

AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL ET CONTRE-REACTION

L'objectif de ce TP est de mettre en oeuvre un amplificateur opérationnel (AOP) dans différents modes de fonctionnement :

- amplificateurs de base
- comparateur à hystérésis
- alimentation dissymétrique

Les défauts dynamiques de l'amplificateur opérationnel (AOP) sont également mis en évidence dans ce TP.

1. MATERIEL

Matériel par poste de travail:

- | | |
|--|--|
| - 1 plaquette d'essai | - 1 cordon BANANE/BANANE court (noir) |
| - 1 alimentation double | - 1 AOP uA 741 |
| - 1 oscilloscope numérique | - 2 condensateurs 220 nF |
| - 1 générateur de fonctions | - 1 résistance 1 k Ω (marron, noir, rouge) |
| - 1 Té BNC | - 1 résistance 4,7 k Ω (jaune, violet, rouge) |
| - 2 cordons coax. BNC/BNC | - 3 résistances 10 k Ω (marron, noir, orange) |
| - 1 adaptateur BNC/fil | - 1 résistance 47 k Ω (jaune, violet, orange) |
| - 1 sonde d'oscilloscope "par 10" | - 1 résistance 100 k Ω (marron, noir, jaune) |
| - 3 cordons BANANE/BANANE long (rouge, noir, bleu) | |

Le brochage (datasheet en annexe) du circuit intégré AOP est la suivante :

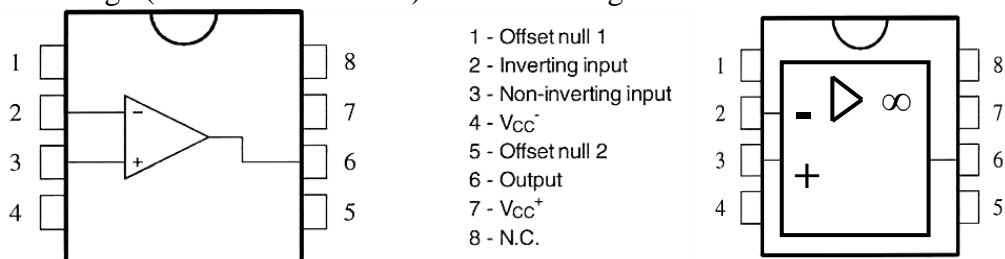


Fig. 1 : brochage AOP

Sauf mention contraire, l'alimentation des différents boîtiers utilisés se fera de façon symétrique par rapport à la masse du montage avec **Vcc = 12V** comme ci-dessous.

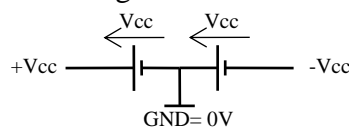


Fig. 2 : alimentation symétrique de l'AOP

2. PREPARATION

Lire intégralement avant la séance l'énoncé du TP, faire les calculs demandés dans chaque paragraphe « préparation » et anticiper la méthode de résolution des différents problèmes.

Les résistances sont choisies dans la liste du matériel disponible.

La résistance de charge de l'AOP doit être supérieure ou égale à 2 kΩ.

3. Montages à boucle de réaction unique en fonctionnement linéaire

3.1. Préparation : montages amplificateur de base à AOP

La figure ci-dessous présente le montage de base qui permet d'obtenir les différents types de montage amplificateur.

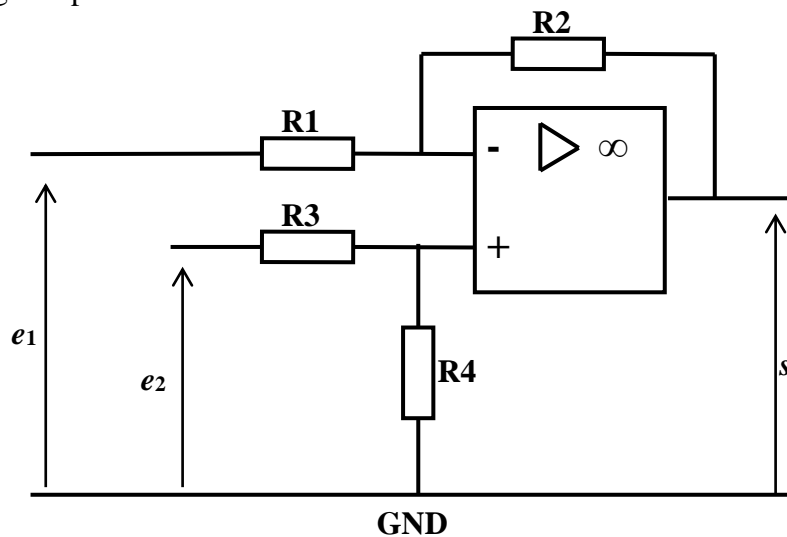


Fig. 3 : montage de base amplificateur

A partir des caractéristiques de l'amplificateur idéal, calculer la fonction de transfert générale :

$$s = K(K2.e_2 - K1.e_1) \quad \text{avec coefficients K, K1 et K2 sans unité}$$

En déduire les schémas (éliminer les éléments inutiles), les amplifications sous forme littérale et la valeur des éléments afin d'obtenir :

- un montage amplificateur *inverseur* d'amplification $A_1 = -10$
- un amplificateur *non inverseur* d'amplification $A_2 = 11$, $A_3 = 48$ et $A_4 = 101$
- un montage *suiveur* ($A=1$)

3.2. Manipulation : montages amplificateur de base à AOP

A partir de la configuration de base de la figure 3 et en utilisant un amplificateur opérationnel de type 741, on construira les différents montages proposés.

3.2.1. Montage amplificateur "inverseur"

Le signal d'entrée est sinusoïdal de fréquence 1 kHz.

- Donner le schéma d'un amplificateur *inverseur* d'amplification $A_1 = -10$ en faisant apparaître :
 - o le numéro des broches (pins ou « pattes ») de l'amplificateur opérationnel,
 - o la valeurs des résistances,
 - o **tous** les appareils et leurs liaisons **en couleur**.
- Construire le montage amplificateur *inverseur*.
- Vérifier expérimentalement ses caractéristiques.
- Quelle source d'énergie permet d'amplifier le signal d'entrée ?

Nota : les mesures d'amplification et de fréquence de coupure n'ont de sens que si l'amplificateur reste dans un domaine linéaire : $v_e(t)$ sinusoïdal $\rightarrow v_s(t)$ sinusoïdal.

3.2.2. Montage "suiveur"

Le montage suivant permet de mettre en évidence la propriété fondamentale de séparateur du montage *suiveur*.

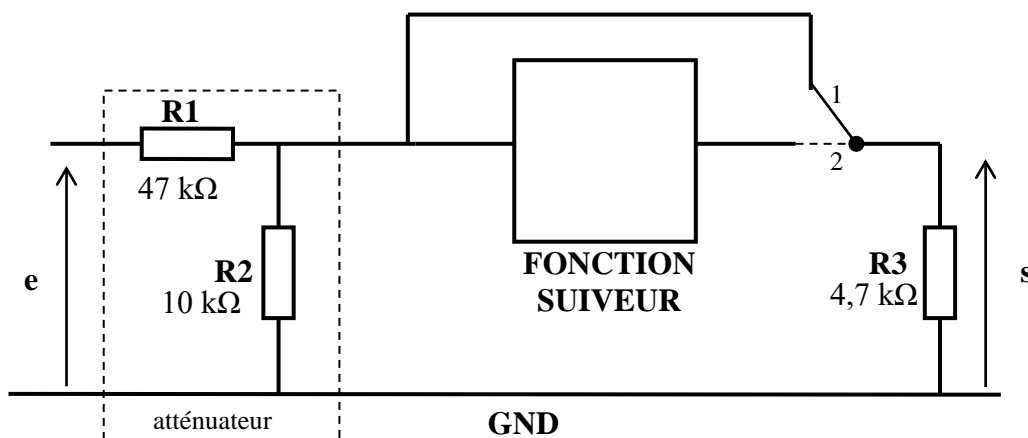


Fig. 4 : propriété séparatrice du montage *suiveur*

Le signal d'entrée est sinusoïdal de fréquence 1 kHz.

- Compléter le schéma ci-dessus en faisant apparaître :
 - o la fonction *suiveur* réalisée avec un amplificateur opérationnel,
 - o le numéro des broches de l'amplificateur opérationnel.
- Construire le montage afin de mettre en évidence la propriété fondamentale de séparateur du montage *suiveur*.
- Placer l'interrupteur dans la position 1.
- Mesurer le rapport de transfert $T_1 = s/e$.
- Placer l'interrupteur dans la position 2.
- Mesurer le rapport de transfert $T_2 = s/e$.
- Rappeler les impédances théoriques d'entrée Z_{in} et de sortie Z_{out} du montage *suiveur*.
- Justifier les rapports de transfert T_1 et T_2 mesurés.

- Quelle configuration (avec ou sans suiveur) permet d'avoir un rapport de transfert s/e constant lorsque la valeur de la résistance de charge R3 change ?
- Quel est l'intérêt du suiveur ?

3.2.3. Montage amplificateur "non inverseur"

Le signal d'entrée est sinusoïdal de fréquence 1 kHz.

- Etablir le schéma d'un amplificateur *non inverseur* d'amplification $A_2 = 11$ en faisant apparaître :
 - o le numéro des broches de l'amplificateur opérationnel,
 - o la valeurs des résistances.
- Construire l'amplificateur *non inverseur*.
- Mesurer l'amplification de l'amplificateur.
- Conserver le montage pour la suite.

4. Mise en évidence des défauts dynamiques de l'amplificateur opérationnel

4.1. Manipulation : défaut dû au "slew rate"

On utilise l'amplificateur *non inverseur* avec l'amplification $A_2 = 11$.
Le signal d'entrée est sinusoïdal de fréquence 100 Hz.

- Ajuster son amplitude pour obtenir un signal de sortie de 10 V d'amplitude crête à crête.
- Augmenter progressivement la fréquence jusqu'à 50 kHz
- Que constatez vous ?
- Mesurer le "slew rate" ou vitesse de croissance limite de la tension de sortie V_s :

$$SlewRate = \left| \frac{\Delta V_s}{\Delta t} \right|_{\max}$$

- Comparer cette mesure au paramètre "slew rate" typique de l'AOP 741 (datasheet en annexe)
- Quelle règle mathématique permet de prédéterminer si le signal sinusoïdal $V_s(t) = V_S \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ sera ou non perturbé par le "slew rate" sachant qu'il faut que $\frac{dV_s}{dt} < SlewRate$ pour que le signal reste sinusoïdal ?
- **Conserver le montage pour la suite.**

4.2. Manipulation : défaut dû à la bande passante

On utilise l'amplificateur *non inverseur*.

- Construire successivement des amplificateurs *non inverseur* d'amplifications $A_2 = 11$, $A_3 = 48$ et $A_4 = 101$.
- Pour chaque amplificateur :
 - o mesurer l'amplification A à la fréquence 100 Hz.
 - o mesurer la bande passante B à -3 dB.
 - o montrer que la contrainte du "slew rate" est respectée.

Nota : dans le cas d'un filtre passe-bas, la bande passante est égale à la fréquence de coupure.

- Vérifier que le facteur de mérite ou produit gain bande définie par $M = A \times B$ est constant.
- Comparer cette mesure au paramètre "gain bandwidth product" typique de l'AOP 741 (datasheet en annexe).
- Conclure sur la relation entre l'amplification et la bande passante d'un montage à AOP.

5. Montages à boucle de réaction unique en fonctionnement non linéaire

Le montage de la figure suivante est un comparateur à hystérésis .

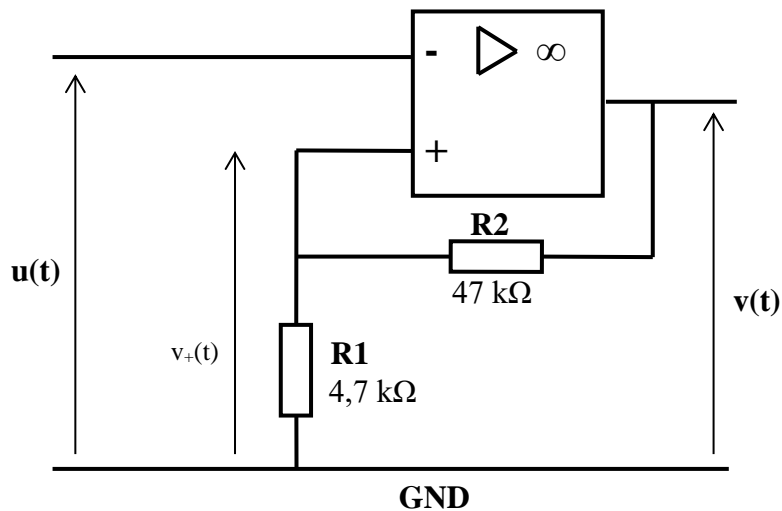


Fig. 5 Comparateur à hystérésis

5.1. Préparation : comparateur à hystérésis

Etude du comparateur à hystérésis de la figure 5 :

- Déterminer les tensions v et v_+ quand $u = -VCC$?
- Déterminer les tensions v et v_+ quand $u = +VCC$?
- Tracer l'évolution de la tension de sortie v en fonction de la tension d'entrée u dans le sens croissant puis décroissant.

Rappel : la tension de sortie évolue entre les tensions de saturation $-VSAT$ et $+VSAT$ avec $VSAT < VCC$.

5.2. Manipulation : comparateur à hystérésis

- Construire le comparateur à hystérésis de la figure 5.

Le signal d'entrée est triangulaire d'amplitude 4 V crête à crête et de fréquence 100 Hz.

On s'intéresse à la caractéristique de transfert et à ses paramètres de réglage (position et largeur de l'hystérésis).

- Relever la fonction de transfert $v = f(u)$ en précisant le sens de parcours.
- Mesurer les seuils de basculement
- En déduire la largeur de l'hystérésis.
- Justifier la dissymétrie des seuils de basculement mesurés ?
- Comparer aux résultats théoriques.

6. ANNEXES



UA741

GENERAL PURPOSE SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- LARGE INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP
- HIGH GAIN
- SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- NO FREQUENCY COMPENSATION
- REQUIRED
- SAME PIN CONFIGURATION AS THE UA709

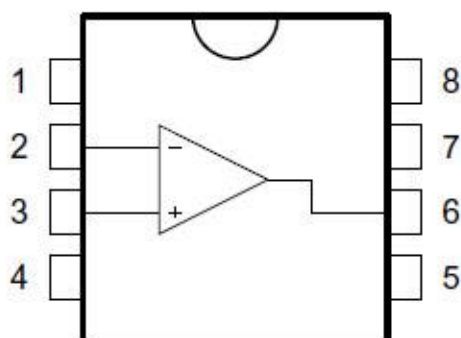
DESCRIPTION

The UA741 is a high performance monolithic operational amplifier constructed on a single silicon chip. It is intended for a wide range of analog applications.

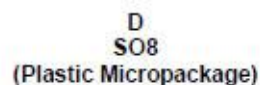
- Summing amplifier
- Voltage follower
- Integrator
- Active filter
- Function generator

The high gain and wide range of operating voltages provide superior performances in integrator, summing amplifier and general feedback applications. The internal compensation network (6dB/octave) insures stability in closed loop circuits.

PIN CONNECTIONS (top view)



- 1 - Offset null 1
- 2 - Inverting input
- 3 - Non-inverting input
- 4 - V_{CC}^-
- 5 - Offset null 2
- 6 - Output
- 7 - V_{CC}^+
- 8 - N.C.



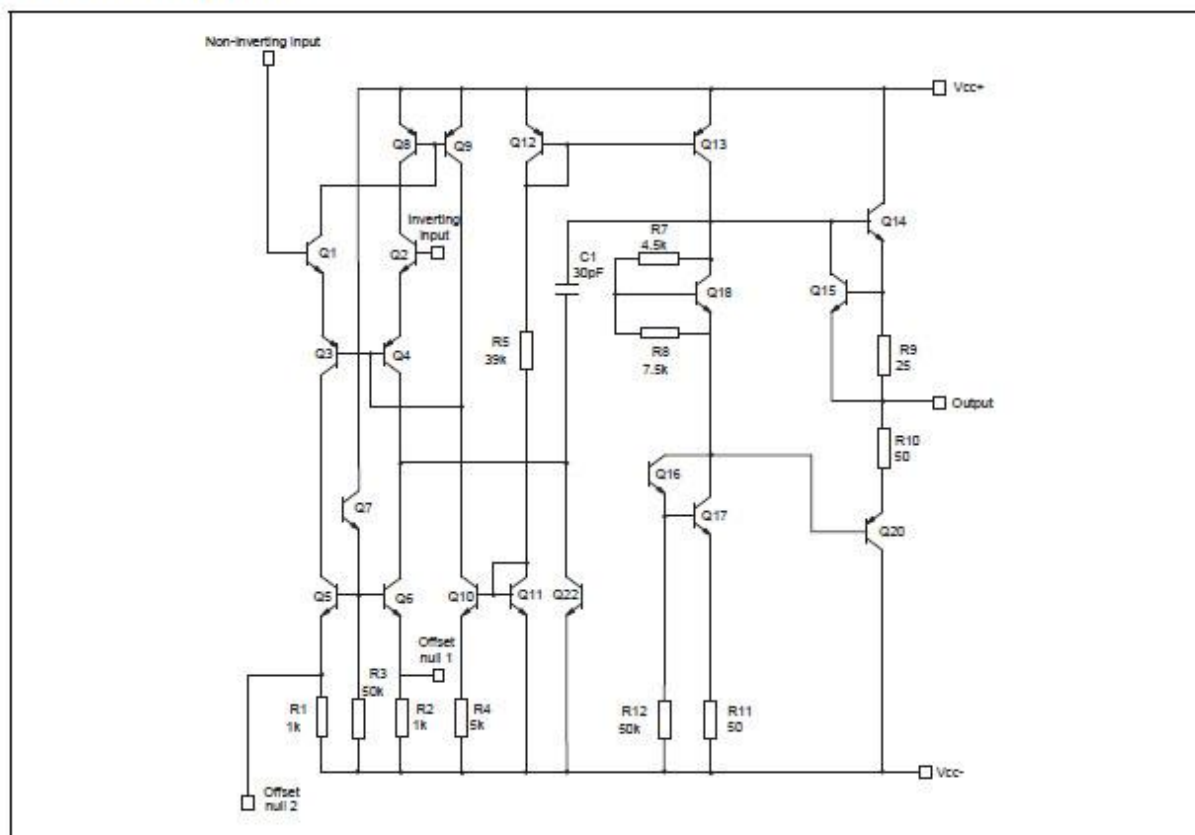
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
UA741C	0°C, +70°C	•	•
UA741I	-40°C, +105°C	•	•
UA741M	-55°C, +125°C	•	•

Example : UA741CN

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	UA741M	UA741I	UA741C	Unit
V_{CC}	Supply voltage	± 22			V
V_{id}	Differential Input Voltage	± 30			V
V_i	Input Voltage	± 15			V
P_{tot}	Power Dissipation ¹⁾	500			mW
	Output Short-circuit Duration	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (T_j) is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

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

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	5 6	mV
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 70	nA
I_{ib}	Input Bias Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		10	100 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($V_O = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	77 77	90		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.7	2.8 3.3	mA
V_{Icm}	Input Common Mode Voltage Range $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	± 12 ± 12			V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	90		dB
I_{OS}	Output short Circuit Current	10	25	40	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$	12 10 12 10	14 13		V
SR	Slew Rate $V_i = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain	0.25	0.5		V/ μs
t_r	Rise Time $V_i = \pm 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain		0.3		μs
K_{ov}	Overshoot $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain		5		%
R_i	Input Resistance	0.3	2		M Ω
GBP	Gain Bandwidth Product $V_i = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	0.7	1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 2V_{pp}$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$		0.06		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$, $R_S = 100\Omega$		23		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		50		Degrees