

TD7

TD 7 / DÉTECTER DES PHOTONS

Correction

Exercice 1 - Photodiode et système de détection

Notions abordées

- ▷ paramètres importants d'une photodiode

On se propose d'étudier la documentation technique de la photodiode SFH donnée en annexe.

Précisez quels sont les paramètres importants à prendre en considération pour le choix et l'utilisation d'une photodiode.

Complément d'information

On peut revenir sur la fiche résumé Diodes / LEDs / Photodiodes pour voir les paramètres électriques et optiques importants d'une LED et d'une photodiode.

Réponse

- tension inverse maximale / Reverse Voltage (p.2)
- puissance maximale admissible / Total Power Dissipation (p.2)
- courant photonique pour un éclairement particulier / Photocurrent (p.2) - 1mW/cm2 équivalent à??
- intervalle de longueurs d'ondes utilisable / Spectral range of sensibility (p.2)
- sensibilité spectrale / Spectral Sensibility (p.2)
- demi-angle / Half Angle (p.2)
- temps de réponse / Rise and Fall Time (p.3)
- tension direct / Forward Voltage (p.3)
- capacité parasite / Capacitance (p.3)

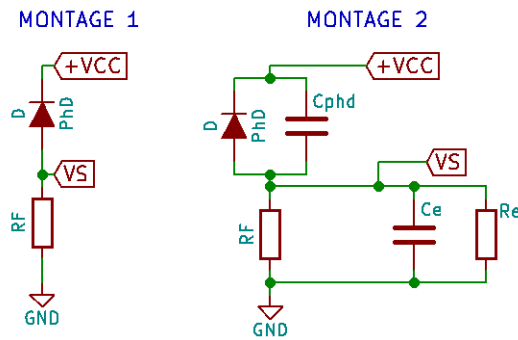
On peut également s'intéresser aux graphiques suivants : Relative Spectral Sensibility (p.4), Dark Current (p.4), Capacitance (p.5) et Directionnal Characteristics (p.5)

Exercice 2 - Photodiode et système de détection

Notions abordées

- ▷ modèle de la photodiode
- ▷ système de photodétection

On se propose d'étudier successivement ces deux montages :



1. Calculer la tension V_S en fonction du courant résultant de la photodiode, qu'on notera I_{phd} pour le montage 1.
2. calculer la tension V_S en fonction du flux lumineux reçu, noté Φ_e , si on note k la sensibilité (en A/W) de la photodiode pour le montage 1.

Réponse

Par application de la loi d'Ohms, le courant qui sort de la photodiode passe par la résistance R_F .

On a donc : $V_S(t) = R_F \cdot I_{phd}(t)$.

De plus, $I_{phd}(t) = k \cdot \Phi_e(t)$, on a donc : $V_S(t) = k \cdot R_F \cdot \Phi_e(t)$.

Complément d'information

On peut insister sur le fait que $k \cdot R_F$ est la sensibilité du montage de photodétection, alors que k est la sensibilité de la photodiode.

3. A quoi peut correspondre l'impédance composée de R_e et C_e dans le montage 2 ?

Réponse

Cela peut modéliser l'entrée de l'oscilloscope et les câbles coaxiaux permettant de visualiser le signal résultant du système de photodétection.

4. A quoi correspond la capacité C_{phd} dans le montage 2 ?

Réponse

Il s'agit du modèle équivalent de la photodiode.

Exercice 3 - Modèle « petits signaux » du système de photodétection

Notions abordées

- ▷ étude en régime harmonique
- ▷ modélisation et limitation d'un système de photodétection « simple » (sans ALI)

On supposera dans la suite de ce problème que le système est linéaire et que le flux lumineux reçu est une combinaison d'un flux constant et d'une somme de flux sinusoïdaux, pouvant s'écrire :

$$\phi_{lum}(t) = \Phi_{ambient} + \sum_{i=1}^N \phi_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t)$$

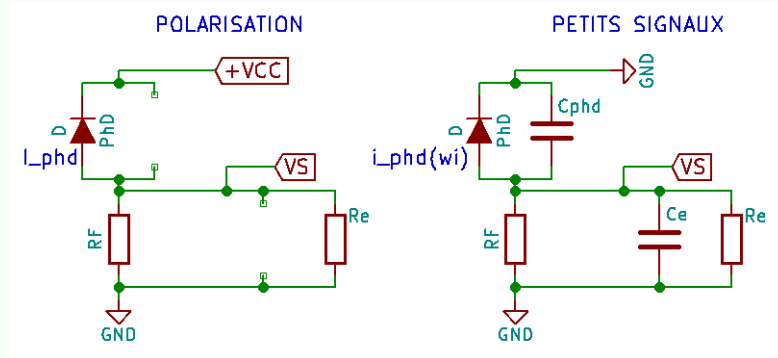
1. Montrer que par application du théorème de superposition, on peut décomposer l'étude de ce montage en 2 études distinctes, dont on donnera les schémas équivalents : (a) une étude en continu et (b) une étude en petits signaux.

Réponse

On peut décomposer le signal $\phi_{lum}(t)$ en $N + 1$ sources indépendantes : $\Phi_{ambient}$ source continue et N sources de fréquence f_i .

Comme le système est linéaire, on peut alors appliquer le théorème de superposition. On peut alors sommer les causes de chacune des sources indépendantes.

On peut alors réaliser l'étude en polarisation indépendamment de l'étude en petits signaux, en s'intéressant aux 2 montages suivants :



2. Calculer V_{Scont} correspondant à l'étude en continu du système, en fonction de $\Phi_{ambient}$ et des différents éléments du montage.

Réponse

$$V_{Scont} = (R_F // R_e) \cdot I_{phd} = (R_F // R_e) \cdot k \cdot \Phi_{ambient}.$$

Complément d'information

Insister sur le fait que selon la valeur de R_F par rapport à R_e , R_e peut ne pas être négligée dans le calcul. En effet, R_F est souvent de l'ordre du $M\Omega$.

3. Calculer $V_S(f_i)$ correspondant à l'étude en petits signaux pour une fréquence particulière f_i , en fonction de ϕ_i et des éléments du montage.

Réponse

L'ensemble des éléments sont en parallèle. On obtient donc la relation suivante : $V_S(f_i) = k \cdot \phi_i \cdot (R_e // R_F // C_{phd} // C_e)$.

En appelant $Y = 1/(R_e // R_F // C_{phd} // C_e)$, on obtient $V_S(f_i) = k \cdot \phi_i / Y$ avec :

$$Y = \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_e} + j \cdot (C_{phd} + C_e) \cdot \omega_i$$

$$Y = \frac{R_e + R_F}{R_F \cdot R_e} \cdot (1 + j \cdot \omega_i \cdot (C_{phd} + C_e) \cdot \frac{R_F \cdot R_e}{R_e + R_F})$$

On obtient alors :

$$\frac{V_S(f_i)}{\phi_i} = k \cdot \frac{R_F \cdot R_e}{R_e + R_F} \cdot \frac{1}{(1 + j \cdot \omega_i \cdot (C_{phd} + C_e) \cdot \frac{R_F \cdot R_e}{R_e + R_F})}$$

4. Quel type de comportement obtient-on ? De quoi dépend-il ?

Réponse

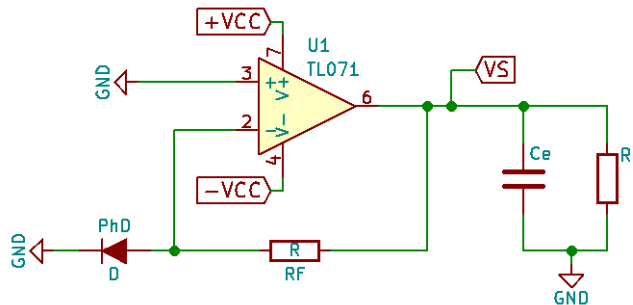
On retrouve alors le comportement d'un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure $\omega_0 = \frac{R_e + R_F}{R_F \cdot R_e \cdot (C_{phd} + C_e)}$.

Exercice 4 - Montage transimpédance

Notions abordées

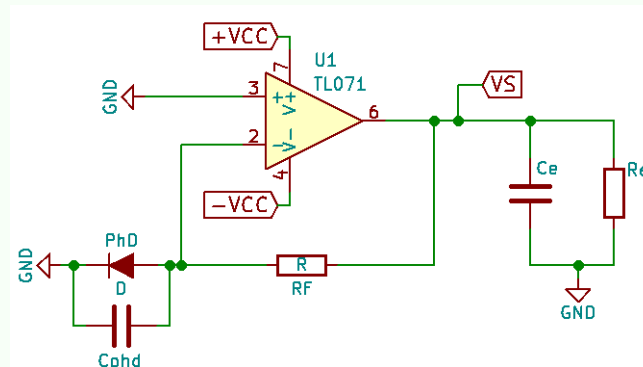
- ▷ fonction de transfert d'un montage transimpédance
- ▷ avantages et limitations d'un montage transimpédance

On considère le montage récepteur à photodiode suivant. L'amplificateur linéaire intégré (ALI) est alimenté en ± 15 V. On note $\Phi_{lum}(t)$ le flux lumineux reçu par la photodiode et k sa sensibilité.



1. Donner le modèle petits signaux du montage.

Réponse



On peut remarquer dans ce modèle que la capacité C_{phd} est soumise en permanence à une tension nulle.

2. Exprimer la tension de sortie $V_S(f_i)$ en fonction de ϕ_i et des éléments du montage.

Réponse

L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire (contre-réaction négative). On a alors : $V_+ = V_-$. De plus, $V_+ = 0$.

On a alors : $V_S(f_i) = -R_F \cdot k \cdot \phi_i$.