Séance 2

SÉANCE 2 / CAPTEURS ET MISE EN FORME

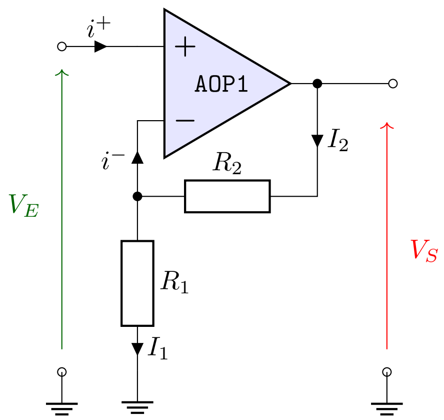
Pour ce TD, on pourra s'appuyer sur la fiche résumée : Ampli Linéaire Intégré.

Mission 2.1 - Élever une tension

Proposez un circuit permettant d'élever une tension d'un facteur k.
$k > 1$

Pour pouvoir élever une tension, il est nécessaire d'**apporter de l'énergie au montage**. Une solution possible est l'utilisation d'un amplificateur opérationnel (ou amplificateur linéaire intégré - ALI).

On peut par exemple utiliser un montage de type amplificateur non-inverseur dont le schéma est fourni ci-dessous :



Pour pouvoir faire le calcul de la fonction de transfert entre V_S et V_E, il est nécessaire de faire **quelques hypothèses**.

La **première** vient du fait que les impédances d'entrée de tel amplificateur sont relativement grandes par rapport aux impédances des composants extérieurs (R_1 et R_2 ici). Les courants d'entrée i^+ et i^- peuvent alors être négligés et considérés nuls.

La **seconde** hypothèse vient ici du fait que l'amplificateur a sa sortie rebouclé avec l'entrée inverseuse (-) par l'intermédiaire d'une résistance. Dans ce cas, on considère que le montage est en **fonctionnement dit linéaire**. Ainsi, on peut montrer que la différence de potentiel entre V^+ et V^- tend vers 0. On peut alors considérer dans ce régime de fonctionnement, que $V^+ = V^-$.

Il est alors possible par les lois habituelles de calculer le lien entre V_S et V_E.
D'après la première hypothèse, on obtient que $I_1 = I_2$.
D'après la seconde hypothèse, on obtient que $V^- = V_E$.
En calculant le courant I_1 par la loi d'Ohm aux bornes de R_1, on obtient : $I_1 = \frac{V_E}{R_1}$.
De la même manière, on obtient : $I_2 = \frac{V_S - V_E}{R_2}$.
Après simplification, on obtient alors la fonction de transfert suivante :

$$\boxed{V_S = V_E \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}}$$

Attention ! Cette loi n'est cependant vraie qu'en basse fréquence et pour des tensions d'entrée faibles.

En effet, les amplificateurs linéaires intégrés sont des composants qui peuvent se modéliser comme un système de type **passe-bas**.

De plus, ils nécessitent d'être alimentés et lorsque la tension de sortie tend à dépasser la tension d'alimentation, on peut observer un **phénomène de saturation**.

Mission 2.2 - Amplifier un signal

Proposez un circuit permettant d'amplifier un signal de $27dB$, tout en garantissant une bande-passante de $400kHz$.
On utilisera des amplificateurs linéaires intégrés de type TL081 (documentation partielle donnée en annexe du TD1).

On souhaite un gain $G_{dB} = 27\,\text{dB}$.
On rappelle que $G_{dB} = 20 \cdot \log(A)$ avec A l'amplification.
Ainsi $A = 10^{\frac{G_{dB}}{20}} = 22.4$.

Le **produit gain bande-passante est constant** sur un ALI. Dans le cas du *TL081*, il vaut : $GBP = 3\,\text{MHz}$.

La fréquence de coupure obtenue avec un ALI de type TL081 et une amplification de 22.4 serait : $f_c = \frac{GBP}{A} = 134\,\text{kHz} < 400\,\text{kHz}$.
Un seul étage n'est donc pas suffisant.

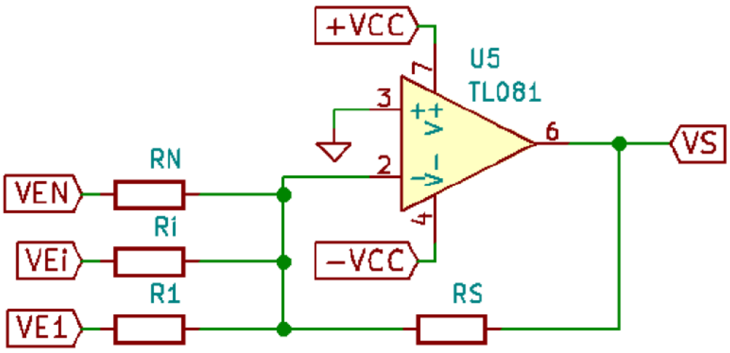
En mettant plusieurs étages amplificateurs en cascade, les amplifications se multiplient. Ainsi pour 2 étages, si on appelle K l'amplification d'un étage, on obtient alors $A = K^2$.

Chaque étage aura alors une amplification $K = \sqrt{A} = 4.73$. La bande-passante d'un étage sera alors $f_c = \frac{GBP}{K} = 634\,\text{kHz} > 400\,\text{kHz}$.

Il faudra alors utiliser 2 étages amplificateurs inverseurs (ou non-inverseurs) dont l'amplification sera de 4.73.

Mission 2.3 - Additionner des signaux

On se propose d'étudier le circuit suivant :



On fera les **hypothèses suivantes** :

- **fonctionnement linéaire**, car rebouclage entre la sortie et l'entrée inverseuse par la résistance R_S, ainsi $V^+ = V^-$;
- **amplificateur parfait**, ainsi $i^+ = i^- = 0$.

Noeud en V^- $I_S + I_1 + I_i + I_n = 0$

On supposera les courants positifs ceux venant de l'extérieur du montage.

Calcul des courants par la loi d'Ohm

De plus $V^+ = 0$, ainsi $V^- = 0$.

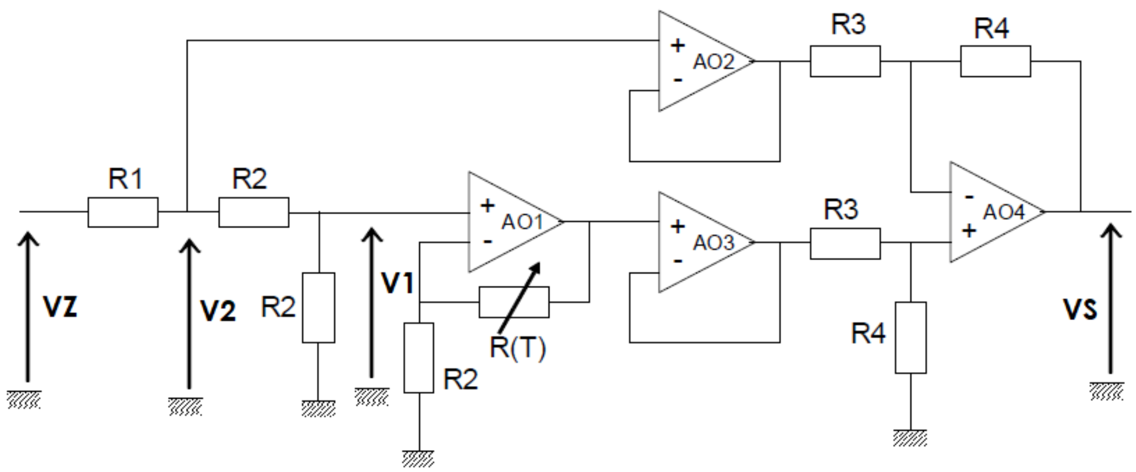
$I_S = \frac{V_S - V^-}{R_S} = \frac{V_S}{R_S}$
$I_1 = \frac{V_1 - V^-}{R_1} = \frac{V_1}{R_1}$
$I_i = \frac{V_i - V^-}{R_i} = \frac{V_i}{R_i}$
$I_n = \frac{V_N - V^-}{R_N} = \frac{V_N}{R_N}$

Après simplification (et généralisation) on obtient alors :

$$V_S = -R_S \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{V_i}{R_i}$$

Mission 2.4 - Mettre en forme un capteur de température

On se propose d'étudier le circuit suivant :



La thermistance utilisée est de type PT100. La relation entre sa résistance (en Ohms) et la température (en $^\circ$C) est la suivante :

$$R(T) = 100\ (1 + 3.90810^{-3}T - 5.80210^{-7}T^2)$$

Etude du montage

Pour étudier ce circuit, on commence par **décomposer en blocs** plus facilement calculables, en partant du signal de sortie.

De manière générale, chaque amplificateur linéaire (ALI) correspond à un montage particulier. Il peut donc être intéressant d'identifier les montages associés à chaque ALI.

Ici, on peut décomposer de cette façon :

- Autour de l'AO4 : amplificateur différentiel
- Autour des AO2 et AO3 : suiveur / découplage
- Autour de l'AO1 : montage linéaire de type amplificateur / tension de sortie dépendante de la température
- Autour de la diode Zener : tension de référence

AO1

Hypothèse classique : fonctionnement linéaire ($V^+ = V^-$) et ALI parfait ($i^+ = i^- = 0$).
$V+ = V_Z \cdot R_2/(R_1 + 2R_2)$ et $V- = V_1 \cdot R_2/(R_2 + R(T))$, alors :

$$V_1 = V_Z \cdot \frac{R_2}{R_1 + 2R_2} \cdot \frac{R_2 + R(T)}{R_2} = V_Z \cdot \frac{R_2 + R(T)}{R_1 + 2R_2}$$

AO2 : suiveur / diviseur de tension

$$V_2 = V_Z \cdot \frac{2 \cdot R_2}{R_1 + 2R_2}$$

AO3 : suiveur

$$V_3 = V_1$$

AO4
$V- = (V_S/R_4 + V_2/R_3)/(1/R_3 + 1/R_4)$ (Millmann)
$V+ = V_3 \cdot R_4/(R_3 + R_4)$
On a alors :

$$V_S = (V_3 - V_2) \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

Montage complet

$$V_S = V_Z \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R(T) - R_2}{R_1 + 2R_2}$$

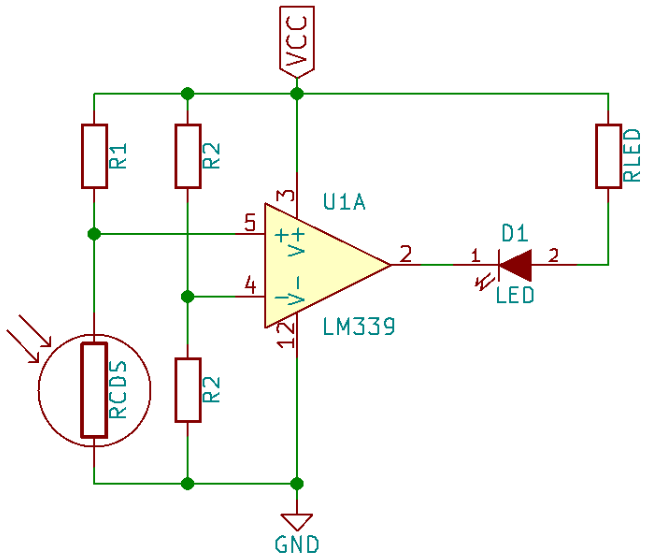
$$V_S = V_Z \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1 + 2R_2} \cdot (\frac{R(T)}{R_2} - 1)$$

Lorsque $T < 0$, $R(T) < R_2$ et donc $V_S < 0$. Alimentation symétrique indispensable.

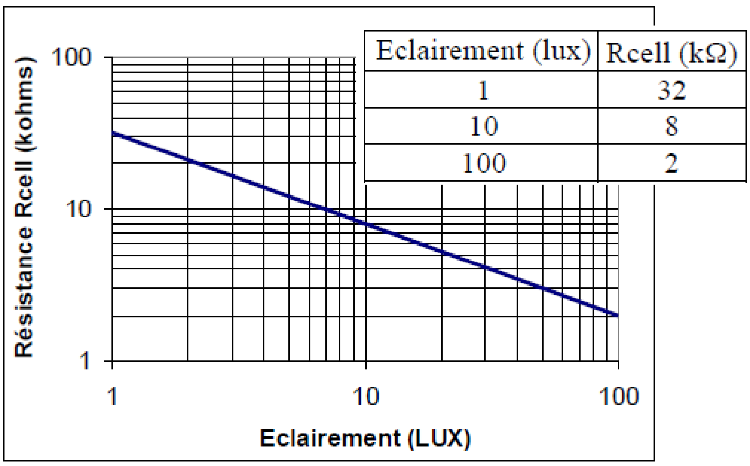
Mission 2.B1 - Pilotage TOR en fonction de la luminosité

TOR signifie Tout Ou Rien

On souhaite réaliser un détecteur qui allume une LED lorsque la luminosité ambiante diminue. On propose pour cela le montage suivant qui utilise une cellule photoconductrice CdS. On donne : $V_{cc} = 12\,\mathrm{V}$ et $R_2 = 100\,\mathrm{k\Omega}$.



On donne ci-dessous les caractéristiques de la cellule CdS.



Caractéristique Résistance en fonction de l'Eclairement de la cellule CDS

On rappelle que l'amplificateur linéaire intégré, le **LM339**, est un comparateur à collecteur ouvert (voir la fiche résumée AMPLIFICATEUR LINÉAIRE INTÉGRÉ).

1. Quelle est la fonction réalisée par l'amplificateur opérationnel (AO) dans ce montage ?
2. Dans quelle condition sur $V+$ et $V-$ la LED sera-t-elle allumée ?
3. Calculer la tension à la sortie de la cellule CDS.
4. Vérifier le bon fonctionnement du système.

   On mesure la valeur de la photocellule ($R_{cell0} = 5\,\mathrm{k\Omega}$) dans des conditions d'éclairement ambiant.
5. Calculer la valeur de R_1 pour que la LED s'allume lorsque l'éclairement diminue d'un facteur 10.

Question 1

Il n'y a pas de contre-réaction, donc mode **comparateur** :

— si $V+ > V-$ alors passage de courant entre le collecteur ouvert et la masse.

— si $V+ < V-$ alors pas de passage de courant entre le collecteur ouvert et la masse.

Question 2

— Pour allumer la LED, il faut un passage de courant, donc lorsque $V+ > V-$

— Pour éteindre la LED, il faut que le courant soit nul, donc lorsque $V+ < V-$

Or $V- = V_{CC}/2$. Lorsque la tension aux bornes de la cellule CDS dépasse $V_{CC}/2$, on a alors allumage de la LED.

Question 3

$V_{CDS}/V_{CC} = R_C/(R_C + R_1)$

Question 4

— Eclairement faible : si $R_C = 10 \cdot R_1$ alors $V_{CDS}/V_{CC} = 10/11$

— Eclairement limite : si $R_C = R_1$ alors $V_{CDS}/V_{CC} = 1/2$

— Eclairement élevé : si $R_C = R_1/10$ alors $V_{CDS}/V_{CC} = 1/11$

Question 5

D'après la doc technique, la résistance R_{cell} est multipliée par 4 lorsque l'éclairement est divisée par 10

Ainsi, $R_1 = 4 \cdot R_{cell0} = 20\,\mathrm{k\Omega}$