

Mesure de la constante de Boltzmann

1 Principe de la mesure

Le but de la manipulation est d'estimer la valeur de la constante de Boltzmann par la mesure du bruit thermique (ou bruit Johnson) d'une résistance.

A l'aide du théorème fluctuation-dissipation appliqué à un conducteur ohmique, on peut montrer que la densité spectrale d'énergie des fluctuations de tension aux bornes de cette résistance s'écrit :

$$\frac{\langle u_R^2 \rangle}{\Delta f} = 4k_B T R \quad (1)$$

En pratique, on modélise ce bruit par un générateur de tension en série avec la résistance (Fig. 1). La mesure de la densité spectrale d'énergie permet alors de remonter à la valeur de la constante de Boltzmann.

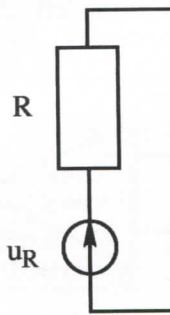


FIG. 1 - Modélisation du bruit Johnson d'une résistance : $\langle u_R^2 \rangle / \Delta f = 4k_B T R$

2 Réalisation de la mesure

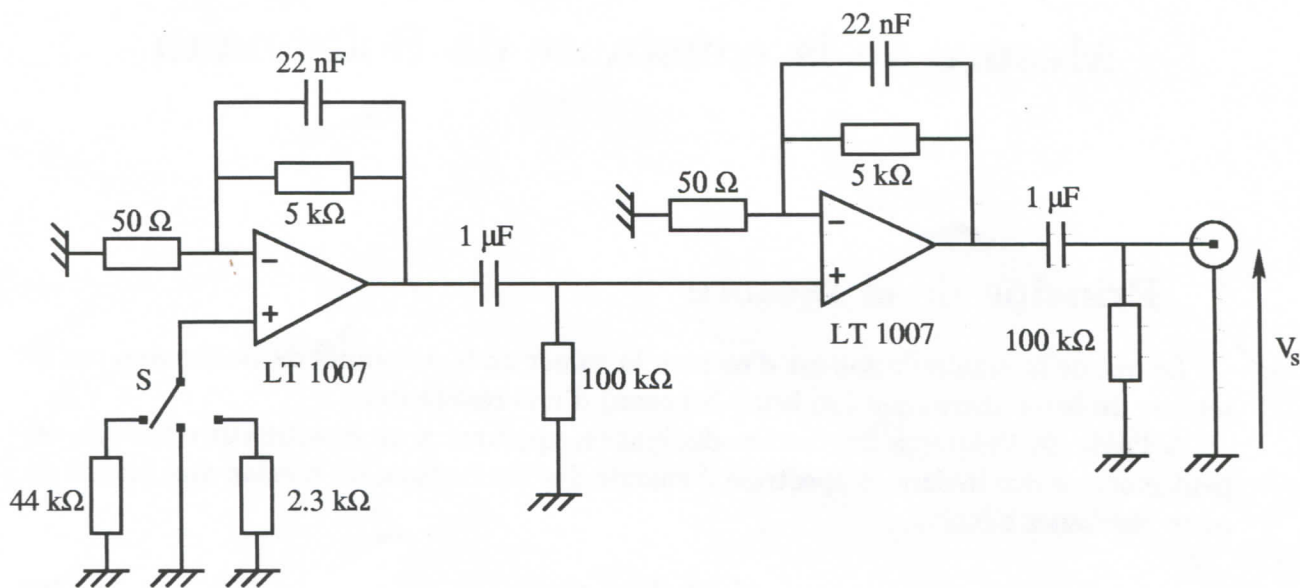


FIG. 2 – Amplificateur faible bruit à 2 étages

Pour rendre la mesure du bruit Johnson possible, il convient d'amplifier fortement le signal. Le circuit électronique utilisé est donc un ampli de gain important (10^4) à faible bruit (Fig. 2).

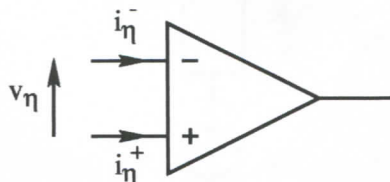


FIG. 3 – Modélisation du bruit des AO

Pour tenir compte des imperfections des AO, on utilise un modèle avec un bruit en tension v_η sur l'entrée différentielle, et un bruit en intensité i_η^\pm sur chaque borne d'entrée (Fig. 3). Ces différents bruits sont décorrélés. Les AO utilisés (LT 1007) ont les caractéristiques constructeurs suivantes à 1kHz : $\langle v_\eta^2 \rangle^{1/2} \simeq 2.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $\langle i_\eta^2 \rangle^{1/2} \simeq 0.6\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$.

Le calcul de V_s donne :

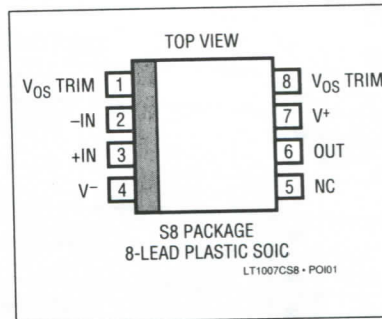
$$\frac{\langle V_s^2 \rangle}{\Delta f} = G^2 (\langle v_\eta^2 \rangle + R^2 \langle i_\eta^2 \rangle + 4k_B T R) \quad (2)$$

où G est le gain total de l'ampli (10^4 pour des fréquences de quelques centaines de Hz), R la résistance connectée à l'entrée. En utilisant les 3 résistances possibles (0, 2.3 et $44\text{k}\Omega$), on peut estimer les 3 termes de cette équation, et ainsi remonter à k_B .

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	±22V
Input Voltage	Equal to Supply Voltage
Output Short Circuit Duration	Indefinite
Differential Input Current (Note 5)	±25mA
Operating Temperature Range	0°C to 70°C
Storage Temperature Range	
All Devices	-65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C

PACKAGE/ORDER INFORMATION



ORDER PART NUMBER
LT1007CS8 LT1037CS8
PART MARKING
1007 1037

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted.

2

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1007C LT1037C			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	(Note 1)		20	60	μV
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta Time}$	Long Term Input Offset Voltage Stability	(Notes 2 and 3)		0.2	1.0	$\mu V/Mo$
I_{OS}	Input Offset Current			12	50	nA
I_B	Input Bias Current			±15	±55	nA
e_n	Input Noise Voltage	0.1Hz to 10Hz (Note 3)		0.06	0.13	$\mu Vp-p$
	Input Noise Voltage Density	$f_0 = 10Hz$ (Note 3) $f_0 = 1000Hz$ (Note 3)		2.8 2.5	4.5 3.8	nV/\sqrt{Hz} nV/\sqrt{Hz}
i_n	Input Noise Current Density	$f_0 = 10Hz$ (Note 3) $f_0 = 1000Hz$ (Note 3)		1.5 0.4	4.0 0.6	pA/\sqrt{Hz} pA/\sqrt{Hz}
	Input Resistance—Common Mode			5		$G\Omega$
	Input Voltage Range		±11.0	±12.5		V
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 11V$	110	126		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 4V$ to $\pm 18V$	106	126		dB
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega, V_O = \pm 12V$	5.0	20.0		$V/\mu V$
		$R_L \geq 1k\Omega, V_O = \pm 10V$	3.5	16.0		$V/\mu V$
		$R_L \geq 600\Omega, V_O = \pm 10V$	2.0	12.0		$V/\mu V$
V_{OUT}	Maximum Output Voltage Swing	$R_L \geq 2k\Omega$	±12.5	±13.5		V
		$R_L \geq 600\Omega$	±10.5	±12.5		V
SR	Slew Rate	LT1007 $R_L \geq 2k\Omega$	1.7	2.5		$V/\mu s$
		LT1037 $A_{VCL} \geq 5$	11	15		$V/\mu s$
GBW	Gain-Bandwidth Product	LT1007 $f_0 = 100kHz$ (Note 4)	5.0	8.0		MHz
		LT1037 $f_0 = 10kHz$ (Note 4), ($A_{VCL} \geq 5$)	45	60		MHz
Z_O	Open Loop Output Resistance	$V_O = 0, I_O = 0$		70		Ω
P_d	Power Dissipation	LT1007		80	140	mW
		LT1037		85	140	mW

LT1007CS8/LT1037CS8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = \pm 15V, 0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$, unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1007C LT1037C			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	(Note 1)	●			
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta Temp}$	Average Input Offset Drift	(Note 6)	●	35	110	μV
I_{OS}	Input Offset Current		●	0.3	1.0	$\mu V/^\circ C$
I_B	Input Bias Current		●	15	70	nA
	Input Voltage Range		●	± 20	± 75	nA
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 10.5V$	●	± 10.5	± 11.8	V
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 4.5V$ to $\pm 18V$	●	106	120	dB
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega, V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 1k\Omega, V_O = \pm 10V$	●	102	120	dB
V_{OUT}	Maximum Output Voltage Swing	$R_L \geq 2k\Omega$	●	2.5	18.0	V/ μV
P_d	Power Dissipation		●	2.0	14.0	V/ μV
			●	± 12.0	± 13.6	V
			●	90	160	mW

The ● denotes the specifications which apply over full operating temperature range.

Note 1: Input Offset Voltage measurements are performed by automatic test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

Note 2: Long Term Input Offset Voltage Stability refers to the average trend line of Offset Voltage vs Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 days are typically $2.5\mu V$.

Note 3: This parameter is tested on a sample basis only.

Note 4: This parameter is guaranteed by design and is not tested.

Note 5: The inputs are protected by back-to-back diodes. Current limiting resistors are not used in order to achieve low noise. If differential input voltage exceeds $\pm 0.7V$, the input current should be limited to 25mA.

Note 6: The Average Input Offset Drift performance is within the specifications unnullled or when nullled with a pot having a range of $8k\Omega$ to $20k\Omega$.