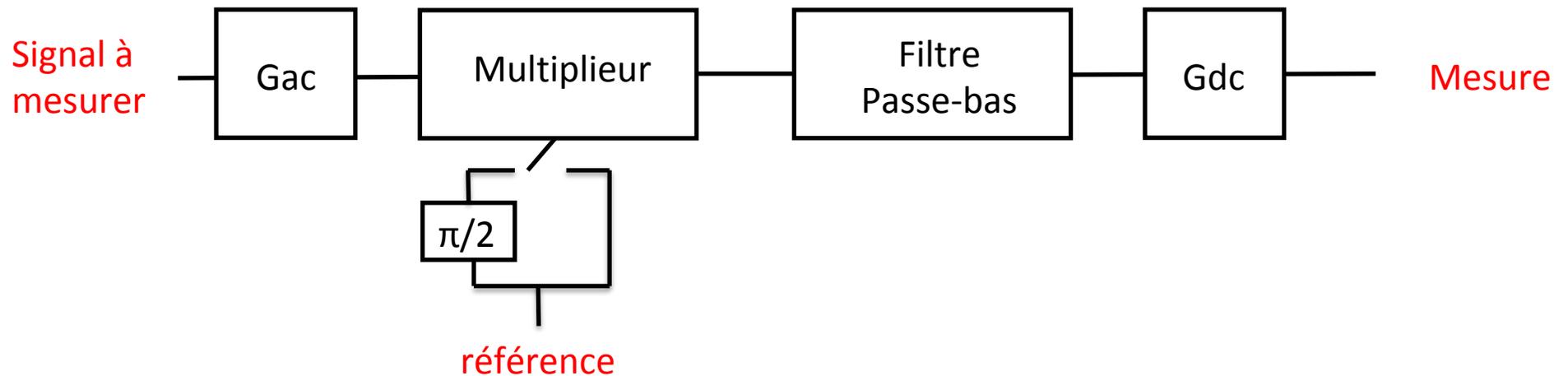


# Détection synchrone

principe, applications,...

- Structure
- Principe de fonctionnement
- Applications :
  - Mesure d'impédance
  - Mesure de fonction de transfert
  - Démodulation
- Détection synchrone et bruit

# Structure d'une détection synchrone



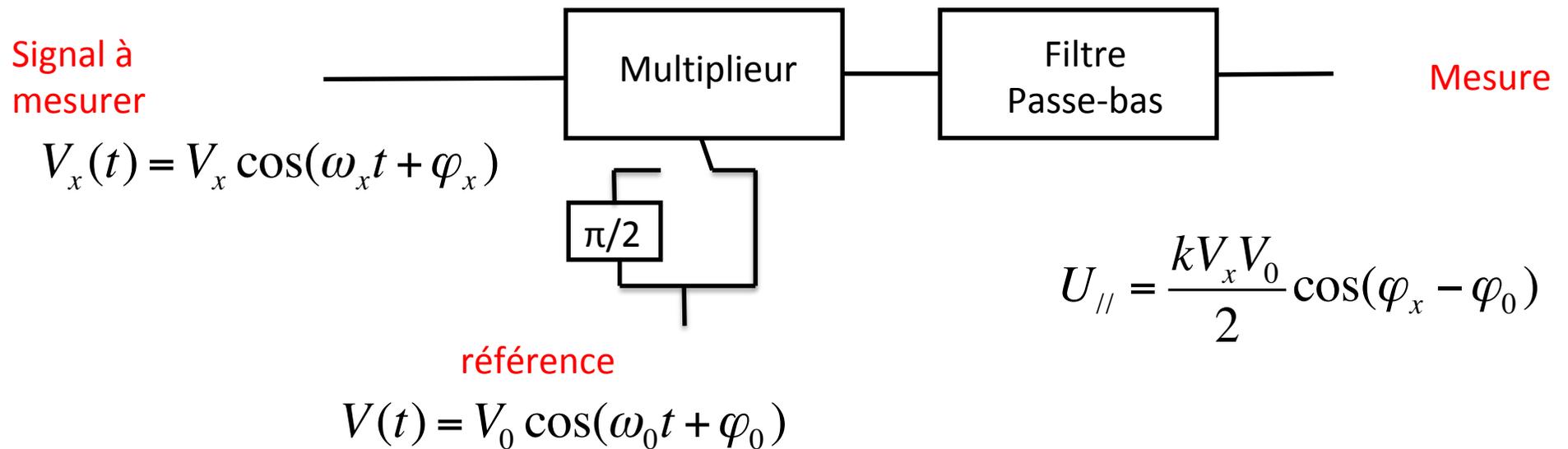
Une détection synchrone requiert 2 éléments :

- Un multiplieur
- Un filtre passe bas

En général il y a deux amplis supplémentaires

# Principe de fonctionnement

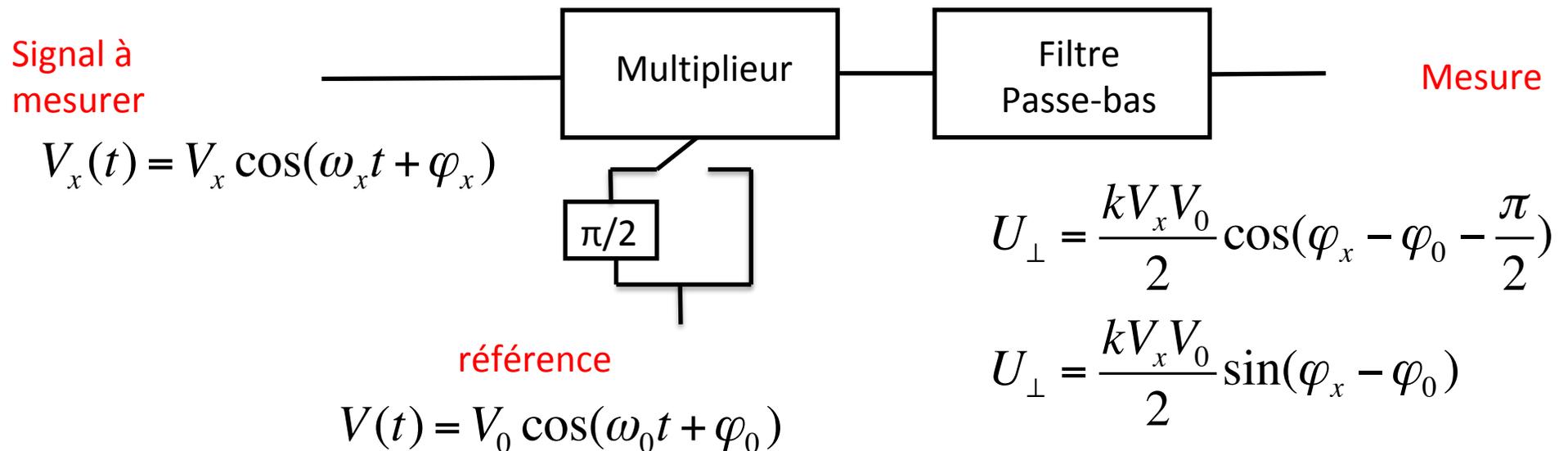
Une détection synchrone permet de mesurer le module et la phase d'un signal



Mesure sans déphaseur :

# Principe de fonctionnement

Une détection synchrone permet de mesurer le module et la phase d'un signal



Mesure avec déphaseur de  $\pi/2$  :

# Principe de fonctionnement

Une détection synchrone permet de mesurer le module et la phase d'un signal

$$U_{//} = \frac{kV_x V_0}{2} \cos(\varphi_x - \varphi_0)$$

$$U_{\perp} = \frac{kV_x V_0}{2} \sin(\varphi_x - \varphi_0)$$

On peut déduire de la mesure de ces deux tensions continues la valeur de la partie réelle et de la partie imaginaire de  $V_x$ , ainsi que son module et sa phase par rapport à la référence :  $V_x$  et  $\varphi_x - \varphi_0$

$$V_x \cos(\varphi_x - \varphi_0) = \frac{2 * U_{//}}{kV_0}$$

$$V_x \sin(\varphi_x - \varphi_0) = \frac{2 * U_{\perp}}{kV_0}$$

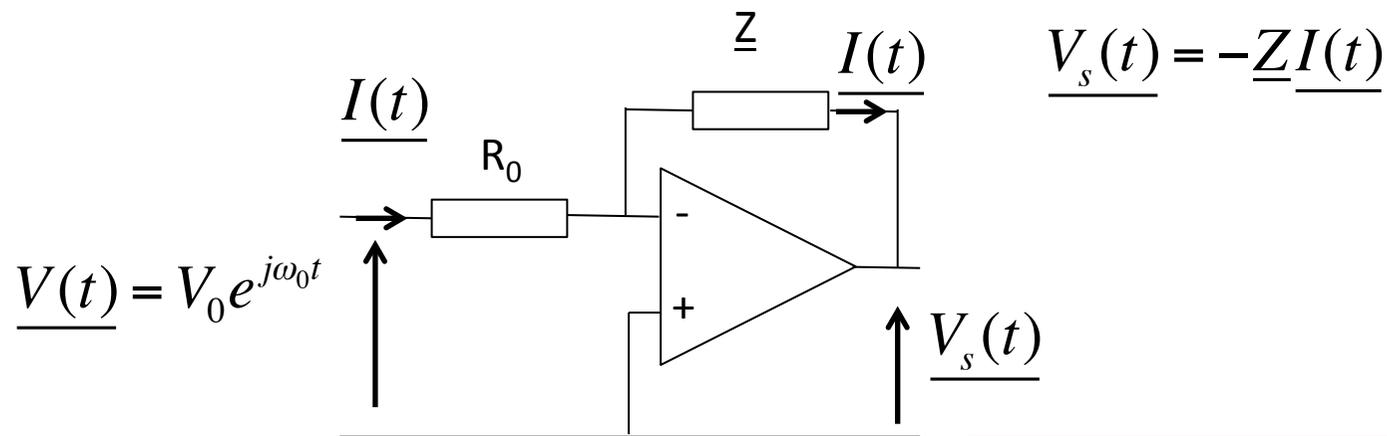
$$V_x = \frac{2 * \sqrt{U_{//}^2 + U_{\perp}^2}}{kV_0}$$

$$(\varphi_x - \varphi_0) = \arctan\left(\frac{U_{\perp}}{U_{//}}\right)$$

# Applications

- 1) Mesure d'impédance
- 2) Mesure d'une fonction de transfert
- 3) Démodulation d'amplitude

# Mesure d'une impédance

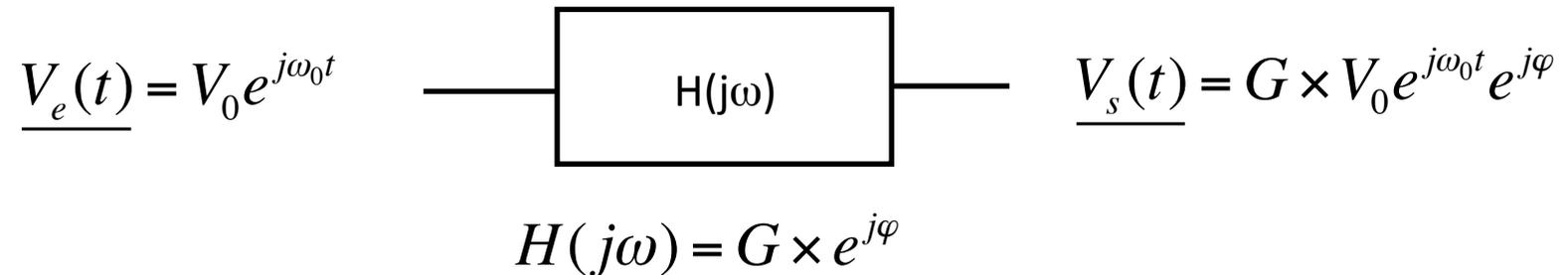


$$\underline{I(t)} = \frac{V_0}{R_0} e^{j\omega_0 t}$$

$$|V_s(t)| = |Z I(t)| = |Z| \times \frac{V_0}{R}$$
$$\varphi(V_s) = \varphi(Z) + \pi$$

En appliquant  $V(t)$  comme tension de référence et  $V_s(t)$  à l'entrée signal, la détection synchrone permettra de mesurer le module et la phase de l'impédance (ou sa partie réelle et sa partie imaginaire).

# Mesure d'une fonction de transfert



En appliquant  $V_e(t)$  comme tension de référence et  $V_s(t)$  à l'entrée signal, la détection synchrone permettra de mesurer le module et la phase de l'impédance (ou sa partie réelle et sa partie imaginaire).

# Démodulation d'amplitude

$$V(t) = V_0(1 + m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_x)$$



$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Porteuse générée localement  
à partir du signal modulé

$$U_{//} = \frac{kV_0^2}{2} (1 + m \cos(\Omega t)) \times \cos(\varphi_x - \varphi_0)$$

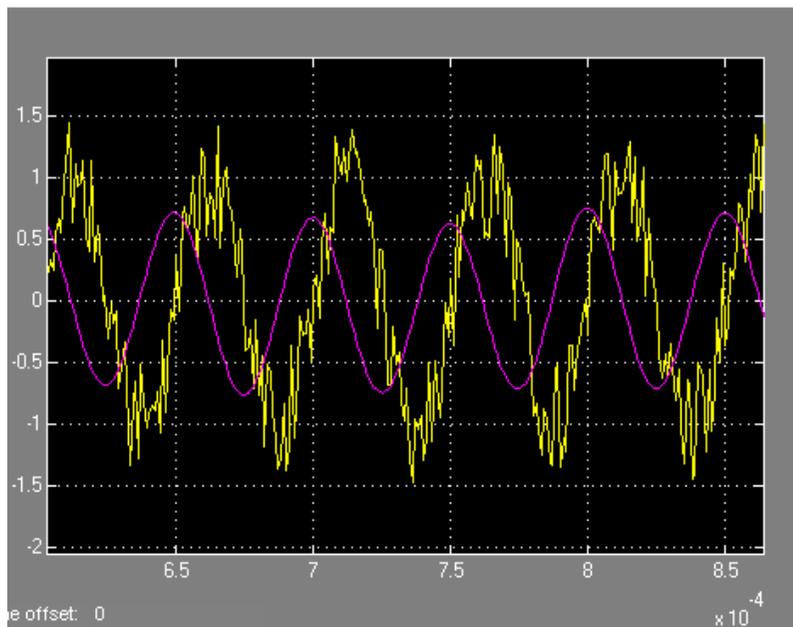
En appliquant la porteuse comme tension de référence et le signal modulé à l'entrée signal, la détection synchrone permettra de mesurer le module de la porteuse donc le signal modulant, à la condition que la fréquence de coupure du filtre soit supérieure à la fréquence maximale du signal modulant.

Il faut également que la tension de sortie ne soit pas nulle ... ( $\varphi_x - \varphi_0 \neq \pi/2$ )

# Détection synchrone et bruit

Le vrai « plus » de la détection synchrone c'est sa capacité à mesurer des signaux bruités.

En absence de bruit il est facile d'utiliser un oscilloscope pour mesurer le rapport entre l'amplitude de deux tensions ou bien leur déphasage.

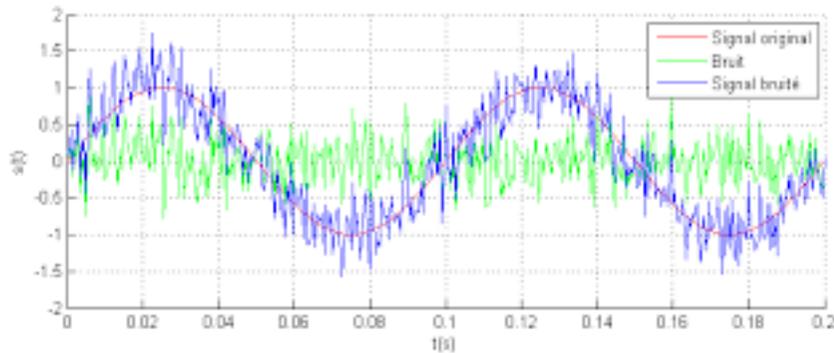


Dans l'exemple ici, c'est beaucoup plus difficile.

# Détection synchrone et bruit

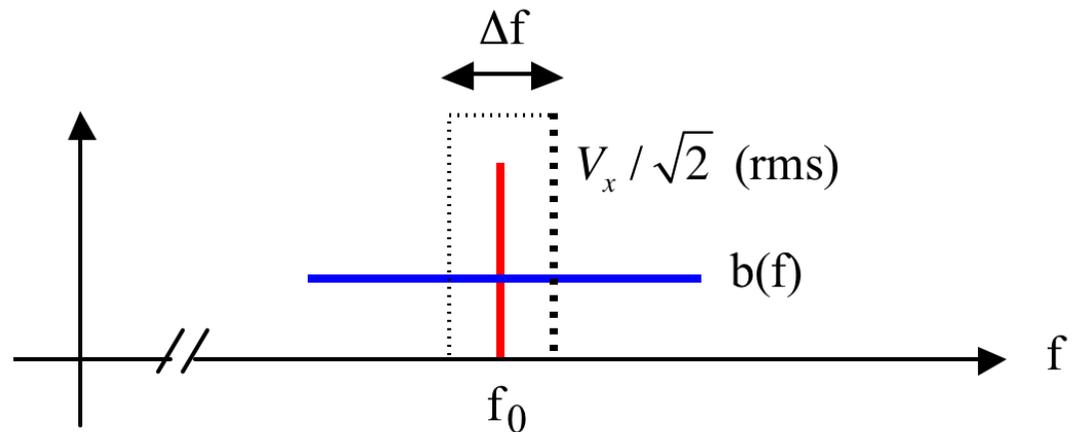
Pour résoudre ce problème une première idée est d'utiliser un filtre passe-bande autour de la fréquence d'intérêt ( $f_0$ )

$$V_x(t) = V_x \cos(\omega_x t + \varphi_x) + b(t)$$



Dans le temps...

En fréquence...



# Détection synchrone et bruit

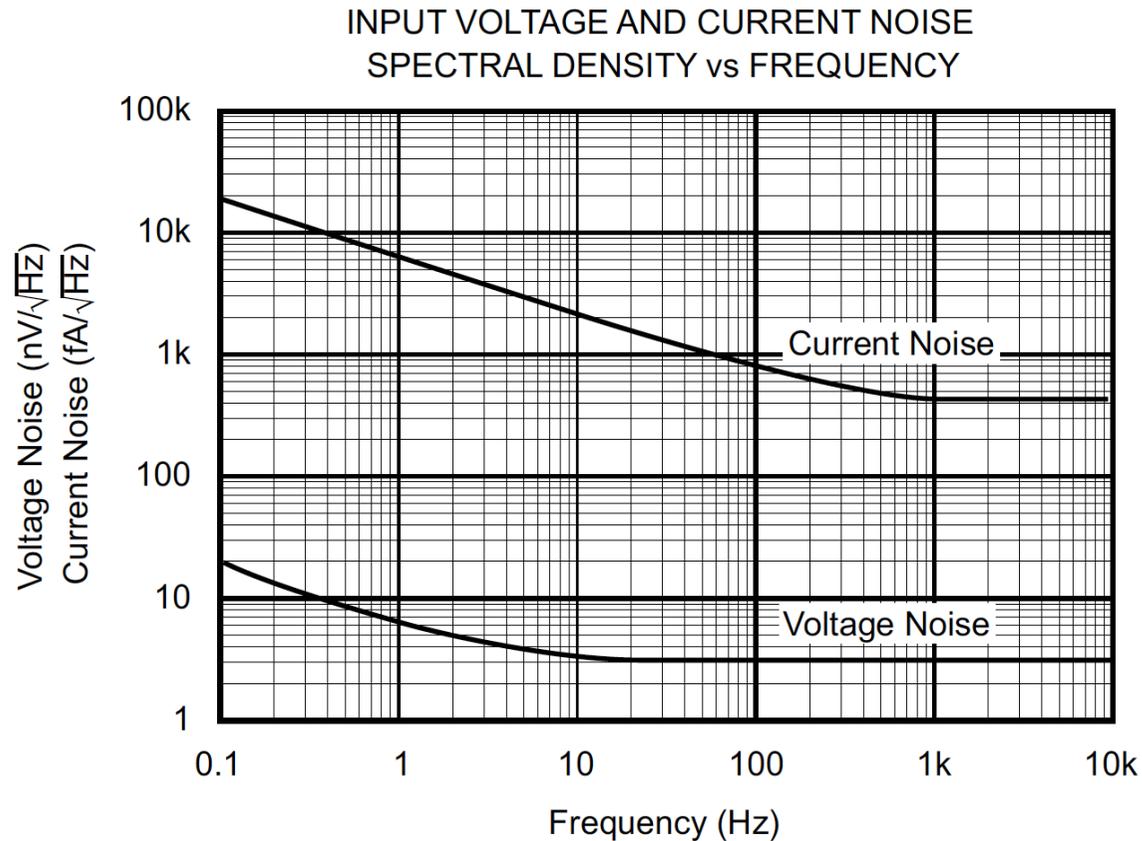
Dans le domaine fréquentiel le bruit est caractérisé par sa densité spectrale :  $b(f)$  elle s'exprime en  $V^2/Hz$ .

Dans les notices des composants vous pouvez trouver  $b(f)$  ou  $\sqrt{b(f)}$

La valeur efficace générée par du bruit dans une bande de fréquence  $\Delta f$  est donnée par la formule suivante :

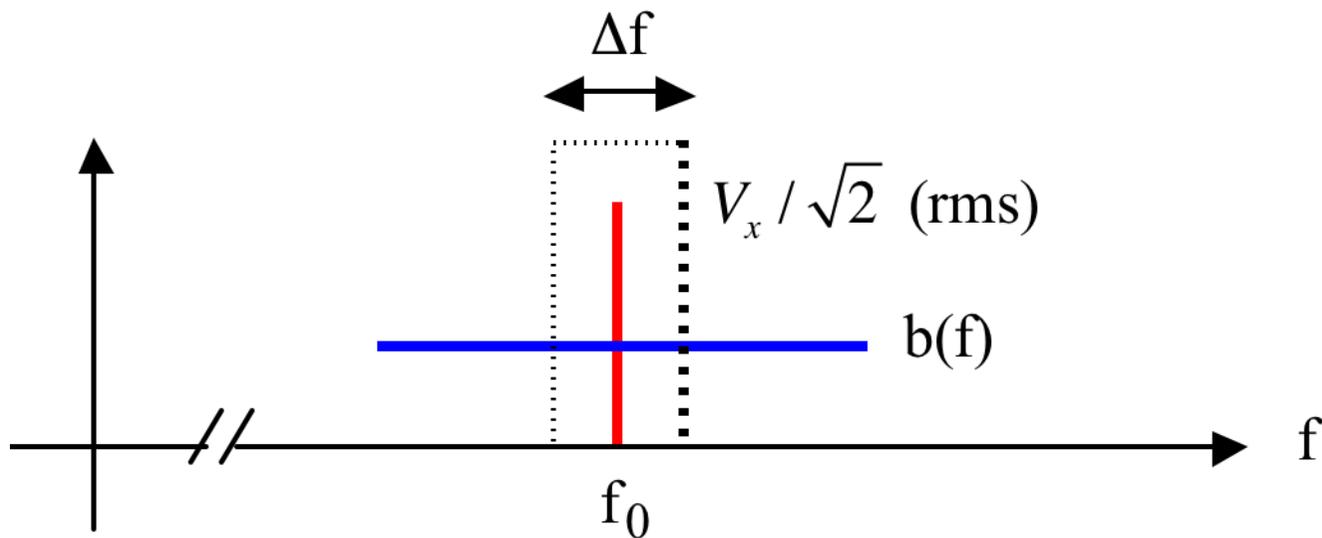
$$N_{eff} = \sqrt{b(f) \times \Delta f}$$

# Densité spectrales de bruit pour un ampli d'instrumentation



**Figure 4. Input Voltage and Current Noise Spectral Density vs Frequency**

# Calcul du rapport signal/bruit



$$20 \log_{10} \frac{V_x / \sqrt{2}}{\sqrt{b(f) \Delta f}}$$

# Mesure avec la détection synchrone

$$V(t) = V_x \cos(\omega_0 t + \varphi_x) + b(t)$$

Signal bruité

Multiplieur

Filtre  
Passe-bas

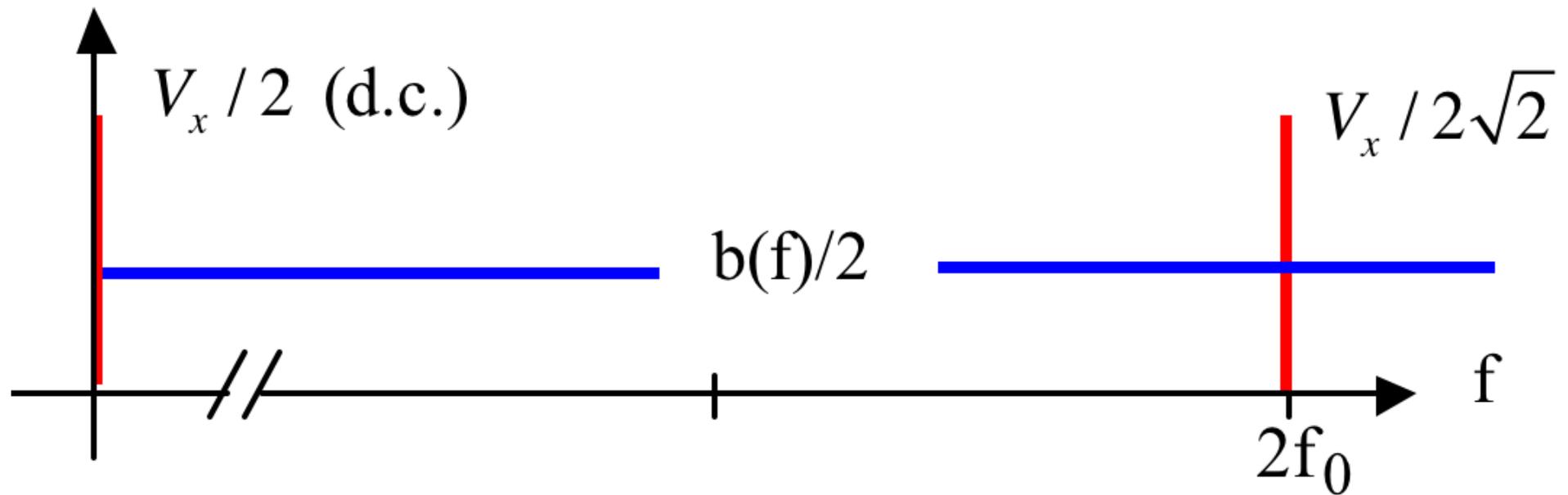
$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t)$$

$$U_{//} = \frac{kV_0 V_x}{2} \times \cos(\varphi_x) + b'(t)$$

Comme on ne connaît pas  $b(t)$  il est impossible de trouver  $b'(t)$ , il vaut mieux raisonner dans le domaine des fréquences

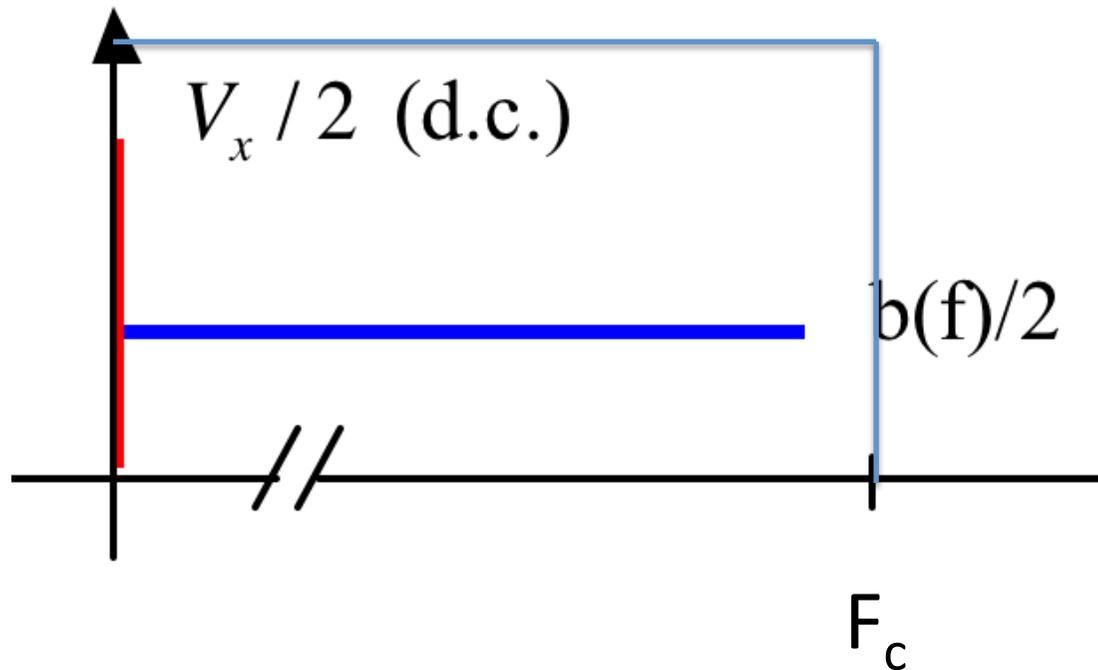
# Mesure avec la détection synchrone

A la sortie du multiplieur on observe le spectre suivant :



# Calcul du rapport signal/bruit

Après le filtre passe bas :



$$20 \log_{10} \frac{V_x / \sqrt{2}}{\sqrt{b(f) F_c}}$$

# Comparaison avec le filtre passe bande

$$20 \log_{10} \frac{V_x / \sqrt{2}}{\sqrt{b(f)F_c}}$$

$$20 \log_{10} \frac{V_x / \sqrt{2}}{\sqrt{b(f)\Delta f}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{d\u00e9tection}} - \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{Filtre}} = 20 \log_{10} \sqrt{\frac{\Delta f}{F_c}}$$

Comme on peut choisir  $F_c$  aussi basse que l'on souhaite, le gain est \u00e9videmment tr\u00e8s important

# Conclusion

- La détection synchrone est un dispositif permettant de mesurer le module et la phase d'une tension
- Au lieu de réaliser la mesure à la fréquence du signal elle consiste à déplacer cette information autour de  $f = 0$ , soit en continu
- Elle réalise ainsi un filtrage passe bande extrêmement efficace ce qui permet de réaliser des mesures y compris en présence d'un bruit important

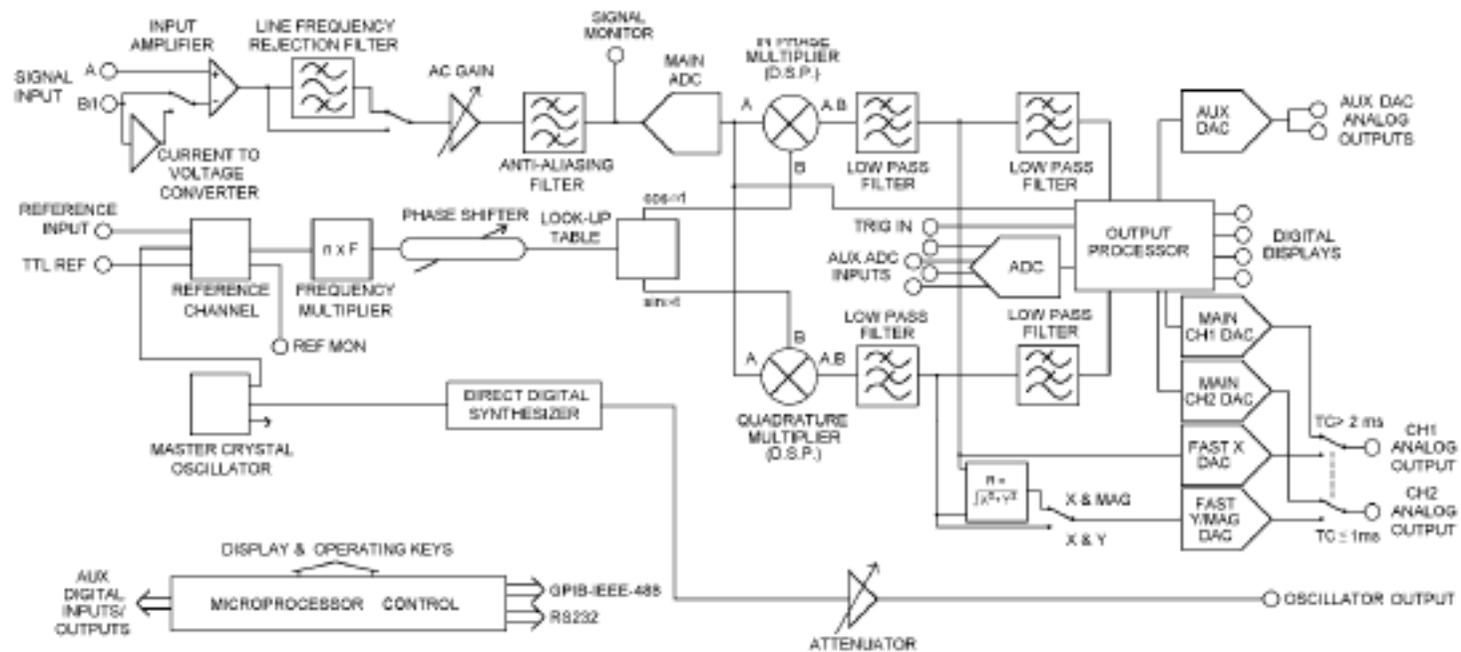


Figure 3-1, Model 7280 - Block Diagram

# SIGNAL RECOVERY

INPUT OVERLOAD LOCKED REMOTE OUTPUT OVERLOAD

# 7280 DSP LOCK-IN AMPLIFIER

AC GAIN 6dB, DR 60  
INPUT LIMIT 300mV

**R 99.95%**

SENSITIVITY  
500 mV

TIME CONSTANT  
1  $\mu$ s

REF PHASE  
+0.000 °

OSC FREQUENCY  
1,000,000 Hz

**$\theta$  - 0.35°**

REF FREQ 1,000,000 Hz  
X OFFSET +0.00 %  
Y OFFSET +0.00 %

SET CONTROL SELECT CONTROL HELP MENU

A B

INPUTS

REF IN

OSC OUT