan.

15 Tässä tapauksessa on välttämätöntä, että käytettävät selektiiviset kytkimet on valittu siten, että vastaavien päästökaistojen leveys on riittävä sisältämään kummassakin suunnassa siirrettävien signaalien kaksi aallonpituusryhmää.

20 Lisäksi selektiivisten kytkimien laatuluvun (F.O.M.) tulisi olla riittävän suuri, jotta se sallisi selektiivisten kytkimien erottaa näiden kahden aallonpituusryhmän signaalit, ja arvoltaan mieluummin suurempi kuin 0,5.

25 Edellä kuvattujen selektiivisesti heijastavien, kuviossa 3A esitettyjen kytkimien lisäksi esillä oleva keksintö pystyy mahdollistamaan toista tyyppiä olevien aallonpituuden suhteen selektiivisten kytkimien käytön edellyttäen, että ne
30 takaavat riittävän erotuksen käytettävien aallonpituuksien välillä ja siten riittävän suuren laatuluvun (F.O.M.) arvon.

Yksityiskohtaisemmin, kuten kuviossa 15 on esitetty, yksisuuntainen vahvistusyksikkö 20, joka on tarkoitettu käytettäväksi kaksisuuntaisessa optisessa vahvistimessa, käsittää yhden erbiiumseostetun aktiivisen kuidun 24 ja siihen liittyvän pumppulaserin, joka on kytketty siihen dikroiittisen
35 kytkimen 26 välityksellä; yksi optinen eristin 27 on sijoitettu vahvistimen sisäänmenoon kuidun 24 ylävirran puolelle

vahvistettavan signaalin kulkusuunnassa, kun taas toinen optinen eristin 28 on sijoitettu vahvistimen ulostuloon.

5 Vaihtoehtoisessa suoritusmuodossa vahvistin voi olla kaksiasteinen vahvistin; tässä tapauksessa se käsittää lisäksi toisen erbiiumseostetun aktiivisen kuidun, joka on liitetty pumppulaseriin dikroiittisen kytkimen välityksellä; on tar-
koituksenmukaista, että näiden kahden asteen välissä on vielä yksi optinen eristin.

10

Edellä kuvatussa parhaana pidetyssä esimerkissä pumppulaser 25 on mieluummin kvanttikaivotyyppinen laser, jolla on seuraavat ominaisuudet:

- emissioaallonpituus $\lambda_p = 980 \text{ nm};$
- 15 - suurin optinen lähtöteho $P_u = 64 \text{ mW}.$

Edellä mainittua tyyppiä olevia lasereita valmistaa esimerkiksi LASERTRON INC., 37 North Avenue, Burlington, MA (US).

20 Tässä esimerkissä dikroiittinen kytkin 26 on sulatettu kuitu-
-kytkin (melted-fibre coupler), joka on muodostettu yksimuoto-
tokuiduista 980 nm:lle ja 1530-1560 nm:n aallonpituuskais-
talle ja jonka optinen lähtöteho vaihtelee $< 0,2 \text{ dB}$ polari-
saatiosta riippuen.

25

Edellä mainittua tyyppiä olevia dikroiittisia kytkimiä on kaupallisesti saatavilla, ja niitä valmistaa esimerkiksi GOULD INC., Fibre Optic Division, Baymeadow Drive, Glem Burnie, MD (US), ja SIFAM LTD., Fiber Optic Division, Woodland
30 Road, Torquay, Devon (GB).

Optiset eristimet 27 ja 28 ovat sellaista tyyppiä olevia optisia eristimiä, jotka ovat riippumattomia siirrettävän signaalin polarisaatiosta ja joiden eristys on suurempi kuin 35
35 dB ja heijastuskyky pienempi kuin -50 dB. Käytetyt eristimet ovat mainitun ISOWAVE:n mallia MDLI-15PIPT-A S/N 1016.

Edellä kuvatun johtovahvistimen vahvistus on noin 25 dB normaaleissa toimintaolosuhteissa (tulosaalilähtö -23 dBm:n te-

holla kummassakin suunnassa vastaten -20 dBm kaikkiaan).
Optinen kokonaislähtöteho kyllästysolosuhteissa on noin 11
dB.

- 5 Parhaana pidetyssä suoritusmuodossa edellä kuvattua tyyppiä
olevissa johtovahvistimissa on käytetty erbiumseostettua ak-
tiivista kuitua, kuten saman patentinhakijan italialaisessa
patenttihakemuksessa n:o MI94A 000712 huhtikuun 14. päiväl-
tā, 1994 on kuvattu, joka patenttihakemus on sisällytetty
10 tähän viitteenä ja jonka sisällöstä seuraavassa on esitetty
yhteenvedo.

Käytetyn optisen kuidun koostumus ja optiset ominaisuudet on
esitetty yhteenvedon muodossa seuraavassa taulukossa 2.

15

TAULUKKO 2

Kuitu	Al ₂ O ₃		GeO ₂		La ₂ O ₃		Er ₂ O ₃		NA	λ _c
	paino-% (mol-%)		paino-% (mol-%)		paino-% (mol-%)		paino-% (mol-%)			nm
A	4	(2,6)	18	(11,4)	1	(0,2)	0,2	(0,03)	0,219	911

20

jossa

paino-% = (keskimääräinen) oksidipitoisuus sydämessä paino-
prosentteina

mol-% = (keskimääräinen) oksidipitoisuus sydämessä moolipro-
25 sentteina

NA = numeerinen aperttuuri $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$

λ_c = raja-aallonpituus (LP11-raja).

Ainekoostumusten analyysit tehtiin suorittamalla (ennen kui-
30 dun muodostusta) mikroilmaisimella yhdistettynä pyyhkäisy-
elektronimikroskooppiin (SEM Hitachi). Analyysit suoritet-
tiin 1300-kertaisilla suurennuksilla eri kohdissa, jotka
sijaitsivat halkaisijalla ja olivat 200 μm:n päässä toisis-
taan.

35

Esitetty kuitu oli tehty noudattamalla tyhjömetallointitek-
niikkaa kvartsilasiputkessa.

Germaniumin yhdistäminen seostusaineena SiO_2 -matriisiin kuitusydämessä saadaan aikaan synteesivaiheen aikana.

5 Erbiumin, alumiinin ja lantaanin sisällyttäminen kuitusydämeen saatiin aikaan "seostus liuoksessa" -tekniikalla, jossa seostusaineiden kloridien vesiliuos saatetaan kosketukseen kuitusydämen synteesimateriaalin kanssa sen ollessa hiukkas-tilassa ennen esimuovatus aineen kovenemista.

10 Lisää yksityiskohtia "seostus liuoksessa" -tekniikasta on löydettävissä esimerkiksi US-5 282 079:sta, joka on sisällytetty tähän viitteenä.

15 Edellä kuvatuissa esimerkeissä aktiivinen kuitu 24 oli noin 12 metrin pituinen.

Vaikka parhaat tulokset on saavutettu käyttämällä edellä kuvattua kuitua sen eri aallonpituuksilla antaman laakean vahvistuskäyrän vuoksi, niin patentinhakijaa suorittamat kokeilut vahvistimilla, joissa on käytetty Al/Ge-tyyppisiä kuituja, ovat osoittaneet hyväksyttäviä tuloksia.

Vahvistusyksikön toimintakyvyn tarkistuksen suorittamiseksi ja tavallisesti tarvittavien tarkistus- ja varmistussignaalien muodostamiseksi vahvistusyksikkö käsittää sisäänmenossa tarkoituksenmukaisesti yhden suuntakytkimen 150 mieluummin 25 95/5-erotussuhteella, ja sen ulostulo, jossa esiintyy 5 % tulotehosta, lähetetään siihen liitettyyn valodiodiin 151. Vahvistusyksikön ulostulossa on lisäksi toinen suuntakytkin 30 152, mieluummin 99/1-erotussuhteella, ja 1 % signaalista siirtävä kuitu on kytketty vastaavaan valodiodiin 153.

Tarkoituksenmukaiset suuntakytkimet ovat sulatettu kuitu -kytkimiä, joita saa esimerkiksi E-TEK DYNAMICS INC.:iltä, 35 1885 Lundy Ave., San Jose, CA (US).

Valodiodien sähköiset ulostulot 151 ja 153 lähetetään elektroniseen ohjausyksikköön, jota tavanomaisena ei ole esitetty.

Tämä laitekokoonpano sallii vahvistusyksikön toiminnallisuuden tarkistuksen suorittamisen ja tarvittavien varmistuslaitteiden hallinnan. Mikäli sitä kuitenkin käytetään edellä kuvatussa kaksisuuntaisessa laitekokoonpanossa, se ei tarjoa
 5 erillistä informaatiota kahteen eri suuntaan etenevästä signaalista.

Optisen vahvistimeen tulevan ja vahvistimesta lähtevän tulo- ja lähtötehon samanaikaisen tarkistamisen mahdollistamiseksi
 10 kummassakin suunnassa käytetään kuviossa 16 esitettyä rakennetta.

Kuten viimeksi mainitussa kuviossa on esitetty, edellä kuvattua tyyppiä oleva kaksisuuntainen vahvistin 6, joka käsittää ilman tarkistuslaitteita olevan optisen vahvistusyksikön, jollainen on esitetty kuvion 15 lohossa 154, on kytketty kahden suuntakytkimen 155 ja 156 välille tarkoituksenmukaisesti 92/8 erotussuhteella. Pienimmän optisen tehon (2 %) siirtävät kytkimien ulostulot on kytketty vastaaviin
 20 tarkistusvalodiodeihin 157, 158, 159, 160.

Tarkoituksenmukaiset suuntakytkimet ovat sulatettu kuitu-kytkimiä, jotka esimerkiksi edellä mainittu E-TEK DYNAMICS on kaupallistanut.

25 Kuten kuvion 16 kaaviossa on esitetty, suuntakytkimissä on neljä tulo-/lähtöporttia sijoitettuna symmetrisesti. Kytkimeen 155 syötetty, aallonpituuden λ_1 omaava signaali (jonka etenemissuunta kaaviossa on vasemmalta oikealle) jaetaan
 30 esitetyssä suhteessa tällä tavoin vahvistimeen 6 kytkettyyn lähtöporttiin (98 %) ja valodiodiin 158 kytkettyyn lähtöporttiin (2 %). Samaten kytkimeen 156 syötetty, saman aallonpituuden λ_1 omaava signaali jaetaan johtoon kytkettyyn lähtöporttiin (98 %) ja valodiodiin 159 kytkettyyn lähtö-
 35 porttiin (2 %).

Tämä sallii vahvistimeen aallonpituudella λ_1 syötetyn optisen tehon arvon mittaamisen valodiodilla 158 ja vahvistimesta aallonpituudella λ_1 annetun optisen tehon arvon mittaami-

sen valodiodilla 159, millä tavoin saadaan täydellinen informaatio vasemmalta oikealle etenevän kanavan toiminnallisuudesta; samalla tavoin valodiodeilla 160 ja 157 mitataan vastaavasti optinen tulo- ja lähtöteho kaaviossa oikealta vasemmalle etenevän signaalin aallonpituudella λ_2 .

Kunkin suuntakytkimen erotussuhteella on sama arvo kummasakin suunnassa kytkimien symmetriaominaisuuksista johtuen. Mainittu arvo valitaan siten, että siirtojohdolta saadaan erotetuksi riittävä teho valodiodeille 158, 160, jotka ilmaisevat vahvistimeen syötetyn suhteellisen pienen tehon kummassakin suunnassa häittäamatta vahvistimesta saatua lähtötehoa liikaa (jos vahvistimen ulostulossa on saatavissa suuri kokonaisteho, niin riittää että siitä erotetaan pieni osa, jotta valodiodeille 157, 159 saadaan niiden toiminnan kannalta riittävä teho).

Mikäli vastakkaisiin suuntiin etenevillä kanavilla käytetään 1533 nm:n ja 1556 nm:n tienoilla olevia aallonpituuksia λ_1 ja λ_2 ja noin 10 nm:n levyisen päästökaistan omaavia aallonpituuden suhteen selektiivisiä kytkimiä, niin on toivottavaa, että mainittujen selektiivisten kytkimien laatuluku (F.O.M.) on noin 0,5.

Päästökaistan leveyden -0,5 dB:n kohdalla ollessa suurempi kuin 10 nm selektiivisillä kytkimillä vaaditaan vastaavasti suurempi laatuluku (F.O.M.).

Esillä olevan keksinnön erään näkökohdan mukaan on siis saatu selville, että edellä mainittua tyyppiä oleva kaksisuuntainen optinen kuituvahvistin kahta tai useampaa vastakkaisiin suuntiin etenevää, aallonpituuden erottamaa kanavaa varten voidaan saada aikaan ilman epästabiiliutta tai värähtelyä sijoittamalla optisen eristimen sisältävä vahvistusyksikkö siltakytkentään, joka käsittää kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä kytkintä, joilla on ensimmäinen päästökaista, ja kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä kytkintä, joilla on toinen päästökaista, jolloin selektiiviset kytkimet on sijoitettu vahvistimen suhteen symmetrisesti.

Eräässä erityisessä suoritustavassa esillä oleva keksintö voidaan sovittaa myös siirtojohtoon, joka käsittää useita kanavia kumpaakin siirtosuuntaa kohti, edellyttäen että kummankin siirtosuunnan kanavat kuuluvat selektiivisten kytkimien päästökaistalle siten, että mainittujen kanavien välillä on riittävä erotus.

Esillä olevan keksinnön erään näkökohdan mukaan on siis saatu selville, että värähtelyilmiöiden esiintyminen kaksisuuntaista tyyppiä olevassa vahvistimessa voidaan estää myöskin siihen sisältyvän vahvistusyksikön suurten vahvistusarvojen tapauksessa sekä paikallisten heijastusten esiintyessä optisen piirin tietyissä kohdissa johtuen esimerkiksi suhteellisen suuren heijastuskertoimen omaavien optisten liittimien käyttämisestä, jos käytettyjen selektiivisten liittimien sovitelma on sellainen, että millään aallonpituudella ei muodostu vahvistusyksikön sisältäviä silmukoita, kokonaisvaimennuksen ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin siihen sisältyvän vahvistimen tai vahvistusyksikön suurin vahvistus.

Tämä voidaan saada aikaan optisessa vahvistinpiirissä erityisesti sellaisella komponenttien sovitelmalla, että kukin tiettyyn suuntaan etenevä signaali kohtaa heijastukset ja lähetykset selektiivisissä optisissa kytkimissä samassa järjestyksessä.

Patenttivaatimukset

1. Kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että se käsittää:

5 - optisen vahvistusyksikön (20), johon kuuluu ainakin yksi optinen eristin ja jolla on vahvistusaallonpituuskaista,

10 - kaksi optista tulo- ja lähtöporttia (106, 107) ainakin kahta optista signaalia varten, joilla on vastakkaiset etenemissuunnat ja joilla on vastaavasti ensimmäinen ja toinen aallonpituus (λ_1 , λ_2), jotka ovat toisistaan eriävät ja kuuluvat samalle vahvistusaallonpituuskaistalle,

15 - kaksi ensimmäisen ja toisen aallonpituuden suhteen selektiivistä optista kytkintä (21, 22), joilla on ensimmäinen aallonpituuspäästökaista, joka sisältää mainitun ensimmäisen aallonpituuden, ja toinen aallonpituuspäästökaista, joka sisältää mainitun toisen aallonpituuden, jotka mainitut ensimmäinen ja toinen aallonpituuspäästökaista eivät ole keskenään limittäin, mainitun vahvistusyksikön ollessa kytketty
20 optisen siltapiirin kahden vastakkaisen solmun välille, jonka siltapiirin muihin vastakkaisiin solmuihin mainitut tulo- ja lähtöportit ovat kytketyt ja jonka solmuissa ensimmäinen ja toinen optisesti selektiivinen kytkin sijaitsevat, ja
25 että

mainittu ensimmäinen ja toinen selektiivinen kytkin (21, 22) on sijoitettu mainitun vahvistusyksikön (20) ja mainittujen optisten signaalien mainittujen tulo- ja lähtöportin (106,
30 107) suhteen symmetrisesti.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että mainittu vahvistusyksikkö käsittää ainakin yhden erbiumseostetun optisen kuidun (24).

35

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että mainittu seostettu

optinen kuitu (24) käsittää alumiinia ja germaniumia seostusaineiden joukossa.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että mainittu seostettu optinen kuitu (24) käsittää alumiinia, germaniumia ja lantania seostusaineiden joukossa.

5. Patenttivaatimuksen 2 mukainen kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että selektiivisten kytkimien (21, 22) mainittu päästökaista on edullisessa tapauksessa vähintään 10 nm:n levyinen.

6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että ainakin toinen mainituista päästökaistoista käsittää ainakin kaksi eri aallonpituuden omaavaa signaalia.

7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että aallonpituuden suhteen selektiivisten kytkimien (21, 22) laatuluku on yhtä suuri tai suurempi kuin 0,5.

8. Kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u siitä, että se käsittää:

- optisen vahvistusyksikön (20), johon kuuluu ainakin yksi optinen eristin ja jolla on vahvistusaallonpituuskaista,

30 - kaksi optista tulo- ja lähtöporttia (106, 107) ainakin kahta optista signaalia varten, joilla on vastakkaiset etenemissuunnat ja joilla on vastaavasti ensimmäinen ja toinen aallonpituus (λ_1 , λ_2), jotka ovat toisistaan eriävät,

35 - ainakin kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä optista kytkintä (21, 22), joilla on ensimmäinen aallonpituuspäästökaista, jolle ensimmäinen aallonpituus kuuluu, ja toinen aallonpituusheijastuskaista, jolle toinen aallonpituus kuu-

luu, jotka mainitut aallonpituuskaistat eivät ole keskenään
 limittäin, mainitun vahvistusyksikön (20) ollessa kytketty
 optisen siltapiirin kahden vastakkaisen solmun välille, jon-
 ka siltapiirin muihin vastakkaisiin solmuihin mainitut tulo-
 5 ja lähtöportit (106, 107) ovat kytketyt, joka siltapiiri
 muodostaa ainakin yhden takaisinkytkentäsilmaan, joka kä-
 sittää mainitun vahvistusyksikön eikä enempää kuin kolme
 mainituista kytkimistä, ja että

10 mainittujen aallonpituuden suhteen selektiivisten kytkimien
 sovitelma on sellainen, että kunkin mainituista takaisinkyt-
 kentäsilmaukoista kokonaisvaimennus on suurempi kuin vahvis-
 timen vahvistus kullakin mainitulle vahvistuskaistalle kuu-
 luulla aallonpituudella, kun heijastuskyky toisessa maini-
 15 tuista tulo- ja lähtöporteista on vähintään 15 dB eikä suo-
 dinelimiä ole käytetty.

9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen kaksisuuntainen optinen
 vahvistin, t u n n e t t u siitä, että optinen siltapiiri
 20 käsittää kaksi aallonpituuden suhteen selektiivistä kytkintä
 (21, 22), joilla on ensimmäinen päästökaista, ja kaksi aal-
 lonpituuden suhteen selektiivistä kytkintä, joilla on toinen
 päästökaista, ja jotka sijaitsevat itse piirin solmuissa,
 joissa kytkimet on sijoitettu vahvistusyksikön suhteen sym-
 25 metrisesti.

10. Kaksisuuntainen optinen vahvistin, t u n n e t t u
 siitä, että se käsittää:

30 - optisen vahvistusyksikön (20), johon kuuluu ainakin yksi
 optinen eristin ja jolla on vahvistusaallonpituuskaista,

- kaksi tulo- ja lähtöporttia (106, 107) ainakin kahta op-
 tista signaalia varten, joilla on vastakkaiset etenemissuun-
 35 nat ja joilla on vastaavasti ensimmäinen ja toinen aallonpi-
 tuus, jotka aallonpituudet ovat toisistaan eriävät ja kuulu-
 vat mainitulle vahvistusaallonpituuskaistalle,

- kaksi ensimmäistä tyyppiä olevaa aallonpituuden suhteen selektiivistä optista kytkintä (121, 123) ja kaksi toista tyyppiä olevaa aallonpituuden suhteen selektiivistä optista kytkintä (122, 124),

5

-- joissa vastaavasti on ensimmäinen aallonpituuspäästökaista, jolle mainittu ensimmäisen aallonpituus kuuluu, ja toinen aallonpituuspäästökaista, jolle mainittu toinen aallonpituus kuuluu, jotka mainitut ensimmäinen ja toinen aallonpituuspäästökaista eivät ole keskenään limittäin,

10

-- ja joilla vastaavasti on ensimmäisen aallonpituusheijastuskaista, jolle mainittu toinen aallonpituus kuuluu, ja toinen aallonpituusheijastuskaista, jolle mainittu ensimmäinen aallonpituus kuuluu,

15

-- joilla on yksi yhteinen liitântäkuitu (103), yksi liitântäkuitu (101), joka johtaa ulostuloonsa mainitulle aallonpituusheijastuskaistalle kuuluvat signaalit, ja yksi liitântäkuitu (102), joka johtaa ulostuloonsa mainitulle aallonpituuden heijastuskaistalle kuuluvat signaalit, ja että

20

ensimmäinen tulo-/lähtöportti (106) on kytketty ensimmäistä tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen (121) yhteiseen kuituun (103); kuitu (101), joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen (121) mainitulle päästökaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun (102), joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen (122) mainitulle heijastuskaistalle kuuluvat signaalit; kuitu (102), joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen (121) mainitulle heijastuskaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun (101), joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen (124) mainitulle päästökaistalle kuuluvat signaalit; yksisuuntainen vahvistusyksikkö (20) on kytketty toista tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen (122) yhteisen kuidun (103) ja toista tyyppiä olevan toisen

25

30

35

optisen kytkimen (124) yhteisen kuidun (103) välille siten, että optinen eristin sallii säteilyn pääsyn toista tyyppiä olevasta ensimmäisestä selektiivisestä kytkimestä (122) toiseen selektiiviseen kytkimeen (124) päin olevassa suunnassa;

5

kuitu (101), joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan ensimmäisen selektiivisen kytkimen (122) mainitulle päästökaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun (102), joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen (123) mainitulle heijastuskaistalle kuuluvat signaalit; kuitu (102), joka johtaa ulostuloonsa toista tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen (124) heijastuskaistalle kuuluvat signaalit, on kytketty kuituun (101), joka johtaa ulostuloonsa ensimmäistä tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen (123) päästökaistalle kuuluvat signaalit; ensimmäistä tyyppiä olevan toisen selektiivisen kytkimen (123) yhteinen kuitu (103) on kytketty toiseen tulo-/lähtöporttiin (107).

20 11. Kaksisuuntainen tietoliikennemenetelmä, t u n n e t t u siitä, että se käsittää:

- ensimmäisen optisen signaalin ja toisen optisen signaalin kehittämisen vastaavasti ensimmäisellä ja toisella aallonpituudella ensimmäisessä ja toisessa lähetysasemassa;

- mainitun ensimmäisen ja toisen signaalin syöttämisen vastaavasti tietoliikennejohdon optisen kuidun vastakkaisiin päihin;

30

- mainitun ensimmäisen ja toisen signaalin vahvistamisen ainakin kerran johdolle sijoitetussa optisessa vahvistimessa;

35 - mainitun ensimmäisen ja toisen signaalin vastaanottamisen vastaavaan ensimmäiseen ja toiseen vastaanottoasemaan mainitun optisen kuidun vastakkaisessa päässä mainittuun ensimmäiseen ja toiseen lähetysasemaan nähden; jolloin mainitun

ensimmäisen ja toisen signaalin mainittu vahvistusvaihe suoritetaan yhdessä ainoassa optisessa vahvistimessa, johon kuuluu kuituvahvistusyksikkö, joka käsittää optisen eristimen,

5

- kummankin mainituista signaaleista siirtämisen ensimmäisen aallonpituuden suhteen selektiivisen optisen kytkimen läpi ainakin kerran, ja

10

- kummankin mainituista signaaleista heijastamisen ainakin kerran toisen aallonpituuden suhteen selektiivisen optisen kytkimen kautta, sekä vastavirtaan että myötävirtaan mainitun vahvistusyksikön suhteen, siten, että mainitut lähetys- ja vastaanottovaihe tapahtuvat samassa järjestyksessä kum-

15

mallakin mainituista signaaleista.

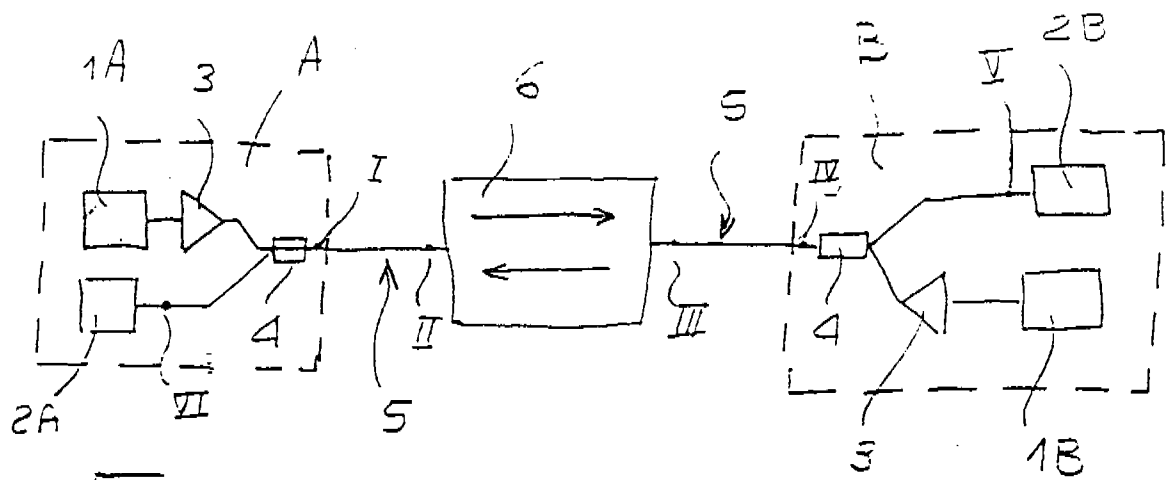


Fig. 1

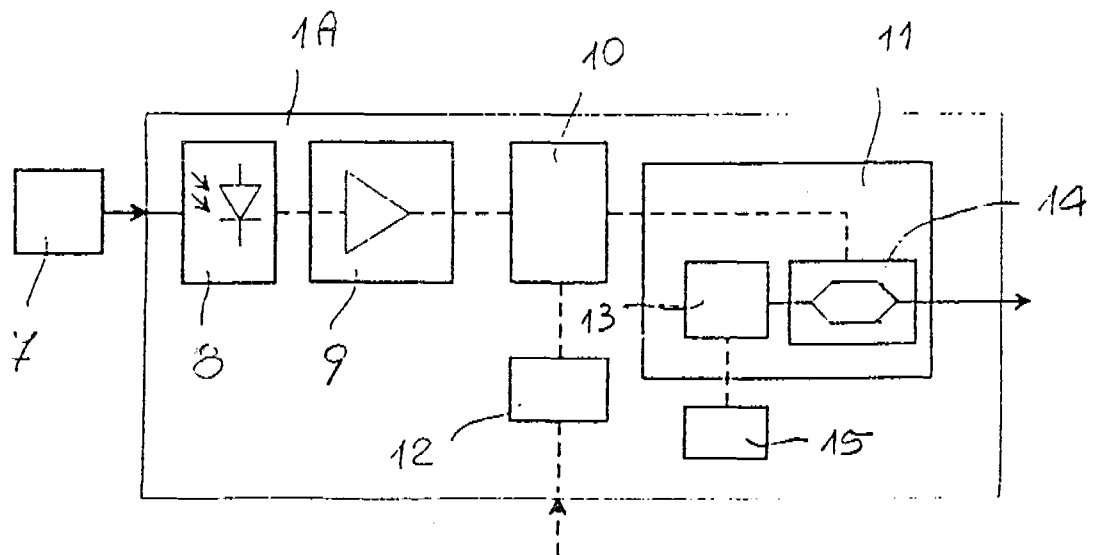


Fig. 2

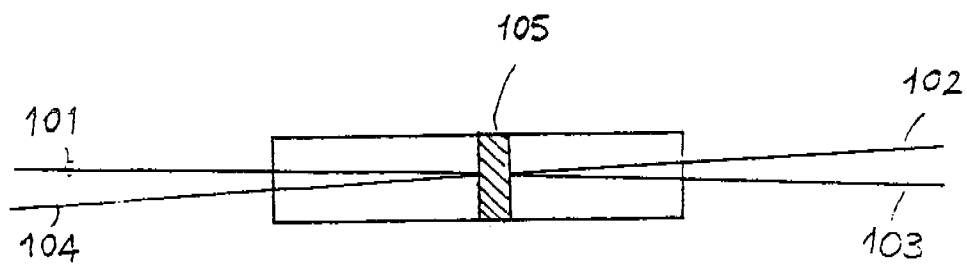


Fig. 3A

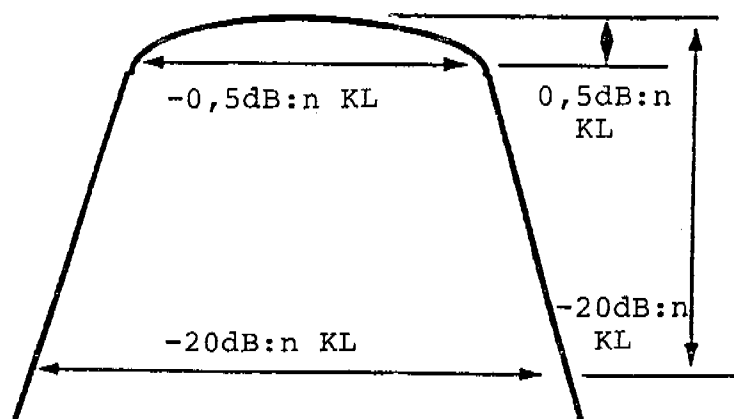


Fig. 3B

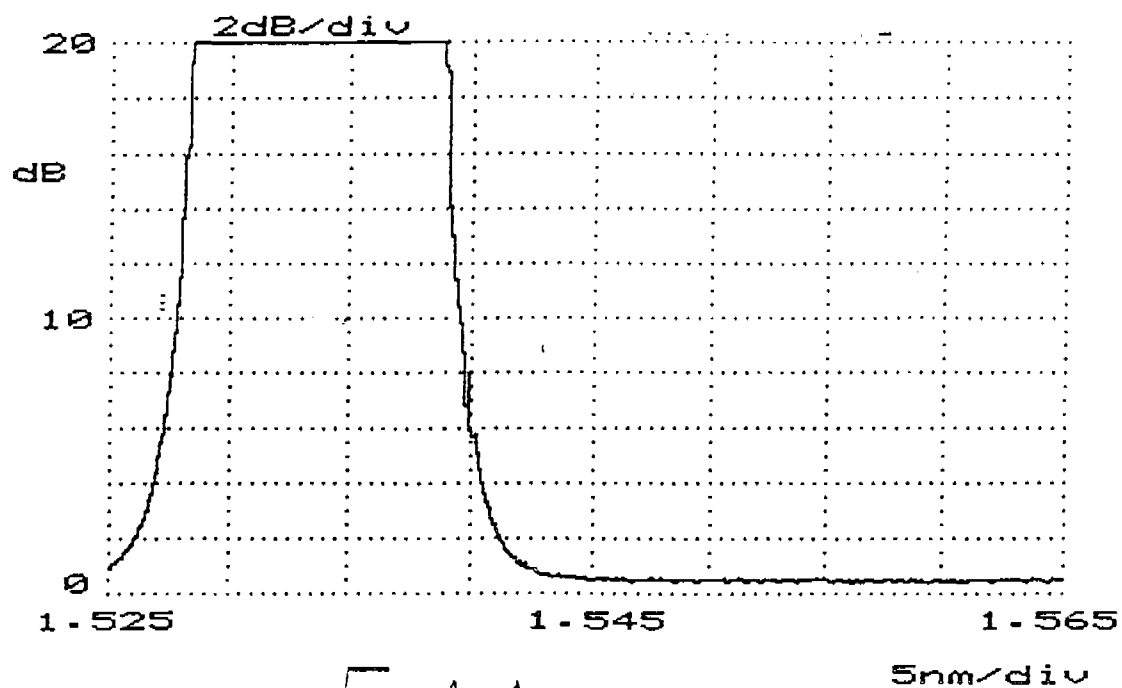


Fig. 4 A

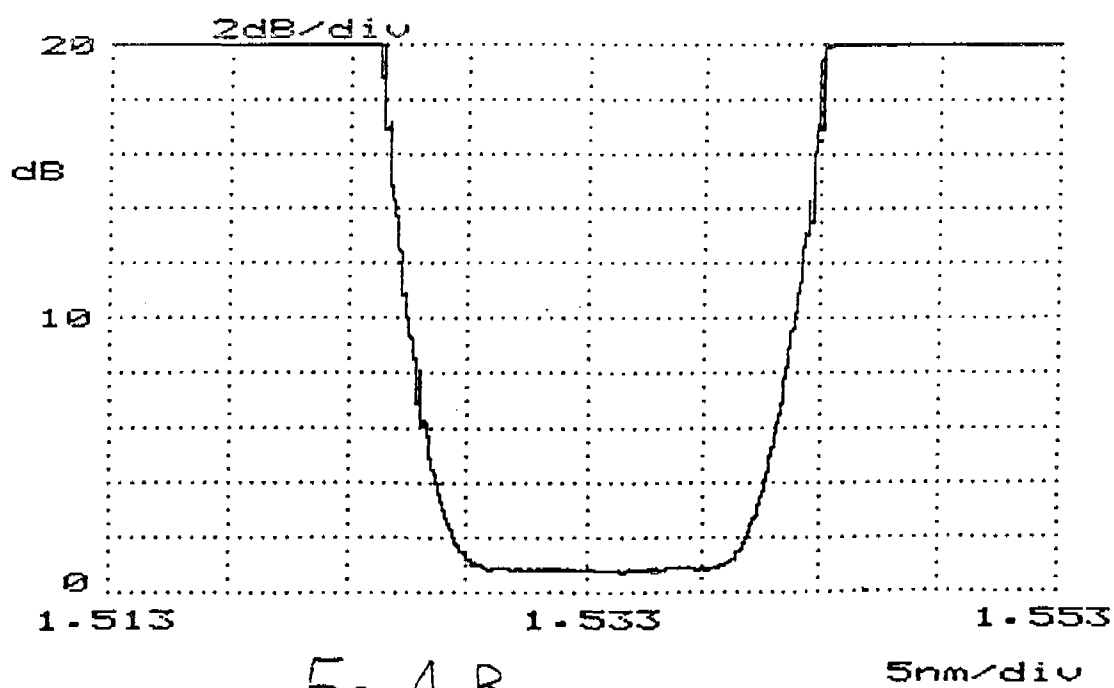


Fig. 4 B

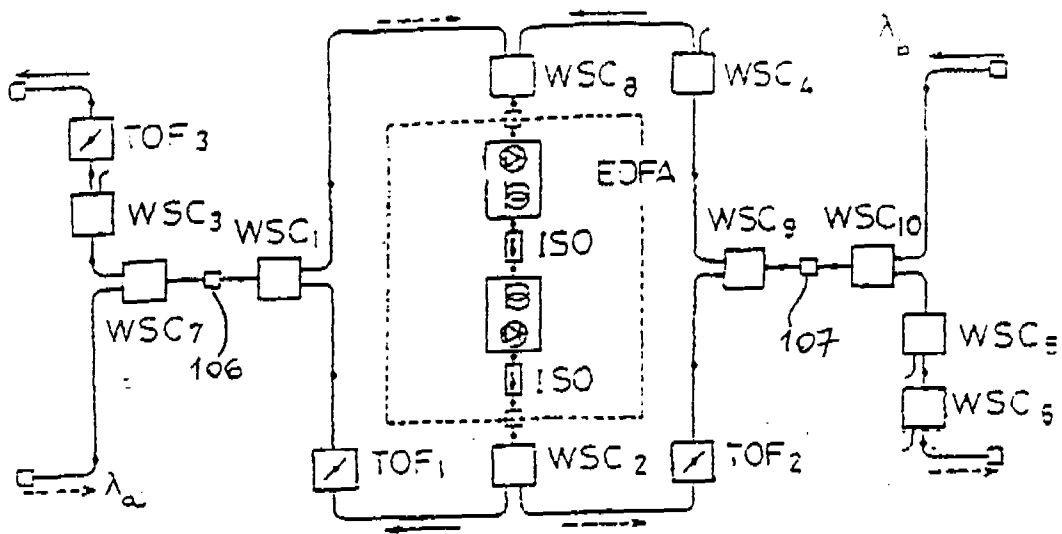


Fig. 5

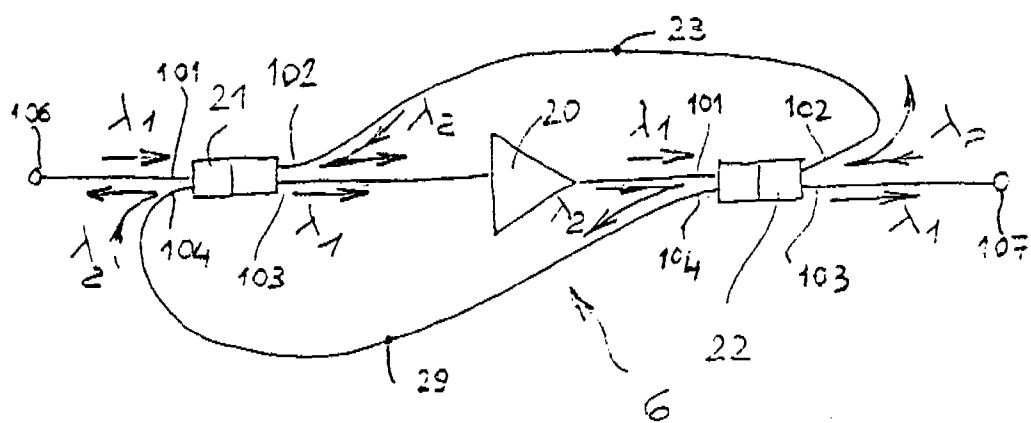


Fig. 6

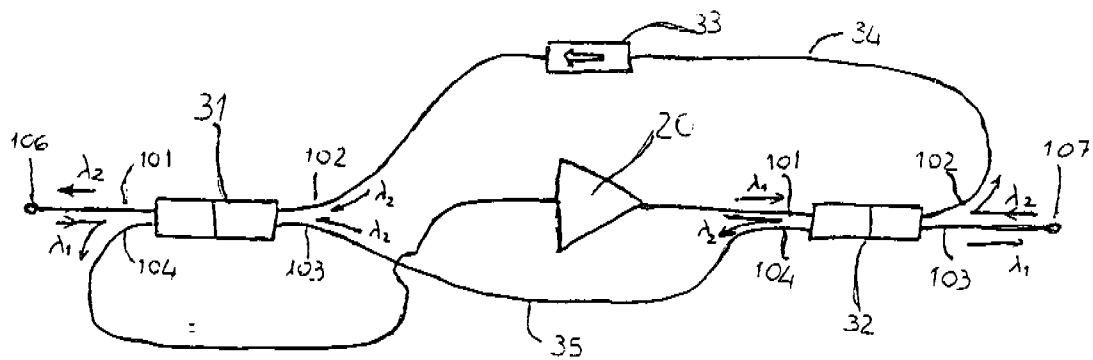


Fig. 7

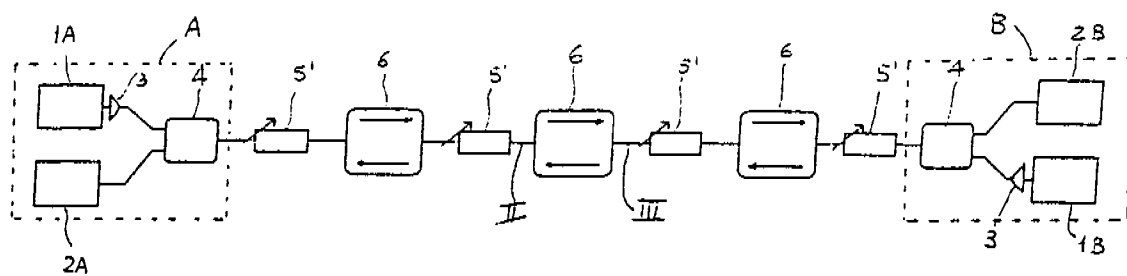


Fig. 9

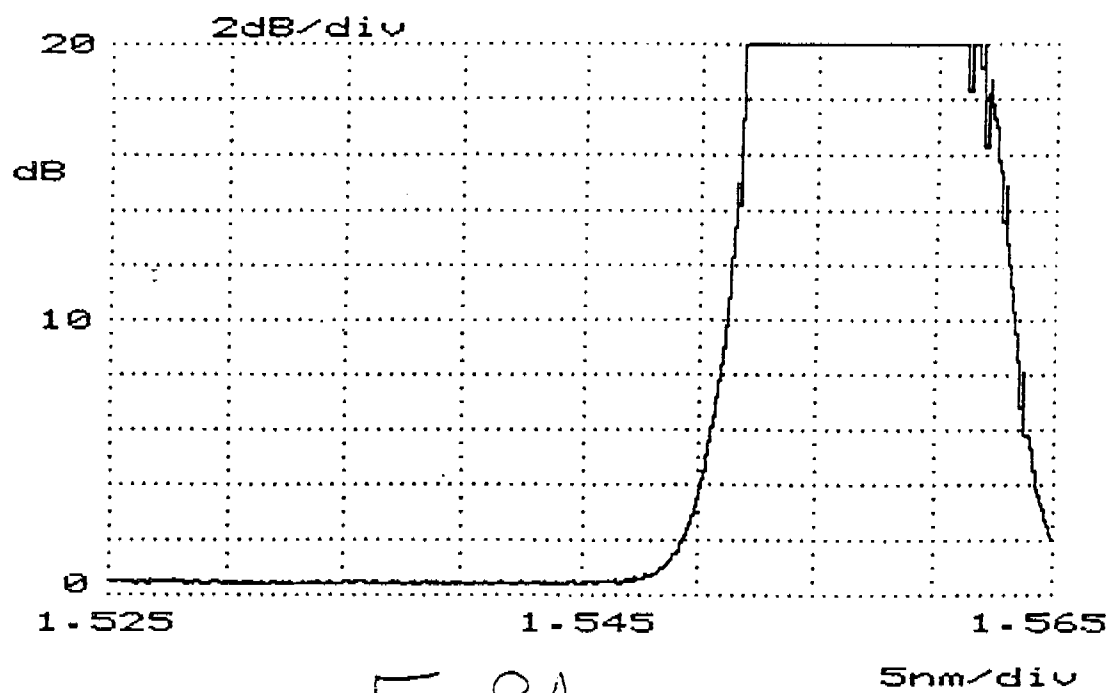


Fig. 8A

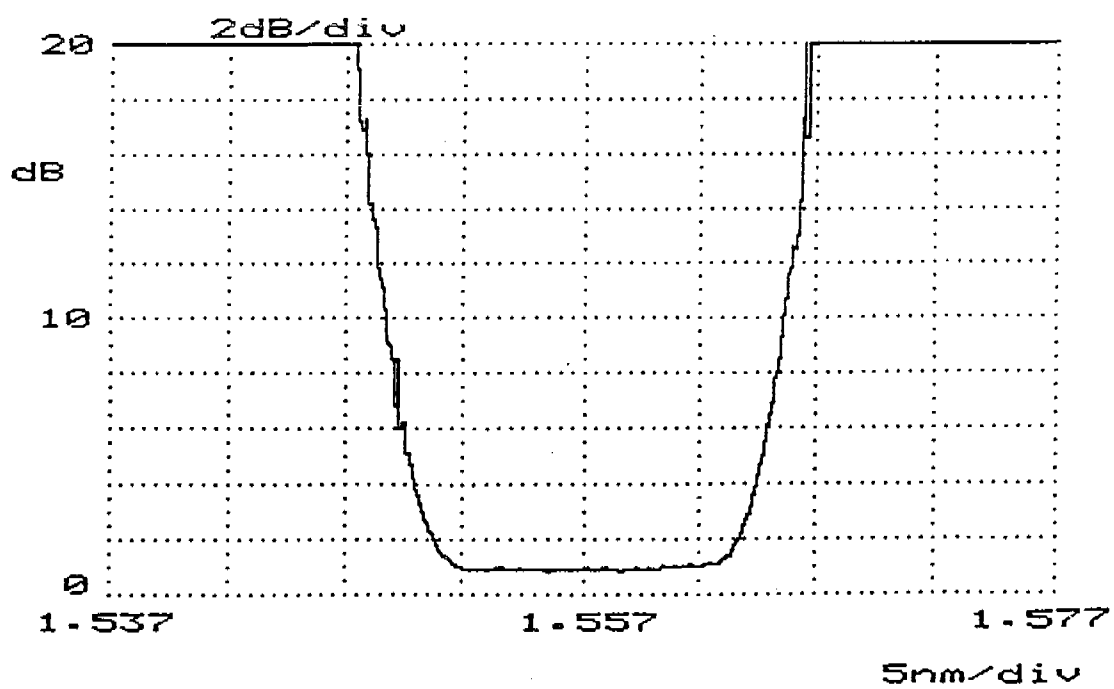


Fig. 8B

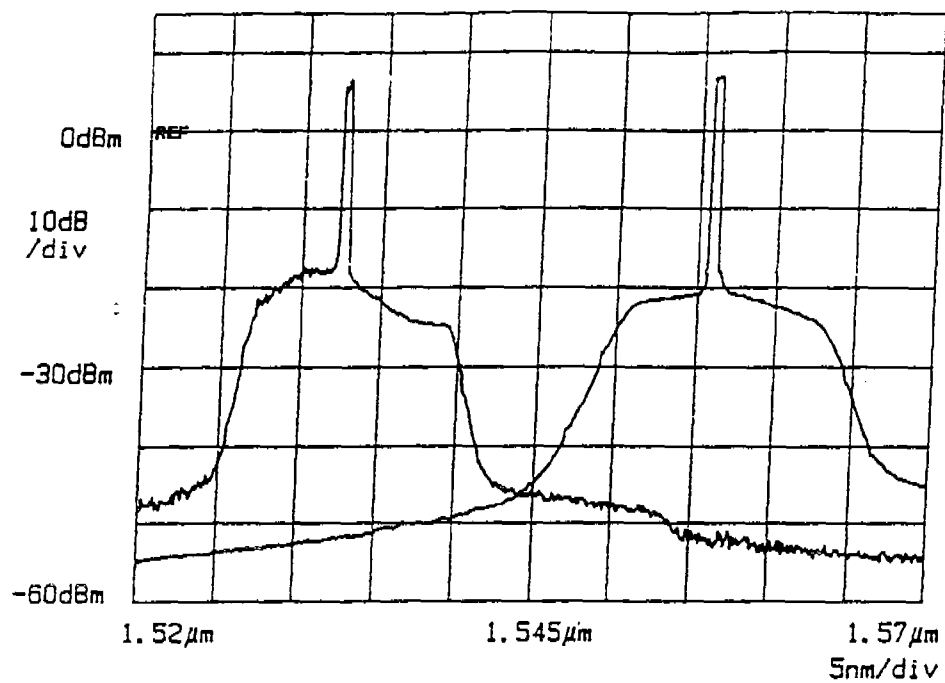


Fig 10

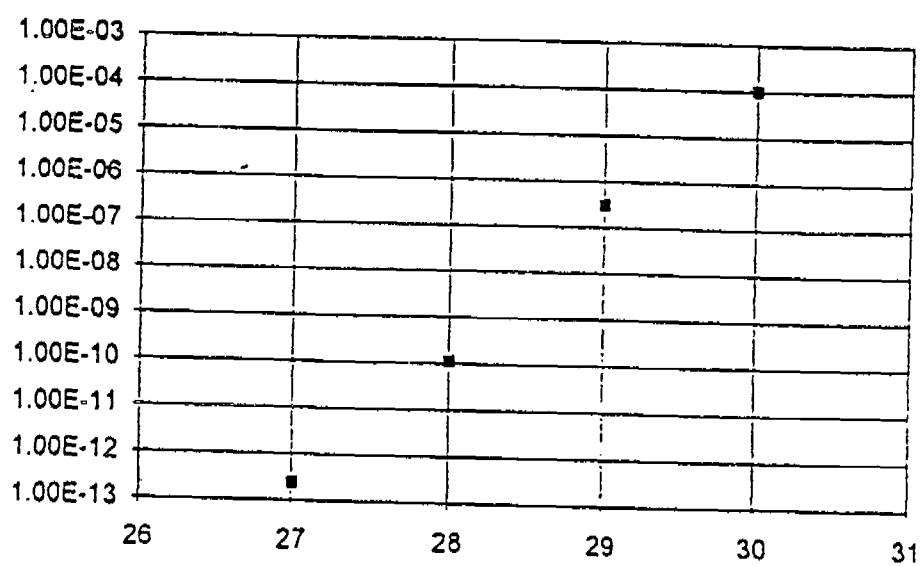


Fig 11

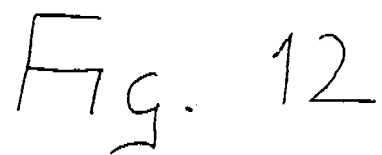


Fig. 12

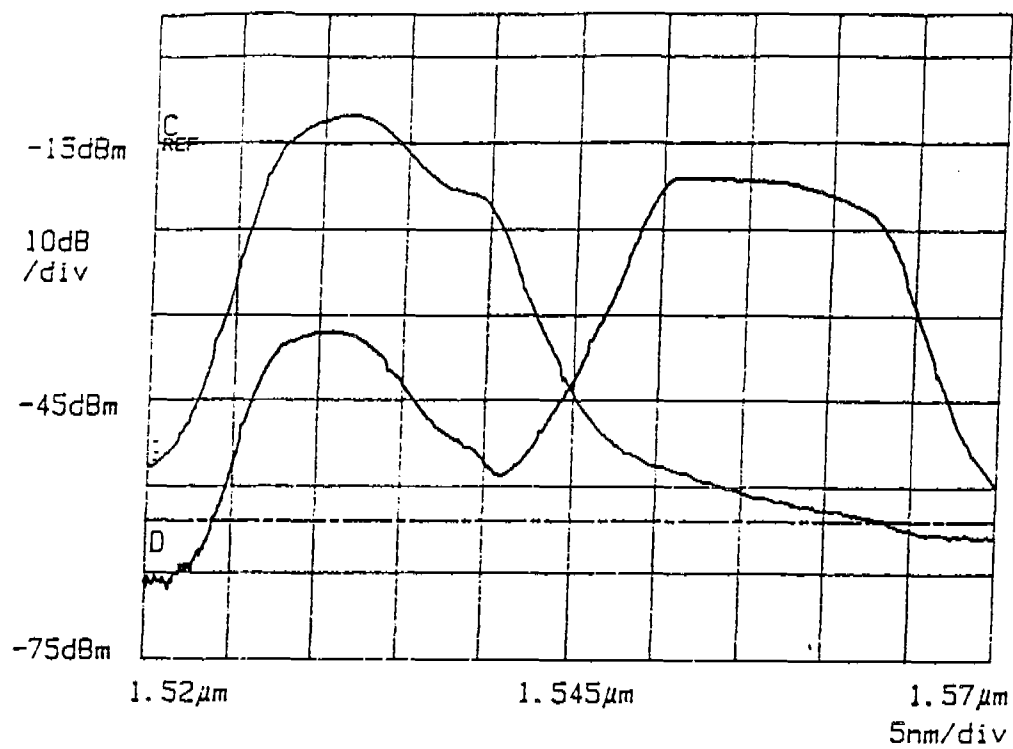


Fig. 13

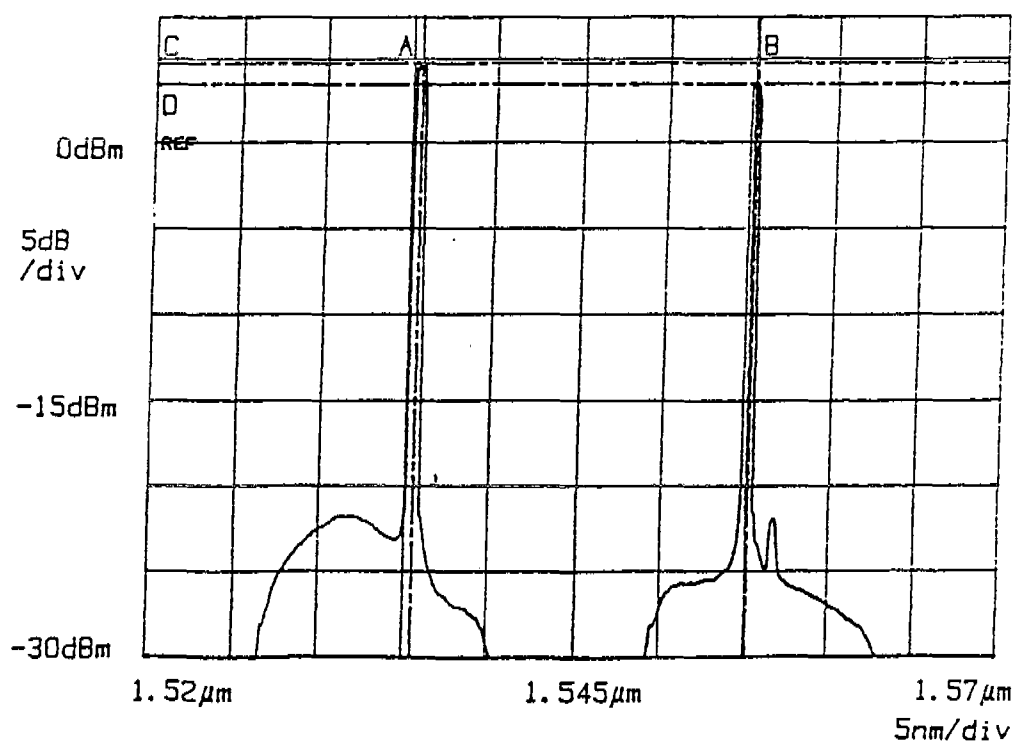


Fig. 14

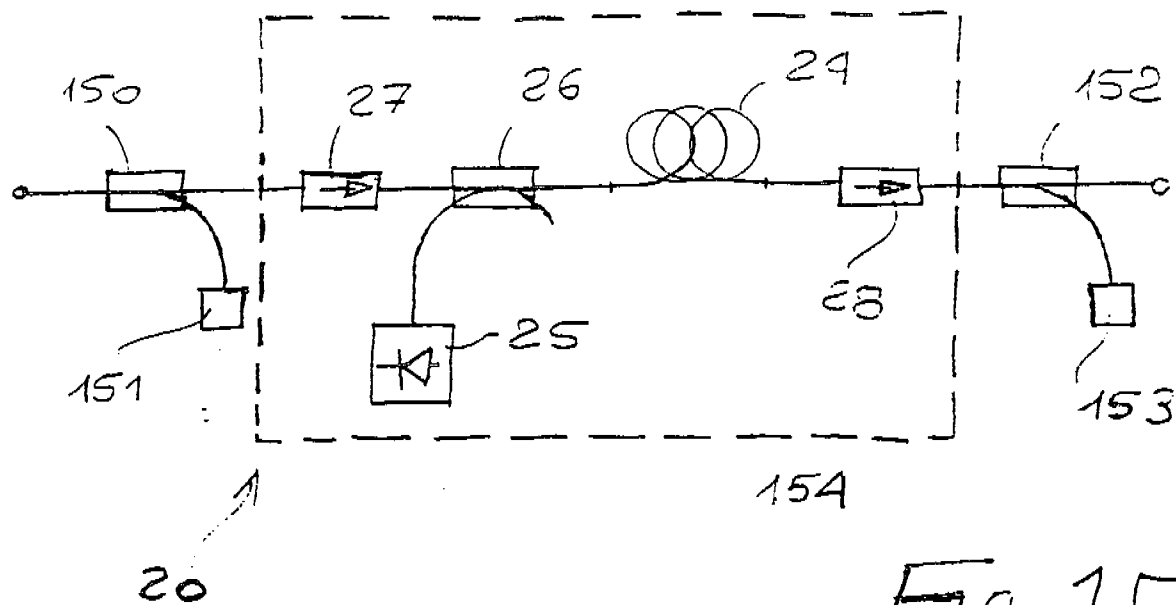


Fig. 15

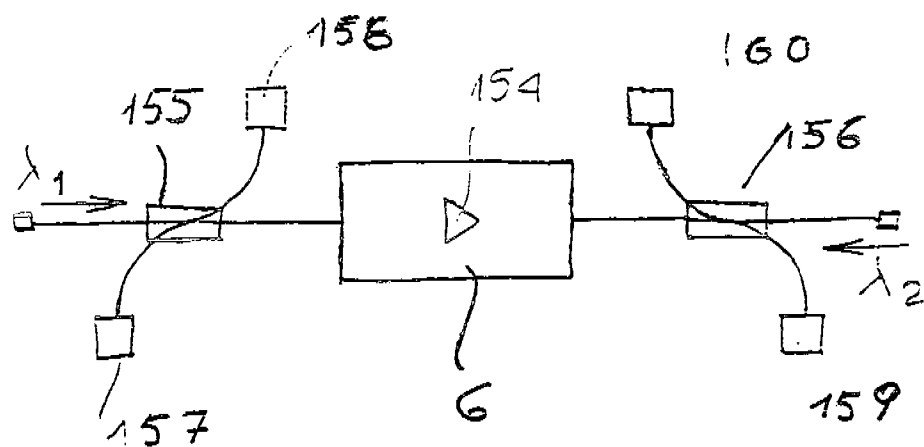


Fig. 16