

Bruit en électronique

Applications: Résistances, circuits RC et AmpliOp

Adil KOUKAB

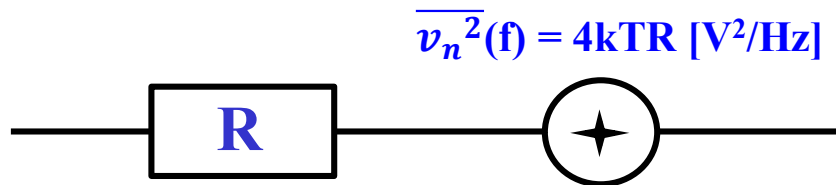
Outline

- Bruit Thermique des Résistances
- Bruit dans un AmpliOp
- Analyse du bruit dans un circuit électronique
- Ex1: Diviseur résistive
- Ex2: Circuit RC (bruit kT/C)
- Ex3: Circuit à AmpliOp

Thermal Noise of a Resistor

Résistance: Agitation Thermique → Mouvement aléatoire de électrons

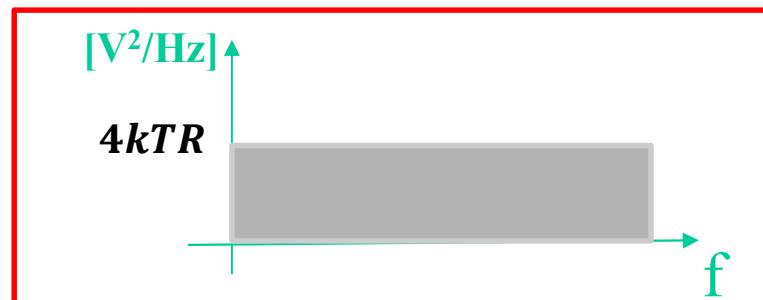
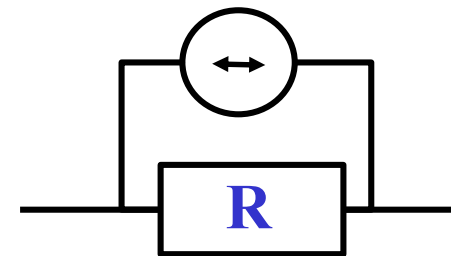
→ Bruit en tension d'une DSP: $\overline{v_n^2}(f) = 4kTR$ [V²/Hz]



Avec: k is Boltzmann constant = $1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/K]
 T = Temperature in [°K]
 R = resistance in Ω

Norton representation

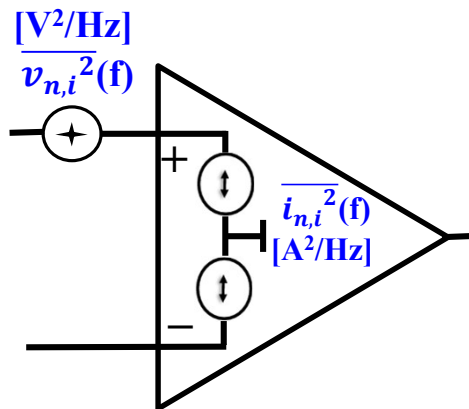
$$\overline{i_n^2}(f) = 4kT/R$$
 [A²/Hz]



Remarque: Le bruit thermique en tension augmente avec T , R et la bande passante.

- Cas particulier: $R = 1 \text{ k}\Omega$ @ $300 \text{ }^\circ\text{K}$ à un bruit en tension $\sqrt{\overline{v_n^2}} = \sqrt{4kTR} = 4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- → pour $R = x \text{ k}\Omega$ donne $\sqrt{\overline{v_n^2}} = \sqrt{x} \cdot 4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

Cas de l'ampliOp

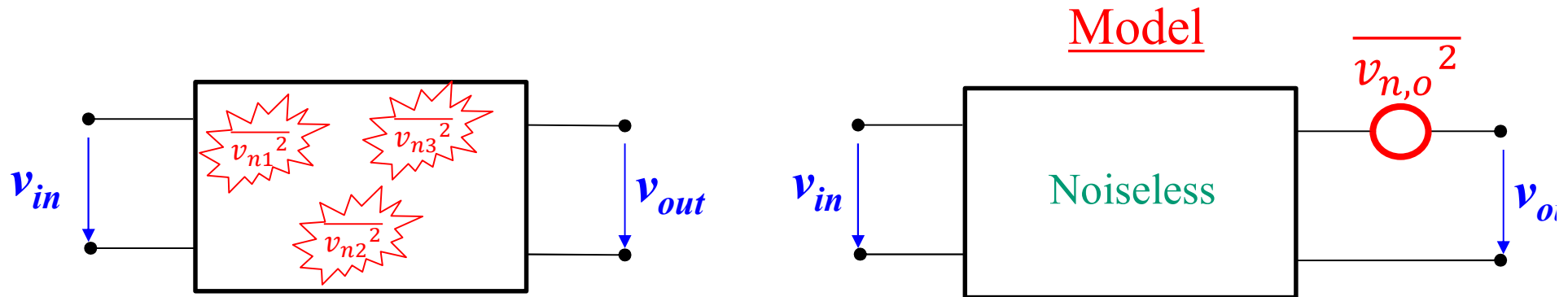


SPECIFICATIONS ($V_S = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	OP37A/E			Unit
			Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	V_{OS}	Note 1		10	25	μV
Long-Term Stability	V_{OS}/Time	Notes 2, 3		0.2	1.0	$\mu\text{V}/\text{Mo}$
Input Offset Current	I_{OS}			7	35	nA
Input Bias Current	I_B			± 10	± 40	nA
Input Noise Voltage	$e_{n,p-p}$	1 Hz to 10 Hz ^{3, 5}		0.08	0.18	$\mu\text{V p-p}$
Input Noise Voltage Density	e_n	$f_0 = 10\text{ Hz}^3$ $f_0 = 30\text{ Hz}^3$ $f_0 = 1000\text{ Hz}^3$		3.5 3.1 3.0	5.5 4.5 3.8	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Noise Current Density	i_n	$f_0 = 10\text{ Hz}^{3, 6}$ $f_0 = 30\text{ Hz}^{3, 6}$ $f_0 = 1000\text{ Hz}^{3, 6}$		1.7 1.0 0.4	4.0 2.3 0.6	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$

- Le bruit en sortie de l'AO est produit par tous ses composants.
- On caractérise le bruit total en introduisant trois sources de bruit, une en tension $\overline{v_{n,i}^2(f)}$ et deux en courant $\overline{i_{n,i}^2(f)}$.
- Le bruit en courant n'est important que s'il circule dans une résistance externe à l'AO et donc s'il génère un bruit en tension.

Circuit-Noise Analysis and Modeling Procedure



- Identifier les sources de bruit.
- Déterminer ($H_i(s)$) de $\overline{v_{ni}^2}$ à la sortie.
- Additionner les puissances de toutes les contributions (non-corrélées) à la sortie comme suit:

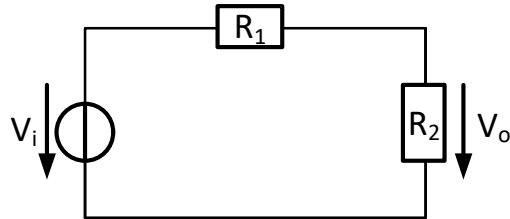
$$\overline{v_{n,o}^2}(f) = \sum_{j=1}^3 \overline{v_{n,j}^2}(f) |H_j(f)|^2$$

Outline

- Bruit Thermique des Resistances
- Bruit dans un AmpliOp
- Analyse du bruit dans un circuit électronique
- Ex1: Diviseur résistive
- Ex2: Circuit RC (bruit kT/C)
- Ex3: Circuit à AmpliOp

Exemple 1 : diviseur résistive

- Déterminer le bruit à la sortie d'un diviseur résistive (R_1 , R_2) et analyser l'impact de chaque résistance.
- Réévaluer cet impact en utilisant de rapport signal sur bruit (SNR).



$$\overline{v_{n,o}^2}(f) = 4kT(R_1 // R_2) = \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} [V^2/Hz]$$

$$\overline{v_{n,o}^2} = 4kT(R_1 // R_2) \Delta f [V^2]$$

Output Noise $\searrow$ if $R_1 \searrow$ and $R_2 \searrow$

$$|A_v| = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

$$SNR = \frac{\overline{v_o^2}}{\overline{v_{n,o}^2}} = \frac{\left(\frac{R_2}{R_2 + R_1}\right)^2 \overline{v_i^2}}{\frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} 4kT} = \frac{R_2}{4kT R_1 (R_2 + R_1)} \overline{v_i^2} = \frac{\overline{v_i^2}}{4kT} \frac{1}{R_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}$$

SNR $\nearrow$ if $R_1 \searrow$ and $R_2 \nearrow$

$\neq$

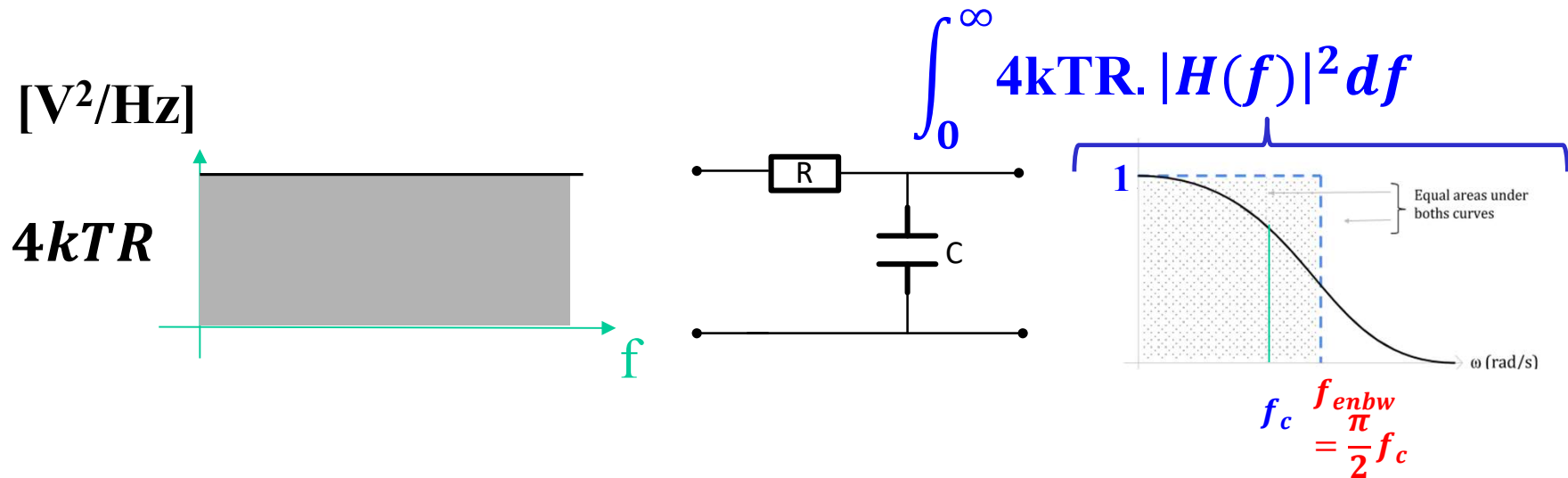
Conclusion: L'optimisation du bruit par diminution de R_2 est contre-productive puisqu'elle dégrade encore plus le signal utile

→ Optimiser le SNR est toujours plus judicieuse.

Exemple 2:Circuit RC

$$\overline{v_n^2} = \frac{kT}{C}$$

- Démontrer que le bruit total à la sortie d'un simple filtre RC passe-bas est:
- Explain intuitively why this noise is independent of the value of R:

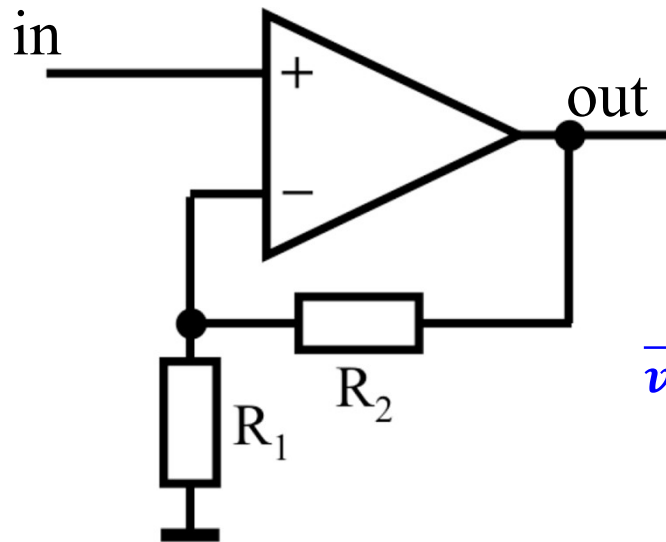


$$\overline{v_{n,o}^2} = 4kTR f_{enbw} = 4kTR \frac{\pi}{2} f_c = 4kTR \frac{\pi}{2} \frac{1}{2\pi RC} = \frac{kT}{C}$$

If $R \nearrow \rightarrow$ Noise PSD $\nearrow$ but $f_c \searrow$

Exemple 2: Cas d'un Ampli non-inverseur

- Calculer le bruit en tension $\sqrt{v_{n,o}^2}$ [uV/ $\sqrt{\text{Hz}}$] à 1kHz à la sortie d'un ampli non-inverseur de gain $G \approx 40$ dB réaliser avec l'AmpliOp OP37 (@ 1kHz: $\overline{v_{n,i}^2}(f) \approx \left(3 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2$; $\overline{i_{n,i}^2}(f) \approx \left(0.4 \frac{\text{pA}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2$; bruit 1/f est négligeable à cette fréquence). En prend $R_1 \approx 1\text{k}\Omega$ et $R_2 \approx 100\text{k}\Omega$.



$$\overline{v_{n,o}^2} = \overline{v_{n,o}^2}(R_1) + \overline{v_{n,o}^2}(R_2) + \overline{v_{n,o}^2}(\text{Amp})$$

$$\overline{v_{n,o}^2}(R_1) = \left(4 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 G^2 = \left(400 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 ;$$

$$\overline{v_{n,o}^2}(R_2) = \left(10 \times 4 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 = \left(40 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2$$

$$\begin{aligned} \overline{v_{n,o}^2}(\text{Amp}) &= \overline{i_{n,i}^2}(f) (R_2)^2 + \overline{v_{n,i}^2}(f) G^2 \\ &= \left(0.4 \frac{\text{pA}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 10^{10} \Omega^2 + \left(3 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 G^2 \\ &= \left(0.4 \cdot 10^2 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 + \left(300 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 = \left(302 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}\right)^2 \end{aligned}$$

$$\overline{v_{n,o}^2} = 0.25 (\text{uV})^2/\text{Hz} \rightarrow \sqrt{v_{n,o}^2} = 0.5 \frac{\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$