

Thème 1 : Réaliser la transmission d'un signal audio analogique par la lumière

G05B06 - Marion Jumelle et Valentine Pernot

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

Introduction

Dans l'objectif d'aider une entreprise développant des sources lumineuses à caractériser la dynamique de leur source, nous indiquerons quels systèmes de photodétections peuvent être utilisés et les comparerons, en ayant auparavant caractérisé expérimentalement la photodiode utilisée. Nous montrerons ensuite comment étudier le circuit de photodétection en fréquence et établir sa bande-passante, en expliquant les phénomènes de passe-bas obtenus, le tout afin de mettre au point un système de photodétection fiable, permettant l'analyse de la rapidité de la source.

Nous illustrerons ces différentes étapes à l'aide de résultats obtenus avec une photodiode SFH206. Les câblages électriques sont réalisés sur breadboard.

1 Caractérisation de la photodiode

La photodiode est l'objet permettant de convertir un signal lumineux en un signal électrique. L'étude de son fonctionnement, réalisée dans cette partie, est donc fondamentale. On trace sa caractéristique statique : la courbe $i = f(U)$.

1.1 Montage

Pour caractériser la photodiode, on réalise le montage exposé sur la Figure 1, qui permet de mesurer à la fois la tension aux bornes de la photodiode et l'intensité qui la traverse.

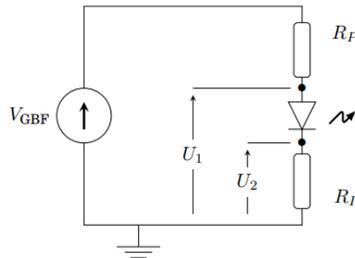


Figure 1: Schéma électrique du circuit pour réaliser la caractéristique statique de la photodiode

Deux résistances figurent sur le montage : R_P et R_I , chacune ayant un rôle différent.

La résistance R_P est la résistance de protection de la LED, sa valeur est donnée par la formule :

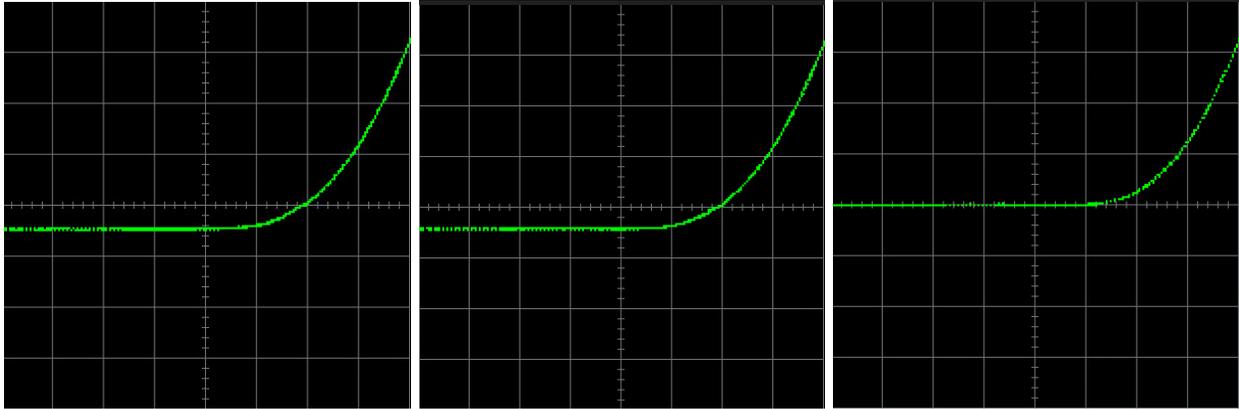
$$R_P = \frac{V_{MAX} - V_F}{I_{FMAX}}$$

Le rôle de R_I est de mesurer le courant traversant la photodiode, il faut donc choisir une valeur du même ordre de grandeur que R_P .

Nous nous sommes placées dans les conditions suivantes :

- $R_P = R_I = 100 \Omega$
- signal triangulaire de fréquence 5 Hz, fourni par un GBF
- éclairnement variable : avec et sans flash de téléphone

1.2 Mesures



(a) éclairage avec un flash de téléphone, montage recouvert

(b) éclairage avec un flash de téléphone, montage non recouvert

(c) pas d'éclairage ajouté à celui de la salle

Figure 2: Caractéristique statique de la photodiode selon l'éclairage (mode XY de l'oscilloscope)
Echelle : abscisse 50 mV, ordonnée 200 mV

Les courbes sont des exponentielles, la zone d'utilisation de la photodiode se situe alors pour $U < 0$. De plus, il est visible sur les courbes que plus la photodiode est éclairée, plus la courbe est tradatée vers le bas.

2 Montage 'simple' de photodétection

2.1 Montage

On réalise un premier système de photodétection selon le montage suivant :

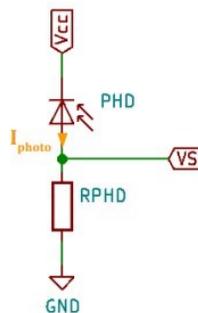


Figure 3: Schéma électrique du circuit 'simple' de photodétection

La photodiode est ici placée 'à l'envers' dans le circuit pour pouvoir se placer dans la zone de sa caractéristique qui nous intéresse (à gauche sur les courbes de la Figure 2).

A côté de ce montage est placé un système émetteur avec une LED (rouge dans notre cas) alimentée par un GBF pour reproduire le transfert d'information à une fréquence voulue. On vérifie alors le bon fonctionnement de notre système avec, par exemple, un signal sinusoïdal (à différentes fréquences).

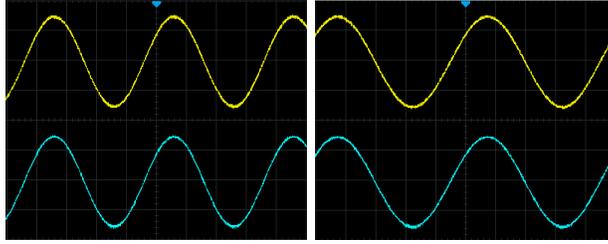


Figure 4: Réponse de la photodiode (bleu) à un signal sinusoïdal de la LED (jaune).
Echelle : abscisse 5 µs(gauche) et 2 ms(droite), ordonnée 2 V

2.2 Caractérisation du système de transmission

En utilisant le mode Sweep du GBF (balayage de fréquence), il est possible de mesurer la bande passante :

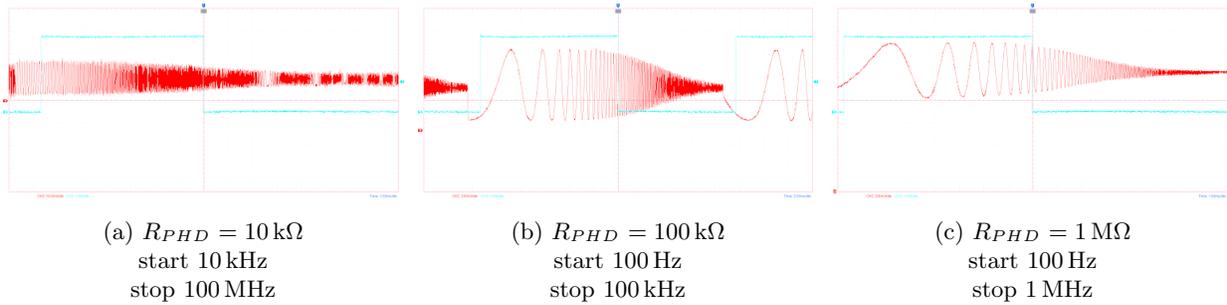


Figure 5: Réponse de la photodiode au balayage de fréquence (sweep time 20 ms)

On obtient ainsi :

R_{PHD}	Fréquence à -3dB	Amplitude V_S
10 kΩ	100 kHz	40 mV
100 kΩ	5 kHz	160 mV
1 MΩ	3 kHz	250 mV

On remarque que ce montage a un comportement de type passe-bas, pour lequel la fréquence de coupure diminue lorsque la valeur de la résistance augmente. Ce comportement passe-bas s'explique notamment par les composants de la photodiode et de l'oscilloscope (résistances et condensateurs) :

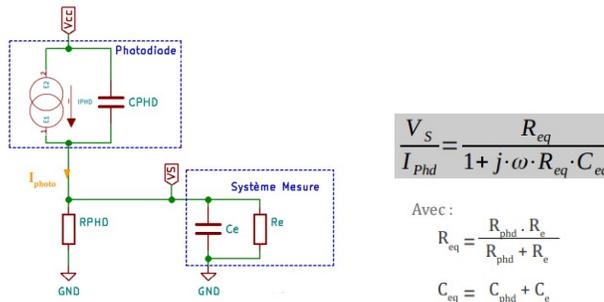


Figure 6: Schéma du montage simple avec le système de mesure et fonction de transfert

3 Montage transimpédance de photodétection

3.1 Montage

Pour optimiser le système de photodétection, on utilise un montage transimpédance, qui comporte un ALI (ici TL081), permettant d'atténuer l'effet passe-bas.

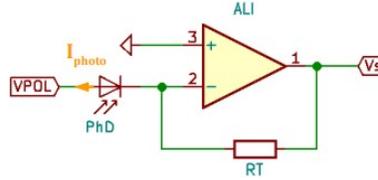


Figure 7: Schéma électrique du montage transimpédance

3.2 Caractérisation du système de transmission

On utilise une fois de plus le mode Sweep du GBF pour étudier ce montage :

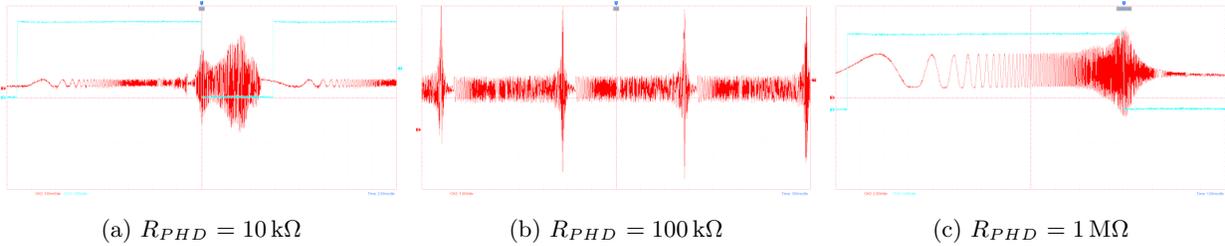


Figure 8: Réponse de la photodiode au balayage de fréquence
 Réglages du mode sweep Start : 100 Hz ; Stop : 20 MHz ; Durée : 20 m sec
 Résonance fortes sur fig.a due au breadboard et aux câbles, non au montage

On obtient ainsi :

R_{PHD}	Fréquence à -3dB	Amplitude V_S
10 k Ω	900 kHz	35 mV
100 k Ω	240 kHz	150 mV
1 M Ω	100 kHz	1.5 V

Dans les trois cas, une résonance apparaît, et une fois encore, la fréquence de coupure diminue lorsque la valeur de la résistance augmente. Ce montage a un comportement passe-bas, mais du deuxième ordre.

Conclusion

Les deux circuits proposés, se comportant ainsi comme des passe-bas, ont des propriétés différentes. Le premier a l'avantage d'être simple à réaliser, cependant les bandes-passantes et réponses en amplitude du deuxième montage sont bien plus élevées, grâce à l'ALI. Néanmoins, le phénomène de résonance que présente le montage transimpédance peut fausser le transfert d'information.

A une fréquence de 40 kHz, le montage 'simple' avec $R_{PHD} = 10\text{ k}\Omega$ fonctionne, mais l'amplitude est peu élevée (40 mV) ; le montage transimpédance avec $R_{PHD} = 1\text{ M}\Omega$ permet d'avoir une amplitude plus élevée (1.5 V), en étant suffisamment loin de la fréquence de résonance pour éviter des effets parasites.

Sources : Fiches résumé et fiches méthodes LEnsE pour les schémas (<http://lense.institutoptique.fr/electronique-ressources-s5-2022/>)