ELEC-H-313 – Instrumentation

Exercices sur la densité spectrale de bruit

Bruit thermique d'une résistance

Calculer la densité spectrale de bruit d'une résistance de 1kΩ à 25°C.

La densité spectrale de bruit d'une résistance vaut $E_n = \sqrt{4k_bTR}$, où k_b est la constante de Boltzmann, T est la température absolue en kelvins et R est la valeur de la résistance

Rappel : 1,3806503 × 10-23 m2 kg s-2 K-1

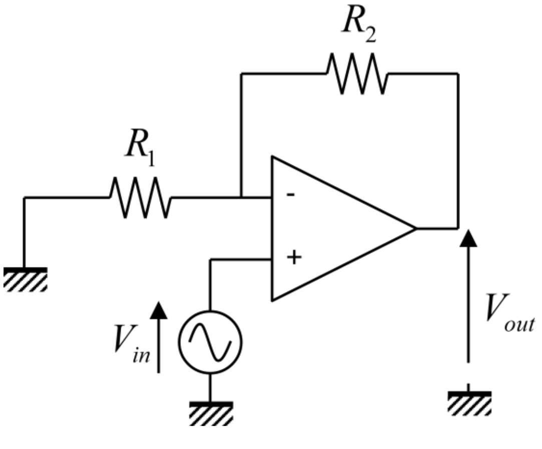
$$E_n = \frac{4nV}{\sqrt{Hz}}$$

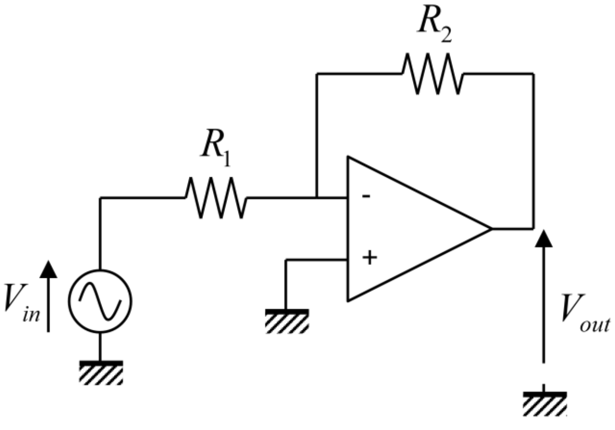
Sachant que la densité spectrale de bruit d'une résistance de 1kohm vaut $\frac{4nV}{\sqrt{Hz}}$, calculer le bruit thermique d'une résistance de 100kohm sur base de cette valeur.

Attention que l'on n'a pas les informations nécessaires pour calculer le bruit thermique (il nous faudrait la bande passante). Par contre, la densité spectrale de bruit thermique d'une résistance de 100kohm vaut:

$$E_n = \frac{4nV}{\sqrt{Hz}} \cdot \sqrt{100} = \frac{40nV}{\sqrt{Hz}}$$

Montages non-inverseur et inverseur





$$R_2 = 100k, \qquad R_1 = 1k$$

Pour ces deux montages, calculer la densité spectrale de bruit en sortie due aux résistances du montage.

$$R_1 \rightarrow \frac{4nV}{\sqrt{(Hz)}} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{400nV}{\sqrt{(Hz)}}$$

$$R_2 \rightarrow \frac{40nV}{\sqrt{Hz}}$$

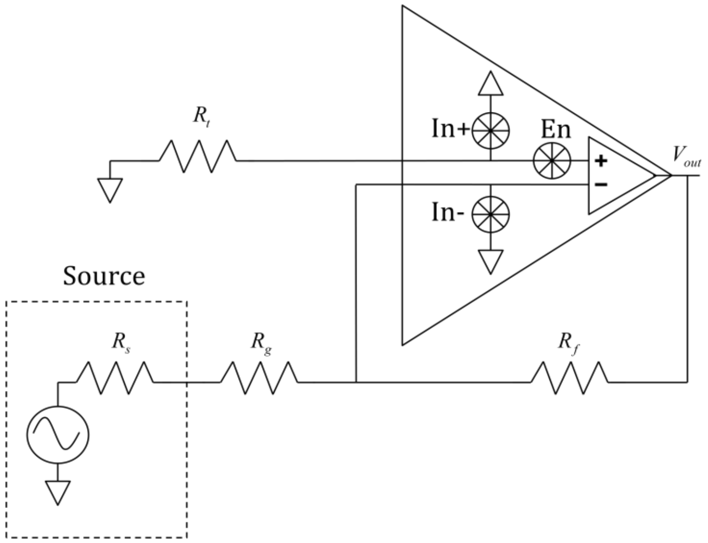
$$\mathrm{E}_{\mathrm{tot(sortie)}} = \sqrt{\left[\left(\frac{40\mathrm{nV}}{\sqrt{\mathrm{Hz}}}\right)^2 + \left(\frac{400\mathrm{nV}}{\sqrt{\mathrm{Hz}}}\right)^2\right]}$$

Pour ces deux montages, calculer la densité spectrale de bruit référée à l'entrée.

Montage inverseur : $E_{tot\ (entrée)} = \frac{E_{tot\ (sortie)}}{100}$

Montage non inverseur : $E_{tot\ (entrée)} = \frac{E_{tot\ (sortie)}}{101}$

Densité spectrale de bruit totale d'un système I



Calculer la densité spectrale de bruit en sortie du montage

Soit

$$G = -\frac{R_f}{(R_s + R_g)}$$

Terme correspondant à R_s

$$E_{Rs}{}^2 = 4kTR_s|G|^2$$

Terme correspondant à R_g

$$E_{Rg}{}^2 = 4kTR_g|G|^2$$

Terme correspondant à R_f

$$E_{Rf}{}^2 = 4kTR_f$$

Terme correspondant à R_t

$$E_{Rt}{}^2 = 4kTR_t(1+|G|)^2$$

Terme correspondant à *en*

$$E_{En}{}^2 = en^2(1+|G|)^2$$

Terme correspondant à *in+*

$$I_{n+}{}^2 = (in^+R_t)^2(1+|G|)^2$$

Terme correspondant à *in-*

$$I_{n-}{}^2 = (in^-R_f)^2$$

Total

$$E_{tot} = \sqrt{E_{Rs}{}^2 + E_{Rg}{}^2 + E_{Rf}{}^2 + E_{Rt}{}^2 + E_{En}{}^2 + I_{n+}{}^2 + I_{n-}{}^2}$$

NB. On aurait pu avoir choisi de comptabiliser la densité spectrale des deux résistances, R_s et R_g, de manière conjointe, c'est-à-dire de considérer une seule résistance, R_{s+g} de valeur $R_s + R_g$. On a de manière équivalente:

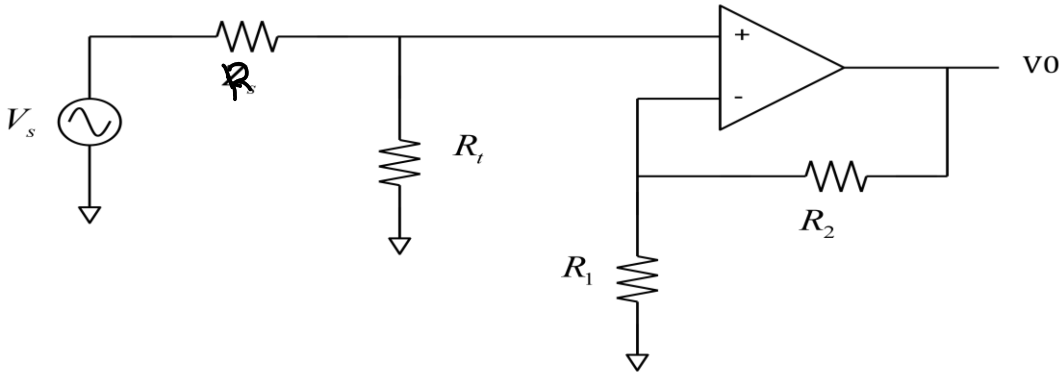
$$\sqrt{E_{Rs}{}^2 + E_{Rg}{}^2} = \sqrt{(\sqrt{4k_bTR_s}.G)^2 + (\sqrt{4k_bTR_g}.G)^2}$$

$$= \sqrt{4k_bT(R_s+R_g).G^2} = \sqrt{4k_bTR_{s+g}.G^2} = \sqrt{4k_bT(R_{s+g})}.G = E_{Rs+g}$$

Donner la densité spectrale de bruit de Rs référée à la sortie du générateur.

$$E_{RsRefIn}{}^2 = 4kTR_s\left|\frac{G}{G}\right|^2 = 4kTR_s$$

Densité spectrale de bruit totale d'un système II



Calculer la densité spectrale de bruit totale en sortie du montage.

$\mathrm{G} = 1 + \mathrm{R}_2/\mathrm{R}_1$

$$E_t{}^2 = \left(E_s . G . \frac{R_t}{R_t + R_s}\right)^2 + \left(E_t . G . \frac{R_s}{R_t + R_s}\right)^2 + \left(I_{n+} . G . \frac{R_s . R_t}{R_t + R_s}\right)^2 + (E_n . G)^2 + \left(E_1 (G-1)\right)^2 + (E_2)^2 + (I_{n-} . R_2)^2$$

NB. Et si on calcule les contributions de E_s et E_t ensemble (équivalent //), on arrive à la même chose que ce qu'on aurait séparément ?

$$E_{s+t}{}^2 = \left(E_s . G . \frac{R_t}{R_t + R_s}\right)^2 + \left(E_t . G . \frac{R_s}{R_t + R_s}\right)^2$$

$$E_{s+t}{}^2 = \left(\sqrt{4kTR_s} . G . \frac{R_t}{R_t + R_s}\right)^2 + \left(\sqrt{4kTR_t} . G . \frac{R_s}{R_t + R_s}\right)^2$$

$$E_{s+t}{}^2 = G^2 . 4kT \left[R_s . \left(\frac{R_t}{R_t + R_s}\right)^2 + R_t . \left(\frac{R_s}{R_t + R_s}\right)^2\right]$$

$$E_{s+t}{}^2 = G^2 . 4kT (R_s . R_t) \left[R_t . \left(\frac{1}{R_t + R_s}\right)^2 + R_s . \left(\frac{1}{R_t + R_s}\right)^2\right]$$

$$E_{s+t}{}^2 = G^2 . 4kT \left(\frac{R_s . R_t}{R_t + R_s}\right)$$

$$E_{s+t}{}^2 = \left(\sqrt{4kTR_{//}} . G\right)^2$$

$$E_{s+t}{}^2 = \left(E_{//} . G\right)^2$$