



DETECCIÓN LOCK-IN INTERMODULADA

Gustavo Rubín Linares, José A. Dávila Pintle, José Soto Manríquez
Instituto de Física B.U.A.P.

Avenida San Claudio y 18 Sur

grubin@sirio.ifuap.buap.mx, jpintle@sirio.ifuap.buap.mx, jsoto@sirio.ifuap.buap.mx

RESUMEN

La técnica lock-in es usada para detectar y medir señales de AC tan pequeñas que en ocasiones pueden ser del orden de nanovolts, además se pueden realizar mediciones con gran precisión aún cuando las señales de interés se encuentren oscurecidas por fuentes de ruido miles de veces mayores. Sin embargo, la técnica tiene variantes como la detección lock-in intermodulada, la cual requiere que el experimento sea excitado simultáneamente a dos diferentes frecuencias, y a ésta suma se sincroniza el lock-in, con lo cual se mejora la razón señal a ruido y la técnica se vuelve mucho más sensible en varios órdenes de magnitud. Nosotros implementamos la técnica en experimentos de espectroscopia láser a fin de disminuir el efecto *Doppler* y poder observar la estructura hiperfina de niveles electrónicos en Rubidio. Para éste fin se llevó a cabo el diseño y construcción de un generador de la suma de frecuencias de muy alta precisión. Los resultados para la estructura hiperfina del Rb se comparan con los de la técnica absorción saturada mediante detección balanceada, la cual utiliza un circuito de importación y por lo tanto posee un alto grado de precisión y confiabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Todas las mediciones lock-in comparten unos principios básicos [1, 2]. La técnica requiere que el experimento sea excitado a una frecuencia fija en alguna zona del espectro relativamente libre de ruido. El lock-in entonces detecta la respuesta del experimento en una banda muy angosta centrada en la frecuencia de excitación. Esta técnica de medición tiene múltiples aplicaciones como por ejemplo: detección de muy bajos niveles de luz, medición de resistencias del orden de $\mu\Omega$, análisis de C-V en dispositivos semiconductores, en estudios de resonancia magnética nuclear y en general en cualquier otro caso que implique la detección de pequeñas señales de AC. Para lograr realizar estas mediciones con tanta precisión los amplificadores lock-in usan una técnica conocida como detección sensible a fase *PSD phase-sensitive-detection*. De ésta forma extraen la componente de la señal de interés a una frecuencia y fase de referencia

rechazando las señales de ruido que se encuentran a frecuencias diferentes de la frecuencia de referencia.

2. CUERPO DEL TEXTO

En el diagrama a bloques de la figura 1.3. se presenta el arreglo para experimentos con detección lock-in tradicional, como puede verse el generador de funciones excita el experimento a una determinada frecuencia y al mismo tiempo entrega una señal de referencia al lock-in. De ésta forma la salida del experimento es detectada y amplificada por el lock-in a la frecuencia de referencia y finalmente se visualiza la salida del lock-in en un osciloscopio, una computadora o cualquier otro dispositivo.

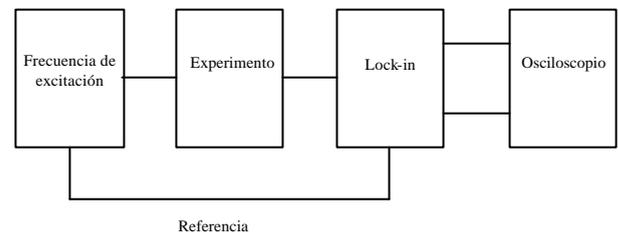


Fig. 1. Diagrama a bloques de un experimento con la técnica lock-in tradicional.

Sin embargo, en la implementación de la técnica lock-in intermodulada excitamos el experimento a dos diferentes frecuencias, como puede verse en la figura 2.

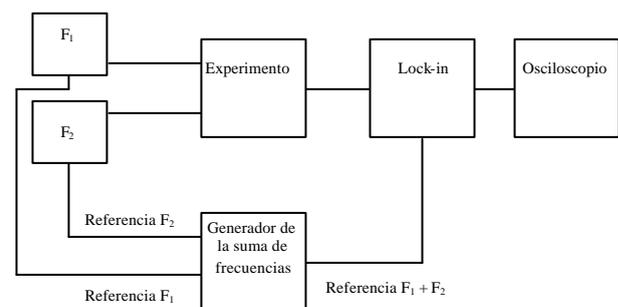




Fig. 2. Diagrama a bloques de un experimento con la técnica lock-in intermodulada.

Esta forma de utilizar el lock-in es mucho más sensible que la tradicional, ya que en éste tipo de modulación surgen nuevas combinaciones de frecuencias inexistentes en cualquier forma de contaminación, tales como reflexión, dispersión, etc.[3, 4] Por esta razón la técnica intermodulada es superior a las técnicas tradicionales.

Para sintonizar el Lock-in a la suma de frecuencias, llevamos a cabo el diseño y construcción de un circuito eléctrico que fuera capaz de generar una señal de referencia a la suma de las dos frecuencias de modulación. En la figura 3 se muestra el diagrama a bloques para el generador de la suma de frecuencias.

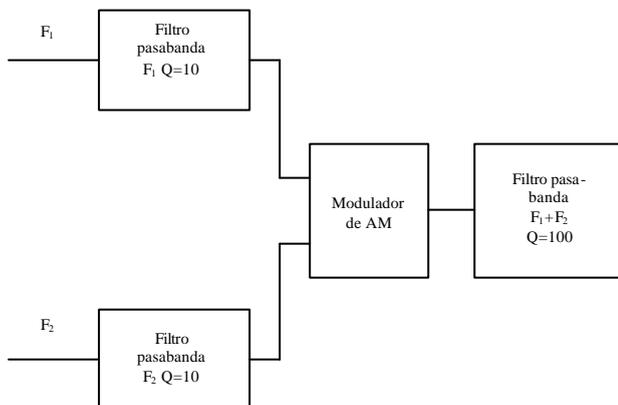


Fig. 3. Diagrama a bloques del generador de la suma de frecuencias.

Las señales correspondientes a las frecuencias de modulación de cada uno de los dos haces f_1 y f_2 , se amplifican y se filtran a sus respectivas frecuencias de modulación [5, 6], a fin de obtener dos señales senoidales. Posteriormente éstas dos señales senoidales entran a un modulador de AM el cual produce una señal senoidal a la suma de las frecuencias de las señales entrantes [7]. Finalmente esta señal senoidal se limpia de ruido con un filtro pasa banda muy agudo y después pasa por una compuerta con disparador Schmitt el cual nos entrega una señal cuadrada a la suma de las frecuencias de modulación de las dos señales.

La técnica lock-in intermodulada se implementó en espectroscopia láser libre del efecto *Doppler* para estudiar la estructura hiperfina del Rubidio. La técnica se conoce como Espectroscopia por Fluorescencia Intermodulada [8, 9]. La implementación de la técnica

implica modular sincrónicamente en intensidad dos haces provenientes de un mismo láser a dos diferentes frecuencias. La modulación se realiza con un chopper cuyo plato posee doble juego de ventanas. Una de las dos frecuencias la suministra el chopper, pero la otra no se conoce por lo que es necesario medirla de forma continua. Esta medición se realiza con un láser de HeNe cuyo haz cruza el grupo de ventanas de frecuencia desconocida e incide en un fotodetector el cual se encuentra en la configuración fotovoltaica.

Los resultados obtenidos por ésta técnica se comparan con los de la técnica de absorción saturada mediante detección balanceada. En la figura 4 se presenta la estructura electrónica fina del Rubidio obtenida por detección lock-in tradicional.

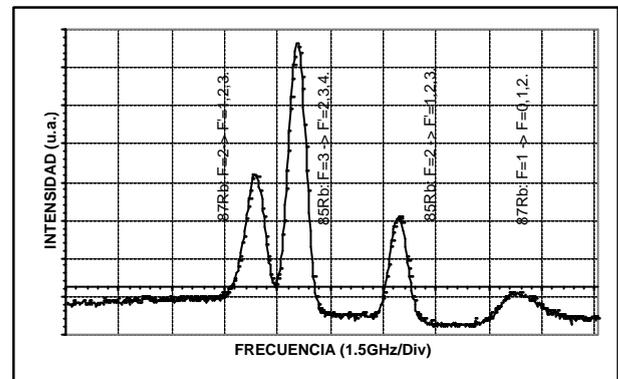


Fig. 4. Estructura fina del Rubidio obtenida por detección lock-in tradicional.

El ensanchamiento de los picos de la figura 4 corresponde al efecto Doppler. Para obtener la estructura electrónica hiperfina del Rb, es necesario hacer que se contra propaguen dos haces e interactúen simultáneamente con el Rb [10, 11]. Los resultados para detección balanceada y fluorescencia intermodulada se presentan en las figuras 5 y 6.

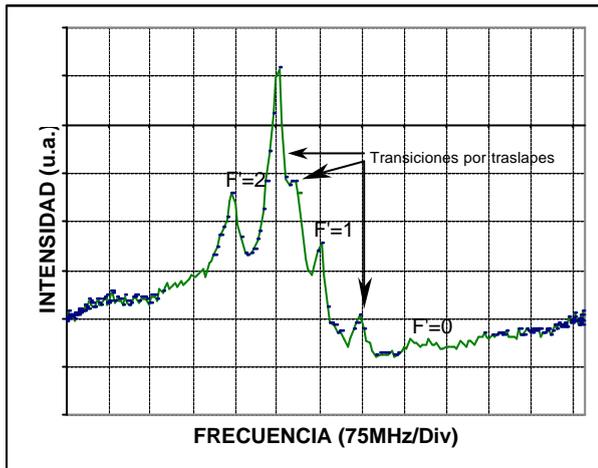


Fig. 5. Transición $F=1 \rightarrow F'=0,1,2$ de ^{87}Rb obtenido por detección balanceada

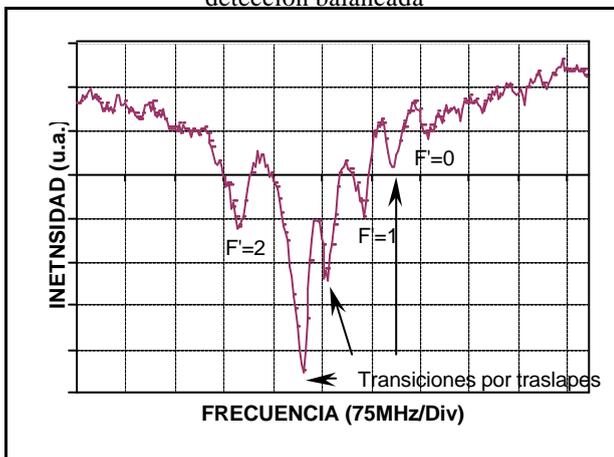


Fig. 6. Transición $F=1 \rightarrow F'=0,1,2$ de ^{87}Rb obtenido por Fluorescencia Intermodulada.

Los resultados para la estructura hiperfina anteriores corresponden al isótopo ^{87}Rb , el cual es el pico mas pequeño que se observa en el extremo derecho de la figura 4. Es decir, bajo este pico en la figura 4 se encuentran los picos de las figuras 5 y 6 que corresponden a la estructura hiperfina. Comparando estas dos últimas figuras podemos notar que los picos correspondientes $F'=0$ y una de las transiciones por intercruzamiento no se pueden identificar claramente en el caso de absorción saturada mientras que en el caso de fluorescencia intermodulada se distinguen perfectamente y están en buen acuerdo con la información reportada para el Rubidio [12, 13].

3. CONCLUSIONES

El diseño del circuito generador de la suma de frecuencias nos permitió obtener resultados superiores con la técnica intermodulada que los obtenidos por detección balanceada para la estructura hiperfina del Rb. El circuito diseñado y construido se puede adquirir comercialmente pero ya que es de importación su costo es demasiado elevado comparado con el que llevamos a cabo, el cual se puede construir con componentes localmente disponibles. Este circuito nos brinda la posibilidad de realizar experimentos sub-Doppler de alta resolución en un rango de 10^{-5} nm, lo que constituye una herramienta poderosa tanto en física básica como aplicada.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Lock-in amplifier model SR510*(Stanford Research Systems, Inc., 1989).
- [2] *Lock-in amplifier model SR530*(Stanford Research Systems, Inc., 2001).
- [3] Marc D. Levenson, Satoru S. Kano, *Introduction to nonlinear laser spectroscopy*(San Diego, California: Academic Press, Inc., 1988).
- [4] K. Shimoda, *High-resolution laser spectroscopy*(Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1976).
- [5] Sergio Franco, *Design with operational amplifiers and analog integrated circuits*(U.S.A.: McGraw-Hill, 1988).
- [6] Jacob Millman & Christos C. Halkias, *Integrated electronics*(U.S.A.: McGraw-Hill, 1984).
- [7] B.P. Lathi, *Introducción a la teoría y sistemas de comunicación*(México: Limusa, 1997).
- [8] M. S. Sorem & A. L. Schawlow, Saturation spectroscopy in molecular iodine by intermodulated fluorescence, *Optics Communications*, 5(3), 1972, 148-
- [9] W. Demtröder, *Laser spectroscopy*(Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1988).
- [10] V. S. Letokhov, V. P. Chebotayev, *Nonlinear laser spectroscopy*(Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1977).
- [11] K. B. MacAdam, A. Steinbach, & C. Wieman, A narrow-band tunable diode laser system with grating feedback, and a saturated absorption spectrometer for Cs and Rb, *Am. J. Phys.* 60 (12), 1992, 1098-1111
- [12] Daryl W. Preston, Doppler-free saturated absorption: Laser spectroscopy, *Am. J. Phys.*, 64(11), 1996, 1432-1436.
- [13] G. N. Rao, M. N. Reddy, & E. Hecht, Atomic hyperfine structure studies using temperature/current tuning of diode lasers: An ungraduate experiment, *Am. J. Phys.*, 66(8), 1998, 702-711.



**“SEGUNDO CONGRESO NACIONAL DE ELECTRONICA, 24, 25 ,26 DE SEPTIEMBRE DE 2002
CENTRO DE CONVENCIONES WILLIAM O JENKINS , PUEBLA PUE. MEXICO“**