

ALINEALIDAD DEL COMPENSADOR AUTOMÁTICO DE AMPLITUD EN OSCILADORES PUENTE DE WIEN

Fecha de Recepción: 20 de Marzo de 2019 • Fecha de aceptación: 27 de Junio de 2019

Napolitano, Luis*; **Leo, Marcelo D.;** **Scharf, Diego A.;** **Branchifortti, Alejandro D.**

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

RESUMEN

Se presentan los resultados del análisis de la distorsión armónica que introduce el controlador automático de amplitud en osciladores basados en una red de Wien, como consecuencia indirecta del desapareamiento del potenciómetro de ajuste de frecuencia. Para este fin, se planteó un análisis basado en distintos grados de desapareamiento, los cuales se vinculan con el grado de corrección del controlador automático de amplitud del oscilador y además con la distorsión del sistema.

Esto permitió determinar que la relación existente entre el desapareamiento y la linealidad del sistema es significativa; habiéndose obtenido que para un grado de desapareamiento del 27%, la distorsión obtenida no excede el 0,01%; mientras que para un desapareamiento de un 109%, la distorsión es seis veces mayor. Este artículo también presenta la validación de los resultados a partir de las experiencias de medición en laboratorio sobre un prototipo diseñado para este objetivo.

Palabras Clave: Oscilador puente de Wien, distorsión armónica, desapareamiento de la red de Wien, controlador automático de amplitud, linealidad.

ABSTRACT

The results of the analysis of the harmonic distortion introduced by the automatic amplitude controller in oscillators based on a Wien network are presented, as an indirect consequence of the unpairing of the frequency adjustment potentiometer. For this purpose, an analysis was proposed based on different degrees of mismatch, which are related to the degree of correction necessary for the automatic amplitude controller of the oscillator and also to the distortion of the system.

This allowed us to determine that the relationship between unpairing and the linearity of the system is significant, having obtained that for a degree of unpairing of 27% the distortion obtained does not exceed 0.01%, while for a mismatch of 109% the distortion is six times greater.

This article also presents the validation of the results from the experiences of laboratory measurement on a prototype designed for this purpose.

Key Words: Wien-bridge oscillator, harmonic distortion, mismatch of the Wien network, automatic amplitude controller, linearity.

INTRODUCCIÓN

Los osciladores senoidales de baja distorsión utilizados en audiofrecuencias (Gwinstek, 2007; Kenwood, 1980), en general, se basan en un esquema que emplea la Red de Wien (Figura 1); pues se trata de una configuración fiable, de componentes estándar y su funcionamiento es relativamente independiente del amplificador utilizado (Millman & Halkias, 1976).

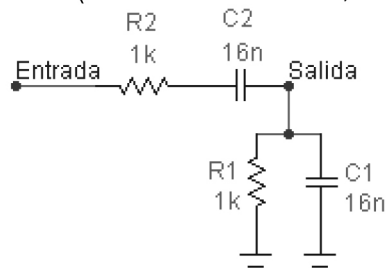


Figura 1: Red de Wien.

La ecuación 1 representa la función transferencia de la red de Wien considerando desfase nulo (Maxim Integrated Products, 2006).

$$TF = \frac{C2 \cdot R1}{C2 \cdot R1 + C1 \cdot R1 + C2 \cdot R2} = \frac{1}{1 + \frac{C1}{C2} + \frac{R2}{R1}} \quad (1)$$

De acuerdo a la ecuación 1 y a las condiciones consideradas en la ecuación 2, el valor de la transferencia será, como puede observarse en la ecuación 3, de 1/3 (Coombs, 1994).

$$\begin{cases} R = R1 = R2 \\ C = C1 = C2 \end{cases} \quad (2)$$

$$TF = \frac{1}{3} \quad (3)$$

En instrumentos de frecuencia variable en modo continuo basados en un oscilador puente de Wien, puede utilizarse un capacitor variable doble (representado por C1 y C2) o un potenciómetro doble (representado por R1 y R2); sin embargo, en audiofrecuencias no suelen emplearse capacitores variables dobles, pues se dificulta lograr valores de capacidad adecuados, por lo que generalmente se emplean potenciómetros dobles (San Juan, 1988).

Además, la ecuación 4 permite calcular la frecuencia de oscilación (Boylestad & Nashelsky, 1986; Millman & Halkias, 1976).

$$f_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (4)$$

Para modificar la frecuencia de oscilación es suficiente entonces con hacer variar el valor de R o de C; sin embargo, al considerar la ecuación 1, se observa que, para mantenerse constante el valor de la transferencia, deben permanecer constantes las relaciones entre capacitores y resistores; lo que implica modificar dos elementos simultáneamente en la misma proporción, tarea prácticamente imposible de lograr en elementos variables dobles reales, los cuales siempre presentan algún grado de desapareamiento. Esta asimetría produce una variación de la ganancia de lazo en función de la posición del comando de frecuencias, lo que genera variación en la amplitud del oscilador. Para corregir esta variación se emplean compensadores automáticos de amplitud.

A continuación se analiza, mediante el estudio de cuatro grados de desapareamiento de la red de Wien, la influencia sobre la distorsión que ejerce el controlador automático de amplitud según el grado de corrección necesario para compensar el desapareamiento existente.

DESARROLLO

En la Figura 2 puede observarse la inserción típica de la red de Wien en un esquema básico de un oscilador de audiofrecuencias, incluyendo el controlador automático de amplitud conformado por el transistor FET (J1) y componentes asociados.

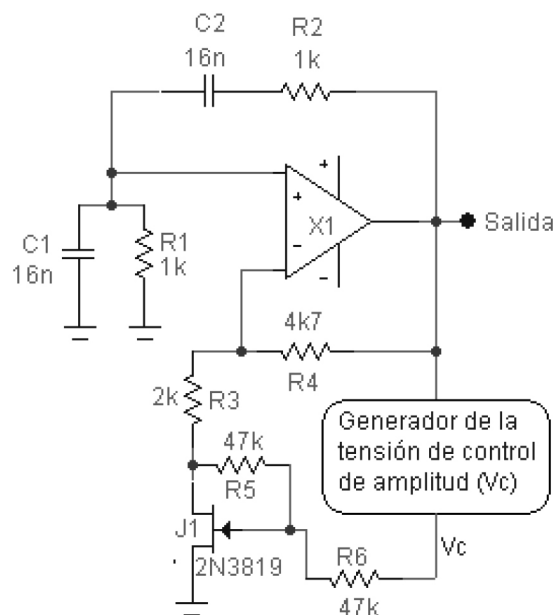


Figura 2: Circuito oscilador basado en un puente de Wien.

Para conocer el grado de compensación de amplitud que puede obtenerse en el circuito oscilador planteado en la Figura 2, se construyó el esquema que se observa en la Figura 3, a fin de poder calcular la resistencia drenaje-fuente (RDS) de un transistor FET en función de la tensión de control. Para ello se ha optado por suministrar al circuito bajo prueba, por un lado, una señal de 1 KHz mediante un instrumento generador de audio y por otro lado una tensión de control (VC).

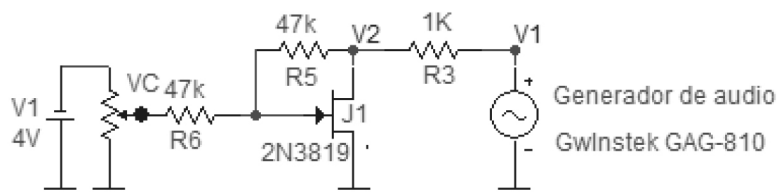


Figura 3: Circuito para la medición de la RDS de un FET.

La característica buscada puede entonces calcularse a partir de la medición de las tensiones V1 (Generador de audio) y V2, mediante la ecuación 5.

$$RDS = \frac{V2 \cdot R3}{V1 - V2} \quad (5)$$

La Figura 4 muestra los valores que presenta la RDS del FET ensayado (2N3819) al variar la tensión de control entre -1 y -4 Volt.

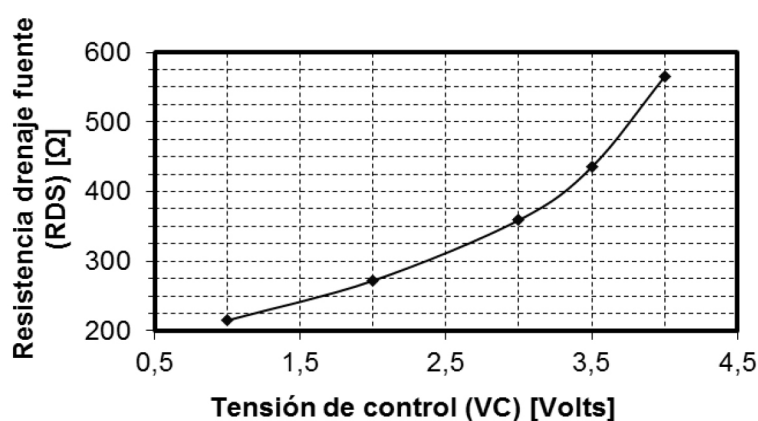


Figura 4: RDS del FET en función del módulo de la tensión de control.

Cabe destacar que en función de este rango de variación de RDS, entre 215 y 565 ohm, estarán las posibilidades del controlador automático de amplitud para cumplir con su finalidad.

Considerando el circuito de la Figura 2 y desestimando la realimentación positiva de la red de Wien, la ganancia realimentada del amplificador operacional en configuración no inversora (Mancini, 2009) se expresa según la ecuación 6:

$$G = 1 + \frac{R4}{R3 + RDS} \quad (6)$$

Para los cuatro casos analizados de desapareamiento del potenciómetro, se consideró $C1=C2=16nF$ y $R1=1K$; con $R2$ variando según supuestas irregularidades en las pistas del potenciómetro; cuantificándose el desapareamiento porcentual según la ecuación 7.

$$\text{Desapareamiento}[\%] = 100 \cdot \frac{R2_{MAX} - R2_{MIN}}{R1} \quad (7)$$

De acuerdo al desapareamiento de $R2$, la ecuación 1 determina un rango de variación para la transferencia de la red de Wien.

La condición de oscilación para el oscilador, es decir “ganancia de lazo unitaria” (Millman & Halkias, 1976) , se expresa según la ecuación 8.

$$TF \cdot G = 1 \quad (8)$$

El rango de ganancia (G) requerido para cumplir con la condición planteada en la ecuación 8, se obtiene al considerar el rango de variación de la transferencia (TF). Teniendo en cuenta el valor máximo y mínimo de RDS medidos previamente, se adoptaron valores para $R3$ y $R4$ tal que la ganancia expresada según la ecuación 6 verifique el rango requerido. La elección de valores comerciales para los resistores $R3$ y $R4$, así como los valores considerados para la variación de $R2$, se realizó mediante una iteración conjunta. Los efectos del desapareamiento provocados en consecuencia sobre el sistema, se expresan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Ensayo	R2 [Ω]		Desapareamiento [%] [Ecuación 7]	Transferencia de la red [Ecuación 1]		Ganancia [Ecuación 8]		R3 [Ω]	R4 [Ω]
	Mínimo	Máximo		Mínima	Máxima	Mínima	Máxima		
1	660	1750	109	0,267	0,376	2,68	3,75	330	1500
2	770	1450	68	0,290	0,361	2,77	3,46	680	2200
3	870	1330	46	0,300	0,348	2,87	3,33	1200	3300
4	830	1100	27	0,323	0,353	2,83	3,12	2000	4700

Para la medición de la distorsión que introduce el control automático de amplitud debido exclusivamente a la alinealidad del transistor JFET, se construyó el circuito de la Figura 5.

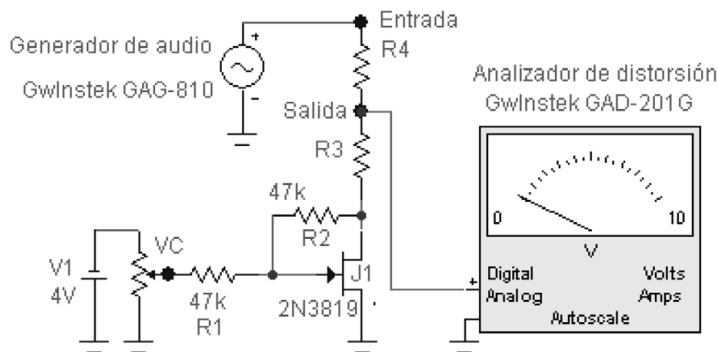


Figura 5: Circuito ensayado para la medición de distorsión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de distorsión en función de la tensión de control (VC) obtenidos para cada ensayo (Figura 5), con una tensión de entrada de 1,5VRMS, pueden observarse en la Figura 6.

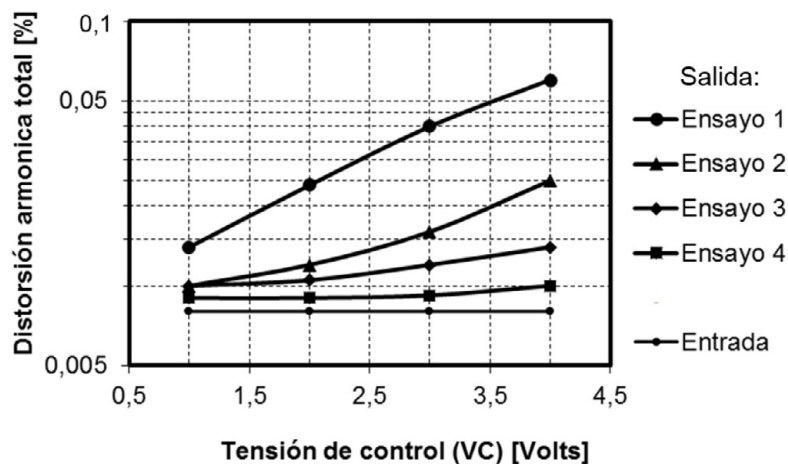


Figura 6: Distorsión armónica total en función del módulo de la tensión de control.

Se observa en la Figura 7 el valor máximo de la distorsión medida para cada caso analizado (considerando el desapareamiento en cada uno).

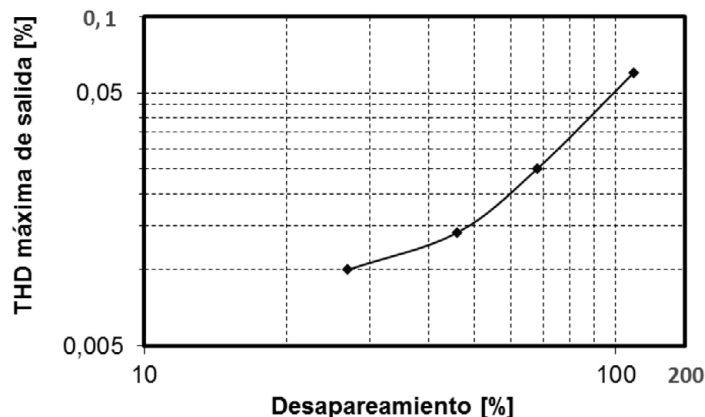


Figura 7: Distorsión armónica máxima de salida en función del desapareamiento.

Los resultados obtenidos permitieron cuantificar la importancia del apareamiento de los componentes pasivos del control de frecuencia en un oscilador puente de Wien, pues se observa que la distorsión introducida por el controlador de amplitud, debido a una red desapareada, puede llegar al 0,06% según los casos analizados (considerando exclusivamente el desapareamiento y no factores adicionales tales como el rizado de la señal de control del controlador automático de amplitud, alinealidad de los componentes activos, ruido, etc.). Si se tiene en cuenta que un instrumento de laboratorio generador de ondas senoidales de baja distorsión de uso comercial tiene una distorsión que en algunos casos no supera el 0,02% (Gwinstek, 2007; San Juan, 1988), se evidencia la importancia que se debe asignar a la calidad (apareamiento) del comando de frecuencias para lograr la fabricación de los instrumentos en cuestión.

REFERENCIAS

BOYLESTAD R.; NASHELSKY L. (1986), *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. Prentice Hall, España.

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

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

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

MANCINI R. (2009), Op Amps for everyone. Newnes, USA.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS (2006). Application note 3846: Analysis of a Digitally Controlled Wien-Bridge Oscillator. [En línea]. 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.

SAN JUAN J. (1988). Oscilador en Puente de Wien variable. Revista Elektor Núm.98-99, 7/52-7/53.