

Groupe 1**Binôme 7****Montlouis Tenzin****Thème 1 : Photodétection**

Enjeu : Réaliser la transmission d'un signal audio analogique par la lumière

Sujet de synthèse : Une société qui développe des sources lumineuses dans le visible souhaite caractériser la vitesse de transfert de l'information numérique de l'ordre de 40kHz. Pour cela, le service R&D utilise des photodiodes de type BPX65.

Cahier des charges:

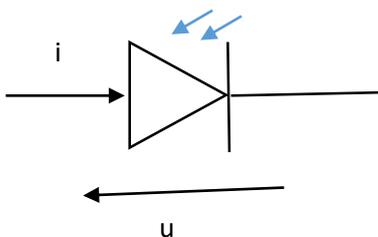
- 1) s'assurer que le circuit de photodétection est plus rapide que la source à mesurer
- 2) comment caractériser expérimentalement la photodiode, pour retrouver les caractéristiques importantes de la documentation technique
- 3) quel montage de photodétection utiliser (avantages et inconvénients des deux montages)
- 4) comment caractériser le circuit de photodétection en fréquence et mesurer sa bande-passante, afin de prédire la fréquence maximale de fonctionnement
- 5) comment expliquer le phénomène passe-bas obtenu
- 6) problèmes résiduels

1) S'assurer que le circuit de photodétection est plus rapide que la source à mesurer

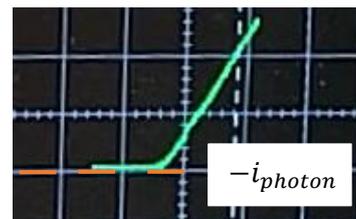
La fréquence des impulsions lumineuse intervenant lors de la conversion numérique-optique est de l'ordre de 40 kHz, chaque impulsion sera donc espacée d'environ 25 μs . Sachant que la documentation technique de la photodiode BPX65 précise un temps de réponse du capteur (*risetime*) de 3.5 ns ($\ll 25 \mu s$, facteur d'environ 7100), pour une longueur d'onde $\lambda = 820 \text{ nm}$ (proche de la limite visible - infrarouge), nous pouvons conclure que la **Photodiode BPX65 est assez rapide pour la source.**

2) Caractériser expérimentalement la photodiode

Une photodiode se schématise de la façon suivante :

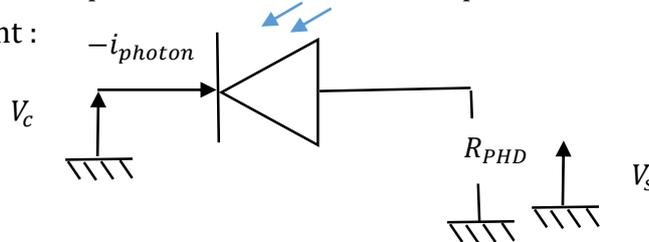


Courbe expérimentale $i = f(u)$ d'une photodiode SFH206



Une première contrainte expérimentale est de maintenir une tension de polarisation positive, afin que le courant traversant la diode $-i_{photon}$ soit proportionnel au flux lumineux provenant de la source noté Φ_{photon} en W (ou en lm).

Ainsi l'amplitude du potentiel de sortie de la photodiode noté V_s dépendra de l'intensité de la source lumineuse, en maintenant la cathode à un potentiel constant noté V_c la tension de polarisation est maintenue positive. Le montage le plus simple serait le suivant :

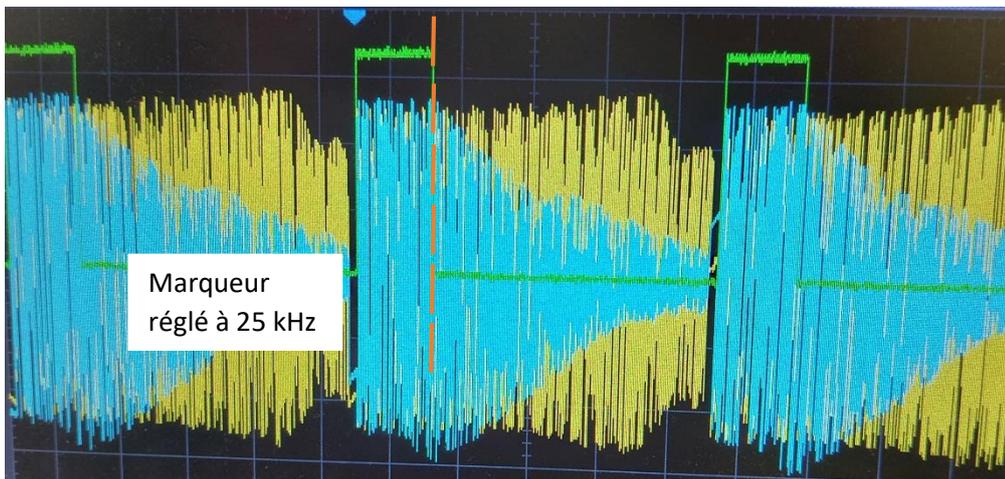


3) Caractériser le circuit de photodétection en fréquence et mesurer sa bande-passante

D'après la relation $V_s = R_{PHD} \times i_{photon}$, l'amplitude de V_s devrait être bornée pour un flux lumineux incident borné. Afin de vérifier cette affirmation, il suffit de placer en face de la photodiode une diode électroluminescente (LED), alimentée par une source sinusoïdale de tension et un oscilloscope en sortie de la photodiode. Le flux lumineux ainsi créé est également sinusoïdal, en faisant wobuler (faire varier la fréquence) le générateur d'entrée, voici la réponse V_s du signal en fonction de la fréquence.

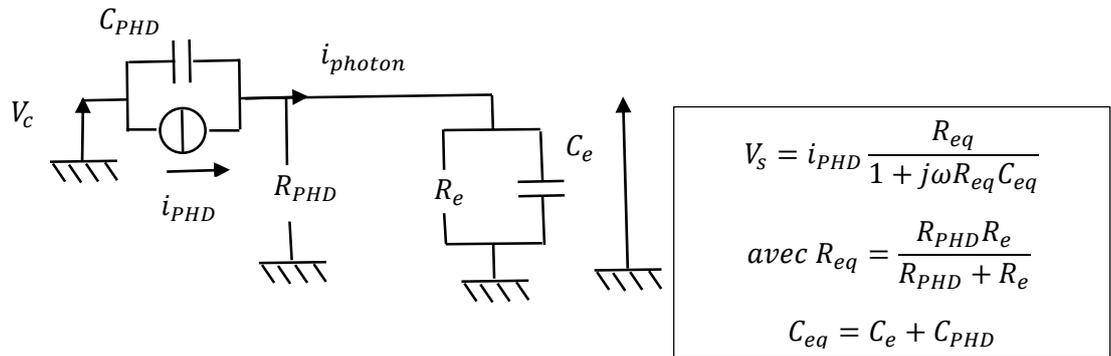
4) Phénomène passe-bas

Courbe de wobulation $V_s = f(t)$ montage simple



- Tension aux bornes de la LED (en jaune)
- V_s (en bleu)
- Signal de synchronisation démarrant en début de wobulation et s'arrêtant à la fréquence 25 kHz (en vert)
- Fréquence comprises entre 10 kHz et 1 MHz (sur une durée de 1 ms)

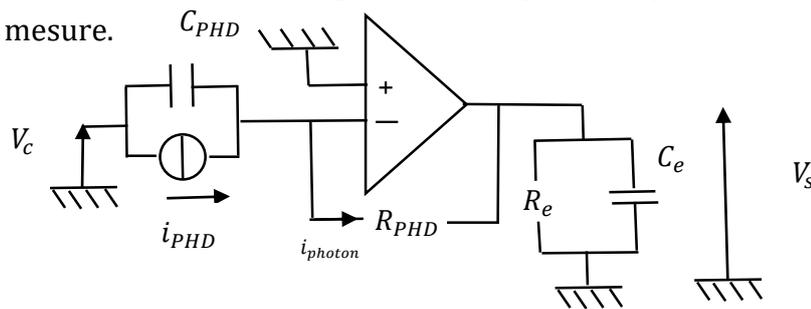
À partir d'un certain seuil l'amplitude du signal de sortie décroît avec la fréquence du signal d'entrée (ce qui permet de définir une bande passante). En incluant la capacité de la photodiode et l'impédance d'entrée de l'oscilloscope une nouvelle relation apparaît :



Pour $R_{PHD} = 100 \text{ k}\Omega$; $C_{PHD} = 72 \text{ pF}$ et $R_e = 1\text{M}\Omega \pm 2\%$; $C_e = 20 \text{ pF} \pm 3 \text{ pF}$ ($\pm 15\%$) (notice oscilloscope Voltcraft DSO 1084-F), d'où une fréquence de coupure de $19 \text{ kHz} \pm 3 \text{ kHz}$ à 95% de confiance par la formule de propagation des incertitudes $\frac{u(f)}{f} = \sqrt{\left(\frac{u(C_e)}{C_e}\right)^2 + \left(\frac{u(R_e)}{R_e}\right)^2} \approx \frac{u(C_e)}{C_e} = 15\%$. La valeur de 25 kHz n'est pas dans l'intervalle de confiance car la méthode est qualitative.

5) Amélioration du montage

Le gain et la bande-passante du montage précédent dépendaient de l'impédance d'entrée de l'oscilloscope. Le montage dit transimpédance permet de s'affranchir du système de mesure.

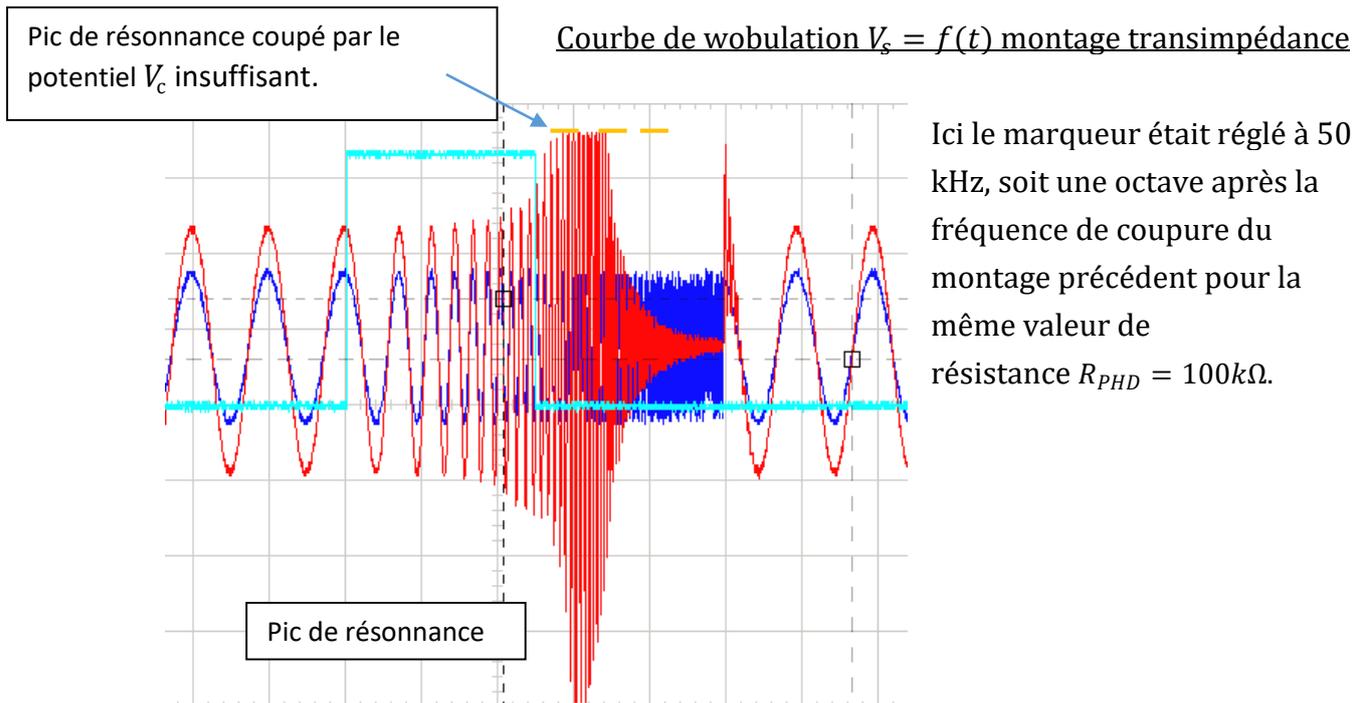


$$V_s = i_{PHD} \frac{K}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_1^2} + \frac{2\xi}{\omega_1}}$$

avec $\omega_1 = \sqrt{(1 + A_0)\omega_c\omega_0}$; $\omega_c = 1/R_{PHD}C_{PHD}$; $\omega_0 :=$ pulsation de coupure de l'ALI en boucle ouverte

$$\xi = \frac{\omega_0 + \omega_c}{2\sqrt{(1 + A_0)\omega_c\omega_0}} ; K = R_{PHD} \frac{A_0}{1 + A_0} ; A_0 \approx 10^5 :=$$
 Gain statique de l'ALI en boucle ouverte

Grâce à cette fonction de transfert du deuxième ordre le gain et la bande passante sont augmentés, et ne dépendent plus de l'appareil de mesure.



6) Problèmes résiduels

Le courant i_{photon} s'écrit $i_{photon} = R_\lambda \times \Phi_{photon}$, avec R_λ la réactivité de la photodiode (*responsivity*, en A/W). Dans le visible (entre 400 nm et 800 nm), cette réactivité est comprise entre 0.1 A/W et 0.55 A/W (cf. Typical Spectral Response) pour des valeurs de polarisation comprises entre 0V et 20V. Or le courant inverse toléré par la photodiode (*dark current*) est de 1nA à 5nA, ce qui limite l'intensité du flux lumineux entrant à 1 nW. Cependant cet ordre de grandeur semble coïncider avec la faible valeur de la puissance équivalente du bruit (Noise Equivalent Power NEP) de $33.1 \text{ pWHz}^{-1/2}$, qui traduit la valeur d'intensité d'un signal reçu qui va dépasser celle de son bruit après 500ms.

La réactivité semble relativement indépendante de la polarisation dans le visible, néanmoins pour des valeurs de polarisation en-dessous de 20V, la capacité propre de la photodiode dépasse les 2 pF (cf. Typical Capacitance versus Bias Voltage). Une cadence qui s'accélère en deçà de 5V pour rejoindre la dizaine de pF, ce qui réduit la bande-passante des deux montages.