

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

Trabajo Práctico N°6:  
Osciladores, PLL y circuitos no lineales  
Teoría de Circuitos - 2019

Grupo 1:

Farall, Facundo David  
Gaytan, Joaquín Oscar  
Kammann, Lucas  
Maselli, Carlos Javier  
Müller, Malena

Profesores:

Jacoby, Daniel Andrés  
Belaustegui Goitia, Carlos  
Iñaki Iribarren, Rodrigo

6 de noviembre de 2019

# Índice

<b>1. Oscilador de Wien</b>	<b>3</b>
<b>2. PLL: Phase Locked Loop</b>	<b>4</b>
<b>3. VCO: Voltage Controlled Oscillator</b>	<b>5</b>
3.1. Introducción teórica . . . . .	5
3.1.1. Distorsión Armónica . . . . .	5
3.1.2. Jitter . . . . .	6
3.2. Análisis de circuitos . . . . .	7
3.2.1. Acondicionamiento lineal de señal . . . . .	7
3.2.2. Comparador Schmitt Trigger inversor . . . . .	8
3.2.3. Voltage Controlled Oscillator . . . . .	9
3.2.4. Conversor triangular a senoidal . . . . .	9
3.3. Diseño de VCO . . . . .	9
3.3.1. Especificaciones y etapas . . . . .	9
3.3.2. Cálculo de componentes . . . . .	9
3.3.3. Simulación y verificación . . . . .	9
3.4. Resultados . . . . .	9
3.4.1. Mediciones . . . . .	9
3.4.2. Análisis de resultados . . . . .	9
3.5. Conclusiones . . . . .	9

## 1. Oscilador de Wien

## 2. PLL: Phase Locked Loop

### 3. VCO: Voltage Controlled Oscillator

Esta sección se propone el diseño de un oscilador de señales senoidales cuya frecuencia pueda ser controlada por una tensión de entrada, de forma tal que para un dado rango de tensiones, se pueda producir la señal deseada que varíe en un rango esperado de frecuencias. En la Fig. 1 se ilustra un esquema general del sistema deseado.

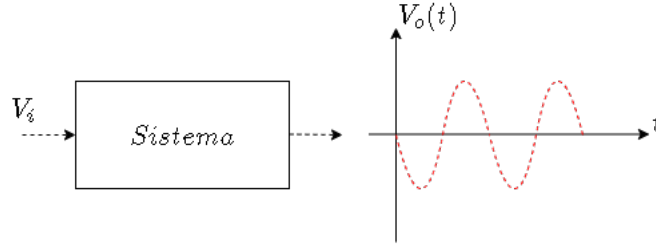


Figura 1: Esquema general del sistema propuesto

#### 3.1. Introducción teórica

El objetivo de esta introducción es establecer las bases teóricas sobre las cuales se construye el análisis desarrollado para el diseño del sistema propuesto. No obstante, se asume que el lector posee una base teórica sobre algunos conceptos, lo cual se irá indicando a lo largo de tal análisis.

##### 3.1.1. Distorsión Armónica

La teoría de series generalizadas de Fourier establece que cualquier señal periódica, es decir una función dada tal que  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  que cumple tener un período fundamental dado  $f(t + T) = f(t)$ , con  $T$  perteneciente a los reales positivos, puede ser proyectada sobre un espacio vectorial descripto por su base ortonormal. En otras palabras, la serie trigonométrica de Fourier como caso particular permite describir un señal periódica como combinación lineal de funciones seno y coseno. Se suele denominar a cada una de estas componentes como armónicos cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental, y desde un punto de vista espectral es sencillo observar la distribución de potencia de la señal para cada frecuencia armónica.

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (t_0 < t < t_0 + T)$$

Figura 2: Series de Fourier

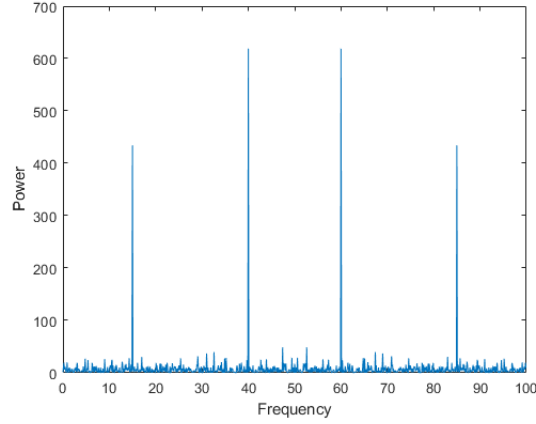


Figura 3: Espectro en frecuencia

La distorsión armónica puede ser entendida como la presencia de armónicos no deseados que en el dominio temporal alteran o distorsionan la forma de onda esperada, esto puede pasar como consecuencia del uso de sistemas no lineales o por el límite físico de ancho de banda que suelen tener los circuitos, aunque no siempre se vuelve apreciable su efecto sobre la eliminación de los armónicos deseados. Así, una señal senoidal pura únicamente contiene su armónico fundamental, y en términos del espectro en frecuencia sólo una componente. Esto permite estudiar la distorsión de tales señales analizando aquellos componentes armónicos no deseados que pueden aparecer, y se utiliza la expresión de la Ec. 1 para cuantificarla. La distorsión total se define como se observa en la Ec. 2.

$$HD_n = \frac{armonico_n}{armonico_{fundamental}} \quad (1)$$

$$THD = \sqrt{\sum_n (HD_n)^2} \quad (2)$$

### 3.1.2. Jitter

Se define el Jitter como la desviación práctica del período de una señal respecto de su valor teórico esperado. Este es un aspecto a tener en cuenta en el diseño y análisis de osciladores, y puede clasificarse generalmente según si es aleatorio o determinístico.

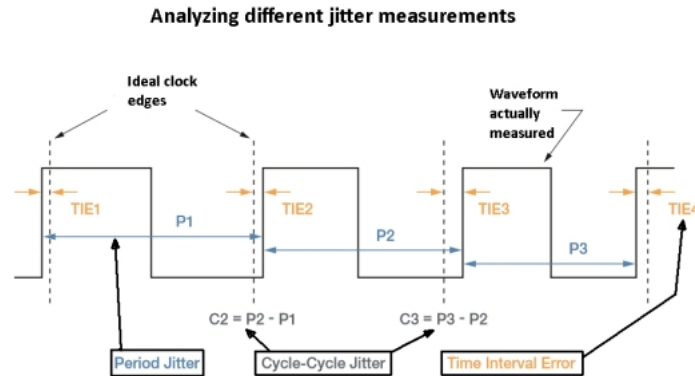


Figura 4: Diagrama del Jitter medido en un período o entre ciclos

El jitter aleatorio corresponde a la desviación del período provocada por el ruido térmico que generan los componentes resistivos en la práctica. Por otro lado, el jitter determinístico consiste en analizar las

posibles desviaciones temporales, ya sea de un período respecto del valor real, así como entre períodos de ciclos consecutivos. Esto puede observarse en la Fig. 4.

### 3.2. Análisis de circuitos

Se busca realizar un análisis de los circuitos empleados posteriormente en el diseño para facilitar, no sólo este proceso, sino la división en etapas según lo requiera el sistema, teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades de cada una de ellas.

#### 3.2.1. Acondicionamiento lineal de señal

En la práctica suele ser necesario realizar un acondicionamiento lineal de una señal de entrada, esto implica matemáticamente aplicar un desplazamiento y un escalaje sobre la magnitud de entrada, adaptando el rango de valores de entrada a un rango aceptable de salida. Se propone como circuito para realizar esta transformación de las magnitudes, el ilustrado en la Fig. 5.

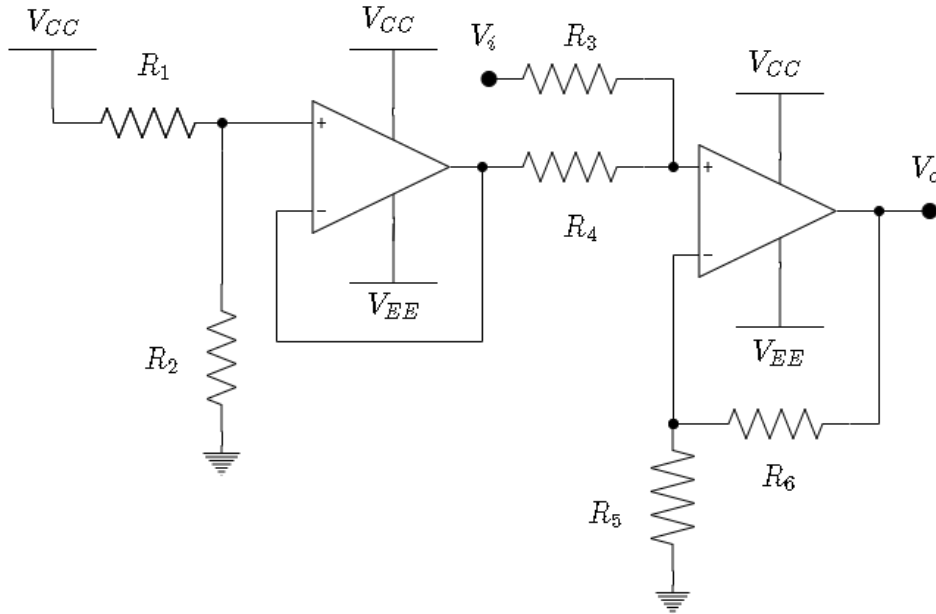


Figura 5: Acondicionamiento lineal de señales

Se plantean las siguientes ecuaciones, donde se define la salida del amplificador operacional configurado como buffer o seguidor de tensión  $V_{OFF}$ .

$$V_{OFF} = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_5} + V_{OFF} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_5}$$

Aplicando como criterio para simplificar el manejo algebraico, resulta práctico establecer que se cumpla la condición  $R_3 = R_5$  y  $R_4 = R_6$ .

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_4}{R_5} + V_{OFF} \quad (3)$$

En conclusión, este circuito con esta última expresión permite de manera sencilla realizar una transformación que permita adaptar o acondicionar la señal entrante, conociendo la pendiente y ordenada al origen que se desean como salida. Es importante mencionar que el circuito no garantiza un límite de tensión que no sea el de saturación de los amplificadores, con lo cual a menos que se haga uso de este, será necesario un circuito limitador de tensión en la salida según el caso.

### 3.2.2. Comparador Schmitt Trigger inversor

El comparador Schmitt Trigger es una configuración del amplificador operacional utilizando una realimentación regenerativa o positiva, que lo que busca es crear un comparador con histéresis para prevenir fluctuaciones u oscilaciones en la salida del mismo por el efecto de señales con contenido no deseado de ruido. Estas configuraciones vienen en la forma de inversoras o no inversoras, y establecen dos límites de comparación para determinar estado alto o estado bajo, y cuando no se emplea un corrimiento por offset, se encuentran simétricas al cero.

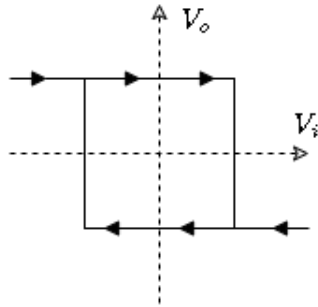


Figura 6: Diagrama del comparador con histéresis

En la Fig. 6 se puede observar la función de  $V_o = f(V_i)$  del comparador Schmitt Trigger inversor, para el cual se propone el circuito de la Fig. 7.

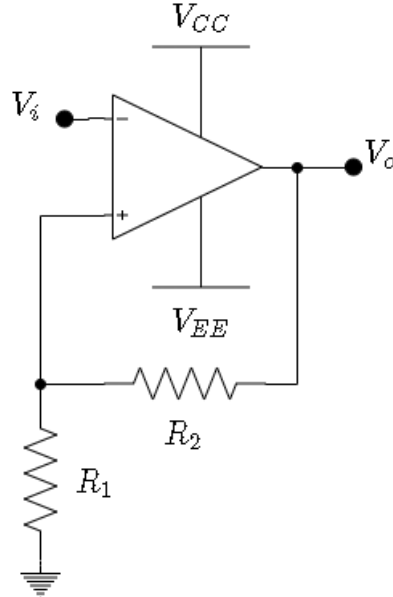


Figura 7: Circuito Schmitt Trigger inversor

Se plantea el potencial en las dos entradas del amplificador operacional, y dado que la transición se da en torno al encuentro de ambos valores de tensión, se igualan las expresiones y asumiendo estados alto y bajo de salida, se encuentra la expresión de los valores de comparación.



$$V^+ = V_o \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V^- = V_i$$

$$\Rightarrow V_T = V_{CC_{SAT}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

### **3.2.3. Voltage Controlled Oscillator**

### **3.2.4. Conversor triangular a senoidal**

## **3.3. Diseño de VCO**

### **3.3.1. Especificaciones y etapas**

### **3.3.2. Cálculo de componentes**

### **3.3.3. Simulación y verificación**

## **3.4. Resultados**

### **3.4.1. Mediciones**

### **3.4.2. Análisis de resultados**

## **3.5. Conclusiones**