



BLAISE PASCAL
PT 2023-2024

TP 4 – Électronique

Premiers montages à ALI

Techniques et méthodes

- ▷ Montages à un ou deux ALI ;
- ▷ Mise en évidence des saturations en tension et en intensité et de la vitesse limite de balayage ;
- ▷ Vérification d'une proportionnalité avec prise en compte des incertitudes ;
- ▷ Comparaison à une valeur attendue, z -score.

Matériel sur votre paillasse :

- ▷ Deux GBF ;
- ▷ Deux amplificateurs linéaires intégrés ;
- ▷ Une alimentation stabilisée $+15/-15$ V ;
- ▷ Un oscilloscope ;
- ▷ Un PC avec distribution Python ;
- ▷ Plaquette de branchements ;
- ▷ Une boîte de résistances, type boîte à décades ;
- ▷ Résistances de $1\text{ k}\Omega$ ($\times 2$), $2\text{ k}\Omega$ ($\times 2$) et $4,7\text{ k}\Omega$;
- ▷ Les deux résistances de $2\text{ k}\Omega$ pourront être remplacées par deux autres résistances tant qu'elles sont de même valeur.

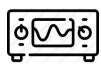
Ce TP a pour objectif premier d'étudier deux montages simples à ALI, le suiveur et l'amplificateur non inverseur, qui permettent de constater aisément les limites du fonctionnement de l'ALI. En fonction du temps disponible, on s'intéressera ensuite à la réponse des montages comparateur simple et comparateur à hystérésis à une entrée bruitée.

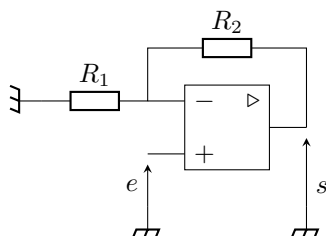
⚠️⚠️⚠️ **Attention !** L'alimentation $+15/-15$ V doit être branchée **AVANT** d'envoyer un quelconque signal sur l'entrée de l'ALI, sans quoi il y a risque de détérioration.

⚠️⚠️⚠️ **Attention !** Vous serez très vigilants à la lisibilité de vos montages : organisation sur la paillasse, couleur des fils, pas de nœuds, etc. Je recommande l'utilisation de fils noirs pour la masse, de fils verts ou bleus pour l'alimentation de l'ALI, et de fils rouges pour le reste.

I - Limitations de l'ALI

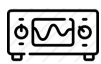
I.A - Saturation en tension : illustration sur l'amplificateur non-inverseur

 Câbler le **montage amplificateur non-inverseur**, voir ci-dessous, et vérifier de manière qualitative et rapide qu'il fonctionne correctement. On prendra $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ et $R_2 = 4,7\text{ k}\Omega$. On rappelle sa relation entrée-sortie :



$$s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) e.$$

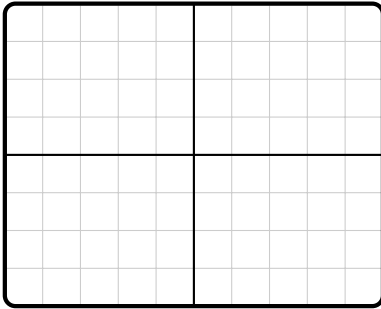
 Comment procéder à la vérification ?

 Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de mettre en évidence la mise en défaut de la relation entrée-sortie en raison de la saturation en tension de sortie.

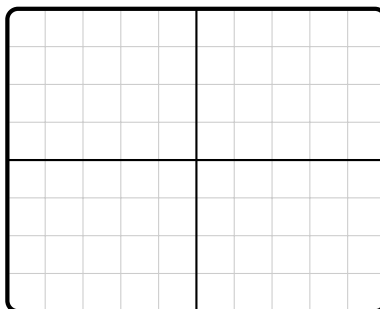
- **Idée du protocole :**

• **Allure des signaux :**

En l'absence de saturation :



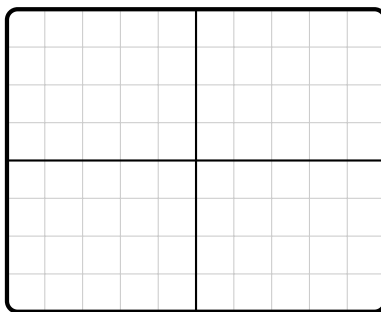
En présence de forte saturation :



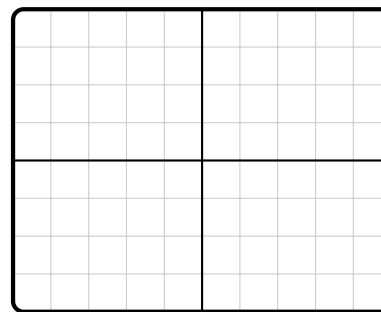
✎ Valeurs des tensions de saturation $\pm V_{sat}$:

• **Analyse spectrale :**

En l'absence de saturation :

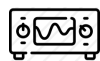
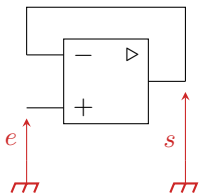


En présence de forte saturation :

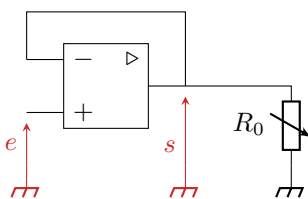


✎ Interprétation :

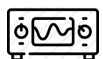
I.B - Saturation en courant : illustration sur le suiveur



Câbler le montage suiveur et vérifier de manière qualitative et rapide qu'il fonctionne correctement. L'objectif de cette partie est de mettre en défaut la relation entrée-sortie du suiveur en raison d'une saturation en courant.



On ajoute une résistance R_0 en sortie du montage comme indiqué ci-contre. Exprimer le courant de sortie de l'ALI i_s en fonction de R_0 .



Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de mettre en évidence la mise en défaut de la relation entrée-sortie en raison de la saturation du courant de sortie.

✎ Idée du protocole :

✎ Valeur expérimentale du courant de saturation I_{sat} :

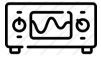
✎ Comparer à la valeur constructeur (« output short circuit current I_{os} ») :

✎ Comment distinguer saturation en courant et saturation en tension ?

I.C - Slew rate



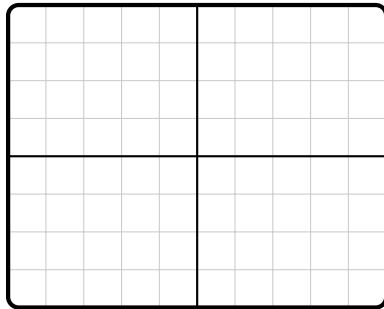
La tension de sortie d'un ALI idéal est capable de suivre instantanément les variations de la tension d'entrée. Il s'agit toutefois d'un modèle : les variations de la tension de sortie d'un ALI réel ne peuvent pas être instantanées. Elles sont bornées par le **slew rate**, qui s'exprime en $V \cdot \mu s^{-1}$.



Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant d'estimer le slew rate. Réfléchir en particulier au signal d'entrée utilisé.

✎ Idée du protocole :

✎ Allure des signaux :



✎ Valeur du slew rate :

✎ Comparer à la valeur constructeur :

II - Gain de l'amplificateur non-inverseur

Cette dernière partie a pour but de vérifier expérimentalement la relation entrée-sortie du montage amplificateur non-inverseur,

$$s = Ke \quad \text{avec} \quad K = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

II.A - Mesure du gain expérimental

✎ Idée du protocole :

Mesurer l'amplitude du signal de sortie pour plusieurs valeurs de l'amplitude du signal d'entrée. Utiliser les mesures automatiques de l'oscilloscope, et faire au moins six mesures différentes.

✎ Comment vérifier qu'il y a bien proportionnalité ?

Tracé graphique de S_m en fonction de E_m qui doit être compatible avec une droite : points répartis aléatoirement de part et d'autre, pas de courbure visible.

Espace 2

✎ Comment estimer le gain expérimental K_{exp} du montage et l'incertitude associée $u(K_{\text{exp}})$?

Ou bien estimation de la pente par régression linéaire, mais ne donne pas facilement l'incertitude, ou bien calcul du gain pour chaque point de mesure puis moyenne et écart-type. Projeter en même temps la fiche outil sur les incertitudes.

Espace 3

II.B - Comparaison à la valeur attendue

• Comparaison rapide

Dans un premier temps, supposons les résistances connues sans incertitude.

Critère rapide en comparant K_{th} à K_{exp} avec une tolérance de $2u(K_{\text{exp}})$. Projeter en même temps la fiche outil sur les incertitudes.

Espace 4

• Comparaison quantitative

En réalité, les résistances ne sont pas parfaitement connues : d'après la couleur du dernier anneau, le constructeur ne garantit leur valeur qu'à 5 % près. Par conséquent, le gain théorique K_{th} est lui aussi associé à une incertitude $u(K_{\text{th}})$, qui peut s'estimer à l'aide des **formules de composition des incertitudes**. On admet que ces calculs conduisent à

$$u(K_{\text{th}}) = 0,23.$$

✎ Calcul du z -score :

✎ Conclusion :

III - Montages comparateurs

Cette partie sera abordée (ou pas !) en fonction du temps disponible.

III.A - Comparateur simple inverseur



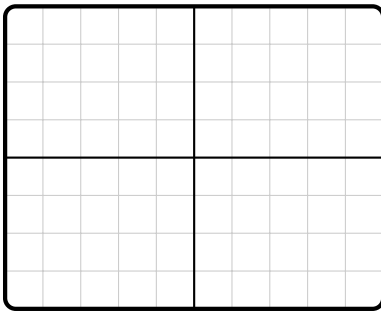
Proposer un montage très simple permettant de comparer la tension d'entrée v_e à la valeur 0V. Choisir un montage inverseur : $v_s = +V_{sat}$ si $v_e < 0$ et $v_s = -V_{sat}$ si $v_e > 0$.



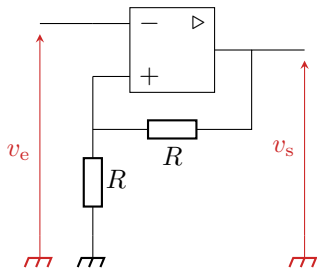
Câbler le montage et vérifier qu'il fonctionne comme prévu. Faire afficher à l'oscilloscope sa caractéristique entrée-sortie.

📎 Allure de la caractéristique :

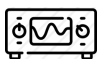
📎 Protocole permettant de l'obtenir :



III.B - Comparateur à hystérésis inverseur



Le montage comparateur à hystérésis inverseur est représenté ci-contre. Retrouver théoriquement les tensions de basculement.

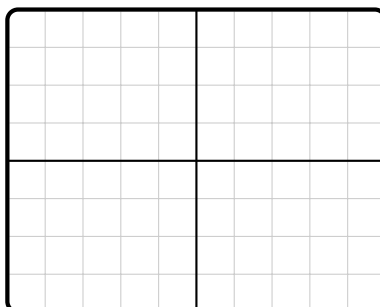
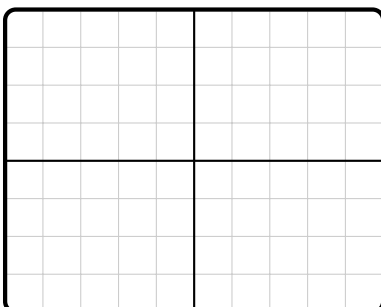


Câbler le montage en prenant $R = 2\text{ k}\Omega$. Vérifier qu'il fonctionne comme attendu. Faire afficher à l'oscilloscope sa caractéristique entrée-sortie.

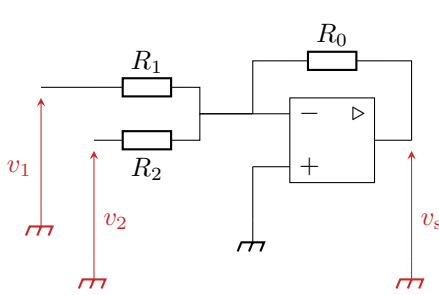
📎 Exemple de chronogramme :

📎 Allure de la caractéristique :

📎 Tensions de basculement :

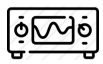


III.C - Synthèse d'un signal bruité par un montage sommateur



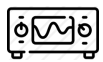
Établir la relation entrée-sortie du montage ci-contre sous la forme

$$v_s = -R_0 \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} \right) .$$



Câbler le montage en prenant $R_0 = R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$. **Ne pas démonter** les comparateurs. Vérifier son bon fonctionnement par des tests simples.

📎 Exemples de tests simples :



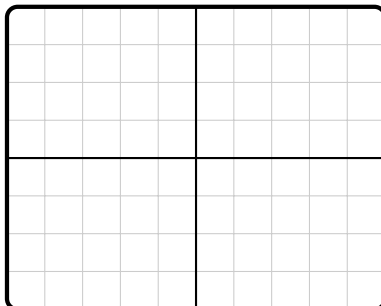
Utiliser le sommateur pour synthétiser un signal harmonique bruité. Le signal harmonique « de référence » aura une fréquence d'environ 100 Hz et une amplitude d'environ 6 V.

📎 Comment procéder ?

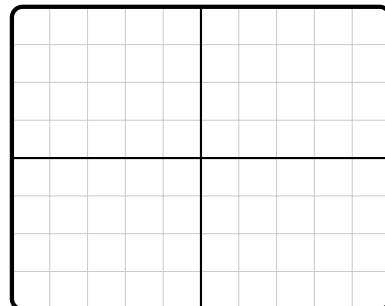
III.D - Réponses des comparateurs à ce signal bruité

Envoyer le signal bruité en entrée du comparateur simple et observer les basculements. Pour une fois, il est *recommandé* d'utiliser le bouton **Run/Stop** de l'oscilloscope et de zoomer sur la partie intéressante du signal. Faire de même avec le comparateur à hystérésis.

📎 Chronogramme avec le comparateur simple :



📎 Chronogramme avec le comparateur à hystérésis :



📎 Comparaison :



TL081

General purpose JFET single operational amplifiers

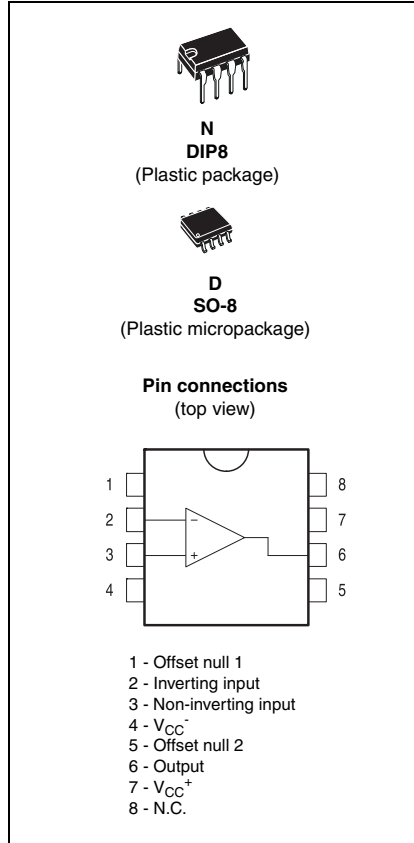
Features

- Wide common-mode (up to V_{CC}^+) and differential voltage range
- Low input bias and offset current
- Output short-circuit protection
- High input impedance JFET input stage
- Internal frequency compensation
- Latch-up free operation
- High slew rate: 16 V/ μ s (typ)

Description

The TL081, TL081A and TL081B are high-speed JFET input single operational amplifiers incorporating well matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.



1 Schematic diagram

Figure 1. Schematic diagram

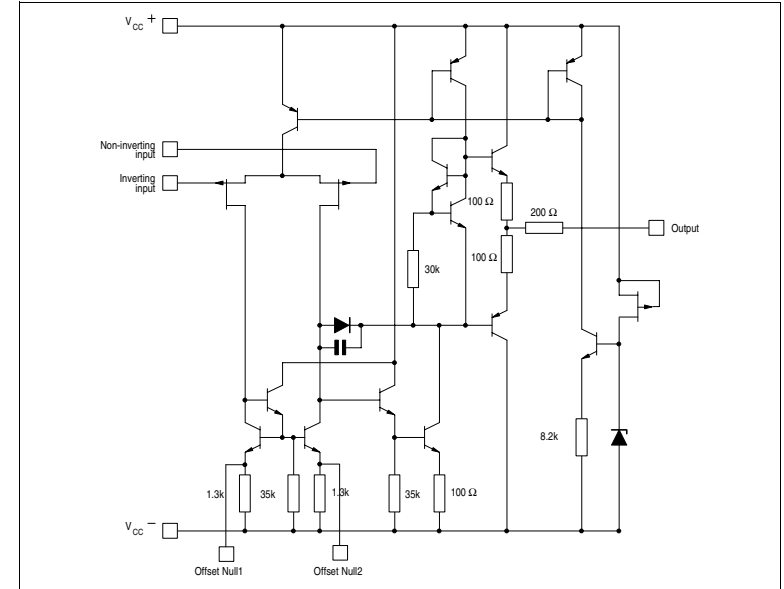
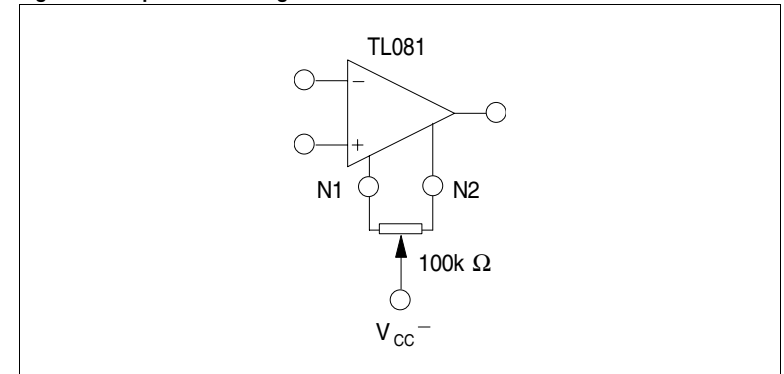


Figure 2. Input offset voltage null circuit



3 Electrical characteristics

Table 3. $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL081, AC, AI, BC, BI			TL081C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input offset voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		3	10		3	10	mV
	TL081		3	6				
	TL081A		1	3				
	TL081B			13			13	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			7				
	TL081A			5				
	TL081B							
DV_{io}	Input offset voltage drift		10		10		$\mu V/^{\circ}C$	
I_{io}	Input offset current ⁽¹⁾ $T_{amb} = +25^{\circ}C$		5	100	5	100	pA nA	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			4		10		
I_{ib}	Input bias current ⁽¹⁾ $T_{amb} = +25^{\circ}C$		20	200	20	400	nA	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			20		20		
A_{vd}	Large signal voltage gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	50	200		25	200	V/mV	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	25		15				
SVR	Supply voltage rejection ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	80	86		70	86	dB	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80		70				
I_{CC}	Supply current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$		1.4	2.5	1.4	2.5	mA	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			2.5		2.5		
V_{icm}	Input common mode voltage range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12	V	
CMR	Common mode rejection ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	80	86		70	86	dB	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80		70				
I_{os}	Output short-circuit current $T_{amb} = +25^{\circ}C$	10	40	60	10	40	mA	
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10		60	10	60		
$\pm V_{opp}$	Output voltage swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$	10	12		10	12	V	
	$R_L = 2k\Omega$	12	13.5		12	13.5		
	$R_L = 10k\Omega$							
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10			10			
	$R_L = 2k\Omega$	12			12			
	$R_L = 10k\Omega$							
SR	Slew rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain	8	16		8	16	V/ μs	

Table 3. $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified) (continued)

Symbol	Parameter	TL081, AC, AI, BC, BI			TL081C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
t_r	Rise time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		0.1			0.1		μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10			10		%
GBP	Gain bandwidth product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $F = 100kHz$	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input resistance		10^{12}			10^{12}		Ω
THD	Total harmonic distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}C$), $F = 1kHz$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $A_v = 20dB$, $V_o = 2V_{pp}$		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent input noise voltage $R_S = 100\Omega$, $F = 1kHz$		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase margin		45			45		degrees

1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.