

ISS - UF Smart Devices : partie analogique

[English version here](#)

1. Mesure d'une résistance

Méthodes classiques :

- imposer I , mesurer V
- imposer V , mesurer I
- alimenter, mesurer V et I
- alimenter, mesurer R par identification (pont)

Cas du capteur de gaz à nano-particules :

- très faible courant : de l'ordre de 100 nA
- effet tunnel : forte non-linéarité de $I(V)$

Alors quelle technique adopter pour extraire l'information utile du capteur ?

2. Mesure de faible courant avec un micro-contrôleur

Paramètres des microcontrôleurs courants en 2016

(AVR/Arduino, STM32, PIC Microchip, etc...) :

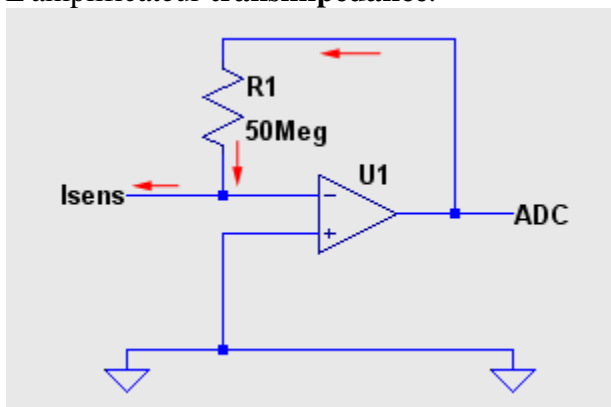
- résolution 10 à 12 bits (1024 à 4096 points)
- pleine échelle (V_{Ref}) de 1.1 V à 5.0 V
- impédance de source max 1 kOhm à 10 kOhm
- fréquence d'échantillonnage max 15 kHz à 2.4 MHz

La mesure directe d'un courant de 100 nA ne paraît pas praticable.

N.B. la valeur max d'impédance de source est spécifiée en fonction de l'[échantillonneur à capacité commutée](#) présent à l'entrée de l'ADC.

Solution "classique" :

L'amplificateur transimpédance.

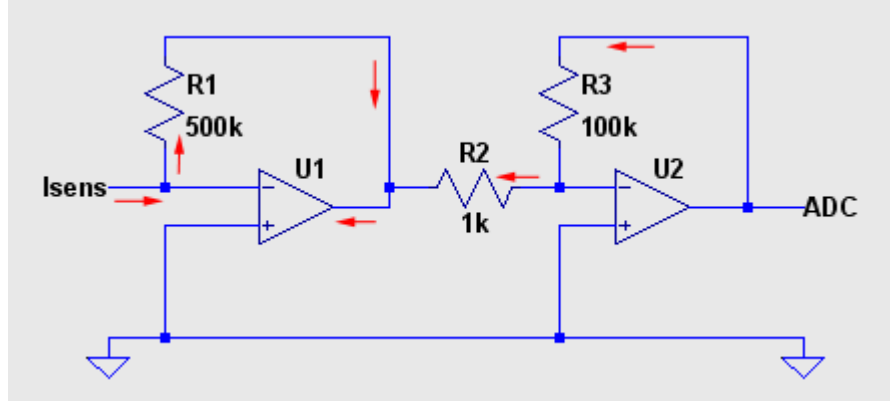


Problèmes posés par cette solution :

- nécessite une très grande valeur pour R1
- nécessite une tension négative pour alimenter le capteur

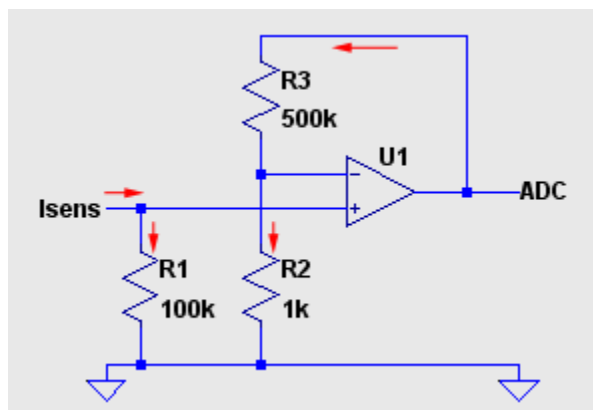
Solution "classique" améliorée :

L'amplificateur **transimpédance** suivi d'un étage **amplificateur inverseur**.



- grâce au gain du second étage, la résistance R1 n'a pas besoin d'être grande
- grâce à l'inversion, l'alimentation du capteur peut être positive
- cependant il faut une alimentation bipolaire pour les amplis

Solution minimaliste :



- conversion **I-->U** dans la résistance d'épreuve R1 (**shunt**)
- amplification à fort gain par montage non-inverseur
- la chute de tension sur R1 perturbe (un peu) la tension appliquée au capteur
- peut fonctionner avec seulement une alimentation positive

Remarques :

Gain de l'étage de l'AOP : $(R_2 + R_3)/R_2 = (1k + 500k)/1k = 501$

Tension aux bornes de R1 : le courant Isens est d'environ 100nA

$$\Rightarrow V = 100k\Omega \cdot 100nA = 10^{-2}V = 10mV$$

*Tension sur l'ADC : Gain * Tension aux bornes de R1 $\Rightarrow 501 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \sim 5V$*

Contraintes sur le choix de l'ampli :

- faible courant d'entrée

- ultra-faible offset de tension
- supporte mode commun à la tension d'alim négative ("low rail")

Remarques :

- (1) *offset voltage = erreur constante aux entrées de l'amplificateur différentiel dû à un état non compensé sur l'étage d'entrée de l'amplificateur. On veut que cet offset soit négligeable devant la tension mesurée sur R_1 qui sera de 10mV.*
- (2) *Le courant d'entrée doit être très petit devant I_{sens} pour avoir le I_{sens} traverse la R_1 et pas l'entrée*
- (3) *Mode commun : tension commune aux deux entrées, un bon amplifieur sera insensible à ce mode commun. Si le $I_{sens} = 0A$, on veut 0V sur l'ADC. LTC1050C => 5μV offset voltage, et maximum offset voltage drift : 0.05μV/°C. Bien comparé aux 10mV aux bornes de R_1 .*

L'ampli [LTC1050C](#) est disponible, satisfait-il ces contraintes ?

3. Filtrage passe-bas

Une bande passante de l'ordre de 1 Hz est largement suffisante pour extraire toute l'information utile du capteur, dont l'inertie est importante.

Un montage aussi sensible étant très vulnérable au bruit à 50Hz (+ harmoniques) résultant du [couplage capacitif avec le réseau 230V](#), un filtrage passe-bas est indispensable.

D'autres sources de bruit à filtrer sont les horloges de circuits digitaux (microcontrôleur, afficheurs, etc...) et les transceivers RF (bluetooth, etc...).

Ce filtrage peut être effectué en partie du côté **digital**, par programme, sur le micro-contrôleur.

Cependant un filtrage **analogique** est indispensable, en effet un excès de bruit à l'entrée de l'ADC pourrait amener celui-ci à saturation.

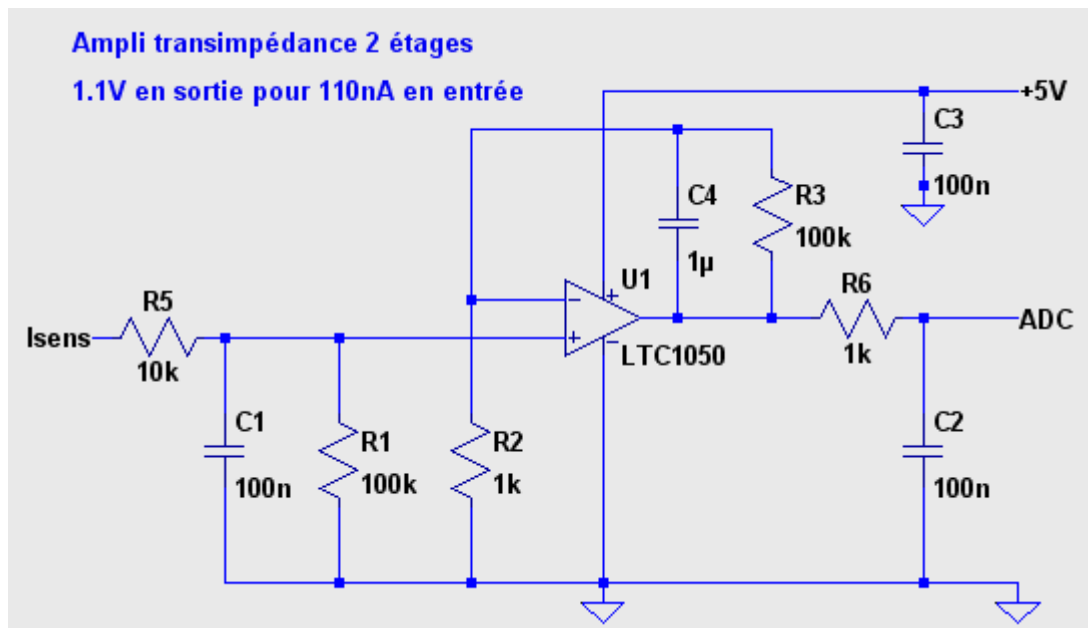
De plus un filtrage anti-repliement (**anti-aliasing**) est indispensable en raison de l'échantillonnage effectué par l'ADC.

Pour faciliter ce filtrage on a intérêt à faire fonctionner l'ADC à **la plus GRANDE fréquence utilisable SANS PERTE DE QUALITE (dans le cas de l'Arduino Uno, 200kHz/13 = 15.4 kHz, avec un choix de prescaler à 128 ! (cf wiring.c).**

Le filtrage peut s'implanter dans 3 régions de la chaîne de traitement analogique :

- filtre passif à l'entrée : permet d'éviter que les bruits HF causent de la distorsion dans les étages d'entrée
- filtre actif basé sur les amplificateurs opérationnels : maximum d'efficacité
- filtre passif en fin de chaîne, côté ADC, pour retirer le bruit introduit en cours de traitement (bruit d'alimentation, bruit d'horloge des amplificateurs à découpage)

Schéma Suggéré



- **R5** en entrée protège l'ampli opérationnel contre les décharges électrostatiques, en forme avec **C1** un filtre pour les bruits en tension
- **C1** avec **R1** forme un filtre pour le bruit en courant
- **R2** sera interchangeable, pour permettre une adaptation du calibre
- **C4** avec **R3** forme un filtre actif
- **C2** avec **R6** forme le filtre de sortie
- **C3** filtre le bruit d'alimentation

4. Questions

A l'aide du simulateur LTSpice IV :

1. Vérifier la fonctionnalité dans les conditions nominales
2. L'incidence de l'offset de l'amplificateur LTC1050C est-elle acceptable ?
3. L'incidence du courant d'entrée de l'amplificateur est-elle acceptable ?
4. Quelle est la fréquence de coupure de chaque étage de filtre passe-bas ?
5. Quelle est l'atténuation globale d'un bruit en courant de 50 Hz ?
6. Quelle est l'atténuation globale d'un bruit en courant à la fréquence limite de repliement (dans le cas de l'ADC Arduino Uno) ?
7. Préparez une simulation de démonstration avec :
 - **un capteur alimenté en 5V dont la conductance varie de 10 nS à 20 nS en 0.5s (l'utilisation d'un filtre passe-bas pourrait être utile !).**
 1. Mettre en évidence l'intérêt du filtrage 50Hz choisi en visualisant l'impact d'un bruit de 1% sur la source d'alimentation du capteur
 2. Quand est-ce que ce bruit devient gênant ?
 - Pour s'approcher des conditions réelles de mesures réalisées à l'AIME, vous modifierez le montage précédent pour mettre une alimentation de 20V sur le capteur (à la place de la 5V) et conserverez l'alimentation de 5V sur l'AOP.
 1. Peut-on réaliser ce montage sur un Arduino Uno ?

- une source de bruit de 230V RMS à 50Hz, couplée au noeud d'entrée par une capacité de 1 pF
- Serait-il intéressant d'ajouter un montage dérivateur pour mesurer directement le coefficient cinétique de la réaction chimique du capteur avec un gaz ?
 1. Si oui, proposez un montage !

N.B. pour simuler une conductance variable, utiliser l'élément [Arbitrary current source](#) (symbole BI) de LTSpice contrôlé par une source de tension indépendante représentant la variation de concentration du gaz atteignant le capteur

8. Donner une expression analytique de la résistance du capteur en fonction des éléments du circuit transimpédance.