

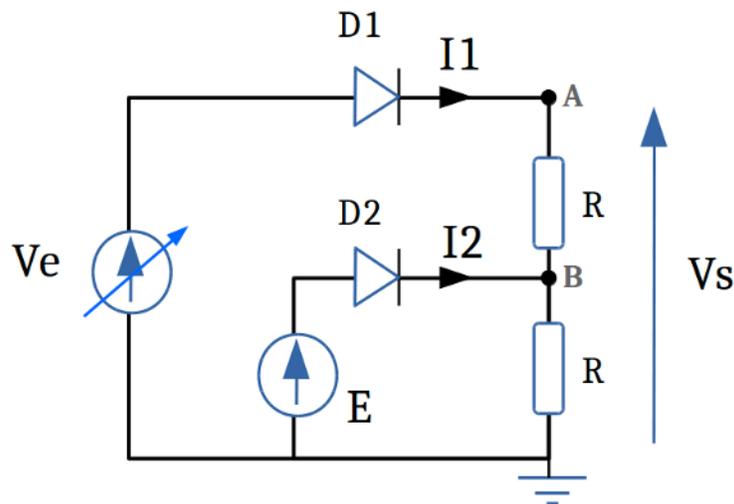
**Calculatrice autorisée. Fiche recto-verso autorisée. Tout autre document interdit.**

**Les exercices sont indépendants. Le barème est fourni à titre indicatif.**

**AMPLI LINEAIRE INTEGRE (ou AOP) : ils sont considérés dans tous les exercices comment idéaux.**

**1. Exercice 1 - Diodes (4 points)**

On propose d'étudier le montage suivant :



Les diodes D1 et D2 sont supposées **parfaites**.

**1.1 (0.5)** - Rappelez les conditions pour lesquelles une diode est **bloquée**.

**REPONSE**

La tension directe est inférieure à 0V. Le courant est en sens inverse.

**1.2 (0.5)** - Rappelez les conditions pour lesquelles une diode est **passante**.

**REPONSE**

La tension directe est supérieure à 0V et le courant est positif.

On identifie **3 cas possibles** :

- Cas 1 : D1 est passante, D2 est bloquée
- Cas 2 : D1 est bloquée, D2 est passante
- Cas 3 : D1 et D2 sont passantes

**1.3 (2.0)** - Dans chacun des cas précédents, déterminez la valeur du courant  $I_1$  et la condition sur  $V_e(t)$  pour laquelle on se trouve dans ce cas.

**REPONSE****Cas 1**

Si D1 est passante et D2 bloquée, alors  $V_s = V_e$ . On a alors,  $I_1 = V_e / (2 \cdot R)$ .

Si D2 est bloquée ( $V_B > E$ ) et  $V_B = V_e / 2$ , alors  $V_e > 2 \cdot E$ .

**Cas 2**

Si D1 est bloquée, alors  $V_A > V_e$  et  $I_1 = 0$ .

De plus, si  $I_1 = 0$ , alors  $V_s = E$ . Comme  $V_A = V_s$ , on obtient alors D1 bloquée si  $V_e < E$ .

**Cas 3**

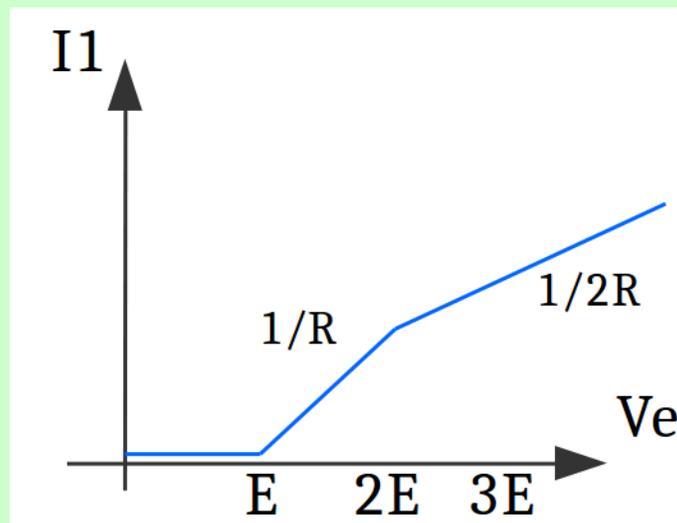
Si D1 est passante, alors  $V_A = V_e$ .

Si D2 est passante, alors  $V_B = E$ .

On a alors,  $I_1 = (V_e - E) / R$ .

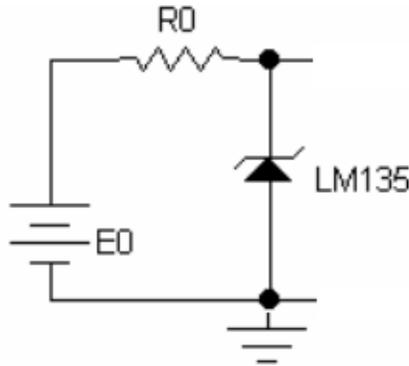
On obtient cette condition, lorsque  $E < V_e < 2E$ .

**1.4 (1.0)** - Tracez alors la caractéristique  $I_1 = f(V_e)$ , pour  $0V < V_e < 3 \cdot E$

**REPONSE**

## 2. Exercice 2 - Capteur (5 points)

On propose d'étudier le montage suivant, qui intègre un **capteur de température** de type LM135 :



Ce capteur est une diode Zener qui fournit une variation de tension proportionnelle à la variation de température (fonction affine).

Sa sensibilité est de  $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

On donne également la tension à  $25^\circ\text{C}$ ,  $V_Z = 2.982 \text{ V}$ .

**2.1 (1.0)** Que doit valoir  $R_0$  si on impose un potentiel de  $5 \text{ V}$  en  $E_0$  pour obtenir un courant dans la diode Zener de  $16 \text{ mA}$  à  $0^\circ\text{C}$  ?

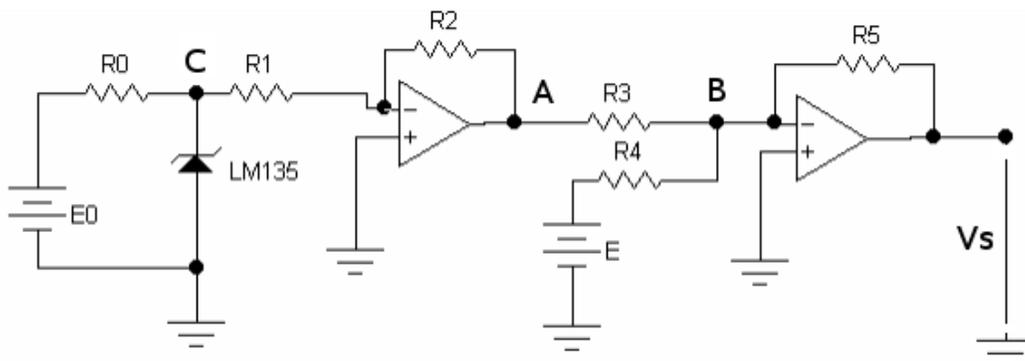
### REPONSE

$$R_0 = (E_0 - V_Z(0))/I_0$$

$$\text{Or } V_Z(T) = 2.982 + 10^{-2} * (T - 25)$$

$$\text{Donc } V_Z(0) = 2.982 - 0.25 = 2.732 \text{ V, on obtient alors } R_0 = 142\Omega$$

On intègre à présent ce capteur dans le montage suivant :



**2.2 (1.0)** Calculez le potentiel au point A en fonction du potentiel au point C. Puis en fonction de la température.

### REPONSE

$$\text{Au point A, ampli inverseur, donc } V_A = -R_2/R_1 \cdot V_C.$$

$$\text{On obtient alors, } V_A = -R_2/R_1 \cdot (10^{-2}(T - 25) + 2.982).$$

**2.3 (1.0)** Calculez la sensibilité du montage au point A. Comment choisir  $R_1$  et  $R_2$  pour obtenir une sensibilité de  $-20 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  ?

**REPONSE**

La sensibilité :  $dV_A/dT = -R_2/R_1 \cdot 10^{-2}$ .

Pour obtenir une sensibilité de  $-20 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ , il faut choisir  $R_2/R_1 = 2$ .

Pour la suite on supposera que la sensibilité du montage au point A est de  $-20 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

**2.4 (1.0)** Calculez le potentiel  $V_S$  en fonction du potentiel au point A et de  $E$ . Puis en fonction de  $V_C$  et de  $E$ .

**REPONSE**

$V_B = 0$  car AOP en linéaire

Et  $V_B = E/R_4 + V_A/R_3 + V_S/R_5 / (1/R_4 + 1/R_3 + 1/R_5)$ .

Ainsi,  $V_S = -R_5 \cdot (E/R_4 + V_A/R_3)$

Et,  $V_S = -R_5 \cdot (E/R_4 - 2 \cdot V_C/R_3)$

**2.5 (1.0)** Que doit valoir  $E$  pour obtenir une tension  $V_S$  de  $0 \text{ V}$  pour  $0^\circ\text{C}$  ? Si les AOP/ALI sont alimentés entre  $0$  et  $V_{CC} > 0$ , quelles sont les températures minimale et maximale que peut détecter ce système ?

**REPONSE**

On veut  $V_S = 0$  pour  $T = 0$

Or  $V_S = R_5 \cdot (E/R_4 + R_2/(R_3 \cdot R_1) \cdot (10^{-2}(T - 25) + 2.982))$

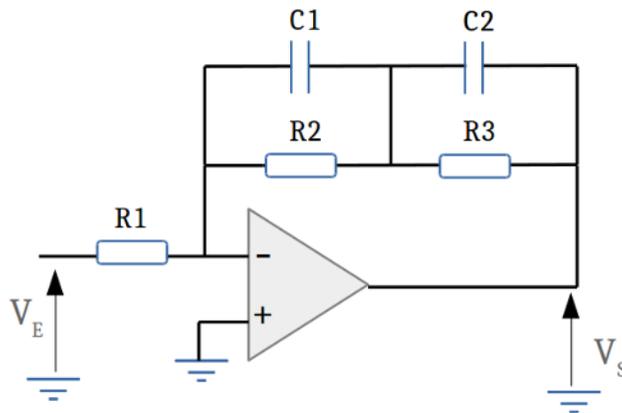
Il faudra donc prendre  $E$  telle que :  $E = -R_4/R_3 \cdot R_2/R_1 \cdot (-0,25 + 2,982)$

Pour les températures minimale et maximale, théoriquement :  $0 < V_- < V_{CC}$  et  $0 < V_+ < V_{CC}$ , appliquer une tension négative sur  $V_+$  est donc impossible (question précédente).

De même la tension minimale sur  $V_-$  est  $0\text{V}$  et la tension maximale sur  $v_-$  est  $V_{CC}$ .

### 3. Exercice 3 - Filtrage actif (3 points)

3.1 (2.0) Donnez la fonction de transfert  $H(j\omega) = V_S(j\omega)/V_E(j\omega)$  du montage suivant



#### REPONSE

L'AOP est câblé en inverseur (linéaire).

Ainsi, on a  $V_S/V_E = -Z_{eq}/R_1$

Avec  $Z_{eq} = Z_1 + Z_2$  avec  $Z_1 = C_1 // R_2 = R_2 / (1 + jR_2C_1\omega)$  et  $Z_2 = C_2 // R_3 = R_3 / (1 + jR_3C_2\omega)$ .

La fonction de transfert complète donne donc :

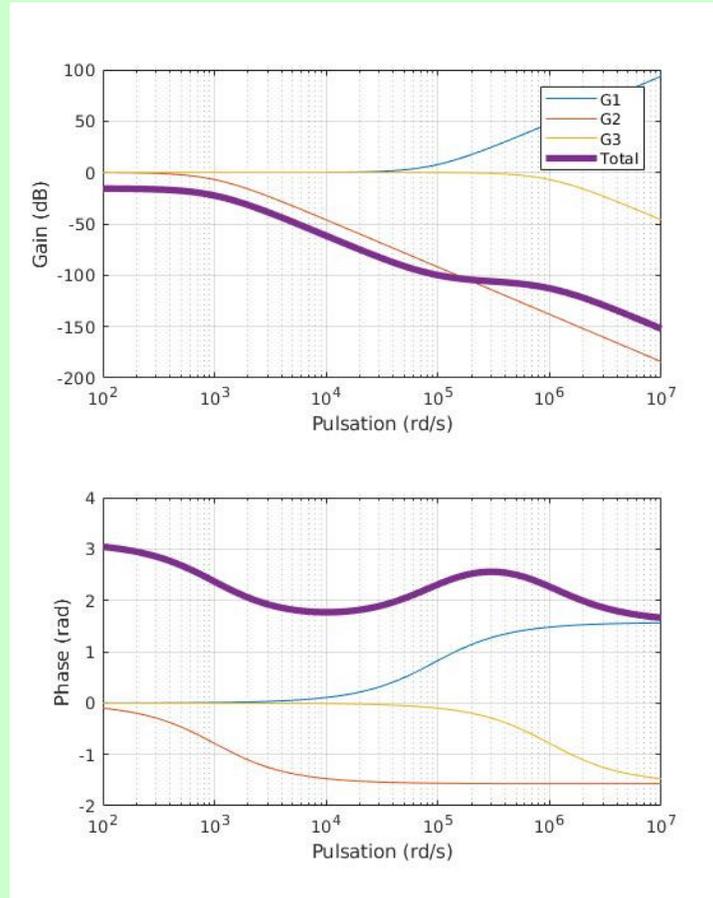
$$\frac{V_S}{V_E} = \frac{-(R_2 + R_3)}{R_1} \cdot \frac{1 + j\omega \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} (C_1 + C_2)}{(1 + j\omega R_2 C_1)(1 + j\omega R_3 C_2)}$$

3.2 (1.0) Tracez le diagramme de Bode (gain et phase) de ce circuit.

On supposera que  $R_3 \cdot C_2 < R_2 \cdot C_1$ .

**REPONSE**

Diagramme de Bode obtenu pour :  $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 100 \Omega$ ,  $C_1 = 100 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 10 \text{ nF}$



Avec :

$$T_1(j\omega) = 1 + j\omega \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} (C_1 + C_2) \text{ et } G_1 = 20 \cdot \log(|T_1|)$$

$$T_2(j\omega) = 1 + j\omega R_2 C_1 \text{ et } G_2 = 20 \cdot \log(|T_2|)$$

$$T_3(j\omega) = 1 + j\omega R_3 C_2 \text{ et } G_3 = 20 \cdot \log(|T_3|)$$

CODE MATLAB permettant d'obtenir cette figure

```
clear variables
```

```
R1 = 2.2*1e4; R3 = 100; R2 = 100 * R3;
```

```
C1 = 100 * 1e-9; C2 = C1/10;
```

```
w = logspace(2,7,101);
```

```
K = -(R3 + R2)/R1; T1 = 1 + 1j * w * R2 * R3 / (R2 + R3) * (C1 + C2); T2 = 1 + 1j * w * R2 * C1; T3 = 1 + 1j * w * R3 * C2; TT = K*T1./T2./T3;
```

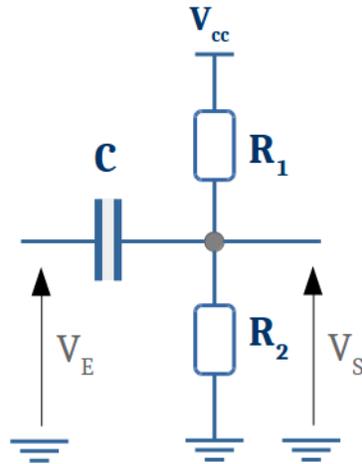
```
G = 20 * log(abs(K)) G1 = 20 * log(abs(T1)); G2 = 20 * log(abs(1./T2)); G3 = 20 * log(abs(1./T3)); GT = G + G1 + G2 + G3;
```

```
figure(1); subplot(2, 1, 1); semilogx(w, G1, w, G2, w, G3, w, GT); xlabel('Pulsation (rd/s)'); ylabel('Gain (dB)'); legend('G1','G2','G3','Total');
```

```
subplot(2, 1, 2); semilogx(w, angle(T1), w, angle(1./T2), w, angle(1./T3), w, angle(TT)); xlabel('Pulsation (rd/s)'); ylabel('Phase (rad)');
```

#### 4. Exercice 4 - (2 points)

On propose d'étudier le montage suivant pour  $V_{CC} = 8 \text{ V}$ ,  $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$  et  $C = 100 \text{ nF}$  :



Que vaut le signal de sortie  $V_S(t)$  si le signal d'entrée est de la forme :

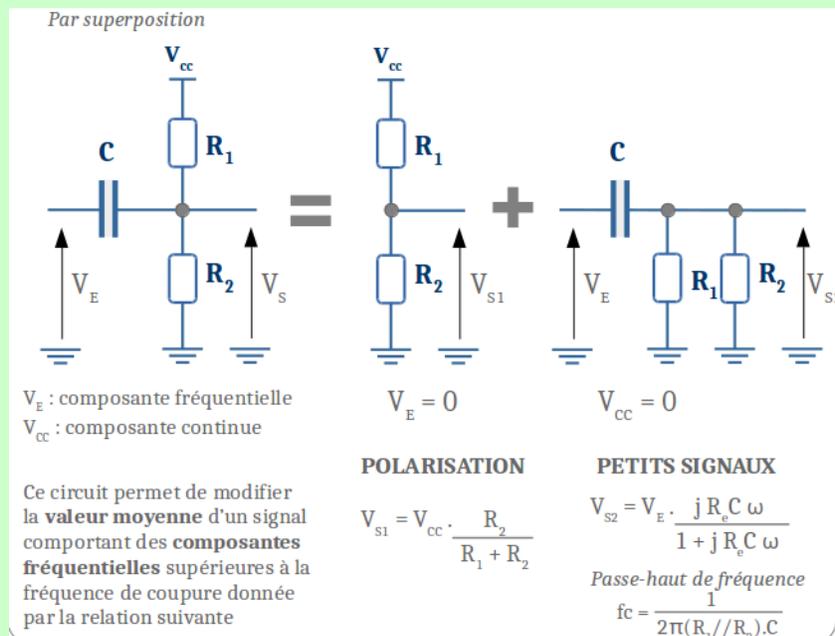
$$V_E(t) = K + A \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) + B \cdot \sin(\omega_2 \cdot t)$$

avec  $\omega_1 = 100 \text{ rd/s}$  et  $\omega_2 = 10000 \text{ rd/s}$  ?

(Pensez au théorème de superposition...Ici toutes les sources sont indépendantes...)

#### REPONSE

On peut décomposer le système de la façon suivante :



**REPONSE**

**En petits signaux**, on obtient un filtre passe-haut de pulsation de coupure :  $\omega_c = 1/(R_1//R_2 \cdot C)$  avec  $R_1//R_2 = 1.875 \text{ k}\Omega$  .  $\omega_c = 5333 \text{ rd/s}$  et  $f_c = 850 \text{ Hz}$ .

Ainsi le signal continu K, ainsi que le signal à la pulsation  $\omega_1$  sont coupés. Seul le signal à la pulsation  $\omega_2$  est transmis en sortie.

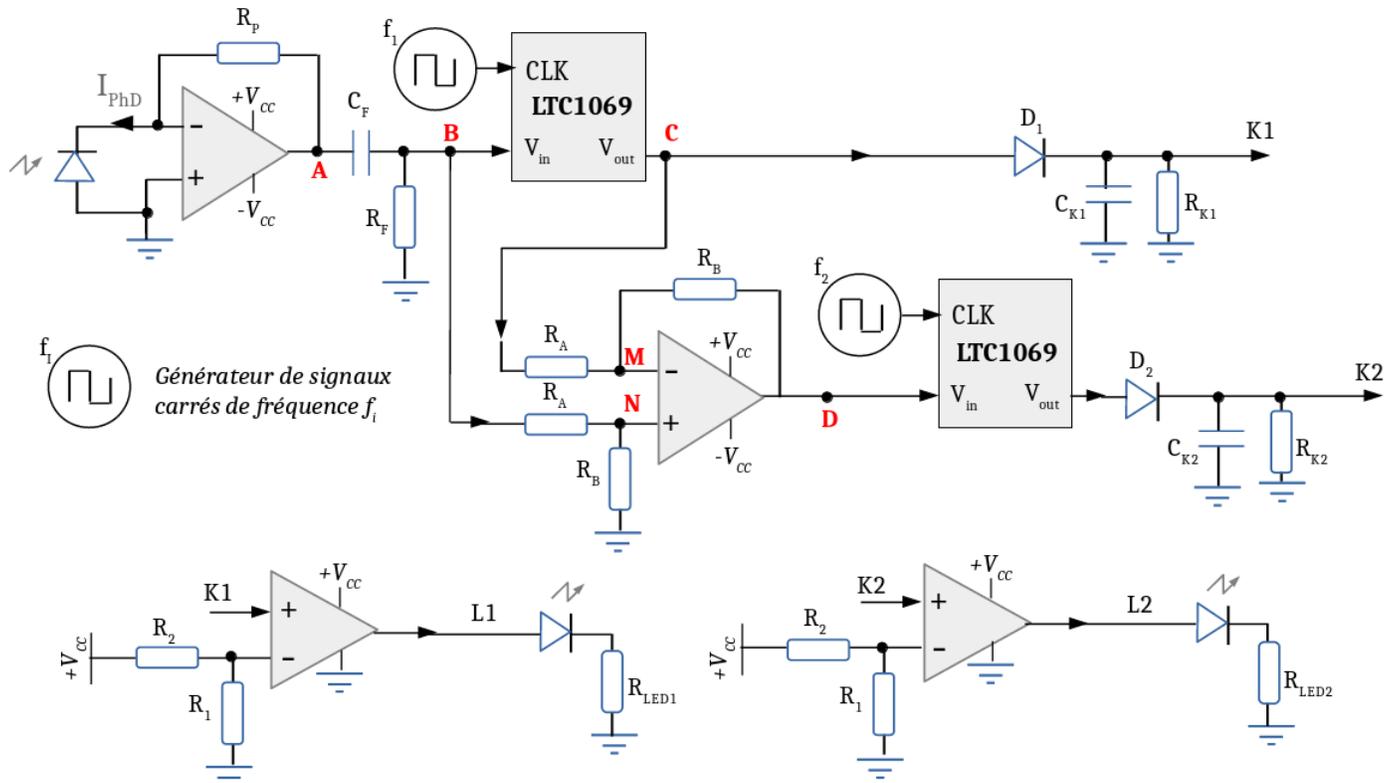
Côté sortie, on ajoute le signal résultant du modèle **petits signaux** et de la **polarisation** (superposition).

La **polarisation** donne alors que  $V_S = V_{CC} \cdot R_2/(R_2 + R_1)$ . On obtient ainsi une valeur moyenne du signal de sortie de 5V.

Ainsi le signal de sortie  $V_S = 5 \text{ V} + B \cdot \sin(\omega_2 \cdot t)$

## 5. Système (6 points)

On propose d'étudier le montage suivant :



On donne également la première page de la documentation technique du composant **LTC1069**.

### 5.1. Cahier des charges et composants

On cherche à capter un **signal lumineux** provenant d'une source, type Li-Fi, plongée dans un éclairage ambiant "classique". Le signal à capter possède **deux fréquences particulières**  $f_A$  et  $f_B$  telles que :

- $f_A < f_B$
- $f_A < (f_1/100)$
- $f_B < (f_2/100)$
- $f_1 < f_2$

On a également :  $f_A > 1/(R_F \cdot C_F)$ ,  $1/(R_{K1} \cdot C_{K1}) \approx f_1$  et  $1/(R_{K2} \cdot C_{K2}) \approx f_2$

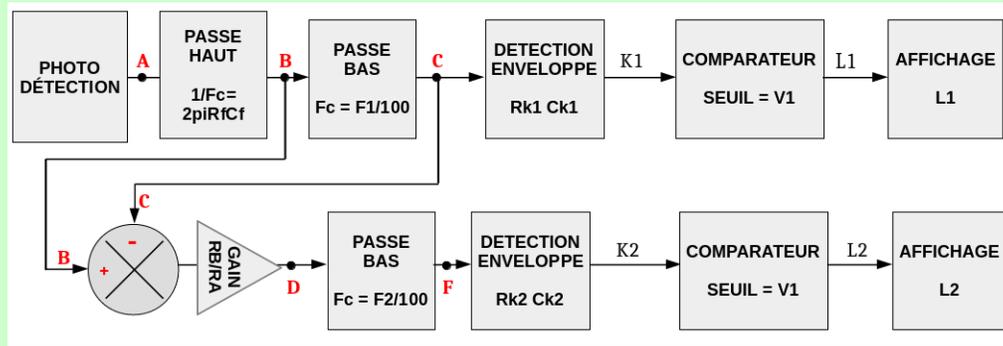
On supposera que l'ensemble des amplificateurs opérationnels sont parfaits et que les diodes sont idéales.

### 5.2. Fonctionnement

5.1 (1.0) Tracez le schéma bloc équivalent.

**REPONSE**

Le schéma bloc de l'application précédente est le suivant :



**5.2 (3.0)** Précisez ce que font les différents éléments du montage. On s'intéressera en particulier aux différents signaux qui transitent entre chacun des blocs (identifiés par des lettres sur les fils).

**REPONSE**

Le premier bloc est un système de **photodétection** "standard" basé sur un montage **transimpédance**. La photodiode délivre un courant proportionnel au flux lumineux qu'elle reçoit, qui est ensuite transformé en tension par le montage avec l'AOP et la résistance  $R_P$ .

Le bloc "*passé-haut*" est un **filtre RC du premier ordre** de type **passé-haut**. La fréquence de coupure est  $f_c = 1/2\pi RC$ . Il permet d'éliminer la composante continue du signal due à l'éclairage ambiant "standard", provenant du signal du bloc de photodétection.

Le bloc "*passé-bas*  $F1/100$ " est composé d'un **filtre à capacité commuté** de type **passé-bas** et du générateur de signaux carrés  $f_1$ . D'après la documentation technique, la fréquence de coupure est donnée par la fréquence du signal sur CLK. Ici  $f_c = f_1/100$ . Comme  $f_1/100 > f_A$ , la fréquence  $f_A$  du signal d'entrée sera transmise en sortie.

Le bloc "*détecteur d'enveloppe*" permet d'extraire uniquement l'**amplitude du signal** de sortie du filtre passé-bas.

Le bloc "*comparateur*" est composé d'un AOP en régime non-linéaire, alimenté par une seule source de tension. Selon le signe de la différence de  $V_+ - V_-$ , la sortie vaut  $+V_{CC}$  ou  $0V$ . La tension  $V_-$  est constante et vaut  $V_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ .

Le bloc "*affichage Lx*" est composée d'une LED et d'une résistance de protection. La LED s'allume lorsque la tension de l'étage d'avant vaut  $+V_{CC}$ , sinon elle reste éteinte.

**Ces premiers blocs permettent de détecter la présence d'une composante fréquentielle  $f_A$  dans le flux lumineux entrant.**

**REPONSE**

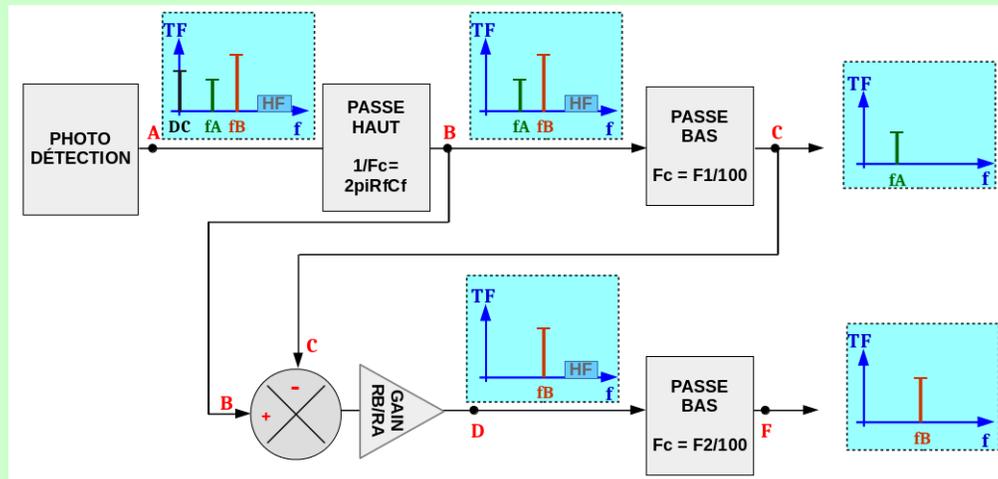
Le bloc "*soustracteur-gain*" composé d'un AOP en mode linéaire et récupérant les signaux des points B et C, permet de faire l'opération suivante :  $V_D = \frac{R_B}{R_A} \cdot (V_B - V_C)$ .

Les blocs suivants sont les mêmes que les blocs "*passé-bas*  $F1/100$ ", "*détecteur d'enveloppe*", "*comparateur*" et "*affichage Lx*", mais l'ensemble est **adapté pour détecter la présence d'une composante fréquentielle  $f_B$  dans le flux lumineux entrant.**

**5.3 (1.0)** A quoi pourront alors servir les deux LED L1 et L2 si on suppose que les deux fréquences  $f_A$  et  $f_B$  ne sont pas présentes en même temps dans le signal Li-Fi ?

**REPONSE**

On s'intéresse essentiellement à la première partie du système. Les spectres électriques des différents signaux sont ajoutés au schéma précédent.



En sortie du bloc de "photodétection", on trouve principalement les composantes suivantes :

- une composante continue due à l'éclairage ambiant
- une composante à la fréquence  $f_A$  (qu'on va chercher à détecter)
- une composante à la fréquence  $f_B$  (qu'on va chercher à détecter)
- potentiellement du bruit à haute fréquence (HF)

Le bloc "passe-haut" permet d'éliminer la composante continue du signal.

Le bloc "passe-bas  $F1/100$ " permet de ne conserver que la composante à la fréquence  $f_A$ . En prenant l'amplitude de ce signal (détecteur d'enveloppe) et en comparant à une tension de référence (seuil du comparateur), la LED L1 s'allumera si cette composante à la fréquence  $f_A$  est présente dans le signal d'entrée.

Le bloc "soustracteur-gain" permet de supprimer dans le signal B la composante fréquentielle  $f_A$ . Il ne reste alors en sortie que la composante fréquentielle  $f_B$  (et potentiellement le bruit HF).

La seconde partie autour du bloc "passe-bas  $F2/100$ " permet de ne conserver que la composante à la fréquence  $f_B$ . En prenant l'amplitude de ce signal (détecteur d'enveloppe) et en comparant à une tension de référence (seuil du comparateur), la LED L2 s'allumera si cette composante à la fréquence  $f_B$  est présente dans le signal d'entrée.

On vient de réaliser un **démodulateur de signaux numériques** portés par deux composantes fréquentielles différentes : '0' codé par  $f_A$  et '1' codé par  $f_B$ .

**5.4 (1.0)** Vous donnerez une méthode de test de ce système (en particulier, les sources utilisées).

**REPONSE**

On peut utiliser, pour tester ce montage :

- une LED (A1) alimentée avec une tension continue, permettant de simuler l'éclairage ambiant
- une LED (A2) alimentée avec un signal sinusoïdal de fréquence  $f_A$
- une LED (A3) alimentée avec un signal sinusoïdal de fréquence  $f_B > f_A$
- une LED (A4) alimentée avec un signal sinusoïdal de fréquence  $f_C > f_B$  permettant de simuler des composantes fréquentielles HF

**REPONSE**

Les cas possibles sont les suivants :

1. si A1 est allumée :
  - le signal  $V_A$  est constitué d'une composante continue
  - les autres signaux ne possèdent plus cette composante (filtre passe-haut)
2. A2 allumée :
  - le signal  $V_A$  possède une composante de fréquence  $f_A$
  - le signal  $V_C$  est différent de 0
  - la LED L1 s'allume (si le seuil de tension du comparateur est bien choisir)
3. A3 allumée :
  - le signal  $V_A$  possède une composante de fréquence  $f_B$
  - le signal  $V_F$  est différent de 0
  - la LED L2 s'allume (si le seuil de tension du comparateur est bien choisir)
4. A4 allumée :
  - les signaux  $V_A$ ,  $V_B$  et  $V_D$  possèdent une composante de fréquence  $f_C$
  - les signaux  $V_C$  et  $V_F$  ne sont pas affectés
  - les LEDs L1 et L2 ne sont pas affectées

## FEATURES

- 8th Order Elliptic Filter in SO-8 Package
- Operates from Single 3.3V to  $\pm 5V$  Power Supplies
- $-20\text{dB}$  at  $1.2f_{\text{CUTOFF}}$
- $-52\text{dB}$  at  $1.4f_{\text{CUTOFF}}$
- $-70\text{dB}$  at  $2f_{\text{CUTOFF}}$
- Wide Dynamic Range
- $110\mu\text{V}_{\text{RMS}}$  Wideband Noise
- $3.8\text{mA}$  Supply Current with  $\pm 5V$  Supplies
- $2.5\text{mA}$  Supply Current with Single  $5V$  Supply
- $2\text{mA}$  Supply Current with Single  $3.3V$  Supply

## APPLICATIONS

- Telecommunication Filters
- Antialiasing Filters

## DESCRIPTION

The LTC<sup>®</sup>1069-1 is a monolithic 8th order lowpass filter featuring clock-tunable cutoff frequency and  $2.5\text{mA}$  power supply current with a single  $5V$  supply. An additional feature of the LTC1069-1 is operation with a single  $3.3V$  supply.

The cutoff frequency ( $f_{\text{CUTOFF}}$ ) of the LTC1069-1 is equal to the clock frequency divided by 100. The gain at  $f_{\text{CUTOFF}}$  is  $-0.7\text{dB}$  and the typical passband ripple is  $\pm 0.15\text{dB}$  up to  $0.9f_{\text{CUTOFF}}$ . The stopband attenuation of the LTC1069-1 features a progressive elliptic response reaching  $20\text{dB}$  attenuation at  $1.2f_{\text{CUTOFF}}$ ,  $52\text{dB}$  attenuation at  $1.4f_{\text{CUTOFF}}$  and  $70\text{dB}$  attenuation at  $2f_{\text{CUTOFF}}$ .

With  $\pm 5V$  supplies, the LTC1069-1 cutoff frequency can be clock-tuned up to  $12\text{kHz}$ ; with a single  $5V$  supply, the maximum cutoff frequency is  $8\text{kHz}$ .

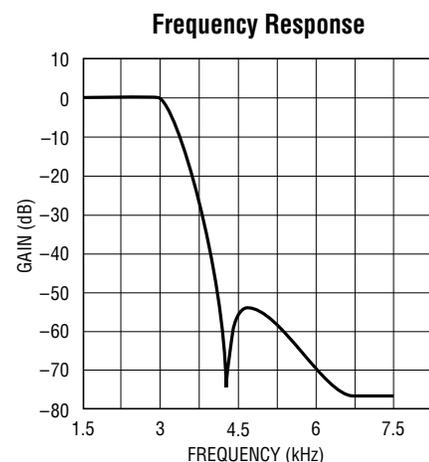
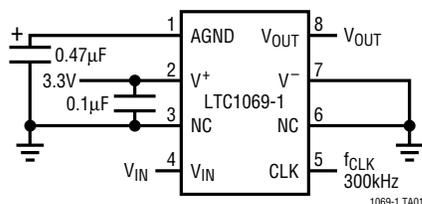
The low power feature of the LTC1069-1 does not penalize the device's dynamic range. With  $\pm 5V$  supplies and an input range of  $0.3V_{\text{RMS}}$  to  $2.5V_{\text{RMS}}$ , the signal-to-(noise + THD) ratio is  $\geq 70\text{dB}$ . The wideband noise of the LTC1069-1 is  $110\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ . **Other filter responses with lower power or higher speed can be obtained. Please contact LTC marketing for details.**

The LTC1069-1 is available in 8-pin PDIP and 8-pin SO packages.

 LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation.

## TYPICAL APPLICATION

Single 3.3V Supply 3kHz Elliptic Lowpass Filter



1069-1 TA02