

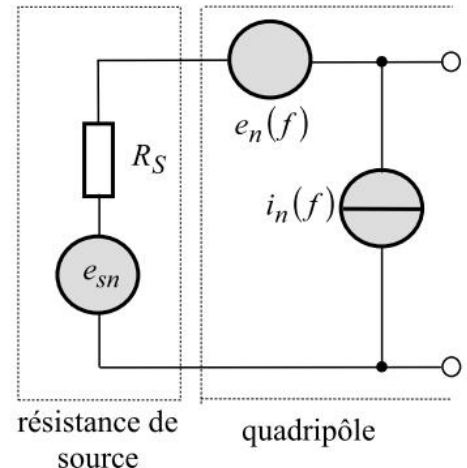
## Contrôle final (28/10/2013)

### Tous documents autorisés, durée 1h30mn

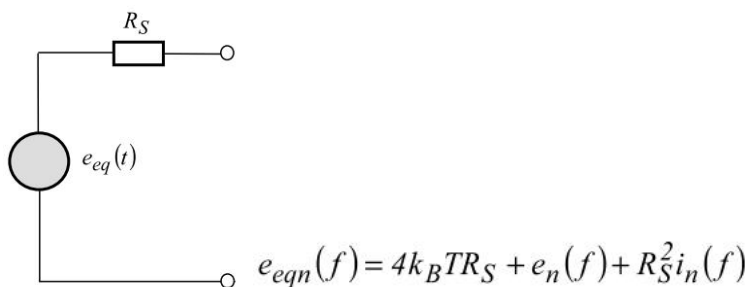
### I. Composition de sources de bruit

Dans le schéma de la figure ci-contre, la source  $e_{sn}$  représente le bruit thermique de la résistance  $R_S$  de la source placée à l'entrée d'un quadripôle,  $e_n(f)$  et  $i_n(f)$  représentent les densités spectrales de bruit du modèle ( $e_n$ ,  $i_n$ ) du quadripôle.  $e_n$  et  $i_n$  sont supposées non corrélées. Le quadripôle est de type passe-bas du 1<sup>er</sup> ordre, de transmittance statique  $T_0$  (pour la charge considérée), de résistance d'entrée infinie et de bande passante à  $-3$  dB  $B_S$ .

Etablir l'expression, en fonction de  $e_n$ ,  $i_n$ ,  $R_S$ ,  $k$ ,  $T$ ,  $T_0$  et  $B_S$ , de la valeur efficace de la tension de bruit à la sortie du quadripôle.



#### Réponse



Il suffit de multiplier  $e_{eqn}$  par  $T_0 \cdot (\pi/2) \cdot B_S$

### II. Bruit de fond dans une chaîne d'acquisition

Le conditionnement du signal  $V_E$ , fourni par un capteur, est réalisé au moyen du montage de la figure 1. Le montage comprend un amplificateur non inverseur suivi d'un filtre passe-bas et un CAN pour numériser le signal.

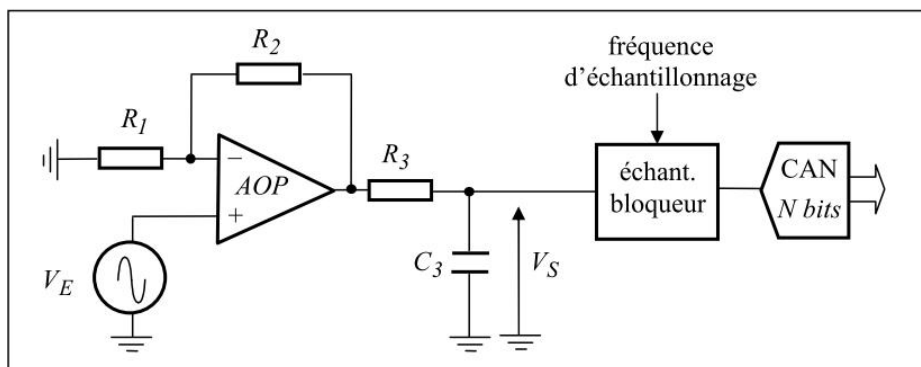


Figure 1 : Conditionnement du signal  $V_E$  fourni par un capteur

La valeur efficace de bruit  $e_1$  en sortie du filtre passe-bas est égale à  $75 \mu\text{V}$  à la température de  $25^\circ\text{C}$  lorsque  $V_E$  est supposé sans bruit. En pratique le signal issu du capteur est bruité, la densité spectrale  $e_n$  de bruit est estimée à  $2,5 \cdot 10^{-17} \text{ V}^2/\text{Hz}$ .

On se propose dans un premier temps de calculer le rapport Signal/Bruit en sortie du filtre passe-bas puis dans un deuxième temps de dimensionner le CAN.

**II.1.** Quelle est la fréquence de coupure  $f_{-3dB}$  du filtre passe-bas ? On donne  $R_3 = 10\text{ k}\Omega$  et  $C_3 = 1\text{ nF}$ .

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_3 C_3} \approx 15,915\text{ kHz}$$

**II.2.** Quelle est la valeur de la bande passante équivalente de bruit  $B_N$  du filtre passe-bas ?

$$B_{ENBW} = \frac{\pi}{2} f_{-3dB} = \frac{\pi}{2} 15,915 = 25\text{ kHz}$$

**II.3.** On fait l'hypothèse (justifiée) que la bande passante du montage est égale à la bande passante du filtre passe-bas ; en déduire la valeur efficace de bruit  $e_c$  due au seul capteur en sortie du filtre passe-bas. On donne  $R_2 = 100\text{ k}\Omega$  et  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ .

$$e_c = \left( e_n \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)^2 B_{ENBW} \right)^{1/2} = \left( 2,5 \cdot 10^{-17} \left( 1 + \frac{100}{1} \right)^2 \cdot 25 \cdot 10^3 \right)^{1/2} = 79,8\text{ }\mu\text{V}$$

**II.4.** Calculer la valeur efficace totale  $e_2$  du bruit en sortie du filtre passe-bas.

$$e_2 = (e_c^2 + e_l^2)^{1/2} = \left( (79,8 \cdot 10^{-6})^2 + (75 \cdot 10^{-6})^2 \right)^{1/2} = 109,5\text{ }\mu\text{V}$$

**II.5.** La valeur efficace du signal en sortie du filtre passe-bas est égale à  $1/\sqrt{2}$  ; en déduire le rapport Signal/Bruit  $SNR_{Cond}$  (en dB) en sortie du filtre passe-bas.

$$SNR_{Cond} = 20 \log_{10} \left( \frac{1/\sqrt{2}}{109,5 \cdot 10^{-6}} \right) = 76,2\text{ dB}$$

**II.5.** Le signal en sortie du filtre passe-bas est relié à l'entrée d'un CA/N. Pour un signal d'entrée non bruité, le rapport signal / bruit à la sortie du CA/N est donné dans la première colonne du tableau ci-dessous. Le bruit (de quantification) introduit par le CA/N est non corrélé avec le bruit présent à son entrée (le bruit de quantification s'ajoute donc quadratiquement au bruit  $e_2$  présent à son entrée pour donner la valeur quadratique moyenne du bruit en sortie de chaîne).

Calculer pour les trois CAN du tableau ci-dessous, les valeurs du  $SNR_{TOT}$ .

$$SNR_{Tot} (\text{en dB}) = 20 \log_{10} \left( \frac{V_{INeff}}{e_{Tot}} \right) = -10 \log_{10} \left( 10^{-SNR_{Cond} / 10} + 10^{-SNR / 10} \right)$$

| Résolution du CAN | SNR (en dB) | $SNR_{Cond}$ (en dB) | $SNR_{Tot}$ (en dB) |
|-------------------|-------------|----------------------|---------------------|
| 8 bits            | 46          | 76,2                 | $\approx 46$        |
| 12 bits           | 68          | 76,2                 | $\approx 67$        |
| 16 bits           | 90          | 76,2                 | $\approx 76$        |

**II.6.** Quel CAN faut-il choisir pour conserver le rapport Signal / Bruit du conditionnement ?

**Question 7 :** Pour conserver le  $SNR_{Cond}$ , il faut choisir un *CAN 16 bits*. Le nombre effectif

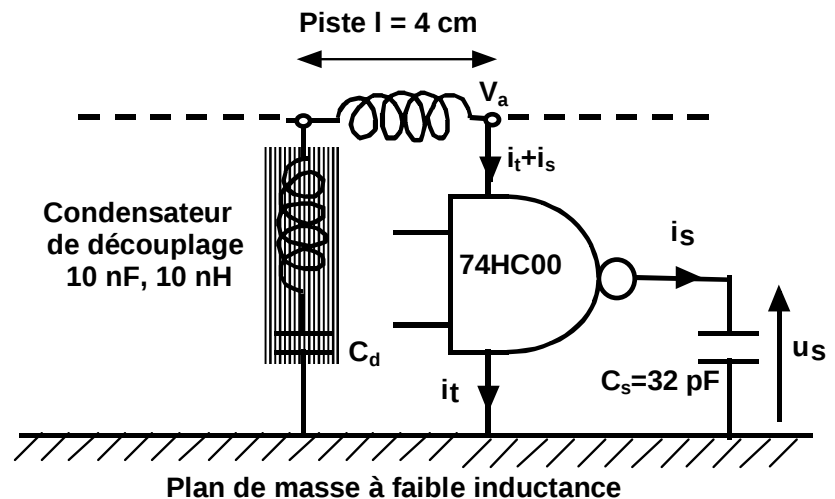
de bits de conversion est égal à :  $ENOB = \frac{SINAD}{6,02} = \frac{SNR}{6,02} = \frac{76}{6,02} \approx 12 \text{ bits}$

### III. Bruit d'alimentation induit par la commutation d'une porte logique

En régime statique, la consommation d'une porte CMOS est quasi-nulle. Lors d'une commutation (on envisagera ici un passage de  $u_s$  de 0 à 5 V), elle absorbe un courant transitoire qui se compose :

- d'un courant  $i_t$  qu'on suppose passer linéairement de 0 à 15 mA en 3,5 ns et qui est dû à la conduction simultanée temporaire des deux transistors complémentaires de sortie ;
- d'un courant  $i_s$  nécessaire à la variation de la charge électrique de la capacité  $C_s$  (capacité d'entrée des portes connectées à la sortie de la porte étudiée); ce courant a une vitesse de croissance maximum de 9 mA / ns.

Le circuit intégré HCMOS est implanté sur un circuit imprimé pour lequel l'inductance linéique des pistes sera prise égale à 1  $\mu\text{H/m}$ . On suppose que, lors de la commutation de la porte, la totalité du courant ( $i_t + i_s$ ) est fournie par le condensateur de découplage (modélisé par une capacité idéale en série avec une inductance), tandis que la tension aux bornes de la capacité idéale  $C_d$  est supposée rester constante et égale à 5 V.



**III.1.** Calculer le  $di/dt$  maximum dans le condensateur de découplage et en déduire la variation maximum  $\Delta V_a$  de la tension d'alimentation  $V_a$  « vue » par la porte logique lors d'une commutation.

#### Réponse

L'inductance totale entre  $C_d$  (dont la tension aux bornes est supposée ne pas varier) et  $V_a$  'au niveau du CI) est de 50 nH. Le  $di/dt$  max vaut  $(9 \cdot 10^{-3}/10^{-9} + 15 \cdot 10^{-3}/3.5 \cdot 10^{-9}) = 13.3 \cdot 10^6 \text{ A/s}$ . La chute de tension correspondante est d'environ 0.7 V

**III.2.** Le découplage vous semble-t-il bien adapté ?

La valeur du  $\Delta U_{alim}$  est trop élevée. La capacité de découplage est trop loin du CI.