

MP₃₂ : PHOTORÉCEPTEURS

13 décembre 2017

Bah voilà, je contre-questionne
JB

Élise Camus & Maxime Martinez

Commentaires du jury

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.

2012 : Ce montage se prête à l'utilisation à la fois des composants fondamentaux et de matériel grand public (photodiode, cellule solaire, capteur CCD, bolomètre...). Ne pas confondre une photodiode nue avec un bloc formé d'une photodiode et d'un circuit de polarisation.

2007, 2008 : Il existe d'autres photorécepteurs que la photodiode. Un éclairage d'intensité variable peut s'obtenir en utilisant deux polariseurs conformément à la loi de Malus.

2005 : Le temps de réponse d'un photorécepteur peut dépendre du circuit dans lequel ce composant est inséré.

Jusqu'en 2000, le titre était : Photorécepteurs. Caractéristiques métrologiques (sensibilité spectrale, linéarité, résolution...). Applications.

2000 : Les termes de résolution (plus petite variation détectable de la grandeur d'entrée) et de sensibilité (rapport de la variation de la grandeur de sortie à la variation de la grandeur d'entrée qui l'a provoquée) ne sont pas de vagues concepts substituables : ils ont une définition et un sens précis. De même, lorsque la résolution spectrale est étudiée, elle est rarement définie convenablement. L'une des difficultés pour l'étude des photorécepteurs est que les mesures absolues sont difficiles, car elles nécessitent l'emploi de thermopiles ou d'autres détecteurs à sensibilité spectrale relative constante sur une large étendue spectrale. On peut contourner cette difficulté en faisant des hypothèses sur le spectre d'émission de telle ou telle source, mais il faut alors le préciser sans ambiguïté.

1999 : Les thermopiles comportent souvent un filtre optique infrarouge qu'il convient de retirer avant utilisations. La liste des caractéristiques métrologiques citées dans le titre du montage pour certaines n'est qu'indicative : toutes ne sont pas à traiter impérativement, et il en existe d'autres.

Bibliographie

- **Fruchart** dit *Jolidon* clairement il fait le job, tout seul
- **Duffait** en complément pour une zoologie un peu plus descriptive des différents capteurs

Table des matières

1	Présentation	2
1.1	Photorésistance	2
1.2	Choix des intégrations	2
2	Linéarité	3
2.1	Photodiode	3
2.2	Photorésistance	3
3	Temps de réponse	3
3.1	Protocole	3
3.2	Photodiode	3
3.3	Photorésistance	3
4	Taille d'un pixel d'une barrette CCD	3

Introduction

Notre oeil limité : 24 image/s, spectre visible. Photorecepteurs thermiques : mesure de la température dans un matériau en fonction du flux reçu. Photorécepteurs photoniques : effet photo-électriques.

Pour les deux première parties, elles sont un complément à la lecture du Jolidon, dans lequel a peu près tout est expliqué, ici il y a juste quelques astuces. La troisième partie est plus détaillée

1 Présentation

1.1 Photorésistance

Tracé dynamique des caractéristiques : un GBF délivre une tension sinusoïdale, ensuite il faut mettre le composant en série avec une résistance et mesurer les deux tensions (attention la masse de l'oscillo doit être au milieu, donc l'intensité doit être inversée sur l'oscillo : en mode XY, il faut appuyer sur le bouton de la voie en question puis *invert*).

Grandeur photosensible :

- Photorésistance : conductance
- Photodiode : photocourant

Avec les capteurs on préfère travailler avec des tensions, donc on intègre les photorécepteurs dans un circuit (attention l'étude de la linéarité de la photorésistance n'est pas fait avec le circuit dans le Jolidon, mais c'est plus simple -et pertinent, le montage est de plus utilisé et expliqué dans le chapitre étude dynamique)

1.2 Choix des intégrations

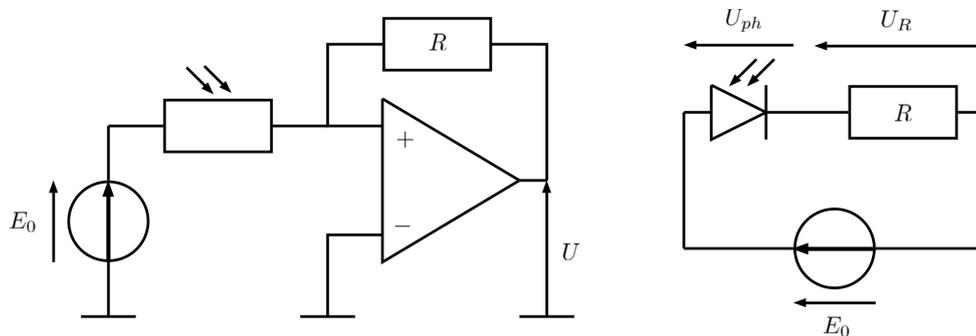


FIGURE 1 – Montages et notations utilisées

Pour les deux capteurs on veut (pour la suite) une réponse en tension qui soit entre 0 et 10V afin d'avoir une bonne résolution.

Photodiode

- se mettre en éclairage minimal
- on fixe $U_{ph} = 10V$ avec E_0
- se mettre en éclairage maximal, tracer $U_R = f(R)$, tant que c'est linéaire, le point de fonctionnement se déplace sur le plateau, dès que ce n'est plus le cas c'est que l'on sort du plateau : balayer rapidement de $10k\Omega$ en $10k\Omega$ jusqu'à saturation de U_R (deux trois points), l'intersection du plateau et de la droite donne directement R_{max} , se placer en dessous

Photorésistance $U = -\frac{g}{RE_0}$ (g conductance)

- se mettre en éclairage maximal
- fixer $R = 1k\Omega$
- choisir E_0 tel que $U_{ph} \sim 10 V$

2 Linéarité

Principe : on utilise la loi de Malus (1 polariseur, 1 analyseur), pour déterminer la réponse de la grandeur photosensible en fonction du flux ($I \propto \cos^2 \theta$) On utilise le montage décrit dans le Jolidon p.145. La seule subtilité est de minimiser l'erreur sur la mesure de l'angle d'extinction par la ruse suivante (l'explication est détaillée)

$$\bar{S}(\theta) = \frac{1}{2}(S(\theta) + S(-\theta))$$

2.1 Photodiode

C'est linéaire. A noter : on a ici accès uniquement à un flux relatif, on ne peut donc pas remonter à des grandeurs tabulées. Le courant pour un flux nul, correspond au courant d'obscurité (le bruit lumineux dans notre expérience, c'est une forme d'erreur systématique)

2.2 Photorésistance

C'est pas linéaire. L'avantage du montage à AO est qu'il donne accès directement à g et notre modèle est en g , inconvénient : la non linéarité est plus visible en r (on peut éventuellement la tracer à titre informatif).

Pour l'ajustement de la conductance selon le modèle

$$g = g_0 \left(1 + \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \theta_c} \right)^\alpha$$

Il faut bien voir que g_0 est la valeur de g pour l'éclairement le plus faible, c'est donc un ajustement à deux paramètres (sinon regressi est perdu, il faut même lui suggérer $\alpha \sim 0.7$ pour qu'il converge).

3 Temps de réponse

3.1 Protocole

On utilise une diode laser dont le temps de montée est de l'ordre de la nanoseconde, donc qui donne un signal propre comme référence (à comparer avec ce que l'on va trouver). Pour un TTL propre et un alim correcte, les modules hameg sont biens.

On peut mesurer le temps de réponse directement à l'oscillo. Attention, au mode de couplage.

3.2 Photodiode

Les explications du montage sont détaillés dans le Jolidon, il faut bien comprendre qu'au vu du temps de réponse de la photodiode, on doit prendre en compte les effets capacitifs de l'oscilloscope et du cable coax.

3.3 Photorésistance

Dans le Jolidon, ils utilisent un hacheur en faisant varier l'intensité comme précédemment, car le temps de réponse dépend de l'intensité. MAIS, au bout d'un moment les données ne sont plus exploitables à cause du hacheur (allez lire le paragraphe). Ici, on a préféré étudier les temps de réponses pour un seul flux, mais en utilisant la diode laser.

4 Taille d'un pixel d'une barrette CCD

L'idée est de reprendre une manip proche de celle proposée par Guillaume et Bastien dans le montage "instruments d'optique". On détaille un peu plus la manip vu qu'elle n'est pas dans les bouquins.

Matériel : interface (oscillo ou Latis Pro), QI + AC, lentille (achromat de 120 cm c'est bien), dépoli, un objet (dans notre cas, une grille) et bien sur un capteur CCD (Calien ou une autre boîte, vieille et moche mais robuste), un binôme de qualité.

Mise en place : QI + AC suivi du dépoli suivi de la grille. Ensuite on fait l'image de l'objet sur la barrette CCD du capteur grâce à la lentille. Suivant la taille de l'objet, ajustez les distances grille - lentille - capteur pour avoir

un grandissement $>$ ou $<$ 1 (le but étant que l'image rentre sur le capteur, mais prenne un maximum de place pour minimiser les incertitudes quand on va compter les pixels). Ici la grille est un objet transparent avec un quadrillage noir imprimé qui a l'air d'être celui d'un papier millimétré mais en fait, non.

Pourquoi une grille plutôt qu'une fente? Parce que les bords sont mieux définis. Il est toujours plus facile de regarder où il fait noir que où il fait lumière. Bref, on a remarqué expérimentalement que les transitions sont plus nettes avec un objet transparent aux détails sombres que l'inverse.

Réglage de la QI :

- il faut élargir au maximum le faisceau de manière à éclairer le plus homogènement le dépoli, pour ne pas former l'image du dépoli éclairé. Le but est de diffuser au maximum pour perdre en luminosité.
- ON PREND UNE QI A INTENSITE VARIABLE (LA VIE $<$ 3). IL NE FAUT PAS QUE LE CAPTEUR SATURE. LA SATURATION DEFORME LE SIGNAL DONC BIAISE LA MESURE.

Note technique fondamentale : la barrette CCD est à environ 4 cm du bord du boîtié, si bien qu'on ne peut pas bien voir directement si l'image de l'objet est formée correctement (i.e. nette) sur le capteur (et pas avant ni après). Petite astuce pour savoir si vous êtes à la bonne distance de la lentille : une fois une faible intensité réglée de sorte à avoir un signal visible mais non saturé, déplacez la potence (ou le support boy) sur laquelle vous aurez fixé le capteur. Si vous ne voyez pas de signal : l'image est peut-être en dehors du capteur. Si ce n'est pas le cas, alors normalement avant et après l'image géométrique, la tâche est plus large et moins intense. Vous êtes au bon endroit lorsque vous êtes au maxima d'intensité (ou au minima, suivant que vous regardez une obscurité (objet = fente) ou une obscurité (grille)).

Schéma :

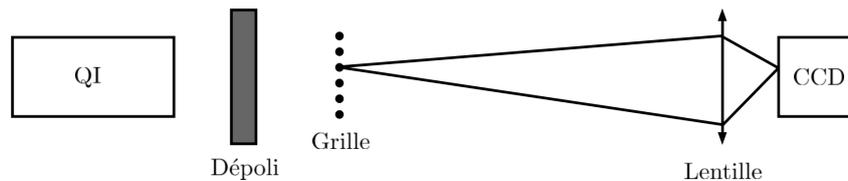


FIGURE 2 – Montage utilisé

Exploitation :

D'après la formule de conjugaison de NEWTON et le théorème de THALÈS, avec les notation usuelles (objet AB , focale f' , centre lentille O , foyer image F') :

$$\frac{A'B'}{F'A'} = \frac{AB}{f'} \Rightarrow A'B' = AB \times \frac{f'}{FA} = AB \times \frac{f'}{OA - f'}$$

OA et f' sont fixés par l'utilisateur en fonction des lentilles disponibles, de la place sur la paillasse disponible et du grandissement souhaité mais le principal est qu'ils (OA et f') soient mesurés précisément.

Le CCD converti une information d'intensité lumineuse sur une dimension en un signal temporel. Sur l'oscilloscope ou Latis, on voit donc l'image restitué pixel par pixel. La mesure consiste à déterminer le temps de lecture associé à la distance entre les deux traits (image de la grille) les plus éloignés (pour minimiser l'incertitude), à partir de cette mesure de temps on peut remonter au nombre de pixels associés (en connaissant le temps de lecture total est le nombre de pixels total). Puis à la taille d'un pixel

$$\text{taille pixel} = \frac{\text{taille réelle objet}}{\text{nombre de pixels associés à l'image}} \times \text{grandissement} = \frac{\text{taille objet}}{\text{nombre de pixels}} \times \frac{f'}{OA - f'}$$

f' peut (doit?) être déterminée avec la méthode de Bessel pour pouvoir avoir non seulement sa valeur précise mais aussi une idée de l'incertitude car on en a besoin pour avoir l'incertitude sur la taille du pixel...

P.S. : Maxime t'es le plu bo

P.S.2 : nan ctwa

PPS : chiche on laisse ça ?

PPSSPSP : ok :)))