

TD n°7 - DM : Système d'acquisition pour Cytométrie en Flux

La cytométrie en flux consiste en la mesure de quelques paramètres de cellules, transportées par un fluide circulant à travers un capillaire ou un petit orifice. Une des applications historiques de cette technique est le comptage de cellules sanguines contenues dans un échantillon (note : on trouve aussi des applications dans le brassage de la bière, avec le comptage de la population de levure en suspension pendant la fermentation). Cette application a été révolutionnée par l'invention du compteur Coulter, brevetée en 1953. Son principe est basé sur une mesure d'impédance, comme décrit sur la figure 1.

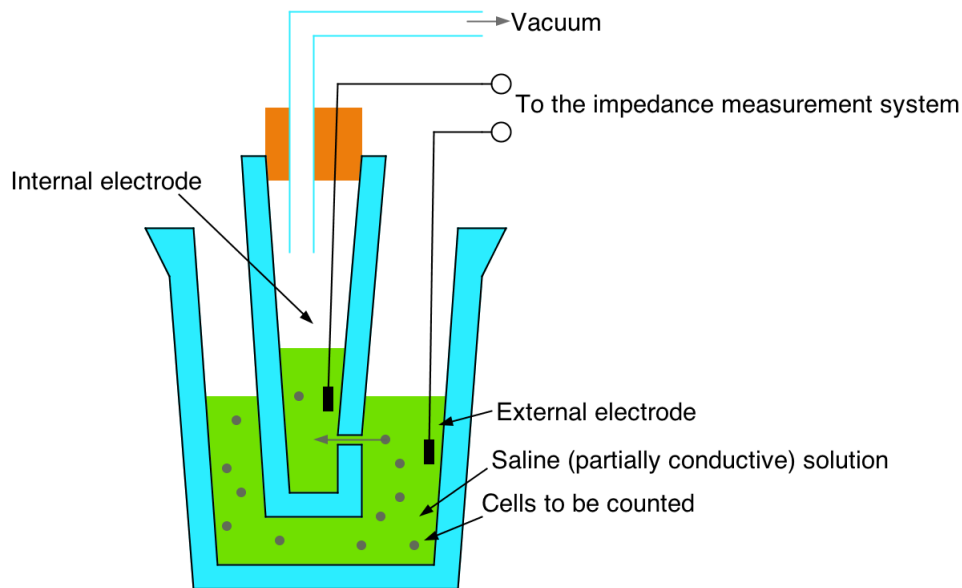


Figure 1 – Principe de mesure du compteur Coulter.

Une solution saline contenant des cellules est placée dans un bocal externe. Un second contenant en verre, avec un très petit orifice (de taille calibrée) est plongé dans la solution. Une pression différentielle est alors appliquée grâce à une pompe à vide. Une certaine quantité (débit contrôlé) de solution s'écoule à travers l'orifice. Deux électrodes sont placées en contact avec la solution : une à l'intérieur, et une à l'extérieur.

- Si aucune cellule ne traverse l'orifice, la relative conductivité de la solution saline permet de mesurer une résistance de référence entre l'électrode externe et l'électrode interne.
- Si une cellule, relativement isolante, traverse l'orifice, la résistance augmente temporairement. Le changement de résistance est à peu près proportionnelle au volume de la cellule. La détection d'une cellule traversant l'orifice peut ainsi être réalisée par une « simple » mesure de résistance. D'un point de vue électronique, nous considérerons le système comme un capteur résistif dont la résistance R_x varie entre $1k\Omega$ et $100k\Omega$. Le but des questions ci-après est d'étudier système d'acquisition des valeurs d'impédance, qui sera utilisé pour compter des cellules. L'excitation du capteur doit être alternative (AC), de composante moyenne nulle, pour éviter les effets électrolytiques. Des alimentations symétriques $\pm 15V$ seront utilisées pour alimenter les amplificateurs opérationnels.

Exercice 1 : Conditionnement et Amplification

1. Décrire rapidement le rôle d'un circuit de conditionnement pour ce capteur résistif.

- Quelle différence peut-on faire entre la mesure de résistance par les méthodes « deux fils » et « quatre fils ». Quels sont les avantages d'une mesure « à quatre fils »? Sont-ils pertinents pour notre application?

La Figure 2 montre le circuit utilisé pour l'excitation du capteur et l'amplification du signal. Le signal d'excitation V_e est un signal carré de 2V crête à crête et de fréquence 1kHz. Les amplificateurs opérationnels U1, U2 et U3 sont considérés comme idéaux.

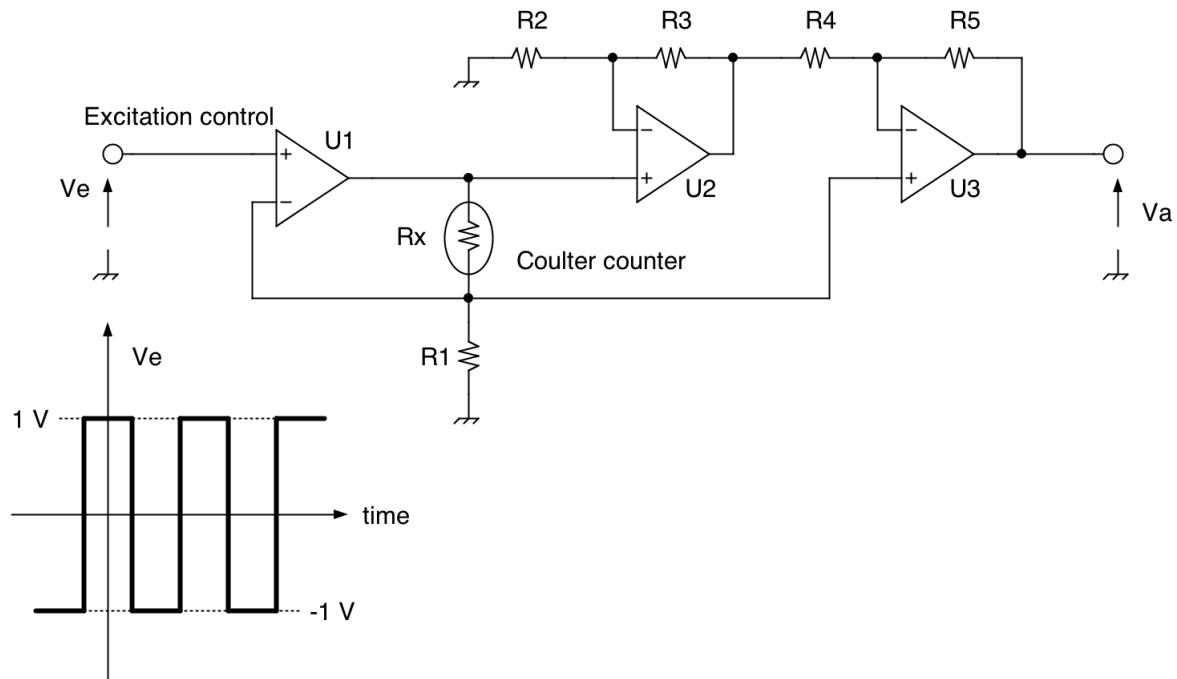


Figure 2 – Circuit de conditionnement et d'amplification du capteur résistif. R_x représente le compteur Coulter.

- Exprimer le courant I_s circulant dans le capteur R_x , en fonction de V_e et R_1 . Quel est le rôle de U1?
- Choisir une valeur numérique pour R_1 de façon à que la tension de sortie de U1 soit toujours comprise entre -3 V et +3 V, pour toute valeur de R_x possible (voir intro).
- Décrire la fonction du circuit formé par U2, U3, R2-R5.
- Exprimer la relation entre V_a , V_e et R_x .
- On fixe $R_2=R_5=10k\Omega$. Choisir R_3 , R_4 de façon à que V_a soit comprise entre -10 V et +10 V, pour toute valeurs pouvant être prise par R_x .

Exercice 2 : Détection du signal

La sortie du premier circuit, noté V_a , est un signal carré en opposition de phase avec l'excitation V_e . Nous employons ici une stratégie de redressement synchrone pour le transformer en un signal continu dont l'amplitude est proportionnelle à la résistance R_x . Nous considérons alors le circuit de la figure 3. U4 est un amplificateur opérationnel idéal.

- Soit $V_e > 0$. Donner la relation entre V_b et V_a .
- Soit $V_e < 0$. Donner la relation entre V_b et V_a .

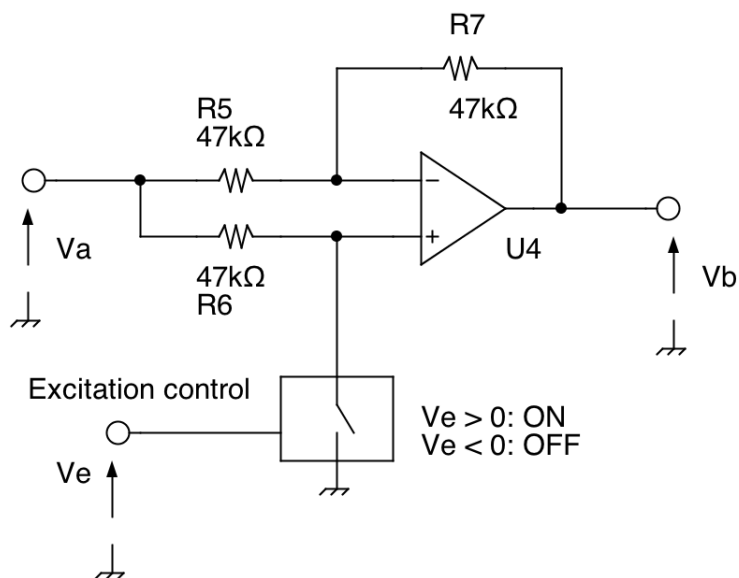


Figure 3 – Redresseur synchrone. V_e est le même signal que celui utilisé sur le figure 2. Il est utilisé pour piloter un interrupteur.

3. Montrer que la combinaison des circuits des figures 2 et 3 crée une tension continue V_b , directement liée à la valeur de R_x .

Exercice 3 : Filtrage

La figure 4 montre cellule passe-bas de Rauch.

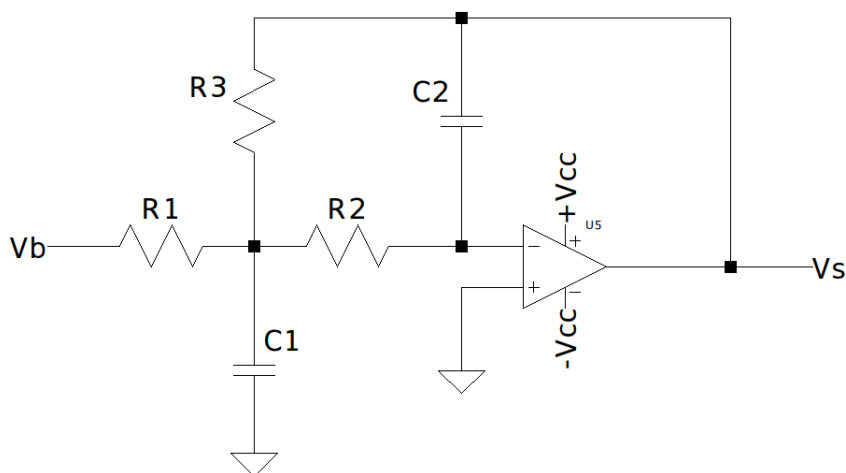


Figure 4 – Cellule Passe-Bas de Rauch

1. Dans une chaîne d'acquisition, quel est le rôle d'un filtre passe-bas, placé juste avant un convertisseur analogique numérique ?

Nous cherchons à synthétiser un filtre (ou une cascade de filtre) passe-bas, ayant une atténuation d'au moins 35dB à 1kHz, et une fréquence de coupure à -3dB de 300Hz. Le filtre reçoit le signal V_b en entrée, en provenance du redresseur synchrone de la figure

- 3.
2. Pourquoi est-il raisonnable de garantir un certain niveau d'atténuation à 1kHz
3. Calculer un ordre de filtre suffisant pour garantir l'atténuation souhaitée.
4. Déterminer la fonction de transfert du filtre de Rauch et la mettre sous une forme :

$$H(j\omega) = \frac{K}{1 + j \frac{\omega}{Q\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$
5. On fixe $R1=R2=R3=50k\Omega$. Déterminer $C1$ et $C2$ pour avoir la fréquence de coupure escomptée et un facteur de qualité de $1/\sqrt{2}$.
6. Calculer l'atténuation du filtre à 1kHz. Vérifier la cohérence avec l'ordre du filtre déterminé à la question 3.

Simulation

Un fichier de base, pour la simulation, est fourni sur la page Chamilo du cours. Ce fichier contient le générateur de signal carré (vous pourrez adapter la période si nécessaire), ainsi qu'une résistance paramétrée obtenir des simulations avec plusieurs valeurs de R_x .

1. Faire des tracés temporels des sorties des trois montages et valider ainsi le fonctionnement attendu.
2. Tracer le diagramme de Bode du filtre de Rauch pour valider les calculs d'atténuation de l'exercice 3.

Consignes pour le Rendu :

Vous travaillerez en groupe en suivant les listes distribuées au début du cours et déjà utilisées pour les présentations. Chaque groupe devra produire un rapport à télécharger sur le dossier Travaux sur la page Chamilo du cours, dans le dossier correspondant au groupe de TD avant le TD8 pour chaque série. Les fichiers seront au format pdf et seront obligatoirement nommés avec la convention suivante :

nom1_nom2_nom3_...nomX_DM_Instrumentation.pdf

Avec nom_1 à nom_X les noms de famille des personnes constituant le groupe. Une séance de TD d'une heure sera dédiée à la réponse aux questions pour chaque série.