Variante simple de mode-locking avec applications dans la mesure du temps de réponse des dispositifs opto-électroniques

A. Gh. Podoleanu, I.M. Popescu, P.E. Sterian

► To cite this version:

A. Gh. Podoleanu, I.M. Popescu, P.E. Sterian. Variante simple de mode-locking avec applications dans la mesure du temps de réponse des dispositifs opto-électroniques. *Revue de Physique Appliquée*, 1986, 21 (4), pp.277-282. 10.1051/rphysap:01986002104027700 . jpa-00245442

HAL Id: jpa-00245442

<https://hal.science/jpa-00245442>

Submitted on 1 Jan 1986

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
 Physics Abstracts
 42.60 — 42.80

Variante simple de mode-locking avec applications dans la mesure du temps de réponse des dispositifs opto-électroniques

A. Gh. Podoleanu, I. M. Popescu et P. E. Sterian

Laboratoire d'Opto-électronique, Département de physique, Institut Polytechnique de Bucarest, Roumanie

(Reçu le 5 mars 1985, révisé les 29 novembre 1985 et 3 janvier 1986, accepté le 7 janvier 1986)

Résumé. — On présente une étude expérimentale sur une variante de mode-locking qui consiste dans la modulation de la longueur de la cavité couplée à la cavité laser. On indique aussi comment on peut construire rapidement, en utilisant cette méthode de mode-locking, une installation simple qui peut servir à la mesure des temps de réponse de certains photodétecteurs et de la dispersion des fibres optiques.

Abstract. — An experimental study is developed on the mode-locking regime obtained by the modulation of the coupled cavity length. We further show how a simple installation useful for the measure of the photodetectors response — time and fibre optics dispersion may be easily realized.

1. Introduction.

Ce travail consiste à présenter l'utilisation d'une cavité passive couplée à la cavité active, réalisée à l'aide d'un miroir de la cavité laser et d'un miroir extérieur fixé sur un traducteur électromécanique, excité par un signal triangulaire de basse fréquence.

Cette méthode ressemble à celles qui ont été communiquées en [1, 2] dans lesquelles le régime mode-locking est obtenu par le déplacement ou la vibration du miroir laser à une basse fréquence.

La vibration du miroir de la cavité couplée présente un avantage supplémentaire parce que les réglages de la cavité laser originale ne sont pas perturbés.

Dans le travail [3], on présente un modèle théorique à partir duquel les auteurs ont obtenu les équations des modes couplés dans la cavité et une condition de seuil pour la vitesse du miroir afin d'obtenir le blocage des modes du laser.

Dans ce travail on présente une série de résultats expérimentaux sur cette méthode et aussi des applications qui en découlent dans la réalisation rapide d'une installation qui peut servir à la mesure du temps de réponse des photodétecteurs et de la dispersion des fibres optiques.

2. Description de la configuration expérimentale.

La configuration expérimentale du dispositif est présentée dans le schéma bloc de la figure 1. Le laser

utilisé est un laser HeNe travaillant sur la longueur d'onde $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$, et dont les miroirs sont distants de $L_a = 2,37 \text{ m}$. Le tube laser, équipé de fenêtres de Brewster est excité par un courant continu de 20 mA, la longueur de décharge ayant 2,2 m. Les puissances émises sont respectivement 3 mW par le miroir O_1 et 8 mW par le miroir O_2 .

La cavité passive a été attachée à l'extrémité du laser où est le miroir de réflectivité plus réduite (O_2 , réflectivité $\approx 95\%$). Le miroir O_3 , avec une réflectivité voisine de l'unité a été fixé sur la membrane d'un haut-parleur T (ayant le rôle de traducteur électromécanique) de diamètre 8 cm avec une puissance de 0,5 W, excité par un signal triangulaire fourni par le générateur G.F. On a accordé une attention particulière à la fixation du miroir O_3 sur la membrane du haut-parleur, de telle manière que le déplacement transversal du rayon réfléchi soit minimal.

La valeur du rayon de courbure du miroir O_3 ($\approx 4,4 \text{ m}$) permet l'élimination de la lentille d'adaptation du front de la phase de l'onde laser à la courbure du miroir, en assurant ainsi la simplification de la configuration expérimentale et des réglages.

En plaçant ce miroir à la distance $L_p = L_a$, la puissance optique de sortie augmente de 3 mW à 6 mW.

Après avoir traversé l'isolateur optique constitué par le polariseur P et la lame quart d'onde $\lambda/4$, le faisceau laser est divisé en vue de la mesure sur deux voies séparées.

Fig. 1. — Schéma-bloc de réalisation et de mesure du régime mode-locking obtenu par le déplacement du miroir de la cavité couplée à la cavité d'un laser HeNe. L : laser; O_1 , O_2 : miroirs de la cavité laser; O_3 : miroir de la cavité couplée; D : diaphragme; T : traducteur électromécanique (haut-parleur); G.F. : générateur de fonctions; P : polariseur; $\lambda/4$: lame quart d'onde; S : diviseur de faisceau; L_1 , L_2 : lentilles; FD.A. : photodiode à avalanche au Si (TIXL55); FD : photodiode au Si (ROL22); O.E. : oscilloscope à échantillonnage; O : oscilloscope (0-50 MHz); A.S. : analyseur de spectre radio.

[Block diagram to achieve and measure the mode-locking laser operation obtained by the displacement of the mirror of the coupled cavity on the cavity of a HeNe laser. L : laser; O_1 , O_2 : mirrors of the laser cavity; O_3 : mirror of the coupled cavity; D : diaphragm; T : electromechanical transducer (loud-speaker); G.F. : function generator; P : polarizer; $\lambda/4$: quarter-wave plate; S : beam splitter; L_1 , L_2 : lens; FD.A. : Si avalanche photodiode (TIXL55); FD : Si photodiode (ROL22); O.E. : sampling oscilloscope; O : oscilloscope (0-50 MHz); A.S. : radio-spectrum analyser.]

La première voie assure une résolution temporelle élevée (< 1 ns) en utilisant la photodiode FD.A. à avalanche au Si de type TIXL 55 dans une monture coaxiale, adaptée à l'entrée de l'oscilloscope à échantillonnage O.E.

Pour la visualisation de l'enveloppe des impulsions optiques, la mesure dont il résulte une série d'informations liée à la stabilité du régime mode-locking, on utilise la deuxième voie constituée de la photodiode FD de type ROL 22 et de l'oscilloscope O (avec une bande de fréquence de 50 MHz), le temps de réponse sur cette voie étant environ de 7 ns.

3. Résultats expérimentaux.

Au début on a réglé l'égalité de la longueur L_p de la cavité passive à la longueur L_a de la cavité active. Pour un réglage optimal on a utilisé la méthode décrite en [4] qui consiste dans la minimisation du déplacement du spectre de bruit du signal photodétecté mesuré à l'aide de l'analyseur de spectre radio sur la fréquence de l'espacement intermode de la cavité, toutes les fois que le couplage entre les cavités est ou non obturé.

On a étudié la dépendance du régime mode-locking d'une série de paramètres : le niveau, la forme et la fréquence du signal excitateur, la longueur de la cavité passive, et les conditions de couplage des cavités.

En regardant les oscillogrammes de la figure 2, malgré la tendance initiale de self-locking sur le double de la fréquence Ω de l'espacement intermode de la cavité (Fig. 2a), par l'excitation du traducteur T il se produit des impulsions parfaitement reproductibles avec une fréquence de répétition Ω (Fig. 2b).

En tenant compte de la résolution de la chaîne de mesure et aussi des résultats fournis par des mesures de corrélation [4, 5] on peut considérer la durée à mi-hauteur de $\approx 0,7$ ns.

De l'oscillogramme de la figure 3 obtenue sur l'oscilloscope O, il en résulte le caractère répétitif du blocage en phase des modes, le laser revenant à des conditions relaxées de fonctionnement pendant les intervalles de temps dans lesquels a lieu l'inversion du sens de déplacement du miroir O_3 .

a)

b)

Fig. 2. — Oscillogrammes du signal photodétecté obtenues sur l'oscilloscope à échantillonnage O.E. dans les conditions :

[Photodetected signal oscillograms obtained on sampling oscilloscope O.E. in the conditions.]

a) $V_T = 0$ V; b) $V_T = 0,25$ V; $f_T = 100$ Hz; $L_p = L_a$. (5 ns/div; 20 mV/div.)

Fig. 3. — Enveloppe des impulsions optiques (en haut) pour le signal excitateur (en bas) de forme triangulaire (utilisant l'oscilloscope O); $V_T = 0,25$ V; $L_p = L_a$. (En bas : 2 ms/div.; 0,25 V/div.); (en haut : 2 ms/div.; 50 mV/div.).

[Optical pulse envelope (high) for the triangle form exciting signal (low) (using the oscilloscope O).]

En changeant la forme triangulaire du signal excitateur en forme sinusoïdale on ne met en évidence aucune modification notable du régime de blocage en phase des modes.

Maintenant constante l'amplitude de l'oscillation du miroir O_3 , dans le domaine de fréquence basse 10-200 Hz on n'observe pas de modifications du régime mode-locking. Au fur et à mesure que la longueur de la cavité passive L_p diffère de plus en plus de la valeur L_a , l'amplitude des impulsions optiques baisse (deux fois à une longueur $L_p = L_a \pm 6$ cm), réduction accompagnée de l'augmentation de la durée de celles-ci, prouvant que le réglage de l'égalité des longueurs des deux cavités est critique.

Le régime mode-locking s'interrompt si le diaphragme est complètement ouvert. Ce comportement peut être interprété par l'effet du diaphragme de réduire l'excitation des modes transversaux supérieurs.

L'augmentation de la puissance des impulsions de mode-locking à l'accroissement de la vitesse de déplacement du miroir O_3 est plus clairement mise en évidence par l'oscilloscope à échantillonnage O.E. que la visualisation de l'enveloppe. Cependant, l'augmentation du facteur de remplissage du régime mode-locking peut être observé plus facilement sur l'enveloppe des impulsions de l'oscilloscope O. Ainsi, au fur et à mesure que l'excitation du haut-parleur augmente, on remarque sur les oscillogrammes 4a, b, c, d la croissance de la puissance des impulsions optiques et la réduction des intervalles de temps dans lesquels le laser revient aux conditions relaxées de fonctionnement, en conséquence, en augmentant le facteur de remplissage du régime mode-locking.

On a évalué le niveau de seuil pour lequel le laser fonctionne dans un régime de mode-locking à une amplitude de vibration du miroir O_3 de $\approx 0,25$ mm (à une excitation du traducteur de 0,2 V à la fréquence de 50 Hz).

On observe aussi, aux faibles excitations le fonctionnement dans des trains d'impulsions ayant des périodes de 20 μ s environ (Fig. 4b), analogues à celles produites par les lasers en régime « Q switch ».

Lors de l'augmentation de l'excitation (Fig. 4c) on émet des trains d'impulsions de mode-locking, de telle sorte qu'aux grandes excitations le comportement « Q switch » est complètement remplacé par le régime mode-locking (Fig. 4d).

Comme l'oscilloscope à échantillonnage O.E. ne permet pas l'observation du régime « Q switch », alors que l'oscilloscope O ne permet que l'observation de l'enveloppe approximative des impulsions, une interprétation rigoureuse des phénomènes peut être obtenue en utilisant seulement l'oscilloscope de grande bande de fréquences en direct (sans échantillonnage).

Le spectre radio du signal photodéfecté est présenté dans les figures 5a, 5b. On observe lors de la vibration du miroir O_3 le rétrécissement de la bande de bruit de 200 kHz dans les conditions relaxées aux valeurs inférieures à 5 kHz.

On a obtenu les mêmes évolutions temporelles, le même caractère répétitif et le même spectre dans le cas où le même miroir O_3 fixé sur le traducteur électromécanique a été positionné à la distance $L_p = 2 L_a$. Le régime de mode-locking ainsi obtenu dans les conditions où le rayon du miroir O_3 est non adapté à la courbure de la surface de phase de l'onde, prouve qu'il suffit d'un seul parcours aller-retour de la raie dans la cavité, pour provoquer le couplage des modes.

Pour relever le rôle des paramètres de couplage du miroir O_2 , on a inversé les extrémités du laser. Dans ce cas on n'a observé qu'une influence réduite de la vibration du miroir O_3 aux signaux émis.

4. Possibilités d'applications dans la mesure du temps de réponse des dispositifs opto-électroniques.

La méthode de mode-locking présentée produit un régime de fonctionnement répétitif, consistant dans l'alternance des intervalles de temps dans lesquels le laser fonctionne en régime mode-locking avec des intervalles de temps dans lesquels il fonctionne de façon relaxée. Pour des mesures, il faut utiliser seulement le signal fourni par le laser quand il est en régime mode-locking. Cela est réalisé par l'extinction du spot de l'oscilloscope utilisé pour mesurer pendant les intervalles où les modes ne sont pas couplés.

La configuration expérimentale de l'installation de mesure fonctionnant d'après ce principe est présentée dans la figure 6. Ce schéma, semblable à celui présenté dans la figure 1, à laquelle on a ajouté le schéma d'extinction du spot de l'oscilloscope à échantillonnage O.E., est équipé de monostables M_1 et M_2 . La synchronisation du schéma d'extinction et les durées des impulsions engendrées par les monostables M_1 et M_2 sont réglées de telle façon que le signal photodéfecté est visualisé sur l'écran de l'oscilloscope à échantillonnage toutes les fois que les modes sont bloqués en phase.

En considérant seulement une fraction η d'une semi-période $T_T/2$ du signal exciteur quand le laser fonctionne en régime de mode-locking, la constante de temps t_2 du circuit monostable M_2 (égale à la durée de visualisation) doit être réglée pour satisfaire l'inégalité :

$$t_2 \leq t_{2\max} = \eta \frac{T_T}{2}. \quad (1)$$

En déclenchant le circuit monostable M_1 au moment de l'annulation de la tension V_T , la constante de temps de celui-ci doit accomplir la condition :

$$t_1 = \frac{T_T}{4} + \frac{1}{2} \left(\frac{T_T}{2} - t_2 \right). \quad (2)$$

Par exemple, avec $T_T = 20$ ms et $\eta = 0,8$, il résulte de la relation (1) $t_{2\max} = 8$ ms. Par le réglage de t_2 à 4 ms, la relation (2) impose $t_1 = 8$ ms. Dans ces conditions on a obtenu, comme on observe sur la figure 7, un réglage correct du schéma d'extinction du spot. Ainsi, les intervalles de temps visualisés (sélectionnés par l'annulation de la tension de sortie du circuit monostable M_2) sont placés au milieu des intervalles du temps de fonctionnement du laser en régime mode-locking.

Les évolutions temporelles des impulsions émises visualisées à l'aide de la photodiode TIXL55 en tant que photodiode d'étalonnage F.D.E. sont présentées dans les figures 8. D'une part les figures 8a₁ et 8a₂ et d'autre part les figures 8b₁ et 8b₂ présentent des oscillogrammes obtenus sans et respectivement avec l'application du schéma d'extinction du spot de l'oscilloscope O.E.

On peut remarquer dans les figures 8b₁ et 8b₂ la suppression du bruit superposé aux impulsions, ce qui détermine l'éclairage de l'image sur l'oscilloscope et permet l'augmentation de la précision dans les mesures de durée des impulsions (≤ 1 ns). Ce schéma a été

Fig. 7. — Signal fourni par le circuit monostable (en bas) se rapportant au signal photodétekté (en haut). (En bas : 5 ms/div.; 5 V/div.); (en haut : 5 ms/div.; 50 mV/div.).

[Monostable circuit signal (low) in comparison with the photodetected signal (high). (Low : 5 ms/div.; 5 V/div.); (high : 5 ms/div.; 50 mV/div.).]

Fig. 8. — L'effet du schéma d'extinction du spot aux impulsions visualisées; a₁, a₂ : schéma d'extinction arrêté; b₁, b₂ : schéma d'extinction en marche.

[Influence of the spot extinction scheme onto the visualized pulses; a₁, a₂ : extinction scheme turned off; b₁, b₂ : extinction scheme turned on.]

(a₁, b₁ : 1 ns/div.; 10 mV/div.); (a₂, b₂ : 5 ns/div.; 10 mV/div.).

utilisé dans la mesure des temps de réponse de différents photodétecteurs et de la dispersion des fibres optiques par comparaison de la forme et des durées des impulsions de sortie aux formes et durées des impulsions d'entrée.

5. Conclusions.

La méthode présentée est très indiquée pour des applications à des lasers à HeNe en régime de blocage en phase des modes.

Le désavantage du caractère répétitif du régime

mode-locking obtenu par cette méthode est facile à supprimer tel qu'il est indiqué dans le présent travail par une modification correspondante de l'installation de mesure.

Avec ces modifications, l'installation est apte à la mesure des temps de réponse des dispositifs photodétecteurs et de la dispersion des fibres optiques. De même, l'alternance du régime mode-locking périodiquement avec le régime relaxé de fonctionnement peut être utile dans les expériences dans lesquelles on désire établir la dépendance de certaines interactions non linéaires des propriétés de cohérence du signal optique [6].

Bibliographie

- [1] BAMBINI, A., BURLAMACCHI, P., *J. Appl. Phys.* **39** (1968) 4864.
 - [2] SMITH, P. W., *Appl. Phys. Lett.* **10** (1967) 51.
 - [3] PODOLEANU, A. Gh., POPESCU, I. M., *Rev. Roum. Phys.* **30** (1985) 381.
 - [4] PODOLEANU, A. Gh., Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Bucarest (1984).
 - [5] UHLHORN, R. W., *Correlation Detection of Sub Nanosecond Optical Pulses*, Univ. Illinois, Ph. D. 1970.
 - [6] SCHUBERT, M., WILHELMI, B., in Wolf, E., ed. *Progress in Optics*, XVII (North Holland Publishing Company) 1980, p. 163.
-