Université de Douala
École Supérieure Technique La Salle

Chaîne d'instrumentation et d'acquisition

Fiches de travaux dirigés

Classe : **IIA5**

Pr Moffo Lonla Bertrand

Année académique 2026–2027

Table des matières

Mode d'emploi **2**

TD 1 — Généralités, caractéristiques métrologiques, cahier des charges **3**

TD 2 — Sources de tension et de courant, miroirs de courant **5**

TD 3 — Amplificateurs : différentiel, instrumentation, pont de Wheatstone **8**

TD 4 — Filtres : repliement, anti-repliement, cellules actives **11**

TD 5 — Convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique **14**

TD 6 — Révision : sujet type d'examen **17**

Mode d'emploi

Chaque fiche correspond à un chapitre du support de cours. Les exercices sont à préparer **avant** la séance ; la séance est consacrée à la correction et aux difficultés rencontrées. Les exercices marqués « travail personnel » ne seront pas tous traités en séance. Sauf indication contraire, les AOP sont idéaux et le quantum d'un CAN de N bits et de pleine échelle V_{PE} vaut $q = V_{\mathrm{PE}}/2^N$.

Fiche	Thème	Séance prévue
TD 1	Généralités, caractéristiques métrologiques, cahier des charges	séance 1
TD 2	Sources de tension et de courant, miroirs de courant	séance 2 (travail personnel)
TD 3	Amplificateurs : différentiel, instrumentation, pont	séance 3
TD 4	Filtres : repliement, anti-repliement, cellules actives	séance 4
TD 5	Convertisseurs CAN et CNA	séance 5
TD 6	Révision : sujet type d'examen	séance 9

TD 1 — Généralités, caractéristiques métrologiques, cahier des charges

Exercice 1 — Schéma synoptique d'une chaîne d'acquisition

séance 1

On considère la chaîne d'acquisition représentée ci-dessous.

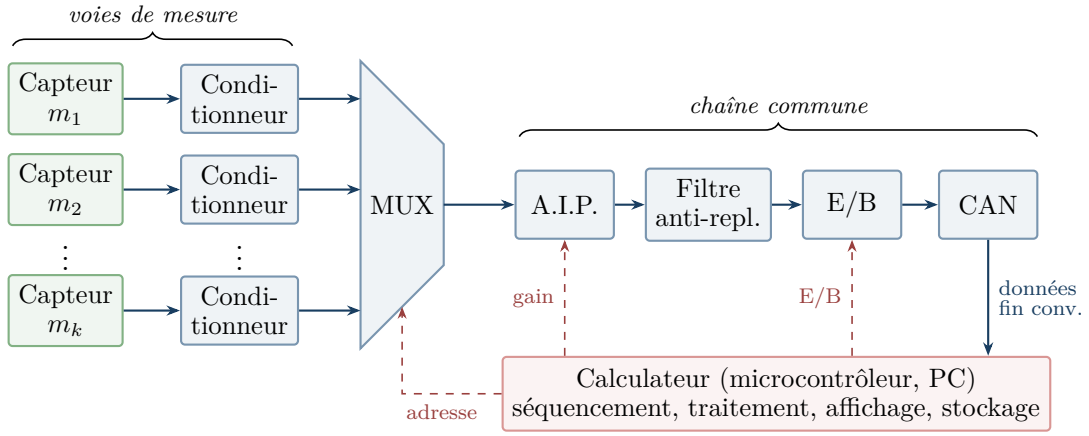


FIGURE 1.1 – Chaîne d'acquisition multivoie.

1. Donner le rôle de chaque bloc de ce schéma synoptique.
2. Pourquoi utilise-t-on un amplificateur d'instrumentation programmable (A.I.P.) au lieu d'un amplificateur ordinaire ?
3. Selon quel théorème fixe-t-on la fréquence de commande du bloc E/B ? Énoncer ce théorème.
4. Les signaux m_k évoluent très rapidement et le procédé exige qu'ils soient prélevés au même instant. Proposer une autre organisation de la chaîne qui satisfasse cette condition.

Exercice 2 — Caractérisation d'un capteur de pression

séance 1

L'étalonnage d'un capteur de pression piézorésistif alimenté sous 10 V a donné :

P (kPa)	0	20	40	60	80	100
s (mV)	0,10	8,12	16,05	24,10	31,98	40,02

1. Ce capteur est-il actif ou passif ? Quelle est son étendue de mesure ?
2. Déterminer, par la méthode des moindres carrés, la sensibilité S et la tension de décalage s_0 du capteur.
3. Calculer les écarts à la droite et en déduire l'erreur de linéarité en % de la pleine échelle, puis en kPa.
4. Le signal est amplifié par un gain $G = 100$ puis converti par un CAN de 10 bits, de pleine échelle 5 V. Quelle est la résolution de la mesure en kPa ? Comparer à l'erreur de linéarité et conclure.

Exercice 3 — Incertitude de mesure

séance 1

On mesure dix fois la tension de sortie d'une référence avec un multimètre réglé sur le calibre 20 V (résolution 1 mV, précision constructeur $\pm(0{,}5\,\%$ de la lecture $+ 2$ digits)) :

5,012 5,018 5,009 5,015 5,021 5,011 5,016 5,013 5,019 5,014 (V)

1. Calculer la moyenne, l'écart-type expérimental et l'incertitude-type de type A de la moyenne.
2. Évaluer l'incertitude-type de type B due au multimètre (loi uniforme).
3. En déduire l'incertitude composée, l'incertitude élargie ($k = 2$) et écrire le résultat.
4. Quelle est la source dominante ? Est-il utile de multiplier les mesures ?

Exercice 4 — Du cahier des charges au choix du CAN

séance 1

On doit mesurer le niveau d'eau d'une cuve de 5 m de hauteur avec une résolution de 5 mm. Le capteur de niveau délivre un courant de 4 mA à 20 mA pour 0 m à 5 m ; ce courant traverse une résistance de 250 Ω. La tension obtenue est appliquée au CAN d'un microcontrôleur (10 bits, 0 V à 5 V).

1. Quel est l'intérêt d'une transmission en courant 4 mA à 20 mA plutôt qu'en tension ? Pourquoi le zéro est-il codé par 4 mA ?
2. Quelle est la plage de tension aux bornes de la résistance ? Combien de codes du CAN sont réellement utilisés ? Quelle est la résolution obtenue ? Le cahier des charges est-il respecté ?
3. Calculer le nombre de bits minimal théorique.
4. Proposer deux solutions et calculer la résolution obtenue dans chaque cas.

Exercice 5 — Caractéristique dynamique (travail personnel)

Une sonde de température se comporte comme un système du premier ordre de constante de temps $\tau = 8$ s. Elle passe brusquement de 20 °C à 80 °C.

1. Donner l'expression de la température indiquée $\theta_m(t)$.
2. Au bout de combien de temps l'erreur est-elle inférieure à 0,5 °C ?
3. Quelle est la bande passante de la sonde ? Quelle fréquence d'échantillonnage minimale proposer ?

TD 2 — Sources de tension et de courant, miroirs de courant

Fiche de travail personnel accompagnant la séance 2 et le TP 1.

Exercice 1 — Source de courant à transistor pour une sonde Pt100

La sonde Pt100 ($R_\theta = 100(1 + A\theta)$ avec $A = 3{,}9083 \times 10^{-3}\,°\mathrm{C}^{-1}$) est alimentée par la source ci-dessous : $V_{CC} = 12\,\mathrm{V}$, diode Zener $V_Z = 3{,}3\,\mathrm{V}$, $V_{EB} = 0{,}6\,\mathrm{V}$, $R_E = 2{,}7\,\mathrm{k\Omega}$, $V_{EC,\mathrm{sat}} = 0{,}3\,\mathrm{V}$.

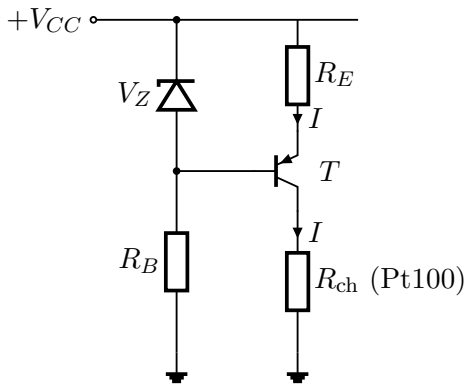


FIGURE 2.1 – Source de courant à transistor PNP.

1. Quel est l'intérêt d'alimenter la Pt100 par une source de courant plutôt que par une source de tension ?
2. Exprimer puis calculer le courant I. Quel est le rôle de R_B ?
3. Calculer la résistance de charge maximale.
4. Calculer la résistance de la sonde et la tension à ses bornes à 25 °C et à 100 °C. En déduire la sensibilité en $\mathrm{mV\,°C^{-1}}$.
5. La sonde est reliée par un câble dont chaque conducteur a une résistance de $0{,}8\,\Omega$. Quelle erreur commet-on en montage 2 fils ? Quel câblage permet de l'éliminer ? Expliquer.

Exercice 2 — Miroir de courant simple et miroir de Wilson

On réalise un miroir simple avec deux transistors appairés : $\beta = 150$, $V_{BE} = 0{,}65\,\mathrm{V}$, tension d'Early $V_A = 80\,\mathrm{V}$, $V_{CC} = 15\,\mathrm{V}$.

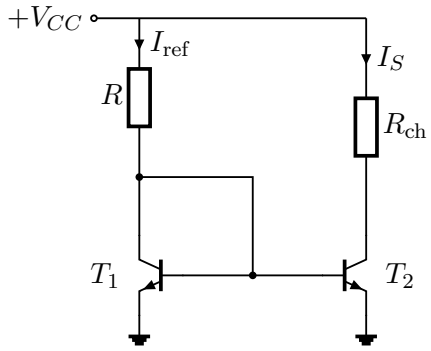


FIGURE 2.2 – Miroir de courant simple.

1. Établir la relation entre I_S et I_{ref}. Calculer R pour que $I_{\text{ref}} = 1\,\text{mA}$, puis I_S et l'erreur de recopie.
2. Calculer la résistance de sortie $r_o = V_A/I_S$. La charge passe de $0\,\Omega$ à $10\,\text{k}\Omega$: de combien varie V_{CE2} ? En déduire la variation du courant de sortie.
3. Pour le miroir de Wilson, $I_S = I_{\text{ref}}\,(1 - 2/(\beta^2 + 2\beta + 2))$ et $R_o \approx \beta r_o/2$. Reprendre les calculs et conclure.

Exercice 3 — Source de Howland pour une sonde Pt1000

La source de Howland ci-dessous utilise quatre résistances $R = 10\,\text{k}\Omega$ et $V_e = 2\,\text{V}$; l'AOP sature à $\pm 13\,\text{V}$.

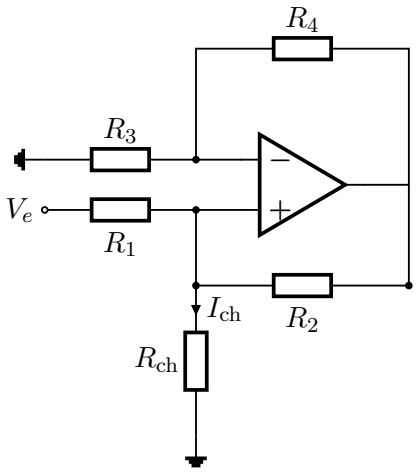


FIGURE 2.3 – Source de courant de Howland.

1. Montrer que $I_{\text{ch}} = V_e/R_1$ si $R_4/R_3 = R_2/R_1$. Calculer I_{ch}.
2. Quelle est la résistance de charge maximale ?
3. R_4 est en réalité 1 % trop grande. Montrer que la résistance de sortie vaut alors R/ε. Calculer l'erreur sur le courant lorsque la charge est une Pt1000 à 100 °C (1385 Ω), et l'erreur de température correspondante.

Exercice 4 — Auto-échauffement

Une Pt100 a une constante de dissipation de $2\,\text{mW}\,^\circ\text{C}^{-1}$ dans l'air calme. Calculer l'élévation de température due au courant de mesure à 100 °C ($R = 138{,}5\,\Omega$) pour $I = 1\,\text{mA}$ puis $I = 10\,\text{mA}$. Conclure.

Exercice 5 — Choix d'une référence de tension

Un CAN de 12 bits utilise une référence externe de 4,096 V.

1. Calculer le quantum.
2. La référence a une tolérance initiale de $\pm 0{,}1\,\%$ et un coefficient de température de $25\,\text{ppm/°C}$. Calculer, en quanta, l'erreur de pleine échelle due à la tolérance, puis celle due à une variation de $40\,°\text{C}$ de l'ambiance.
3. Laquelle de ces erreurs l'étalonnage peut-il corriger ? Que propose-t-on pour la seconde ?

TD 3 — Amplificateurs : différentiel, instrumentation, pont de Wheatstone

Exercice 1 — Gain différentiel et taux de réjection d'un soustracteur

séance 3

On étudie le montage ci-dessous avec $R_1 = R_3 = R$, $R_2 = aR$ et $R_4 = bR$; l'AOP est idéal.

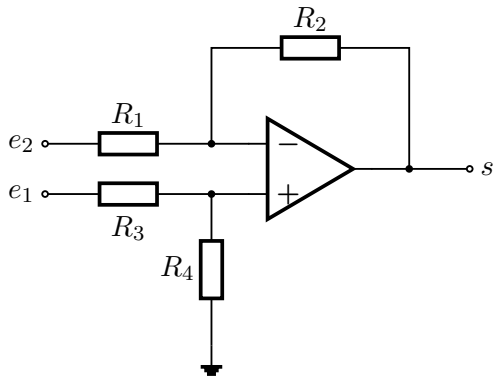


FIGURE 3.1 – Amplificateur différentiel à un AOP.

1. Établir l'expression $s = \dfrac{b(1+a)}{1+b}\, e_1 - a\, e_2$.
2. Exprimer e_1 et e_2 en fonction de $u_d = e_1 - e_2$ et de $u_{\text{mc}} = (e_1 + e_2)/2$.
3. Écrire $s = A_d\, u_d + A_{\text{mc}}\, u_{\text{mc}}$ en identifiant $A_d = f(a,b)$ et $A_{\text{mc}} = f(a,b)$.
4. En déduire le taux de réjection du mode commun $\rho = A_d/A_{\text{mc}}$. Quelle condition les résistances doivent-elles remplir pour que ρ soit maximal ? Que vaut alors A_d ?
5. Application : $a = 10$ et $b = 10{,}1$ (déséquilibre de 1 %). Calculer A_d, A_{mc} et ρ en décibels. Quelle erreur introduit une tension de mode commun de 5 V ?

Exercice 2 — Amplificateur d'instrumentation à trois AOP

séance 3

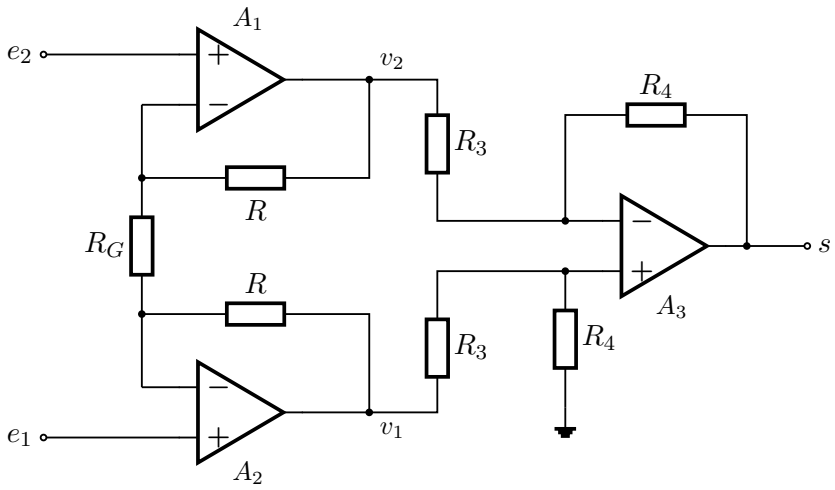


FIGURE 3.2 – Amplificateur d'instrumentation à trois AOP.

1. Montrer que le courant dans R_G vaut $(e_1 - e_2)/R_G$ et en déduire $v_1 - v_2$.
2. Que valent v_1 et v_2 lorsque $e_1 = e_2 = u_{\text{mc}}$? Conclure sur le rôle de l'étage d'entrée.
3. Établir l'expression du gain $G = s/(e_1 - e_2)$.
4. Application : $R = 25\,\text{k}\Omega$, $R_G = 1\,\text{k}\Omega$, $R_3 = 10\,\text{k}\Omega$, $R_4 = 20\,\text{k}\Omega$. Calculer G. L'entrée reçoit $u_d = 10\,\text{mV}$ et $u_{\text{mc}} = 5\,\text{V}$; le TRMC vaut 100 dB. Calculer la tension de sortie et l'erreur relative due au mode commun.

Exercice 3 — Amplificateur d'instrumentation intégré INA125

séance 3

Le gain de l'INA125 est donné par $G = 4 + 60\,\text{k}\Omega/R_G$.

1. Calculer le gain pour $R_G = 10\,\text{k}\Omega$.
2. Quelle valeur de R_G faut-il pour $G = 200$?
3. Pourquoi utilise-t-on un amplificateur d'instrumentation plutôt qu'un simple AOP pour amplifier la tension d'un pont ou d'une sonde à résistance ?

Exercice 4 — Jauge de contrainte en quart de pont

séance 3

Une jauge ($R_0 = 350\,\Omega$, facteur de jauge $K = 2{,}1$) est montée en quart de pont avec trois résistances fixes de $350\,\Omega$, sous $E = 5\,\text{V}$. La déformation maximale vaut $\varepsilon = 2000\,\mu\text{m}\,\text{m}^{-1}$; on rappelle $\Delta R/R_0 = x = K\varepsilon$.

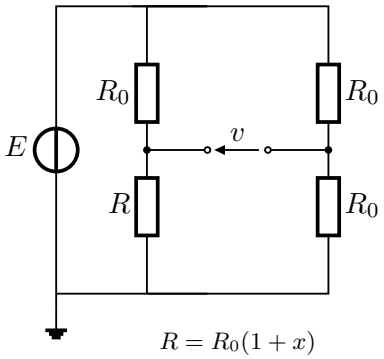


FIGURE 3.3 – Pont de Wheatstone en quart de pont.

1. Montrer que $v = \dfrac{E}{4}\dfrac{x}{1 + x/2}$. Calculer v à la déformation maximale, ainsi que l'erreur de linéarité commise en adoptant $v \approx Ex/4$.

2. On utilise un INA128 ($G = 1 + 50\,\mathrm{k\Omega}/R_G$) pour obtenir 4 V à pleine charge. Calculer G et R_G.
3. Quelle est la tension de mode commun à l'entrée de l'INA128 ? Le TRMC vaut 120 dB et le décalage d'entrée 50 µV : exprimer ces deux erreurs en $\mu\mathrm{m\,m^{-1}}$. Laquelle doit être corrigée et comment ?

Exercice 5 — Mesure de pression atmosphérique par pont (travail personnel)

On mesure l'écart de pression par rapport à 1013 mbar avec le pont de la figure précédente, où R est un capteur résistif linéaire et les trois autres résistances valent R_0 (ajustables, réglées à l'identique). Le capteur a pour caractéristique :

P (mbar)	900	1013	1100
R (Ω)	954,8	1000,0	1034,8

1. Donner l'expression de v en fonction de E, R_0 et R. Montrer qu'à l'équilibre ($v = 0$) on a $R = R_0$.
2. Exprimer R en fonction de P. En déduire la valeur des résistances R_0.
3. Exprimer v en fonction de E et P. Cette relation est-elle linéaire ?
4. Pour $E = 12$ V, calculer v pour $P = 900$ mbar et $P = 1100$ mbar, puis l'erreur relative commise en utilisant l'approximation linéaire $v \approx E(R - R_0)/(4R_0)$.

TD 4 — Filtres : repliement, anti-repliement, cellules actives

Exercice 1 — Fréquences repliées

séance 4

Un signal utile de 200 Hz est accompagné de parasites à 50 Hz, 4,8 kHz, 5,05 kHz et 7,3 kHz. On l'échantillonne à $f_e = 5\,\text{kHz}$ sans filtrage préalable.

1. À quelles fréquences ces composantes apparaissent-elles dans le signal échantillonné ?
2. Lesquelles sont gênantes ? Peut-on les éliminer par un filtre numérique ?
3. Proposer une fréquence de coupure pour le filtre anti-repliement.

Exercice 2 — Ordre du filtre anti-repliement

séance 4

Le signal utile s'étend jusqu'à $f_{\max} = 500\,\text{Hz}$; il est converti par un CAN de 12 bits. Le filtre est un Butterworth de fréquence de coupure $f_c = f_{\max}$.

1. Quelle atténuation minimale faut-il à la fréquence $f_e - f_{\max}$ pour qu'une perturbation de pleine échelle repliée reste inférieure au demi-quantum ?
2. Calculer l'ordre minimal du filtre pour $f_e = 5\,\text{kHz}$, puis pour $f_e = 20\,\text{kHz}$.
3. Que conclure ? Quel est le prix à payer pour un f_e élevé ?

Exercice 3 — Cellule de Sallen-Key

séance 4

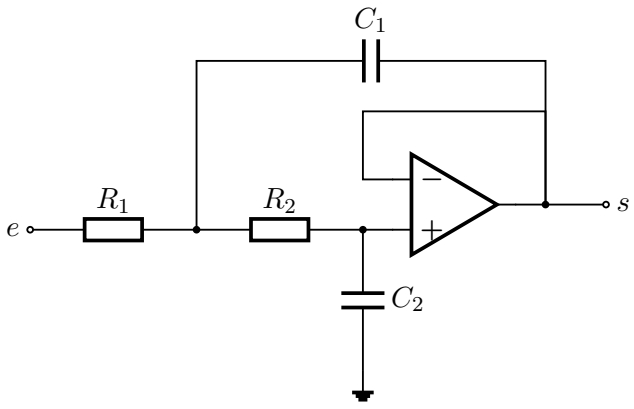


FIGURE 4.1 – Cellule de Sallen-Key passe-bas.

On donne, pour $R_1 = R_2 = R$: $H(j\omega) = \dfrac{1}{1 + jRC_2\,2\omega - R^2C_1C_2\,\omega^2}$.

1. Identifier H_0, ω_0 et Q par comparaison avec la forme canonique $H_0/(1 + j\omega/(Q\omega_0) - \omega^2/\omega_0^2)$.
2. Application : $R = 10\,\text{k}\Omega$, $C_1 = 22\,\text{nF}$, $C_2 = 10\,\text{nF}$. Calculer f_0 et Q. Ce filtre est-il proche d'un Butterworth ?
3. On veut un Butterworth d'ordre 4 de fréquence de coupure 500 Hz, réalisé par deux cellules de Sallen-Key en cascade avec $C_2 = 10\,\text{nF}$ ($Q_1 = 0{,}541$, $Q_2 = 1{,}307$). Calculer C_1 (valeur normalisée E12) et R pour chaque cellule.

Exercice 4 — Cellule de Rauch

séance 4

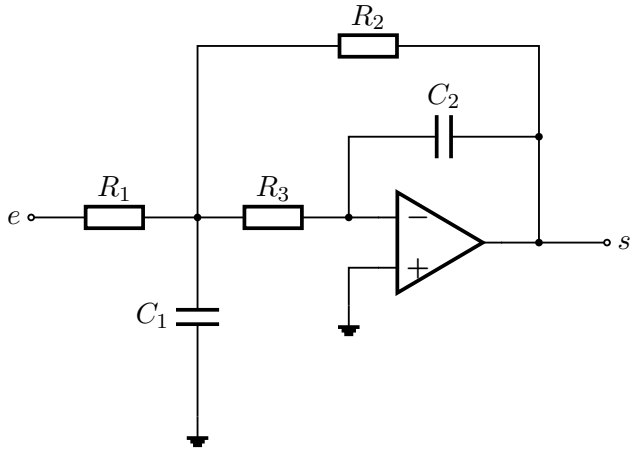


FIGURE 4.2 – Cellule de Rauch passe-bas.

On admet : $H_0 = -R_2/R_1$, $\omega_0 = 1/\sqrt{R_2R_3C_1C_2}$, $Q = \sqrt{R_2R_3C_1C_2}\,/\,[C_2(R_2 + R_3 + R_2R_3/R_1)]$.

1. Calculer H_0, f_0 et Q pour $R_1 = R_3 = 10\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 20\,\text{k}\Omega$, $C_1 = 100\,\text{nF}$, $C_2 = 4{,}7\,\text{nF}$.
2. Peut-on utiliser cette cellule comme seconde cellule d'un Butterworth d'ordre 4 ? Quelle serait la fréquence de coupure ?

Exercice 5 — Filtre anti-repliement à fréquence de coupure programmable

séance 4

Une carte d'acquisition échantillonne à une cadence choisie par le logiciel. Son filtre anti-repliement est un filtre à variables d'état dont les deux intégrateurs sont précédés de CNA multiplieurs de 8 bits recevant le même mot N ($R = 10\,\text{k}\Omega$, $C = 10\,\text{nF}$).

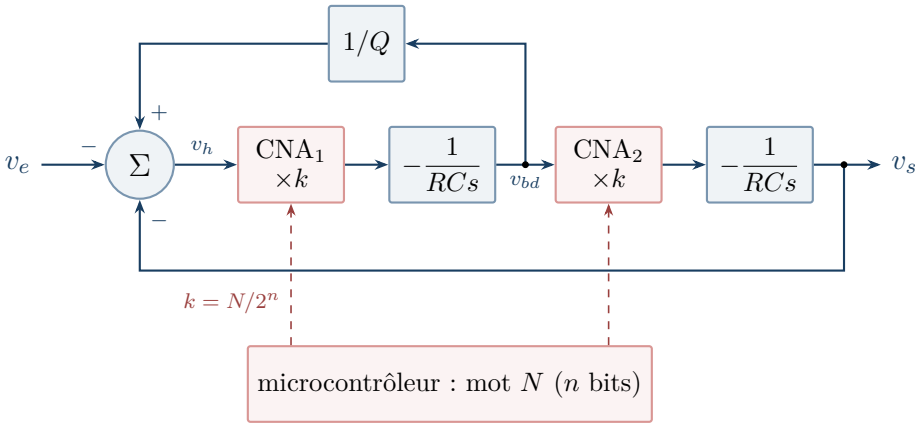


FIGURE 4.3 – Filtre à variables d'état programmable.

1. Montrer que chaque ensemble « CNA + intégrateur » a pour transmittance $-k/(RCs)$ avec $k = N/256$. Établir v_s/v_e et en déduire ω_0 et Q. Que vaut le gain statique ?
2. Quelle valeur faut-il donner au gain de la branche $1/Q$ pour obtenir une réponse de Butterworth ? Dépend-elle de N ?
3. Calculer la plage de fréquences de coupure accessible et le pas de programmation.
4. La carte échantillonne à $f_e = 4\,\text{kHz}$ puis à $f_e = 10\,\text{kHz}$. On choisit $f_c = f_e/10$. Calculer N dans chaque cas et la coupure réellement obtenue.
5. On voulait seulement ces deux cadences : proposer une solution plus simple, à cellule de Sallen-Key ($C_1 = 22\,\text{nF}$, $C_2 = 10\,\text{nF}$), et calculer les résistances à commuter.

Exercice 6 — Filtre programmable et filtrage numérique (travail personnel)

1. Un filtre à capacités commutées a une fréquence de coupure $f_c = f_{\text{clk}}/100$. La chaîne échantillonne à 10 kHz et le signal utile s'étend jusqu'à 2 kHz. Quelle horloge faut-il ? Que devient-elle si l'on réduit f_e à 1 kHz (signal utile jusqu'à 200 Hz) ? Pourquoi faut-il encore un filtre RC en amont ?
2. Le calculateur échantillonne à $f_e = 1$ kHz. Combien d'échantillons doit compter une moyenne glissante pour rejeter totalement le 50 Hz ?
3. À $f_e = 100$ Hz, on applique $y_n = y_{n-1} + (x_n - y_{n-1})/8$. Calculer la constante de temps équivalente (approximation $\tau \approx T_e/\alpha$, puis valeur exacte $-T_e/\ln(1-\alpha)$) et la fréquence de coupure.

TD 5 — Convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique

Exercice 1 — Choix d'un convertisseur analogique-numérique

séance 5

On dispose d'un CAN 8 bits de pleine échelle 10 V.

1. Quelle est la plus grande valeur possible du nombre en sortie du CAN ?
2. Déterminer le nombre d'états possibles en sortie, puis le quantum.
3. Mêmes questions pour un CAN 12 bits de même pleine échelle. Comparer.
4. Quel rapport signal sur bruit de quantification théorique offre chacun d'eux ?

Exercice 2 — Le convertisseur PCF8591

séance 5

Le PCF8591 est un convertisseur à quatre entrées analogiques, une sortie analogique et une interface I^{2}C. En mode unipolaire ($V_{\text{AGND}} = 0\,\text{V}$), sa caractéristique va du code `00h` au code `FFh`.

1. Sur combien de bits le mot numérique est-il codé ? La conversion est-elle unipolaire ou bipolaire ?
2. Calculer V_{ref} pour obtenir un quantum de 19,53 mV.
3. Calculer la tension d'entrée si le code obtenu vaut `0Dh`.
4. Donner les codes obtenus (conversion par troncature) pour 2,79 V, 2,80 V et 2,81 V. Commenter.
5. En mode différentiel, on admet que le circuit convertit $V_{\text{ain+}} - V_{\text{ain−}}$ entre $-V_{\text{ref}}/2$ et $+V_{\text{ref}}/2$ en complément à 2. La conversion est-elle unipolaire ou bipolaire ? Calculer le quantum pour $V_{\text{ref}} = 5\,\text{V}$ et les deux valeurs extrêmes de $V_{\text{ain+}} - V_{\text{ain−}}$.

Exercice 3 — CNA à réseau R-2R

séance 5

On considère le CNA R-2R du cours (chapitre 5 du support, figure ci-dessous), étendu à 8 bits, avec $V_{\text{ref}} = 5\,\text{V}$ et $R_f = R$.

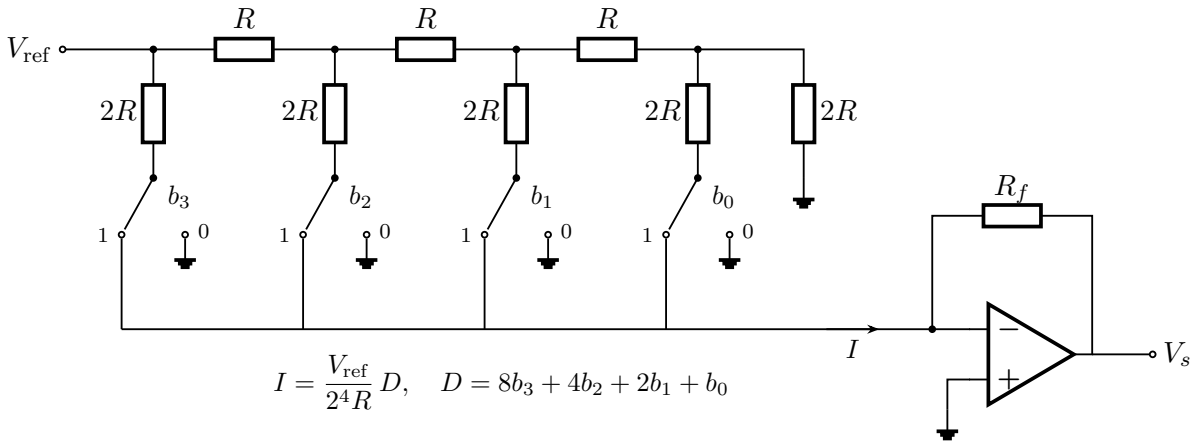


FIGURE 5.1 – CNA R-2R (version 4 bits).

1. Montrer que la résistance vue de chaque nœud vers la droite vaut $2R$. En déduire le courant dans la branche du bit de poids fort, puis dans celle du bit b_i.
2. Exprimer V_s en fonction de D. Calculer le quantum et la tension de sortie maximale.
3. Calculer V_s pour $D = \texttt{01101001}_2$.
4. Pourquoi préfère-t-on le réseau R-2R au réseau à résistances pondérées ?

Exercice 4 — Conversion par approximations successives

séance 5

Un CAN à approximations successives de 6 bits a pour référence $V_{\text{ref}} = 5\,\text{V}$; il convertit par troncature $v_e = 2{,}1\,\text{V}$.

1. Calculer le quantum et le code attendu.
2. Dresser le tableau des étapes de la conversion (essai, tension du CNA interne, décision).
3. L'horloge du registre est à 1 MHz (un bit par période). Quelle est la durée de la conversion ? Pourquoi faut-il un échantillonneur-bloqueur ?

Exercice 5 — Échantillonneur-bloqueur

séance 5

La capacité de maintien vaut $C_H = 20\,\text{pF}$; la résistance totale de charge (source + interrupteur) vaut $5\,\text{k}\Omega$.

1. Calculer le temps d'acquisition minimal pour un CAN de 10 bits, puis de 12 bits (charge à $q/2$ près).
2. Un autre E/B a $C_H = 100\,\text{pF}$ et un courant de fuite de 5 nA. Calculer la dérive en blocage et la variation pendant une conversion de $20\,\mu\text{s}$. Comparer au demi-quantum d'un CAN 10 bits de 5 V.

Exercice 6 — Acquisition d'une tension bipolaire par un CAN unipolaire

séance 5

Un capteur délivre une tension v_e comprise entre $-10\,\text{V}$ et $10\,\text{V}$. Le microcontrôleur dispose d'un CAN unipolaire de 10 bits (0 V à 5 V).

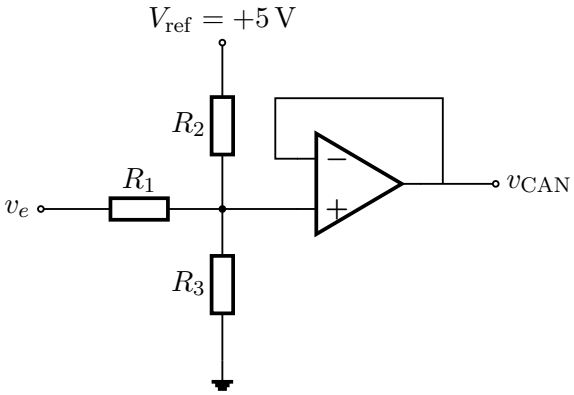


Figure 5.2 – Adaptation de niveau.

1. Expliquer pourquoi on ne peut pas appliquer v_e directement. Quel est le principe de l'adaptation ?
2. Exprimer v_{CAN} en fonction de v_e, V_{ref}, R_1, R_2, R_3 (théorème de Millman).
3. Déterminer R_1, R_2, R_3 pour que $[-10, +10]$ V corresponde à $[0, 5]$ V, en imposant une résistance équivalente $R_1 // R_2 // R_3 = 5\,\text{k}\Omega$.
4. Le CAN rend le code $D = 700$. Calculer v_e. Quel est le quantum ramené à l'entrée ?

Exercice 7 — Convertisseur double rampe (travail personnel)

Un CAN double rampe intègre v_e pendant $T_1 = 20\,\text{ms}$ puis la référence $-V_{\text{ref}} = -2\,\text{V}$; l'horloge du compteur est à 100 kHz.

1. Combien d'impulsions N_1 sont comptées pendant T_1 ?
2. Établir $N_2 = N_1\, v_e / V_{\text{ref}}$. Calculer N_2 pour $v_e = 1{,}234\,\text{V}$ et la résolution.
3. Pourquoi le choix $T_1 = 20\,\text{ms}$ est-il judicieux ?

TD 6 — Révision : sujet type d'examen

Sujet de synthèse de durée 2 h, dans les conditions de l'examen (documents non autorisés, calculatrice autorisée).

Exercice 1 — Acquisition de température par sonde Pt100

8 points

Un capteur de température à ruban de platine a une résistance $R_\theta = R_0(1 + a\theta)$ avec $R_0 = 100\,\Omega$ et $a = 3{,}85 \times 10^{-3}\,°\mathrm{C}^{-1}$. Il est inséré dans le conditionneur ci-dessous ; la source délivre $I = 1{,}00\,\mathrm{mA}$, $R_1 = 1\,\mathrm{k}\Omega$, $R_2 = 86{,}6\,\mathrm{k}\Omega$, $R = 10\,\mathrm{k}\Omega$; les AOP sont idéaux et alimentés en $\pm 15\,\mathrm{V}$.

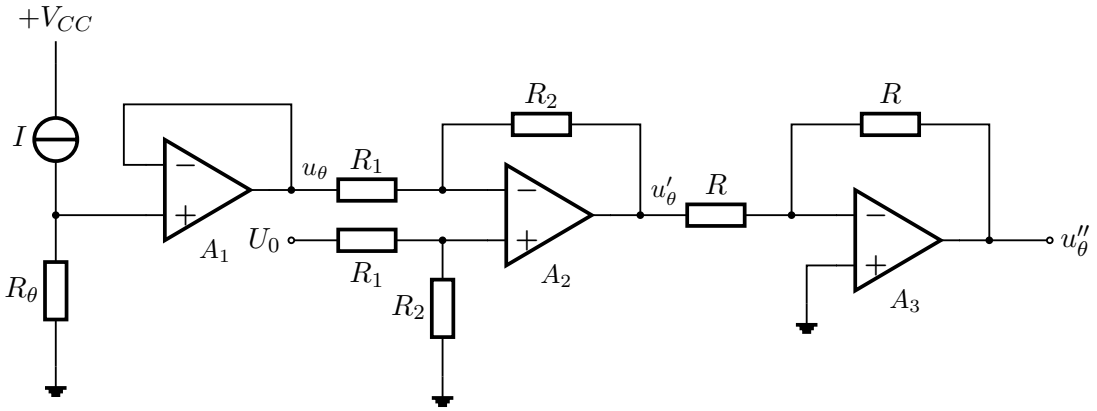


FIGURE 6.1 – Conditionneur de la sonde Pt100.

1. Montrer que la tension u_θ s'écrit $u_\theta = U_0(1 + a\theta)$. Exprimer U_0 en fonction de I et R_0 ; calculer U_0.
2. Quel est l'intérêt du montage construit autour de A_1 ?
3. Le montage construit autour de A_2 reçoit la tension U_0 (élaborée par une référence de tension). Montrer que $u'_\theta = -b\,\theta$ et exprimer b en fonction de a, U_0, R_1 et R_2. Calculer b.
4. Quelle fonction réalise A_3 ? Exprimer u''_θ.
5. Déterminer la variation de u''_θ lorsque θ varie de $-50\,°\mathrm{C}$ à $100\,°\mathrm{C}$.
6. Peut-on appliquer directement u''_θ à l'entrée analogique d'un microcontrôleur alimenté sous $5\,\mathrm{V}$? Justifier et proposer une modification de A_3 pour obtenir $0\,\mathrm{V}$ à $5\,\mathrm{V}$.

Exercice 2 — Conversion et programmation

6 points

La tension adaptée $u_{\mathrm{CAN}} = b\,(\theta + 50)$ est appliquée à l'entrée AN0 d'un PIC18F45K22 (CAN 10 bits, $V_{\mathrm{ref}} = 5\,\mathrm{V}$).

1. Calculer le quantum et la résolution de la mesure en °C.
2. La constante de temps thermique de la sonde est de $10\,\mathrm{s}$. Proposer une fréquence d'échantillonnage et un filtre anti-repliement (type, fréquence de coupure). Justifier en citant le théorème utilisé.
3. Établir la relation donnant θ en fonction du code D. Calculer θ pour $D = 512$.

4. Écrire, en C pour le compilateur CCS, la fonction `float lire_temperature(void)` qui effectue la moyenne de 8 conversions de la voie AN0 et renvoie la température.

Exercice 3 — Questions de cours 6 points

1. Citer les trois structures de chaîne d'acquisition multivoie et indiquer, pour chacune, un avantage et un inconvénient.
2. Qu'est-ce que le taux de réjection du mode commun ? Pourquoi est-il limité dans un soustracteur à un AOP ?
3. Citer quatre types de CAN ; pour chacun, donner un ordre de grandeur de résolution et de cadence et une application.
4. Expliquer le rôle d'un miroir de courant dans une chaîne d'instrumentation. Pourquoi le miroir de Wilson est-il meilleur que le miroir simple ?