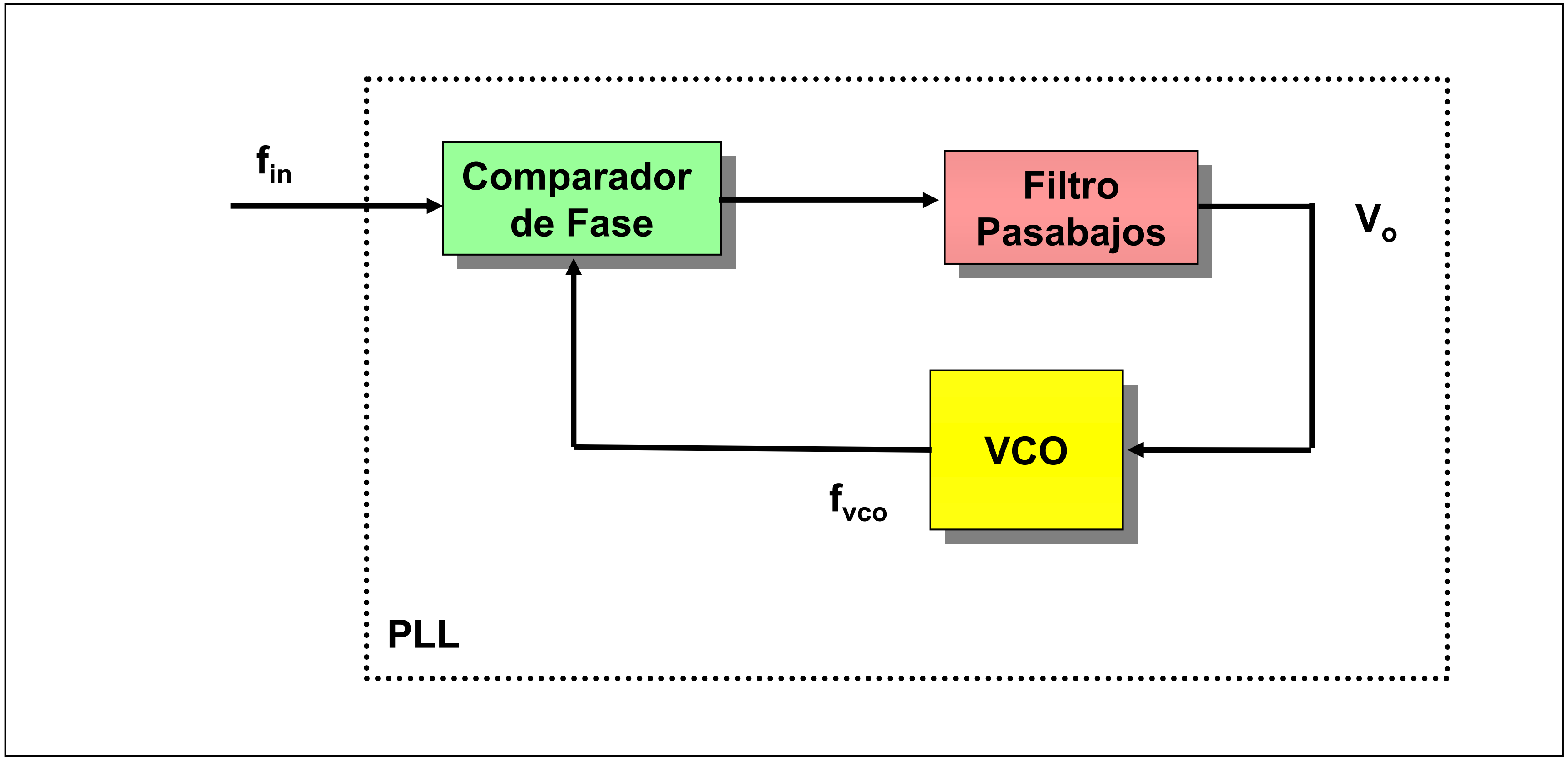
PLL (Phase Locked Loop)

- Diagrama en bloques
- Detector de fase
- VCO
- Transferencia
- Filtros
- Aplicaciones

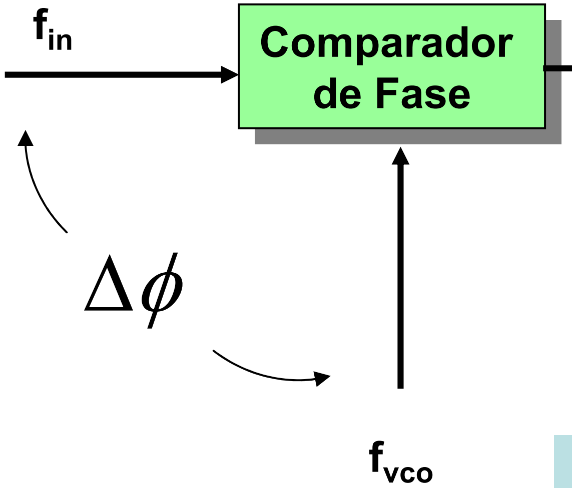
Diagrama en bloques

La función de un PLL es la de "enganchar" la frecuencia del VCO a la frecuencia de la señal de entrada



Comparador/Detector de fase

La función del comparador de fase es la de entregar una tensión proporcional a la diferencia de fase entre la señal del VCO y la señal de entrada



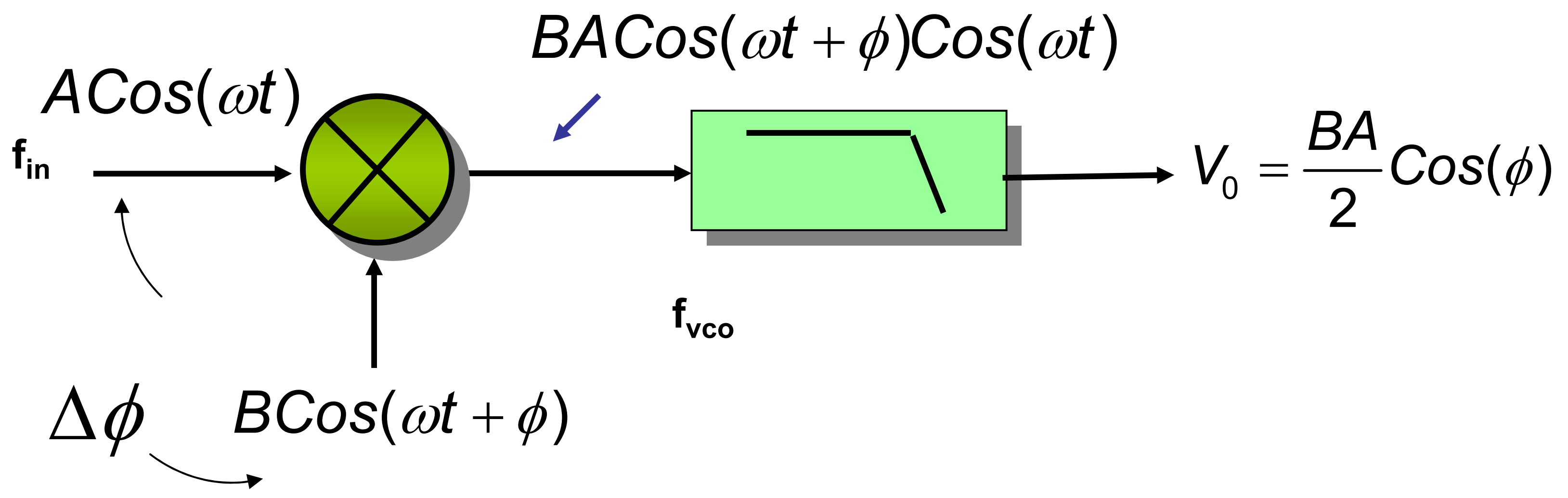
$$V_o = K_\phi \Delta\phi$$

$$K_\phi \left[volt / radian \right]$$

$$\Delta\phi = \phi_{in} - \phi_{vco} = \frac{\Delta t}{T} 2\pi$$

Comparador/Detector de fase

Implementación 1: Multiplicador

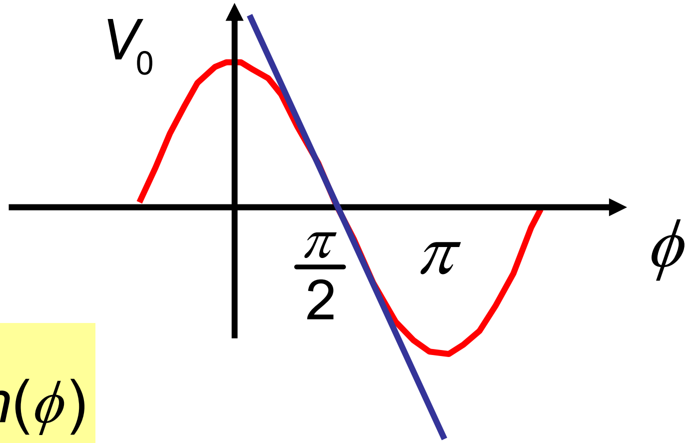


$$BACos(\omega t+\phi)Cos(\omega t) = \frac{BA}{2}\left[Cos(\phi) - \cancel{Cos(2\omega t+\phi)}\right]$$

Comparador/Detector de fase

Implementación 1: Multiplicador

$$V_0 = \frac{BA}{2} Cos(\phi)$$



$$K_\phi = \frac{dV_o}{d\phi} = -\frac{BA}{2} Sen(\phi)$$

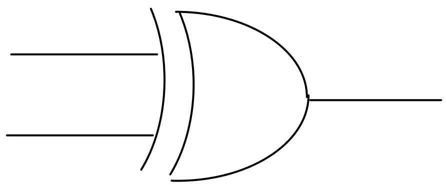
$$K_{\phi=\frac{\pi}{2}} = \left.\frac{dV_o}{d\phi}\right|_{\frac{\pi}{2}} = -\frac{BA}{2}$$

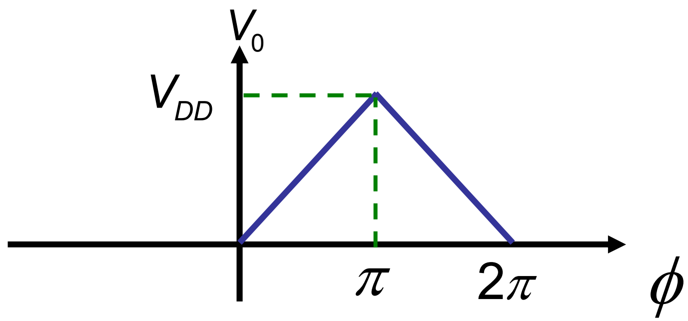
Lazo enganchado en cuadratura

La ganancia del detector es máxima en pi/2

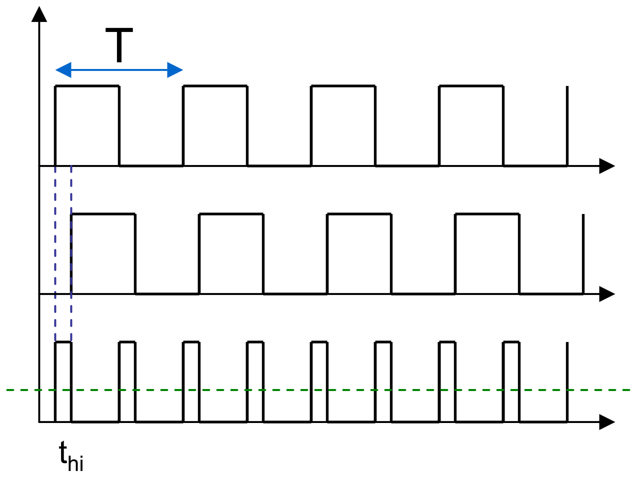
Comparador/Detector de fase

Implementación 2: XOR





$$K_{\phi} = \frac{V_{DD}}{\pi}$$

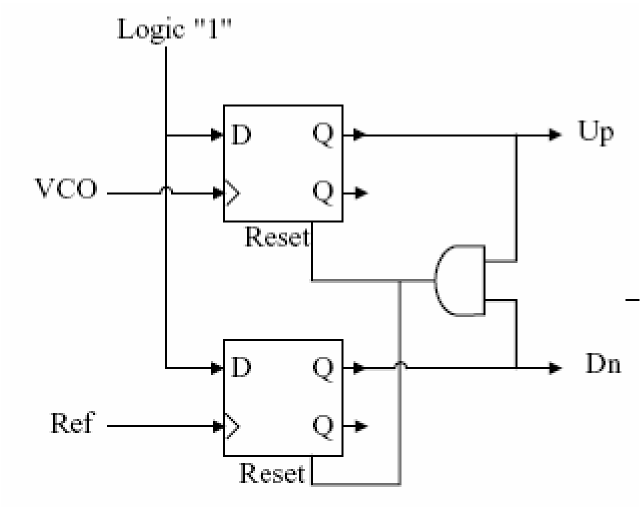


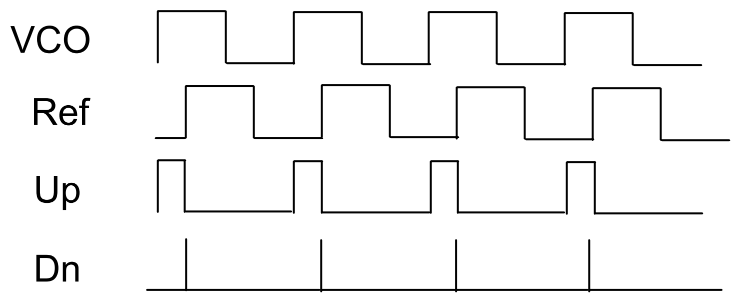
$$V_0(dc) = V_{DD}\ DC \qquad DC = \frac{t_{hi}}{T}$$

La salida contiene una frecuencia doble a la original + la continua.

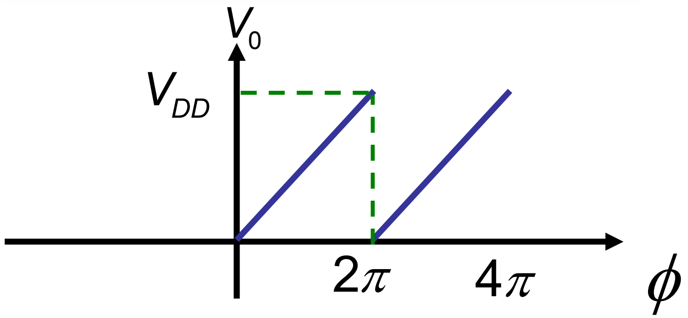
Comparador/Detector de fase

Implementación 3: Edge Detector (Phase Frequency Detector)





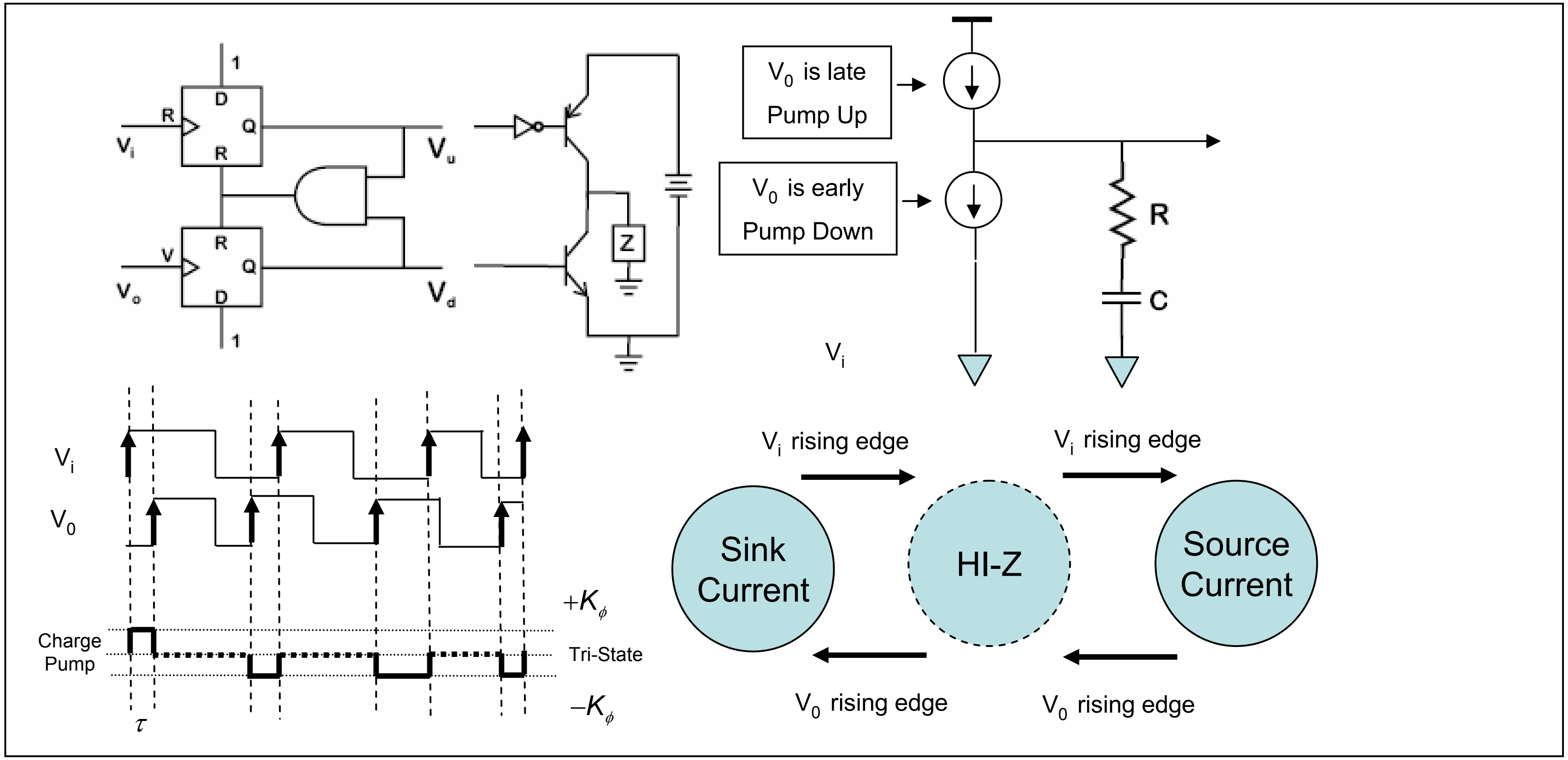
Estos detectores son sensibles solo a los flancos y por lo tanto no dependen del DC de la señal.



$$K_\phi = \frac{V_{DD}}{2\pi}$$

Comparador/Detector de fase

Implementación 4: Edge Detector + Charge Pump



Comparador/Detector de fase

Análisis del PFD + Charge Pump

Suponiendo que Vi y V0 son de igual frecuencia y que el flanco de Vo aparece un tiempo τ después del flanco de Vi tenemos dos posibilidades:

$\tau = 0$ En este caso ambas señales están sincronizadas en frecuencia y en fase y por lo tanto no existe salida en el detector.

$\tau > 0$ La salida estara cargando al capacitor durante un tiempo τ por cada periodo de la senial Vi. Si el periodo de la senial Vi es Ti entonces el valor medio de la salida del Charge and Pump sera:

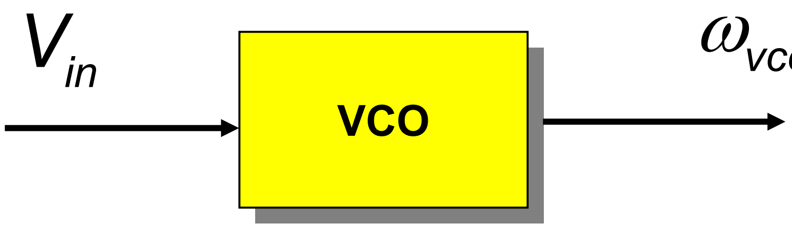
$$\overline{Vout} = 2\pi \frac{\tau}{T_i} K_\phi$$

La constante 2π se introduce para convertir retardo temporal en un retardo de fase. Notese que el retardo de fase deberá ser a lo sumo Ti. Cuando la fase es $+2\pi$ la corriente suministrada sera K_ϕ mientras que cuando es -2π la corriente absorbida sera – K_ϕ y por lotanto la ganancia del detector sera :

$$Kd = \frac{K_\phi}{2\pi} \quad mA / rad$$

VCO

La función del VCO es generar una frecuencia proporcional a la tensión de entrada.



$$\omega_{vco} = \omega_o + K_{VCO} V_{in}$$

Free Running (ω_o)

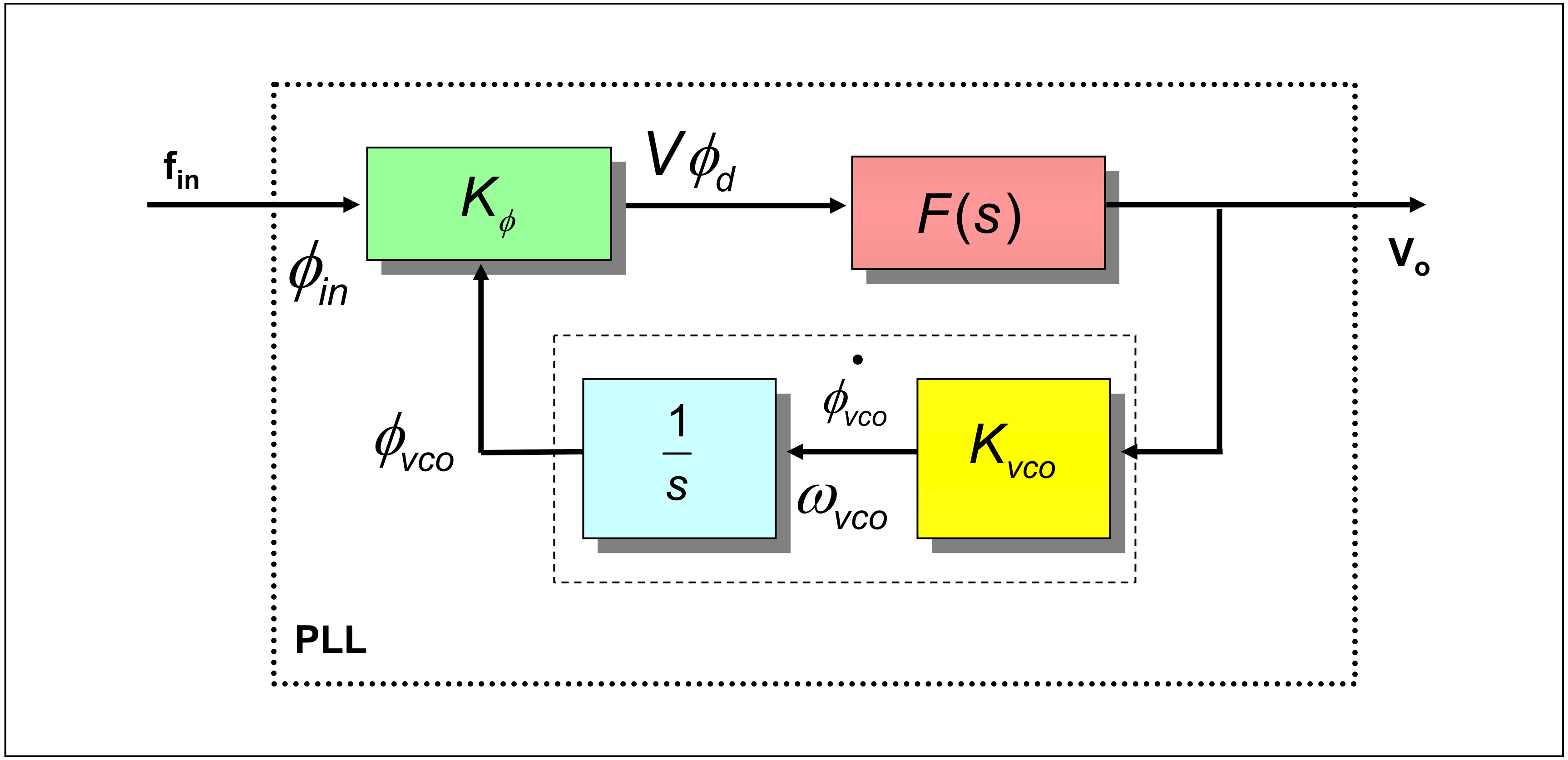
$$K_{VCO}\left[radian / seg / volt\right]$$

$$\omega_{vco} = \frac{d\phi_{vco}}{dt} \Rightarrow \phi_{vco} = \int \omega_{vco} dt \Rightarrow \phi_{vco}(s) = \frac{1}{s}\omega_{vco}(s)$$

El VCO es un integrador

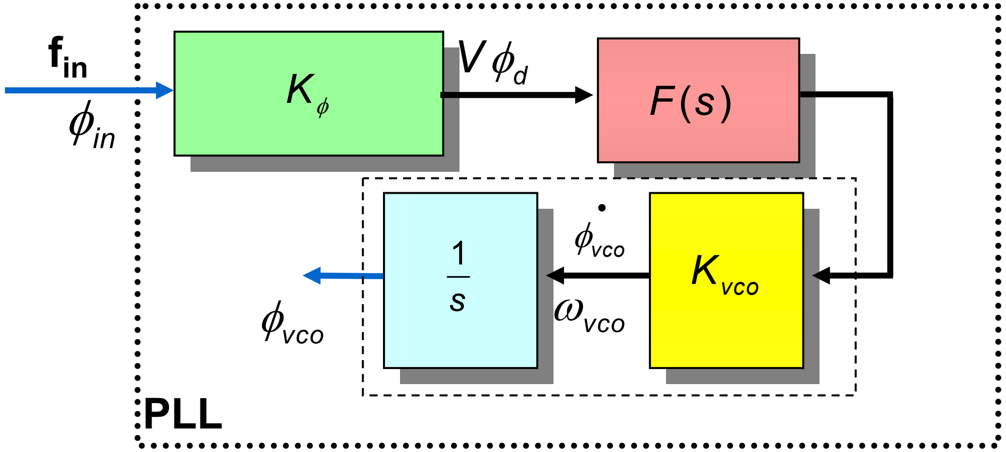
PLL: Transferencia

Transferencia



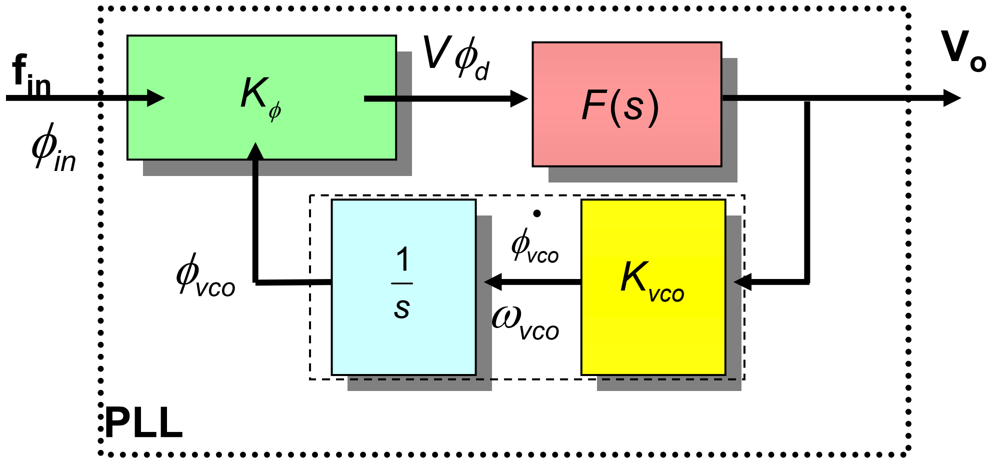
PLL: Transferencia

$$H(s)=\frac{\phi_{vco}}{\phi_i}=\frac{G(s)}{1+G(s)} \qquad G(s)=\frac{K_\phi F(s) K_{vco}}{s}$$



PLL: Transferencia

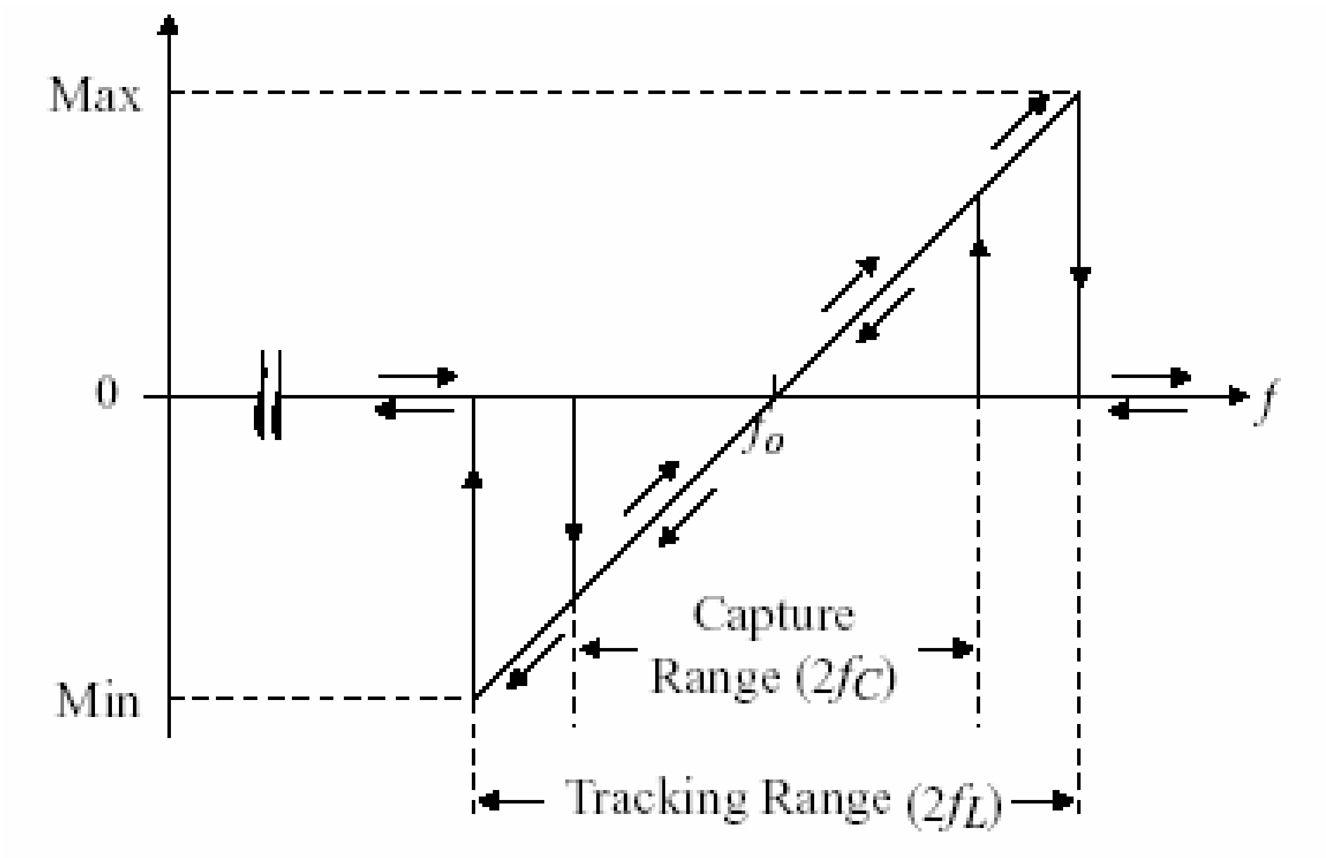
$$\frac{V_o}{\phi_i} = \frac{sK_\phi F(s)}{s + K_\phi K_{vco} F(s)} \quad o\ bien\ \frac{V_o}{\omega_i} = \frac{V_o}{\phi_i s} = \frac{K_\phi F(s)}{s + K_\phi K_{vco} F(s)}$$



$$G(s) = \frac{K_v F(s)}{s}$$

PLL

Rangos de captura y enganche



PLL

Transferencias

$$\phi_{vco}(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)}\phi_i(s) \qquad G(s) = \frac{K_v \boxed{F(s)}}{s} \longleftarrow$$

Low Pass

Como $\lim_{t\to\infty} h(t) = \lim_{s\to 0} sH(s)$ Teorema del valor final

$$\lim_{s\to 0} (s\,\phi_{vco}(s)) = \lim_{s\to 0}\ s\left[\frac{G(s)}{1+G(s)}\phi_i(s)\right] = \phi_i(s)$$

$$\phi_{vco}(t) \approx \phi_i(t)\Big|_{t\to\infty}$$

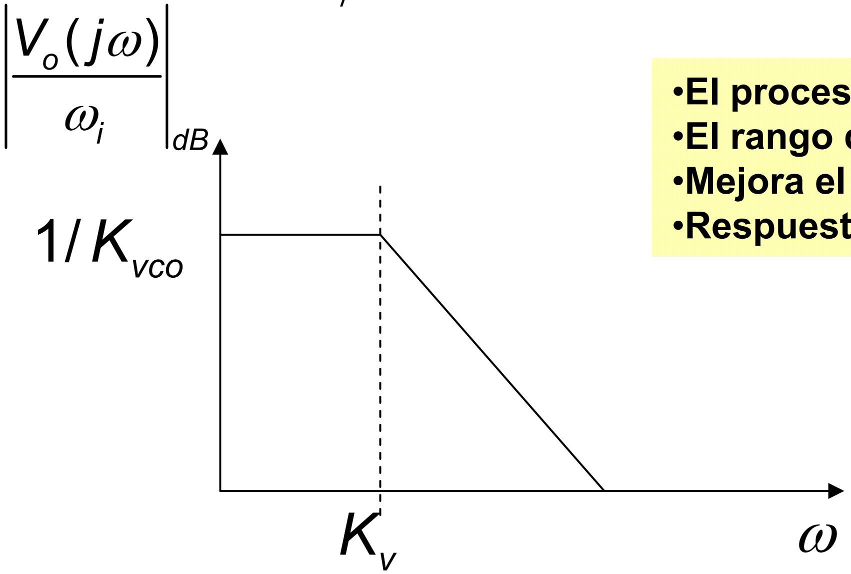
Tracking !!!

PLL

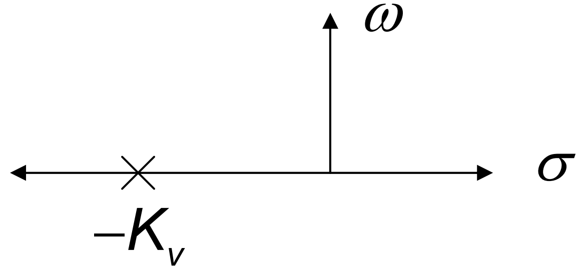
Transferencias

En Ausencia del filtro F(s):

$$\frac{V_o}{\omega_i} = \frac{K_\phi}{s + K_\phi K_{vco}} = \frac{1}{K_{vco}} \frac{K_v}{s + K_v} \quad donde \quad K_v = K_\phi K_{vco}$$



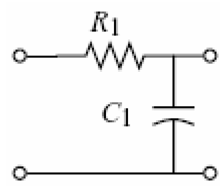
- **El proceso de captura es mas lento**
- **El rango de captura decrece**
- **Mejora el rechazo a las perturbaciones**
- **Respuesta sobre amortiguada**



PLL: Filtros

Filtros de primer orden

$$F(s) = \frac{\omega_1}{s+\omega_1} = \frac{1}{1+\dfrac{s}{\omega_1}}$$



$$\therefore \quad \frac{V_o(s)}{\omega_i} = \frac{K_D F(s)}{s + K_v F(s)} = \frac{K_D}{s\left(1+\dfrac{s}{\omega_1}\right) + K_v} = \frac{1}{K_o}\left(\frac{\omega_1 K_v}{s^2+\omega_1 s+\omega_1 \cdot K_v}\right)$$

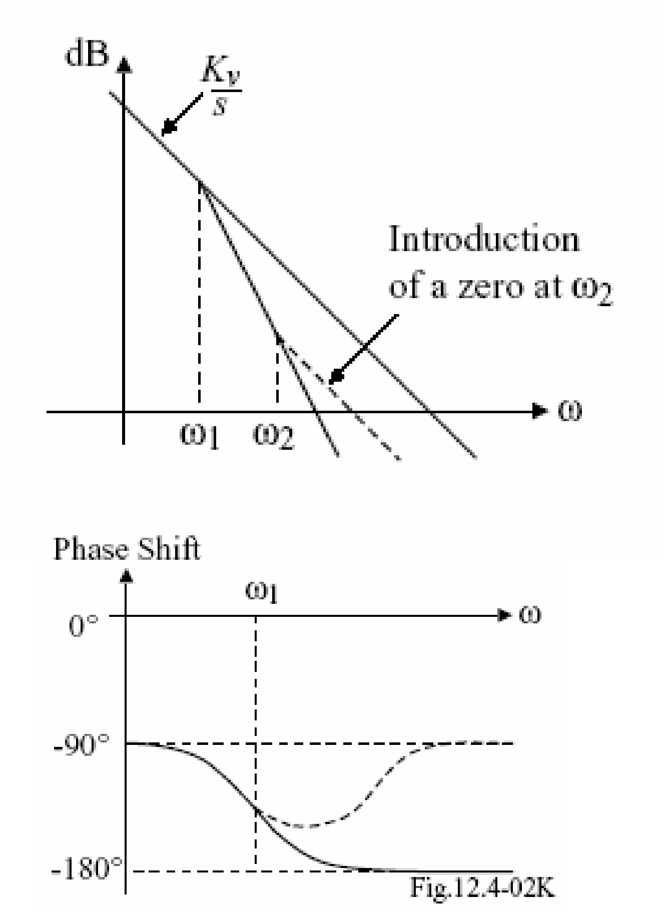
$$\frac{V_o(j\omega)}{\omega_i} = \frac{1}{K_o}\left(\frac{{\omega_n}^2}{s^2 + \zeta\omega_n s + {\omega_n}^2}\right) \qquad \omega_n = \sqrt{K_v \omega_1} \qquad \zeta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\omega_1}{K_v}}$$

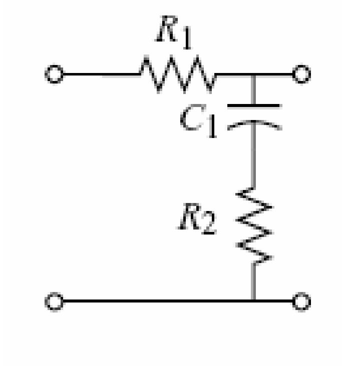
$$\zeta = 0.707 \qquad \omega_1 = 2K_v. \qquad \omega_{-3\text{dB}} = \omega_n = \sqrt{2}K_v$$

$$p_1, p_2 = -\frac{\omega_1}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{{\omega_1}^2 - 4\omega_1 \cdot K_v} = -\frac{\omega_1}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4K_v}{\omega_1}}\right)$$

PLL: Filtros

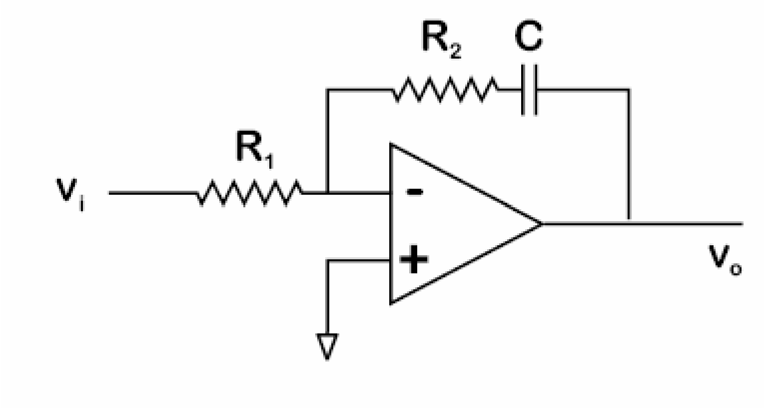
Filtros de primer orden





PLL: Filtros

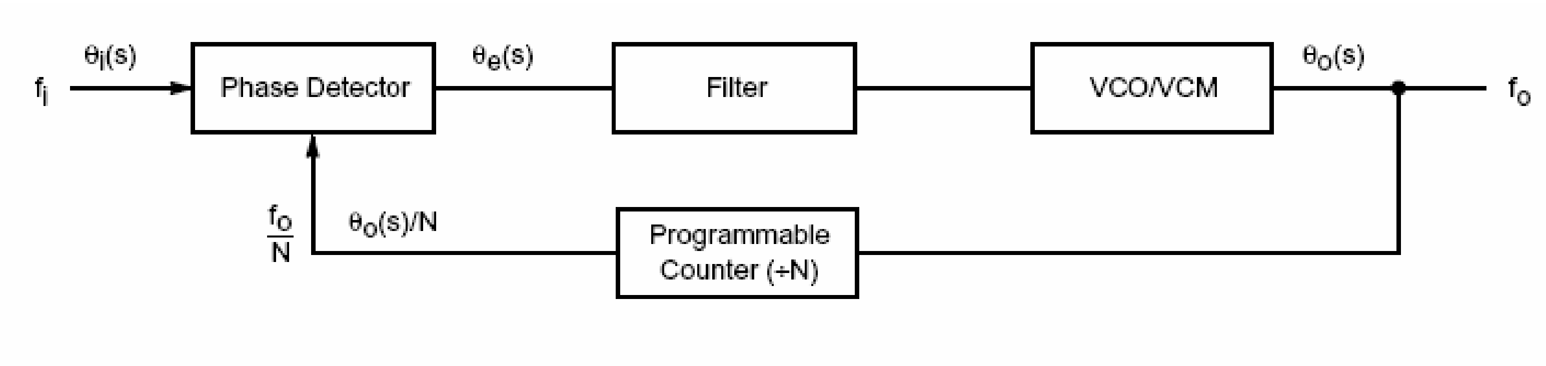
Filtros de primer orden Activo



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{sR_2C + 1}{sR_1C}.$$

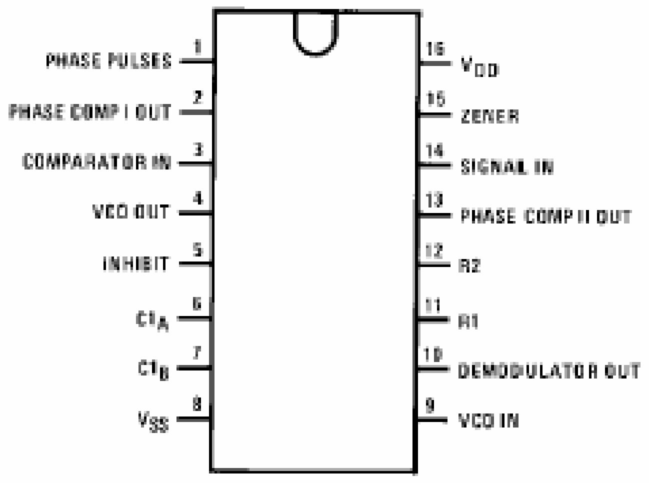
PLL: Aplicación

Síntesis de frecuencias



PLL: Aplicación

PLL CD4046BC



Top View

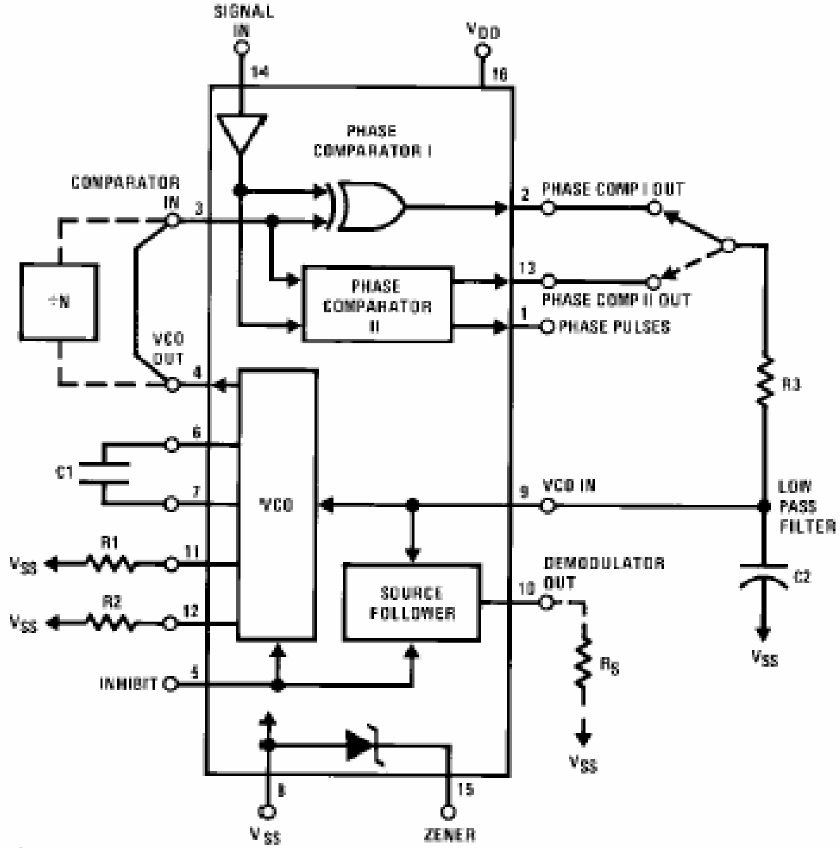


FIGURE 1.

PLL: Aplicación

PLL CD4046BC

Phase Comparator State Diagrams

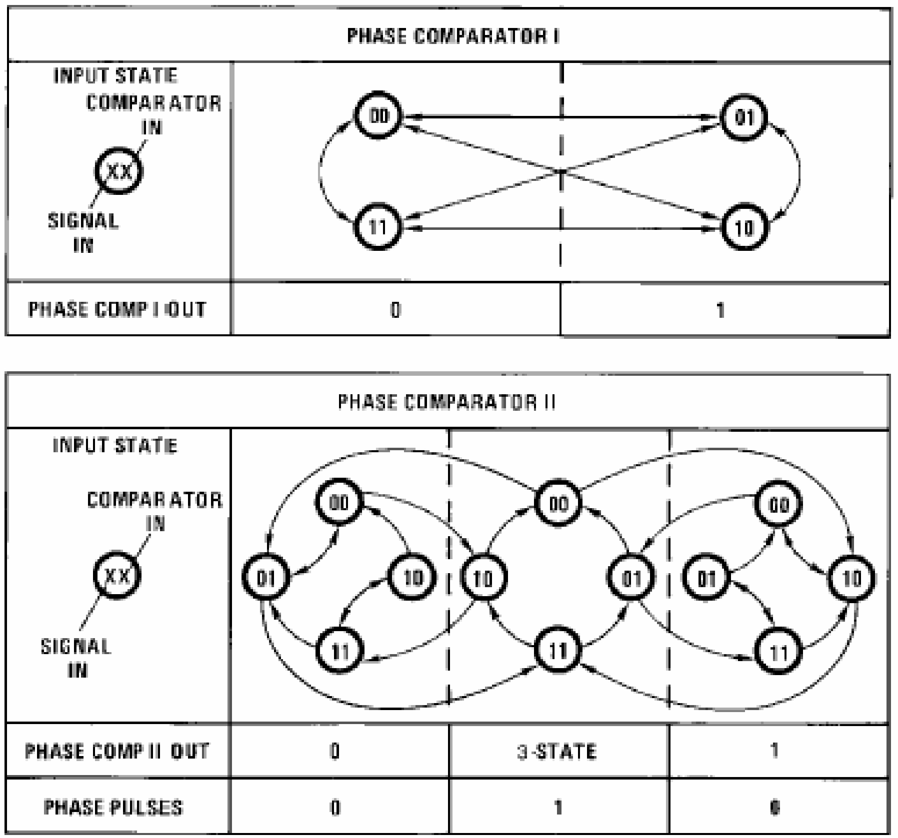


FIGURE 2.

PLL: Aplicación

PLL CD4046BC

Typical Waveforms

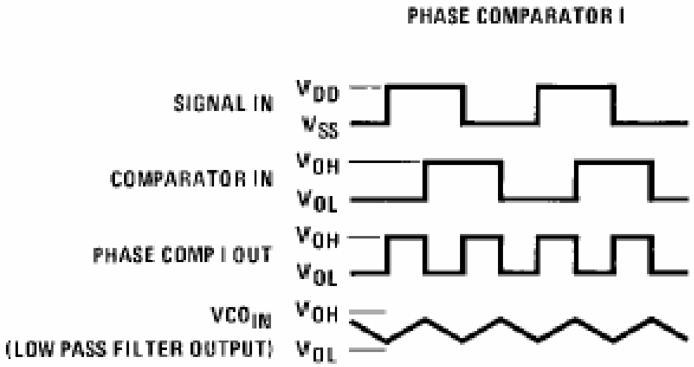


FIGURE 3. Typical Waveform Employing Phase Comparator I in Locked Condition

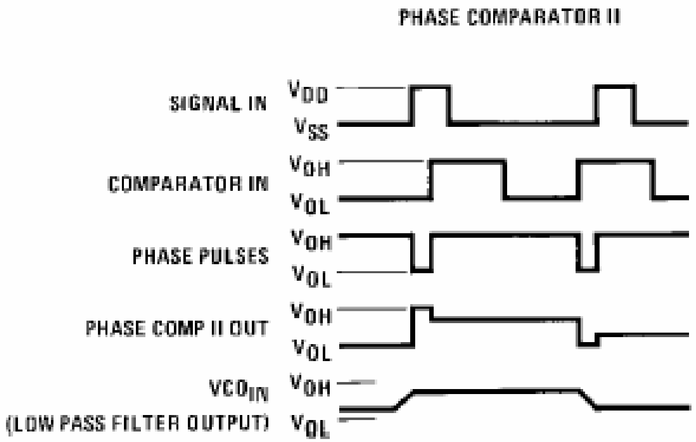


FIGURE 4. Typical Waveform Employing Phase Comparator II in Locked Condition

PLL: Aplicación

PLL CD4046BC

Typical Waveforms

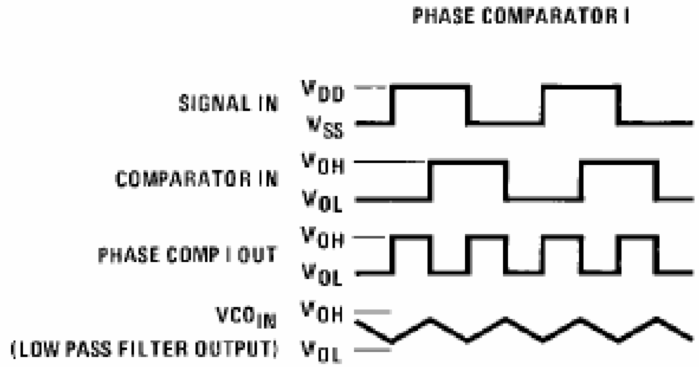


FIGURE 3. Typical Waveform Employing Phase Comparator I in Locked Condition

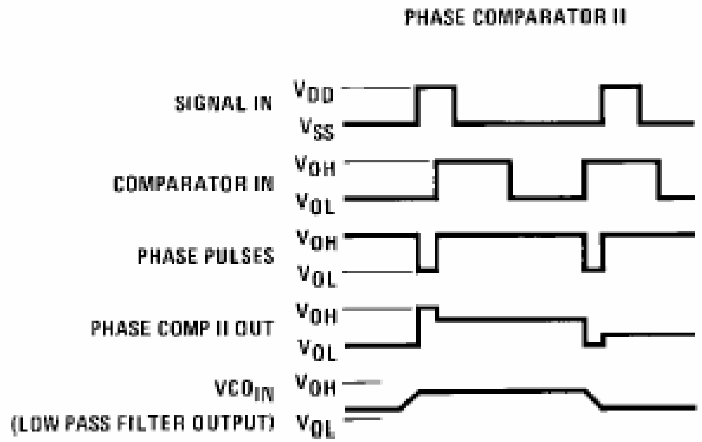


FIGURE 4. Typical Waveform Employing Phase Comparator II in Locked Condition