

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

12 de noviembre de 2019

Índice

1. Oscilador de Wien	3
2. PLL: Phase Locked-Loop	4
2.1. Introducción	4
2.2. Diagrama en bloques del PLL	4
2.2.1. Comparador de fase	4
2.2.2. Filtro pasabajos	4
2.2.3. VCO: Voltage Controlled Oscillator	4
2.3. Respuesta en frecuencia	5
2.3.1. Transferencia en condición de enganche	6
2.4. Respuesta al escalón	6
2.4.1. Factor de calidad a partir del overshoot	6
2.4.2. Tiempo de establecimiento	6
2.5. Rango de captura y de enganche	6
2.6. Respuesta transitoria ante distintos filtros de lazo	7
2.6.1. Sin filtro: $F(s) = 1$	7
2.6.2. Filtro pasa bajos: RC	7
2.6.3. Filtro con un polo y un cero: RRC	7
2.7. Implementaciones con PLL	7
2.7.1. Demodulador FM	7
2.7.2. Multiplicador de frecuencia	7
2.8. Conclusiones	7
3. VCO: Voltage Controlled Oscillator	8

1. Oscilador de Wien

2. PLL: Phase Locked-Loop

2.1. Introducción

Un Phase Locked-Loop, mejor conocido como PLL, es un sistema de control cuya señal de salida tiene la misma frecuencia que la señal de entrada y sigue sus variaciones en frecuencia dentro de un rango acotado. El PLL es muy usado en sistemas de comunicaciones, ya que sus principales aplicaciones son de demodulador de FM o PM y como seguidor o sincronizador de señales que temporalmente varían su frecuencia. A continuación se analizarán ciertos comportamientos del PLL y su aplicación como demodulador de FM y como multiplicador de frecuencia. Para realizar el trabajo se utilizará el integrado CD4046¹.

agregar
datasheet

2.2. Diagrama en bloques del PLL

El PLL está formado por tres bloques fundamentales para su funcionamiento: un comparador de fase, un filtro pasabajos y un oscilador controlado por tensión (mejor conocido como VCO y que será estudiado en profundidad en la última sección). Esta distribución en bloques es mostrada en la figura 1.

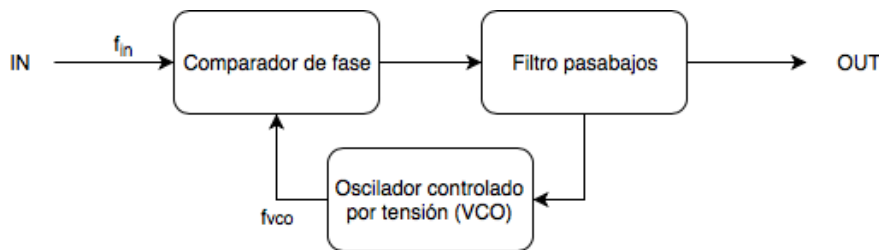


Figura 1: Diagrama en bloques del PLL.

2.2.1. Comparador de fase

Del comparador de fase sale una tensión proporcional a la diferencia de fase entre la señal de entrada y aquella que proviene del VCO. Llamando a la tensión de salida del comparador V_1 , a la ganancia del valor de fase K_ϕ (la expresión que la determina depende de la forma de implementar el comparador) y a la diferencia de fase entre la señal de entrada y la proveniente del VCO Δ_{phi} :

$$\begin{cases} V_1 = K_\phi \cdot \Delta_\phi \\ \Delta_\phi = \phi_{in} - \phi_{vco} = \frac{\Delta t}{T} \cdot 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

Se mencionó que hay distintas formas de implementar un comparador. El integrado que se emplea en este trabajo es el CD4046 y contiene dos tipos de comparadores de fase diferentes (tipo 1 y tipo 2)

explicar
los compa-
radores del
integrado
usado

2.2.2. Filtro pasabajos

Este filtro se emplea para que el lazo sea estable. También permite un proceso de captura de frecuencias más rápido, un rango de captura mayor y la respuesta del circuito no es sobre amortiguada. Además, en caso de que se pierda el enganche por interferencias durante el transitorio, el filtro otorga una memoria en el lazo. Por otro lado, la presencia del filtro brinda una ventaja en la demodulación. La señal que sale del comparador de fase ingresará luego al VCO. Si esta señal tiene un riple, al demodularla puede producir picos no correspondientes a la señal que inicialmente fue modulada.

2.2.3. VCO: Voltage Controlled Oscillator

El VCO es un integrador que genera una señal cuya frecuencia es proporcional a la tensión de la señal aplicada en su entrada:

¹Hoja de datos del integrado CD4046:

$$\begin{cases} \omega_{vco} = \omega_0 + K_{vco} \cdot V_2 \\ \omega_{vco} = \frac{d\phi_{vco}}{dt} \implies \phi_{vco} = \int \omega_{vco} dt \implies \phi_{vco}(s) = \frac{1}{s} \cdot \omega_{vco}(s) \end{cases} \quad (2)$$

Siendo, en las ecuaciones anteriores, ω_{vco} la frecuencia a la salida del VCO, ω_0 la frecuencia de la señal que entra al VCO, denominada "free running frequency" K_{vco} la constante de proporcionalidad que introduce el VCO.

2.3. Respuesta en frecuencia

Se representa ahora el diagrama en bloques indicando matemáticamente la influencia de cada uno, para mostrar a partir de este la función transferencia del PLL.

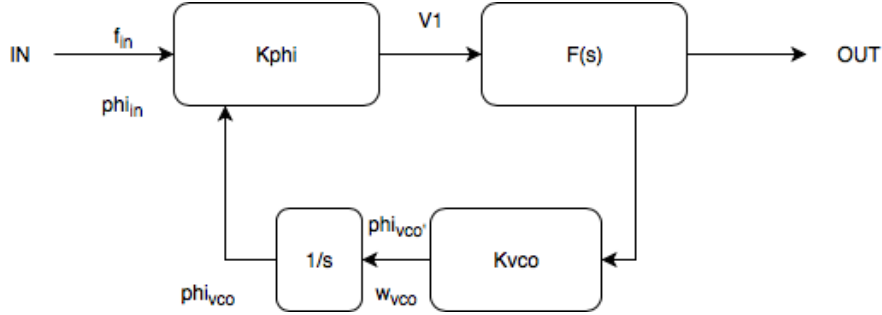


Figura 2: Diagrama en bloques del PLL con sus funciones matemáticas.

A partir del diagrama en bloques de la figura 2, se hace el siguiente desarrollo matemático. Se parte de:

$$\begin{cases} H(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} \\ G(s) = \frac{K_\phi F(s) K_{vco}}{s} \end{cases} \quad (3)$$

Luego,

$$\begin{cases} \frac{V_{out}}{\phi_{in}} = \frac{s K_\phi F(s)}{s + K_\phi K_{vco} F(s)} \\ \frac{V_{out}}{\omega_{in}} = \frac{V_{out}}{\phi_{in} s} = \frac{K_\phi F(s)}{s + K_\phi K_{vco} F(s)} \end{cases} \quad (4)$$

Y entonces se puede escribir $G(s)$ como:

$$G(s) = \frac{K_{vco} F(s)}{s} \quad (5)$$

Además:

$$\phi_{vco} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \phi_{in}(s) \quad (6)$$

Y por el teorema del valor final, sabemos que $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s)$:

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \phi_{vco}(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{G(s)}{1 + G(s)} \phi_{in}(s) \right) = \phi_{in}(s) \quad (7)$$

Por lo tanto:

$$\phi_{vco}(t) \approx \phi_{in}(t)|_{t \rightarrow \infty} \quad (8)$$

La interpretación del resultado en la ecuación 8 es que una vez alcanzado el comportamiento permanente del circuito, la fase de la señal de salida del VCO sigue a aquella de la señal de entrada y a esto se debe lo mencionado al inicio sobre que estas señales presentan la misma frecuencia.

2.3.1. Transferencia en condición de enganche

2.4. Respuesta al escalón

En el caso del PLL, se ha observado que estudiar la función transferencia del circuito consiste en analizar qué sucede con la tensión de salida en función de la frecuencia de entrada. Debido a esto, estudiar la respuesta al escalón es ver el comportamiento de la tensión de salida a partir de un "escalón en frecuencia". Es decir, el escalón es un cambio abrupto entre señales con dos frecuencias separadas por un intervalo de valores. Es importante remarcar que ambas frecuencias deben estar dentro del rango de captura por que de lo contrario no podrían engancharse y la respuesta a este cambio de frecuencias no podría ser medida. Para medir esto, se configuró una señal en el generador de señales a una frecuencia dada. Luego se modificó el valor de la frecuencia utilizando los botones del instrumento ya que se deseaba obtener un cambio brusco de frecuencias, y se empleó el osciloscopio en modo Single para poder ver la respuesta del circuito frente a este cambio.

2.4.1. Factor de calidad a partir del overshoot

2.4.2. Tiempo de establecimiento

2.5. Rango de captura y de enganche

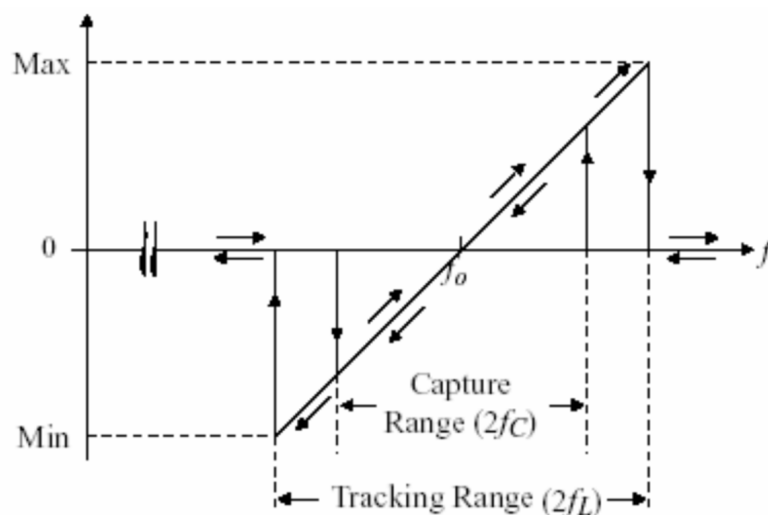


Figura 3: Rangos de captura y de enganche.

Rango de captura: Es el rango de frecuencias en el que la señal de entrada debe estar para engancharse. El rango de captura es $2f_c$, siendo f_c la frecuencia de captura, medida desde una frecuencia central f_0 . Esto se ve en la figura 3.

Rango de enganche: Es el rango de frecuencias para el cual la señal a la salida del VCO queda enganchada luego de haber pasado por el rango de captura. El rango de enganche es $2f_L$, siendo f_L la frecuencia de enganche, medida respecto a la frecuencia f_0 . Esto se ve en la figura 3.

El rango de captura es menor al rango de enganche, ya que para quedar enganchada la señal luego de pasar por el VCO, debe haber pasado previamente por el rango de captura. Por lo tanto $2f_C < 2f_L$.

2.6. Respuesta transitoria ante distintos filtros de lazo

2.6.1. Sin filtro: $F(s) = 1$

Haciendo $F(s) = 1$ en la expresión 4, se obtiene:

$$\begin{cases} \frac{V_{out}}{\phi_{in}} = \frac{sK_{\phi}}{s+K_{\phi}K_{vco}} \\ \frac{V_{out}}{\omega_{in}} = \frac{V_{out}}{\phi_{in}s} = \frac{K_{\phi}}{s+K_{\phi}K_{vco}} \end{cases} \quad (9)$$

Considerando la segunda expresión de 9, se observa que es de la forma de un filtro pasabajos. La variable de entrada es ω_{in} . La respuesta de esta expresión representa una tensión que corresponde a haber modulado en frecuencia una onda portadora entrante. Se mencionan ciertas características del comportamiento del circuito sin la presencia del filtro $F(s)$. Dado que del comparador sale una señal con una frecuencia de la suma de las de sus entradas y otra con la resta, no habrá un filtro luego del comparador que permita el paso de solo una de ellas. También pueden aparecer señales de interferencia no pertenecientes a la banda deseada. El PLL con este tipo de filtro tiene un proceso de captura más lento, un menor rango de captura y una respuesta sobre amortiguada. Sin embargo, rechaza más aquellas perturbaciones en la frecuencia que entra. Por otro lado, el VCO genera una señal cuya frecuencia varía en función de un valor de tensión continua a su entrada. Sin la presencia de ningún filtro a la entrada del VCO, al mismo le llega una señal que no es continua, ya que proviene directamente de la salida del comparador. Sin embargo, el VCO debe recibir tensión continua a su entrada para funcionar correctamente. Si la tensión a su entrada no es continua, el VCO deberá tratar de seguir a la señal que le llega. Debido a que su respuesta no es instantánea, no logra seguir su tensión de un lado a otro y por lo tanto esto resulta en que el VCO responde a una señal prácticamente plana, variando su valor cercanamente al valor medio de su señal de entrada. Lo que en realidad deberá suceder es que a la entrada del VCO llegue una tensión continua. Esto puede lograrse colocando un integrador antes del VCO de forma que la señal de entrada al mismo sea el valor medio (un valor de tensión constante) de la señal de salida del comparador. Para lograrlo, se agrega un filtro $F(s)$, como los mencionados a continuación.

2.6.2. Filtro pasa bajos: RC

Teniendo un filtro pasa bajos de la forma $F(s) = \frac{1}{\frac{s}{\omega_p} + 1}$, reemplazando esto en la expresión 4 se obtiene:

$$\begin{cases} \frac{V_{out}}{\phi_{in}} = \frac{1}{K_{phi}} \cdot \frac{s}{\frac{s^2}{\omega_p K_{vco}} + \frac{s}{K_{vco}} + 1} \\ \frac{V_{out}}{\omega_{in}}(s) = \frac{V_{out}}{\phi_{in}s} = \frac{1}{K_{phi}} \cdot \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_p K_{vco}} + \frac{s}{K_{vco}} + 1} \end{cases} \quad (10)$$

Este tipo de filtro hace de integrador para la señal que luego ingresa al VCO, de forma que a su salida se obtiene una señal continua que corresponde al valor medio de la señal que le ingresa. El filtro tiene una única singularidad, y se trata de un polo. Debido a la presencia de este polo, y dependiendo del Q, puede llegar a haber un sobrepico hacia arriba cerca de la frecuencia de corte del filtro.

2.6.3. Filtro con un polo y un cero: RRC

$$F(s) = \frac{\frac{s}{\omega_z} + 1}{\frac{s}{\omega_p} + 1}$$

La ventaja de usar un filtro de este tipo es que al tener un polo y un cero, se puede ubicar el cero cerca del polo de forma que el sobrepico mencionado antes no esté más.

Ver que decir, lo de cuanto mas a la izq o mas a la derecha esta el poloj

2.7. Implementaciones con PLL

2.7.1. Demodulador FM

2.7.2. Multiplicador de frecuencia

2.8. Conclusiones

3. VCO: Voltage Controlled Oscillator