

Réalisation d'un système de photodétection simple et fiable

Dans le but d'analyser la rapidité d'une source lumineuse dans le visible produite par une société quelconque, ce document explicitera les étapes à suivre ainsi que les interprétations à faire à la suite des expériences réalisées pour caractériser et dimensionner le système de photodétection.

Matériel nécessaire

Afin de réaliser les montages qui vont suivre, il faudra s'équiper du matériel suivant :

- Une **photodiode BPX65**
- Une **LED** émettant dans le visible (rouge, vert ou bleue)
- Un kit de **résistances allant de 100Ω à $1M\Omega$**
- Une **breadboard** pour le prototypage
- Un **multimètre** pour mesurer le courant et la tension
- Un **GBF** afin de générer des sinusoïdes
- Un **oscilloscope** pour visualiser la tension en fonction du temps
- Des fils afin d'effectuer les câblages nécessaires
- Un **ALI type TL071**

I] Caractérisation d'une photodiode

On souhaite dans un premier temps faire **varier la différence de potentiel** aux bornes de la diode, c'est ainsi qu'on applique **un signal triangulaire à une fréquence de quelques Hertz** afin d'avoir une **faible variation d'amplitude dans le temps**. (Voir la documentation de votre GBF afin de générer un tel signal)

Il faut ensuite réaliser le montage suivant avec V_{GBF} le signal triangulaire généré avec le GBF.

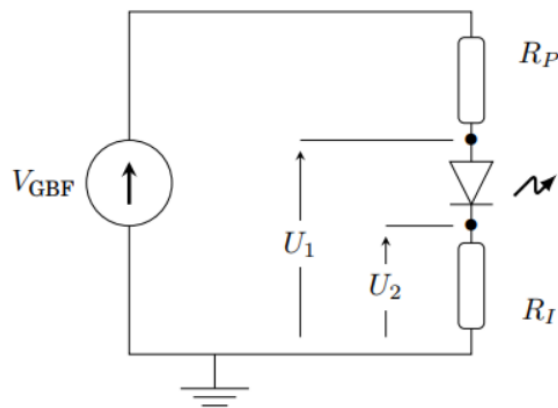


Figure 1: Schéma de câblage pour la caractérisation d'une photodiode (Source : site du LEnsE)

La résistance R_p est la **résistance de protection** en courant de la photodiode de l'ordre de la dizaine de $k\Omega$, elle permet d'éviter que la photodiode crame.

La résistance R_I permet de **visualiser le courant** par la simple relation $U_2 = R_I * I$, elle est essentielle car on peut uniquement visualiser l'évolution en tension en fonction du temps à l'aide d'un oscilloscope.

On prendra R_I de l'ordre de quelques Ω afin de ne pas perturber le reste du montage.

A l'aide de deux de voies de l'oscilloscope, on mesure la tension U_1 sur CH1 et la tension U_2 sur CH2.

Ainsi on a une **image du courant** sur la voie CH2 et une **image de la tension** sur la voie CH1 si on considère que U_2 est faible pour toutes les valeurs de I .

Il suffit désormais d'utiliser le mode XY de votre oscilloscope (*voir la documentation technique de celui-ci pour voir comme y accéder*) afin d'afficher CH2 en fonction de CH1, soit $I = f(U)$, autrement dit la **caractéristique statique de votre photodiode**.



Figure 2 : Visualisation de la caractéristique statique d'une photodiode SFH206

Pour vérifier que la photodiode fonctionne correctement, on peut l'éclairer avec un certain flux lumineux. Dans le cas où elle est fonctionnelle, sa **caractéristique statique translatera vers le bas**.

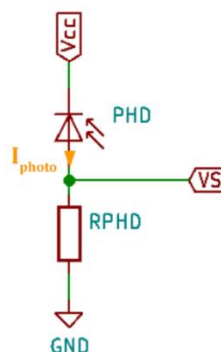
Pour visualiser la caractéristique statique de manière optimale, il faudra veiller à bien choisir **la division en tension et en temps** des différentes voies.

II] Les différents montages de photodétection

1) Le montage dit « simple »

Ce montage nécessite la photodiode BPX65 et une résistance R_{PHD} qui devra être choisie en fonction de la sensibilité voulue. Effectivement, **plus R_{PHD} sera grande, moins le système sera sensible au flux lumineux entrant**.

Il suffit maintenant de réaliser le montage suivant en veillant à bien positionner la photodiode car **c'est un dipôle polarisé** et pour qu'il **fonctionne comme un capteur de flux lumineux**, il faut qu'il perçoive **une tension négative à ses bornes**.



Ici, V_{CC} est la **tension de polarisation**, elle permet de mettre la photodiode dans sa zone capteur et elle doit varier en fonction du temps, il faudra donc utiliser un GBF.

De plus, $V_S = R_{PHD} * I_{photo}$ est la tension permettant de **visualiser le courant en fonction du temps**.

Cependant, ce système de mesure présente des inconvénients non négligeables. En effet, il possède **une bande-passante limitée** qui se comprend en prenant compte de la capacité intrinsèque de la photodiode. De plus, il est sensible à l'impédance due au système de mesure.

En utilisant le modèle de mesure suivant, on peut expliquer les limites de ce système de mesure :

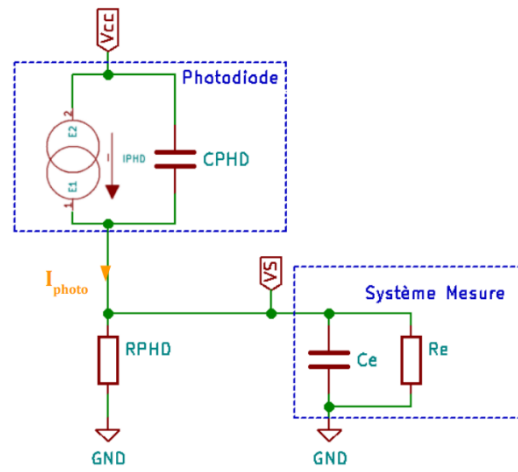


Figure 4: Modèle physique du montage simple (Source : LEnsE)

On observe l'apparition de deux capacités : C_e et C_{PHD} . L'une est associée à la **photodiode** et l'autre au **système de mesure**. L'impédance d'un condensateur s'écrit : $Z_c = \frac{1}{j\omega C}$, on se rend compte que $\lim_{\omega \rightarrow +\infty} Z_c = 0$, ainsi **en haute fréquence les condensateurs peuvent être assimilés à des fils**.

Ceci explique la bande passante limitée et l'impacte du système de mesure. En effet, en haute fréquence **les électrons** préféreront **passer par les capacités** car elles possèdent une **faible impédance**, le potentiel V_S sera ainsi **atténué en haute fréquence**.

2) Le montage transimpédance

Ce montage nécessite une photodiode BPX65, une résistance R_T analogue à R_{PHD} , un ALI TL071 et une tension de polarisation constante $V_{POL} < 0$.

Ce montage est **plus complexe** car il utilise un dipôle actif (*l'ALI*) qui nécessite d'être alimenté par une alimentation symétrique. Cependant, il permet d'avoir **une meilleure bande-passante** dû à la bande-passante de l'ALI (*qui dépend du modèle*). La tension de polarisation est fixe et la capacité intrinsèque de la photodiode a moins d'impact sur le système grâce à l'ALI. Néanmoins, on verra **l'apparition d'une résonance** dû à l'ALI, qui peut être dérangement si on travaille à la fréquence de coupure.

Voici le montage à effectuer pour réaliser le système de photodétection avec transimpédance :

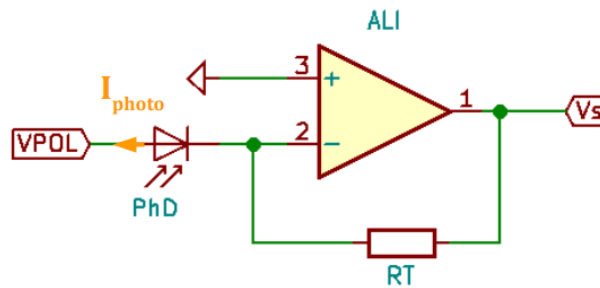


Figure 5 : Montage transimpédance (Source : LEnsE)

Pour expliquer les meilleures performances en terme de bande passante on peut modéliser le circuit électronique en prenant compte de la **capacité intrinsèque de la photodiode**, du **système de mesure** ainsi que de l'ALI en tant que filtre **passé bas du premier ordre**. Ceci nous donne le modèle physique suivant :

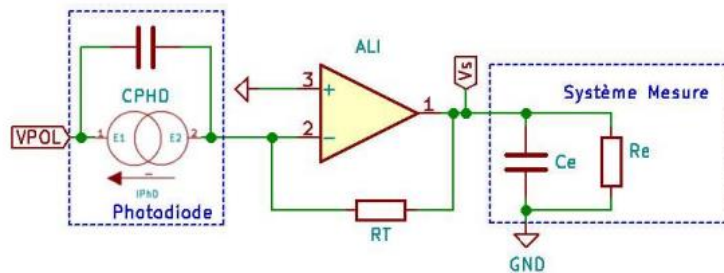


Figure 6 : Modèle physique du montage transimpédance (Source : LEnsE)

Les capacités de la photodiode et du système de mesure vont jouer un rôle similaire que pour le montage simple mais l'ALI va rajouter un filtre supplémentaire qui va faire que le système global se comporte **comme un filtre passé bas du second ordre**, ce qui explique la résonance. Nous en verrons plus dans la partie IV].

III] Caractériser en fréquence le circuit de photodétection

Dans le paragraphe précédent, nous avons vu deux montages de photodétection. Nous allons désormais nous pencher sur la méthode pour caractériser en fréquence votre circuit de photodétection et ainsi déterminer sa bande-passante.

1) Principe et montage permettant de contrôler le flux lumineux entrant

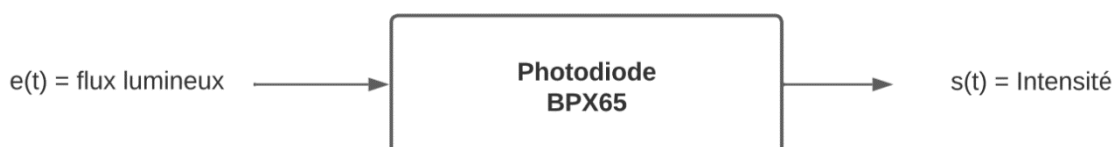


Figure 7 : Schéma block de la photodiode BPX65

Afin d'avoir le comportement en fréquence de la photodiode BPX65, il faut faire varier l'entrée du système, c'est-à-dire le flux lumineux entrant.

Pour cela on utilise une LED dont la caractéristique peut être déterminée de manière similaire à celle de la photodiode. On envoie en entrée un signal sinusoïdal qui varie de sorte à être sur la zone linéaire de la caractéristique de la LED. En utilisant le mode Sweep de votre GBF (voir documentation technique de votre GBF) on envoie un signal sinusoïdal avec une fréquence qui va varier dans le temps. Ainsi le flux lumineux émis par la LED variera aussi dans le temps, ce qui permettra de visualiser la caractéristique en fréquence du circuit en visualisant la tension V_S .

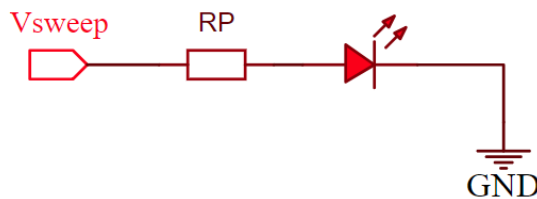


Figure 8 : Montage permettant d'envoyer un flux entrant qui varie en fonction du temps

La résistance R_p est la résistance de protection de la LED, elle est choisie en fonction du courant maximal I_{MAX} admissible par LED donné par le constructeur, de la tension V_F fournie aussi par le constructeur et de la tension maximale V_{MAX} de votre alimentation. On a ainsi : $R_p \geq \frac{V_{MAX}-V_F}{I_{MAX}}$

2) Observation de la caractéristique en fréquence sur l'oscilloscope

Pour visualiser la caractéristique en fréquence, il faut fixer le trigger sur la voie CH4 de l'oscilloscope qui devra être lié à la voie Sync de votre oscilloscope. Vous verrez ainsi sur la voie CH2 qui est reliée à la sortie de votre montage la caractéristique en fréquence de votre système.

Pour déterminer la fréquence de coupure, vous pouvez dans un premier utiliser le signal Sync en première approximation, puis aller à la fréquence déterminée afin de balayer plus finement et trouver une valeur plus précise.

Pensez à protéger votre montage de tout flux lumineux externe afin d'avoir des mesures plus précises.

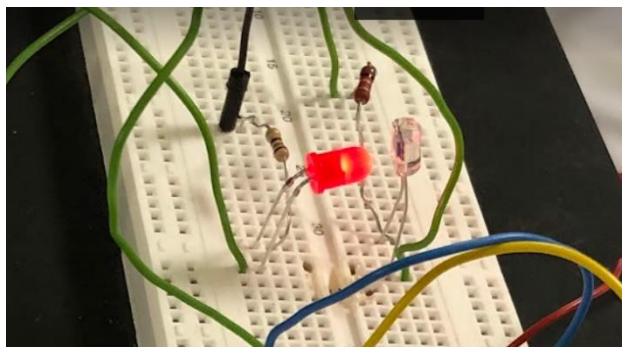


Figure 9 : Photo représentant le système permettant la caractérisation en fréquence

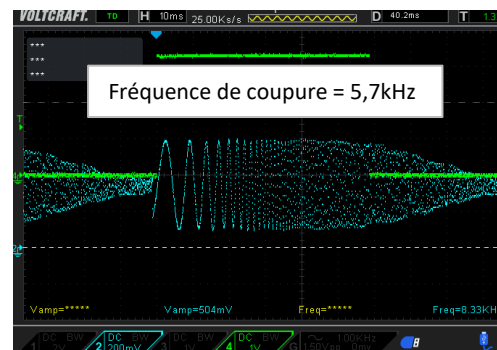


Figure 10 : Comportement en fréquence du montage simple de photodétection avec $R_{phd} = 100k\Omega$

Comme dit dans le II], le choix de R_{PHD} ou R_T en fonction du montage, va déterminer la bande-passante du système et donc sa « sensibilité ».

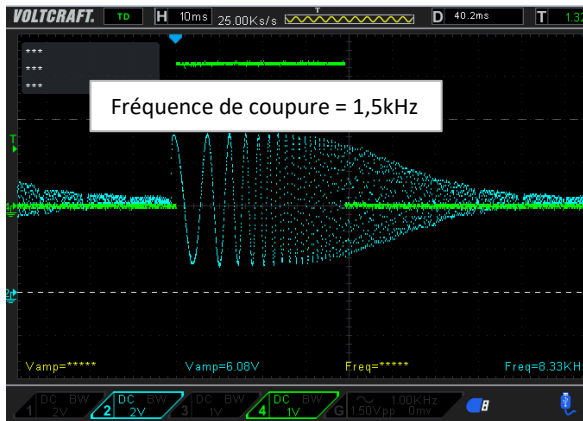


Figure 11 : Comportement en fréquence du montage simple avec $R_{phd} = 1MO$

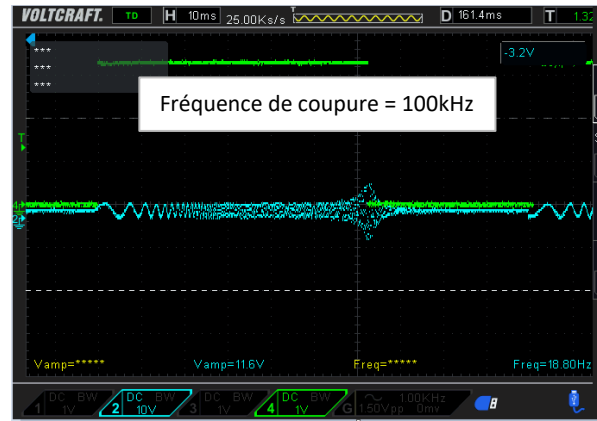


Figure 12 : Comportement en fréquence du montage transimpédance avec $R_{phd} = 1MO$

On observe sur la figure 11 et 12 l'impact du choix de la résistance et du choix du montage. En effet on a une meilleure bande passante sur la figure 11 mais on observe une résonance.

IV] Le phénomène passe-bas

Peu importe le montage que vous avez décidé de réaliser, vous remarquerez sur vos oscillogrammes montrant le comportement en fréquence de votre montage un phénomène passe-bas. Ce phénomène s'explique très bien à l'aide des modèles physiques de la figure 4 et 6. En effet, en modélisant de manière plus précise les composants électroniques du circuit, on arrive à mieux décrire la réalité des choses. Pour cela, calculons la fonction de transfert H_1 du montage simple et la fonction de transfert H_2 du montage transimpédance.

$$\underline{H}_1 = \frac{V_s}{I_{PHD}} = \frac{R_{\acute{e}q}}{1 + j\omega R_{\acute{e}q} C_{\acute{e}q}} = \frac{H}{1 + j\omega\tau}, \text{ avec } \begin{cases} R_{\acute{e}q} = \frac{R_{PHD} * R_e}{R_{PHD} + R_e} \\ C_{\acute{e}q} = C_e + C_{PHD} \\ H = R_{\acute{e}q} \\ \tau = R_{\acute{e}q} C_{\acute{e}q} \end{cases}$$

$$\underline{H}_2 = \frac{V_s}{I_{PHD}} = \frac{R_T A_0}{\left(1 + \frac{j\omega}{\omega_0}\right) \left(1 + \frac{j\omega}{\omega_c}\right) + A_0}, \text{ avec } \begin{cases} \omega_c, \text{ pulsation de coupure du système} \\ \omega_0, \text{ pulsation propre de l'ALI} \\ A_0, \text{ gain pur de l'ALI} \end{cases}$$

On observe ainsi que les fonctions de transfert H_1 et H_2 représentent respectivement un filtre passe bas du 1^{er} ordre et un filtre passe bas du 2nd ordre. Ceci explique le phénomène passe bas qui apparaît lorsqu'on l'on dépasse la fréquence de coupure $f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_{\acute{e}q} C_{\acute{e}q}}$ et $f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_{PHD} C_{PHD}}$.

V] Conclusion

Vous savez maintenant comment caractériser une photodiode et ainsi choisir la photodiode correspondant à vos besoins. Il faudra se pencher sur la bande passante du système de photodétection pour éviter de travailler dans la zone où il se comporte comme un passe-bas.

Nous attestons que ce travail est original, que nous citons en référence toutes les sources utilisées et qu'il ne comporte pas de plagiat.