

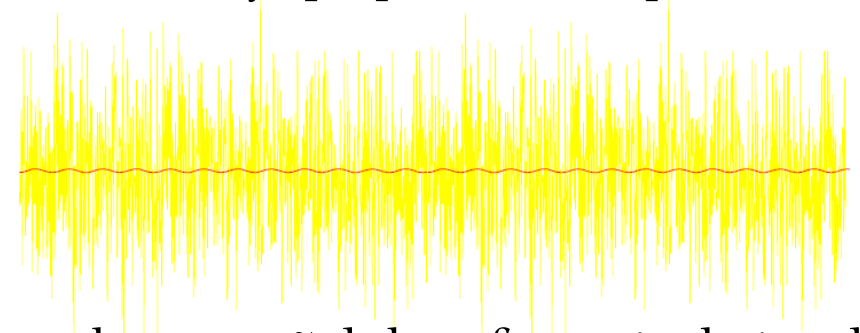
Lock-in amplifier



*Laboratorio V, Depto. de Física
FCEN, UBA, 10 de Septiembre de 2013*

¿Para qué sirve un lock-in amplifier?

- Permite extraer y medir señales alternas muy pequeñas aunque estén completamente tapadas por ruido.

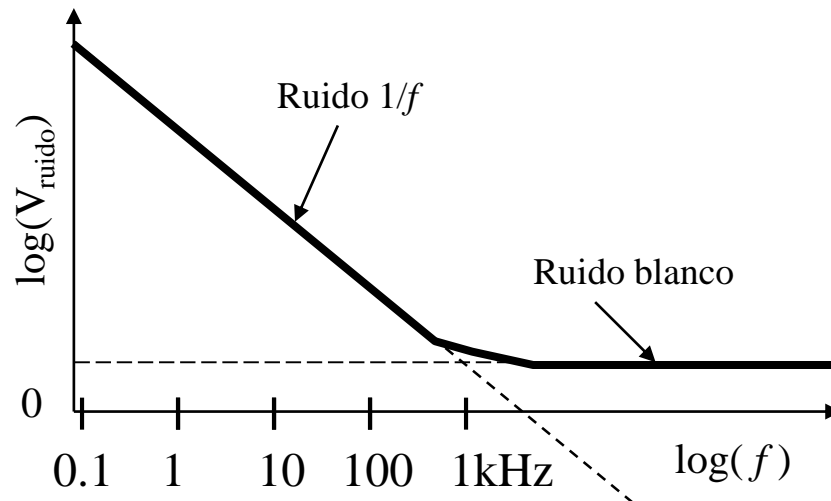


- Solo puede utilizarse si se cuenta con una buena señal de referencia de igual frecuencia que la señal que se quiere detectar y con diferencia de fase fija.
- En la práctica se busca modular la señal pero no el ruido.
 - Modulación óptica (Efecto fotoeléctrico)
 - Modulación de campo magnético (Verdet)

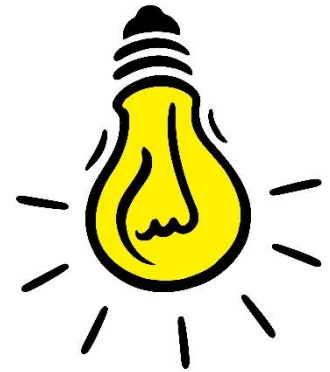
Ruidos intrínsecos

Dependencia del ruido con la frecuencia

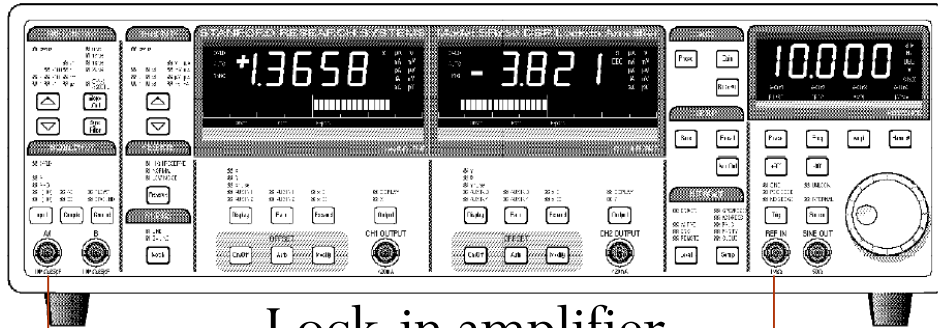
- A baja frecuencia $\sim 1/f$
- A alta frecuencia \sim constante: ruido blanco
 - Ejemplos: ruido shot, ruido Johnson
- Ruido total depende fuertemente de la frecuencia
 - Lo peor: DC – Lo mejor: zona de ruido blanco



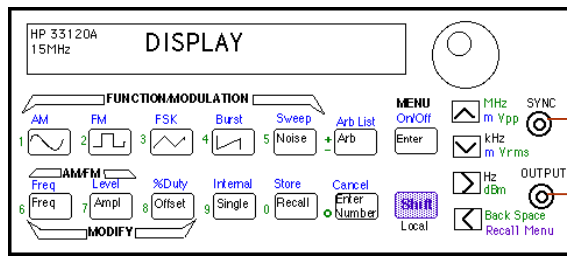
Un ejemplo sencillo



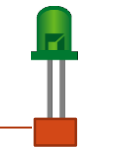
Luz ambiente



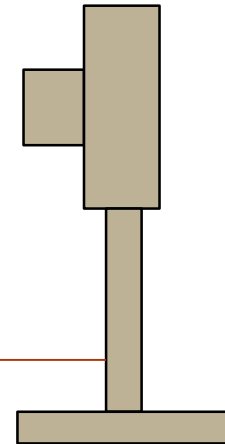
Lock-in amplifier



Generador de funciones



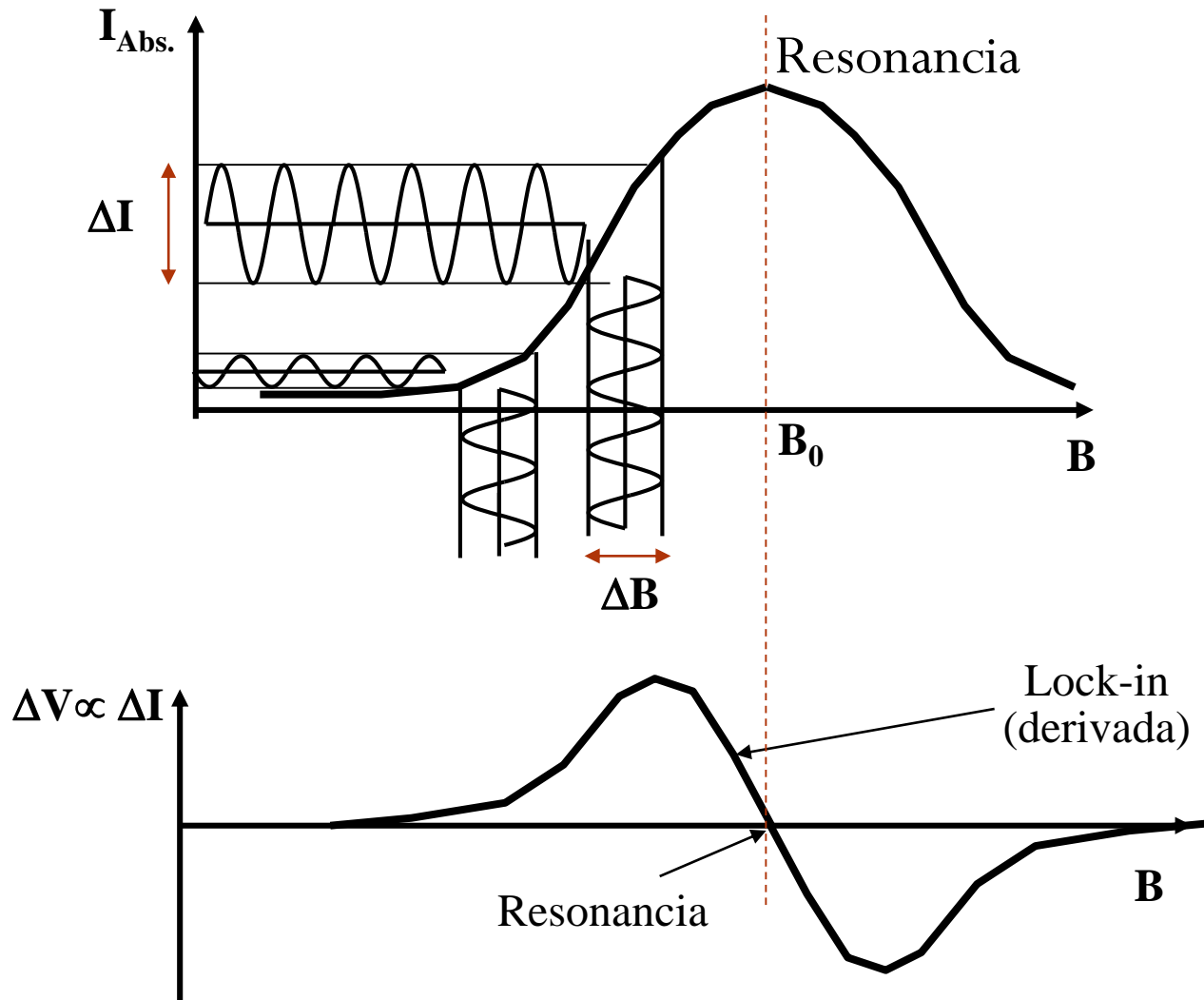
LED



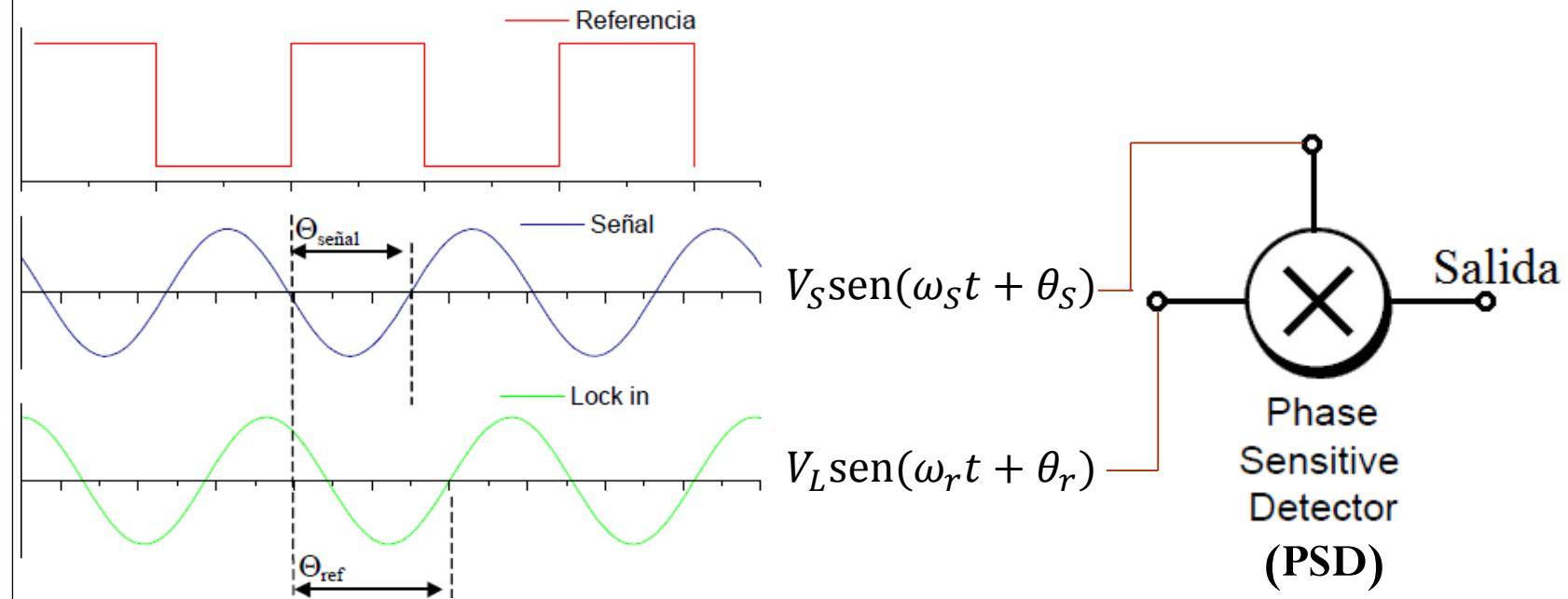
Fotodetector

Otro ejemplo

- Medición de resonancia paramagnética electrónica



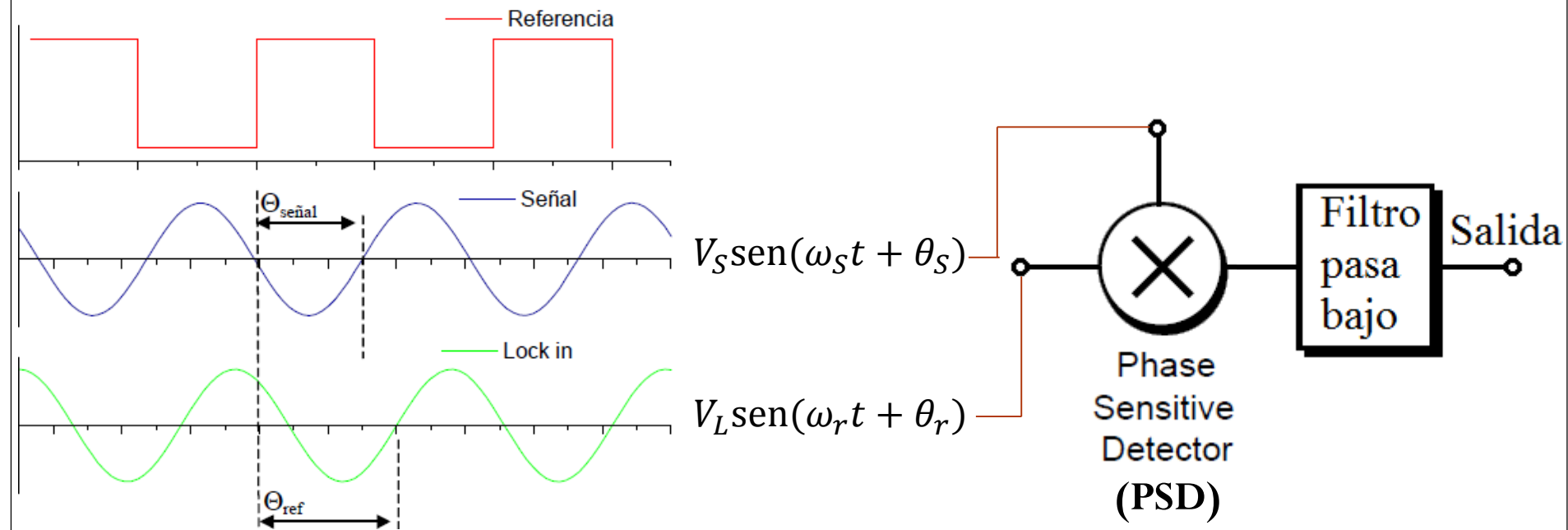
¿Cómo funciona?



$$V_{PSD} = V_S V_L \text{sen}(\omega_S t + \theta_S) \text{sen}(\omega_r t + \theta_r)$$

$$= 1/2 V_S V_L \cos([\omega_S - \omega_r]t + \theta_-) - 1/2 V_S V_L \cos([\omega_S + \omega_r]t + \theta_+)$$

¿Cómo funciona?

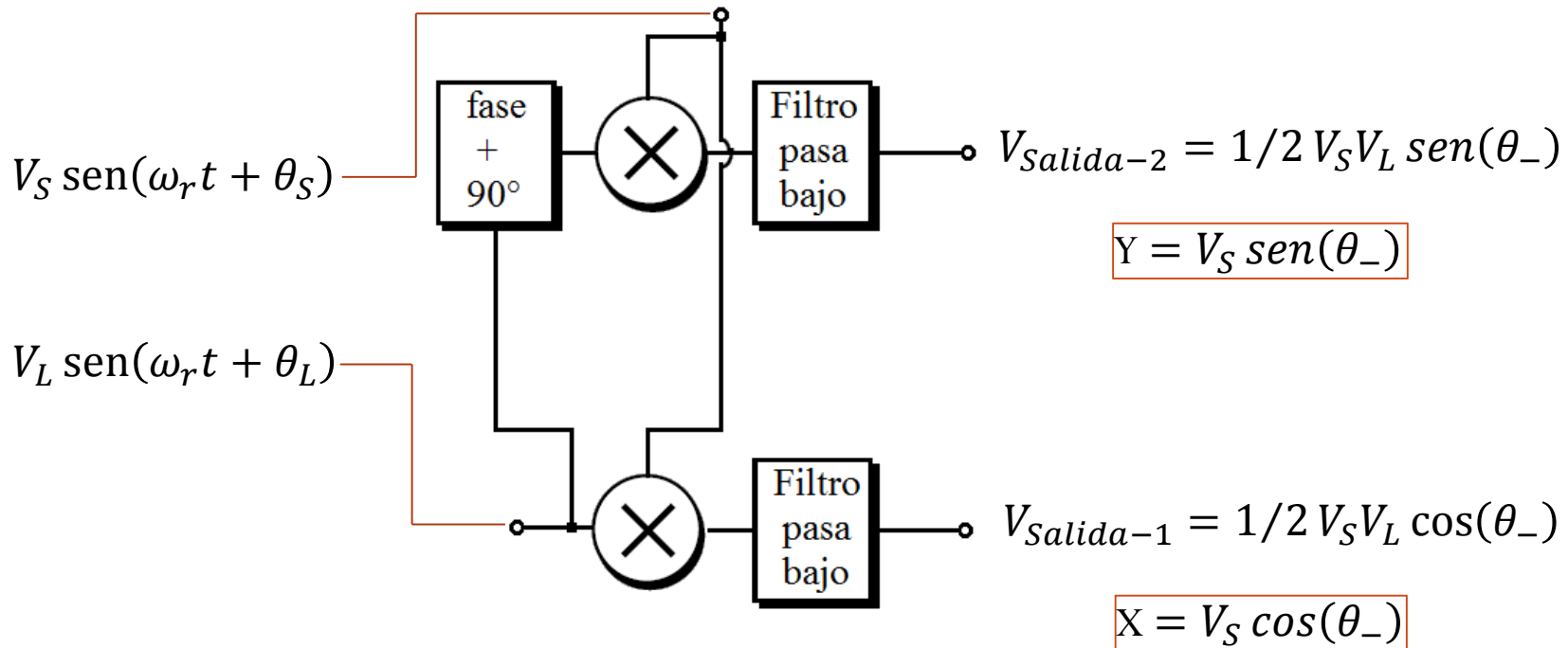


$$V_{PSD} = V_S V_L \text{sen}(\omega_S t + \theta_S) \text{sen}(\omega_r t + \theta_r)$$
$$= 1/2 V_S V_L \cos([\omega_S - \omega_r]t + \theta_-) - 1/2 V_S V_L \cos([\omega_S + \omega_r]t + \theta_+)$$

$$\omega_S = \omega_r \quad \longrightarrow \quad V_{Salida} = 1/2 V_S V_L \cos(\theta_-)$$

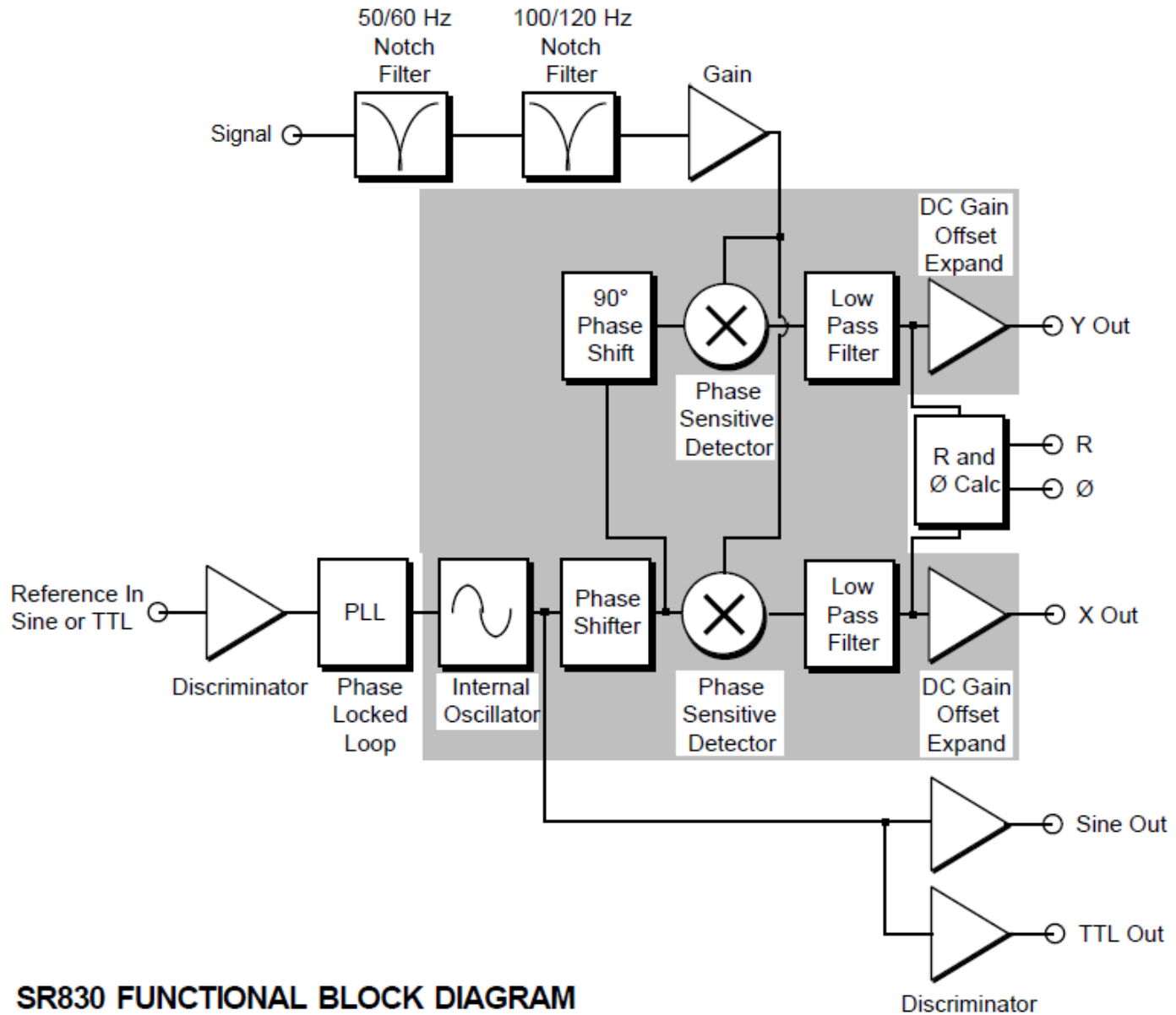
Señal DC
proporcional a V_S !

Lock-in de fase dual



$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} = V_S \quad \theta = \text{atan}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

Diagrama de bloques

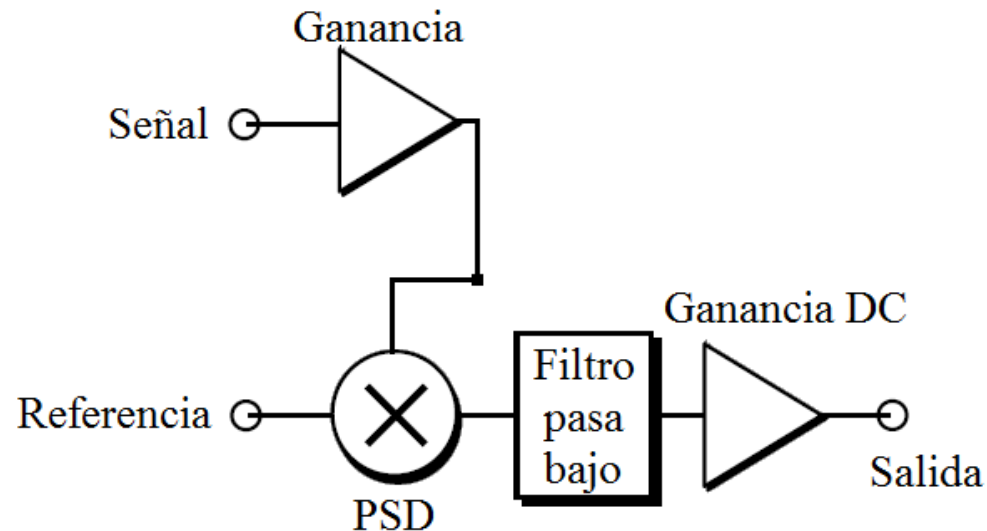


SR830 FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

Reserva dinámica

- Señal de entrada a fondo de escala a la frecuencia de referencia + 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: 60 dB, fondo de escala : 1 μV \longrightarrow Tolera 1 mV de ruido

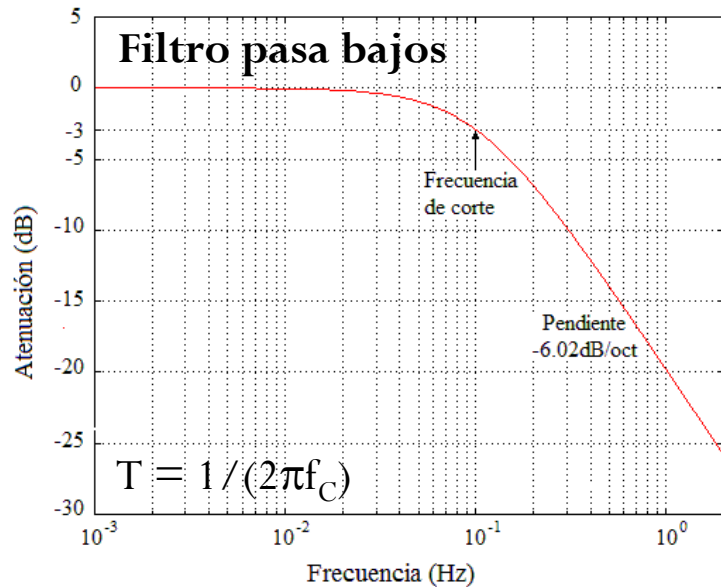


Al cambiar la reserva dinámica cambia la distribución de ganancias

Algunos números

- Quiero medir una señal de 1 μV con precisión del 1% a 10 kHz, pero hay ruido de 10 mV a 9.999 kHz.

$$V_{PSD}^{ruido} = 1/2 V_{ruido} V_L \cos(\underbrace{[\omega_{ruido} - \omega_r]t + \theta_-}_{1 \text{ Hz}}) - 1/2 V_{ruido} V_L \cos(\underbrace{[\omega_{ruido} + \omega_r]t + \theta_+}_{19.999 \text{ kHz}})$$



filtrado
x
4

→ $f_C = 0.05 \text{ Hz}$ → $T = 1/(2\pi f_C) = 3 \text{ s}$

Filtro pasabanda con $Q = 10000!$

Lock-in digital vs. analógico

Lock-in digital

- Luego de digitalizada la señal de entrada, no hay errores en el procesamiento de la misma (el procesamiento es numérico).
- Permite reserva dinámica > 100 dB
- Hasta 4 etapas de filtrado
- Constante de tiempo hasta 30000 s
- Mide armónicos superiores

Lock-in analógico

- PSD es analógico, susceptible a no linealidades. Onda de referencia generada susceptible a derivas en la amplitud.
- Reserva dinámica hasta 60 dB
- Hasta 2 etapas de filtrado
- Constante de tiempo hasta 100 s
- Mide f y $2f$