

ELEC-H-301 : Électronique appliquée

Séance 6 : analyse de problèmes d'électronique

Corrigé

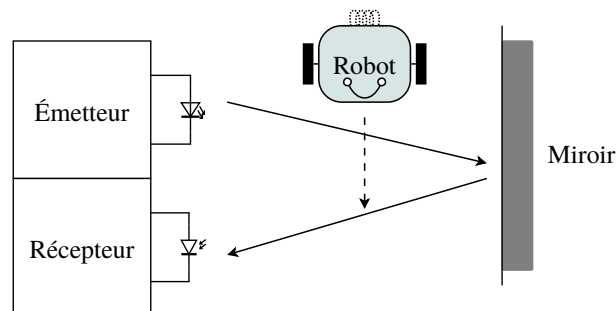
Cette séance d'exercices a pour objectifs de vous apprendre à :

- Bien contextualiser les problèmes d'électronique vus cette année.
- Sélectionner les bonnes méthodes de résolution de circuits électroniques.

Le chronomètre du projet BA2

Le but de ce problème est de concevoir une barrière photoélectrique pour détecter (et chronométrer) les robots du projet BA2 de la filière Electromec pour l'année 2016-2017.

Le dispositif est constitué comme suit :



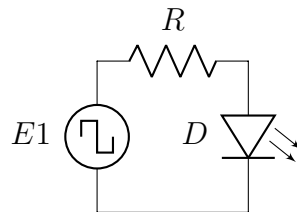
Pour améliorer la fiabilité de la barrière photoélectrique, le faisceau infra-rouge sera modulé.

Toutes les questions du problème sont **indépendantes**, il n'est pas nécessaire d'avoir répondu aux questions précédentes pour répondre à une question.

L'émetteur et le récepteur seront étudiés séparément, respectivement aux sections 1 et 2. Pour le récepteur, les différentes questions portent sur différents étages et sont indépendantes du contexte du problème.

1 Chronomètre : émetteur

L'émetteur est constitué d'une source de tension $E1$ produisant un signal rectangulaire 0–5V à 10kHz, rapport cyclique 10% :



Exercice 1. Sur base de la documentation fournie page suivante, dimensionnez R de façon à limiter le courant dans la diode à 100mA.

Réponse :

La courbe $I_F = f(V_F)$ permet de constater que $V_F = 1.35V$ pour $I_F = 100mA$, par conséquent $R = \frac{E - V_F}{I_F} = 36.5\Omega$.



www.vishay.com

TSAL6400

Vishay Semiconductors

BASIC CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)

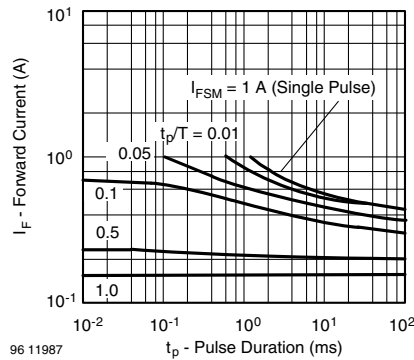


Fig. 3 - Pulse Forward Current vs. Pulse Duration

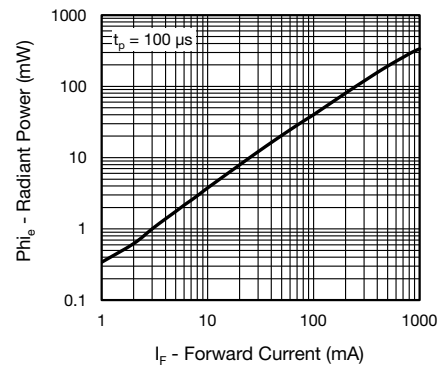


Fig. 6 - Radiant Power vs. Forward Current

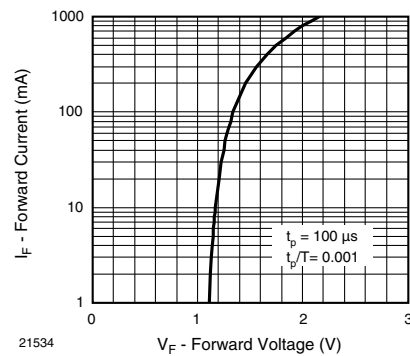


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

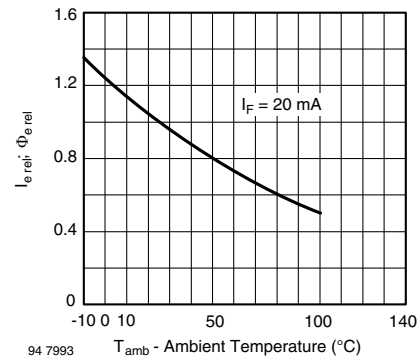


Fig. 7 - Relative Radiant Intensity/Power vs. Ambient Temperature

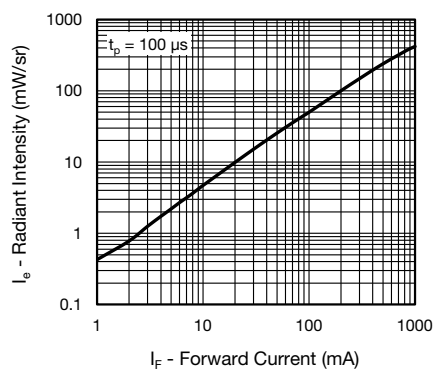


Fig. 5 - Radiant Intensity vs. Forward Current

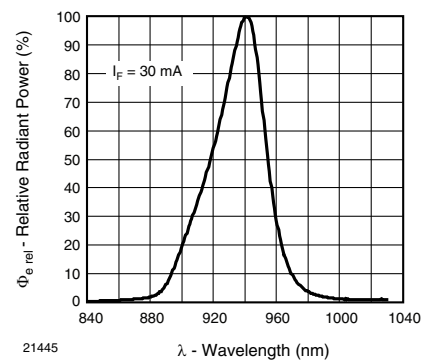
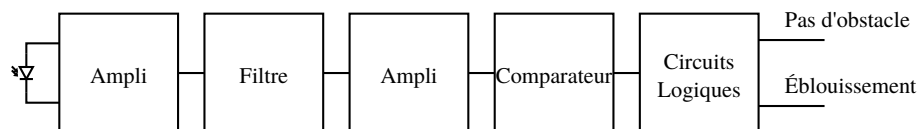


Fig. 8 - Relative Radiant Power vs. Wavelength

2 Chronomètre : récepteur

Le capteur infrarouge utilisé est une photodiode et nous allons l'utiliser comme source de tension. Le récepteur est constitué de multiples blocs (voir schéma ci-dessous) :

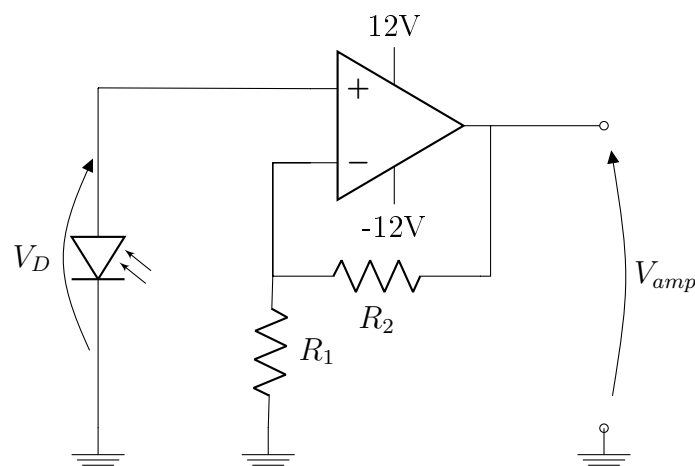
- photodiode (=capteur infra-rouge)
- amplificateur
- filtre
- deuxième amplificateur
- comparateur
- circuits logiques de sortie, deux sorties logiques :
 - "Pas d'obstacle" indique que le faisceau est établi entre l'émetteur et le récepteur.
 - "Éblouissement" indique que le circuit n'est plus capable de décider si le faisceau est établi parce que l'éclairage ambiant est trop important et/ou un signal parasite perturbe la mesure (malgré la modulation).



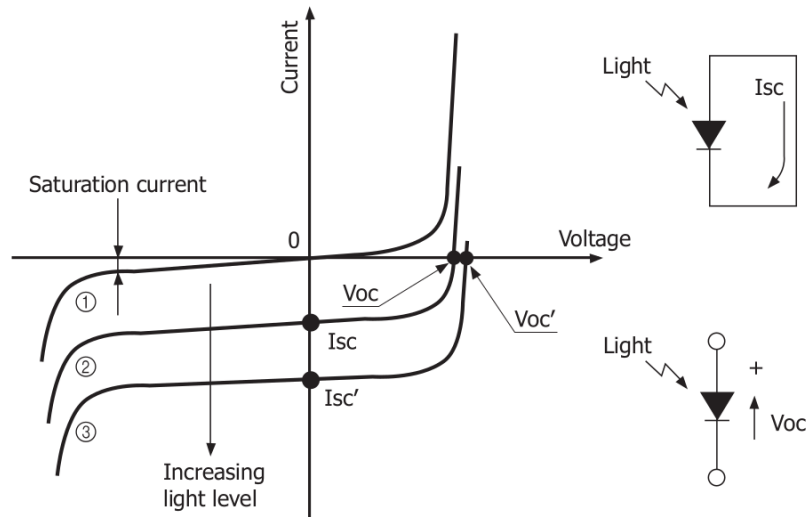
2.1 Photodiode+amplificateur

Les deux premiers étages du récepteur forment le circuit ci-dessous.

La photodiode est assimilable à une source de tension dont l'amplitude est proportionnelle à la puissance lumineuse reçue et vaut environ 0.5V en moyenne dans une pièce correctement éclairée.



Exercice 2. On utilise la photodiode en tant que source de tension. Marquez l'ensemble des points de fonctionnement possibles sur le graphe ci-dessous, *par rapport au circuit électrique de la page précédente* :



Réponse :

L'impédance d'entrée de l'AO est quasi infinie, par conséquent le courant circulant dans la diode est nul. Le point de fonctionnement est donc sur la demi-droite $[0, 0; V > 0, 0)$, par exemple v_{oc} ou v'_{oc} .

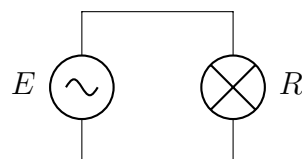
Exercice 3. Sachant que le produit gain-bande passante de l'amplificateur utilisé vaut 10^6 Hz et que la bande passante doit être supérieure à 100 kHz , dimensionnez R_1 et R_2 pour maximiser le gain.

Réponse :

$GBW = 10^6$, $BW = 10^5 \text{ Hz}$ donc $G_{max} = 10$, amplificateur non inverseur, $G = 1 + R_2/R_1$ donc $R_2 = 9 \cdot R_1 = 9 \text{ k}\Omega$. Étant donné qu'on ne donne pas davantage de contrainte sur les résistances, on peut choisir une valeur arbitrairement pour R_1 ou R_2 ($R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ dans notre cas).

2.1.1 Flux lumineux reçu

On souhaite pouvoir différentier le clignotement de la LED par rapport à l'éclairage ambiant.



Exercice 4. En considérant la lampe comme une charge purement résistive, démontrez que la puissance consommée (et par conséquent le flux lumineux émis) contient une composante continue et une composante alternative à 100Hz. Un raisonnement utilisant un graphique peut vous aider.

$$E = 311 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50t)V, R = 311\Omega$$

Réponse :

On peut résoudre en temporel :

$$p(t) = E(t)^2/R = 311 \cdot \sin^2(2\pi \cdot 50t)W = \frac{311}{2} \cdot (1 + \cos(2\pi \cdot 100t)).$$

En phaseurs : $P = E^2/R = E^2 \cdot e^{2j\omega}/R$, qui a une moyenne temporelle > 0

Ce qui permet de conclure que le flux lumineux émis par la lampe comporte une composante continue et une composante alternative à 100Hz.

Exercice 5. Qu'en est-il pour l'éclairage naturel (soleil) ?

Réponse :

L'éclairage solaire est constant au premier ordre (même si la couverture nuageuse fait apparaître des fréquences $\ll 1Hz$ dans le spectre).

2.2 Filtre

On fixe le seuil de détection à 0.1%, c'est à dire que la variation due au clignotement de la LED mesurée au niveau de la photodiode doit être supérieure à 0.1% de l'éclairage ambiant pour que le faisceau soit considéré comme établi. En dessous de 0.1% (ou si un obstacle occulte le faisceau), on considère le faisceau comme interrompu.

L'éclairage ambiant est tel que la photodiode produit une tension de 0.5V. La tension produite est une combinaison entre une composante continue et une composante alternative à 100Hz due à l'alimentation alternative des lampes. Le système doit fonctionner dans le cas extrême où l'éclairage ambiant est uniquement alternatif (0.5V, 100Hz).

La lumière de la LED de l'émetteur s'ajoute à l'éclairage ambiant. On décide que le faisceau lumineux entre l'émetteur et le récepteur est établi si la composante qui correspond à la LED a une amplitude supérieure à 0.5mV (0.1% de l'éclairage ambiant) dans la tension produite par la photodiode.

Pour simplifier la résolution, les contributions à la tension produite par la photodiode sont :

- éclairage ambiant : 0.5V, continu
- éclairage ambiant : composante alternative 0.5V, 100Hz, sinusoïdale
- LED de l'émetteur : 0.5mV, 10kHz, tension en créneaux (0–0.5mV, rapport cyclique 10%)

Exercice 6. Pour conserver la composante correspondant à la LED et atténuer les composantes de l'éclairage ambiant :

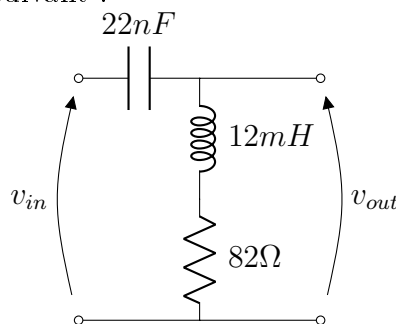
- quel type de filtre utiliser ?
- spécifiez ses caractéristiques (ordre, gain, fréquences...)

Aide : la fréquence la plus haute de l'éclairage ambiant doit avoir une amplitude inférieure à 0.1% en sortie du filtre. La fréquence correspondant à la LED ne doit pas être atténuée significativement.

Réponse :

Il faut que l'atténuation à 10kHz soit $\leq 3dB$ et l'atténuation à 100Hz $> 60dB$ ($=0.1\%$). Il y a 2 décades entre les deux fréquences, pour respecter les contraintes, il faut un filtre d'ordre 2, passe-haut. Sa fréquence de coupure doit être $\leq 10kHz$ telle que les 60dB d'atténuation soient respectés.

Exercice 7. Soit le filtre suivant :



Déterminez le module de la fonction de transfert à 100Hz et à 10kHz. Que pouvez-vous conclure sur ce filtre ?

Réponse :

$$v_{out} = v_{in} \frac{R + j2\pi f \cdot L}{R + j2\pi f \cdot L + 1/(j2\pi f \cdot C)}$$

$$\text{à } 100\text{Hz} : \left| \frac{v_{out}}{v_{in}} \right| = 1.13e-3 = -58.8dB$$

$$\text{à } 10\text{kHz} : \left| \frac{v_{out}}{v_{in}} \right| = 8.66 = 18.75dB$$

C'est un filtre passe haut passif du deuxième ordre. Ce circuit RLC présente un phénomène de résonance (le gain du filtre passif dépasse 1 à 10kHz)

La contrainte sur le filtre de la question précédente est respectée.

2.2.1 Gain de la chaîne

Les 0.1% (0.5mV@10kHz) que représentent le clignotement de la LED au niveau de la photodiode doivent être amplifiés pour obtenir une amplitude de 6V à l'entrée du comparateur.

Exercice 8. En tenant compte du gain de 10 du premier étage, du gain de 8.66 apporté par le filtre RLC à 10kHz, déterminez le gain nécessaire pour respecter le cahier des charges (BW de cet étage=100kHz). En utilisant un amplificateur du même modèle que celui utilisé à la question 3, trois étages amplificateurs sont-ils suffisants (justifiez) ?

Réponse :

Gain total : 12000

Gain du premier étage + filtre à 10kHz : 86.6

Gain nécessaire : $12000/86.6=138.6$

Le gain maximum par étage est de 10, par conséquent trois étages sont suffisants.

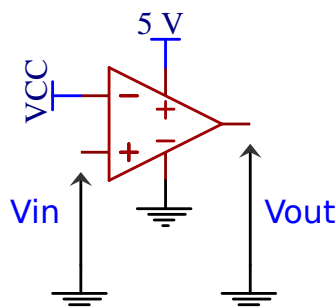
2.3 Comparateur

Un fois le signal amplifié et filtré, il faut vérifier si son amplitude est suffisante. Un comparateur de tension est suffisant pour cette tâche.

Exercice 9. Tracez le schéma d'un circuit permettant de comparer une tension avec une tension continue de 6V.

Réponse :

Pour réaliser un comparateur, on peut utiliser un ampli-op en saturation.



En connectant le signal de référence sur l'entrée inverseuse et le signal à comparer sur l'entrée non-inverseuse, on peut exploiter la gain différentiel de l'ampli-op $A_d \cdot (V_+ - V_-)$ afin que la sortie vaille 0 V lorsque $V_{in} < V_{CC}$ et 5 V lorsque $V_{in} > V_{CC}$.

2.4 Logique

Le faisceau lumineux étant modulé, il est nécessaire d'effectuer une démodulation du signal reçu.

Lorsque le signal a été comparé avec le seuil, le signal obtenu est identique au signal fourni par la source de l'émetteur (si le faisceau est établi, sinon nul), un circuit logique est nécessaire pour transformer ce signal en créneaux en un signal logique représentant l'information "Pas d'obstacle". Ce circuit peut accéder à la source de l'émetteur.

On dispose de deux signaux :

- la source alimentant la LED de l'émetteur : signal en créneau 0–5V, 10kHz, rapport cyclique 10%
- la sortie du comparateur, qui est le **même** signal en créneaux (si le faisceau émetteur-récepteur est établi), 0V sinon

Exercice 10. Tracez le schéma d'un circuit permettant d'obtenir le comportement suivant :

- La sortie passe à 1 lorsque la sortie du comparateur vaut 1
- La sortie passe à 0 lorsque la source alimentant la LED vaut 1(=5V), sauf si la sortie du comparateur vaut 1 au même moment.
- La sortie conserve sa valeur précédente dans les autres cas

Réponse :

Circuit RS à Set prioritaire :

- S = sortie du comparateur
- R = source alimentant la LED

Exercice 11. On désire également avoir une sortie qui marque l'éblouissement du capteur, c'est-à-dire quand la sortie du comparateur vaut 1 quel que soit l'état de la source alimentant la LED. Les contraintes sont :

- La sortie passe à 1 si la sortie du comparateur vaut 1 **et** que la source alimentant la LED vaut 0.
- La sortie passe à 0 si la source alimentant la LED vaut 0 sauf si la condition précédente est vraie.

Réponse :

Circuit RS à Set prioritaire :

- S = sortie du comparateur AND NOT (source alimentant la LED)
- R = NOT(source alimentant la LED)