Caractérisation des régimes de synchronisation d'un laser bifréquence auto-injecté

Romanelli, Wang, Brunel, & Vallet

Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1 - CNRS UMR 6251, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France
marco.romanelli@univ-rennes1.fr

Nous avons étudié récemment la possibilité de verrouiller le battement entre les deux modes d'un laser bifréquence sur une référence donnée par un oscillateur local radiofréquence [1]. A cette fin, nous avons mis en œuvre une boucle de rétroaction tout optique, comportant une réinjection décalée en fréquence d'un mode dans l'autre.

Il apparaît que deux régimes de synchronisation distincts sont possibles. Lorsque la différence de fréquence $\Delta\nu$ entre le battement et l'oscillateur local est inférieure à une fréquence f_A déterminée par le taux de réinjection, il y a verrouillage de phase entre les deux oscillateurs, c'est-à-dire que la phase entre le battement et la référence est constante. Pour $\Delta\nu > f_A$, un régime d'accrochage de fréquence sans accrochage de phase apparaît. Dans ce régime, appelé aussi *phase bornée* [2,3], la phase relative n'est pas stationnaire, mais oscille en fonction du temps. Cependant aucun des deux oscillateurs ne prend jamais “un tour d'avance” sur l'autre ; l'accrochage en fréquence est donc préservé. Le régime de phase bornée étend la plage de synchronisation au delà de f_A, jusqu'à une valeur f_B du désaccord. f_B est typiquement de l'ordre de $\sqrt{2}f_A$. Enfin, lorsque $\Delta\nu > f_B$, les deux oscillateurs ne sont plus synchronisés, et la phase relative dérive indéfiniment.

Nous avons caractérisé expérimentalement ces trois régimes, et comparé ces résultats à des simulations numériques basées sur le modèle décrit en [1]. Expérimentalement, on a accès à tout instant à l'amplitude et à la phase du battement généré par les deux modes laser. Il est alors commode de représenter graphiquement ce battement dans un référentiel tournant à la fréquence de l'oscillateur local. Dans ce référentiel plan, le régime de verrouillage de phase apparaît comme un point fixe. Ce point fixe devient un cycle limite qui n'entoure pas l'origine du plan lorsque $\Delta\nu$ devient supérieur à f_A. Autrement dit, la transition phase constante-phase bornée est une bifurcation de Hopf. Quand $\Delta\nu$ augmente, le cycle limite se rapproche de plus en plus du point origine, jusqu'à le contenir quand $\Delta\nu = f_B$ et puis l'entourer lorsque $\Delta\nu > f_B$. Aucun changement qualitatif ne se produit à la transition phase bornée-décrochage complet ; f_B n'est donc pas un point de bifurcation, contrairement à f_A.

Cependant, la mesure du spectre de bruit de phase du battement montre que sa pureté spectrale est essentiellement la même en régime de phase verrouillée et de phase bornée. Dans les deux cas, la stabilité de phase sur le long terme de l'oscillateur local est reportée sur le battement optique. Au contraire, la transition phase bornée-décrochage complet est marquée par une brusque remontée du bruit de phase, qui devient essentiellement celui du battement en régime “libre”. Ce comportement est confirmé par nos simulations.

Ces résultats montrent que le régime de phase bornée est un régime de synchronisation à part entière. La plage de synchronisation est donc bien plus large que l'intervalle $-f_A < \Delta\nu < f_A$ dans lequel la phase relative est constante.

Références

1. J. Thévenin, M. Romanelli, M. Vallet, M. Brunel, and T. Erneux, *Phys. Rev. A* **86**, 033815 (2012) ; J. Thévenin, M. Romanelli, M. Brunel, M. Vallet, and T. Erneux, *Comptes-Rendus de la 15e Rencontre du Non-Linéaire*, 197 (2012).
2. B. Kelleher, D. Goulding, B. Baselga Pascual, S. P. Hegarty, and G. Huyet, *Phys. Rev. E* **85**, 046212 (2012).
3. S. Wieczorek, B. Krauskopf, T. B. Simpson, and D. Lenstra, Phys. Rep. **416**, 1 (2005).