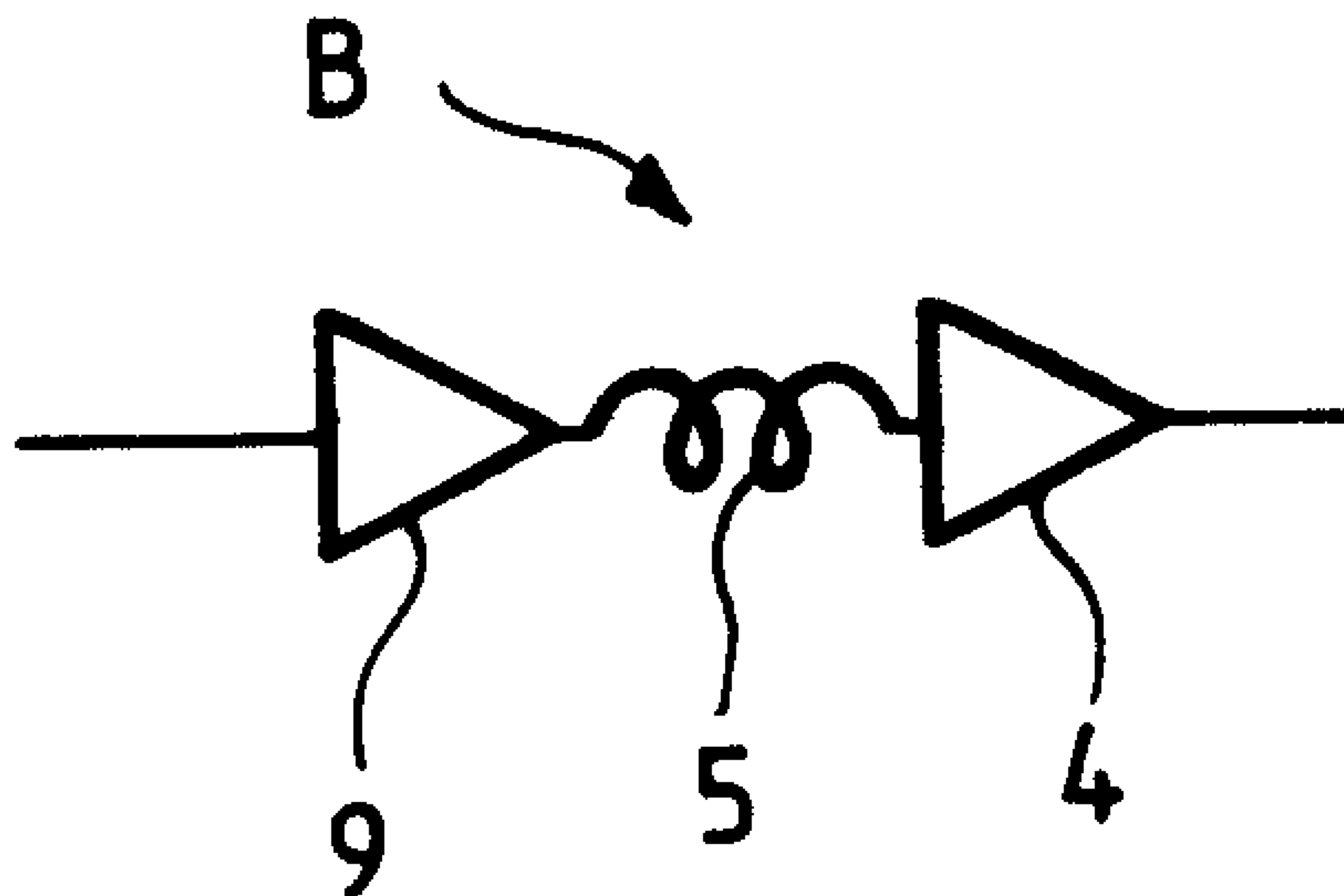




(22) Date de dépôt/Filing Date: 2000/01/27  
 (41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2000/08/18  
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2006/04/11  
 (30) Priorité/Priority: 1999/02/18 (99 02 030) FR

(51) Cl.Int./Int.Cl. *H04B 10/18* (2006.01),  
*G02B 6/34* (2006.01), *G02B 6/036* (2006.01)  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
SANSONETTI, PIERRE, FR;  
MONTMORILLON, LOUIS-ANNE, FR  
 (73) Propriétaire/Owner:  
ALCATEL, FR  
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : SYSTEME, LIGNE ET PROCEDE DE TRANSMISSION A FIBRE OPTIQUE  
 (54) Title: FIBRE OPTIC TRANSMISSION PROCESS, SYSTEM AND LINE



(57) Abrégé/Abstract:

La fibre optique de ligne (F) de ce système est unimodale et a une très grande surface effective de mode s'accompagnant d'une forte dispersion chromatique et /ou d'une forte pente spectrale de cette dispersion. Des moyens de compensation sont associés à cette fibre pour compenser au moins une majeure partie de cette dispersion et/ou de cette pente. Ils sont intégrés dans des blocs répéteurs (B) répartis sur la ligne de transmission (L). L'invention s'applique aux télécommunications.

Abrégé

La fibre optique de ligne (F) de ce système est unimodale et a une très grande surface effective de mode s'accompagnant d'une forte dispersion chromatique et /ou d'une forte pente spectrale de cette dispersion. Des moyens de compensation sont associés à cette fibre pour compenser au moins une majeure partie de cette dispersion et/ou de cette pente. Ils sont intégrés dans des blocs répéteurs (B) répartis sur la ligne de transmission (L).

L'invention s'applique aux télécommunications.

Systeme, ligne et procede de transmission à fibre optique

La présente invention concerne les systèmes de transmission dans lesquels des fibres optiques dites « de ligne » guident des signaux optiques qui portent des informations à transmettre. Elle concerne plus particulièrement le cas où ces fibres sont du type unimodal aux longueurs d'onde utilisées.

Quelque soit son type, une fibre de ligne présente des pertes. Dans le cas d'une transmission à longue distance ces pertes sont compensées par des amplificateurs ou répéteurs répartis sur la longueur d'une ligne de transmission formée à l'aide d'une succession de telles fibres. Cette ligne présente alors la forme d'une succession de segments terminés chacun par un amplificateur et raccordés en série. Pour abaisser le coût du système il est souhaité d'augmenter autant que possible la longueur de ces segments. Mais chaque amplificateur a un bruit propre croissant avec son gain, ce qui, compte tenu des pertes en ligne, limite cette longueur.

La fibre de ligne présente aussi une dispersion chromatique et une pente spectrale de cette dispersion. Cette dispersion dépend de la longueur d'onde porteuse, c'est à dire de la longueur de l'onde qui porte le signal transmis. Elle peut déformer ce signal. Par ailleurs la capacité du système, c'est à dire le débit d'informations pouvant être transmis, est typiquement accrue par un multiplexage selon lequel plusieurs longueurs d'onde porteuses sont utilisées pour porter l'information. Dans ce cas la pente de la dispersion s'oppose à ce qu'une même valeur de dispersion puisse être obtenue pour chacune de ces longueurs d'onde. Or des valeurs de dispersion chromatique trop élevées peuvent entraîner une déformation excessive des signaux. C'est pourquoi il est connu de corriger périodiquement cette déformation grâce à des compensateurs de dispersion ayant une dispersion et éventuellement une pente de dispersion de signes opposés à celles de la fibre de ligne. Mais, dans le cas d'une transmission sur longue distance, ces compensateurs introduisent des pertes d'autant plus grandes que la dispersion linéique à

compenser est plus forte. C'est pourquoi il est généralement souhaité de limiter la dispersion linéique des fibres de ligne.

Des systèmes de transmission anciens, les fibres de ligne posées initialement avaient été choisies pour présenter une faible dispersion à la longueur d'onde porteuse qui était alors préférée, à savoir 1300 nm. Mais il est apparu plus tard qu'une gamme de longueurs d'onde autour de 1550 nm était préférable parce qu'elle permettait d'utiliser des amplificateurs à fibres dopées à l'erbium. Les valeurs élevées de dispersion que ces fibres posées présentaient à ces nouvelles longueurs d'onde sont alors apparues incompatibles avec les débits d'information élevés souhaités. Une solution a alors été considérée qui était d'insérer un compensateur de dispersion en sortie de chacun des segments de la ligne de ce système. Elle a été mise en œuvre parce que son coût était moindre que celui de la pose d'une nouvelle fibre qui aurait été adaptée à la nouvelle gamme de longueur d'onde.

Par ailleurs pour élever la qualité de la transmission des systèmes connus en élevant leur rapport signal sur bruit, les spécialistes ont cherché à augmenter le niveau de puissance en sortie des amplificateurs de ces systèmes. Mais ils ont été limités par le développement d'effets non linéaires dégradant la qualité de la transmission. L'importance de tels effets résulte de valeurs trop élevées du champ électrique optique qui accompagne la propagation des ondes guidées. Pour un niveau donné de la puissance des ondes guidées, la valeur de ce champ est d'autant plus faible que la fibre de la ligne utilisée offre à ces signaux une surface effective de mode plus élevée.

Cette surface dépend de la longueur d'onde porteuse de ces signaux et elle est définie par la formule :

$$S_{\text{eff}} = 2\pi \left( \int \Psi^2(r) \cdot r \cdot dr \right)^2 / \int \Psi^4(r) \cdot r \cdot dr,$$

dans laquelle les deux intégrales sont définies de zéro à l'infini,  $r$  est la distance à l'axe de la fibre et  $\Psi$  est l'amplitude du champ électrique optique. Elle peut être considérée comme l'aire dans laquelle la puissance des signaux optiques se répartit dans chaque section droite de cette fibre.

Pour pouvoir élever le rapport signal sur bruit, les spécialistes ont souhaité que cette surface soit aussi grande que possible. Mais ils savaient que s'ils cherchaient à augmenter cette surface au maximum, ils seraient amenés à augmenter la dispersion chromatique de la fibre. Il est en effet bien connu que cette dispersion est la somme de deux composantes dont les signes sont généralement opposés, à savoir une « dispersion de matériau » et « une dispersion de guide ». La première de ces deux composantes étant imposée par le matériau et tendant à être prépondérante, une diminution de leur somme ne peut résulter que d'une augmentation de la valeur absolue de la seconde. Or cette dernière est proportionnelle à l'écart d'indice entre le cœur et la gaine de la fibre. Lorsqu'on cherche à diminuer la dispersion de la fibre on est donc amené à augmenter cet écart d'indice, ce qui tend à diminuer la surface effective de mode.

C'est pourquoi, dans le cas où on doit installer un nouveau système de transmission à fibre optique sur longue distance, il est considéré à l'époque actuelle qu'il convient de limiter les valeurs de la dispersion chromatique de la fibre de ligne utilisée, ce qui a inévitablement pour effet de limiter la surface effective de mode de cette ligne. Cette surface est typiquement comprise entre 70 et 120  $\mu\text{m}^2$  pour des fibres dont la dispersion est de quelques ps/(nm.km).

La présente invention a notamment pour but de permettre de réaliser pour un coût limité un système de transmission sur longue distance utilisant des fibres de ligne unimodales et offrant une bonne qualité de transmission tout en permettant de transmettre un débit élevé d'informations.

Dans ce but elle a notamment pour objet un tel système caractérisé par le fait qu'il utilise une fibre de ligne unimodale ayant une très grande surface effective de mode s'accompagnant d'une forte dispersion chromatique et/ou d'une forte pente spectrale de cette dispersion, des moyens de compensation étant associés à cette fibre et compensant au moins une majeure partie de cette dispersion et/ou de cette pente.

Dans le cadre de cette invention il a été trouvé que, pour la réalisation d'un système de transmission nouveau, des compensateurs de dispersion de type connu permettaient de compenser convenablement les dispersions chromatiques d'une fibre de ligne ayant une surface effective de mode bien supérieure à celles des fibres connues pour une telle réalisation. Il a aussi été trouvé que les pertes introduites par ces compensateurs étaient plus que compensées par une augmentation du niveau de puissance des signaux pouvant alors être guidés par cette fibre sans augmenter excessivement les effets non linéaires affectant ces signaux dans cette fibre en sortie des amplificateurs. Cette invention a ainsi permis d'élever le rapport signal sur bruit apparaissant en sortie de ligne, et donc les performances du système. Par ailleurs la marge qu'elle dégage quant à la dispersion chromatique de la fibre de ligne permet de limiter le coût de cette dernière.

Ainsi, la présente invention prévoit une ligne de transmission à fibre optique, cette ligne (L) incluant une succession de segments (S) raccordés en série, chacun de ces segments s'étendant d'une entrée à une sortie de ce segment et incluant une succession d'éléments raccordés en série, cette succession d'éléments incluant à partir de cette entrée:

- 20 - une fibre optique unimodale s'étendant sensiblement jusqu'à ladite sortie de segment pour guider au moins une onde porteuse, cette fibre ayant une surface effective de mode et une dispersion chromatique pour cette onde et ayant aussi une pente spectrale de cette dispersion, cette fibre constituant une fibre de ligne (F), et
- un compensateur de dispersion disposé à ladite sortie de ce segment et compensant au moins une majeure partie de ladite dispersion chromatique de la fibre de ligne et/ou de ladite pente de cette dispersion,

ladite ligne de transmission étant caractérisé par le fait que ladite surface effective de mode de la fibre de ligne est supérieure à  $150 \mu\text{m}^2$  pour une dite onde porteuse ayant une longueur d'onde de 1550 nm.

4a

Un autre aspect de l'invention prévoit un procédé de transmission à fibre optique, ce procédé incluant une étape de réalisation d'une ligne de transmission à fibre optique (F) apte à guider des signaux optiques à partir d'une entrée jusqu'à une sortie de cette ligne, cette ligne incluant une succession de segments (S) raccordés en série, chacun de ces segments s'étendant d'une entrée à une sortie de ce segment et incluant une succession d'éléments raccordés en série, cette succession d'éléments incluant à partir de cette entrée:

- une fibre optique s'étendant sensiblement jusqu'à ladite sortie de ce segment pour guider une onde porteuse, cette fibre ayant une dispersion chromatique et une surface effective de mode pour cette onde et ayant aussi une pente de cette dispersion et des pertes, cette fibre constituant une fibre de ligne (F), et
  - un amplificateur optique disposé à ladite sortie de ce segment et compensant au moins une majeure partie desdites pertes de la fibre de ligne, ce procédé incluant en outre les étapes de:
    - connexion d'un émetteur (T) à ladite entrée de la ligne de transmission, cet émetteur étant apte à recevoir des informations et à fournir en réponse des signaux optiques portant ces informations,
    - connexion d'un récepteur (R) à ladite sortie de la ligne de transmission, ce récepteur étant apte à recevoir des signaux optiques et à fournir en réponse des informations portées par ces signaux,
    - recueil d'informations à transmettre,
    - fourniture desdites informations à transmettre audit émetteur pour que ledit récepteur fournisse en réponse ces informations, et
    - insertion d'un compensateur de dispersion dans chacun desdits segments de la ligne de transmission, ce compensateur étant associé audit amplificateur optique de ce segment, ce compensateur compensant au moins une majeure partie de ladite dispersion chromatique de cette fibre et/ou de ladite pente de cette dispersion,
- ce procédé étant caractérisé par le fait qu'au moins ladite étape de fourniture des informations à transmettre audit émetteur (T) est réalisée

4b

seulement après ladite étape d'insertion d'un compensateur de dispersion dans chacun desdits segments (S).

À l'aide des figures schématiques ci-jointes on va indiquer ci-après divers aspects de cette invention et décrire à titre d'exemple comment elle peut être mise en œuvre.

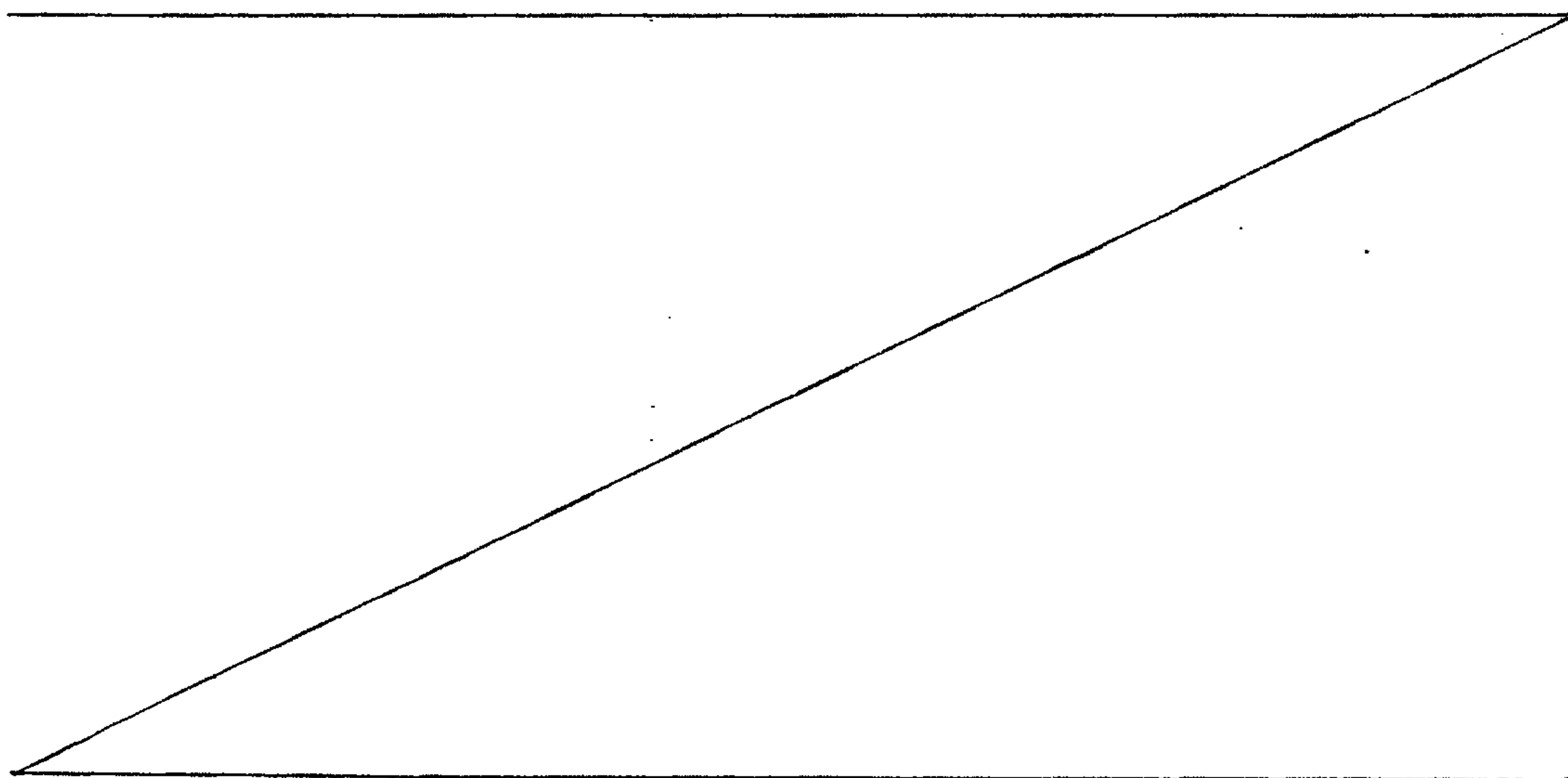
Lorsque deux éléments assurant une même fonction sont représentés sur ces figures ils y sont désignés par les mêmes numéros ou lettres de référence.

La figure 1 représente un système de transmission selon cette invention.

Les figures 2 et 3 représentent respectivement un premier et un deuxième modes de réalisation d'un bloc répéteur du système de la figure 1.

La figure 4 présente les paramètres des profils d'indice de deux fibres de ligne utilisables dans le système de la figure 1.

Conformément à la figure 1 le système de cette invention comporte de manière usuelle un émetteur T relié à un récepteur R par une ligne de transmission L. L'émetteur T émet des signaux optiques portant des informations à transmettre. La ligne L guide ces signaux dans la direction indiquée par une flèche 1. Le récepteur R reçoit ces signaux et restitue les informations transmises.



La ligne L est également objet de la présente invention. Elle a une entrée 10 et une sortie 11. Elle inclut une succession de segments tels que S raccordés en série. Chacun de ces segments s'étend d'une entrée 2 à une sortie 3 de ce segment et inclut une succession d'éléments raccordés en série. De manière connue ces éléments sont notamment les suivants à partir de cette entrée :

- Une fibre optique unimodale F constituée de silice et s'étendant sensiblement jusqu'à la sortie de ce segment pour guider au moins une onde porteuse. Cette fibre a une surface effective de mode pour cette onde. Elle a aussi une dispersion chromatique et une pente de cette dispersion. Elle constitue une fibre de ligne.
- Et un compensateur de dispersion disposé à la sortie de ce segment et compensant au moins une majeure partie de la dispersion chromatique de la fibre F et/ou de la pente de cette dispersion. Ce compensateur de dispersion est intégré dans un bloc répéteur B. Il est représenté en 5 sur la figure 2 et en 7 et 8 sur la figure 3.

Dans le cadre de cette invention la surface effective de mode de la fibre de ligne est supérieure à  $100 \mu\text{m}^2$  et de préférence à  $150 \mu\text{m}^2$  pour une onde porteuse ayant une longueur d'onde de 1550 nm. Dans le cas où la dispersion chromatique de cette fibre est supérieure à 6 ps/(nm.km) pour une onde porteuse guidée par cette fibre et ayant une longueur d'onde comprise entre 1530 et 1570 nm, le compensateur de dispersion compense de préférence au moins 90 % de cette dispersion. Dans le cas où le système utilise un multiplexage en longueur d'onde et où la pente de la dispersion de cette fibre est supérieure à  $0,05 \text{ ps}/(\text{nm}^2.\text{km})$  au voisinage de la longueur d'onde 1550 nm, le compensateur de dispersion compense de préférence au moins 90 % de cette pente.

La longueur des segments de la fibre de ligne peut typiquement aller jusqu'à 300 km.

Typiquement et comme représenté aux figures 2 et 3, la succession d'éléments de chaque segment de ligne inclut en outre un amplificateur optique associé au compensateur de dispersion pour compenser des pertes de la fibre de ligne de ce segment. Cet amplificateur est représenté en 4 et 9 sur les figures 2 et 3.

Comme présenté à la figure 2 le compensateur de dispersion de chaque segment peut notamment être constitué par une fibre compensatrice de dispersion 5. L'amplificateur de ce segment inclut alors de préférence un étage de sortie 4 disposé après ce compensateur pour éviter de faire apparaître des effets non linéaires dans cette fibre compensatrice. De plus cet amplificateur inclut avec avantage un premier étage 9 disposé entre la fibre de ligne et ce compensateur.

Comme représenté à la figure 3 le compensateur de dispersion peut être constitué par un circulateur optique 7 et un réseau de Bragg 10 dont le pas varie progressivement. Ce réseau est photo-inscrit dans une fibre optique 8.

Le compensateur de dispersion et l'amplificateur sont typiquement intégrés dans un bloc répéteur B.

Sur la figure 4 présentant les paramètres de profils d'indice, des rayons sont portés horizontalement à partir de l'axe Z d'une fibre de ligne utilisable dans le cadre de cette invention. Des excès d'indice sont portés verticalement. Ce sont des excès de l'indice de réfraction de matériaux internes de cette fibre par rapport à celui d'un matériau constituant la gaine optique G de cette fibre. Une telle fibre comporte un cœur composite C constitué par une partie centrale ayant un rayon  $r_1$  et un excès d'indice  $\Delta n_1$  et par une partie périphérique ayant un rayon  $r_2$  et un excès d'indice  $\Delta n_2$  plus grand que celui de la partie centrale. Ce cœur est entouré par une couronne de confinement D ayant un rayon  $r_3$ , et un excès d'indice négatif  $\Delta n_3$ .

Dans le cas d'une première telle fibre  $r_1 = 2,05 \mu\text{m}$ ,  $r_2 = 5,13 \mu\text{m}$ ,  $r_3 = 9 \mu\text{m}$ ,  $\Delta n_1 = 0$ ,  $\Delta n_2 = 6,5 \cdot 10^{-3}$  et  $\Delta n_3 = -2 \cdot 10^{-3}$ . La surface effective de mode est alors  $S_{\text{eff}} = 103,4 \mu\text{m}^2$ , la dispersion chromatique est  $DC = 17 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ , la pente de cette dispersion est  $PDC = 0,064 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ , la différence d'indice effectif est  $\Delta n_{\text{eff}} = 2,42 \cdot 10^{-3}$ , et le rayon de mode selon la deuxième définition de Petermann est  $W02 = 4,98 \mu\text{m}$ , ces valeurs étant données pour une longueur d'onde de 1550 nm.

Dans le cas d'une deuxième telle fibre les paramètres correspondants pour la même longueur d'onde sont :

$r_1 = 3,78 \mu\text{m}$ ,  $r_2 = 6,31 \mu\text{m}$ ,  $r_3 = 16,60 \mu\text{m}$ ,

$\Delta n_1 = 1,4 \cdot 10^{-3}$ ,  $\Delta n_2 = 7 \cdot 10^{-3}$ ,  $\Delta n_3 = -2,8 \cdot 10^{-3}$ ,

Seff. =  $150,8 \mu\text{m}^2$ , DC = 17 ps/(nm.km),

PDC = 0,072 ps/(nm<sup>2</sup>.km),  $\Delta n_{\text{eff.}} = 2,32 \cdot 10^{-3}$  et  $W02 = 5,26 \mu\text{m}$ .

5 Cette invention a encore pour objet un procédé de transmission selon lequel on réalise, puis utilise un système tel que précédemment décrit. Ce procédé comporte des étapes connues semblables à celles du procédé connu selon lequel on a réalisé, utilisé, modifié et réutilisé les systèmes anciens précédemment mentionnés.

10 Ces étapes connues incluent la réalisation d'une ligne de transmission telle que la ligne L incluant les segments tels que S. La succession d'éléments de chacun de ces segments inclut à partir de l'entrée de ce segment :

- une fibre de ligne telle que la fibre F, et
- 15 - un amplificateur tel que l'amplificateur 4.

Ce procédé inclut en outre les étapes connues de :

- connexion d'un émetteur T à l'entrée 10 de la ligne de transmission, cet émetteur étant apte à recevoir des informations et à fournir en réponse des signaux optiques portant ces informations ,
- 20 -connexion d'un récepteur R à la sortie 11 de cette même ligne, ce récepteur étant apte à recevoir des signaux optiques et à fournir en réponse des informations portées par ces signaux,
- recueil d'informations à transmettre,
- fourniture de ces informations à transmettre à l'émetteur T pour que le
- 25 récepteur R fournisse en réponse ces informations, et
- insertion d'un compensateur de dispersion tel que 5, ou 7, 8, dans chacun des segments de la ligne de transmission, ce compensateur étant associé à l'amplificateur de sortie 4 de ce segment et compensant au moins une majeure partie de la dispersion chromatique de cette fibre et/ou
- 30 de la pente de cette dispersion.

Dans le procédé connu précédemment mentionné l'étape d'insertion d'un compensateur de dispersion a été postérieure à des étapes respectivement conformes aux autres étapes citées ci-dessus. Au contraire, dans le cadre de cette invention, au moins l'étape de fourniture

des informations à transmettre à l'émetteur est réalisée seulement après l'étape d'insertion du compensateur de dispersion tel que 5 dans chacun des segments tels que S.

REVENDEICATIONS

5 1- Ligne de transmission à fibre optique, cette ligne (L) incluant une succession de segments (S) raccordés en série, chacun de ces segments s'étendant d'une entrée (2) à une sortie (3) de ce segment et incluant une succession d'éléments raccordés en série, cette succession d'éléments incluant à partir de cette entrée :

10 - une fibre optique unimodale s'étendant sensiblement jusqu'à ladite sortie de ce segment pour guider au moins une onde porteuse, cette fibre ayant une surface effective de mode et une dispersion chromatique pour cette onde et ayant aussi une pente spectrale de cette dispersion, cette fibre constituant une fibre de ligne (F), et  
15 - un compensateur de dispersion (5,7,8) disposé à ladite sortie de ce segment et compensant au moins une majeure partie de ladite dispersion chromatique de la fibre de ligne et/ou de la dite pente de cette dispersion,

20 ladite ligne de transmission étant caractérisée par le fait que ladite surface effective de mode de la fibre de ligne est supérieure à  $150 \mu\text{m}^2$  pour une dite onde porteuse ayant une longueur d'onde de 1550 nm.

25 2-Ligne selon la revendication 1, la dite dispersion chromatique de la fibre de ligne étant supérieure à 6 ps/(nm.km) pour une dite onde porteuse ayant une longueur d'onde comprise entre 1530 et 1600 nm, ledit compensateur de dispersion (5,7,8) compensant au moins 90% de cette dispersion.

30 3- Ligne selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, ladite pente de la dispersion chromatique de la fibre de ligne étant supérieure à 0,05 ps/(nm<sup>2</sup>.km) au voisinage d'une longueur d'onde de 1550 nm, ledit compensateur de dispersion compensant au moins 90 % de cette pente.

4- Ligne selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, ladite fibre de ligne (F) de chacun desdits segments (S) ayant une longueur inférieure à 300 km.

5- Ligne selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, ladite succession d'éléments incluant en outre un amplificateur optique (4,9) associé audit compensateur de dispersion (5,7,8) .

6-Procédé de transmission à fibre optique, ce procédé incluant une étape de réalisation d'une ligne de transmission à fibre optique (F) apte à guider des signaux optiques à partir d'une entrée (10) jusqu'à une sortie (11) de cette ligne, cette ligne incluant une succession de segments (S) raccordés en série, chacun de ces segments s'étendant d'une entrée (2) à une sortie (3) de ce segment et incluant une succession d'éléments raccordés en série, cette succession d'éléments incluant à partir de cette entrée :

- une fibre optique s'étendant sensiblement jusqu'à ladite sortie de ce segment pour guider une onde porteuse, cette fibre ayant une dispersion chromatique et une surface effective de mode pour cette onde et ayant aussi une pente de cette dispersion et des pertes, cette fibre constituant une fibre de ligne (F), et

- un amplificateur optique (4) disposé à ladite sortie de ce segment et compensant au moins une majeure partie desdites pertes de la fibre de ligne,

ce procédé incluant en outre les étapes de :

- connexion d'un émetteur (T) à ladite entrée de la ligne de transmission, cet émetteur étant apte à recevoir des informations et à fournir en réponse

des signaux optiques portant ces informations,

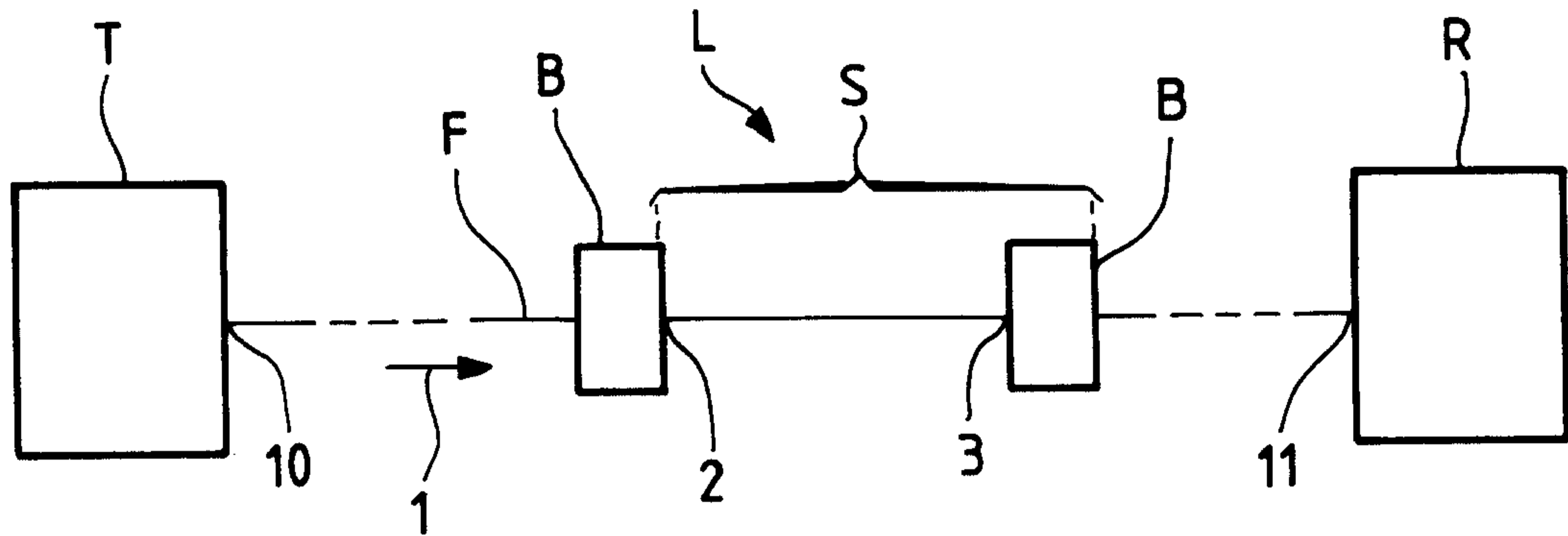
-connexion d'un récepteur (R) à ladite sortie de la ligne de transmission, ce récepteur étant apte à recevoir des signaux optiques et à fournir en réponse des informations portées par ces signaux,

- recueil d'informations à transmettre,

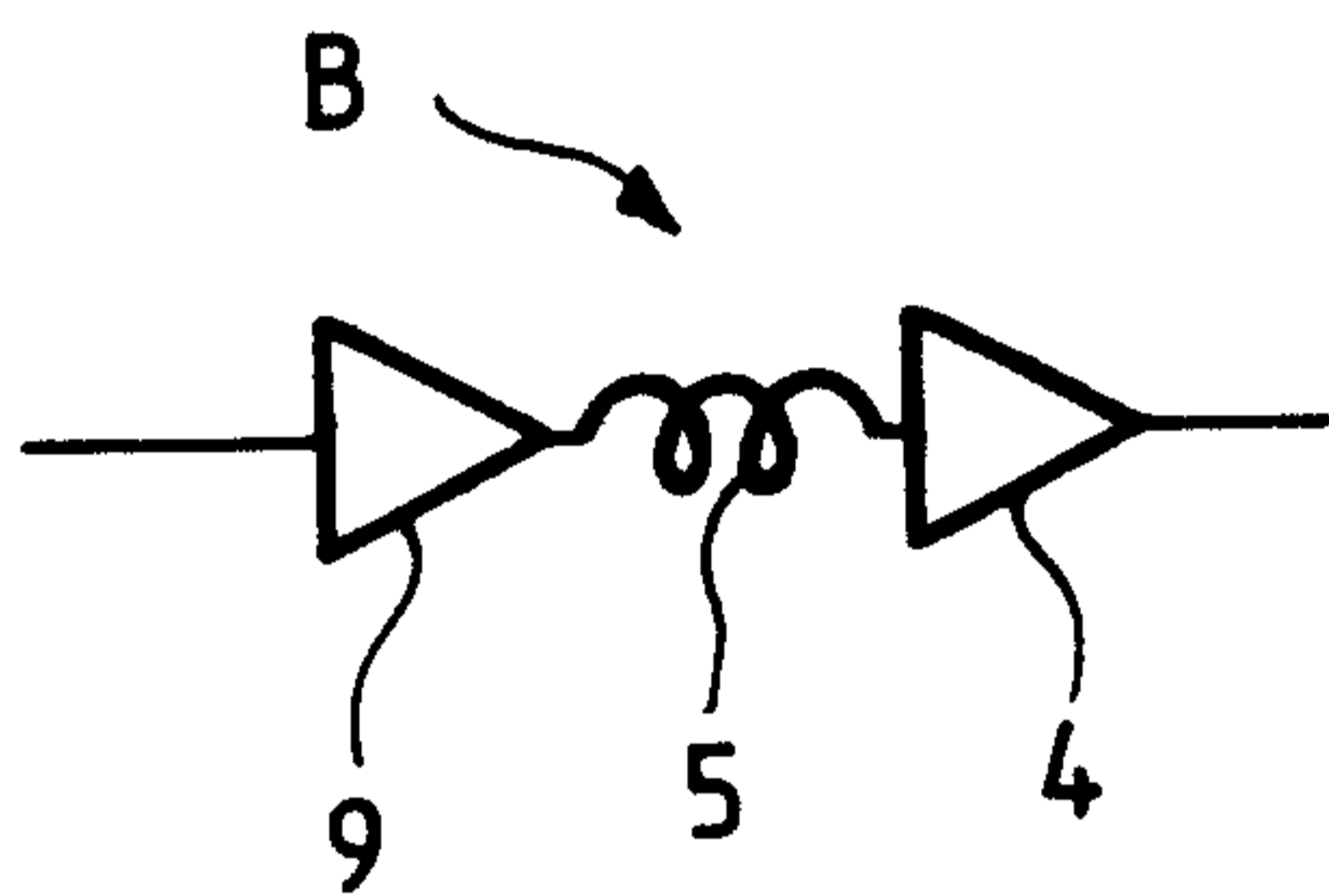
- fourniture desdites informations à transmettre audit émetteur pour que ledit récepteur fournisse en réponse ces informations, et
  - insertion d'un compensateur de dispersion (5,7,8) dans chacun desdits segments de la ligne de transmission, ce compensateur étant associé
- 5     audit amplificateur optique de ce segment, ce compensateur compensant au moins une majeure partie de ladite dispersion chromatique de cette fibre et/ou de ladite pente de cette dispersion,

10           ce procédé étant caractérisé par le fait qu'au moins ladite étape de fourniture des informations à transmettre audit émetteur (T) est : réalisée seulement après ladite étape d'insertion d'un compensateur de dispersion (5) dans chacun desdits segments (S), ce procédé étant en outre caractérisé par le fait que ladite ligne de transmission (L) est réalisée selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

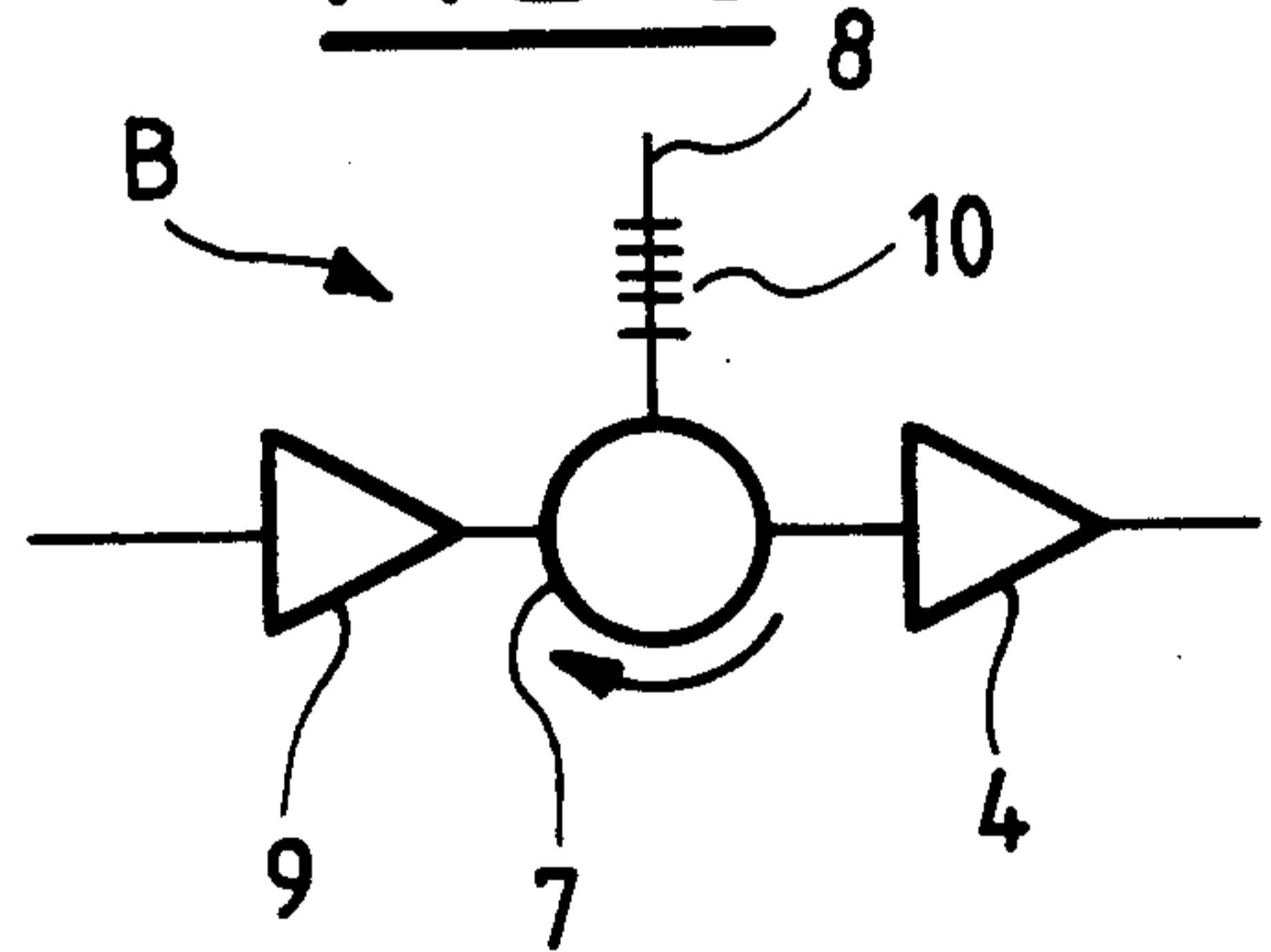
**FIG\_1**



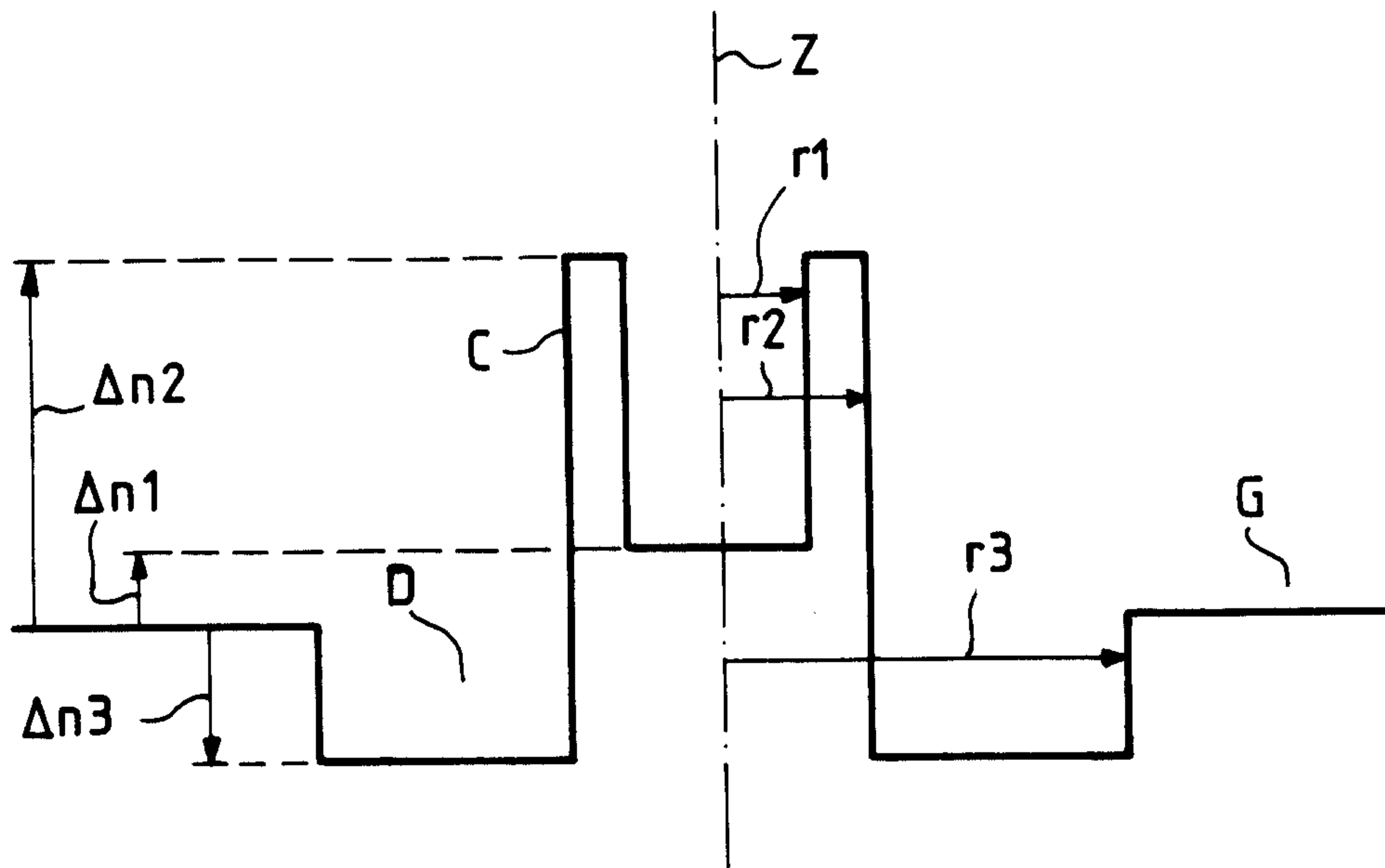
**FIG\_2**



**FIG\_3**



**FIG\_4**



B

