

TP 1 - Rétroaction – Limitations de l'ALI réel

Mesures et capacités expérimentales visées du programme de PSI

Nature et méthodes	Capacités exigibles
2. Électricité et électronique	
Filtrage analogique d'un signal périodique.	Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Identifier les limitations suivantes : saturation en tension, saturation en courant, vitesse de balayage, bande passante. Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI.

Notions et capacités abordées

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Rétroaction	
Modèle de l'ALI défini par une résistance d'entrée infinie, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie. Limites du modèle : vitesse limite de balayage, saturation de l'intensité du courant de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Détecter, dans un montage à ALI, les manifestations de la vitesse limite de balayage et de la saturation de l'intensité du courant de sortie.
ALI idéal de gain infini en régime saturé.	Associer, pour un signal d'entrée sinusoïdal, le caractère non-linéaire du système et la génération d'harmoniques en sortie.

Mise en situation : les « défauts » de ALI réel

L'ALI réel présente des différences avec le modèle de l'ALI idéal, présenté en cours. Ces « défauts », ou **limitations/imperfections**, se révèlent suivant les montages utilisés.

Citons les principaux **défauts linéaires** :

- les **courants d'entrée** sont très faibles $i_+ \approx i_-$ de l'ordre du **nA**, mais non nuls (et sensiblement constants). Ils **modifient le fonctionnement du montage intégrateur** dans sa version la plus simple.
- il existe une **tension de décalage en entrée V_d** , très faible sur les ALI actuels, de l'ordre du **mV**. Elle se manifeste par une tension de sortie saturée, alors que les entrées de l'ALI sont toutes deux reliées à la masse. On peut compenser cet offset par réglage à l'aide d'un potentiomètre entre les deux broches prévues à cet effet..., mais sur les ALI actuels cette opération de réglage n'est plus nécessaire.

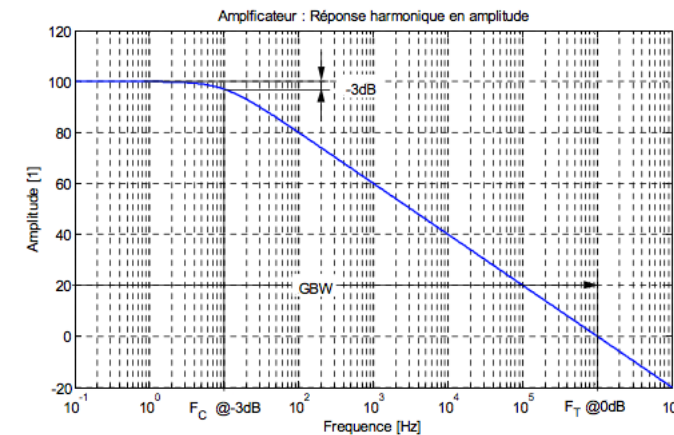
- un **montage à ALI** peut présenter une **résistance d'entrée insuffisante**, non infinie comme pour un montage suiveur, et réaliser une **opération influencée par l'étage en amont sans isolation effective**
- l'ALI présente une résistance de sortie faible $R_s \approx 50 \text{ ohm}$, bien souvent négligeable devant les résistances de charge usuelles

-- l'**amplification différentielle A_d** de l'ALI dépend de la fréquence. Elle est correctement modélisée par une **fonction de transfert du type passe-bas du premier ordre en boucle ouverte** :

$$\underline{A_d(j\omega)} = \frac{s}{\varepsilon} = \frac{A_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$$

$$= \frac{A_0}{1 + j\frac{f}{f_0}}$$

avec A_0 le **coefficient d'amplification statique de l'ordre de 10^5**
(gain statique $G_0 = 20 \log A_0 = 100$)
et f_0 la **fréquence de coupure de l'ordre de 10 Hz**



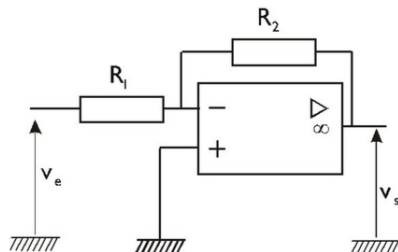
L'établissement de l'équation différentielle en boucle fermée avec rétroaction, utilisant la fonction de transfert intrinsèque de l'ALI en boucle ouverte, permet de discuter la stabilité d'un montage à ALI.

A ces imperfections linéaires, s'ajoutent certains **défauts non-linéaires** :

- **saturation de la tension de sortie** : elle est limitée entre $\pm V_{sat}$ de l'ordre de 14 V (pour une alimentation $\pm 15 \text{ V}$). **Même pour un montage stable, si la tension d'entrée dépasse $+ \text{ ou } - V_{sat}$ l'ALI basculera dans un régime de fonctionnement saturé et non-linéaire.**
- **limitation du courant de sortie** : $i_{s,max}$ de l'ordre de **50 mA**. Il faut donc que le **circuit d'utilisation (de charge)** présente une **résistance d'entrée suffisante** pour que l'ALI fonctionne correctement
- **limitation par la vitesse limite de balayage**. La pente du signal de sortie $\frac{dV_s}{dt}$, **slew rate**, est limitée : de l'ordre de **10 $\text{V} \cdot \mu\text{s}^{-1}$** .

I. Montage amplificateur inverseur : amplification, saturation en tension de sortie, influence de la résistance d'entrée

On utilisera dans cette partie un **montage amplificateur inverseur**. La tension d'entrée sinusoïdale de 200 Hz (de valeur moyenne nulle $\rightarrow$ offset = 0) sera délivrée par la carte Sysam, les résistances $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$. L'acquisition des tensions d'entrée et de sortie sera réalisée à l'aide de l'acquisition numérique Sysam, traitement des données avec Latis Pro.



Réaliser/Communiquer

1. Proposer un protocole pour visualiser la courbe de V_s en fonction de V_e , dans les deux domaines de fonctionnement de l'ALI : régimes linéaire et saturé.
2. Préciser clairement les paramètres d'acquisition choisis : nombre de points et période d'échantillonnage, ainsi que la durée totale d'acquisition.

APPEL PROF 	Appeler le professeur pour présenter votre protocole et le fonctionnement du montage amplificateur
--	---

Analyser/Valider

3. A l'aide de l'outil Analyse de Fourier de Latis Pro, analyser et commenter le spectre de la tension de sortie lors de la saturation. Superposer par exemple les spectres de V_e et V_s .
4. A l'aide de l'outil de modélisation de Latis Pro, modéliser V_s et le comportement de l'ALI en régime linéaire. Noter les valeurs de l'équation de modélisation.
5. Calculer la valeur théorique du gain du montage amplificateur inverseur. Comparer à la valeur expérimentale obtenue.
6. Déterminer l'expression de la résistance d'entrée du montage. La résistance de sortie du GBF intervient-elle dans ce montage ? Justifier.

II. Imperfection du montage intégrateur simple : influence des courants d'entrée

Acquisition numérique avec Sysam pour II.

1) Mesure de V_d la tension de décalage

On utilise ici le même montage qu'au I. **amplificateur inverseur**.

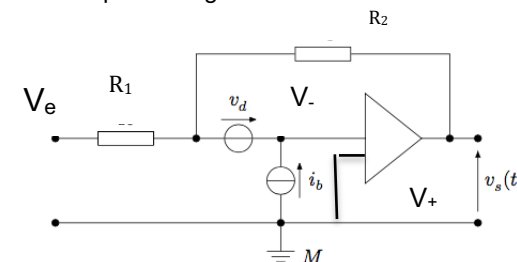
La tension d'entrée V_e est mise à la masse M, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$

Réaliser

1. Observer la tension de sortie et indiquer les caractéristiques du signal observé. Comparer ce résultat à la valeur attendue.

Analyser

On peut expliquer l'observation précédente par l'existence d'une source de tension continue V_d et d'une source de courant additionnelle i_b positionnées selon la figure ci-contre. Le constructeur donne les indications suivantes : V_d de quelques mV et i_b de quelques nA
2. Etablir la relation entre V_s et V_d (on prendra toujours $i_b = 0$). Commenter. Dédire de la mesure du 1. une valeur de la tension V_d .



2) Etude en régime continu et linéaire

Le montage utilisé maintenant est présenté ici, avec $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 5 \mu\text{F}$.

Un interrupteur est placé en parallèle du condensateur pour permettre de décharger le condensateur, lorsqu'il est en position fermé, soit en court-circuit.

Le système est initialement au repos, avec capacité déchargée, et on veut l'exciter par une tension d'entrée $V_e(t)$ en échelon telle que $V_e(t)$ est nulle pour $t \leq 0$ et continue et strictement positive de valeur inférieure à 1 V pour $t > 0$.

A cet effet :

- on applique une tension d'entrée continue à l'aide de la carte Sysam
- on maintient ensuite l'interrupteur en court-circuit aux bornes du condensateur
- puis on ouvre l'interrupteur au début de l'observation prise comme origine du temps

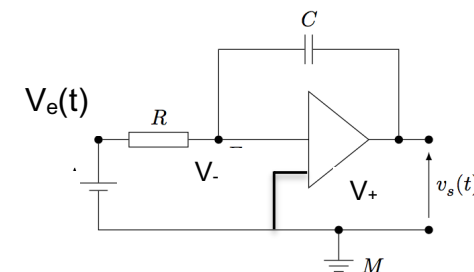
Réaliser

3. En appliquant le protocole présenté, précisez la valeur de V_e utilisée, et reportez l'allure de la courbe $V_s(t)$. Analyser les variations de $V_s(t)$ (valeurs initiales et finales, évolution).

Analyser

4. Comparer la tension de sortie mesurée avec sa valeur théorique lorsque V_d et i_b sont nuls (on prendra toujours $i_b = 0$).

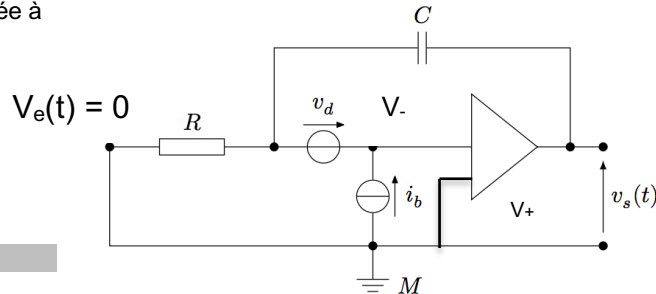
Valider



5. En Déduire une valeur expérimentale de RC, après avoir modélisé l'évolution expérimentale de $V_s(t)$.
 6. Quelle est la fonction de ce montage ?

3) Etude en entrée nulle : mesure du courant d'entrée

On relie maintenant l'entrée à la masse M, le régime est toujours linéaire.
 Le montage intégrant l'influence de V_d et i_b à prendre en compte est le suivant :



Analyser

7. Proposer un protocole permettant de mettre en évidence l'influence des sources V_d et i_b .

Réaliser

8. Quelle est l'influence de ces sources sur le montage intégrateur précédent ?
 Déduire de l'évolution de $s(t)$ une valeur de i_b (connaissant V_d).

APPEL PROF



Appeler le professeur pour présenter votre protocole et vos conclusions

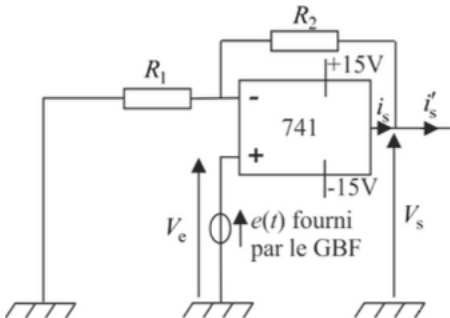
III. Comportement fréquentiel : filtre passe-bas d'ordre 1 et produit gain * bande passante

On se place toujours en régime linéaire, et on étudie le comportement d'un montage **amplificateur non-inverseur** avec $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$, ci-contre.
 On applique une tension sinusoïdale $e(t)$ à l'aide d'un GBF en entrée du montage.

Les mesures seront réalisées à l'aide d'un oscilloscope pour le III.

S'approprier

1. En exploitant la modélisation de l'ALI en tant que système d'ordre 1 en boucle ouverte, établir l'expression de la fonction de transfert du montage bouclé, avec rétroaction :



$$\underline{H} = \frac{V_s}{V_e} = \frac{H_0}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

Communiquer

2. Proposer un protocole pour établir le diagramme de Bode en gain du montage.
 Contrôler pendant les mesures que le régime saturé n'est pas atteint !
 3. Préciser comment mesurer rapidement la fréquence de coupure à l'oscilloscope.

Réaliser

4. Tracer ce diagramme de Bode à l'aide de Latis Pro et le modéliser. Relever les paramètres du modèle. Veillez à choisir des valeurs de fréquence qui permettent de correctement relever les gammes haute-fréquence et basse fréquence en échelle log-log.

APPEL PROF



Appeler le professeur pour vérifier le comportement fréquentiel du montage et présenter vos résultats

Valider

5. Vérifier que le produit gain * bande passante (GBW -> gain * band width) est constant.

Réponse indicielle

Communiquer

6. Préciser comment mesurer le temps de réponse du système à l'aide de la réponse indicielle (réponse à un échelon de tension), en justifiant le choix de la tension d'entrée utilisée (forme, fréquence, amplitude).

Réaliser

Réaliser la mesure par l'outil temps de montée T_m automatique de l'oscilloscope :
 $T_m = \ln 9 * \text{temps de réponse } \tau$ et $f_c = 1/2\pi\tau$.
 Présenter l'allure de l'évolution de $V_s(t)$ et commenter votre mesure par rapport aux résultats précédents.

APPEL PROF



Appeler le professeur pour présenter vos résultats

IV. Limitation en vitesse de balayage : slew-rate

Utiliser ici le **montage suiveur** « le plus simple » avec une tension d'entrée délivrée par un GBF, acquisition toujours à l'oscilloscope.

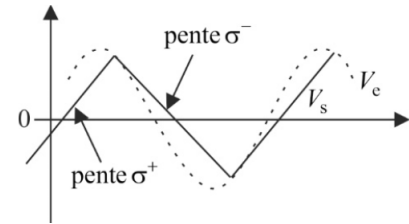
Adresser au montage un signal d'entrée sinusoïdal d'amplitude maîtrisée, et varier la fréquence pour voir apparaître une triangularisation du signal de sortie (existence de rampes), ceci sans saturation de la tension de sortie. On peut s'aider de l'analyse de Fourier pour évaluer la distorsion harmonique.

Réaliser

1. Mesurer les pentes et commenter.

Communiquer

2. Commenter les observations avec un signal d'entrée en créneaux.



V. Saturation en courant de sortie

Utiliser ici le **montage suiveur** « le plus simple » avec une **tension d'entrée constante délivrée par Sysam, acquisition à l'oscilloscope ou Sysam, selon votre choix.**

Placer entre la sortie et la masse une résistance de charge variable R_u .

Attention

- ne jamais réaliser de court-circuit en sortie du montage

- ne pas utiliser de résistance inférieure R_u à $100\ \Omega$!!!!

L'ALI chauffera considérablement lorsqu'un fort courant de sortie est demandé !!

Observer V_s en sortie.

S'approprier

1. Comment constater l'existence d'un courant de saturation ?

Réaliser/Analyser

2. Tracer la courbe de V_s la tension de sortie de l'ALI aux bornes de R_u en fonction de R_u . Dans quel domaine d'utilisation, l'ALI peut-il être considéré comme un générateur idéal de tension ? Dans quel domaine, l'influence de sa résistance de sortie est incontournable ?

3. En modélisant la sortie de l'ALI par un générateur idéal de tension $A_0 \varepsilon = V_e$ et une résistance de sortie R_s , donner la valeur de V_s pour $R_u = R_s$.

Déduire alors de vos mesures une valeur de R_s .

Valider

4. Tracer la courbe de l'intensité i_s traversant la résistance de charge R_u . Justifier que le courant i_s est ici identique au courant i_s courant de sortie direct de l'ALI.

Estimer l'ordre de grandeur de $i_s(\max)$.

Matériel par binome
1 ALI sur support + alim
2 AOIP R variable
1 AOIP C variable
1 GBF
1 Sysam
1 interrupteur
1 oscillo