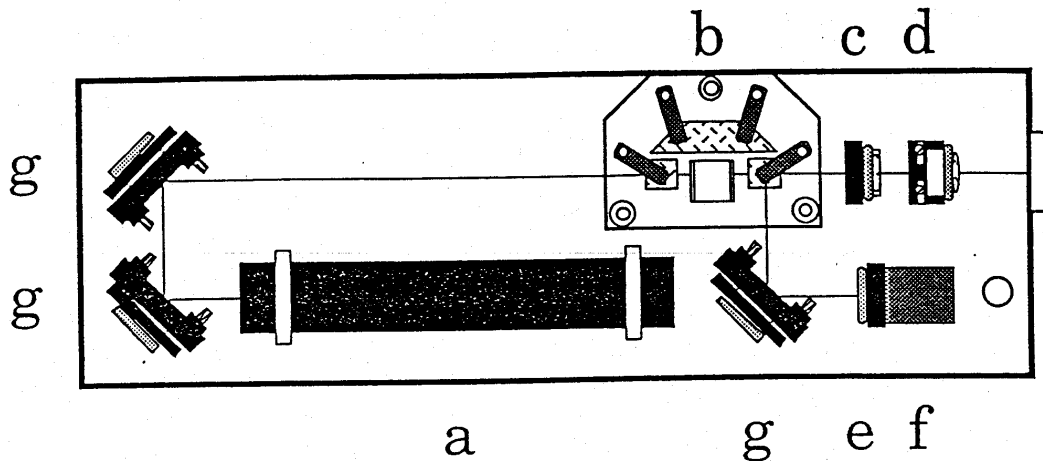


Sonde hétérodyne SH120 - BMI

1. Introduction :

La sonde hétérodyne SH-120 a pour vocation la mesure résolue en le temps de très faibles déplacements mécaniques. Cette mesure est rapide, ponctuelle et sans contact. Le principe de détection (interférométrie hétérodyne) élimine les vibrations parasites qui peuvent perturber la mesure. La compacité du dispositif rend possible des conditions d'utilisation très variées. Le système électronique de traitement du signal restitue une réponse calibrée, directement proportionnelle au déplacement de l'objet, pour une large bande passante.

2. Description



Les composants optiques mis en oeuvre sont:

* *Source laser :*

- a) laser helium-néon monomode
- g) miroirs de renvoi à 633 nm

* *Interféromètre :*

- b-1 Cube 50%-50%
- b-2 Prisme de Dove
- b-3 Cube séparateur de polarisation

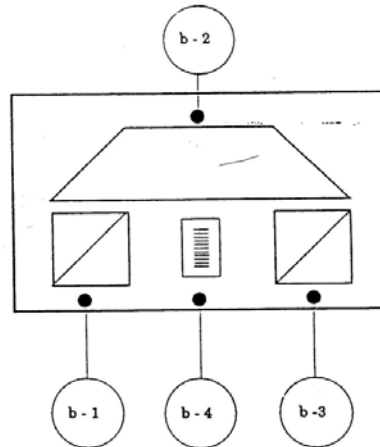


FIGURE 2 Interferometer

- b-4 Modulateur acousto-optique
- c) lame quart d'onde
- d) Lentille de focalisation

Detection

- g) Miroir
- e) Polariseur
- f) Photodiode rapide

3. Principe de fonctionnement :

Le faisceau laser issu de la source a), polarisé horizontalement, est séparé en deux voies dans le cube séparateur b-1. Après passage dans le prisme de Dove b-2 et le cube polariseur b-3, le faisceau référence atteint la surface sensible du détecteur f).

Le faisceau sonde, transmis par le cube b-1, est décalé en fréquence dans la cellule de Bragg b-4. Après réflexion sur l'objet à tester, le faisceau sonde est modulé en phase par le déplacement mécanique de l'échantillon. Après un double passage dans la lame quart d'onde c), il a vu sa polarisation tourner de 90°. Il est alors réfléchi par le cube polariseur b-3 sur le détecteur f). L'analyseur e) permet de faire interférer deux vibrations polarisées perpendiculairement.

La photodiode rapide f) traduit sous forme électrique le battement à la fréquence de modulation $f_{acoustooptique}$ des deux vibrations lumineuses.

4. Principe de la détection hétérodyne :

Le faisceau lumineux issu d'un laser continu de faible puissance, de fréquence optique, f_L possède une amplitude complexe :

$$e^{i.2.\pi.f_L.t}$$

Il est divisé dans l'interféromètre un faisceau référence et un faisceau sonde. Le faisceau référence, d'amplitude complexe n'est pas modifié :

$$R = e^{i.2.\pi.f_L.t}$$

Le faisceau sonde est l'ordre 1 diffracté par l'acousto-optique. Il est donc décalé en fréquence. Ce décalage correspond à la fréquence de l'onde acoustique créée dans le cristal, $f_{acoustique}$, de 70 MHz.

Après réflexion sur l'objet, il subit une perturbation de sa phase :

Annexe sonde hétérodyne

$$\varphi(t) = \frac{4.\pi}{\lambda}.d(t)$$

où λ est la longueur d'onde du laser et $d(t)$ est le déplacement de la cible.

L'amplitude complexe du faisceau sonde est donc :

$$S \propto \exp\left(i.2.\pi.f_L.t + i.2.\pi.f_{acoustique}.t + i.\varphi(t)\right)$$

L'interférence des deux faisceaux sur un photodétecteur fournit un signal électrique à la fréquence $f_{acoustique}$ modulé en phase par le déplacement de l'objet:

$$I(t) = I_0 + i(t)$$

$$i(t) = k.\cos(2.\pi.f_a.t + \varphi(t))$$

L'information utile est contenue dans le courant issu du photodétecteur sous forme d'une modulation de phase. Le dispositif électronique de traitement du signal restitue un signal proportionnel au déplacement de l'objet.

5. Mesure de l'amplitude de vibration avec un analyseur de spectre :

On utilise directement le signal à la fréquence de battement, 70 MHz, que l'on analyse grâce à un analyseur de spectre radiofréquence.

Si la cible à un mouvement sinusoïdal, les amplitude complexes s'écrivent :

$$R = r.e^{i.\omega.t}$$

$$S = s.e^{i\left(\omega_L.t + \omega_a.t + \frac{4.\pi}{\lambda}.d.\sin(\omega_0.t)\right)}$$

ω_L	Fréquence du laser
ω_a	Fréquence de l'acousto-optique
d, ω_0	Amplitude and frequency of the displacement of the object

Le signal d'interférence détecté est :

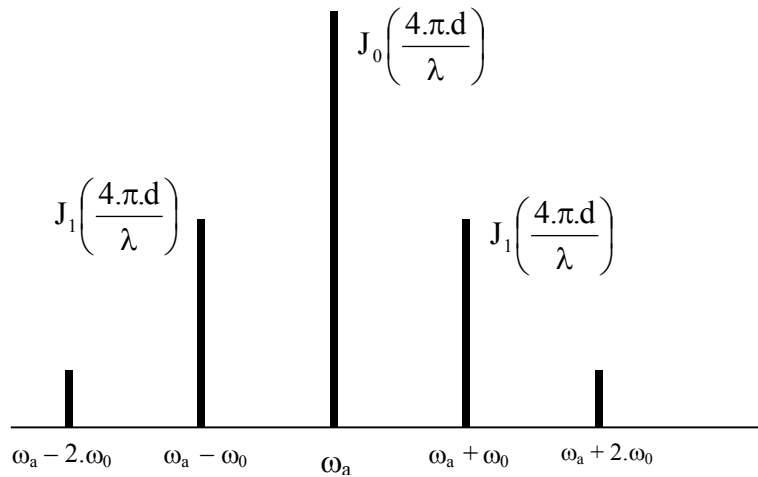
$$i(t) \propto \cos\left(\omega_a.t + \frac{4.\pi}{\lambda}.d.\sin(\omega_0.t)\right)$$

Il peut être développé les séries de Bessel :

$$i(t) = \Re e \left[e^{i.\omega_B.t} \left(J_0\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right) + 2.i.J_1\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right).\sin(\omega_0.t) + 2.J_2\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right).\sin(2.\omega_0.t) + \dots \right) \right]$$

Son spectre est le suivant :

Annexe sonde hétérodyne



La valeur absolue de l'amplitude de vibration est obtenue en comparant les 2 pics aux fréquences ω_a et $\omega_a + \omega_0$ (or $\omega_a - \omega_0$).

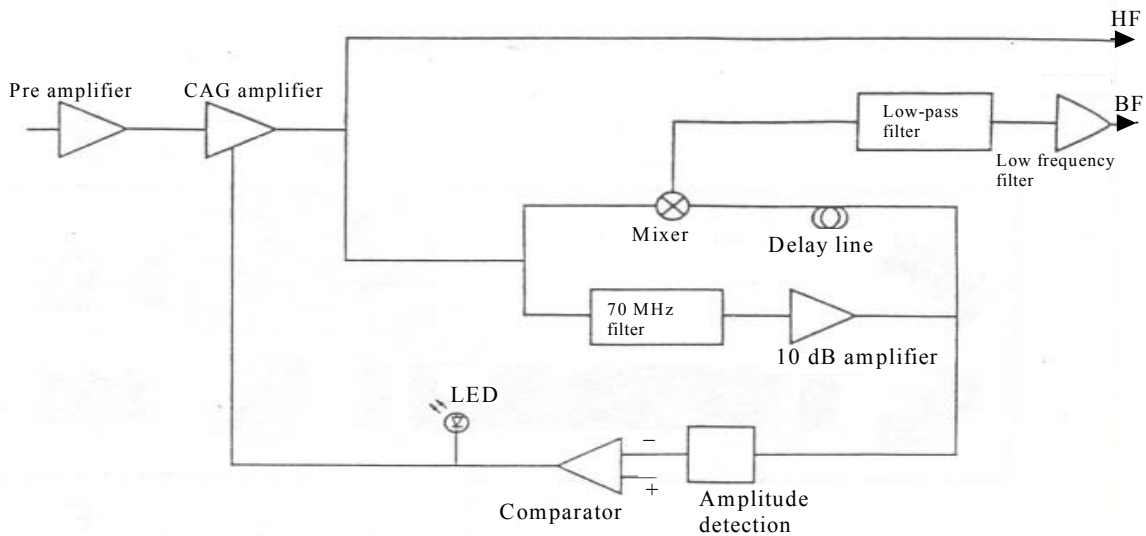
Lorsque d est très petit devant λ :

$$\frac{J_0\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right)}{J_1\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right)} \cong \frac{2.\pi.d}{\lambda}$$

Le tableau suivant donne l'amplitude de vibration de l'objet en fonction : $\frac{J_0\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right)}{J_1\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right)}$.

J_0 / J_1 (dB)	d (Angströms)
20	100
40	10
60	1

6. Electronique de démodulation de la sonde :



Le dispositif électronique de traitement du signal restitue un signal proportionnel au déplacement de l'objet. Il s'agit d'une démodulation en anneau.

Une partie du courant $i(t)$ issu du photodétecteur est prélevée, filtrée à la fréquence $f_{acoustique} = 70 \text{ MHz}$ et déphasée de 90° . Elle est ensuite recombinaisonnée à la partie initiale, pour donner un courant.

$$\begin{aligned}
 j(t) &= \cos(2\pi \cdot f_a \cdot t + \phi(t)) \cdot \cos\left(2\pi \cdot f_a \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \cos\left(4\pi \cdot f_a \cdot t + \phi(t) + \frac{\pi}{2}\right) + \cos\left(\phi(t) + \frac{\pi}{2}\right)
 \end{aligned}$$

Le signal à la fréquence $2 \cdot f_a$ (140 MHz) est ensuite filtré et on obtient :

$$s(t) \propto \sin \phi(t) = \sin\left(\frac{4\pi \cdot d(t)}{\lambda}\right)$$

Si le déplacement est faible devant la longueur d'onde, on a un signal directement proportionnel au déplacement de l'objet :

$$s(t) \approx k \cdot \frac{4\pi}{\lambda} \cdot d(t)$$

Le signal issu du filtre passe-bas est appliqué à un étage amplificateur, qui fournit un signal proportionnel au déplacement de l'objet : **10 mV/Angstrom sur 50 Ohms**. Ce signal est disponible sur la sortie B.F. du boîtier de contrôle.

Cette calibration n'est obtenue que si le niveau de sortie de l'amplificateur à contrôle automatique de gain (CAG) est **0 dBm**. C'est le cas lorsque la diode de contrôle est allumée.

Annexe sonde hétérodyne

La dynamique amplificateur CAG est 30 dB. Durant la phase de réglage, un commutateur permet de commander le gain de cet amplificateur en mode MANUEL. Un sélecteur à quatre positions permet de choisir le gain le plus approprié (0, 10, 20 ou 30 dB).

Procédure d'utilisation

1 – Mise en route :

Allumer la sonde et vérifier que laser fonctionne.

Vérifier que l'acousto-optique diffracte plusieurs ordres.

2 – Adjustments

Using spectrum analyser

- a – Set the GAIN-AMPLI (amplifier gain) switch to MANUEL (Manual)
- b – Set the GAIN-PREAMPLI selector (pre-amplifier gain) to 0
- c – Set the MANUEL (manual) potentiometer to the minimum
- d – Put the sample at the focus of the focusing lens and make sure it is approximately perpendicular to the direction of the beam
- e – Observe the signal from the HF (high frequency) output using a spectrum analyser (The frequency of the signal is 70 MHz)
- f – Optimise the signal level adjusting the orientation of the sample
- g – Set the GAIN-AMPLI switch to AUTO
- h – Note that the LED on the front panel is lit up. If not you may have to change the position of the GAIN-PREAMPLI selector to 10, 20 or 30 dB. The adjustment will be correct if this switch is set to the minimal position while the LED lit up.

Using an oscilloscope

- a – Set the GAIN-AMPLI (amplifier gain) switch to MANUEL (Manual)
- b – Set the GAIN-PREAMPLI selector (pre-amplifier gain) to 30
- c – Set the MANUEL (manual) potentiometer to the minimum
- d – Put the sample at the focus of the focusing lens and make sure it is approximately perpendicular to the direction of the beam
- e – Observe the signal from the HF (high frequency) output using an oscilloscope which bandwidth is larger than 100 MHz (The frequency of the signal is 70 MHz).
- f – Optimise the signal level adjusting the orientation of the sample
- g - Decrease the **GAIN-PREAMPLI** selector value position and the **MANUEL** (manual) potentiometer as the optimisation goes on. You may observe the signal while those two controls are set to their minimal values if the sample has a good reflecting surface.
- h - Set the **GAIN-AMPLI** switch to **AUTO**
- i - Note that the LED on front panel is lit up. If not you will have to change the position of the **GAIN-PREAMPLI** to 10, 20 or 30 dB. The adjustment will be correct if this switch is set to the minimal position while the LED lit up.