

## TD4 \_ CI



Intégrer dans votre cahier de TP/TD :

- La préparation.
- Les notes prises durant le TP/TD avec schémas, commentaires, remarques et conclusions.

### BUT DU TD

- Mise en œuvre de photodétecteurs et absorbance
- ..

**Exercice 1 :** Une photodiode PIN génère en moyenne 1 paire électron-trou pour 3 photons incidents à la longueur d'onde de  $0,8 \mu\text{m}$ .

- Quelle est son rendement quantique ?
- Quelle est la largeur de bande interdite maximale possible pour le semiconducteur qui constitue la photodiode ?
- Quel est le photocourant débité pour une puissance optique incidente de  $100 \text{ nW}$  ?

**Exercice 2 :** Une photodiode PIN a un rendement quantique externe de  $60 \%$  à la longueur d'onde  $\lambda = 0,9 \mu\text{m}$ , et une capacité  $C = 6 \text{ pF}$ .

- Calculer la résistance de charge maximale pour obtenir une bande passante de  $8 \text{ MHz}$ .
- On amplifie la tension développée aux bornes de la résistance de charge à l'aide d'un amplificateur de tension dont l'impédance d'entrée se limite à une capacité  $C' = 4 \text{ pF}$ . Que devient la bande passante ?
- La photodiode reçoit une puissance optique de  $200 \text{ nW}$  à la longueur d'onde  $\lambda = 0,9 \mu\text{m}$ . Son courant d'obscurité est de  $3 \text{ nA}$  et la résistance de charge  $R_L$  utilisée a la valeur calculée en a). Comparer le bruit shot avec le bruit thermique pour une température de  $20^\circ\text{C}$ . Conclusion ?

**Exercice 3 :** Une photodiode PIN silicium travaille à la longueur d'onde  $\lambda = 0,85 \mu\text{m}$  avec un rendement quantique  $\eta_{\text{ext}} = 0,6$ . Elle est utilisée pour détecter un signal optique modulé sinusoïdalement en amplitude à 50 MHz avec un taux de modulation de 50 %.

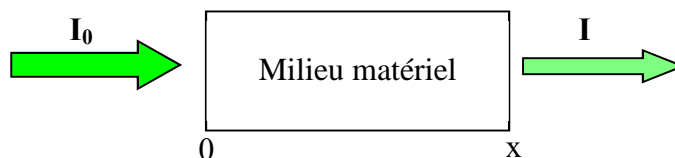
Son courant d'obscurité est de 4 nA et sa capacité de jonction est de 3 pF. La capacité parasite ramenée par le boîtier est de 1 pF. Cette photodiode est associée à une résistance de charge  $R_L = 50 \Omega$  et à un préamplificateur dont la densité spectrale de bruit en courant est égale à  $\sigma_a = 4.10^{-25} \text{ A}^2.\text{Hz}^{-1}$

La puissance optique crête reçue  $P_c$  est de 300 nW. L'expression générale du flux optique  $\phi$  reçu est de la forme  $\phi = \phi_1 + \phi_2 \cos \omega t$

- Donner l'expression générale du courant total  $I_{\text{total}}$  (AC + DC) traversant  $R_L$ . Calculer la composante DC ( $I_1$ ) et la composante utile AC ( $I_2$ ). Quelle est la valeur efficace  $I_{\text{eff}}$  de la composante utile AC (le signal utile) ?
- Calculer le rapport signal à bruit pour une température de fonctionnement  $T = 300 \text{ K}$  et une bande de mesure de 5 MHz. Quel est le bruit prépondérant ?
- Que faut-il faire pour améliorer ce rapport signal à bruit ? Dans quelle mesure est-ce possible si on veut avoir une fréquence de coupure  $f_c$  de 50 MHz ? Calculer dans ce cas le rapport signal à bruit optimal.

**Exercice 4 :**

Rappel :



Loi de Beer-Lambert :  $I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$

$I_0$  représente l'intensité lumineuse à l'entrée du milieu.

Pour une solution, on écrit généralement cette équation sous la forme :

$$I(x) = I_0 10^{-\epsilon L C}$$

avec :  $\epsilon$  : coefficient d'absorption qui dépend de la solution, de la longueur d'onde et de la température.

$L$  : épaisseur de la solution

$C$  : concentration de la solution

On définit alors l'absorbance  $A$  de la solution par :

$$A(\lambda) = \text{Log} \frac{I_0}{I} = \epsilon L C \quad (A \text{ est sans unité})$$

L'absorbance  $A$  d'une solution contenant une espèce colorée à la concentration  $C$  dépend de la longueur d'onde de la radiation utilisée. Elle est proportionnelle à l'épaisseur  $L$  de la solution et à la concentration  $C$  de l'espèce colorée absorbant plus ou moins la radiation.

Si l'épaisseur  $L$  est constante on peut aussi écrire :

$$A(\lambda) = K C$$

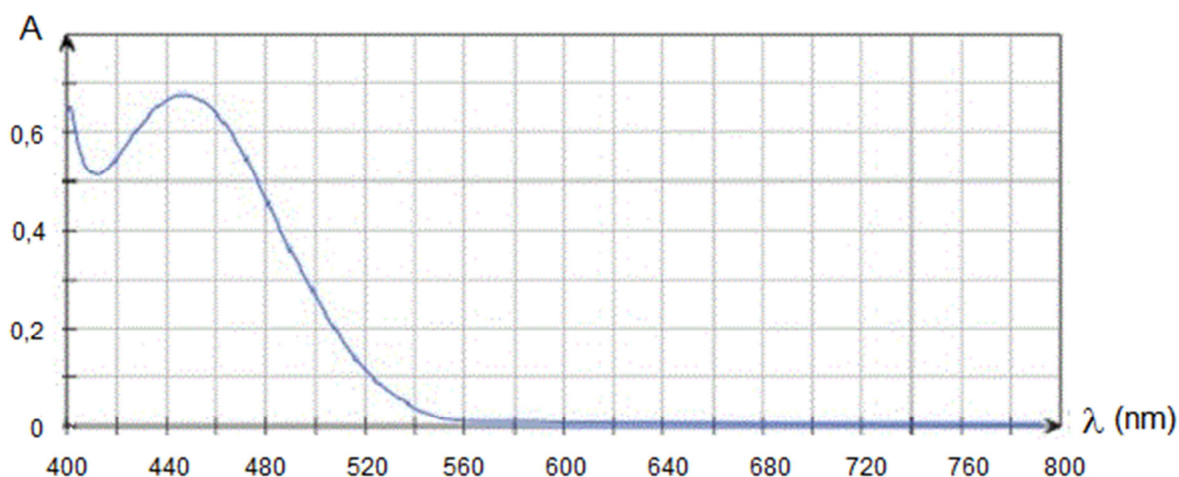
Si l'énergie lumineuse associée à la radiation de longueur d'onde  $\lambda$  n'est pas du tout absorbée par la solution étudiée alors l'absorbance  $A(\lambda)$  de la solution est égale à 0.

L'énergie est transmise à  $10^0 = 1 = 100 / 100 = 100 \%$

Si l'énergie lumineuse est absorbée à 99 % par la solution étudiée alors l'absorbance  $A(\lambda)$  est égale à 2.

L'énergie est transmise à  $10^{-2} = 1 / 100 = 1 \%$

La courbe d'absorbance d'une solution de couleur orangée en fonction de la longueur d'onde a été tracée à l'aide d'un spectrophotomètre :



On mesure ensuite à la longueur d'onde  $\lambda = 450 \text{ nm}$  l'absorbance de cette solution en fonction de la concentration en colorant. On a alors le tableau d'étalonnage suivant :

C en %	20	35	50	70	90
A	0,18	0,31	0,445	0,62	0,8

- Pourquoi a-t-on utilisé la longueur d'onde de 450 nm ? Quelle la couleur de cette radiation ? Quel est le lien avec la couleur de la solution ?
- Tracer la courbe d'absorbance en fonction de la concentration. La loi de Beer-Lambert est-elle vérifiée ?
- En diluant 3 fois cette solution, on trouve une absorbance  $A = 0,225$ . Quelle est alors la concentration de cette solution ?

## TD5 \_ FILTRES ANALOGIQUES



Intégrer dans votre cahier de TP/TD :

- La préparation.
- Les notes prises durant le TP/TD avec schémas, commentaires, remarques et conclusions.

### BUT DU TD

- Mise en œuvre de la méthode de synthèse des filtres analogiques
- Simulation sous l'environnement LT Spice

### 1.1 Le filtrage analogique en basse fréquence.

Rappelons que pour réaliser des filtres analogiques d'ordre élevé, en basse fréquence ( $f < 100$  kHz), différentes approches sont envisageables:

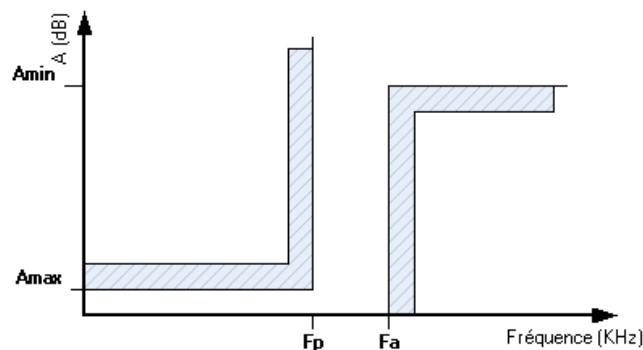
- Filtres passifs à éléments R, L et C : Simples dans le principe, ces filtres s'avèrent difficiles à calculer et à réaliser.
- Filtres actifs : Constitués de composants R, C et d'éléments actifs (Transistor, amplificateur opérationnel...), ces filtres présentent l'avantage de supprimer l'utilisation d'inductances et permettent la simplification des calculs en autorisant un découpage du filtre en cellules élémentaires du premier et du second ordre. Toutefois, il faut préciser que ces filtres offrent de moins bonnes performances en termes de dynamique et de bruit, tout en nécessitant un nombre accru de composants et une alimentation extérieure.
- Filtres actifs à capacités commutées : Ce composant monolithique intègre sous forme de réseau à variable d'état, tous les composants indispensables à la réalisation de 2 à 4 cellules de filtrage du second ordre. Les réglages de la fréquence de coupure et du coefficient de qualité sont assurés par le choix des résistances et de la fréquence d'horloge du circuit. Le principe, consistant à commuter une capacité au rythme de l'horloge pour fixer la fréquence de coupure des étages intégrateurs, impose de considérer ce montage comme un système échantillonné.

Remarque : Dans ce TD, seule l'approche basée sur la cascade de filtres actifs est abordée.

### 3. SYNTHESE D'UN FILTRE:

#### Gabarit du filtre à réaliser :

On souhaite réaliser un filtre à partir du gabarit suivant :



Tel que  $A_{min} = 40\text{dB}$ ,  $A_{max} = 1\text{dB}$  et  $F_p = 1\text{kHz}$   $F_a = 1,4\text{kHz}$ .

#### 3.1 Détermination des caractéristiques du filtre

On optera dans ce TD pour une réponse du type **Tchebychev**. Rappeler les avantages et inconvénients de cette méthode.

A partir des informations du gabarit, et des abaques fournies:

- Indiquer la nature et l'ordre du filtre
- Etablir l'expression de la fonction de transfert
- Identifier les caractéristiques essentielles de chaque cellule (coefficient de qualité  $Q$ , fréquence de surtension et coefficient de surtension).

#### 3.2 Filtre actif à amplificateurs opérationnels

Les caractéristiques des différentes cellules du filtre étant définies, il faut désormais, pour chaque cellule, déterminer la structure adéquate, puis choisir et calculer les composants utilisés dans cette cellule. Dans cette partie, la structure imposée des cellules du second ordre sera une structure à source contrôlée de type « **Sallen -Key** ».

##### 3.2.1 Calcul des cellules du filtre

Déterminer les valeurs des éléments  $R$  et  $C$  pour la réalisation du filtre.

Conception du filtre.

Etablir le schéma électrique du filtre, puis testez séparément les cellules du premier et du second ordre.

Tracez la courbe de réponse en amplitude de chaque élément. Vérifiez qu'elles respectent les réponses théoriques. Si ce n'est pas le cas, améliorez votre montage ... car, vous ne pourrez pas obtenir un filtre répondant au gabarit, si une des cellules ne respecte pas les spécifications !

On pourra ajuster la valeur du coefficient de surtension en ajustant le gain de l'élément amplification (attention à l'extrême sensibilité du réglage).

Après avoir mis en série les cellules, tracez les courbes de réponses en amplitude du filtre obtenu en représentation de Bode et comparer par rapport au gabarit original. Observez la réponse en phase du filtre, commentez.