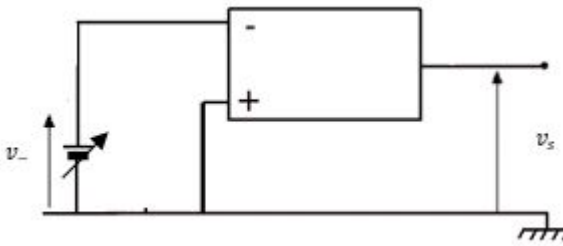


Pour l'ensemble des montages utilisant un ou des AO, il faudra veiller à :

- Réaliser une alimentation symétrique $\pm 15V$,
- Relier les masses (alimentation, tension signal) du montage entre elles,
- Ne pas injecter une tension d'entrée supérieure, en valeur absolue, à la tension d'alimentation V_{cc}
- Utiliser des fils noirs pour la masse, rouges pour le signal, et (si possible) verts et bleus pour les fils d'alimentation

Exercice 1 : Etude expérimentale du comparateur à un seuil

Effectuer le montage ci-dessous :



- 1) Quelle condition faut-il imposer à v^- pour que $v_s = +v_{sat}$? Vérifier expérimentalement cette condition.

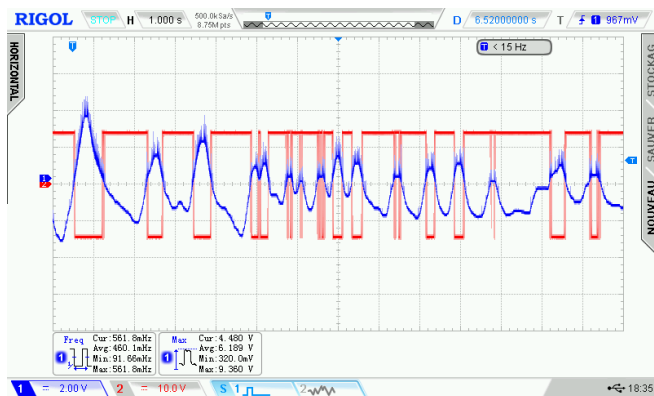
Il faut $\epsilon > 0$ donc $v^- < 0$

- 2) Quelle condition faut-il imposer à v^- pour que $v_s = -v_{sat}$? Vérifier expérimentalement cette condition.

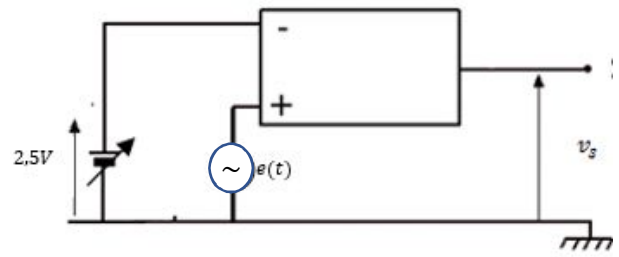
Il faut $\epsilon < 0$ donc $v^- > 0$

- 3) Est-il facile d'observer le mode de fonctionnement linéaire ? Expliquer.

L'amplification forte, le bruit, le bruit thermique empêchent de conserver une tension ϵ de l'ordre de $100\mu V$, donc il n'est pas facile de fixer le régime linéaire :

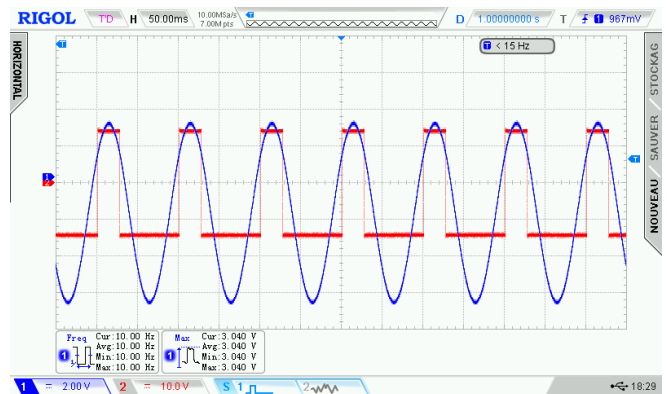


Réaliser le montage ci-dessous. La tension $e(t)$ est délivrée par un GBF délivrant une tension sinusoïdale de 10Hz et de 5V d'amplitude maximale avec un offset de -2V



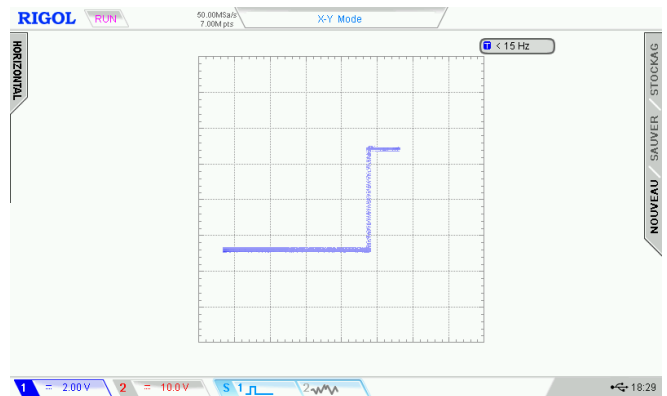
- 4) Superposer les tensions $e(t)$ et $v_s(t)$ sur un même oscillogramme. Imprimer votre graphe à l'aide du logiciel RIGOL ULTRASCOP et interpréter l'évolution de $v_s(t)$.

On obtient une commutation pour une tension $e(t)$ dépassant les 2,5V :



- 5) Obtenir, à l'aide du mode XY de l'oscilloscope, la caractéristique $v_s(v_-)$. Tracer sur votre copie le graphe obtenu.

On obtient un comparateur à un seuil :

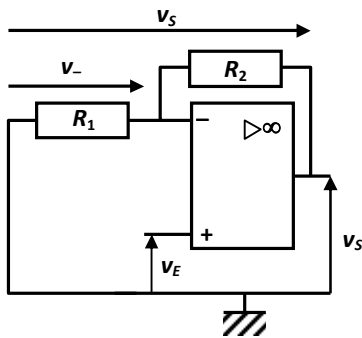


- 6) Quelles peuvent être les applications d'un tel montage ?

Montage idéal pour générer des signaux de rapport cyclique donné, pour la remis en forme de signaux numérique pour des CAN....

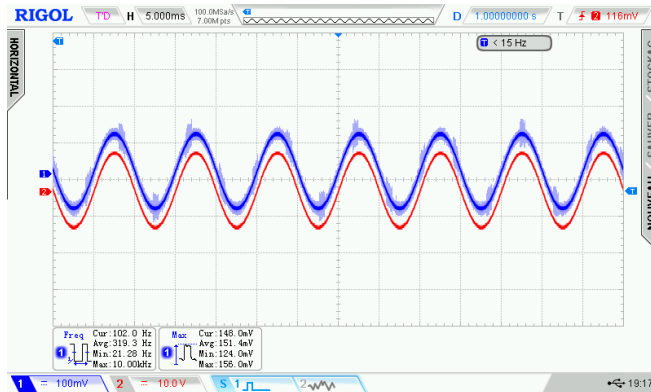
Exercice 2 : Etude expérimentale de l'AO en fonctionnement linéaire

- Obtenir la fonction de transfert $\frac{v_s}{v_e}$ de la structure ci-dessous en supposant l'AO idéal et en régime linéaire.



- Réaliser le montage amplificateur non inverseur ci-dessus en imposant une amplification de 100 (avec des résistances de $1k\Omega$ et $100k\Omega$). Le signal v_e est une sinusoïde d'amplitude maximale de $100mV$ de $100Hz$. Vérifier que la fonction amplification est bien réalisée. Imprimer votre graphe.

La calibre entre les deux vois est dans un rapport 100, ce qui vérifie l'amplification de 100 de la structure :



On donne ci-dessous un extrait de la documentation constructeur de l'A.O utilisé :

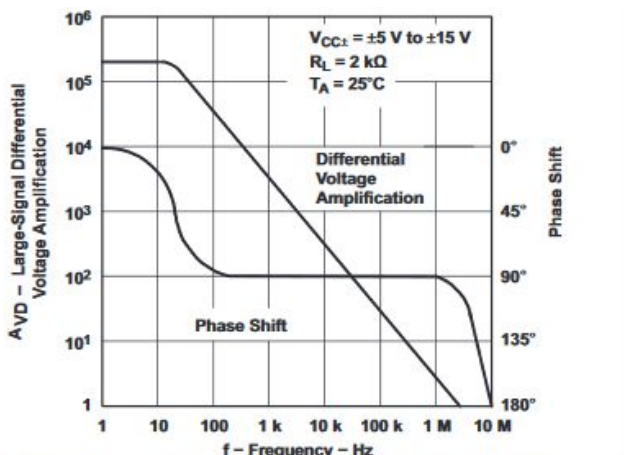
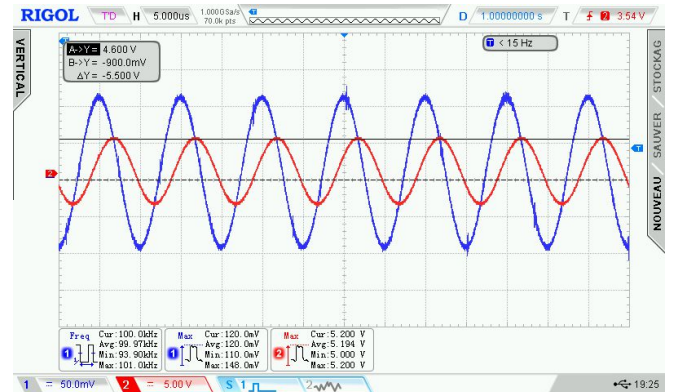


Figure 8. Large-Signal Differential Voltage Amplification and Phase Shift vs Frequency

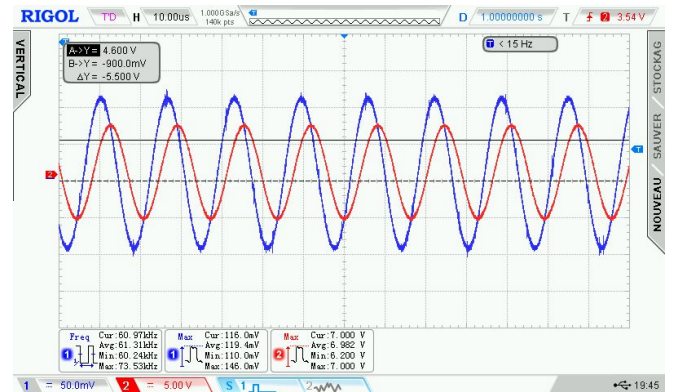
- Augmenter la fréquence du signal v_e jusqu'à $100kHz$ et expliquer le comportement du signal de sortie.

Le produit gain-bande passante étant limité alors la fréquence maximale possible pour ce gain de 40dB est donc à peu près de $10kHz$. On retrouve une amplification typique de 50 ($0,1V \rightarrow 5V$)



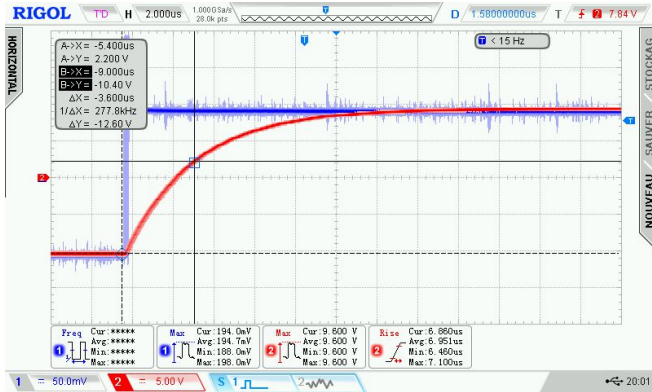
- Proposer un protocole permettant de mesurer expérimentalement la fréquence de coupure f_c du montage. Mesurer f_c . Cette valeur est-elle cohérente avec celle du constructeur ?

On va chercher la fréquence pour laquelle le gain est diminué de 3dB, soit une amplification de 70 et une tension de sortie de $7V$ d'amplitude maximale : On trouve une fréquence d'à peu près $44kHz$ (en faisant une analyse à l'aide des curseurs ou éventuellement en cherchant un déphasage de 45°)



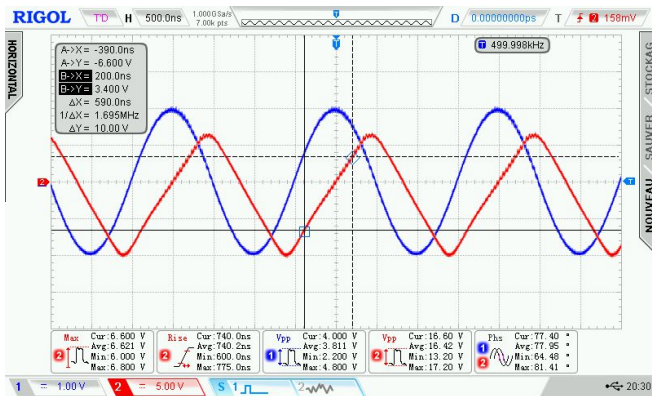
- Paramétrer le GBF pour que v_e soit un signal carré d'amplitude maximale de $100mV$ à $10kHz$. Expliquer l'allure du signal obtenu et justifier la valeur du temps de réponse observé. Imprimer votre graphe.

On observe le comportement d'un système d'ordre 1 avec un temps de réponse de l'ordre de $\tau = 3,4\mu s$, soit une fréquence de coupure de $47kHz$



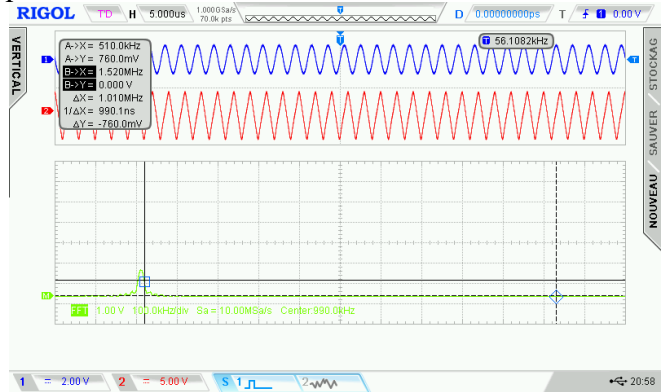
- 6) Fixer une amplification de 10 (avec des résistances de 10kΩ et 100kΩ) et paramétrer le GBF pour que v_e soit un signal sinusoïdal de 500kHz et de 2V d'amplitude maximal. En plus d'un signal atténué, qu'observez-vous lorsque vous augmentez l'amplitude du signal ? Mesurer la pente maximale $\left| \frac{dv_s}{dt} \right|_{max}$ du signal de sortie à l'aide des fonctions disponibles sur un oscilloscope numérique. Joindre le graphe obtenu

Il s'agit ici d'une autre limitation de l'AO. C'est une limitation de la pente de la tension de sortie indépendante de la limitation en fréquence liée au modèle d'ordre 1 de l'AO. On trouve alors une pente de l'ordre de 17V/μs

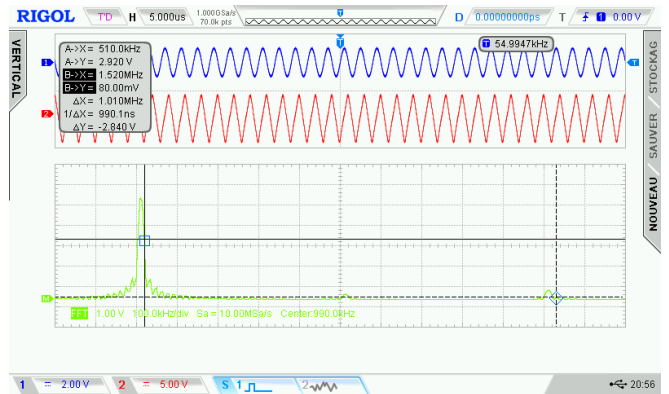


- 7) La quantité $\left| \frac{dv_s}{dt} \right|_{max}$ est appelée Slew rate (vitesse de balayage) et traduit une non linéarité de l'A.O. Comment cette non linéarité se manifeste-t-elle lorsque l'on analyse le spectre du signal obtenu à la question précédente ? Joindre le graphe obtenu.

Pour effectuer une analyse spectrale, il faut prendre un nombre suffisant de période (en travaillant sur une base de temps de 5μs et donc une fréquence d'échantillonnage de 10MHz) Le signal d'entrée est « parfait » ou pur :

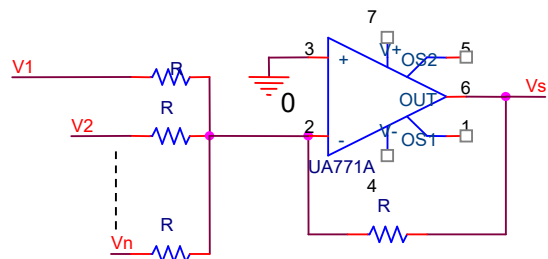
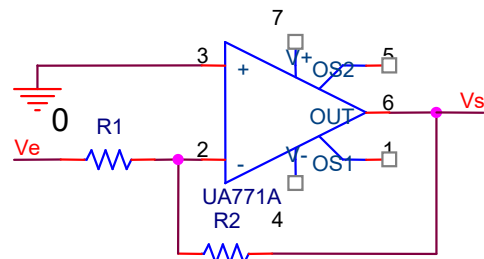
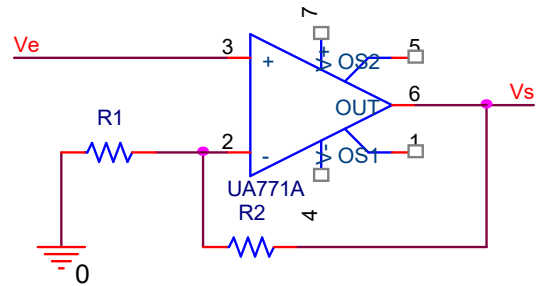


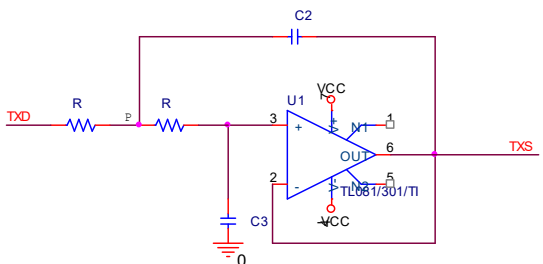
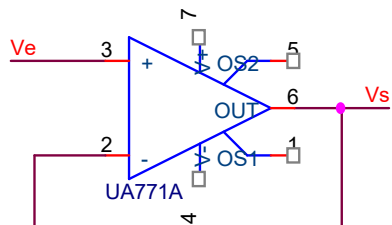
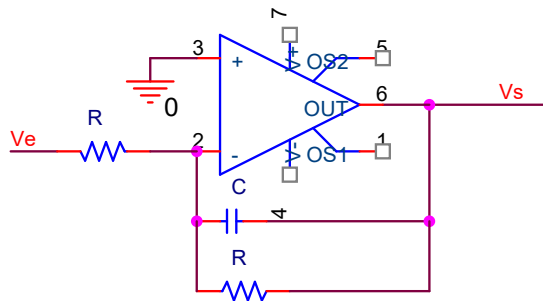
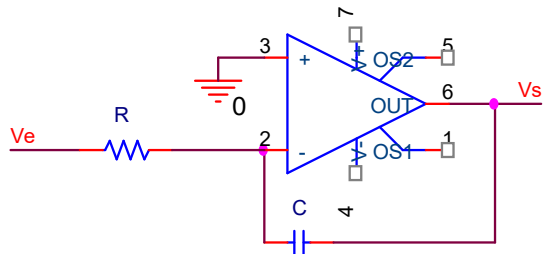
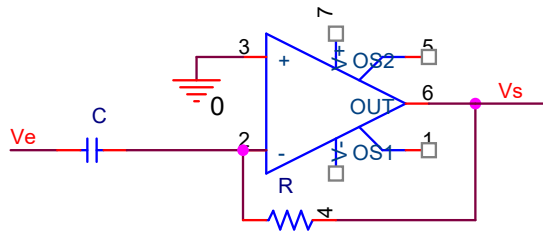
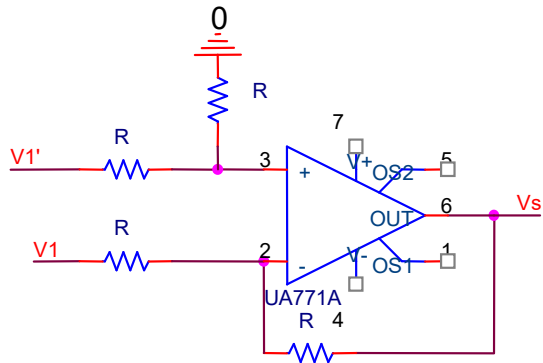
Le Slew Rate est un effet non linéaire qui se traduit par une distorsion du signal et donc la création d'harmonique :

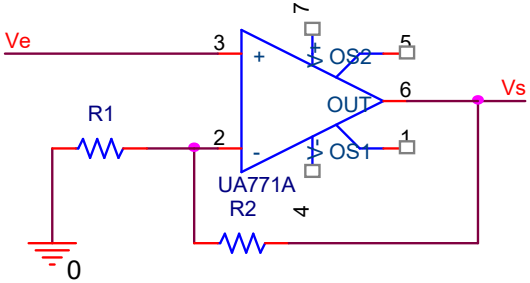
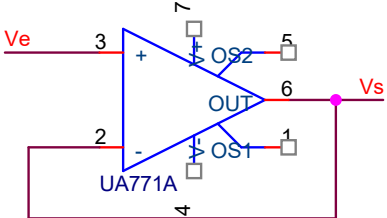
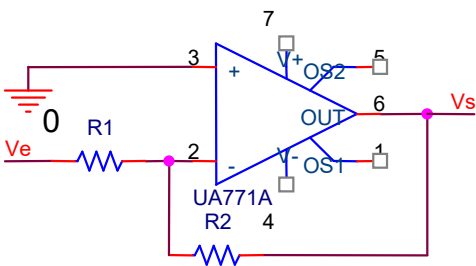


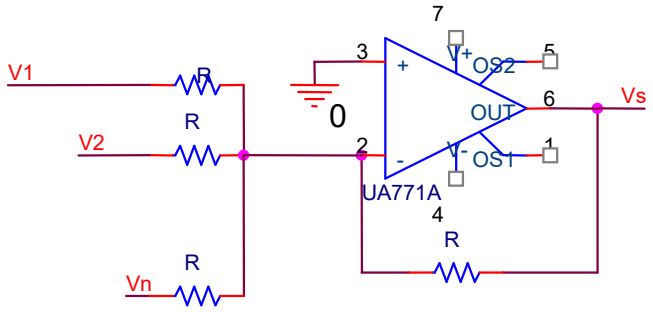
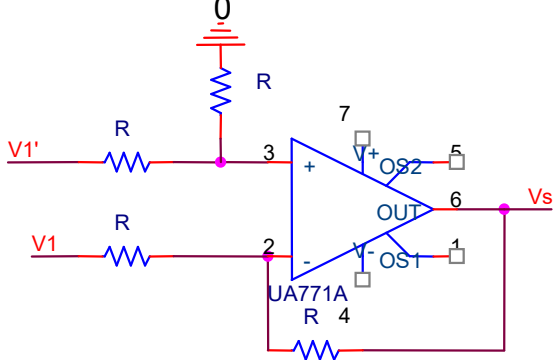
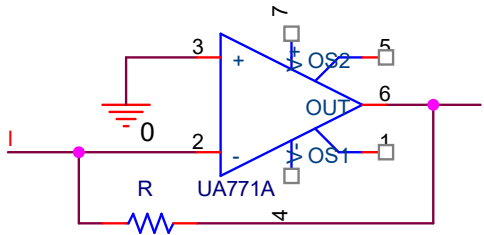
Exercice 3 : Entraînement

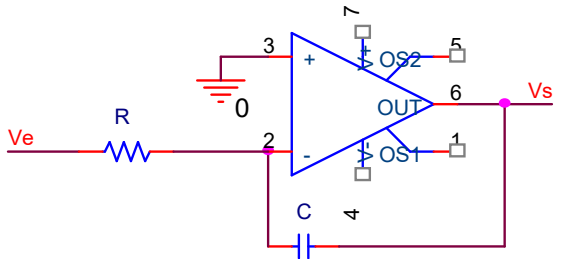
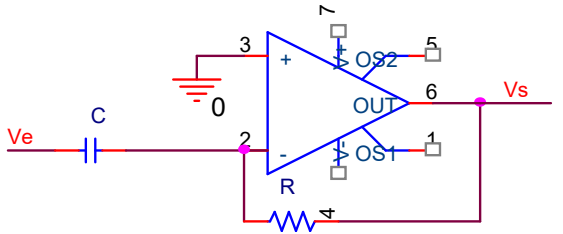
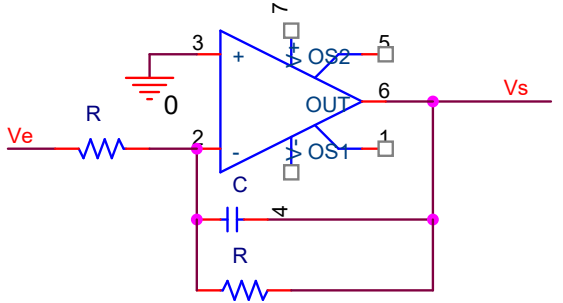
Toutes les structures suivantes utilisent des AO supposés idéaux et en fonctionnement linéaires. Donner l'expression des fonctions de transfert de chaque structure et proposer une application.

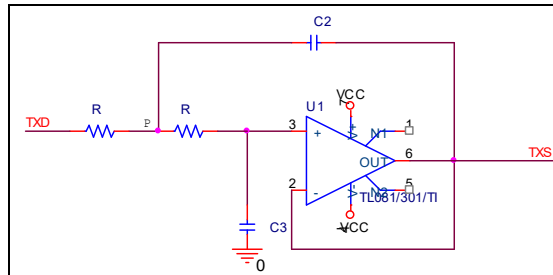




Schémas	Fonctions de transfert	Remarques-applications
	<p>On obtient :</p> $\frac{V_s}{V_e} = \frac{R1 + R2}{R1}$	<p>On peut amplifier en tension sans inversion. Attention cependant à voir que cette amplification est nécessairement supérieure à 1.</p>
	<p>On obtient :</p> $V_s = V_e$	<p>On obtient un suiveur en tension. Avec une impédance d'entrée grande et une impédance de sortie faible ce montage ne perturbe pas « ses voisins ».</p>
	<p>On obtient :</p> $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R2}{R1}$	<p>On a une amplification avec inversion avec ici une possibilité d'atténuer le signal d'entrée.</p>

schémas	Fonctions de transfert	Remarques-applications
	<p>On obtient :</p> $V_s = -\sum_i V_i$	<p>On obtient un sommateur</p>
	<p>On obtient :</p> $V_s = V1' - V1$	<p>On obtient un montage soustracteur</p>
	<p>On obtient une conversion courant tension avec en sortie une tension égale à $-Ri$</p>	<p>On peut imaginer que le courant est délivré par une photodiode ou un autre capteur. Ce qui permet d'avoir une tension image du courant et de la grandeur physique captée.</p>

schémas	Fonctions de transfert	Remarques-applications
	$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$	<p>On obtient un intégrateur</p>
	$V_s = -RC \frac{dV_e}{dt}$	<p>On obtient un dérivateur</p>
	$T = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}$	<p>On obtient un filtre passe bas d'ordre 1 actif</p>



Avec Millman :

$$V_p = \frac{\frac{TXD}{R} + TXSjC_2\omega + \frac{TXS}{R}}{\frac{2}{R} + jC_2\omega}$$

$$V_p = \frac{TXD + TXS(1 + RjC_2\omega)}{2 + RjC_2\omega}$$

Toujours d'après Millman :

$$v_+ = v_- = TXS = \frac{\frac{V_p}{R}}{jC_3\omega + 1/R}$$

Soit :

$$TXS = \frac{V_p}{RjC_3\omega + 1}$$

$$TXS = \frac{TXD + TXS(1 + RjC_2\omega)}{(RjC_3\omega + 1)(2 + RjC_2\omega)}$$

$$TXS(RjC_3\omega + 1)(2 + RjC_2\omega) = TXD + TXS(1 + RjC_2\omega)$$

$$TXS(2RjC_3\omega + R^2j^2C_3C_2\omega^2 + 1) = TXD$$

$$\frac{TXS}{TXD} = \frac{1}{1 + 2RjC_3\omega + R^2j^2C_3C_2\omega^2}$$

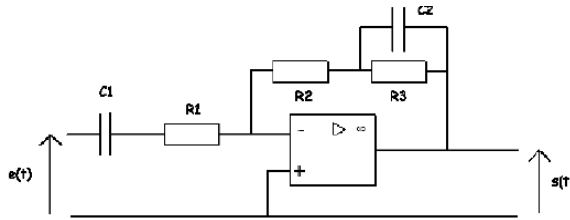
On a donc un filtre passe bas d'ordre 2 de Sallen-Key avec une amplification statique unitaire, une pulsation propre $\omega_0 = \frac{1}{R\sqrt{C_2C_3}}$ et $2M/\omega_0 = 2RC_3$ soit

$$M = \sqrt{\frac{C_3}{C_2}}$$

Ce montage est un suiveur en BF et court-circuite les HF car C3 est alors équivalent à un fil : on bénéficie alors des performances de l'AO suiveur en fonction filtrage

Exercice 4 :

On considère le filtre suivant :

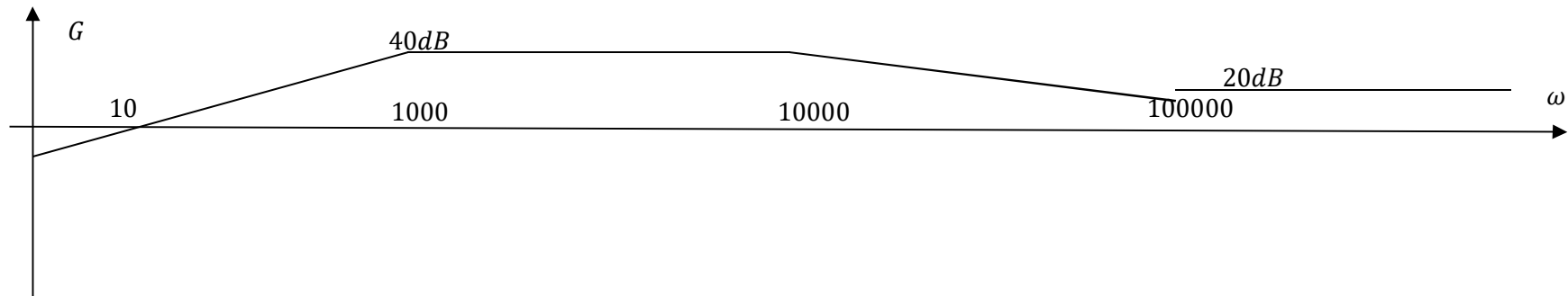


- 1) Donner les expressions et valeurs des pulsations importantes dans l'étude de cette structure. $R1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R3 = 100 \text{ k}\Omega$, $C1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ et $C2 = 1 \text{ nF}$
- 2) Prévoir, sans calcul, la structure équivalente de ce filtre pour les différents domaines de fréquence pertinent de ce montage. En déduire les diagrammes de Bode asymptotique.
- 3) Déterminer précisément la fonction de transfert de ce filtre. Comparer ce résultat à votre analyse qualitative

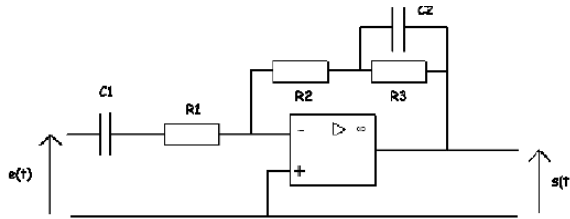
Il apparait donc plusieurs pulsations de référence :

- $\omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1} = 10^3 \text{ rad/s}$
- $\omega_2 = \frac{1}{R_3 C_2} = 10^4 \text{ rad/s}$
- $\omega_3 = \frac{1}{R_2 C_2} = 10^5 \text{ rad/s}$

ω_1	ω_2	ω_3	
On a un montage dérivateur	On a un montage amplificateur inverseur	On a un montage intégrateur	On a un montage amplificateur inverseur



La fonction de transfert s'obtient avec Millman :

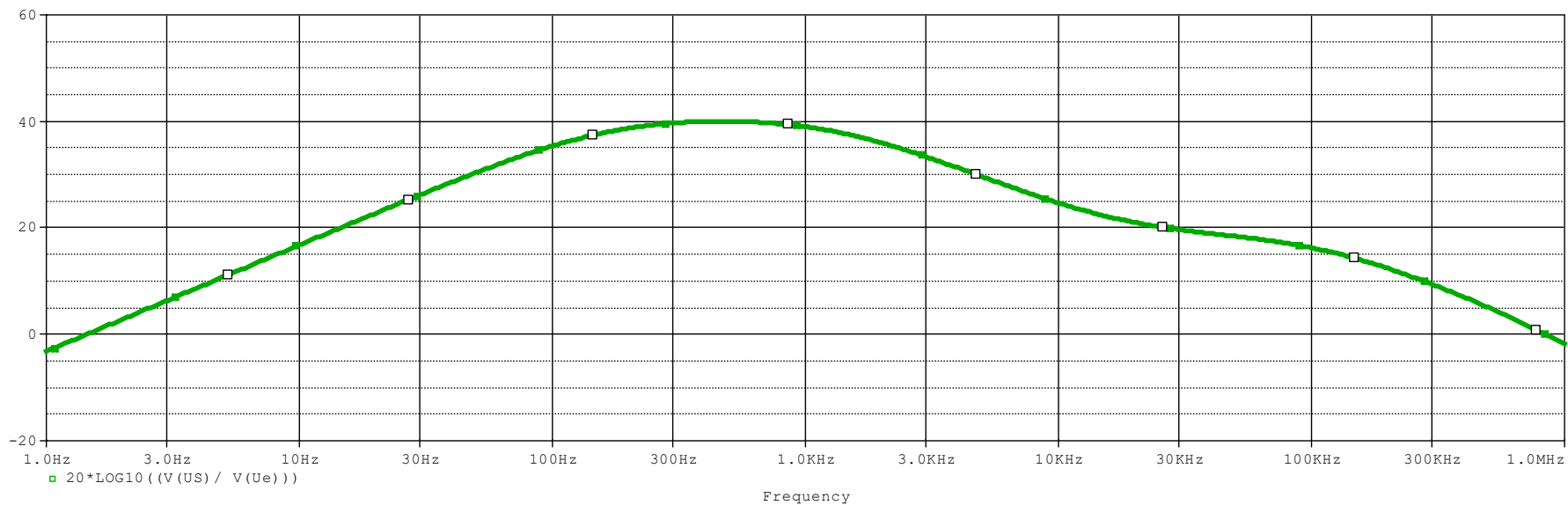


$$Z_1 = \frac{R_1 j C_1 \omega + 1}{j C_1 \omega} = R_1 \frac{1 + j \frac{\omega}{\omega_1}}{j \frac{\omega}{\omega_1}} \text{ et } Z_2 = R_2 + \frac{R_3}{R_3 j C_2 \omega + 1} = \frac{R_2(R_3 j C_2 \omega + 1) + R_3}{R_3 j C_2 \omega + 1} = (R_2 + R_3) \frac{R_2 R_3 j C_2 \omega + 1}{R_2 + R_3} = (R_2 + R_3) \frac{1 + j \frac{\omega}{k \omega_3}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_2}} \text{ avec } k = \frac{R_2 + R_3}{R_3}$$

Donc : $\frac{s}{e} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{(R_2 + R_3)}{R_1} \frac{(1 + j \frac{\omega}{k \omega_3}) j \frac{\omega}{\omega_1}}{(1 + j \frac{\omega}{\omega_2})(1 + j \frac{\omega}{\omega_1})}$ ce qui permet de retrouver le comportement asymptotique :

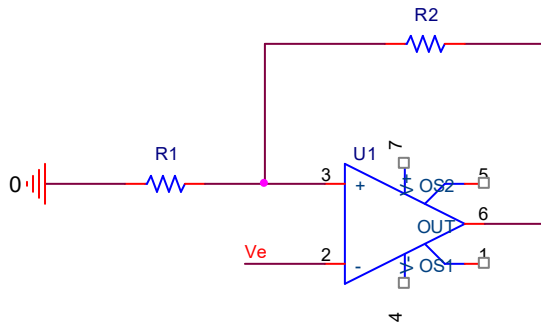
ω_1	ω_2	ω_3	
$\frac{s}{e} = -\frac{(R_2 + R_3)}{R_1} j \frac{\omega}{\omega_1}$	$\frac{s}{e} = -\frac{(R_2 + R_3)}{R_1}$	$\frac{s}{e} = -\frac{(R_2 + R_3)}{R_1} \frac{1}{(j \frac{\omega}{\omega_2})}$	$\frac{s}{e} = -\frac{R_3}{R_1} \frac{(j \frac{\omega}{\omega_3})}{(j \frac{\omega}{\omega_2})}$
On a un montage dérivateur	On a un montage amplificateur inverseur	On a un montage intégrateur	On a un montage amplificateur inverseur

La simulation sur Orcad fait apparaître également la limitation en fréquence de l'AO à 100kHz et donc



Exercice 5 : Etude expérimentale d'un comparateur à hystérésis

On considère le circuit suivant avec $R_1 = 10k\Omega$ et $R_2 = 22k\Omega$. L'AO est alimenté sous $\pm 15V$.



- 1) Justifier qualitativement que le montage donné ne fonctionne généralement pas linéairement.

La seule rétroaction positive conduit à la saturation de l'A.O

- 1) Exprimer et évaluer la tension v_+ en fonction de $\pm v_{sat}$, tension de saturation de l'amplificateur.

Il s'agit d'appliquer un PDT : $v_+ = \pm \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat}$

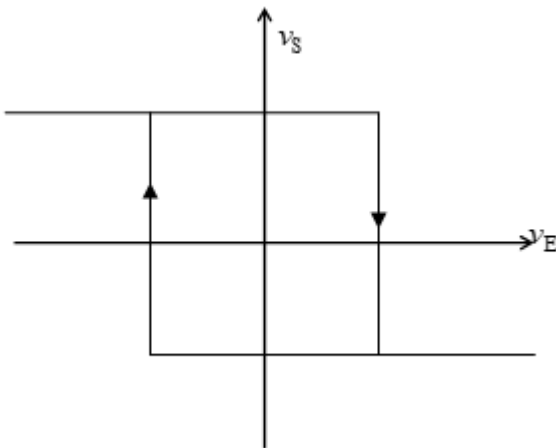
- 2) On suppose initialement que la tension de sortie est $+v_{sat}$. Qu'en déduire concernant v_+ et v_- ? Pour quelle tension v_e y a-t-il basculement de la sortie ?

Si la tension de sortie est initialement de $+V_{sat}$ alors $\epsilon > 0$ et $v_+ > v_-$ soit $v_+ > v_e$ et donc $\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat} > v_e$. Il y aura donc basculement lorsque v_e dépassera la valeur $\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat}$

- 3) Quand la tension de sortie est $+v_{sat}$, pour quelle tension v_e y a-t-il basculement de la sortie ?

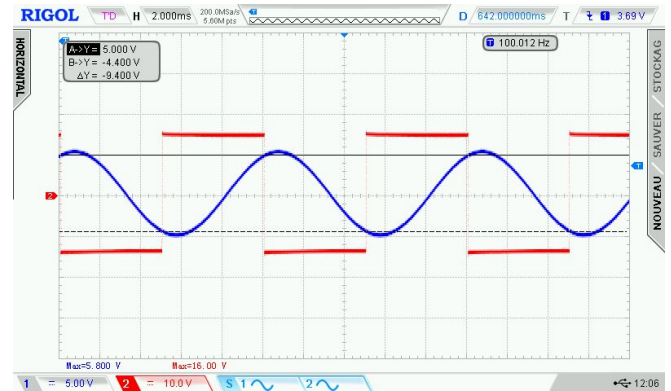
Si la tension de sortie est initialement de $-V_{sat}$ alors $\epsilon < 0$ et $v_+ < v_-$ soit $v_+ < v_e$ et donc $-\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat} < v_e$. Il y aura donc basculement lorsque v_e passera sous la valeur $-\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat}$

- 4) Représenter proprement la courbe $v_s = f(v_e)$.



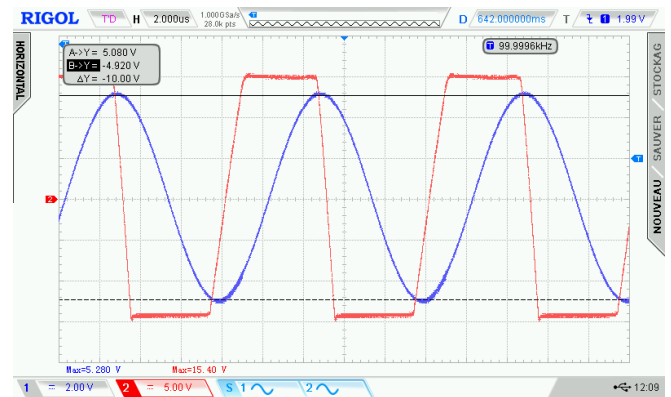
- 5) La source de tension $v_e(t)$ est sinusoïdale de fréquence 100 Hz et d'amplitude maximale de 5 V. Réaliser le montage puis interpréter la forme du signal de sortie observé à l'oscilloscope. Imprimer le graphe.

On observe les commutations respectant les caractéristiques du cycle :



- 6) Reprendre l'expérience précédente en imposant une fréquence de 100kHz. Imprimer et expliquer le graphe obtenu.

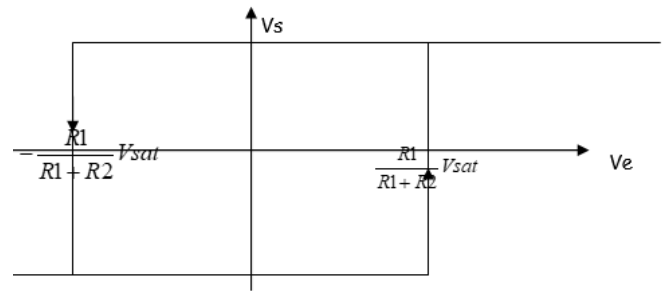
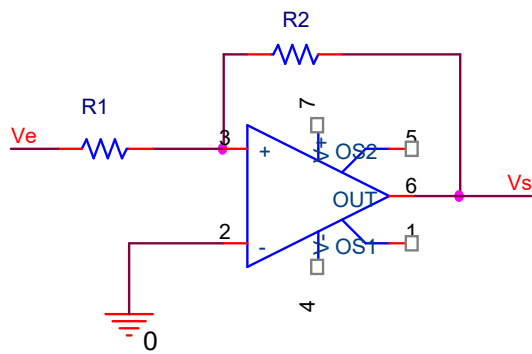
Par exemple à 300kHz, on retrouve une limitation liée au SR :



On a typiquement 30V balayé en 1,7µs soit $SR = 18V/\mu s$

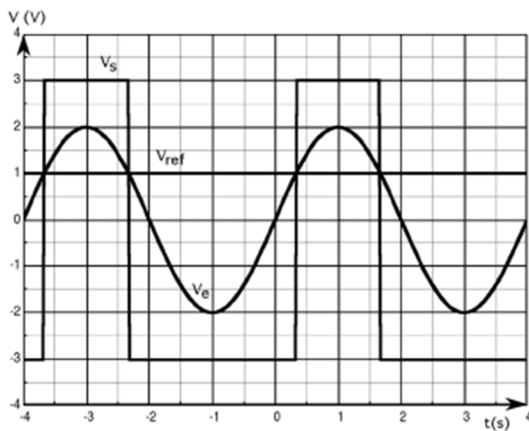
Exercice 6 : Application du comparateur à deux seuils

- 1) Représenter le graphes $v_s(v_e)$ associé au montage ci-dessous :

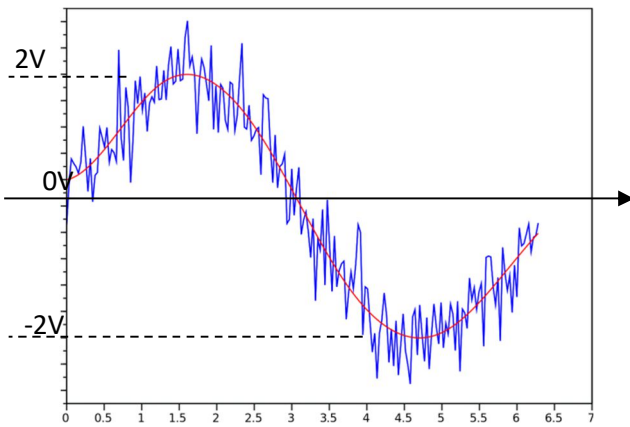
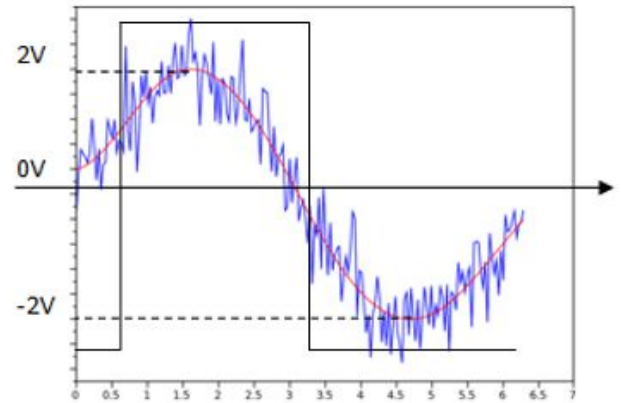


Ce type de comparateur permet une commutation moins sensible au bruit. Par exemple avec des seuils à $\pm 1V$ on a :

Avec un comparateur à un seuil, il est possible d'effectuer l'opération ci-dessous :



Cependant les signaux, sont souvent bruités.



- 2) Pourquoi un comparateur à deux seuils est-il moins sensible au bruit qu'un comparateur à un seuil.