
PHOTORÉCEPTEURS

Niveau

Commentaires du jury

- 2017 : Il ne faut pas perdre de vue les aspects de métrologie dans ce montage. Il faut aussi connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs.
- 2014, 2015, 2016 : Dans ce montage, les questions classiques de métrologie peuvent être abordées : sensibilité, bande passante et temps de réponse. Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale. Plus généralement, il faut connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs. Remarquons pour finir que la notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode.

Bibliographie

—

Expériences

—

Table des matières

1 Photodiode et Photorésistance	2
1.1 Caractéristique	2
1.1.1 La photodiode	2
1.1.2 La photorésistance	3
1.2 Étude de la linéarité	5
1.2.1 Photodiode	5
1.2.2 Sensibilité de la photodiode	5
1.2.3 Photorésistance	5
1.3 Réponse spectrale	5
1.4 Étude de la réponse dynamique	6
1.4.1 Photodiode	6
1.4.2 Photorésistance	6
2 Capteur CCD	6
3 Conclusion	7

Introduction

1 Photodiode et Photorésistance

1.1 Caractéristique

1.1.1 La photodiode

Une photodiode est une jonction PN. Sa caractéristique est donné par

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{U}{V_0}\right) - 1 \right)$$

Ainsi, même pour $U < 0$ on a un courant négatif et faible. Lorsqu'un photon arrive dans la zone de charge espace, une paire d'électron-trou est créée. Le champ électrique présent dans la zone de charge espace sépare l'électron et le trou et on observe un photocourant. De plus le photon peut également entraîner la formation de porteurs minoritaires dans chaque parties des semi-conducteur ce qui contribue à la formation d'un photocourant. On observe ce photocourant sur la diode en régime bloqué.

Il faut prendre une photodiode nue

On veut tracer la caractéristique d'une photodiode pour différentes valeurs de flux lumineux, pour montrer qualitativement l'influence du flux lumineux sur la caractéristique :

Tracé des caractéristiques :

On réalise le montage à résistance de charge.

$R = 10k\Omega$ et E sinusoïdale d'amplitude 5V(?).

Tracer U_R/R en fonction de U .

Pour avoir plusieurs courbes ouvrir plusieurs fenêtre puis glisser les courbes sur un autre fenêtre.

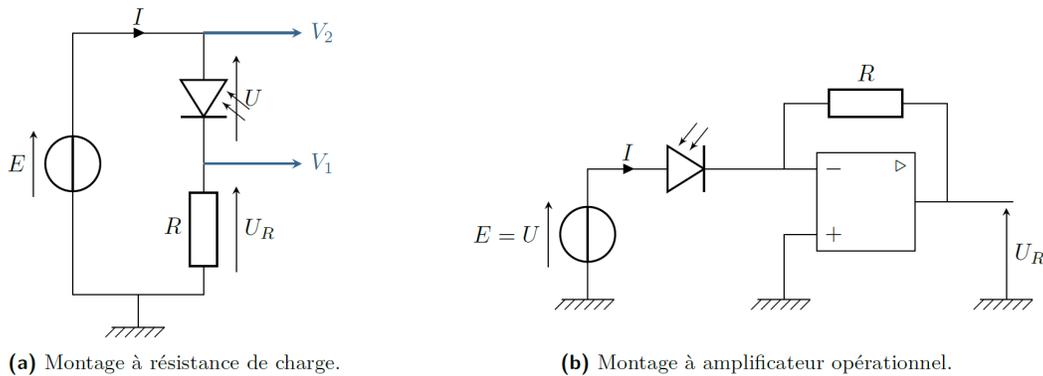


FIGURE 1 – Photodiode (poly de TP)

On peut alors parler du choix de R . Dans la première manip, il n'avait pas d'importance, cependant, sa valeur va décider de la sensibilité de notre capteur.

Pour comprendre on a le schéma de principe, ce que l'on va mesurer par la suite c'est uniquement la tension donnée par le point de fonctionnement pour des valeurs de E et de R fixées. E définit la "hauteur" de la droite de fonctionnement et R la pente. On comprend que pour que la sensibilité soit la plus grande possible, il faut que la pente soit la plus grande possible, en effet de la sorte quand la caractéristique de la diode va être translaté vers le bas ou vers le haut, cela va correspondre à une variation importante de la valeur de I

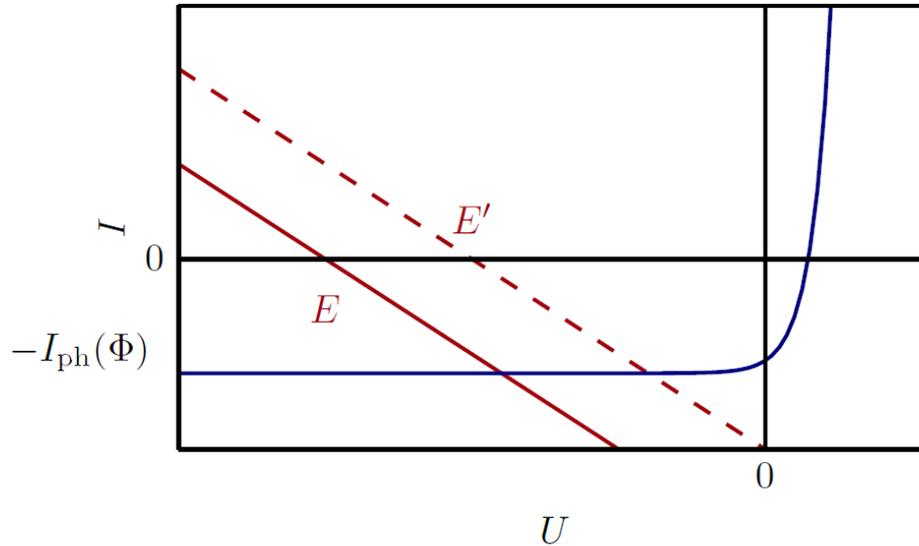


FIGURE 2 – Principe caractéristique et point de fonctionnement (poly de TP)

Choix du point de fonctionnement :

On réalise le montage à résistance de charge. On place une source de lumière au maximum de ce qui sera utilisé

E "raisonnable $\simeq \pm 5V$. Pour choisir R on choisit la valeur de R telle qu'elle soit le plus grande possible en vérifiant que si on la modifie rapidement, on garde $U_r \propto R$. De la sorte on s'assure que l'on est bien sur le plateau. $R \simeq 10k\Omega$.

Pour pouvoir montrer cela tout en gardant exactement la même valeurs de résistance on peut utiliser 2 boîtes à décades, une pour montré et quand on a montré on dit bon moi je prends cette valeur (cela correspond bien a une valeur pertinente) et on remplace la résistance.

Choisir le plus grand R possible améliore la sensibilité car on si on s'intéresse à U il y a une plus grande variation (avec ma caractéristique) si on s'intéresse à i la tension U_r varie plus

1.1.2 La photorésistance

Une photorésistance (Light Dependent resistor) est un semis conducteur (CdS, CdSe, Se, TlS). Le principe de la photoésistance est que la conductivité du matériaux est modifié quand il est éclairé : par effet photoélectrique interne, la lumière augmente le nombre de porteur de charge n (Duffait page 195) La résistance diminue lorsque le flux augmente. (Sextant p70 plus de détail). Le courant qui est du aux photocourants est proportionnelle au flux et au temps de vie des electrons créer par les photons, or ce temps de vie dépend lui même du flux ce qui rend le composant non linéaire. On peut mesurer sa résistance directement à l'ohmètre (a tester) ou réaliser le montage avec AO 3 (Sextant). Ce dernier montage à l'avantage d'imposer une différence de potentiel constante au borne de la photorésistance.

Caractéristique qu'une photorésistance :

Faire le montage pour trouver la caractéristique et tracer la caractéristique pour différents éclairément. On attend une droite (bah c'est une résistance).

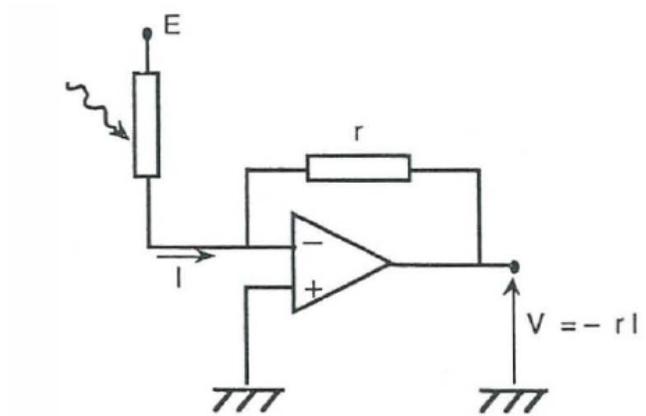


FIGURE 3 – Principe du montage pour la photorésistance (Sextant)

de R dépend de l'éclairement (fig. 6).

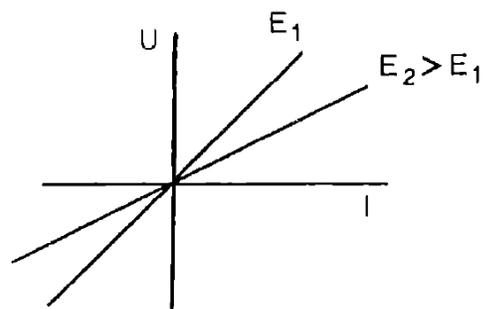
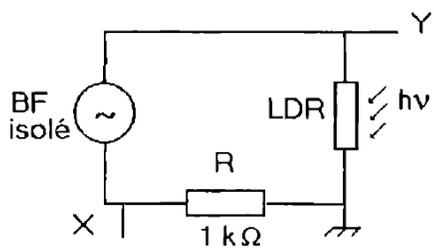


FIGURE 4 – Principe de la caractéristique photorésistance (Duffait)

1.2 Étude de la linéarité

1.2.1 Photodiode

On utilise la loi de Malus pour tester la linéarité du capteur : La loi Malus s'écrit :

$$I \propto \cos^2(\theta)$$

On veut vérifier : $i = \alpha\phi + \beta$

Linéarité :

Mesurer : $\langle U_R(\theta) \rangle = \frac{U_R(\theta) + U_R(-\theta)}{2}$ (c'est plus précis)

$i = U_R/R$ donc on fait la régression $i = \alpha \cos^2(\theta) + \beta$

On vérifie la linéarité mais on ne peut pas remonter à la sensibilité... dommage.

Si on met un filtre on est monofréquentiel... ça serait mieux mais on a moins d'intensité. *Dans ce cas préciser que les polariseurs sont bien des polariseurs mais à une seule longueur d'onde et expliquer pourquoi on a fait le choix de ne pas mettre de filtre.*

1.2.2 Sensibilité de la photodiode

On a avec la manip précédente : $i = \alpha\phi + b$. Maintenant on cherche α .

On illumine l'entièreté de la photodiode avec un laser de puissance connue. Pour connaître la puissance d'un laser on utilise un puissance mètre (Sanwa suffisant pour ce que l'on veut montrer, sinon il en existe des plus performant mais il y a un logiciel avec que je connais pas). On a donc une relation mais on a deux inconnues... Donc il faut aussi prendre la valeur de i en totale obscurité (si l'obscurité est pas très obscure prendre du papier noir...). A chaque fois on mesure la tension aux bornes de la résistance et on déduit i en divisant par la résistance. On déduit α : la sensibilité :

$$\alpha = \frac{\delta i}{\delta \phi}$$

Il faut faire attention que la puissance du laser ne soit pas trop forte pour qu'on soit encore dans la zone de linéarité de pour la faire la mesure de sensibilité (si besoin on peut utiliser un polariseur devant le laser pour diminuer ça puissance, ce qui est important c'est que connaître la puissance et de mettre l'intégralité du faisceau mesuré sur la photodiode.) Comme on a déjà une droite, une mesure à 2 points est "ok". Parler d'incertitudes...

On peut parler de rendement quantique... ou pas

On a moyen de calculer des nombres de photon ?

1.2.3 Photorésistance

On ne s'attend pas à un profil linéaire, c'est tout l'intérêt de le montrer!!

Linéarité de la photorésistance

Même montage de Malus, on repère la résistance (ohmètre ou montage Jolidon p176) en fonction de $\cos^2(\theta)$.

C'est (vraiment) pas linéaire.

1.3 Réponse spectrale

Il paraît que c'est dur... On fait pas il y a largement assez là!

1.4 Étude de la réponse dynamique

1.4.1 Photodiode

Diode laser commandé par un signal TTL (kHz). Mesure du temps de montée et de descente de la photodiode. Ici, la mesure est pertinente parce que le temps caractéristique de variation de la source (de l'ordre de la nanoseconde pour la diode laser) est très petit devant le temps de réponse du capteur, donc c'est OK.

Mesure de temps de réponse des capteurs :

On mesure le temps de réponse en mesurant 90% de la valeur asymptotique.

- On règle à l'oscillo, pour avoir un signal de fréquence 10kHz. (On prends la sortie sync pour avoir un signal TTL je crois)
- Reprendre le montage avec la résistance de charge. On trouve un temps de réponse de l'ordre de 10s. Ici on peut mesurer aux bornes de la photodiode directement (cela ne change rien au montage, car mesurer U_R (pour avoir i) ou U revient au même car on a une résistance de charge réelle). On peut faire ce choix pour "justifier" la modélisation de capacités en séries de la photodiode... je sais pas trop...
- On relève le temps de montée et de descente pour différentes valeurs de résistance de charges entre 5 et 40k.
- La pente nous donne une grandeur homogène à une capacité qui correspond à la capacité équivalente du système (Photodiode $\simeq 100pF$, coax $\simeq 110pF$ et oscillo $\simeq 12pF$). Valeurs trouvées par Jolidon : $\alpha_m = 443pF$ et $\alpha_m = 462pF$

1.4.2 Photorésistance

On peut faire de même et montrer que c'est bien plus long on utilise un hacheur mécanique (voir montage semi conducteur)

2 Capteur CCD

La barrette CCD renvoie un signal temporel correspondant à un échantillonnage pixel par pixel.

Principe de la mesure : on fait l'image d'une grille (apparemment c'est mieux résolu qu'une fente) sur le capteur CCD. On observe la largeur d'une bande sombre à l'oscillo. A partir de la taille de l'image (mesurée sur un écran à la place de la barrette ou à partir de la taille réelle et du grandissement), on compare la taille de la bande sombre sur l'oscillo et le nombre de pixel (prendre plusieurs bandes pour être plus précis).

- Faire l'image de la grille sur la barrette CCD avec une lampe QI + AC. L'image doit prendre tout le capteur, mais pas en dépasser.
- Pour s'assurer qu'on fait bien l'image sur le capteur : déjà, se placer à la bonne hauteur... Et ensuite, avant et après l'image géométrique, le signal doit être flouté sur l'oscillo (ie plus large et moins intense). Utiliser un diaphragme pour diaphragmer ; la barrette ne doit pas être saturée pour repérer le minimum d'intensité.
- Compter le nombre de pixels correspondant à une frange sombre : on compte toutes les franges sombres et on divise par le nombre de franges.

On a : taille des franges (sur la barrette) \times nombre de frange (nf) = nombre de pixels dans les franges (np) \times taille d'un pixel

La taille des franges est donnée par : $A'B' = AB \times F'A'/f'$ (Thales) donc $A'B' = AB \times f'/FA$ avec la relation de Newton. D'où : $A'B' = AB \times f'/(OA - f')$ et ainsi la taille d'un pixel est donnée par :

$$px = \frac{n_f}{n_p} \times \text{taille réelle} \frac{f'}{OA - f'}$$

Eventuellement : mesurer f' par la méthode de Bessel pour avoir une incertitude et propager les incertitudes. Si on diaphragme, on ne voit plus les franges.

3 Conclusion

Photodiode : pas cher, linéaire dans le visible, temps de réponse court. Utilisation : télécommandes, mesures quantitatives. Photorésistance : pas cher, peu linéaire, long temps de réponse, bonne sensibilité dans le visible. Utilisation : éclairage urbain, détection de système de commande. Reste à explorer les réponses spectrales... Si on a parlé du CCD, on peut dire que : c'est une association de photodiodes donc les contraintes de la photodiode existent toujours. Ca permet néanmoins de faire des images entières.