Partie I : Électronique
Chapitre 1

TD – Montages à rétroaction : exemples avec l'ALI

Remarque : exercice avec $\star$: exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des “ce qu'il faut savoir faire”) | [$\bullet \circ \circ$] : difficulté des exercices

I Vrai-faux $\star$ | [$\bullet \circ \circ$]

1 - Un ALI idéal fonctionne toujours en régime linéaire.

2 - S'il y a une unique rétroaction sur la borne moins, le fonctionnement de l'ALI est linéaire.

3 - Le courant de sortie d'un ALI est quasi-nul.

4 - Pour un ALI idéal, on a toujours $V_+ = V_-$.

5 - Dans les modèles de l'ALI vus en cours les courants de polarisations i_+ et i_- sont nuls, donc la puissance en entrée est nulle. Pourtant l'ALI peut délivrer un courant en sortie et donc une puissance non nulle. C'est donc que dans ces modèles la conservation de l'énergie n'est pas respectée.

II ALI en régime linéaire : montages de base $\star$ | [$\bullet \circ \circ$]

Méthode : circuit avec un ALI en régime linéaire, avec le modèle idéal
Pour trouver V_s en fonction de V_e, on peut généralement suivre les étapes suivantes :

- On s'approprie le problème en traçant les flèches de courant et de tension.
- Étapes d'analyse :

  Écrire la condition $V_+ = V_-$.

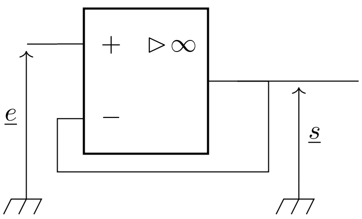
  Il faut ensuite exprimer les potentiels V_+ et V_- en fonction de V_s et de V_e. Pour cela :

  – Voir si l'on peut simplement remplacer V_+ ou V_- par V_e, par V_s ou par $0\,\mathrm{V}$.
  – OU Écrire un diviseur de tension sur la patte $+$ ou - (possible car les courants de polarisations sont nuls).
  – OU Écrire la loi des nœuds en terme de potentiels (ce qui est équivalent au théorème de Millman, voir méthode dans le poly de révision sur l'électronique). S'il y a trois branches ou plus, c'est obligatoire car le diviseur de tension n'est pas possible (voir par exemple le montage sommateur inverseur ci-dessous).
- Réaliser les calculs :

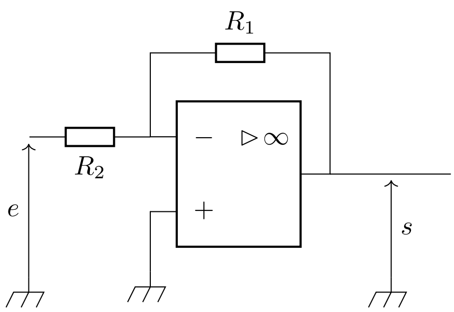
  Utiliser cette nouvelle relation dans la condition $V_+ = V_-$, manipuler le tout pour exprimer V_s/V_e, et arriver au résultat.
- Valider en vérifiant que le résultat est homogène.

Pour chacun des montages qui suivent, dire si l'ALI fonctionne en régime linéaire ou saturé. Puis, en utilisant le modèle idéal, établir l'expression du rapport s/e.

1 - Montage suiveur

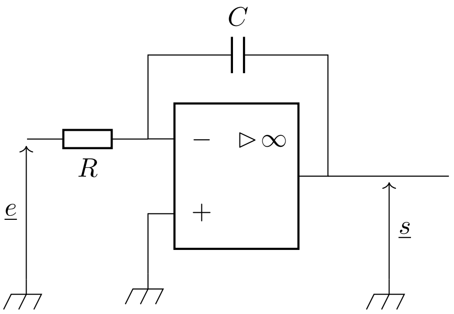


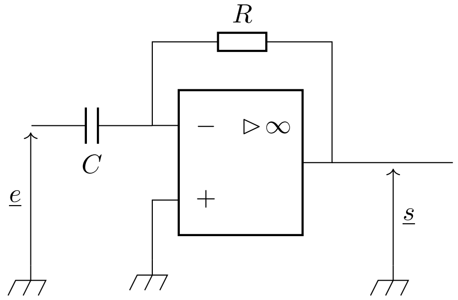
2 - Montage amplificateur inverseur



3 et 4 - Intégrateur et dérivateur

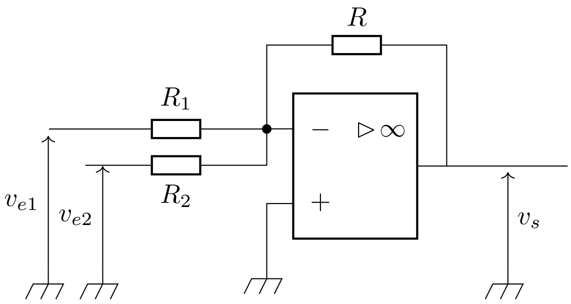
Pour ces deux montages on utilisera la notation complexe.





Une fois la fonction de transfert établie, on traduira dans le domaine réel la relation entre $s(t)$ et $e(t)$ (qui permet d'ailleurs de justifier le nom des montages).

5 - Sommateur inverseur

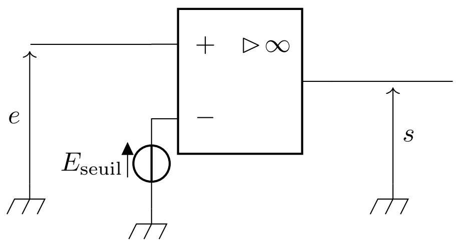


Aide : utiliser la loi des nœuds écrite en terme de potentiels à la borne - de l'ALI.

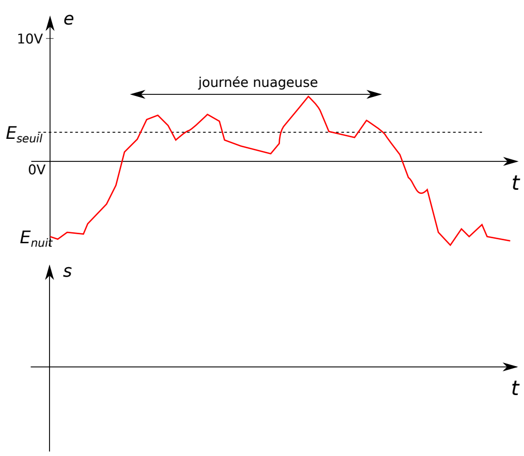
III Intérêt d'un hystérésis par rapport au comparateur simple [● ○ ○]

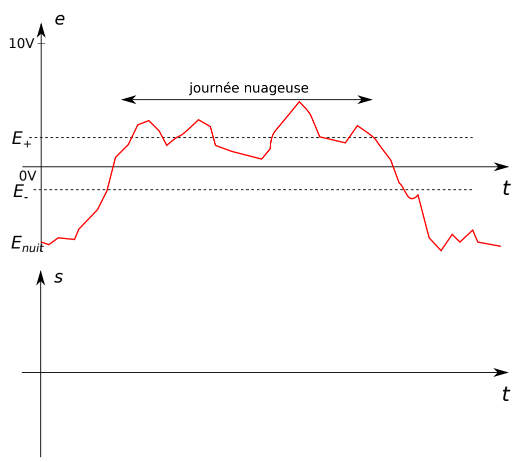
On veut concevoir un store qui se déploie lorsque la luminosité dépasse une certaine valeur.
On dispose d'un capteur qui délivre une tension e qui est une fonction affine de la luminosité : lorsqu'il fait nuit, la tension est $e \sim E_{\text{nuit}} < 0\,V$, et lorsqu'il fait plein jour e atteint $10\,\text{V}$.
D'autre part, le store est commandé par la tension s : il sort si $s = +V_{\text{sat}}$, il rentre si $s = -V_{\text{sat}}$.

On utilise d'abord un montage à comparateur simple, comme ci-contre. On choisit une tension seuil $E_{\text{seuil}} = 2.5\,\text{V}$. Manque de chance, par une journée nuageuse la luminosité est telle que e oscille autour de $2.5\,\text{V}$ (voir relevé ci-dessous à gauche).

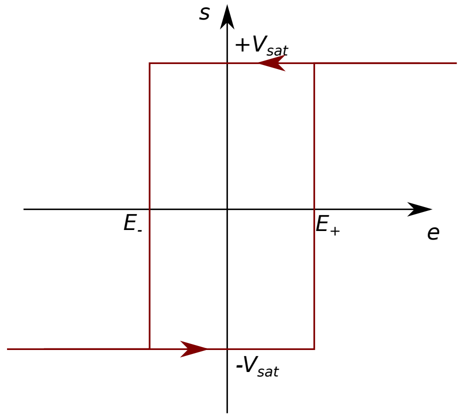


1 - Sur le relevé ci-dessous à gauche, tracer l'évolution de s. Que va faire le store ?





Pour palier à ce problème, on remplace le comparateur simple par un comparateur à hystérésis non inverseur, dont on donne la caractéristique entrée-sortie ci-contre.

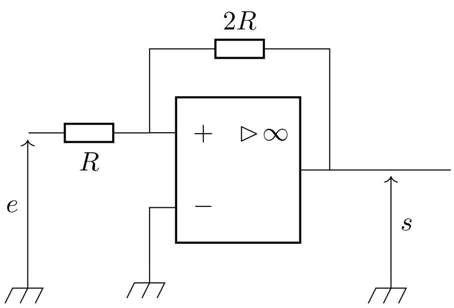


2 - Sur le relevé ci-dessus à droite, tracer l'évolution de s. Que va faire le store ? Est-ce que c'est mieux ?

IV ALI en régime saturé : comparateur à hystérésis non inverseur ★ | [● ○ ○]

Méthode : circuit avec un ALI en régime saturé
L'ALI est alors étudié avec le modèle idéal. La tension de sortie peut prendre deux valeurs : $+V_{\text{sat}}$ et $-V_{\text{sat}}$. On examine tour à tour chacun des cas :

- On s'approprie le problème en traçant les flèches de courant et de tension.
- On commence par supposer que $v_s = +V_{\text{sat}}$.
  - C'est possible tant que $v_+ > v_-$, et on regarde à quoi est équivalent cette condition : on aboutit soit à $e >$ quelque chose, soit à $e <$ quelque chose. Le quelque chose est une des deux valeurs seuils E_+ ou E_-.
  - On trace dans le diagramme s-e le segment qui correspond.
- On recommence en supposant que $v_s = -V_{\text{sat}}$.
- Enfin, on trace le sens de parcours dans le diagramme s-e.



En cours nous avons vu le comparateur à hystérésis inverseur. Cet exercice porte cette fois sur le comparateur à hystérésis non inverseur (aussi appelé trigger de Schmitt), dont on donne le schéma ci-contre. L'ALI est supposé idéal.

1 - L'ALI va-t-il fonctionner en régime linéaire ou saturé ?

2 - Établir le diagramme s-e de ce comparateur à hystérésis. Tracer le sens de parcours du cycle.

3 - Décrire ce qu'il se passe si on envoie en entrée un signal triangle qui augmente de $-2V_{\text{sat}}$ à $2V_{\text{sat}}$ puis qui redescend à $-2V_{\text{sat}}$.

V Comparaison entre modèle idéal et non-idéal à $\omega \neq 0$ [• • ○]

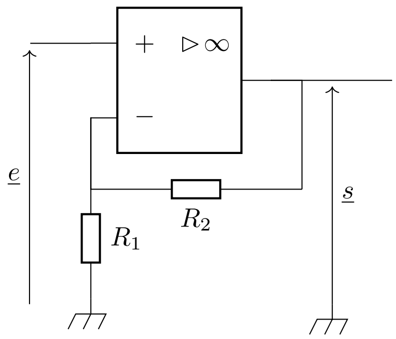
On considère le montage non-inverseur ci-contre.

1 - Rappeler, dans le cadre du modèle idéal, l'expression de la fonction de transfert $\underline{H}_{\text{idéal}} = \underline{s}/\underline{e}$ du montage.

On quitte maintenant le modèle idéal, et on utilise le modèle linéaire du premier ordre. On suppose donc que la fonction de transfert de l'ALI est

$$\underline{H}_{\text{ALI}}(\mathrm{j}\omega) = \frac{\underline{s}}{\underline{\epsilon}} = \frac{\mu_0}{1 + \mathrm{j}\omega/\omega_0}$$

avec le gain statique $\mu_0 = 1.0 \times 10^5$ et la fréquence de coupure $\omega_0 = 1.0 \times 10^2$ Hz.
On effectue la même modélisation qu'en cours, sous forme de schéma bloc.



On prend $R_1 = 1.0\,\mathrm{k\Omega}$ et $R_2 = 9.0\,\mathrm{k\Omega}$.

2 - Refaire ce schéma bloc ici. On notera encore $B = R_1/(R_1 + R_2)$.

3 - Exprimer la fonction de transfert $\underline{H}_{\text{non idéal}}$ du montage en fonction de B et de $\underline{H}_{\text{ALI}}$.

4 - Écrire maintenant cette même fonction de transfert sous la forme canonique pour une fonction de transfert du premier ordre : $\underline{H}_{\text{non idéal}} = \dfrac{\mu_0'}{1 + \mathrm{j}\omega/\omega_0'}$. On donnera les expressions du gain μ_0' du montage et de la pulsation de coupure ω_0' du montage.

5 - Faire l'application numérique pour la pulsation de coupure. Que dire de son ordre de grandeur ? Est-ce un avantage ?

6 - Vérifier que le produit gain×bande passante entre l'ALI seul et le montage se conserve : donc que $\mu_0\,\omega_0 = \mu_0'\,\omega_0'$. C'est là une propriété caractéristique pour les systèmes du premier ordre mis en rétroaction.