

# GENERACIÓN DE ONDAS SENOIDALES MEDIANTE LA INSERCIÓN DE DESFASADORES ACTIVOS EN UN SISTEMA TETRAFÁSICO

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 30 de septiembre de 2020

**Luis Napolitano\***, Marcelo Daniel Leo, Diego Adán Scharf

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Departamento de Electrónica, Laboratorio de Investigación Aplicada, Av. Ramón Franco 5050, Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*  
Correo Electrónico: [lefra@fra.utn.edu.ar](mailto:lefra@fra.utn.edu.ar)

## RESUMEN

Se presenta un sistema para la generación de ondas senoidales de baja distorsión, de cuatro canales operantes en modo simultáneo; que exhibe un giro de fase de  $90^\circ$  entre cada salida respectiva. El esquema planteado se basa en circuitos desfasadores activos, que tienen la característica de ser intrínsecamente estables en amplitud frente a variaciones de frecuencia y asimetrías propias. Esta particularidad permite implementar un controlador de amplitud de bajo rango de compensación, condición que posibilita alcanzar una reducción significativa de la distorsión (en comparación con los sistemas convencionales).

Se construyó un prototipo funcional de laboratorio de frecuencia variable en modo continuo, que permitió la validación del sistema propuesto a partir de mediciones instrumentales.

**Palabras Claves:** generador de audio, generador senoidal, desfasador activo, filtro pasa-todo.

## ABSTRACT

A system is presented for the generation of low distortion sine waves, with four channels operating simultaneously; that exhibits a  $90^\circ$  phase turn between each respective output. The proposed scheme is based on active phase shifter circuits, which have the characteristic of being intrinsically stable in amplitude against frequency variations and own asymmetries. This particularity allows to implement an amplitude controller with a low compensation range, a condition that makes it possible to achieve a significant reduction in distortion (compared to conventional systems).

A functional laboratory prototype of variable frequency in continuous mode was built, which allowed the validation of the proposed system from instrumental measurements.

**Key-words:** audio generator, sinusoidal generator, active phase shifter, all-pass filter.

## INTRODUCCIÓN

Los instrumentos generadores senoidales de empleo habitual en laboratorios se basan, en general, en un oscilador que implementa alguna red particular de realimentación. Entre los distintos tipos de redes, son ampliamente usados el Puente de Wien (Gwinstek, 2007; Kenwood, 1980) y la red tipo “doble T” (Philips, 1972). La desventaja que presentan las configuraciones citadas, es que son intrínsecamente inestables en amplitud debido a las asimetrías propias del control de frecuencia (Maxim, 2006; Coombs, 1994). Este fenómeno de disparidad se manifiesta como una variación de la ganancia de lazo, lo que deriva en un controlador de amplitud relativamente intenso y consecuentemente en un incremento en la tasa de distorsión (Napolitano et al., 2019).

El método propuesto para generar ondas naturalmente senoidales, se basa en la incorporación de redes activas desfasadoras en un oscilador por rotación de fase. Esta configuración reduce significativamente la desventaja mencionada que presentan las redes de Wien, Doble-T y otras; por otro lado, a diferencia de las mismas, se hace posible la generación de cuatro señales simultáneas, con un desfase de 90°. Mediante el empleo de dos desfasadores activos (filtros pasa-todo), dos inversores, un controlador de amplitud y circuitos asociados, se implementa un generador senoidal tetrafásico, que debido a la inclusión de los filtros mencionados, es intrínsecamente estable en amplitud, lo que minimiza el grado de compensación necesario y consecuentemente se reduce la tasa de distorsión.

## DESARROLLO

En la Figura 1 se observa el circuito de un filtro pasa-todo; mientras que la ecuación 1 representa su función transferencia (Millman y Halkias, 1976).

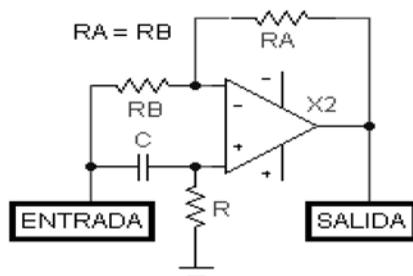


Figura 1. Filtro pasa-todo.

$$TF_i = 1 \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \arctan \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C}} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que el sistema planteado utiliza dos filtros pasa-todo en cascada, se expresa mediante la ecuación 2, la función transferencia de ambos. Se observa la descripción de un giro de fase en función de la frecuencia.

$$TFc = 1.e^{j.2(\arctan \frac{1}{W.R1.C1} + \arctan \frac{1}{W.R2.C2})} \quad (2)$$

En instrumentos generadores de frecuencia variable en modo continuo, puede utilizarse un capacitor variable doble (representado por C1 y C2) o un potenciómetro doble (representado por R1 y R2). Se aprecia además, que el módulo de la transferencia es “siempre” unitario y no depende de las relaciones entre capacitores o resistores del elemento doble de control. Esta característica es la que permite desarrollar un sistema intrínsecamente estable en amplitud, con reducido grado de compensación y consecuentemente, con un menor factor de alinealidad.

La Figura 2 presenta el esquema en bloques completo del sistema desarrollado. El lazo “externo” está conformado por un amplificador lineal inversor (produce un desfase de 180°), el conjunto de filtros pasa-todo en cascada y un compensador de amplitud (de ganancia aproximadamente unitaria). El resto de los bloques completan el sistema de control automático de amplitud, además de incluir un atenuador y de obtener la cuarta fase del sistema.

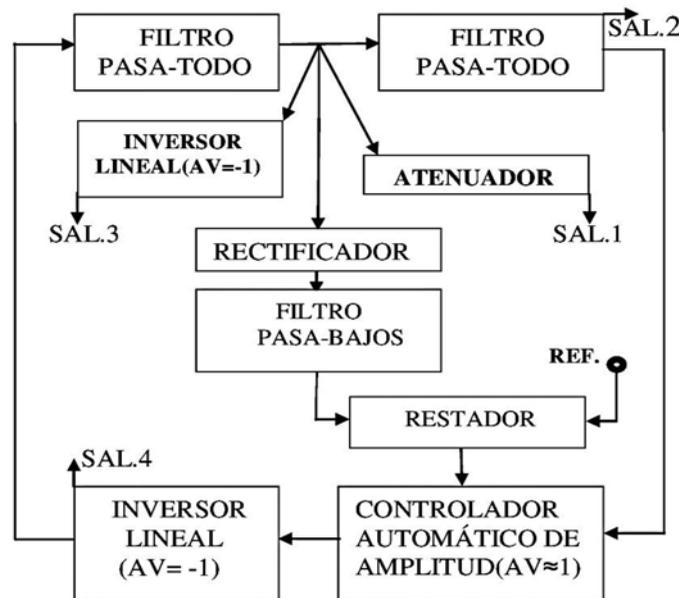


Figura 2. Generador tetrafásico completo

Para que el esquema planteado presente las condiciones de oscilación requeridas, debe cumplir con el criterio de Barkhausen; lo que implica que el lazo “externo” debe presentar una ganancia unitaria con desfase nulo. Se infiere entonces, que el conjunto de filtros pasa-todo deben conformar un desfasador de 180° (ecuación 3).

$$TFc = 1.e^{j.180^\circ} \quad (3)$$

Si se desestima la contribución de las asimetrías presentes en el elemento doble de variación de frecuencia (ecuación 4), se reemplazan las ecuaciones 3 y 4 en la ecuación 2 y se opera, se obtiene la ecuación 5, que permite calcular el valor de la frecuencia de oscilación. Bajo estas mismas consideraciones, el desfase que produce cada filtro pasa-todo es de 90°, lo que posibilita la obtención de las cuatro señales del sistema tetrafásico completo.

$$\begin{cases} R = R1 = R2 \\ C = C1 = C2 \end{cases} \quad (4)$$

$$F_0 = \frac{1}{2.\pi.R.C} \quad (5)$$

Para corroborar las mejoras descritas mediante ensayos instrumentales, así como también para probar la funcionalidad del sistema, se diseñó un prototipo de laboratorio basado en amplificadores operacionales de bajo ruido, a partir del diagrama en bloques de la Figura 2.

En la Figura 3 se expone una fotografía del frente del equipo; allí se observa que su construcción fue realizada en un formato compatible que permita su empleo como instrumento de ensayo de laboratorio; por este motivo, se incluyeron escalas graduadas, conectores, llaves selectoras, perillas de comando, gabinete blindado e indicadores, que permitieron realizar una prueba integral de campo.



Figura 3. Frente del prototipo.

En la Figura 4 se observa el montaje de la totalidad de los componentes que conforman la unidad en cuestión, realizado en una placa impresa sin el empleo de cables; lo que minimiza las posibilidades de falla y permite un acceso simple para realizar mediciones al prototipo y ejecutar posibles intervenciones de calibración, modificaciones, reparaciones, etc.

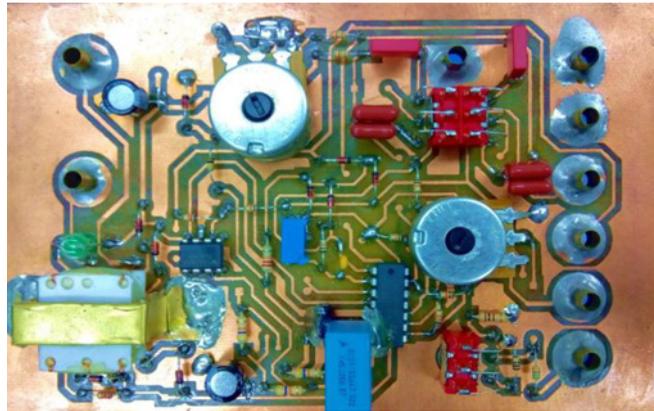


Figura 4. Montaje de los componentes del prototipo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cuantificar los resultados del método propuesto, a partir del prototipo construido se procedió a reducir el grado de acción del controlador automático de amplitud hasta el valor más bajo posible que permita la compensación adecuada. Se comprobó que la distorsión disminuye en la medida en que se reduce el grado de acción del controlador (lo que justifica la utilidad de tener un sistema intrínsecamente estable); lográndose un piso en la cifra de distorsión de 0,02%. Por otro lado, se procedió a medir el tiempo de estabilización en amplitud luego de realizar un cambio en la frecuencia generada, obteniéndose un valor mínimo de 0,1 segundo.

Otro aspecto que se ha considerado en la evaluación del prototipo es lo concerniente a la operatividad. Es conocido el fenómeno que relaciona en forma inversa la distorsión y el tiempo de establecimiento de la amplitud en osciladores naturalmente senoidales; por lo tanto, en estos instrumentos de baja distorsión, el tiempo de demora para realizar una medición suele prolongarse cuando se modifica la frecuencia de ensayo (el instrumento deberá estabilizar su amplitud y en algunos casos se requiere de varios segundos (Philips, 1972). El prototipo diseñado, fue probado en condiciones reales de laboratorio para el ensayo de amplificadores de audio, habiendo presentado tiempos de recuperación, que en el uso "normal", podrían considerarse despreciables; inclusive se lo ha utilizado para "barrer" en frecuencia.

En la Figura 5 se observa, mediante un osciloscopio de cuatro canales, el funcionamiento de las cuatro señales de salida en forma simultánea, con un giro de fase de 90° entre cada una.

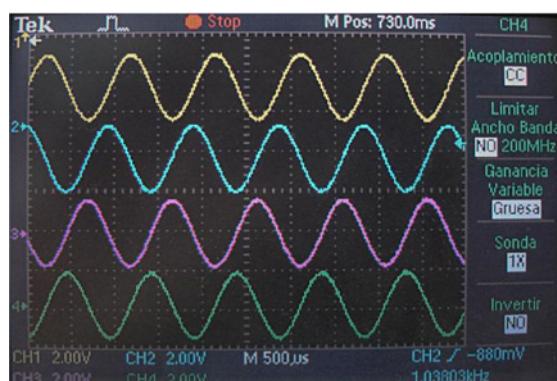


Figura 5. Oscilograma de las salidas del prototipo.

## CONCLUSIONES

Dados los resultados satisfactorios medidos sobre el prototipo evaluado, la operatividad del mismo y que la generación tetrafásica de baja distorsión permite aplicaciones adicionales (respecto de los osciladores convencionales); se concluye que el sistema planteado, podría ser empleado para la fabricación de instrumentos que permitan realizar mediciones compatibles en laboratorios de ensayos.

## REFERENCIAS

COOMBS, C. (1994), Electronic Instrument Handbook. McGraw-Hill Inc., USA.

GWINSTEK (2007). Audio signal generator GAG-809/810. User manual part number no. 82AG-810000MG.

KENWOOD (1980). Oscillator AG-203D/204D/253. Instruction manual. User manual Part number B63-030-18.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS (2006). Application note 3846: Analysis of a Digitally Controlled Wien-Bridge Oscillator. Disponible en: <http://www.maxim-ic.com/an3846> [Última fecha de acceso: 2017]

MILLMAN J; HALKIAS C. (1976). Capítulo 14: Estabilidad y osciladores. En Electrónica Integrada, Hispano Europea S.A., España.

NAPOLITANO L.; LEO M., SCHARF D., BRANCHIFORTTI A. (2019). Alinealidad del compensador automático de amplitud en osciladores puente de Wien. Rumbos Tecnológicos. Volúmen 11 – Octubre 2019. ISSN 1852 – 7701. Pág. 53 – 60.

PHILIPS (1972). Oscilador de Audio PM – 5160. Manual de servicio.