

METHODES DE CARACTERISATION DE RESONATEURS OPTIQUES A TRES FORTS FACTEURS DE QUALITE POUR LA GENERATION HYPERFREQUENCE

Pierre-Henri Merrer^{1,2}, Aude Bouchier^{1,2}, Olivier Llopis^{1,2}

¹ CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

² Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France

bouchier@laas.fr

RESUME

Le facteur de qualité des résonateurs hyperfréquences a actuellement atteint ses limites, notamment pour la montée en fréquence des oscillateurs hyperfréquences. Une solution consiste à transporter les hyperfréquences sur une onde optique et à élaborer des résonateurs optiques très performants. Pour cela, nous développons des anneaux de fibre résonants avec des facteurs de qualité optiques supérieurs à 10^9 . Il est donc nécessaire de caractériser finement ces résonateurs. Différentes méthodes de détermination de leur facteur de qualité optique sont possibles, et nous présentons ici une comparaison entre les trois méthodes que nous utilisons.

MOTS-CLEFS : *Résonateurs optiques ; facteur de qualité ; caractérisation optique ; optique-micro-onde.*

1. INTRODUCTION

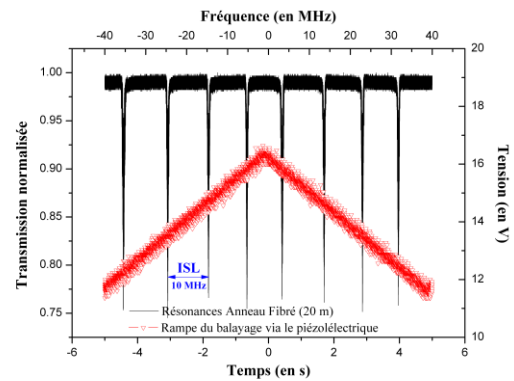
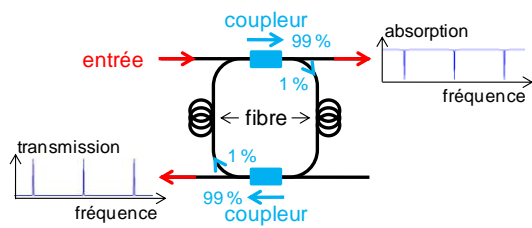
L'amélioration des sources et filtres micro-ondes nécessite de nouveaux résonateurs alliant très fort facteur de qualité (Q) et volume réduit. Quand la fréquence des oscillateurs augmente, ceci n'est plus réalisable directement en micro-onde. Une solution élégante est de transporter l'onde hyperfréquence sur une porteuse optique pour la piéger dans un résonateur optique [1]. Ce résonateur génère alors un peigne de modes distants d'un sous-multiple de la fréquence micro-onde à stabiliser. Chaque mode présente un facteur de qualité optique Q_{opt} et un facteur de qualité équivalent en hyperfréquence Q_{rf} . Déterminer Q_{opt} permettra donc d'anticiper la valeur de Q_{rf} . Il est donc nécessaire de caractériser précisément les résonateurs optiques afin de prévoir leur comportement dans un oscillateur opto-micro-onde. Nous présentons et comparons donc dans cette communication plusieurs techniques de mesure du facteur de qualité optique de résonateurs. Elles sont illustrées par l'application à la caractérisation d'un anneau de fibre résonant de 20 m.

2. LES ANNEAUX DE FIBRE RESONANTS

Les anneaux de fibres résonants sont composés de deux fibres monomodes transverses, typiquement des fibres SMF 28, reliées par deux coupleurs fibrés (fig. 1(a)) [2]. Les fibres sont connectées par des soudures, avec des pertes de l'ordre de 0,02 dB. Nous avons utilisé des coupleurs 99/1 % pour une longueur totale de l'anneau de 20 m. Le principal avantage de ces résonateurs est que le couplage d'un laser fibré est direct, et permet d'intégrer le système. La caractérisation de ces anneaux passe par la détermination de leur intervalle spectral libre (ISL) et de leur facteur de qualité optique. Pour déterminer Q_{opt} , il faut mesurer la largeur à mi-hauteur des modes résonants. Le plus simple est de balayer le peigne de fréquences optiques. Il est pour cela indispensable d'utiliser un laser accordable en fréquence, comme un laser DFB, de largeur spectrale de l'ordre de quelques MHz, ou un laser de plus faible largeur spectrale. Un laser Tunics-BT de 150 kHz de largeur spectrale et un laser Koheras de 1 kHz ont été utilisés pour la caractérisation d'un anneau de fibre de 20 m.

3. METHODE DE "SCAN"

La méthode de "scan" consiste donc à balayer la fréquence du laser accordable afin de pouvoir visualiser le peigne de fréquence généré par le résonateur optique [3].



(a) Schéma de principe de l'anneau de fibre.

(b) Mesure de l'ISL en "scan" direct de l'anneau.

Fig. 1 : Anneau de fibre de 20 m.

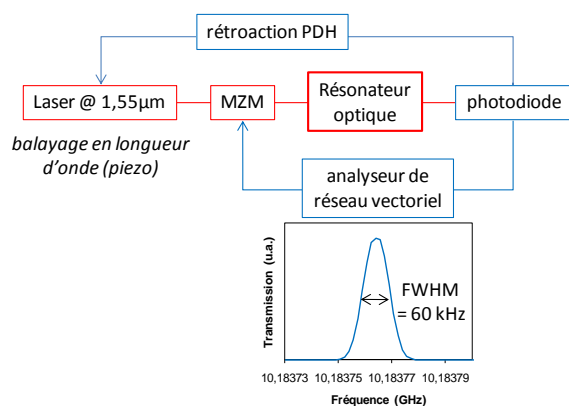
Cette technique très simple permet de mesurer directement l'ISL du résonateur (fig. 1(b)), si la plage d'accordabilité du laser est suffisamment importante, mais elle présente quelques inconvénients pour la mesure de la largeur des modes. En effet, si le mode résonant est très fin, c'est-à-dire que le résonateur a une grande finesse, il faudra que la largeur spectrale du laser soit plus fine que celle du mode. Un laser tel qu'un DFB ou le Tunic-BT sera trop large spectralement pour pouvoir résoudre correctement le mode. Cette technique de mesure du facteur Q_{opt} sera donc possible avec le laser Koheras. Avec ce laser, nous avons pu mesurer une largeur de mode de 65 kHz correspondant à un facteur de qualité de l'ordre de $3 \cdot 10^9$ à $1,55 \mu\text{m}$. Néanmoins, à cause de leurs très forts facteurs de qualité, ces résonateurs sont très sensibles aux variations de température. L'injection du laser perturbe le résonateur, et peut déformer le mode que l'on cherche à mesurer. Il peut être nécessaire d'utiliser une autre technique afin de conforter la mesure réalisée.

4. MESURE FREQUENTIELLE DANS LE DOMAINE RF OU MICRO-ONDE

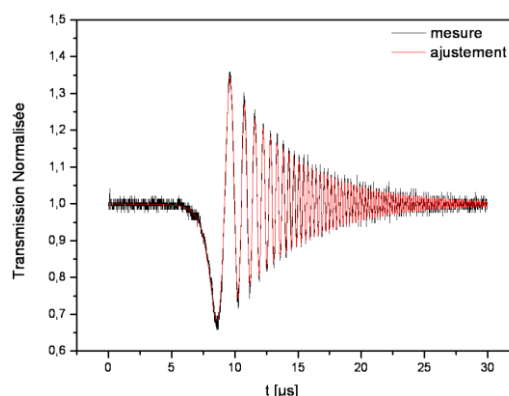
Une méthode alternative consiste alors à stabiliser la fréquence du laser sur un mode de résonance de l'anneau, et à caractériser le résonateur dans le domaine micro-onde sur les modes voisins du peigne étant donné que la largeur du mode est inchangée pour des modes proches en fréquence (à l'échelle des fréquences optiques). Pour cela, nous utilisons une boucle de Pound-Drever-Hall (PDH) [4,5] (fig. 2(a)). Le modulateur de Mach-Zehnder (MZM) va nous permettre de moduler en hyperfréquence le laser, et un analyseur de réseaux hyperfréquences nous permettra d'observer le mode résonant dans la gamme hyperfréquence, ici autour de 10 GHz. Pour l'anneau de 20 m, nous mesurons ainsi une largeur de mode de 60 kHz, conduisant à un Q_{opt} de $3,2 \cdot 10^9$ à $1,55 \mu\text{m}$, comparable à la mesure réalisée via la méthode de "scan". L'erreur réalisée lors de la mesure de "scan" est donc relativement faible dans ce cas. Nous utilisons néanmoins un laser de faible largeur spectrale afin de stabiliser facilement le laser sur un mode résonant. Il est possible aussi d'utiliser une troisième méthode moins restrictive dans le choix du laser de caractérisation.

5. METHODE DE "CAVITY RING DOWN"

La méthode de "cavity ring down" (CRD) permet en effet de s'affranchir de la difficulté liée à la comparaison entre la largeur spectrale du laser et celle du mode, puisque la mesure a directement lieu dans le domaine temporel. Elle revient à faire une mesure de type "scan" en balayant rapidement la fréquence. Cette mesure est alors moins sensible aux effets thermiques que la mesure de "scan". Le principe est de mesurer le temps de vie de photon dans la cavité résonante en observant le régime de relaxation de la cavité. Couplée à une simulation de l'analyse en CRD de la cavité [6], cette méthode donne accès aux différents facteurs de qualité de la cavité : facteur intrinsèque, lié aux pertes internes de la cavité, facteur de couplage, lié aux caractéristiques des coupleurs de l'anneau, facteur global, qui caractérise l'anneau dans le système utilisé.



(a) Mesure de la largeur du mode dans le domaine micro-onde.



(b) Caractérisation en CRD de l'anneau de fibre.

Fig. 2 : Caractérisation micro-onde et en CRD de l'anneau de fibre.

Pour l'anneau de 20 m étudié ici, le facteur de qualité global, déterminé en CRD grâce à l'ajustement du modèle de CRD sur les résultats expérimentaux (fig 2(b)), est de $3,22 \cdot 10^9$ avec un facteur de qualité intrinsèque de $8,2 \cdot 10^9$. Cette méthode a l'avantage de découpler les composantes entrant dans le facteur de qualité du résonateur et de permettre une caractérisation plus fine des coupleurs utilisés pour le montage de l'anneau de fibre.

CONCLUSION

Les résonateurs optiques donnent accès à des facteurs de qualité optiques élevés, supérieurs à 10^9 à $1,55 \mu\text{m}$, permettant la réalisation de résonateurs avec de très bonnes performances dans le domaine des hyperfréquences avec un volume réduit. Plusieurs méthodes de mesure du facteur de qualité optique sont donc utilisables selon le type de laser disponible, l'influence des effets thermiques, ainsi que les besoins de caractérisation, les trois méthodes donnant des résultats parfaitement cohérents entre eux et se révélant être complémentaires. La méthode de "scan" permet la détermination de l'ISL du résonateur ainsi qu'une bonne évaluation de son facteur de qualité. La stabilisation du laser permet de déterminer avec précision ce facteur de qualité, et la mesure en CRD donnera une caractérisation plus détaillée des composantes du facteur de qualité.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Yannick Dumeige, Stéphane Trebaol et Patrice Féron de l'ENSSAT à Lannion pour les mesures de CRD et leur analyse sur l'anneau de fibre, ainsi que le CNES et la DGA pour leur soutien sur ce travail.

REFERENCES

- [1] L. Maleki, X.S. Yao, J. Yu and V. Ilchenko, « New schemes for improved opto-electronic oscillator », *Int. Topical Meeting on Microwave Photonics, MWP99*, p. 177, 1999
- [2] P.H. Merrer, O. Llopis and G. Cibiel, « Laser stabilization on a fiber ring resonator and application to RF filtering », *IEEE Photon. Tech. Letters*, vol.20 (16), pp. 1399-1401, 2008.
- [3] P.H. Merrer, O. Llopis, S. Bonnefont, P. Féron and G. Cibiel, « Microwave filtering using high Q optical resonators », *Proc. of the European Microwave Conf.*, Amsterdam 2008.
- [4] R.V. Pound, « Electronic frequency stabilization of microwave oscillators », *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 17 (11), pp. 490–505, 1946.
- [5] R.W.P. Drever, J.L. Hall, F.V. Kowalski, J. Hough, G.M. Ford, A.J. Munley and H. Ward, « Laser phase and frequency stabilization using an optical-resonator, » *Appl. Phys. B.*, vol. 31, (2), pp. 97–105, 1983.
- [6] Y. Dumeige, S. Trebaol, L. Ghisa, T.K.N. Nguyễn, H. Tavernier and P. Féron, « Determination of coupling regime of high-Q resonators and optical gain of highly selective amplifiers », *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 25 (12), pp. 2073-2080, 2008.