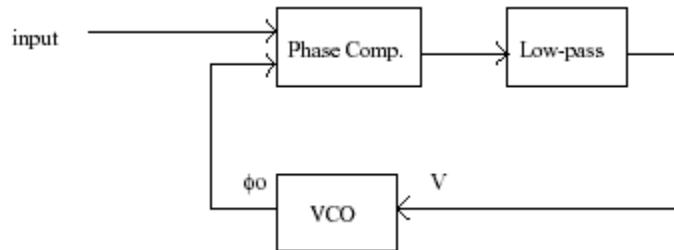


## **Trabajo de Laboratorio N°1: Phase-Locked Loop (PLL) o Lazo de Enganche de Fase**

El PLL es ampliamente utilizado en comunicaciones y sistemas de control. Un típico PLL consiste de tres elementos : un Oscilador Controlado por Tensión (VCO), un comparador de fase y un filtro pasabajos. Cuando es utilizado como demodulador de FM, la entrada al PLL es una señal modulada en FM y la salida (señal demodulada) es la salida del filtro pasabajos. El principio de este demodulador de FM se detalla a continuación:

El comparador de fase detecta la diferencia entre la fase (o frecuencia) de la salida del VCO y la señal de entrada al demodulador. El error de fase es primero filtrado por el filtro pasabajos y su salida se utiliza para comandar al VCO tal que la fase del mismo se enganche a la fase de la señal de entrada.



### **Oscilador Controlado por tensión (VCO)**

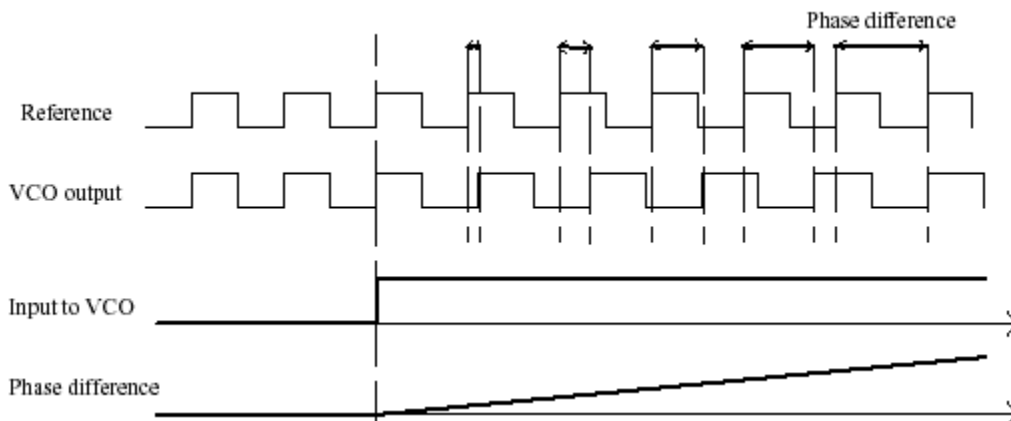
La frecuencia del VCO es linealmente dependiente de la tensión aplicada a su entrada (V)

$$f = K_o V$$

si consideramos a la fase como la variable de salida del VCO, el mismo puede ser modelado como un integrador.

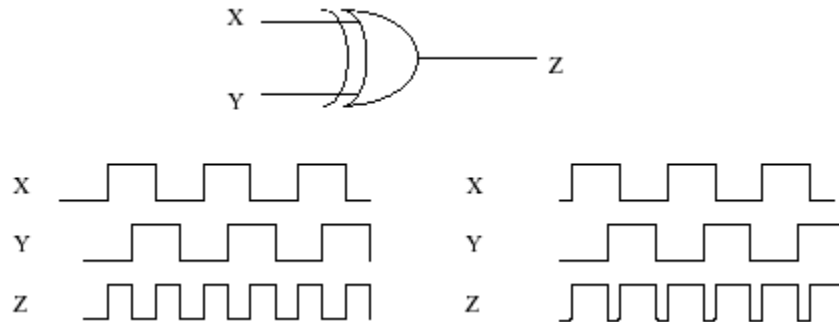
$$\phi = \frac{K_o}{s} V$$

Consideramos que la salida del VCO es una onda cuadrada y a continuación se muestra a la salida del mismo con respecto a un escalón unitario V. En el gráfico se muestra que después de aplicarse el escalón, la frecuencia cambia también como un escalón, mientras que la fase incrementa linealmente.



## Comparador de Fase

Se utiliza una OR EXCLUSIVA (XOR). Como se muestra en la figura, si la diferencia de fase entre las dos señales de entrada es exactamente  $90^\circ$  grados, la salida de la XOR es una onda cuadrada de el doble de frecuencia de la frecuencia de las señales de entrada y tiene exactamente 50% de ciclo de actividad. Notar que si una de las señales de entrada tiene un corrimiento de fase, el ciclo de actividad cambia en forma acompasada.



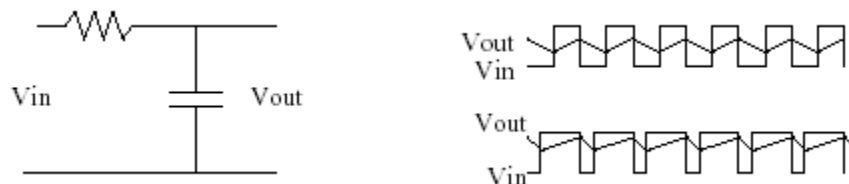
Este simple comparador de fase tiene las siguientes características:

- Puede detectar solamente  $\pm 90^\circ$  de diferencia de fase.
- Es necesario un detector de ciclo de actividad para convertir el ciclo de actividad de la onda cuadrada de salida a una señal analógica.

Mientras que el primer problema no tiene una simple solución, salvo que utilizar otro tipo de comparador de fase, el segundo problema puede ser resuelto mediante un filtro pasabajos.

## Filtro pasabajos

En la figura se muestra un simple filtro pasabajos RC con una entrada onda cuadrada. Se puede ver que la segunda forma de onda tiene un mayor ciclo de actividad y por lo tanto la salida del filtro también es mayor.



Si el polo del filtro se elige de manera que sea mucho menor que la frecuencia de la onda cuadrada, el ripple sobre la señal filtrada será significativamente reducido. Sin embargo si el ancho de banda es muy bajo, la realimentación del PLL no reaccionará ante un cambio rápido de frecuencia. Normalmente se suele utilizar dos tipos de filtros, el explicado recientemente como filtro tipo 1, y el otro como filtro tipo 2 que se caracteriza por tener un

resistor en serie al capacitor, denominándose esta configuración como compensador LAG, que trae un mejoramiento del factor de amortiguamiento  $\xi$ .

Type	PASSIVE	
	1	2
Circuit		
Transfer function		
$F(j\omega) =$	$\frac{1}{1 + j\omega\tau_1}$	$\frac{1 + j\omega\tau_2}{1 + j\omega(\tau_1 + \tau_2)}$
Comment	$b = 0$	$a, b, c, d \neq 0$

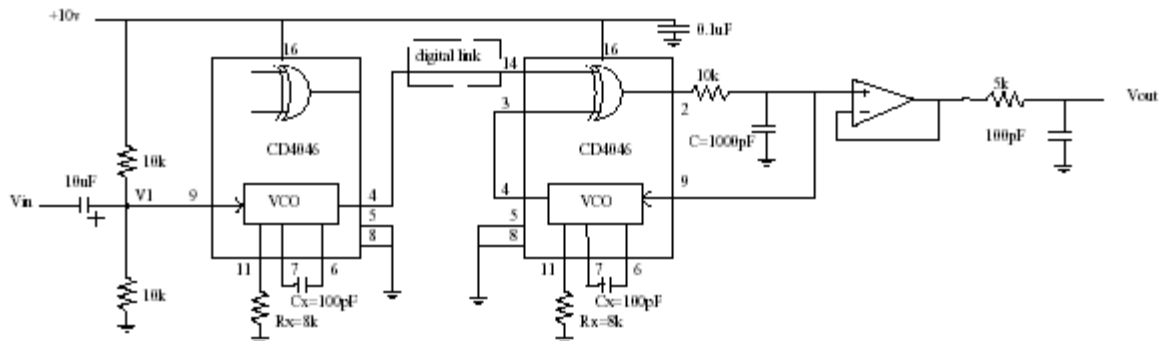
$\tau_1 = R_1 C \quad \tau_2 = R_2 C$

## Procedimiento

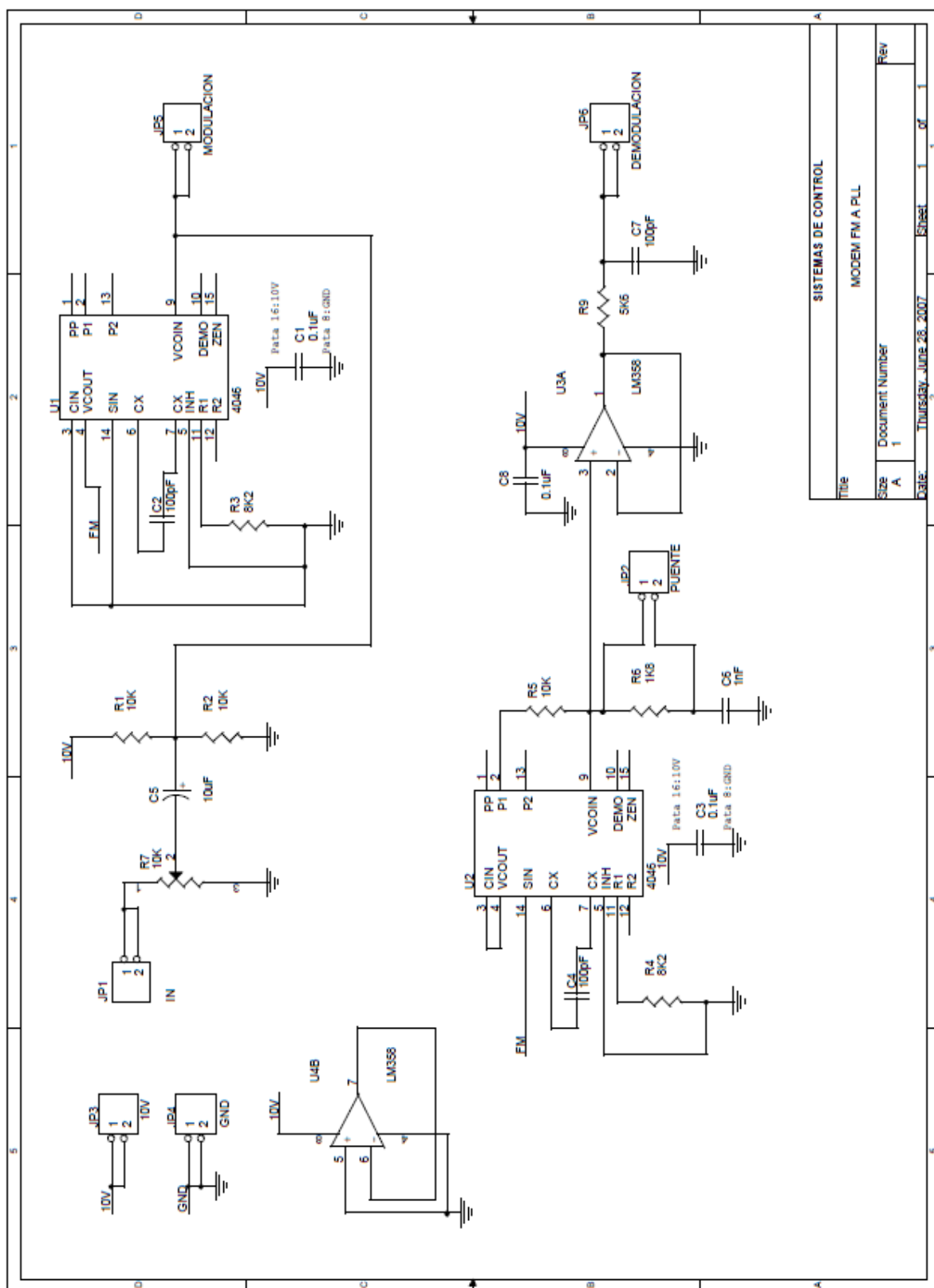
Se analizará un circuito de aplicación en telecomunicaciones, que es un modulador de FM y un demodulador, del cual vamos a calcular la función de transferencia, medir algunos parámetros, y comparar la respuesta al escalón del circuito simulado o calculado y la respuesta del circuito que se arma y prueba en laboratorio.

Para el desarrollo de este trabajo de laboratorio se suministra el data sheet del CD4046 y el circuito esquemático.

En el siguiente esquema se muestra el circuito en forma sencilla que se estudiará en el laboratorio

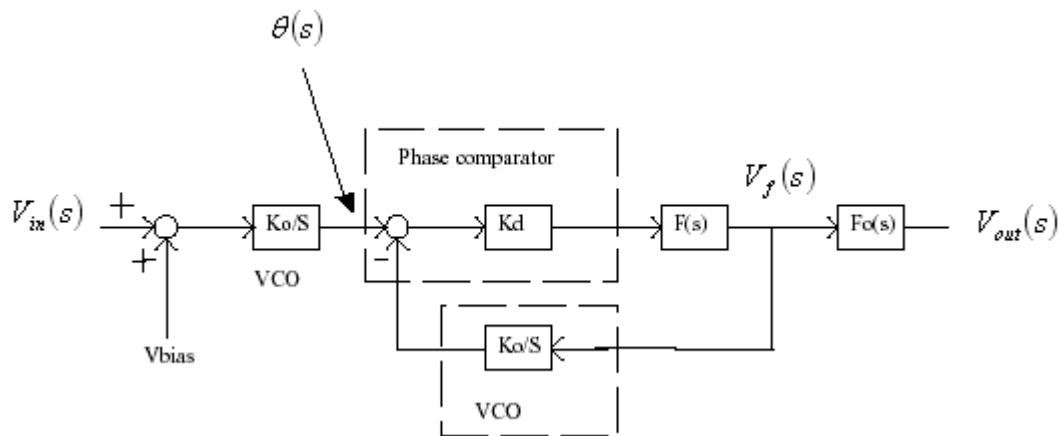


y este es el esquemático que se suministra



Del primer CD4046 solo se utiliza el VCO como modulador en frecuencia. La salida de este modulador es una onda cuadrada modulada en frecuencia (salida del VCO) que puede ser transmitida a través de un canal digital (por ejemplo fibra óptica). Esta salida entra directamente a la entrada del demodulador que constituye el segundo CD4046 configurado como PLL. El amplificador operacional es un buffer y el filtro  $RC$  pasabajos a la salida se usa para remover la portadora en frecuencia. Por cada integrado, se deberá conectar entre  $10V$  y  $GND$  un capacitor de desacople de  $0.1\mu F$ .

A continuación se muestra el diagrama en bloques del circuito a analizar. La  $V_{bias}$  es puesta a  $+5V$  por el divisor de tensión resistivo de resistencias de  $10K$  que se encuentra a la entrada del VCO modulador.  $V_{bias} = 5V$ ,  $R_x = 8K2\Omega$  y  $C_x = 100pF$  fijan la frecuencia central de los VCO tanto del modulador como del demodulador.



### Pre-laboratorio:

- 1) Observando el diagrama en bloques, determinar en forma genérica las funciones de transferencia de:
  - a) Modulador (VCO)  $(\theta(s)/V_{in}(s))$ .
  - b) Demodulador (PLL)  $(V_f(s)/\theta(s))$ .
  - c) Filtros pasabajos  $F_1(s)$  y  $F_2(s)$ .
  - d) Filtro de salida  $F_o(s)$ .
- 2) Del punto 1b), determinar en forma genérica el factor de amortiguamiento  $\xi$  considerando ambos filtros.
- 3) Determinar la función de transferencia  $T(s) = V_{out}(s)/V_{in}(s)$  en forma genérica, y expresado en cociente de polinomios en potencias de  $s$  para ambos filtros.

- 4) Calcular la constante  $K_d$   $[V/rad]$ . (100% de ciclo de actividad corresponde a  $\pi rad$  y 0% de ciclo de actividad corresponde a  $0 rad$  de desplazamiento de fase).

### **Laboratorio:**

- 1) Armar el circuito solicitado, chequear su correcto armado y alimentar con una tensión de  $10V_{cc}$ .
- 2) Medir la constante  $K_o$  por medio de la relación entre la tensión de entrada del VCO y su frecuencia de salida. La unidad está en  $[rad/seg/V]$ .
- 3) Con los valores numéricos disponibles, mediante el MATLAB calcular numéricamente la función de transferencia ya escrita en el punto 2 en **Pre-laboratorio**, determinar el amortiguamiento y la frecuencia natural de los polos complejos.
- 4) Plotear la respuesta al escalón mediante MATLAB. Determinar el amortiguamiento y la frecuencia natural de los polos complejos.
- 5) Medir la respuesta al escalón del circuito usando una onda cuadrada de  $0.5V_{pp}$  y  $2KHz$  de frecuencia. Registrar dicha respuesta mediante un osciloscopio.
- 6) Mediante MATLAB plotear dicha respuesta y compararla con la obtenida en forma simulada.
- 7) Comprobar que mediante la incorporación de un resistor en serie con el capacitor, el amortiguamiento del sistema a lazo cerrado puede ser ajustado. Determinar el valor de resistencia que hay que incorporar para tener un amortiguamiento de 0.5, y experimentalmente verificar su diseño, demostrándolo mediante MATLAB.
- 8) Que función cumple el filtro de salida y como afectaría la respuesta del sistema.
- 9) Sacar conclusiones.