

APLICACIONES DEL PLL

SINTETIZADOR DE FRECUENCIA

OBJETIVOS

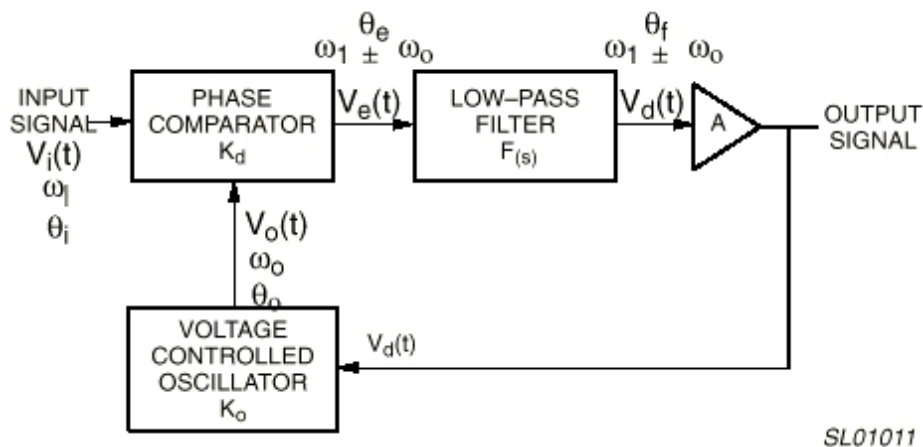
Reconocer y comprender el funcionamiento característico que tiene un oscilador enganchado en fase o PLL.

Construir un circuito en el que utilice un oscilador enganchado en fase o PLL y así comprender mejor su funcionamiento.

MARCO TEORICO

PLL

El oscilador enganchado en fase es un sistema de realimentación consistente en un compador de fase, un filtro paso bajo, un amplificador de la señal error y un oscilador controlado por tensión (VCO) en el camino de la realimentación.



El esquema de bloques de un sistema básico PLL se muestra en la Figura 1.

Quizás el punto más importante a tener en cuenta cuando diseñamos el PLL es que es un sistema de realimentación como cualquier otro y, de lo que se deduce, que está caracterizado matemáticamente con las mismas ecuaciones que aplican a los otros sistemas de realimentación más convencionales. Sin embargo, los parámetros de las ecuaciones son algo diferentes ya que en los PLL's la señal de error de realimentación es un error de fase mientras que en los convencionales es una señal error de voltaje o corriente.

FUNCIONAMIENTO DE UN PLL

El principio básico del funcionamiento de un PLL puede explicarse como sigue:

Cuando no hay señal aplicada a la entrada del sistema, la tensión $V_d(t)$ que controla el VCO tiene un valor cero. El VCO oscila a una frecuencia, f_0 (o lo que es equivalente en radianes ω_0) que es conocida como frecuencia libre de oscilación. Cuando se aplica una señal a la entrada del sistema, el detector de fase compara la fase y la frecuencia de dicha señal con la frecuencia del VCO y genera un voltaje de error $V_e(t)$ que es proporcional a la diferencia de fase y frecuencia entre las dos señales. Este voltaje de error es entonces

filtrado, ampliado, y aplicado a la entrada de control del VCO. De esta manera, la tensión de control $V_d(t)$ fuerza a que la frecuencia de oscilación del VCO varíe de manera que reduzca la diferencia de frecuencia entre f_0 y la señal de entrada f_i . Si la frecuencia de entrada f_i está suficientemente próxima a la de f_0 , la naturaleza de la realimentación del PLL provoca que el oscilador VCO sincronice y enganche con la señal entrante. Una vez enganchado, la frecuencia del VCO es idéntica a la de la señal de entrada a excepción de una diferencia de fase finita.

Esta diferencia de fase neta es F_e , donde:

$$F_e = F_0 - F_i$$

es la diferencia de fase necesaria para generar el voltaje de error corrector V_d para conseguir el desplazamiento de la frecuencia libre del VCO para igualarse a la frecuencia f_i de la señal de entrada y así mantener el PLL enganchado. Esta capacidad de autocorrección del sistema también permite al PLL "encarrilar" los cambios de frecuencia con la señal de entrada una vez se ha enganchado. La gama de las frecuencias sobre las que el PLL puede mantener el enganche con una señal de entrada se define como gama de enganche o cierre del sistema. La banda de las frecuencias sobre las que el PLL pueden engancharse con una señal de entrada conocida como gama de captura del sistema y nunca es mayor que la gama de enganche.

Otros medios de describir la operación del PLL está en observar que el comparador de fase es en realidad un circuito multiplicador que mezcla la señal de entrada con la señal del VCO. Esta mezcla produce una gama de frecuencias que son sumas y diferencias de frecuencias $(f_i + f_0)$ y $(f_i - f_0)$.

Cuando el bucle está enganchado ($f_i = f_0$; entonces $f_i + f_0 = 2f_i$ y $f_i - f_0 = 0$); de ahí que, a la salida del comparador de fase solamente tengamos una componente DC. El filtro paso bajo anula la componente de frecuencia suma por estar $(f_i + f_0)$ fuera de su ancho de banda pero deja pasar la DC que se amplifica entonces y ataca al VCO. Observar que cuando el bucle está enganchado, la componente diferencia de frecuencia es siempre DC, de tal manera que la gama de enganche es independiente del flanco del ancho de banda del filtro paso bajo..

ENGANCHE Y CAPTURA

Consideremos ahora el caso en que el bucle no está aún enganchado. El comparador de fase mezcla nuevamente las señales de la entrada y del VCO produciendo componentes suma y diferencia de frecuencia. Sin embargo, la componente diferencia puede caer fuera del ancho de banda del filtro paso bajo y anularse al mismo tiempo con la componente de frecuencia suma. Si este es el caso, no se transmite ninguna información al VCO y este permanece en su frecuencia libre inicial.

Cuando la frecuencia de entrada se aproxima a la del VCO, la componente diferencia de frecuencias disminuye y se acerca al borde de la banda del filtro paso bajo. Ahora alguna componente de la diferencia de frecuencias pasará, haciendo que la frecuencia del VCO se acerque a la frecuencia de la señal de entrada. Esto, producirá a la vez, que disminuya la frecuencia de la componente diferencia lo que permite a su vez que pase más información a través del filtro paso bajo hacia el VCO. Esto es esencialmente un mecanismo de realimentación positiva que provoca que el VCO enganche con la señal de entrada. Teniendo en cuenta lo dicho, podríamos definir de nuevo el término gama de captura como 'la gama de frecuencia alrededor de la cual, la frecuencia libre inicial del VCO puede enganchar con la señal de entrada'. La gama de captura es una medida de qué frecuencias de señal de entrada debemos tener para enganchar al VCO. Esta gama de captura puede llegar a tener cualquier valor dentro de la gama de enganche y depende en primer lugar del flanco del ancho de banda del filtro paso bajo y en segundo lugar de la ganancia del lazo-cerrado del sistema.

Es este fenómeno de captura de señal, el que le da al bucle, las propiedades selectivas de frecuencia.. Es importante distinguir la gama de captura de la gama de enganche que puede, nuevamente, definirse como 'la gama de frecuencias normalmente centradas alrededor de la frecuencia inicial libre del VCO por el que el lazo puede encaminar a la señal de entrada una vez logrado el enganche'.

Cuando el lazo está enganchado, la componente diferencia de frecuencia a la salida del comparador de fase

(voltaje error) es DC y pasará siempre a través del filtro paso bajo. Así, la gama de enganche estará limitada por la gama de voltaje de error que puede generarse y la correspondiente desviación de frecuencia producida por el VCO. La gama de enganche es esencialmente un parámetro DC y no está afectada por el ancho de banda del filtro paso bajo.

CAPTURA TRANSITORIA

El proceso de captura es altamente complejo y no se presta a un análisis matemático simple. Sin embargo, una descripción cualitativa del mecanismo de captura puede entenderse como se indica a continuación. Sabiendo que la frecuencia es el derivada de la fase con respecto al tiempo, los incrementos (variaciones) de la frecuencia y de la fase en el bucle pueden relacionarse como

$$df = d\phi/dt$$

donde **df** es la variación de la frecuencia instantánea entre las frecuencias de la señal y del VCO y **dφ** es la diferencia de fase entre la señal de entrada y la señal del VCO.

Si el lazo de realimentación del PLL se abriera entre el filtro paso bajo y la entrada del VCO, entonces para una condición determinada de **f_o** y **f_i** la salida del comparador de fase sería un batido sinusoidal a una frecuencia fija **df**. Si **f_o** y **f_i** se acercaran suficientemente en su frecuencia, este batido aparecería a la salida de filtro con insignificante atenuación.

Supongamos ahora el lazo de realimentación se cierra conectando la salida del filtro paso bajo a la entrada de control del VCO. La frecuencia del oscilador VCO estará modulada por ese batido de frecuencia. Cuando esto sucede, **df** será una función de tiempo. Si, durante este proceso de modulación, la frecuencia del VCO se desplaza acercándose a **f_i**, (es decir, disminuyendo **df**), entonces **dφ/dt** disminuye y la salida del comparador de fase variará lentamente en función de tiempo. Del mismo modo, si el VCO se modula lejos de **f_i**, **dφ/dt** aumenta y el voltaje de error, es decir la salida del comparador de fase variará rápidamente en función del tiempo. Bajo esta condición la forma de onda de la nota de batido no será sinusoidal; sino que estará formado por una serie de picos aperiódicos.

A causa de su asimetría, esta nota de batido contiene una componente DC finita cuyo valor medio hace tender la frecuencia del VCO hacia **f_i** y se establezca el enganche. Entonces **df** vale cero y el voltaje de error DC permanece constante.

El tiempo total que tarda el PLL en establecer el enganche se llama el *pull-in-time*. Dicho tiempo depende de las diferencias de fase y frecuencia inicial entre las dos señales así como también de la ganancia total del lazo y del ancho de banda del filtro paso bajo. Bajo determinadas condiciones, el *pull-in-time* puede ser más corto que el período de la nota de batido y el bucle puede cerrar sin ninguna oscilación transitoria.

EFFECTOS DEL FILTRO PASO BAJO

En la manera de comportarse el lazo. El filtro paso bajo efectúa una doble función.

La primera, atenuar y rechazar las componentes de alta frecuencia a la salida del detector de fase, mejorando las características de rechazo de interferencias, la segunda, proporcionar durante un corto tiempo (memoria del filtro) al PLL asegurando un rescate rápido de la señal si el sistema se sale del enganche debido a algún ruido transitorio.

Disminuir el ancho de banda del filtro paso bajo tiene los efectos siguientes sobre el rendimiento de sistema (Constante de Tiempo grande):

- a.- El proceso de captura llega a ser más lento, y el *pull-in-time* aumenta.
- b.- La gama de frecuencias de captura disminuye.

c.- Las propiedades de rechazo de interferencias del PLL mejoran ya que el voltaje de error ocasionado por una frecuencia perturbadora adicional se atenúa por el filtro paso bajo.

d.- La respuesta transitoria del bucle (la respuesta del PLL a los cambios súbitos de la frecuencia de entrada dentro de la gama de captura) llega a ser muy amortiguado.

FUNCIONAMIENTO

SINTESIS DE FRECUENCIA

Se puede construir un sintetizador de frecuencia alrededor de un PLL, tal como se muestra en la figura 2. Un divisor de voltaje se inserta en la salida del VCO y el comparador de fase, para que la señal del lazo al comparador este a la frecuencia F_0 mientras que la salida e la fase del VCO es Nf_0 . Esta salida es un múltiplo de la frecuencia de entrada, pero siempre y cuando el lazo este en seguimiento. La señal de entrada puede estabilizarse en f_1 , con la salida del VCO resultante en Nf_1 , si el lazo se ajusta para seguimiento a la frecuencia fundamental.

En esta practica se ha montado usando un PLL 565 como multiplicador de frecuencia y un 7490 como divisor. La entrada V_i a la frecuencia f_1 se compara con la entrada en el terminal 5. Una salida a Nf_0 que ahora es $4f_0$, se conecta por medio de un circuito inversor para proporcionar la entrada en la terminal 14 al 7490, la cual varía entre -5 y $+5$ voltios. Con la salida de la terminal 9, que es la entrada al 7490 dividida entre 4, la señal del terminal del PLL es cuatro veces la frecuencia de entrada siempre y cuando el lazo permanezca en seguimiento. Debido a que el VCO puede variar solamente a lo largo de un rango limitado respecto a la frecuencia central, puede que sea necesario cambiar la frecuencia del VCO una vez que se cambie el valor del divisor.

Siempre y cuando el circuito PLL este en seguimiento la frecuencia de salida del VCO será exactamente N veces la frecuencia de entrada. Para esto es necesario ajustar a f_0 para que este dentro del rango de captura y seguimiento, ya que entonces el lazo cerrado dará como resultado que la salida del VCO llegue a ser exactamente Nf_1 cuando este en seguimiento.

Figura 1

CONCLUSIONES

Se pudo demostrar que un PLL u oscilador enganchado en fase tiene diversas aplicaciones y que la más usada es como un multiplicador de frecuencia.

Comprobamos como el PLL u oscilador enganchado en fase, trabaja basándose en unos niveles de frecuencia, llamados frecuencia de captura y a este estado se le llama captura y si la frecuencia de entrada sobrepasa o disminuye de estos niveles el PLL no trabaja.