

Systèmes Electronique pour les capteurs : Bruit en Instrumentation et détection synchrone

Quelques définitions :

Définition de la valeur quadratique moyenne de bruit :

$$\text{Valeur quadratique moyenne de bruit } = \langle e^2 \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt$$

T est la durée d'observation

Définition de la densité spectrale $e(f)$

Val. quad. moy. de bruit dans une plage df située en $f = e(f) df$

En calculant la puissance moyenne délivrée à une charge R, on peut déduire la relation suivante :

$$\int_0^\infty e(f) df = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt$$

PREMIERE PARTIE : BRUIT DANS LES DISPOSITIFS ELECTRONIQUES

Exercice 1 : Manipulation des densités spectrales

Question 1 :

On considère deux sources de bruit en tension **non corrélées** et montées en série dont les densités spectrales sont respectivement $e_1(f)$ et $e_2(f)$ (Figure 1).

Déterminer la densité spectrale équivalente $e_{eq}(f)$?

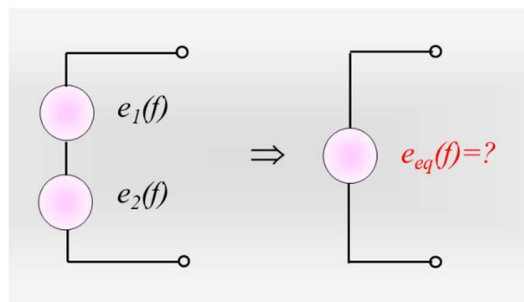


Figure 1

Question 2 :

On considère maintenant deux sources de bruit en tension $e(t)^1$ et $e_n(t)$ et une source de bruit en courant $i_n(t)$ dont les densités spectrales sont égales à $4k_B T R_s$, $e_n(f)$ et $i_n(f)$ (**Figure 2**). C'est un cas très fréquemment rencontré (cas du transistor et de l'Aop).

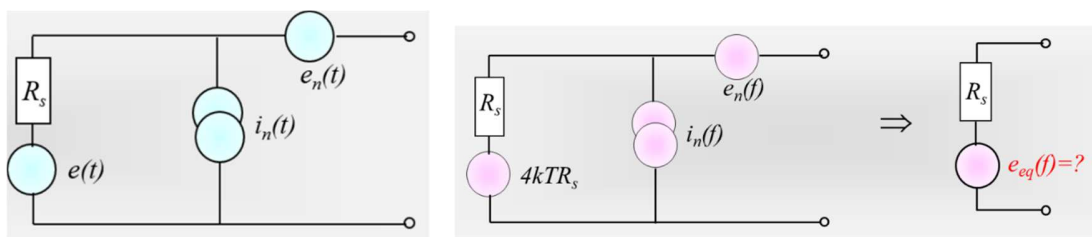


Figure 2

On suppose que les sources de bruit sont non corrélées. Déterminer la densité spectrale équivalente $e_{eq}(f)$.

¹ Il s'agit de la source de bruit associée à la résistance R_s .

Systèmes Electronique pour les capteurs : Bruit en Instrumentation et détection synchrone

Exercice 2 : Facteur de bruit

On considère l'amplificateur de la figure 3 ci-dessous avec les caractéristiques suivantes : $G_m = 100$, $F_c = 6.36\text{kHz}$ (Ampli filtre passe bas) et $NF = 10\text{dB}$ et rapport Signal/Bruit en sortie de 80 dB. La résistance de source R_s du générateur est égale à 1kOhms et elle est à la température $T_a = 300\text{K}$.

Déterminer la valeur efficace de bruit en sortie puis la valeur crête E du signal d'entrée.

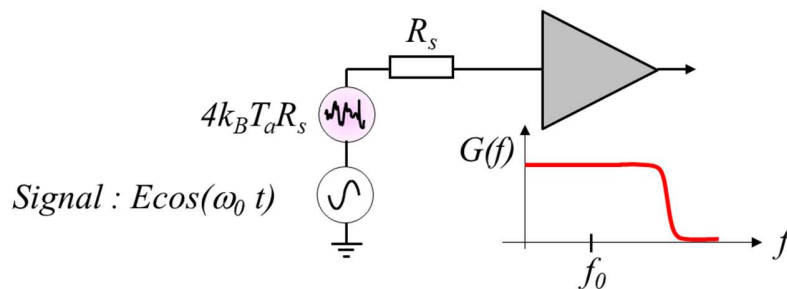


Figure 3

Exercice 3 : Facteur de bruit d'une chaîne d'amplificateurs

Soit une chaîne de trois amplificateurs de gain en tension G_1 , G_2 et G_3 , et de facteurs de bruit NF_1 , NF_2 et NF_3 (en dB) (Figure 4). Les amplificateurs sont adaptés, c'est à dire que les résistances de sortie et d'entrée sont toutes égales à la résistance R_s de la source.

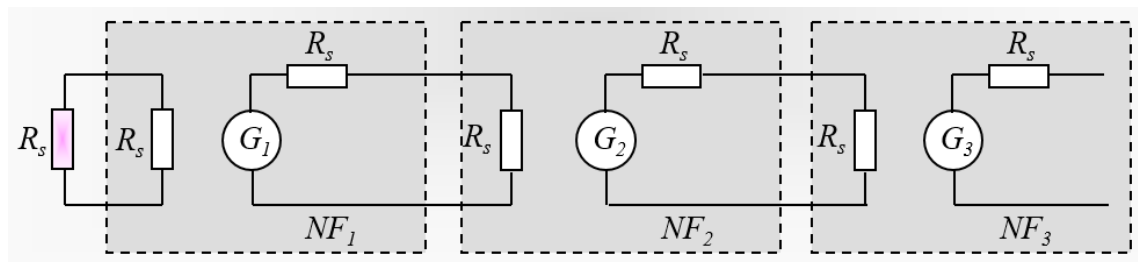


Figure 4

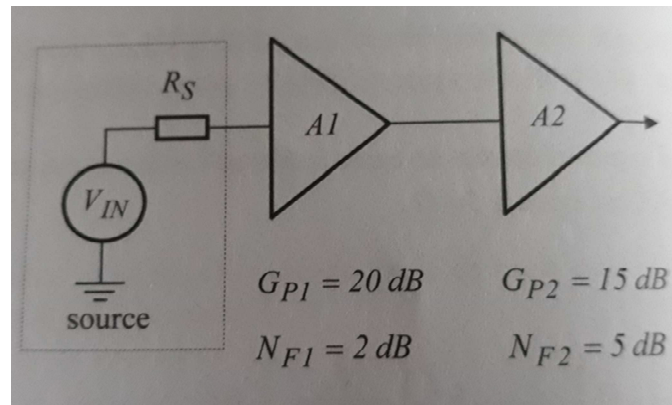
Systèmes Electronique pour les capteurs : Bruit en Instrumentation et détection synchrone

Question 1:

- Donner le schéma de l'amplificateur équivalent à la chaîne d'amplification ?
- Déterminer son facteur de bruit ? et en déduire que dans une chaîne d'amplificateurs, le facteur de bruit équivalent de la chaîne peut se réduire au facteur de bruit du premier amplificateur.

Question 2 :

L'amplificateur de la figure 5 est constitué de deux amplificateurs A1 et A2 adaptés en entrée et en sortie à 50 Ohms. Les caractéristiques des deux amplificateurs sont données sur la figure.



L'amplificateur est attaqué par une source de résistance 50 Ohms à la température 300K. La bande passante équivalente de Bruit B_{ENBW} de l'amplificateur est égale à 1MHz.

Quelle doit être la valeur de la tension d'entrée V_{in} pour obtenir en sortie un rapport S/N = 50dB ?

Systèmes Electronique pour les capteurs : Bruit en Instrumentation et détection synchrone

Exercice 4 : Valeur efficace de bruit en sortie du montage non-inverseur

On considère le montage de l'Amplificateur non inverseur de la figure 5.a. La figure 5.b présente le schéma pour le calcul du bruit des montages inverseur et non inverseur. L'AOP utilisé est l'OP227. Sa fiche technique est disponible sur Moodle et son modèle est intégré à la librairie des composants dans LTSpice.

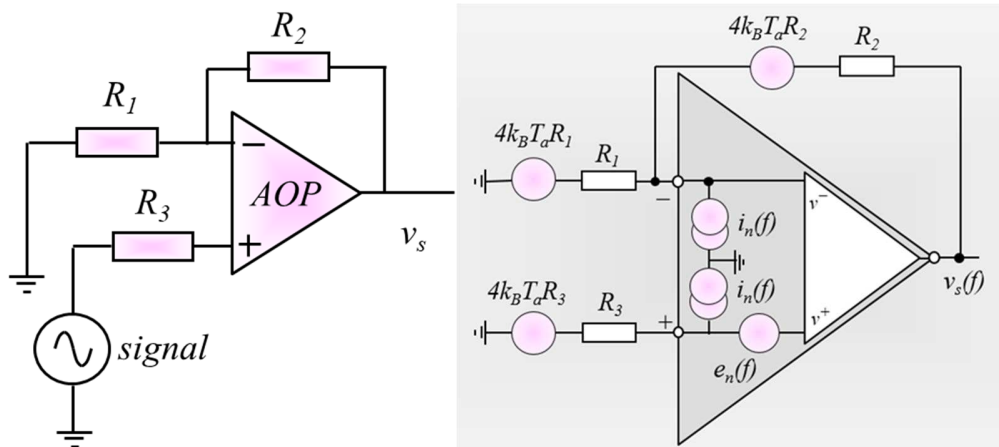


Figure 5

Question 1 :

En appliquant les règles d'addition des densités spectrales, Montrer que la densité spectrale $v_s(f)$ de bruit en sortie du montage peut se mettre sous la forme suivante ?

$$v_s(f) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^2 v_T(f)$$

avec :

$$v_T(f) = e_n(f) + 4k_B T_a R_s + i_n \left(R_3^2 + \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 \right)$$

$$R_s = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Systèmes Electronique pour les capteurs : Bruit en Instrumentation et détection synchrone

Question 2 :

A partir des données de la fiche technique de l'AOP, on peut remarquer que l'on peut négliger l'effet du courant de bruit $i_n(f)$, c'est généralement le cas avec les AOP à entrées JFET ou MOSFET, à condition que la résistance de source R_s ne soit pas trop élevée.

- a. Montrer que la tension efficace de bruit en sortie peut être réduite à l'expression suivante ?

$$v_T(f) \approx e_n(f) + 4k_B T_a R_s$$

- b. Application numérique :

- a. $G_m = (1 + R_2/R_1) = 1000$, $R_2 = 1\text{M}\Omega$, $R_1 = 1\text{k}\Omega$; $R_3 = R_1 // R_2 = 1\text{k}\Omega$;
- c. Ajouter une capacité $C_2 = 200\text{pF}$ en parallèle avec R_2 , calculer de nouveau la tension efficace de bruit en sortie du montage. Analyser le résultat et conclure.
- d. Dessiner le montage inverseur de même gain (en valeur absolue) incluant les sources de bruit. Que faut-il changer pour faire l'étude de bruit du montage inverseur ?
- e. Pour les 2 montages, inverseur et non-inverseur, comparer vos résultats à ceux obtenus par simulation sur LTSpice².

² Suivre le tutoriel <https://www.youtube.com/watch?v=hBsBl27etYs>

DEUXIEME PARTIE : DETECTION SYNCHRONE

I. Partie théorique

On veut concevoir un système permettant d'extraire l'amplitude d'un signal bruité de fréquence connue par détection synchrone. Le signal utile $u(t)$ est un sinus de fréquence 1kHz : $u(t) = U_0 \cos(2\pi f_0 t)$. Le bruit $b(t)$, issu d'un second générateur, est soit un autre sinus de fréquence différente, soit un bruit blanc.

Pour former le signal bruité, on combine le signal utile et le bruit à l'aide d'un sommateur inverseur à AOP. On veut un rapport signal/bruit de 0dB, puis de -6dB.

- Donner le schéma du sommateur permettant de produire le signal bruité.

Pour réaliser la détection synchrone, on utilise le multiplieur analogique AD633, dont la datasheet est dans le répertoire TEA, ainsi qu'un filtre passe-bas RC.

- Proposer un schéma complet du détecteur synchrone, incluant le câblage du multiplieur et le filtre. Les paramètres du filtre seront choisis afin que la tension de sortie du détecteur atteigne son état stationnaire au bout de 10 ms environ.
- Donner la valeur stationnaire de cette tension en fonction de U_0 .

II. Simulation

Vous allez maintenant simuler le détecteur synchrone, afin de vérifier son bon fonctionnement. Toutes les simulations seront faites en mode transitoire (« transient »).

On utilisera l'AOP $\mu A741$ pour réaliser le sommateur inverseur et l'AD633 pour le multiplieur. Les modèles SPICE de ces composants sont disponibles sur Moodle. Pour introduire l'AD633 dans votre schéma, sélectionner DIP8 parmi les composants, dans le sous-répertoire [Misc]. Il s'agit d'un circuit intégré à 8 pattes de même géométrie que l'AOP $\mu A741$, faire correspondre le symbole du DIP8 au fichier SPICE « ad633.cir ».

♫ *Pour améliorer la convergence de la solution, on utilisera le solver « alternate »*

Menu Tools → Control Panel → onglet SPICE

→ Engine : solver Alternate + Default Integration Method : Gear

Systèmes Electronique pour les capteurs : Bruit en Instrumentation et détection synchrone

1. Tests préliminaires

- Tester le bon fonctionnement du sommateur seul en introduisant à ses entrées deux signaux de même fréquences et en phase.
- De la même façon, tester le bon fonctionnement du multiplieur seul.
- Evaluer la tension d'offset du multiplieur. Comment peut-on la compenser ?
- Tester le multiplieur en introduisant à ses entrées deux signaux de fréquences différentes. Pour identifier les fréquences, visualiser le spectre du signal de sortie du multiplieur : cliquer droit sur le graphe du signal → View → FFT

NB1 : la durée de simulation est de quelques dizaines de ms. Choisir le nombre de période des signaux d'entrée afin que leur durée soit supérieure ou égale à celle de la simulation.

NB2 : la FFT dans LTSpice exclue la composante continue.

2. Test du détecteur synchrone

Simuler le montage complet proposé dans la partie théorique :

- avec un bruit sinusoïdal de fréquence 10kHz, pour un rapport signal/bruit de 0dB, puis de -6dB.
- avec un bruit blanc, pour un rapport signal/bruit de 0dB, puis de -6dB.

Pour simuler un générateur de bruit dans LTSpice, voir l'exemple « test_bruit.asc ».

Commenter et conclure.