Estabilización de láseres utilizando FPGA

Nicolás Nuñez Barreto

La frecuencia de los láseres en general no es estable, sino que existen muchas variables que hacen que la misma fluctúe y derive. Algunas de ellas son ruido en la corriente del diodo (en el caso de láseres de semiconductor), temperatura, vibraciones externas, entre otras [1].

Para muchas aplicaciones, como por ejemplo espectroscopía atómica, es necesario que la misma esté estabilizada a una referencia fija controlable. Dicha referencia debe ser capaz de informar a la variable que controla la frecuencia del láser (en nuesro caso, la corriente del diodo) si debe corregir la frecuencia, y para qué lado corregirla. De alguna manera uno debe generar una *señal error* con dicha referencia, que es la señal que se utiliza para corregir la variable.

Una vez que tenemos una señal error, utilizamos un lazo cerrado para la corrección de la señal. En nuestro caso utilizamos lazos tipo PID, lo cual implica que con la señal error $e(t)$ se genera una señal de corrección $u(t)$ con tres componentes: una proporcional a la señal error, una proporcional a la derivada de la señal error y una proporcional a la integral en un cierto tiempo de la misma, de modo tal que sea

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t')dt' + K_d \frac{du(t)}{dt}. \tag{1}$$

La señal de corrección se agrega a la corriente del láser y de esa manera la frecuencia del láser se mantiene estable. La elección de los tres coeficientes es clave para lograr una buena estabilización y depende fuertemente del sistema a estabilizar.

En nuestro caso, utilizamos como referencia para la estabilización una cavidad Fabry-Perot. La misma posee transferencia máxima, y por lo tanto reflexión mínima, cuando la frecuencia resuena en la cavidad. Si realizamos un barrido en la frecuencia del láser variando la corriente, veríamos un patrón de picos (o valles), cuya posición depende únicamente del largo de la cavidad, por lo cual son buenos candidatos para la estabilización. Para lograr que la misma sea independiente de fluctuaciones en intensidad del láser y poder distinguir para qué lado corregir, se modula la frecuencia del láser. Mezclando la señal reflejada resultante de dicha modulación con la misma modulación y filtrandola con un pasabajos se genera una señal error razonable para la estabilización. Dicho método se denomina *Pound-Drever-Hall* [2] y es un método utilizado ampliamente para estabilizaciones muy finas.

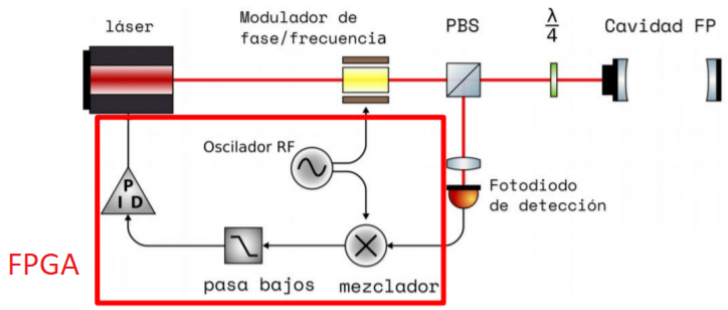

Diagrama de los componentes utilizados para la estabilización de láseres de diodo.

En la estabilización de nuestros láseres utilizamos una FPGA (Field Programmable Gate Array) para la etapa de modulación y demodulación [3]. La misma tiene salidas y entradas analógicas rápidas, de 125 MS/s y 14 bits, que nos permiten realizar la corrección de la corriente del láser a tiempos lo suficientemente cortos como para estabilizar perturbaciones a escalas temporales hasta por lo menos del orden de los microsegundos

Referencias

[1] Neuhaus R (2009). Diode Laser Locking and Linewidth Narrowing, *Toptica Application* 1012. Obtenido de *https://www.toptica.com/*

[2] Black, E. D. (2001). An Introduction to Pound–Drever–Hall Laser Frequency Stabilization. *American Journal of Physics*, 69(1), 79-87.

[3] Luda M, Drechsler M, Schmiegelow C T, Codnia J (2019). Compact Embedded Device for Lock-in Measurements And Experiment Active Control, *Review of Scientific Instruments* 90, 023106