

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

①1 N° de publication : **2 642 534**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **89 17335**

⑤1 Int Cl⁵ : G 02 F 2/02; G 02 B 27/00.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** A1

②2 Date de dépôt : 28 décembre 1989.

③0 Priorité : US, 6 janvier 1989, n° 294 034.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPi « Brevets » n° 31 du 3 août 1990.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : AMERICAN TELEPHONE
& TELEGRAPH COMPANY. — US.

⑦2 Inventeur(s) :

⑦3 Titulaire(s) :

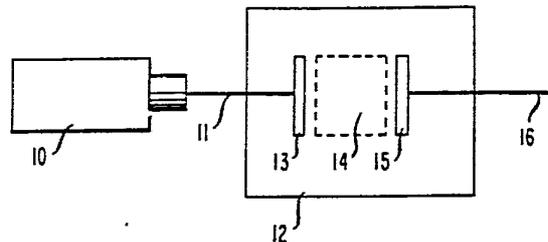
⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Flechner.

⑤4 Dispositif optique pour produire un train d'impulsions optiques à cadence de répétition élevée et à puissance élevée.

⑤7 L'invention concerne les sources optiques.

Un dispositif optique comprend un étalon de Fabry-Pérot 12 qui fonctionne en sélecteur de modes spectraux, couplé de façon externe à une source d'impulsions optiques à modes bloqués 10. En réglant la longueur de cavité de l'étalon 12, on peut faire en sorte que ce dernier transmette un ensemble de modes prédéterminés uniformément espacés, issus de la source. Les modes qui sont transmis se combinent de façon cohérente pour créer un train d'impulsions optiques 16 ayant une cadence de répétition plus élevée que la cadence de répétition de la source.

Application au calcul optique.



FR 2 642 534 - A1

D

La présente invention concerne des sources optiques, et elle porte plus particulièrement sur des sources optiques qui produisent un train d'impulsions optiques caractérisées par une puissance élevée et une cadence de répétition élevée.

Dans de nombreuses applications de systèmes optiques, il est nécessaire de disposer d'une source laser à puissance élevée et à cadence de répétition élevée. Un exemple d'une telle application consiste dans le calcul optique qui exige une source ayant une puissance moyenne de quelques watts à une cadence de répétition supérieure à un gigahertz. A l'heure actuelle, il n'existe pas de sources optiques qui satisfassent ces deux exigences importantes. Les lasers à semiconducteurs travaillent à une cadence de répétition s'élevant jusqu'à la gamme des gigahertz avec une puissance moyenne de quelques milliwatts seulement, tandis que les lasers à l'état solide sont capables de produire une puissance moyenne de plusieurs dizaines de watts à des cadences de répétition inférieures à 100 MHz.

On obtient une source d'impulsions optiques à cadence de répétition élevée et à puissance élevée en transmettant des modes spectraux sélectionnés d'un train d'impulsions optiques à modes bloqués. En augmentant la séparation entre des modes spectraux adjacents issus du laser à modes bloqués, on augmente d'un facteur désiré la cadence de répétition du train d'impulsions optiques.

Dans un mode de réalisation de l'invention, on utilise un étalon de Fabry-Pérot à titre de sélecteur de modes spectraux connecté de façon externe à une source d'impulsions optiques à modes bloqués. En réglant la longueur de cavité de l'étalon, on fait en sorte que l'étalon transmette un ensemble de modes spectraux prédéterminés, uniformément espacés, qui sont émis par la source. Les modes spectraux qui sont transmis se combinent de façon cohérente pour produire un train d'impulsions optiques ayant

une cadence de répétition supérieure à la cadence de répétition de la source. En résumé, en transmettant un mode spectral sur M, la cadence de répétition est augmentée de façon correspondante du facteur M, en désignant par M un
5 entier positif supérieur à 1.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre d'un mode de réalisation, et en se référant aux dessins annexés dans lesquels:

La figure 1 est un schéma synoptique d'un dispositif optique destiné à produire des impulsions optiques à
10 cadence de répétition élevée et à puissance élevée, conformément aux principes de l'invention;

La figure 2 est une représentation graphique du profil d'amplitude des modes spectraux en fonction de la
15 fréquence pour des impulsions optiques qui sont émises par un laser à modes bloqués représenté sur la figure 1;

La figure 3 est une représentation graphique du profil de transmission en fonction de la fréquence pour un étalon de Fabry-Pérot qui est représenté sur la figure 1;

20 La figure 4 est un schéma synoptique d'un système optique qui a été construit dans le but d'utiliser le dispositif optique représenté sur la figure 1;

La figure 5 est une représentation graphique du profil d'amplitude en fonction du temps pour des impulsions
25 caractéristiques produites par un laser à modes bloqués qui est représenté sur la figure 4;

La figure 6 est une représentation graphique du profil d'amplitude des modes spectraux en fonction de la fréquence pour des impulsions optiques caractéristiques qui
30 sont émises par l'étalon représenté sur la figure 4; et

La figure 7 est une représentation graphique du profil d'amplitude en fonction du temps pour des impulsions optiques caractéristiques qui sont émises par l'étalon représenté sur la figure 4.

35 Comme le montre la figure 1, l'invention consiste

en une source d'impulsions optiques à cadence de répétition élevée et à puissance élevée. Elle est basée sur la découverte du fait que la transmission de modes spectraux sélectionnés d'un train d'impulsions optiques à modes bloqués, 5 permet d'augmenter d'un facteur désiré la cadence de répétition du train d'impulsions optiques.

Conformément aux principes de l'invention, un train d'impulsions optiques 11 provenant d'un laser à modes bloqués stable 10 traverse un étalon de Fabry-Pérot 12, qui 10 produit un train d'impulsions optiques 16 ayant une cadence de répétition supérieure à celle du train d'impulsions optiques 11. Dans le laser à modes bloqués 10, le spectre du train des impulsions optiques 11 qui sont produites consiste en une série de raies qu'on appelle des modes spectraux, 15 et ces raies sont situées au-dessous d'une enveloppe spectrale, également appelée le spectre du laser, qui est déterminée par le milieu amplificateur du laser. Comme le montre la figure 2, qui représente des composantes de modes spectraux caractéristiques, le train d'impulsions optiques 20 11 provenant du laser à modes bloqués 10 comprend des oscillations à un certain nombre de fréquences optiques, dont la séparation de modes spectraux, Δf , est déterminée par la vitesse de la lumière, c , divisée par le double de la longueur du résonateur du laser à modes bloqués, l , ce qui 25 s'exprime mathématiquement par la relation $\Delta f = \frac{c}{2l}$. Ces modes spectraux ont la même distribution d'énergie spatiale dans le plan transversal au résonateur, et le fait de verrouiller la phase de chacun de ces modes spectraux donne pour l'émission 11 un train périodique d'impulsions opti- 30 ques ayant une cadence de répétition fixe, F_0 , égale à la séparation des modes spectraux.

Comme l'indique la figure 1, des réflecteurs 13 et 15, combinés avec un milieu optique 14, sont disposés pour former un étalon de Fabry-Pérot 12. Comme le montre la 35 figure 3, le profil de transmission en fonction de la fré-

quence pour l'étalon de Fabry-Pérot 12 présente une séparation, f_{FSR} , entre des pics de transmission qu'on appelle la "Plage Spectrale Libre", qui dépend de la séparation entre les réflecteurs 13 et 15, d , et de l'indice de réfraction, n , du milieu optique 14 qui se trouve entre les réflecteurs. En outre, la "Plage Spectrale Libre" est liée à ces paramètres par la relation $f_{\text{FSR}} = \frac{c}{2nd}$. On règle la séparation entre les réflecteurs 13 et 15 de l'étalon 12 de façon que la séparation entre les pics de transmission de l'étalon 12 soit égale à M fois la séparation entre des modes spectraux du laser à modes bloqués 10. L'étalon 12, qui fonctionne en sélecteur de modes spectraux, transmet un mode spectral sur M parmi les modes spectraux qui sont issus du laser à modes bloqués 10. Ceci augmente d'un facteur M la séparation effective entre des modes spectraux adjacents qui sont transmis par l'étalon 12, par rapport à la séparation des modes spectraux des impulsions optiques 11. Du fait que la cadence de répétition est égale à la séparation des modes spectraux, une multiplication par M de la séparation des modes spectraux entraîne une multiplication similaire par M de la cadence de répétition d'impulsions. On note que l'étalon 12 ne transmet qu'un sur M de tous les modes spectraux d'origine. Par conséquent, la puissance moyenne du train d'impulsions optiques 16 résultant est réduite à $1/M$ de la puissance moyenne d'origine des impulsions optiques 11.

Les modes spectraux qui ne sont pas transmis par l'étalon 12 sont réfléchis vers le laser à modes bloqués 10 et peuvent faire l'objet d'un traitement ultérieur par des étalons suivants. On utilise de légères différences de longueur dans ces étalons suivants pour sélectionner $M-1$ ensembles supplémentaires de modes spectraux ayant la même séparation de modes spectraux, pour obtenir un total de M trains d'impulsions optiques ayant la même cadence de répétition plus élevée.

La figure 4 illustre le mode de réalisation spé-

cifique qui a été construit pour mettre en oeuvre la présente invention. On utilise pour la laser à modes bloqués 40 un laser du type Nd:YAG ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$) à modes bloqués fonctionnant en régime d'ondes entretenues. Un train d'impulsions optiques 41 que produit le laser à modes bloqués 40 présente les caractéristiques suivantes : une cadence de répétition de 82 MHz, une séparation de modes spectraux de 82 MHz, une largeur d'impulsion de 100 picosecondes, une largeur d'enveloppe spectrale de 16 GHz et une puissance moyenne de 7 watts. Les impulsions optiques 41 traversent l'isolateur 42, constitué par un polariseur de faisceau à cube 43 et une lame quart d'onde 44. L'isolateur 42 dévie tout faisceau réfléchi provenant de l'étalon 50, représenté sous la forme d'impulsions optiques 55, pour permettre ainsi la sortie des impulsions optiques 55 et pour éviter que les impulsions optiques 55 ne retournent vers le laser à modes bloqués 40 et n'endommagent celui-ci.

Dans l'étalon 50, les réflecteurs 51 et 53 de cet exemple de réalisation mesurent environ 5 cm de diamètre et ils ont une planéité de $\frac{1}{200}$ d'une longueur d'onde, et une réflectivité, R, de 96,7%. Le milieu optique 52 qui se trouve entre les réflecteurs 51 et 53 est de l'air ayant un indice de réfraction optique approximativement égal à l'unité. Un paramètre F, qu'on appelle la finesse, est lié à la réflectivité des réflecteurs 51 et 53 par la relation $\frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$ et, compte tenu de la valeur présente de R, la finesse est égale à 93,5. Le train d'impulsions optiques 45 qui provient de la sortie de l'isolateur 42 traverse une lunette de Galilée 46 qui optimise la divergence des impulsions optiques 49 pour faire correspondre la distance de Rayleigh des impulsions optiques 45 à la longueur optique du chemin parcouru dans l'étalon de Fabry-Pérot 50, qui est donnée par $2nFl$. Dans le mode de réalisation présent, la longueur parcourue dans l'étalon 50 est de 5700 cm. Il en résulte que la plus petite section droite minimale de faisceau qui

a une distance de Rayleigh de cette longueur est de 6,21 mm, mesurée au diamètre correspondant à $1/e$. Par conséquent l'élément optique 47, qui est une lentille biconcave, et l'élément optique 48, qui est une lentille biconvexe, sont
5 choisis de façon correspondante pour que la section droite minimale du faisceau des impulsions optiques 49 qui tombe sur le réflecteur 51 soit de 6,21 mm.

L'étalon de Fabry-Pérot 50 est monté sur une platine en Super-Invar avec des plateaux mobiles de précision,
10 pouvant effectuer des mouvements de translation, et des transducteurs piézocéramiques, pour régler de façon précise la séparation, d , entre les réflecteurs 51 et 53. Pour obtenir une multiplication par six de la cadence de répétition, on règle la séparation entre les réflecteurs 51 et 53
15 de façon que la séparation entre des pics de transmission soit pratiquement égale à six fois la séparation entre les modes spectraux qui proviennent du laser à modes bloqués 40, soit 492 MHz dans ce mode de réalisation particulier. La séparation entre les réflecteurs 51 et 53, d , est donc
20 égale au sixième de la longueur de la cavité, l , du laser à modes bloqués 40.

Les modes spectraux du laser à modes bloqués 40 qui sont transmis par l'étalon de Fabry-Pérot 50 ont une séparation entre modes spectraux adjacents qui est multi-
25 pliée par six, comme le montre la figure 6. Du fait que la cadence de répétition est égale à la séparation des modes spectraux, la cadence de répétition pour le train d'impulsions optiques 54 est six fois supérieure à la cadence de répétition des impulsions optiques 41. Bien que la puissance
30 moyenne théorique du train résultant d'impulsions optiques 54 soit de 1,167 watt, la puissance réelle qui est mesurée est de 1 watt. La différence est probablement due à la diffusion optique dans les réflecteurs 51 et 53.

La lumière réfléchie 55 provenant de l'étalon 50
35 qui est déviée par l'isolateur 42 est ensuite traitée par

une structure similaire à la combinaison des éléments 50 et 46. On peut montrer que pour chaque mode spectral sélectionné, il existe un mode spectral réfléchi, occupant une position spectrale adjacente, qui peut être sélectionné séparément pour obtenir un second train d'impulsions optiques transmis, avec la cadence de répétition supérieure de 492 MHz. On utilise une légère différence de longueur dans un étalon suivant pour sélectionner les modes spectraux réfléchis parmi les impulsions optiques 55, de façon à obtenir le second train d'impulsions optiques. Dans le mode de réalisation présent, on obtient six trains d'impulsions optiques ayant la cadence de répétition supérieure, en utilisant un total de cinq étalons de Fabry-Pérot.

Dans cet exemple de réalisation, la séparation des modes spectraux, Δf , des impulsions optiques 41, et donc des impulsions optiques 49, est égale à 82 MHz. En considérant la figure 5, on note que la séparation temporelle, T_0 , d'impulsions optiques 49, est égale à l'inverse de la cadence de répétition, F_0 . En outre, la largeur d'impulsion individuelle, γ , est inversement proportionnelle à la largeur de l'enveloppe spectrale, $\Delta \nu$, qui dépend du milieu amplificateur du laser à modes bloqués 40. Du fait que la largeur de bande de transmission de l'étalon 50 est supérieure à la largeur de l'enveloppe spectrale, $\Delta \nu$, du laser à modes bloqués 40, le spectre global des impulsions optiques 54 est le même que celui des impulsions optiques 41. Par conséquent, la largeur d'impulsion individuelle des impulsions optiques 54, qui est mesurée par une technique d'autocorrélation, est de 100 picosecondes. Cette largeur est identique à la largeur d'impulsion des impulsions optiques 41.

Si l'on excepte la réduction de puissance moyenne qui est due au fait que chaque train d'impulsions optiques contient seulement un sixième de tous les modes d'origine, la sommation cohérente de modes qui sont transmis par

l'étalon 50 donne une variation crête à crête d'environ 30% en ce qui concerne l'amplitude des impulsions optiques de sortie 54, comme le montre la figure 7. L'augmentation de la séparation des modes spectraux, c'est-à-dire de la valeur de M, augmente la variation d'amplitude crête à crête. On peut réduire les variations d'amplitude en utilisant des étalons de Fabry-Pérot ayant une finesse plus élevée.

L'introduction d'un gain optique dans l'étalon de Fabry-Pérot 50, par exemple en plaçant un barreau de Nd:YAG entre les réflecteurs 51 et 53, améliore la stabilité d'amplitude. De plus, on peut minimiser les variations de la longueur de la cavité laser qui résultent de l'effet de charge thermique, par l'utilisation en tant que sources de lasers à l'état solide à pompage par diodes, qui ont un effet de charge thermique faible ou nul.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au dispositif décrit et représenté, sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif optique destiné à produire un train d'impulsions optiques, caractérisé en ce qu'il comprend :
une source d'impulsions optiques à modes bloqués apparaissant à une première cadence de répétition, et des moyens en couplage optique avec la source, pour sélectionner au moins deux modes spectraux prédéterminés émis par la source, dans le but de produire un train d'impulsions optiques avec une seconde cadence de répétition, cette seconde cadence de répétition étant supérieure à la première cadence de répétition.

2. Dispositif optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de sélection comprennent des premier et second réflecteurs mutuellement espacés d'une distance prédéterminée, et pratiquement parallèles l'un à l'autre, pour former un étalon, cette distance prédéterminée étant celle qui est nécessaire pour que cet étalon transmette au moins deux modes spectraux prédéterminés qui sont émis par la source.

3. Dispositif optique selon la revendication 2, caractérisé en ce que la distance prédéterminée est la distance nécessaire pour que l'étalon transmette un ensemble de modes spectraux uniformément espacés de la source, lorsque les moyens de sélection sélectionnent plus de deux modes.

4. Dispositif optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens de sélection comprennent en outre des moyens destinés à définir la forme de faisceau des impulsions optiques qui apparaissent à la première cadence de répétition, ces moyens de mise en forme de faisceau étant placés dans une position intermédiaire entre la source d'impulsions optiques à modes bloqués et l'étalon.

5. Dispositif optique selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens de sélection comprennent en outre des moyens pour isoler les impulsions optiques

apparaissant à la première cadence de répétition, afin d'empêcher que ces impulsions optiques ne retournent vers la source.

6. Dispositif optique selon la revendication 5, 5 caractérisé en ce que la source d'impulsions optiques à modes bloqués comprend un laser.

7. Dispositif optique selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étalon comprend en outre des moyens pour amplifier de façon optique le train d'impulsions opti- 10 ques à la seconde cadence de répétition, jusqu'à un niveau de puissance prédéterminé, et ces moyens d'amplification optique comprennent un milieu amplificateur qui est placé à l'intérieur de l'étalon.

8. Dispositif optique selon la revendication 7, 15 caractérisé en ce que le milieu amplificateur consiste en un barreau de Nd:YAG.

9. Dispositif optique destiné à produire au moins des premier et second trains d'impulsions optiques, caractérisé en ce qu'il comprend : une source d'impulsions opti- 20 ques à modes bloqués, apparaissant à une première cadence de répétition; au moins des premiers et seconds moyens, chacun d'eux ayant pour fonction de sélectionner au moins deux modes spectraux prédéterminés émis par la source, pour produire au moins des premier et second trains d'impulsions 25 optiques ayant chacun une seconde cadence de répétition supérieure à la première cadence de répétition; et des moyens pour diriger de façon optique vers les seconds moyens de sélection, un ensemble de modes spectraux qui sont réfléchis par les premiers moyens.

30 10. Dispositif optique selon la revendication 9, caractérisé en ce que chacun des premiers et seconds moyens de sélection, au moins, comprend : des premier et second réflecteurs mutuellement espacés d'une distance prédéterminée et pratiquement parallèles l'un à l'autre, pour former 35 un étalon, cette distance prédéterminée étant celle qui est

nécessaire pour que l'étalon transmette les deux modes spectraux prédéterminés, au moins, de la source.

11. Dispositif optique selon la revendication 10, caractérisé en ce que la distance prédéterminée est la distance nécessaire pour que l'étalon transmette un ensemble de modes spectraux uniformément espacés de la source, lorsque les moyens de sélection sélectionnent plus de deux modes.

12. Dispositif optique selon la revendication 11, caractérisé en ce que les premiers moyens de sélection ainsi que les seconds moyens de sélection comprennent des moyens pour définir la forme du faisceau des impulsions optiques apparaissant à la première cadence de répétition, les moyens de définition de forme de faisceau étant placés dans une position intermédiaire entre les moyens pour diriger optiquement des modes spectraux et l'étalon.

13. Dispositif optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que les premiers moyens de sélection comme les seconds moyens de sélection comprennent des moyens pour isoler les impulsions optiques qui apparaissent à la première cadence de répétition, afin d'empêcher que ces impulsions optiques ne retournent vers la source.

14. Dispositif optique selon la revendication 13, caractérisé en ce que chacun des premier et second trains d'impulsions optiques, au moins, a une seconde cadence de répétition différente.

15. Dispositif optique selon la revendication 13, caractérisé en ce que les premier et second trains d'impulsions optiques, au moins, ont une seconde cadence de répétition pratiquement égale.

16. Dispositif optique selon la revendication 15, caractérisé en ce que la source d'impulsions optiques à modes bloqués comprend un laser.

17. Dispositif optique selon la revendication 16, caractérisé en ce que l'étalon comprend en outre des moyens

pour amplifier de façon optique le train d'impulsions optiques à la seconde cadence de répétition, jusqu'à un niveau de puissance prédéterminé, et ces moyens d'amplification optique comprennent un milieu amplificateur qui est placé 5 à l'intérieur de l'étalon.

18. Dispositif optique selon la revendication 17, caractérisé en ce que le milieu amplificateur comprend un barreau de Nd:YAG.

FIG. 1

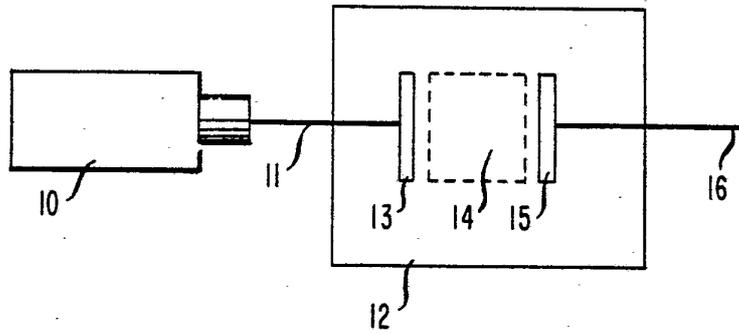


FIG. 2

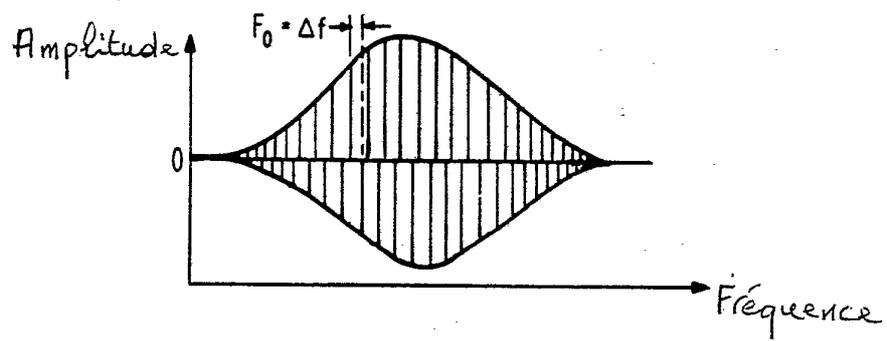


FIG. 3

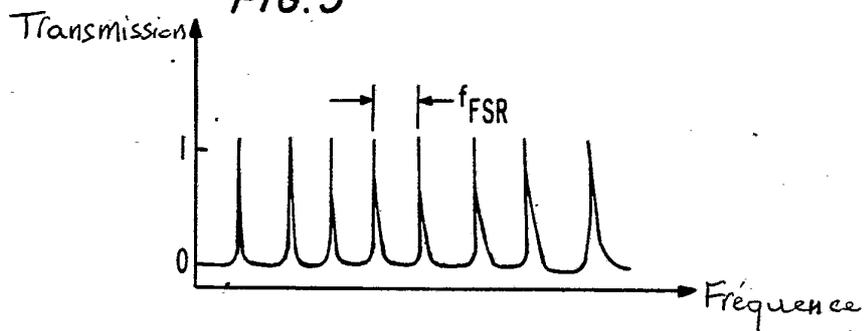


FIG. 4

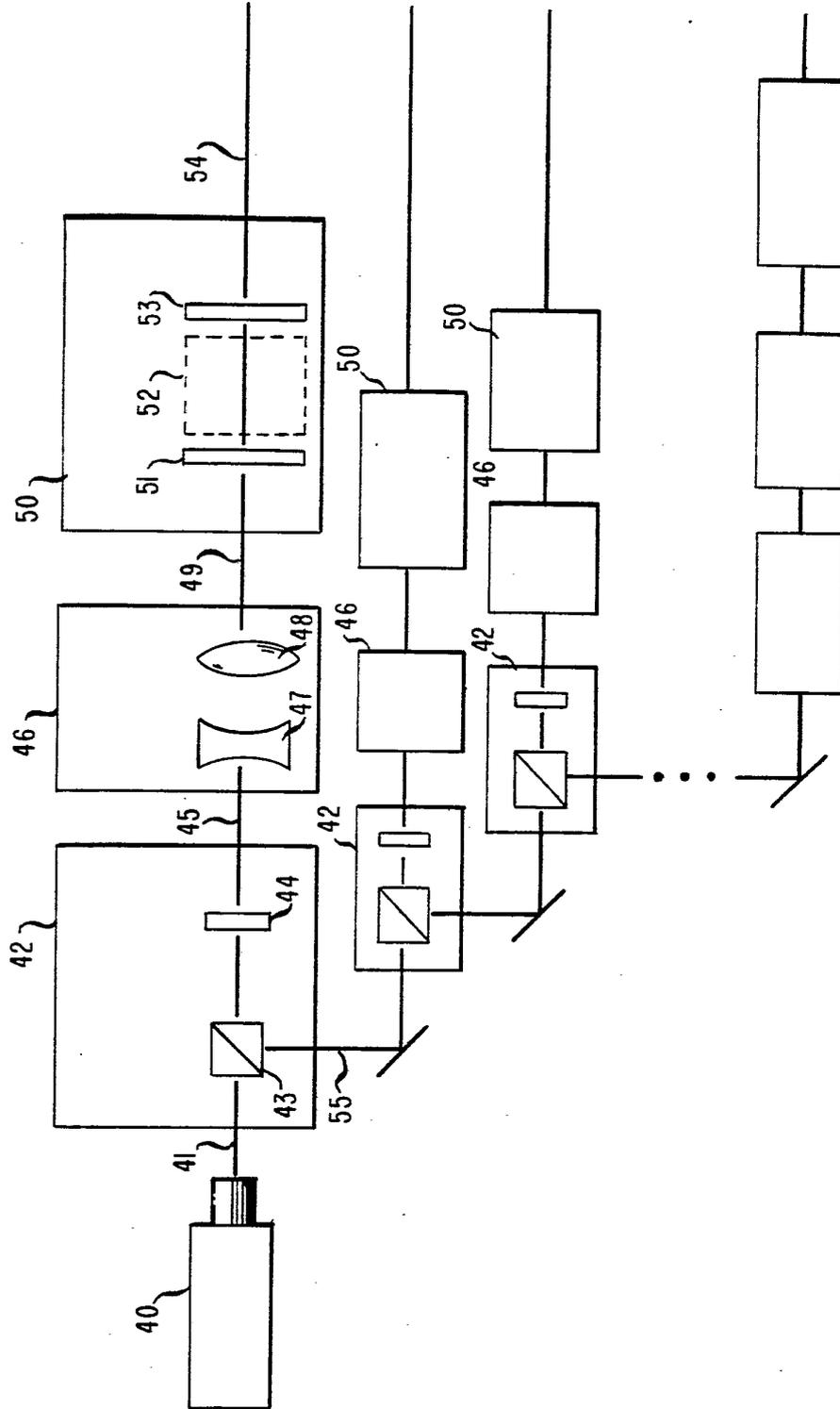


FIG. 5

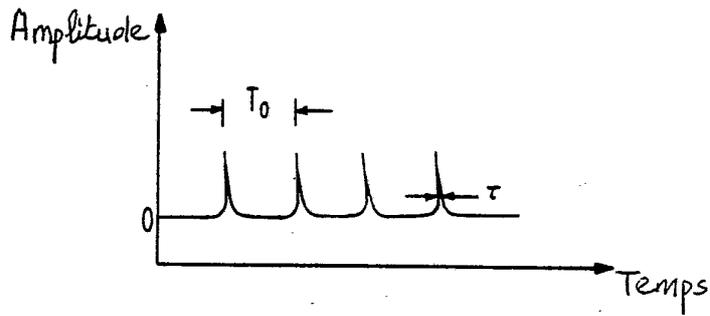


FIG. 6

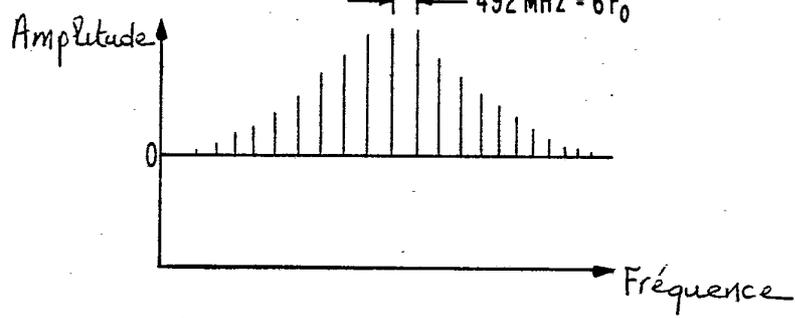


FIG. 7

