



# Amplificador Lock-in



Integrantes: Bobadilla, Joel.  
Pujol, Alejandro.

*Laboratorio 5, Facultad de Ciencias Exactas y  
Naturales, UBA.*

*29 de abril de 2014*

# Índice

1. Motivación e introducción.
2. Funcionamiento del PSD.
3. Diagrama en bloques del Lock-in.
4. Aspectos principales de un Lock-in.
5. Aspectos principales de un Lock-in.  
PSD digital versus PSD analógico.
6. Aspectos principales de un Lock-in. Reserva  
dinámica.
7. Conclusiones.

# Motivación e introducción

Definiciones previas:

a) Factor de ruido de un amplificador:

$$[Fr] = V / \sqrt{f}$$

b) Ganancia de un amplificador:

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

# Motivación e introducción

c) Nivel de ruido producido por un amplificador:

$$V_{n,out} = F_r \cdot \sqrt{BW} \cdot G$$

d) Factor de mérito de un filtro:

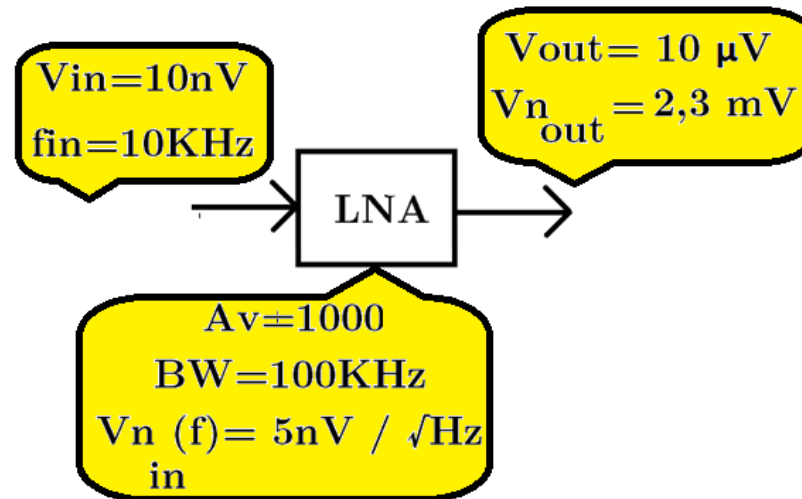
$$Q = \frac{f_c}{BW}$$

$f_c$  es la frecuencia de corte del filtro.

# Motivación e introducción

Supongamos que deseo medir una señal senoidal de  $10\text{nV}$  y  $100\text{KHz}$ .

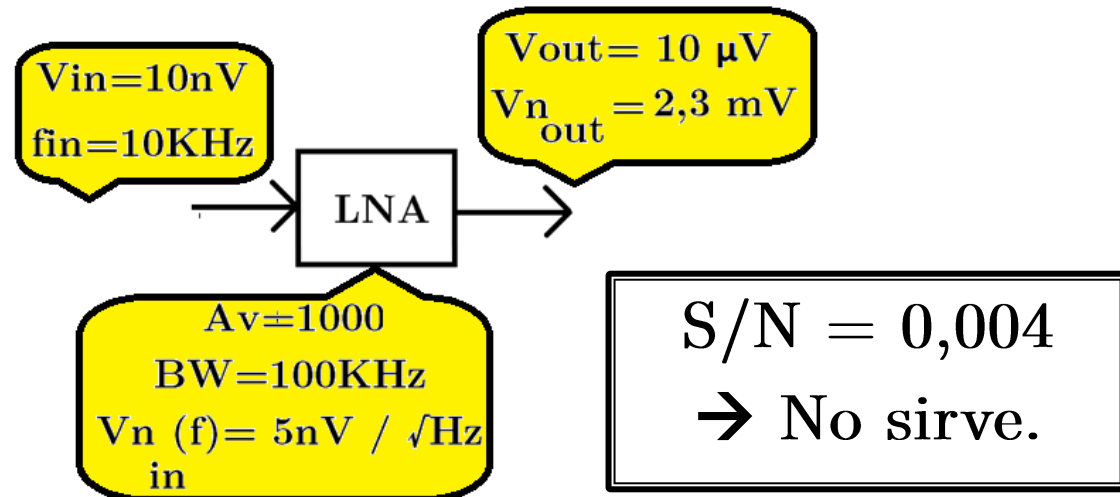
- a. Uso un amplificador con  $A_v=1000$  y  $BW=100\text{KHz}$ .



# Motivación e introducción

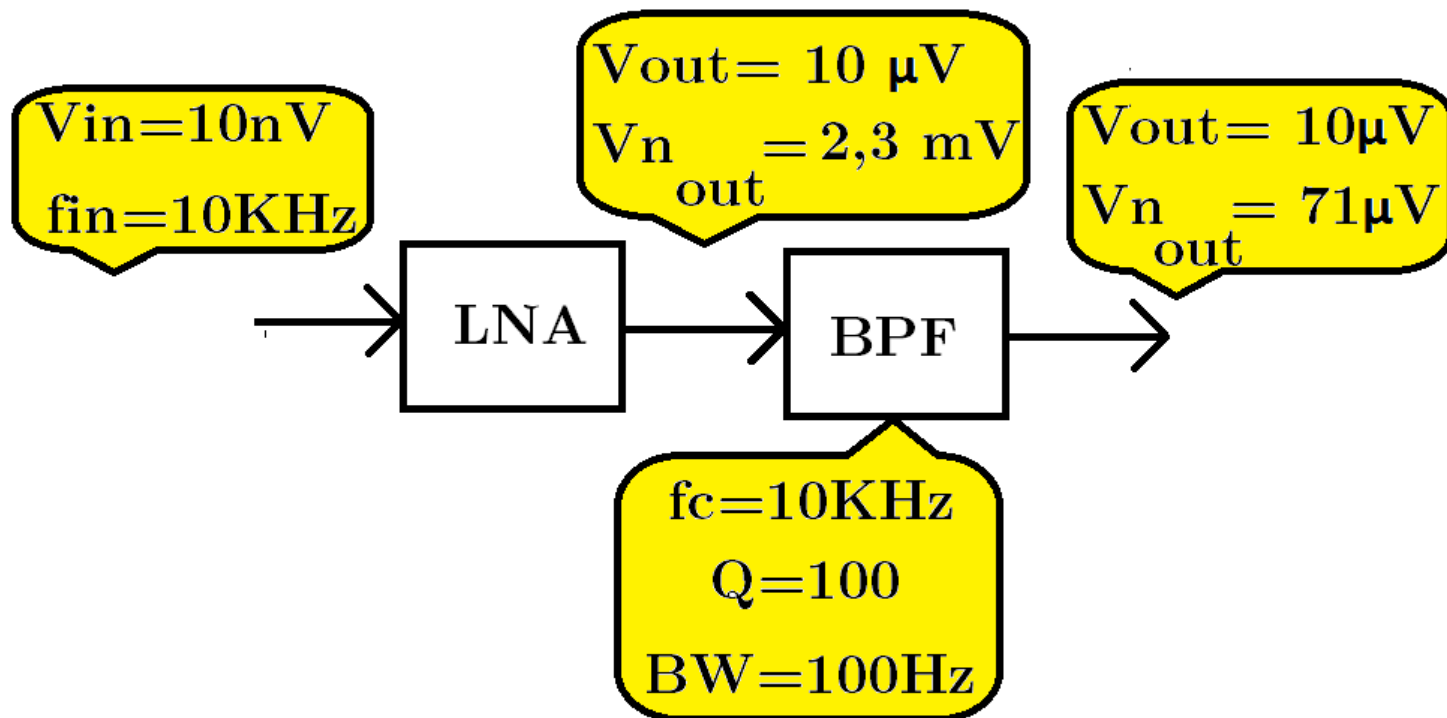
Supongamos que deseo medir una señal senoidal de 10nV y 100KHz.

- a. Uso un amplificador con  $A_v=1000$  y  $BW=100\text{KHz}$ .



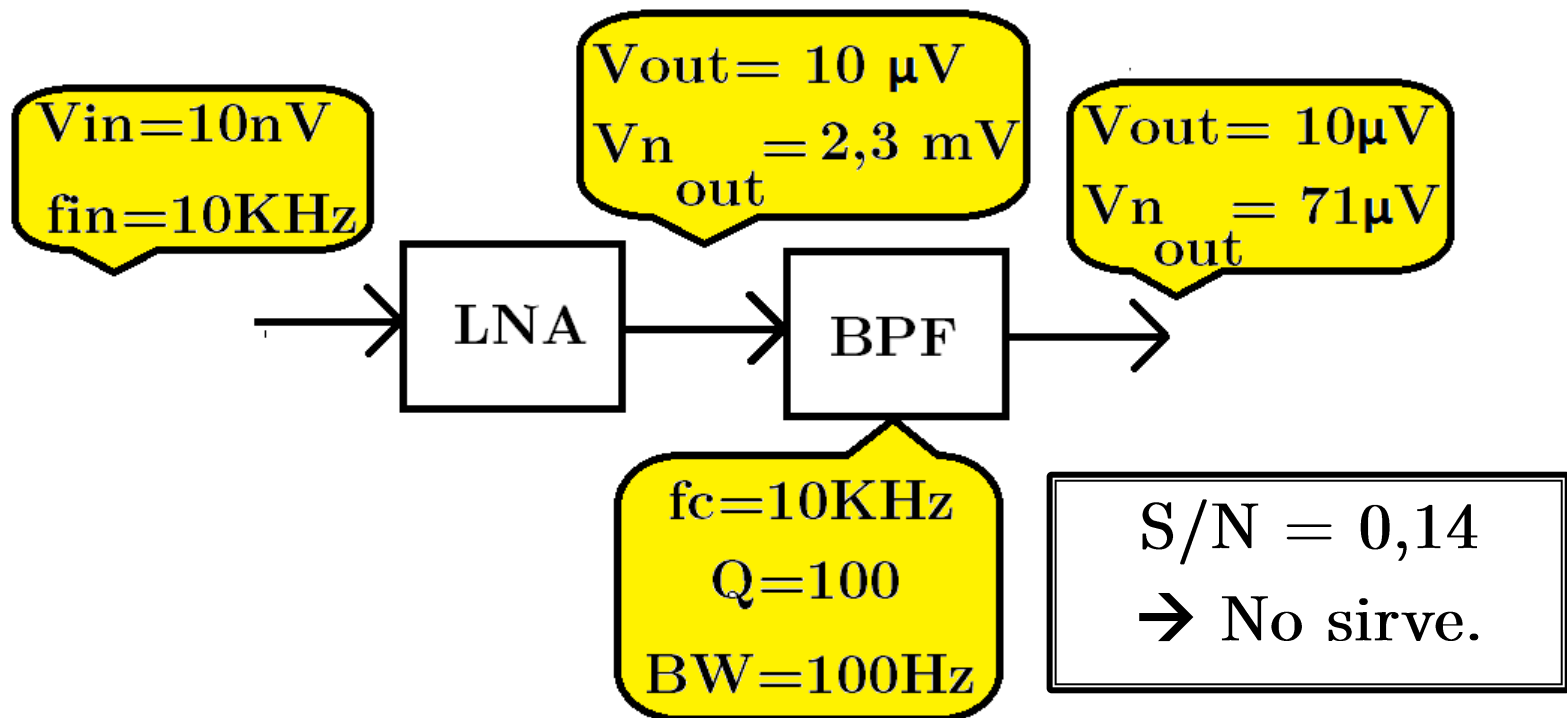
# Motivación e introducción

b. Agrego un filtro a la configuración anterior:  
 $Q=100$ ,  $f_c = 10\text{KHz}$ .



# Motivación e introducción

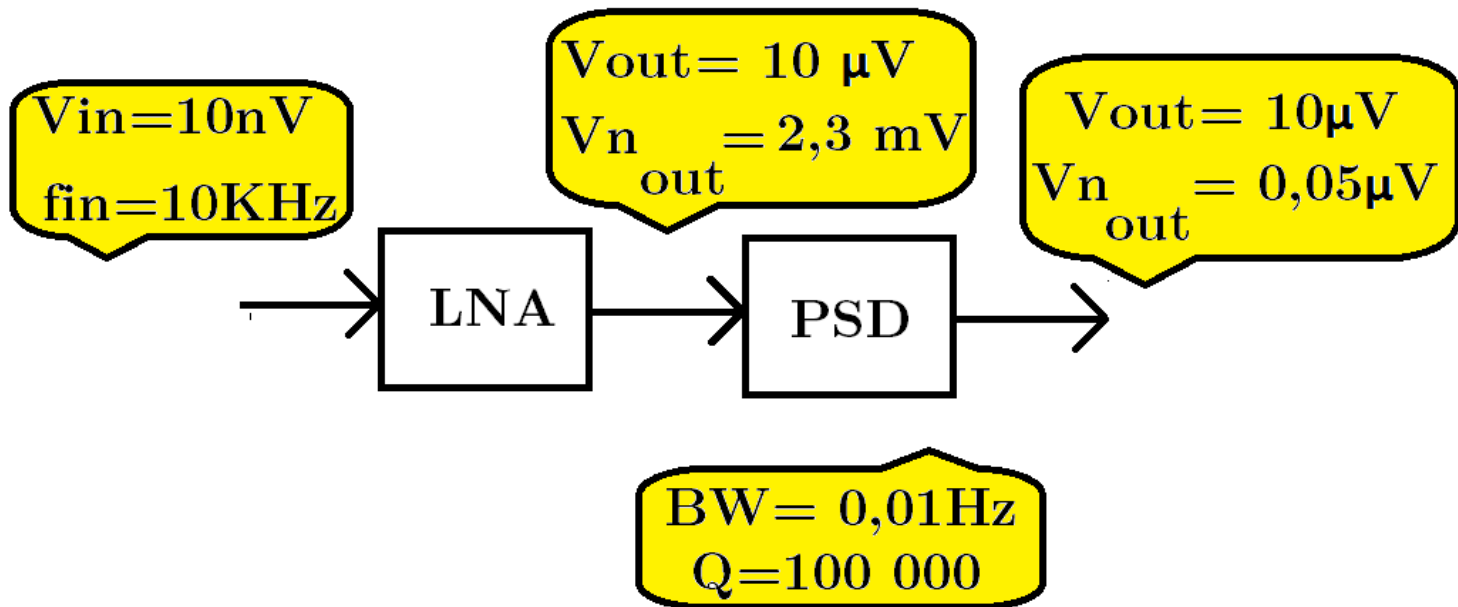
b. Agrego un filtro a la configuración anterior:  
 $Q=100$ ,  $f_c = 10\text{KHz}$ .





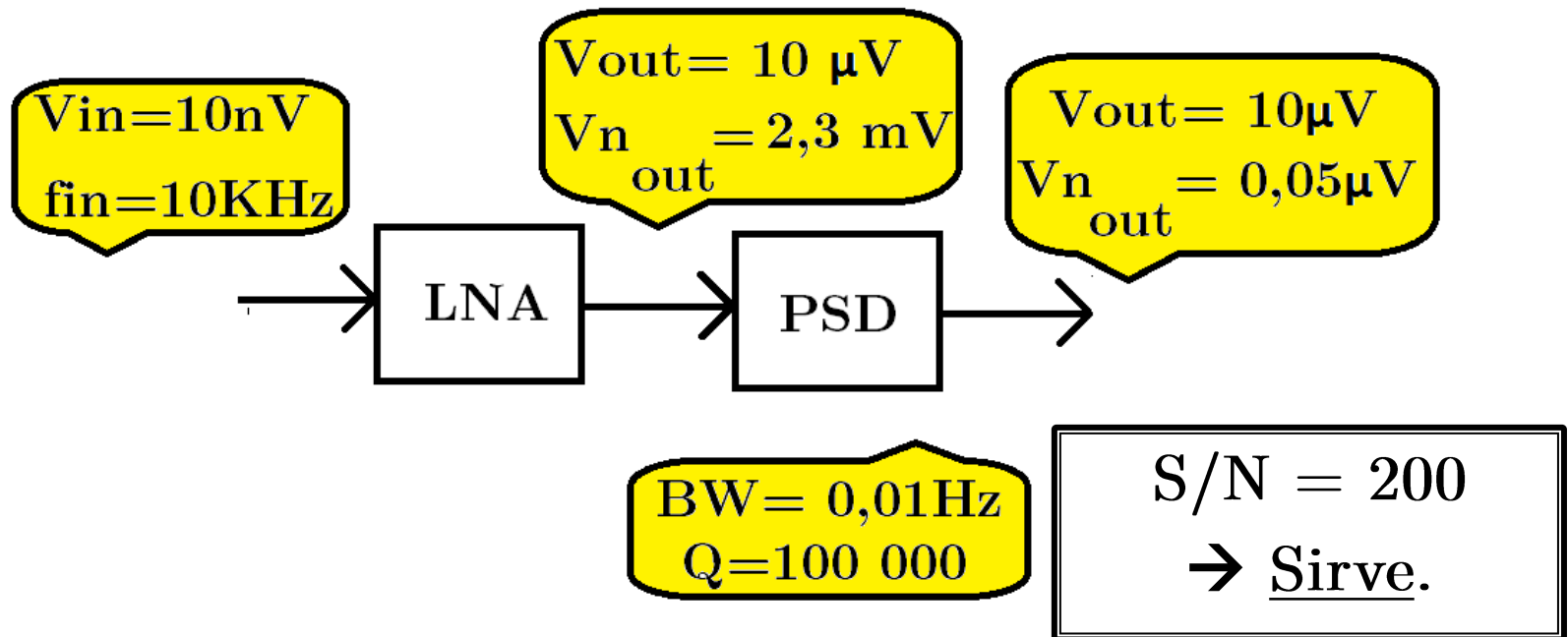
# Motivación e introducción

c. Agrego un filtro de banda angosta, al que llamaremos PSD (detector sensible a la fase), con un ancho de banda  $BW = 0,01 \text{ Hz}$



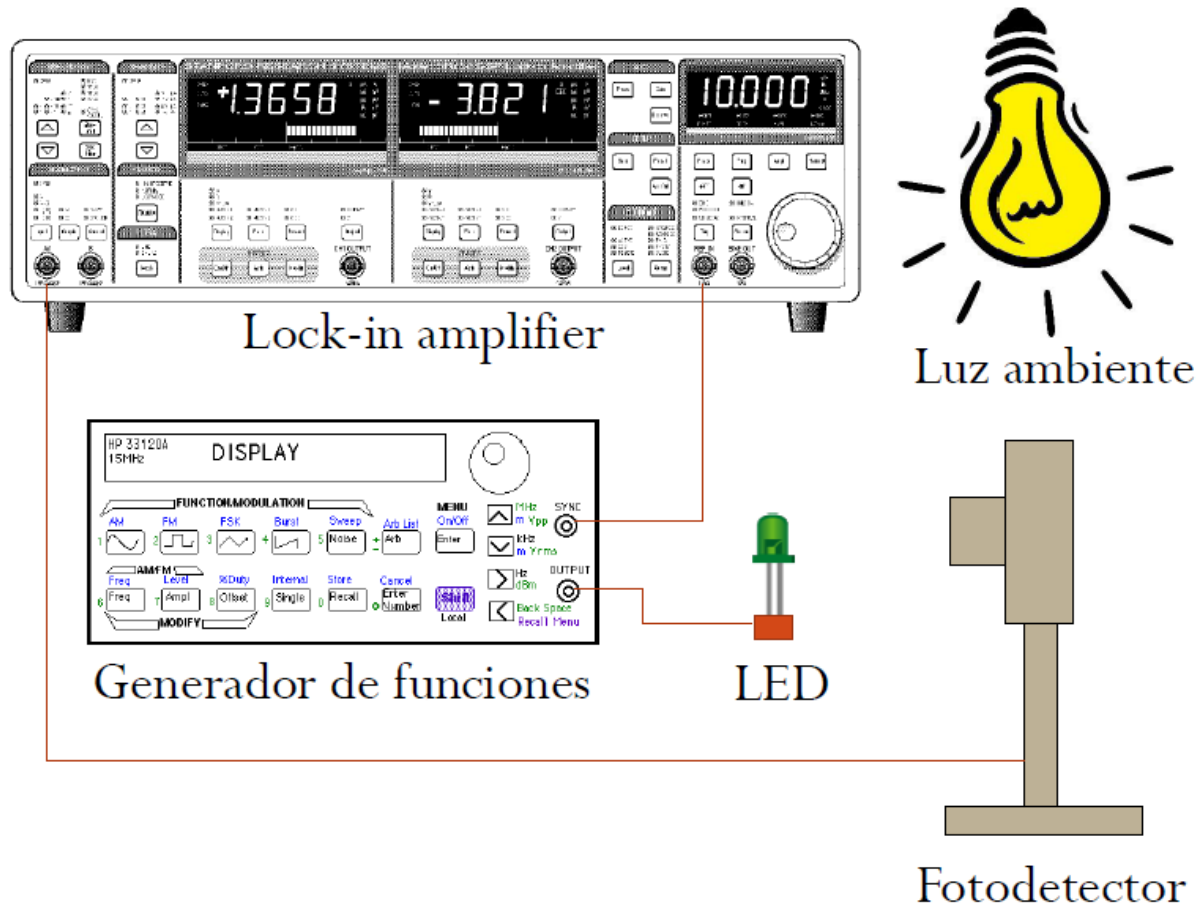
# Motivación e introducción

c. Agrego un filtro de banda angosta, al que llamaremos PSD (detector sensible a la fase), con un ancho de banda  $BW = 0,01 \text{ Hz}$



# Motivación e introducción

- Ejemplo de aplicación:

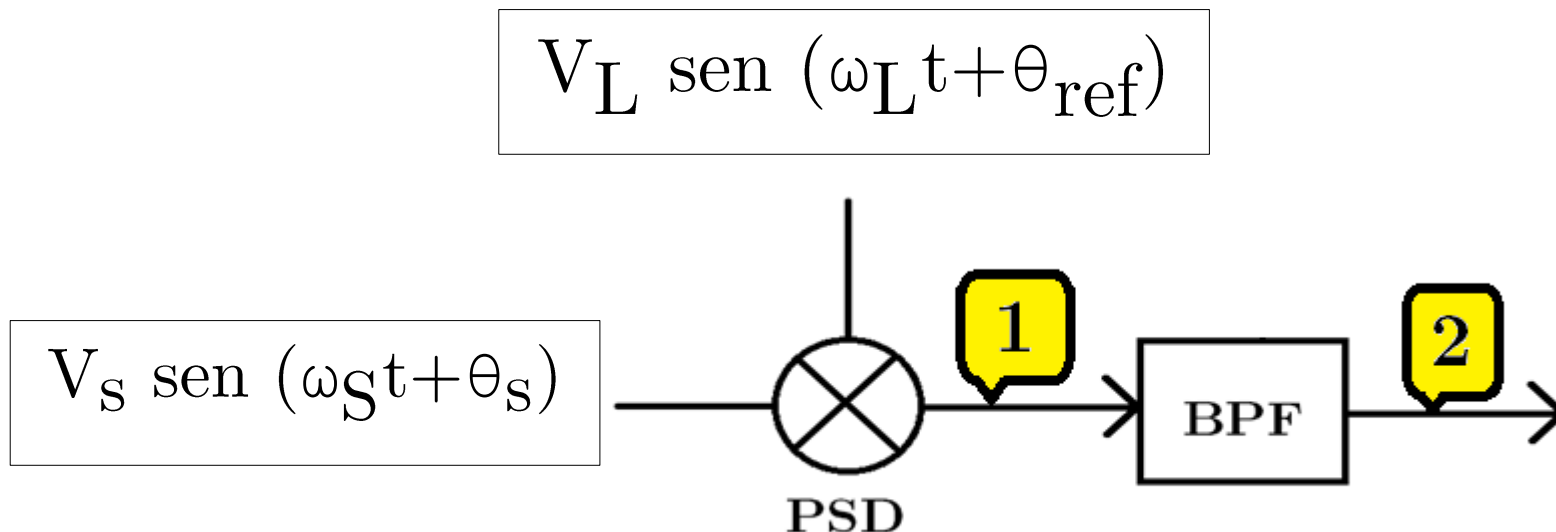


# Funcionamiento del PSD

Multiplica dos señales  $f(t)$  y  $g(t)$  que por él ingresen:

$$V_{\text{psd}} = f(t) \cdot g(t)$$

Veamos como funciona la siguiente configuración:



# Funcionamiento del PSD

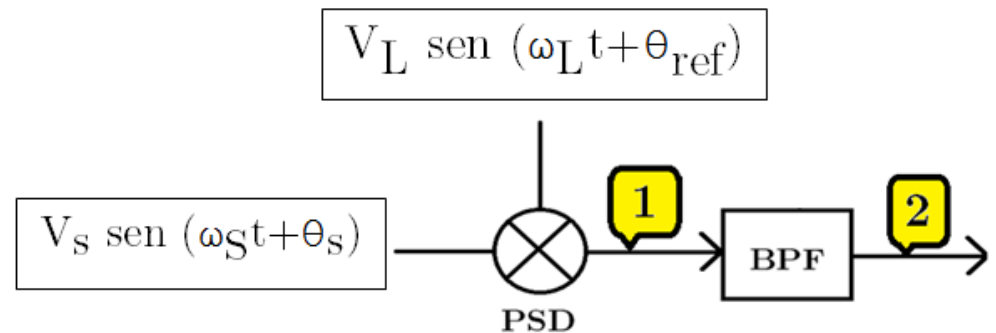
Punto 1:

$$V_{\text{psd}} = V_L \text{ sen } (\omega_L t + \theta_{\text{ref}}) V_S \text{ sen } (\omega_S t + \theta_S)$$

$$V_{\text{psd}} = \frac{1}{2} V_L V_S \{ \cos(\Delta\omega_- t + \Delta\theta_-) + \cos(\Delta\omega_+ t + \Delta\theta_+) \}$$

Con  $\Delta\omega_{\pm} = \omega_S \pm \omega_L$

$\Delta\theta_{\pm} = \theta_S \pm \theta_{\text{ref}}$



# Funcionamiento del PSD

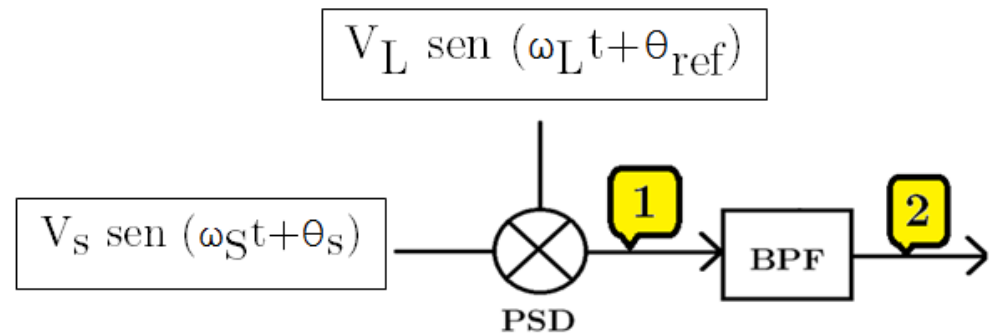
Punto 2:

$$V_{\text{psd}} = \frac{1}{2} V_L V_S \{\cos(\Delta\omega t + \Delta\theta)\}$$

Si  $\omega_S = \omega_L$

$$V_{\text{psd}} = \frac{1}{2} V_L V_S \cos(\Delta\theta)$$

Obtengo una **señal continua** con la información de  $V_s$ .

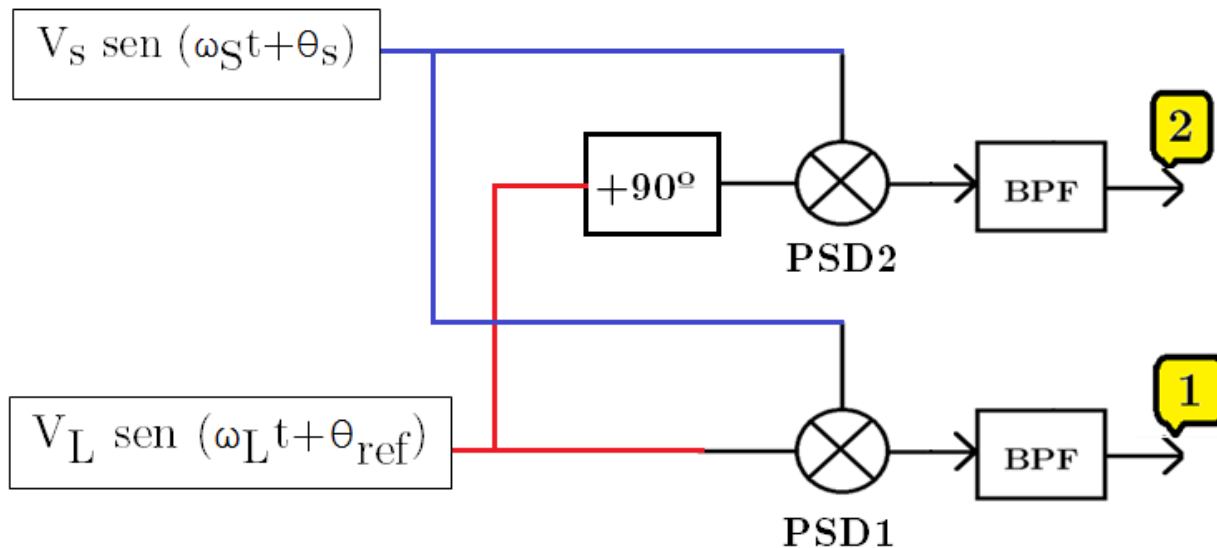


# Funcionamiento del PSD

Buscamos ahora que:

$$V_{\text{psd}} \neq V_{\text{psd}}(\Delta\theta_-)$$

Podemos lograrlo utilizando dos PSD:



# Funcionamiento del PSD

De esta forma tenemos ( $\Delta\theta \equiv \theta$ ):

(punto 1)  $V_{psd1} \propto V_S \cos \theta \equiv X$  (en fase)

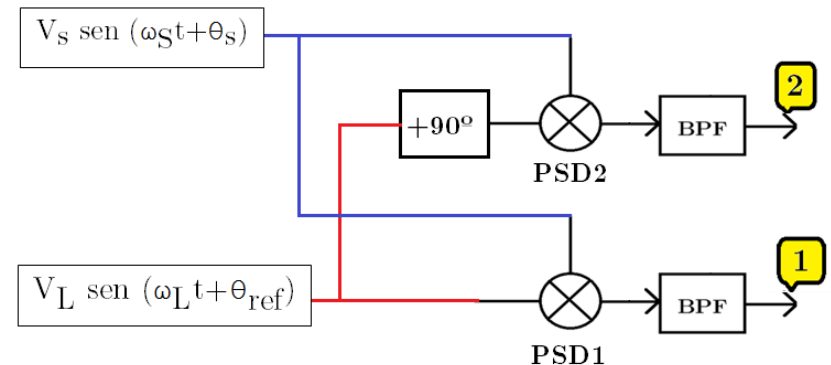
(punto 2)  $V_{psd2} \propto V_S \sin \theta \equiv Y$  (en cuadratura)

Definiendo:  $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$  se obtiene que

$$R = V_S$$

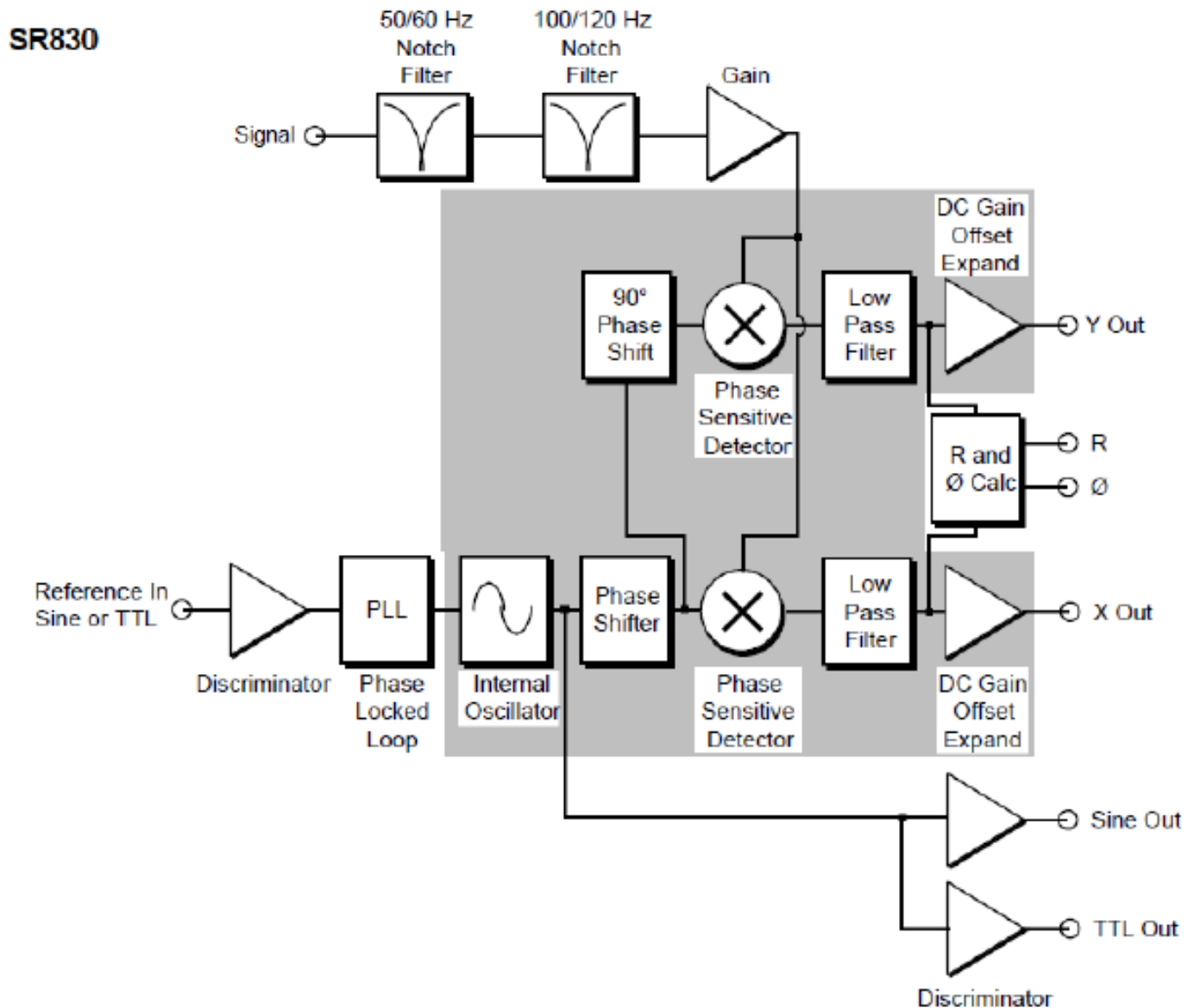
La fase entre la señal de entrada y la de referencia del lock in es:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Y}{X}$$





# Diagrama en bloques del Lock-in



# Aspectos principales de un Lock-in

- ❑ Señal de referencia:
  - A) PLL (interna).
  - B) Externa.
  
- ❑ Existen distintos tipo de PSD: digital y analógico.
  
- ❑ Se define **reserva dinámica** como el cociente respecto del fondo de escala del ruido máximo admitido tal que no exista sobrecarga.

# Aspectos principales de un Lock-in PSD digital versus PSD analógico

*Digitaliza la señal amplificada, y la multiplica numéricamente con la señal senoidal (digitalizada) formada a partir de la referencia*


- El contenido de armónicos en la señal de referencia es muy bajo.
- Debido a que la multiplicación es numérica, esta es perfectamente lineal
- El proceso de multiplicación no introduce error en la medición.
- La reserva dinámica puede llevarse al orden de los 100 db

*La señal amplificada, es multiplicada por multiplicadores analógicos, con una señal analógica senoidal o cuadrada.*

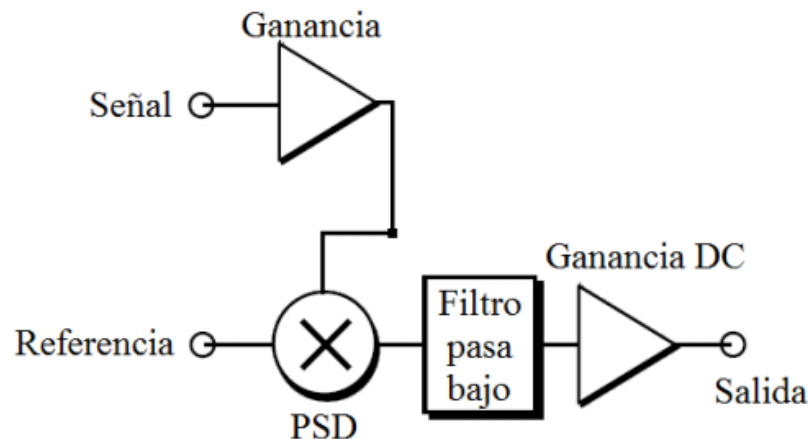
- Un lock –in que multiplica contra una onda cuadrada, contendrá todos los armónicos impares.
- La no linealidad de la multiplicación introduce errores, que se manifiestan como:
  1. *Offsets sobre la señal de salida.*
  2. *Limitaciones sobre la reserva dinámica (<~60db)*
  3. *Error en la ganancia total*

# Aspectos principales de un Lock-in Reserva dinámica

- ❑ Supongamos que nuestra entrada es: una señal a fondo de escala a  $f_{ref}$  + ruido a otras frecuencias
- ❑ La reserva dinámica se define como: el cociente respecto del fondo de escala, del ruido máximo admitido, tal que no ocurra sobrecarga.

Ejemplo: fondo de escala ,  $1 \mu V$ ; reserva dinámica 60 dB  Tolerara 1mv de ruido (sin sobrecarga)

¿Qué ocurre si mi señal de ruido está en el limite de reserva dinámica?



Puedo cambiar (aumentar) la reserva dinámica reajustando la distribución de ganancias.

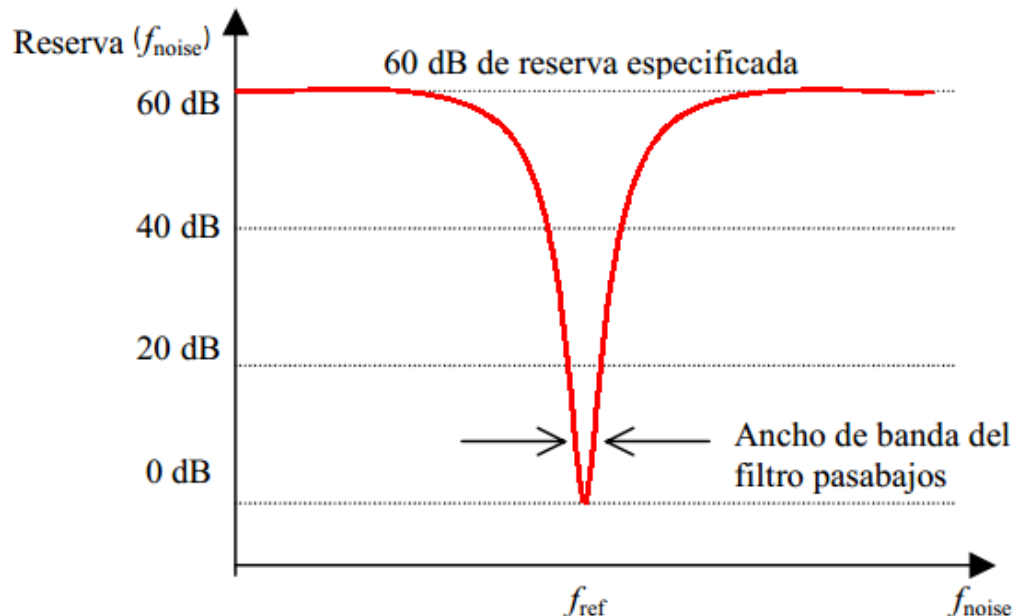
(en general, se disminuye ganancia de entrada y se aumenta la ganancia DC)

# Aspectos principales de un Lock-in

## Reserva dinámica

Aumentar la reserva dinámica puede traer complicaciones:

- El aumento en la ganancia DC.
- *Aparición de offsets o errores de ganancia, en la última etapa de amplificación.*
- Solo se admiten niveles de ruido que no afecten la salida sino en un pequeño porcentaje de la escala de fondo.
- *Los errores que se introducen en el PSD pueden amplificarse de manera indeseada.*



- La reserva dinámica depende de la frecuencia del ruido.
- La reserva aumenta a medida que aumenta el roll off del filtro
- Filtros con mayor roll – off son mejores desde el punto de vista de la reserva dinámica

# Conclusiones

- ❖ El lock-in funciona como un filtro de banda angosta con frecuencia central ajustable.
- ❖ Permite medir señales cuyos valores característicos son inferiores a los del ruido presente.
- ❖ Existen diferencias notables entre un lock-in según utilice tecnologías digitales o analógicas, debiendo señalar que en la mayoría de los casos el PSD digital está en ventaja.
- ❖ Se define reserva dinámica a un parámetro que mide el nivel de ruido tolerable en función del fondo de escala.