

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

TP 1 – Simulation des défauts d'un AOP

Table des matières

Table des matières

PARTIE 1 : Savoir utiliser le simulateur LTSpice pour simuler analogiquement des circuits électriques :	
Simulation d'un montage AOP parfait.	2
PARTIE 2 : LM741 l'AOP classique	4
Historique du LM741	4
Architecture LM741	4
PARTIE 3 Mesure et Etude de la tension d'offset V_{of} d'un AOP	6
Mesure V_{of} d'un AOP	6
Correction Drift AOP	7
Partie 3 : Mesure des courants I_b d'un AOP	8
Partie 4 : Mesure du Produit Gain-Bande et Slew-rate	9
Mesure Produit Gain-Bande	9
Mesure Slew-rate	10
Mesure V_{out} vs Fréquence	10
Partie 5 : Consommation de l'AOP et défaut d'alimentation	11
Mesure PSRR	11
Mesure consommation AOP	12
Partie 6 : Chaîne d'AOP : défaut d'alimentation et d'offset	12
Consommation des AOPS dans un même package	13
Réglage d'offset sur une chaîne d'AOP	13
Table des Figures	15
Table des tableaux	15

Ce TP permet d'appréhender les défauts d'un AOP, les mesurer, les simuler ainsi que les comparer aux données du constructeur. Il permettra ainsi d'appréhender pour des chaînes analogiques les défauts possibles ainsi que les réponses adéquates.

Ce tp fait l'objet du rendu d'un rapport qui sera noté.

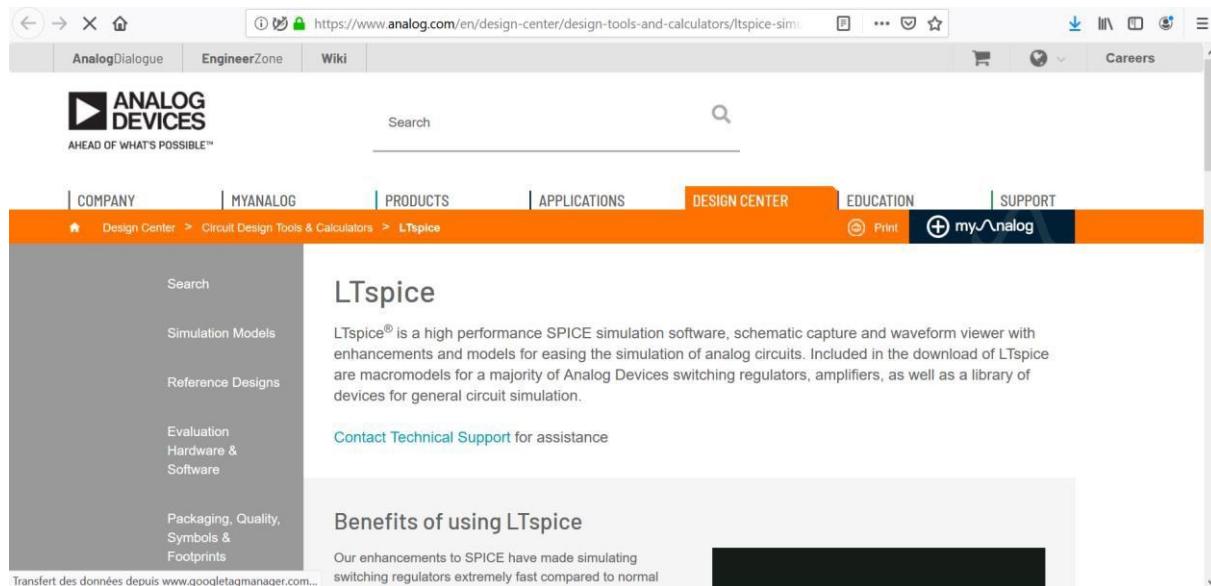
TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

PREPARATION

DU TP

Avant la séance il est demandé d'installer sur son ordinateur personnel le logiciel gratuit LTSpice qui est un outil nécessaire pour tout ingénieur concepteur électronique.

<https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltpice-simulator.html>



The screenshot shows the Analog Devices website with the URL https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltpice-simulator.html. The page is titled "LTspice". It features a sidebar with links like "Search", "Simulation Models", "Reference Designs", "Evaluation Hardware & Software", and "Packaging, Quality Symbols & Footprints". The main content area describes LTspice as a high-performance SPICE simulation software with enhancements for analog circuit simulation. It includes a "Contact Technical Support" link and a "Benefits of using LTspice" section.

PARTIE 1 : Savoir utiliser le simulateur LTSpice pour simuler analogiquement des circuits électriques : Simulation d'un montage AOP parfait.

On demande de réaliser la simulation d'un circuit AOP suiveur classique dont la saisie de schématique sous LTSpice est décrite ci-dessous.

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

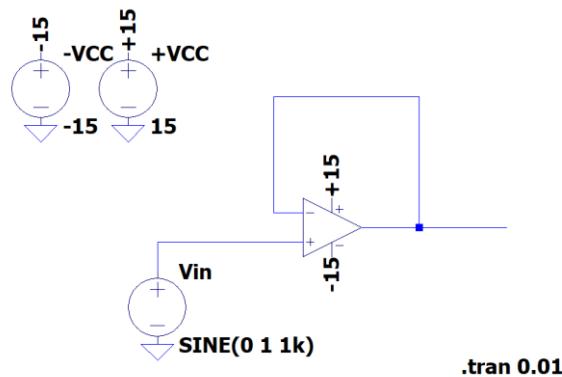


Figure 1 Montage suiveur LtSpice



Saisir la schématique du montage suiveur

ATTENTION : sur macOS, LTSpice a une interface très différente ! Il n'y a pas d'éditeur de paramétrage de simulation (il faut taper directement la directive sur la schématique genre .tran 0 10m 0), Le curseur s'obtient en cliquant sur le nom de la voie, GND s'obtient en utilisant Label Net et il n'y a pas de bandeau de fonction comme sur PC.



Le modèle d'AOP utilisé est l'Universal OPAMP de la bibliothèque de LtSpice. Mettez en entrée un signal d'entrée 60 Vpp. Concluez sur l'adéquation de ce modèle pour les simulations réelles de chaîne d'amplification.



Vérifier le Produit gain bande de l'AOP Universal opamp de LtSpice. Modifiez l'AOP afin d'obtenir un produit gain bande 1.5 MHz



Refaire les mêmes tests avec l'Universal opamp model 2. Vérifiez le slew rate et modifier le. Que se passe-t-il ? semble t'il plus adéquat pour les simulations d'AOP ?

LtSpice fournit des modèles de bases pour les AOPs complètement programmable par le développeur. Il est important de comprendre les différents défauts des AOPs pour pouvoir simuler le plus précisément les chaînes analogiques. Ce tp sert à mettre en lumière les défauts des AOPs, les moyens de les corriger ainsi que les principes de simulation sur LtSpice permettant d'adapter ses modèles théoriques à des modèles réelles

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

PARTIE 2 : LM741 l'AOP classique

Historique du LM741

Le 741 est l'architecture la plus typique des AOPs bipolaires actuelle. Il a été créé en 1968 par David Fullagar pour Fairchild Semiconductor. Il est basé sur l'architecture du LM301 de Bob Widlar auquel ils ont ajouté un condensateur de compensation afin d'éviter les oscillations qui devaient être générées extérieurement précédemment. Ils possédaient aussi une protection contre les courts circuits. Il fut plébiscité en son temps et détrôna tous les autres AOPs de l'époque comme la référence d'AOP à suivre et utiliser.

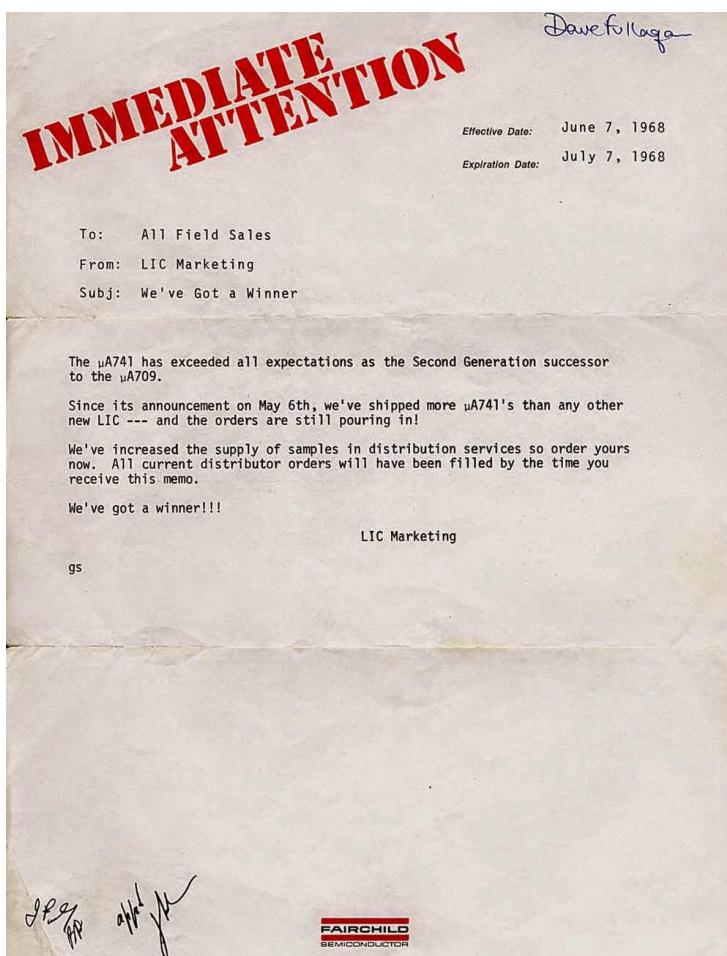


Figure 2 Lettre du service Marketing pour David Fullagar

Architecture LM741

L'architecture du LM741 est présentée ci-dessous. Il est facile de voir les différentes fonctions de l'AOP sur les anciens montages car l'intégration des semiconducteurs n'était pas équivalente à celle de nos jours (cf loi de Moore) (<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/physique-plus-petit-transistor-monde-ressuscite-loi-moore-64721/>). Il est possible grâce à un simple microscope d'identifier les différentes fonctions internes de l'AOP.

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

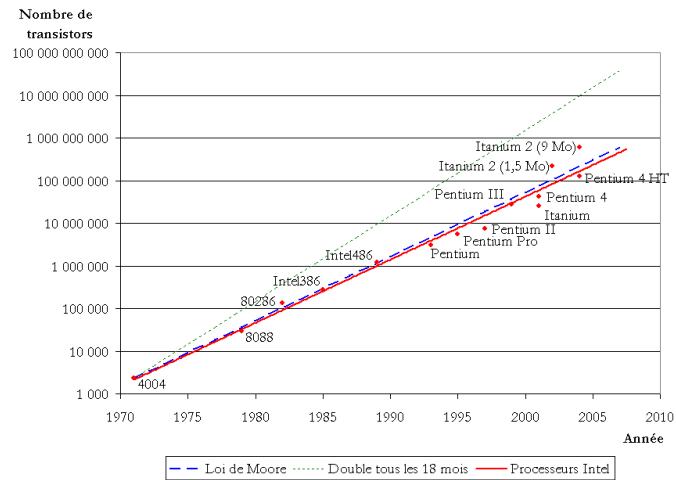


Figure 3 Loi de Moore

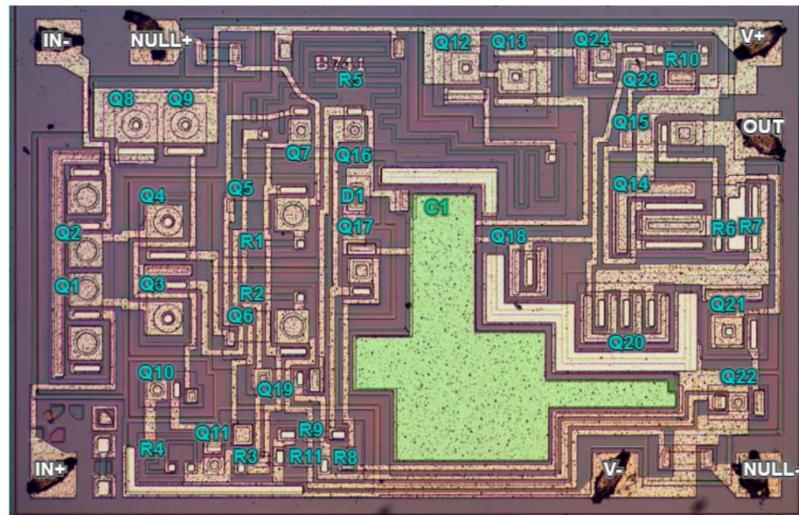


Figure 4 Silicium LM741 original

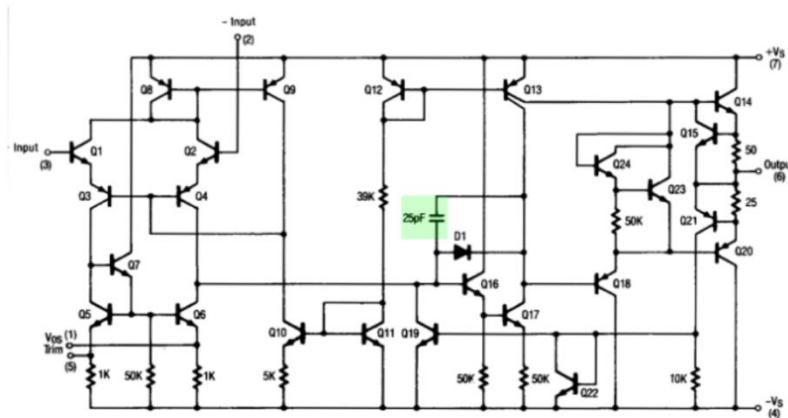


Figure 5 Architecture interne LM741

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

DÉBUT DU TP

PARTIE 3 Mesure et Etude de la tension d'offset V_{of} d'un AOP

Mesure V_{of} d'un AOP

Les AOPs possèdent une tension d'offset, V_{of} propre à chaque AOP. Cette tension provient d'une différence interne dans l'étage différentiel d'un AOP (cf TD n°2). Il est possible de vérifier sa valeur sur la datasheet d'un AOP.

6.5 Electrical Characteristics, LM741⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Input offset voltage	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1	5	mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		6	mV
Input offset voltage adjustment range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		± 15		mV
Input offset current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			1.5	μA
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$	0.3	2		$\text{M}\Omega$
Input voltage range	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	± 12	± 13		V

Figure 6 Extrait Datasheet LM741

Cette tension d'offset est mesurable pour une température précise. Elle peut varier d'un AOP à un autre mais elle sera toujours inférieure à la valeur max donnée dans la datasheet. Il est possible de changer cette tension en changeant la température de l'AOP, cela s'appelle le drift.

Cette tension peut varier entre quelques μA pour des technologies low drift jusqu'à des mA. Il est donc des fois difficile de faire une lecture directe de cette tension. Il faut donc l'amplifier. Le montage suivant permet de lire efficacement la tension d'offset.

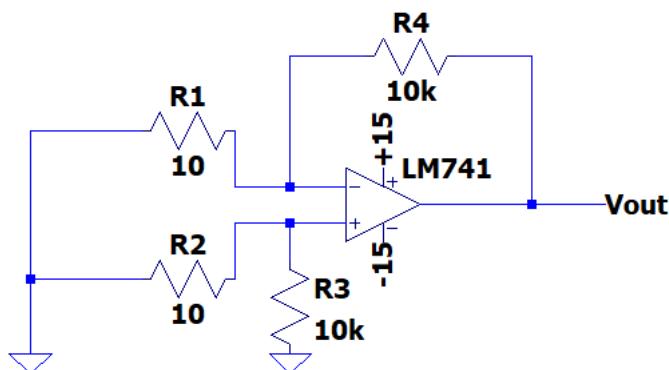


Figure 7 Montage lecture V_{of}

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP



Déterminer la relation entre V_{OUT} et V_{of}



Faites une mesure précise des différentes résistances afin d'estimer le plus précisément le gain du montage. Quel appareil de Tp permettra la lecture la plus précise de la tension en sortie ?



Faites le montage et comparé votre résultat avec la Datasheet. Votre AOP est-il dans la norme ? Comparé le résultat avec les autres binômes. Complétez le tableau suivant.

	Mesure Offset	Gain Montage	Offset de l'AOP
Binôme 1			
Binôme 2			
Binôme 3			
Binôme 4			
Binôme 5			
Binôme 6			
Binôme 7			
Binôme 8			

Tableau 1 Mesure Offset



Appelez le professeur afin de faire un test du drift en tension de l'AOP. Comment varie-t-il ? Etablissez un modèle linéaire du drift en tension de l'AOP.

Correction Drift AOP

Le LM741 possède des pins afin de corriger extérieurement le drift de l'AOP. Les Pins 1 et 5 du schéma ci-dessous permettent la correction du drift.

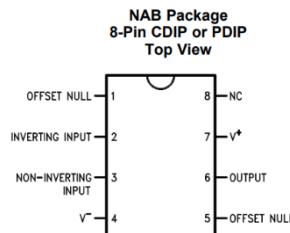


Figure 8 Pinout LM741

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP



Au vu de l'architecture interne de l'AOP, proposez une solution permettant la correction de la tension d'offset



Mettez en place le montage validé par le professeur et minimiser l'offset de votre montage. Est-il possible d'obtenir un offset nul ? Y'a-t-il un moyen d'automatiser la correction d'un AOP grâce à un µC ? Proposer une méthode de correction automatique de l'offset d'un AOP par µC. Donnez les limites de correction par cette méthode.

Partie 3 : Mesure des courants Ib d'un AOP

Les AOPs possèdent aussi des courants de polarisation I_{Bias} différent de 0. Afin de mesurer les courants I_{Bias} voici deux montages permettant de mesurer les I_{Bias} sur les pins + et – d'un AOP.

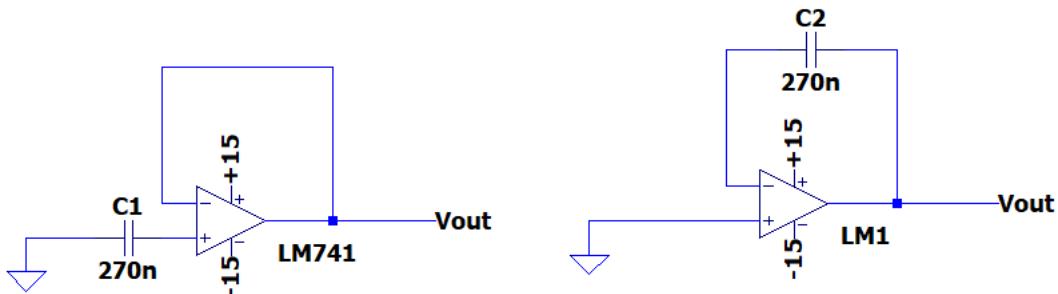


Figure 9 Montage mesure I_{bias} AOP



Déterminez la relation entre I_{Bias+} et V_{out} . Comment V_{out} doit varier dans ce montage ?

Afin de réaliser ce montage, il faut une valeur précise de la capacité choisie. Les capacités de grande série possèdent une précision de +/-10% voire +/-20%. Il nous faut donc une mesure précise de la valeur de la capacité choisie. L'un des montages permettant une mesure rapide et efficace d'une capacité est un circuit RC.

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP



Rappelez la relation entre Fréquence de coupure et la valeur du circuit RC. Quel gain doit-on avoir à $100F_{coupure}$? Faites une mesure de $100F_{coupure}$ précisément à l'oscilloscope et déterminez la valeur de C.



Réalisez les deux montages précédent et complétez le tableau suivant

	Mesure diff Vout (pin+)	Mesure temps de montée Vout (pin+)	Mesure diff Vout (pin-)	Mesure temps de montée Vout (pin-)
Binôme 1				
Binôme 2				
Binôme 3				
Binôme 4				
Binôme 5				
Binôme 6				
Binôme 7				
Binôme 8				

Tableau 2 Mesure Ibias



Déterminez le I_{bias} pour chaque pin ainsi que le I_{offset} . Comparer vos valeurs obtenues avec la datasheet. Les résultats sont-ils cohérents ?



Appelez le professeur afin de faire un test du drift des courants de l'AOP. Comment varie-t-il ?

Partie 4 : Mesure du Produit Gain-Bande et Slew-rate

Le produit gain bande et le Slew-rate sont des limitations temporels de notre AOP. Dû à l'architecture interne et notamment à la capacité de Miller ce sont des paramètres essentiels pour l'utilisation d'un AOP.

Mesure Produit Gain-Bande

Afin de mesurer le produit gain bande d'un montage, voici un montage proposé.

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

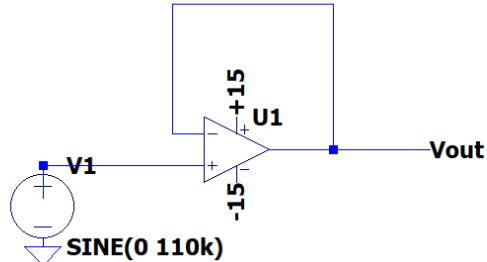


Figure 10 Mesure Produit Gain Bande



Mesurer la valeur de produit gain-bande. Comparez avec la valeur donnée dans le Datasheet. L'écart peut être important entre la valeur mesurée et la valeur trouvée.

Mesure Slew-rate

Le Slew-rate se mesure en utilisant un signal carré en entrée et en mesurant le temps de montée jusqu'à la valeur finale. Voici un montage permettant la mesure du Slew-rate.

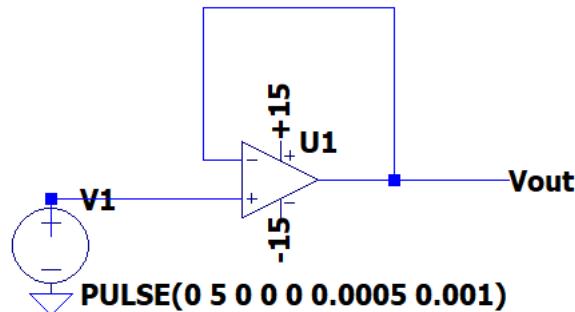


Figure 11 Mesure Slew-rate



Réalisez le montage et observez le Slew-rate. Est-il équivalent lors des phases montantes et descendantes ? Déterminez la valeur de Slew-rate et comparez là à la valeur de la datasheet.

Mesure V_{out} vs Fréquence

Il existe une courbe directe nous donnant les limitations entre V_{out} et la fréquence possible. La courbe ne se trouve pas dans la Datasheet du LM741 mais dans l'µa741, ancêtre du LM741. Deux zones sont visibles dans la courbe. Un plateau ainsi qu'une zone décroissante.



Proposez une méthode afin de retracer la courbe en tenant compte des variations de Slew-rate pour les V_{in} grand. Faites une mesure pour chaque V_{out} allant de 1V à 15 V. Remplissez le tableau suivant.

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

Vout	Fréquence de coupure
1 V	
2V	
3V	
4V	
5V	
6V	
7V	
8V	
9V	
10V	
11V	
12V	
13V	
14V	

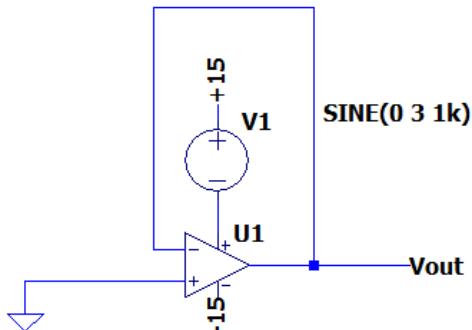
Tableau 3 Mesure Vout vs Fréquence

Partie 5 : Consommation de l'AOP et défaut d'alimentation

Mesure PSRR

Le PSSR correspond au rejet des variations d'alimentation par l'AO. Pour cela, nous allons injecter un signal sinusoïdal ou carré dans l'alimentation pour voir son effet sur la sortie d'un AOP. Voici le montage proposé.

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP



Réalisez le montage et vérifier la variation de V_{out} . Nous observons le V_{OFFSET} mais aussi la variation du au V_{out} . Vérifiez qu'un signal carrée provoque plus de variation qu'un signal sinusoïdal. Expliquez pourquoi. La courbe de PSRR n'est pas disponible dans la Datasheet (défaut du constructeur et de l'âge de la technologie). Proposez une méthode afin de mesurer efficacement le PSSR. Il sera difficile de la mettre en œuvre au vu des outils à votre disposition dans la salle de TP.

Mesure consommation AOP

Il est intéressant et important dans les systèmes embarqués de limiter la consommation des AOPs. La consommation dépend de la charge en sortie de l'AOP.



Mesurer la consommation d'un montage suiveur sans charge d'un AOP grâce à un multimètre.

La charge limite d'un AOP peut être calculé en fonction du courant maximum en sortie de l'AOP. A courant max, l'AOP se met à chauffer. Si on dépasse le courant possible par l'AOP la tension de sortie s'écroule : elle n'est plus capable de fournir le courant et la tension demandée donc la tension s'écroule



Déterminez le courant maximum possible en sortie de l'AOP grâce à la datasheet. Chargez le montage suiveur à la limite et vérifiez la consommation de l'AOP. Mettez en entrée un signal sinusoïdal et vérifiez l'écroulement de la sortie en dépassant la limite de courant possible.

Partie 6 : Chaîne d'AOP : défaut d'alimentation et d'offset

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

Consommation des AOPs dans un même package

Des packages d'AOP comportent parfois plusieurs AOPs. C'est notamment le cas pour LM324A. Ils ne sont pas tout le temps tous utilisés et les AOPs restant ne peuvent pas simplement être ignorés en termes d'alimentation.

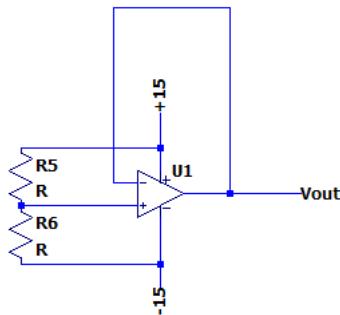


Prenez un LM324A. Réalisez un montage suiveur sur l'un des AOPs et vérifiez la consommation de l'AOP.

Afin de limiter la consommation des AOPs non utilisés, il faut les câbler de façon spécifiques afin de respecter 2 règles :

- Les tensions d'entrée des AOPs non utilisés doivent être maintenu dans la plage d'entrée de Mode Commun de l'appareil.
- La sortie des AOPs non utilisés doit être maintenu dans la plage de tension de sortie de l'AOP.

Ce montage pour chaque AOP non utilisé permet de vérifier ces deux conditions



Pour des alimentations symétriques cela correspond à mettre à la masse l'entrée + de l'AOP non utilisé mais pour des AOPs en single supply cela correspond à $V_{cc}/2$



Réalisez ce montage sur les AOPs non utilisés et vérifiez que la consommation a baissé

Réglage d'offset sur une chaîne d'AOP

Les offsets d'AOP dans les chaînes d'amplification peuvent être un souci car les offsets sont amplifiés entre chaque étage. Voici une chaîne d'amplification à réaliser afin de voir ces effets.

TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP

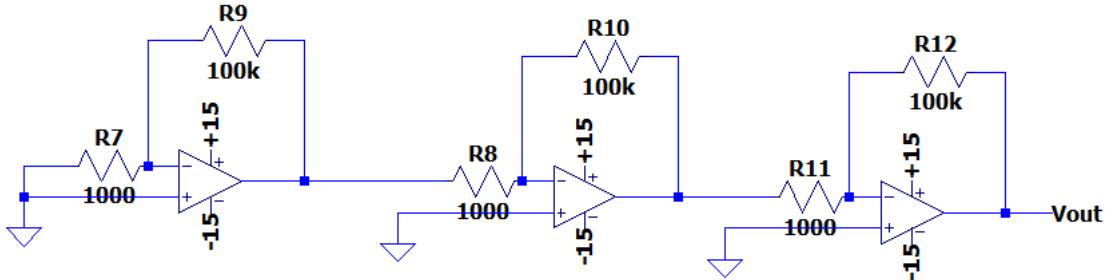


Figure 14 Chaine d'AOPs



Quel gain théorique a-t-on en sortie de la chaîne d'AOPs ? Quelle tension doit-on avoir théoriquement en sortie de cette chaîne d'amplification ?



Réaliser ce montage est observé la sortie ? Pourquoi trouve t'on que la sortie est en saturation ?

Ces chaînes d'amplification sont de réelles problèmes pour les tensions d'offset. Une solution simplifiée serait d'introduire des capacités entre les différents étages mais cela pourrait introduire des retards dans notre signal



Faut il régler les offsets pour chaque étage, le premier, ou le dernier ? Réaliser un réglage de l'offset général afin de retrouver un signal de 0V en sortie

*TP AOP : Simuler les défauts d'un AOP***Table des Figures**

Figure 1 Montage suiveur LtSpice.....	3
Figure 2 Lettre du service Marketing pour David Fullagar	4
Figure 3 Loi de Moore.....	5
Figure 4 Silicium LM741 original.....	5
Figure 5 Architecture interne LM741	5
Figure 6 Extrait Datasheet LM741	6
Figure 7Montage lecture V_{of}	6
Figure 8 Pinout LM741.....	7
Figure 9 Montage mesure Ibias AOP	8
Figure 10 Mesure Produit Gain Bande.....	10
Figure 11 Mesure Slew-rate.....	10
Figure 12 Montage mesure PSRR	12
Figure 13 Montage AOP non utilisé	13
Figure 14 Chaine d'AOPs.....	14

Table des tableaux

Tableau 1 Mesure Offset	7
Tableau 2 Mesure Ibias.....	9
Tableau 3 Mesure Vout vs Fréquence	11