

## Travaux Dirigés

[olivier.gallot-lavallee@grenoble.cnrs.fr](mailto:olivier.gallot-lavallee@grenoble.cnrs.fr)

<http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/MPH/EP-gallotLava/index.asp>

# Electronique d'Instrumentation I

+Electronique d'Instrumentation II (Module Complémentaire)

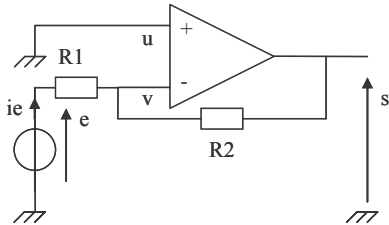
(SP3 2011)

## Sommaire

Sommaire .....	2
TD 1. : Amplificateurs Opérationnels et montages usuels (5h45) .....	3
Exercice 1.1. : Impédance d'entrée d'un montage à base d'ampli-op réel (0h45).....	3
Exercice 1.2. : Impédance d'entrée d'un montage à base d'ampli-op réel (0h45).....	3
Exercice 1.3. : Conditionnement d'un capteur à l'aide d'ampli-op idéaux (0h45).....	3
Exercice 1.4. : Effet de la tension de décalage sur un amplificateur non inverseur (0h45)...	5
Exercice 1.5. : Effet des courants de polarisation sur un amplificateur non inverseur (0h45)	5
Exercice 1.6. : Gain du montage non inverseur et bande passante petits signaux (1h30).....	6
Exercice 1.7. : Effet du Slew rate (bande passante grands signaux) (1h15) .....	7
TD 2. : Amplificateur différentiel (3h15).....	9
Exercice 2.1. : Tension en mode commun et erreur de mesure d'un ampli-diff. (0h45) .....	9
Exercice 2.2. : Gain diff. et taux de rejection d'un amplificateur différentiel (2h30).....	9
TD 3. : Filtrage actif (3h) .....	11
Exercice 3.1. : Association sonde et oscilloscope (1h) .....	11
Exercice 3.2. : Filtrage actif du 2 <sup>ème</sup> ordre (1h).....	12
TD 4. : Traitement, génération et conversion de signaux EII <sub>MC</sub> (10h).....	14
Exercice 4.1. : Trigger de Schmitt non inverseur (1h).....	14
Exercice 4.2. : Oscillateur à relaxation (2h).....	14
Exercice 4.3. : Générateur de signaux rectangulaires et triangulaires (1h).....	15
Exercice 4.4. : Redresseur à ampli-op (0h30).....	15
Exercice 4.5. : Limiteur de tension actif (0h30).....	16
Exercice 4.6. : Comparateur à fenêtre (1h30) .....	16
Exercice 4.7. : Oscillateur commandé en tension: OCT (2h).....	17
Exercice 4.8. : Modulation en largeur d'impulsions: MLI (0h30).....	18
Exercice 4.9. : Comparateur à fenêtre inverse (1h30).....	19

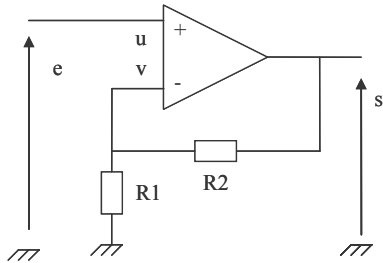
### TD 1 : Amplificateurs Opérationnels et montages usuels (5h45)

#### Exercice 1.1. : Impédance d'entrée d'un montage à base d'ampli-op réel (0h45)



1. Exprimer l'impédance d'entrée du montage  $Z_e' = f(G, R1, \underline{A})$ . On note  $\underline{G}$ : le gain de l'ampli-op et  $\underline{A}$ : le gain du montage.
2. Si  $e(t)$  se situe dans la bande passante on peut considérer que  $|\underline{G}| \gg |\underline{A}|$ , exprimer alors  $Z_e'$ .

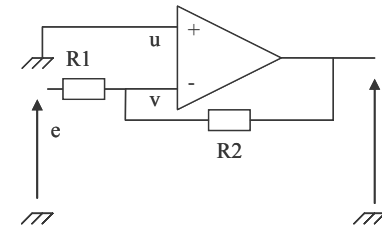
#### Exercice 1.2. : Impédance d'entrée d'un montage à base d'ampli-op réel (0h45)



1. Exprimer l'impédance d'entrée du montage  $Z_e' = f(\underline{G}, Z_e, \underline{A})$ . On note  $\underline{G}$ : le gain de l'ampli-op  $Z_e$ : l'impédance d'entrée de l'ampli-op et  $\underline{A}$ : le gain du montage.
2. Si  $e(t)$  se situe dans la bande passante on peut considérer que  $|\underline{G}| \gg |\underline{A}|$ , exprimer alors  $Z_e'$ .

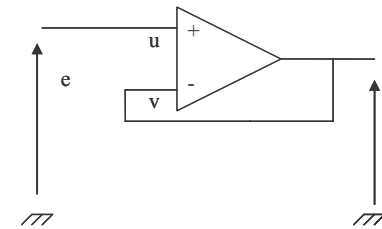
#### Exercice 1.3. : Conditionnement d'un capteur à l'aide d'ampli-op idéaux (0h45)

On dispose d'un capteur dont le schéma électrique équivalent de Thévenin est une tension  $m$  variant de  $0[V]$  à  $10[mV]$  et une résistance interne  $r = 5[\Omega]$ . On souhaite obtenir une tension de sortie  $s$  variant de  $0[V]$  à  $-10[V]$ . Pour cela, on choisit tout d'abord d'utiliser le montage amplificateur suivant.



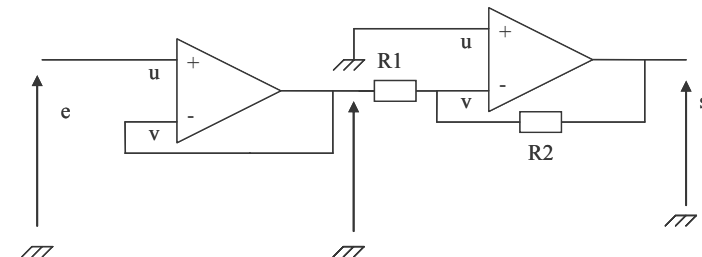
1. Justifier un tel choix.
2. Déterminer  $R1$  sachant que  $R2 = 10[k\Omega]$ .
3. Déterminer l'impédance d'entrée du montage  $Z_e'$  et la comparer à  $r$ .
4. Dessiner le schéma équivalent du montage amplificateur associé au capteur.
5. La mesure sera-t-elle correcte ?

On choisit à présent d'utiliser le montage amplificateur suivant.



6. Déterminer le gain en tension du montage.
7. Déterminer l'impédance d'entrée du montage  $Z_e'$  et comparer la à  $r$ .
8. Dessiner le schéma équivalent du montage amplificateur associé au capteur.
9. La mesure sera elle correcte ?

On choisit à présent d'associer les deux montages précédent de la manière suivante.

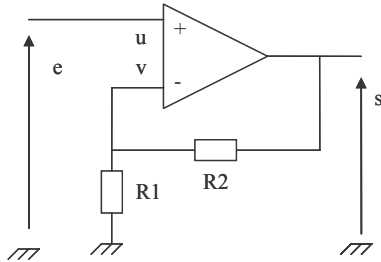


10. Déterminer le gain en tension du montage.

11. Déterminer l'impédance d'entrée du montage  $Z_e$  et comparer la à  $r$ .

12. La mesure sera-t-elle correcte ?

#### Exercice 1.4. : Effet de la tension de décalage sur un amplificateur non inverseur (0h45)



1. Rappeler l'expression du gain en tension  $A_0$  du montage lorsque l'ampli-op est idéal.

2. Calculer dans ces conditions la sortie  $s$  qu'on notera  $S_1$ . On donne  $e=E=1[mV]$  DC,  $R_2=100 [k\Omega]$  et  $R_1 = 1[k\Omega]$ .

On souhaite à présent étudier l'influence de la tension de décalage d'entrée  $V_{OS}$  sur la tension de sortie du montage en supposant les autres paramètres de l'ampli-op idéaux. Cette tension est modélisée par une source de tension continue en série avec l'entrée inverseuse de l'ampli-op.

3. Déterminer l'expression  $S_{offset}=f(V_{OS}, R_1, R_2)$ . Pour ce faire, il suffit de mettre à la masse la tension d'entrée du montage.

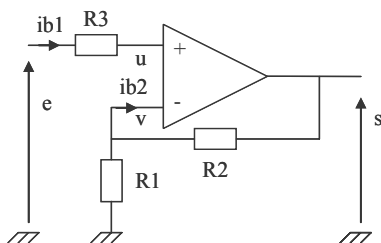
4. Justifier le fait qu'on obtiendrait ce même résultat dans le cas d'un montage inverseur.

5. Calculer le  $S_{offset}$  du LM741 monté en amplificateur non-inverseur. On donne  $R_2=100[k\Omega]$ ,  $R_1=1[k\Omega]$  et on dispose de la Data Sheet du LM741.

6. On utilise à présent ce montage pour amplifier une tension  $e=E=1[mV]$ . Calculer la tension  $S$  réellement mesurée en sortie.

7. Calculer l'erreur de mesure commise avec cet ampli-op LM741 (bas de gamme).

#### Exercice 1.5. : Effet des courants de polarisation sur un amplificateur non inverseur (0h45)



On souhaite étudier l'influence des courants  $ib_1$  et  $ib_2$  sur la tension de sortie du montage en supposant les autres paramètres de l'ampli-op idéaux. Ces courants sont fléchés vers les deux entrées de l'ampli-op. Pour étudier l'influence des courants de polarisation, l'entrée du montage est mise à la masse.

1. Exprimer la sortie  $s$  notée  $s_1=f(R_2, ib_2)$  en supposant  $ib_1=0$ .

2. Exprimer la sortie  $s$  noté  $s_2=f(R_1, R_2, R_3, ib_1)$  en supposant  $ib_2=0$ .

3. Dédurre par superposition l'expression générale de  $s=s_1+s_2$  (avec  $ib_1 \neq 0$  et  $ib_2 \neq 0$ ).

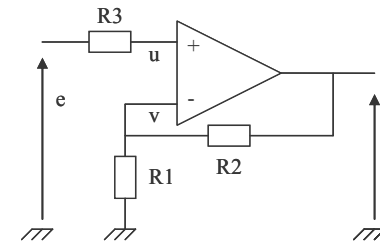
4. Exprimer  $s=f(I_{n os}, I_{n bias})$ .

5. A quelle condition sur  $R_3$ , la composante  $\alpha \cdot I_{n bias}$  s'annule ?

6. Pour un montage inverseur, la résistance  $R_3$  en placée entre la masse et l'entrée non inverseuse. Les mêmes résultats obtenus dans la question 1 restent valables ici. Justifier.

#### Exercice 1.6. : Gain du montage non inverseur et bande passante petits signaux (1h30)

On considère le montage non inverseur utilisant l'ampli-op. On souhaite déterminer le gain complexe (fonction de transfert) du montage. La tension d'entrée  $e(t)$  est considérée sinusoïdale. Le gain en boucle ouverte de l'ampli-op sera noté  $\underline{G}$ . On suppose les autres paramètres de l'ampli-op idéaux.



1. Exprimer le gain complexe du montage  $\underline{A} = \frac{S}{E} = \frac{A_0}{1 + \frac{A_0}{\underline{G}}}$  avec  $A_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

On donne à présent l'expression de  $\underline{G}$ :

$$\underline{G} = \frac{G_0}{1 + j\omega\theta} = \frac{G_0}{1 + j\frac{f}{f_0}} = \frac{G_0}{1 + j\frac{f}{F_1} G_0} \text{ avec } \theta = \frac{1}{2\pi f_0} = \frac{G_0}{2\pi F_1}$$

Avec:  $F_1$  le facteur de mérite de l'ampli-op,  $f_0$ ,  $G_0$ : la fréquence de coupure et le gain statique, respectivement, de l'ampli-op en boucle ouverte.

2. Montrer que l'expression de  $\underline{A}$  peut se mettre sous la forme:

$$\underline{A}(j\omega) = \frac{A'}{1 + j\omega\theta'}$$

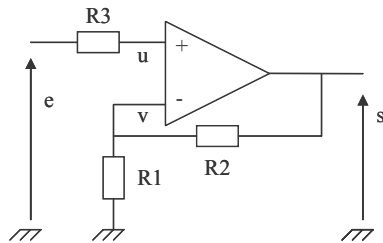
et déterminer A' le gain statique et  $\theta'$  la constante de temps.

- Exprimer la fréquence de coupure  $f_c = f(\underline{A}', F_1)$  et  $f(\underline{A}', G_0, f_0)$ .
- Exprimer A' et  $f_c$  sachant que  $G_0 \gg A_0$ .
- Comparer le produit Gain bande  $f_c \cdot A_0$  à celui de l'ampli-op en boucle ouverte  $f_0 \cdot G_0$ .
- Tracer sur un même graphe les diagramme de Bode (des modules) de  $\underline{G}$  et de  $\underline{A}$  pour  $G_0 = 2 \cdot 10^5$ ,  $F_1 = 1$  [MHz] et  $A_0 = 10$  et  $A_0 = 20$ .

### Exercice 1.7. : Effet du Slew rate (bande passante grands signaux) (1h15)

La bande passante définie dans l'exercice précédent concerne seulement les petits signaux (amplitude inférieure à 1 V) en sortie. Dans le cas de grands signaux en sortie, cette bande passante est réduite par l'effet du slew rate (SR). Nous proposons dans cet exercice de déterminer la bande passante grands signaux. On considère le montage ci-dessous en supposant les autres paramètres de l'ampli-op idéaux.

$$\frac{s}{e} = \underline{A}(j\omega) = \frac{A'}{1 + j\omega\theta'}$$



- Déterminer l'expression de la sortie  $s(t)$  lorsque l'on applique en entrée un échelon de tension E.
- Représenter  $s(t)$ .
- Exprimer la pente à l'origine.
- La data sheet de l'ampli-op donne une vitesse maximum de montée  $SR = 0,5$  [V/ $\mu$ s]. Calculer la valeur maximale  $E_{max}$  de E à ne pas dépasser pour que la tension de sortie ne subisse pas l'effet du slew rate. On donne  $A' = A_0 = 10$  et  $F_1 = 1$  [MHz].

Le montage est à présent alimenté par une tension alternative  $e(t) = E_0 \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ , f appartenant à la bande passante petits signaux.

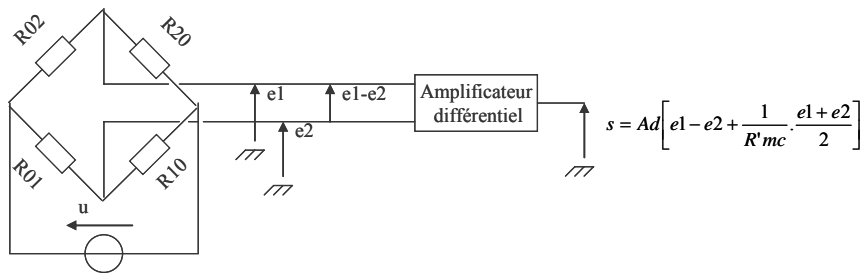
- Déterminer l'expression de la dérivée et de la pente à l'origine de la tension  $s(t)$ .
- En déduire l'expression de la fréquence maximale  $f_{max}$  pouvant être amplifiée sans l'apparition de la distorsion de slew rate.

- Représenter sur un même graphe l'allure de  $e(t)$  et de  $s(t)$  si la fréquence  $f$  dépasse  $f_{max}$ .
- Calculer la valeur numérique de  $f_{max}$ . On donne  $A_0 = 10$ ,  $E_0 = 0,1$  [V],  $E_0 = 1$  [V],  $SR = 0,5$  [V/ $\mu$ s] et  $SR = 5$  [V/ $\mu$ s].
- Comparer les valeurs de  $f_{max}$  avec celles de la bande passante petits signaux et conclure.

## TD 2. : Amplificateur différentiel (3h15)

### Exercice 2.1. : Tension en mode commun et erreur de mesure d'un ampli-diff. (0h45)

On souhaite amplifier une tension différentielle continue ( $e_1 - e_2$ ) fournie par un pont de Wheatstone. Dans ce but, on propose d'utiliser un amplificateur différentiel ayant un gain différentiel  $Ad=10$  et un taux de réjection en mode commun  $20\log(R'_{mc})=80[\text{dB}]$ .



Dans l'hypothèse où les tensions  $e_1$  et  $e_2$  valent respectivement  $1,0005[\text{mV}]$  et  $0,9995[\text{mV}]$ ...

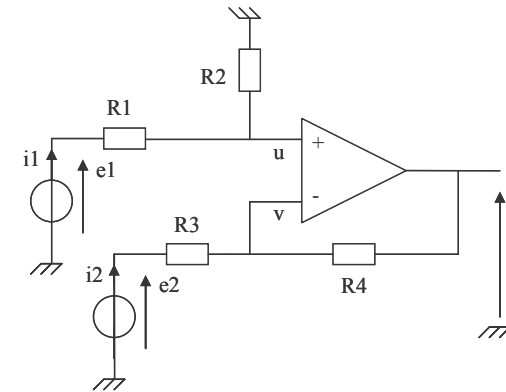
1. Calculer la valeur de la tension différentielle
2. Calculer la valeur de la tension en mode commun.
3. Calculer la valeur de la tension de sortie.
4. Calculer l'erreur de mesure commise.

Dans l'hypothèse où la tension différentielle est de  $1[\mu\text{V}]$  et la tension en mode commun de  $10[\text{mV}]$ ...

5. Calculer la valeur de la tension de sortie.
6. Calculer l'erreur de mesure commise et conclure.

### Exercice 2.2. : Gain diff. et taux de rejection d'un amplificateur différentiel (2h30)

On souhaite établir les expressions du gain différentiel  $Ad$  et du taux de réjection en mode commun  $R'_{mc}$  du montage ci-dessous. On considère dans un premier temps que l'ampli-op est idéal.



1. Retrouver l'expression:  $s = e_1.a - e_2.b$  avec  $a = \left(\frac{R_4 + R_3}{R_2 + R_1}\right) \frac{R_2}{R_3}$  et  $b = \left(\frac{R_4}{R_3}\right)$
2. Exprimer  $e_1$  et  $e_2$  en fonction de  $U_d = (e_1 - e_2)$  et  $U_{mc} = \frac{(e_1 + e_2)}{2}$
3. Exprimer  $s$  sous la forme  $s = Ad.(e_1 - e_2) + A'_{mc}.\left(\frac{e_1 + e_2}{2}\right)$  en identifiant  $Ad=f(a,b)$  et  $A'_{mc}=f(a,b)$ .
4. Exprimer  $s$  sous la forme  $s = Ad \left[ e_1 - e_2 + \frac{1}{R'_{mc}} \cdot \frac{e_1 + e_2}{2} \right]$  en identifiant  $R'_{mc}=f(a,b)$ .
5. Quelles conditions les résistances doivent elles remplir pour que le taux de réjection en mode commun soit maximal ?
6. Exprimer dans ces conditions le gain différentiel  $Ad$ .

On considère à présent que le gain  $G$  de l'ampli-op n'est plus infini et on conditionne les résistances de telle sorte que  $R_3=R_1$  et  $R_4=R_2$ .

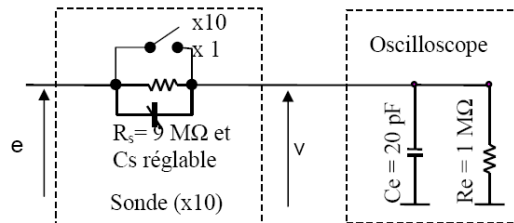
7. Exprimer  $s$  sous la forme  $s = \underline{Ad}'.(e_1 - e_2)$  en identifiant  $\underline{Ad}'=f(Ad,G)$ .

On considère à présent que  $\underline{G} = \frac{G_0}{1 + j\omega\theta}$  avec  $G_0 \gg 1 + Ad$ .

8. Exprimer  $\underline{Ad}'$  sous la forme:  $\underline{Ad}' = \frac{Ad'_0}{1 + j\omega\theta'}$  en identifiant  $Ad'_0=f(Ad)$  et  $\theta'=f(Ad,G_0,\theta)$ .
9. En déduire la pulsation de coupure  $\omega_c$ .
10. Calculer la bande passante du montage sachant que le facteur de mérite de l'ampli-op est  $F_1=1[\text{MHz}]$  et  $Ad=9$ .

### TD 3. : Filtrage actif (3h)

#### Exercice 3.1. : Association sonde et oscilloscope (1h)



$$\underline{T} = \frac{V}{E} = \frac{R_e}{R_e + R_s} \cdot \frac{1 + j\omega R_s C_s}{1 + j\omega \frac{R_e R_s}{R_e + R_s} (C_e + C_s)}$$

Soit une sonde d'atténuation (x10) reliée à l'entrée d'un oscilloscope. On donne le schéma équivalent de l'association ( $C_s$  est une capacité réglable de 0,1 pF à 20 pF) et on admettra la fonction de transfert  $\underline{T}$

- Comment se comporte la sonde d'atténuation x10 lorsque l'interrupteur est fermé ?
- Dans quelle(s) condition(s), son module est-il réel ? Exprimer alors  $C_s$  en fonction de  $R_e$ ,  $C_e$ , et  $R_s$  puis la calculer. Dans ce cas, la sonde x10 est compensée (réglage vu en TP).
- Calculer les fréquences  $F_1$  et  $F_2$  puis tracer les modules (courbes réduites aux asymptotes) en fonction de la fréquence  $f$  (on prendra  $C_s = 2,2 \text{ pF}$ ), pour :

$$\begin{aligned} \bullet \quad |T_1| &= 1 + j\omega R_s C_s = 1 + j \frac{f}{F_1} \\ \bullet \quad |T_2| &= \frac{1}{1 + j\omega \frac{R_e R_s}{R_e + R_s} (C_e + C_s)} = \frac{1}{1 + j \frac{f}{F_2}} \end{aligned}$$

- Déduire le graphe de  $\underline{T} = A \cdot \underline{T}_1 \cdot \underline{T}_2$

On doit ainsi vérifier que le module de  $\underline{T}$  est constant lorsque la sonde est compensée.

On règle la sonde  $C_s = 20 \text{ pF}$ , qui est alors surcompensée. On a vu en TP qu'une sonde x10 surcompensée peut engendrer des mesures surévaluées en sinusoïdal. Nous allons le justifier...

- Calculer les nouvelles valeurs de  $F_1$  et  $F_2$ , puis tracer les modules de  $\underline{T}_1$  et  $\underline{T}_2$  (courbes réduites aux asymptotes) en fonction de la fréquence  $f$ .
- Déduire le graphe de  $\underline{T} = A \cdot \underline{T}_1 \cdot \underline{T}_2$ .
- Calculer l'atténuation à haute fréquence

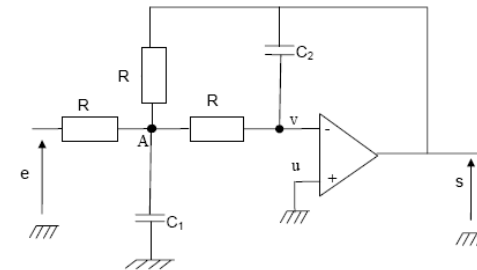
- Reprendre les 3 dernières questions avec  $C_s = 0,1 \text{ pF}$ .

Dans ce cas la sonde est sous compensée et la mesure est sous estimée en sinusoïdal.

#### Exercice 3.2. : Filtrage actif du 2<sup>ème</sup> ordre (1h)

On considère tout au long de ce TD que les ampli-op utilisés ont des gains en boucle ouverte, des taux de réjection mode commun et des impédances d'entrée infinis.

Soit le montage :



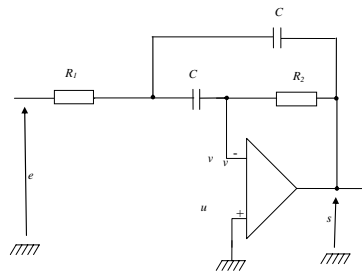
- Ecrire les équations qui vont permettre de déterminer l'expression de la fonction de transfert  $\underline{H}(j\omega) = \frac{S}{E}$  du montage.

- Déduire l'expression de  $\underline{H}(j\omega)$  et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{S}{E} = \frac{H_0}{1 + (2z)\theta \cdot j\omega + \theta^2 \cdot (j\omega)^2} \quad \text{où l'on identifiera } H_0, \theta \text{ et } z$$

- On donne  $C_1 = 100 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 1 \text{ nF}$  et  $R = 15 \text{ k}\Omega$ . Calculer les valeurs de  $z$  et de la fréquence caractéristique du filtre.
- Tracer dans le plan de Bode la courbe réduite aux asymptotes de  $|\underline{H}|_{dB}$  en fonction de la fréquence  $f$ . Quel est le type de ce filtre ?
- Calculer les valeurs de  $|\underline{H}|$  et de  $|\underline{H}|_{dB}$  à la fréquence caractéristique.
- Tracer l'allure de la courbe réelle sur le même graphe que la question 4.
- Pour  $C_1 = 4,7 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 1 \text{ nF}$  et  $R = 70 \text{ k}\Omega$ . Calculer les nouvelles valeurs de  $z$  et de la fréquence caractéristique du filtre? La courbe réduite aux asymptotes est-elle modifiée ?
- Calculer les valeurs de  $|\underline{H}|$  et de  $|\underline{H}|_{dB}$  à la fréquence caractéristique et tracer l'allure de la courbe réelle (sur le même graphe que les questions 6 et 4)

Soit le montage :



9. Ecrire les équations qui vont permettre de déterminer l'expression de la fonction de transfert  $\underline{H}(j\omega) = \frac{S}{E}$  du montage.

10. En déduire l'expression de  $\underline{H}(j\omega)$  en fonction des résistances, de C et de  $j\omega$ .

11. L'expression de  $\underline{H}(j\omega)$  peut se mettre sous la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{S}{E} = H_0 \frac{\theta \cdot j\omega}{1 + (2z)\theta \cdot j\omega + \theta^2 \cdot (j\omega)^2} \text{ où l'on identifiera } H_0, \theta \text{ et } z$$

12. Pour  $R_2 = 5 R_1$ , tracer dans le plan de Bode la courbe réduite aux asymptotes de  $|\underline{H}|_{dB}$ . Quel est le type de ce filtre ?

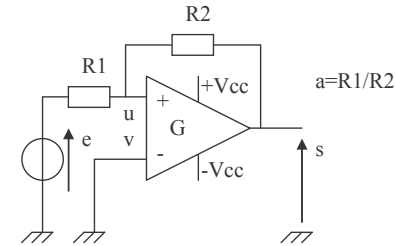
13. Quelle est la valeur de l'amortissement  $z$  ? Calculer les valeurs de  $|\underline{H}|$  et  $|\underline{H}|_{dB}$  à la pulsation centrale  $\omega_0 = \frac{1}{\theta}$  et en déduire l'allure de la courbe réelle.

14. On donne  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$  ( $R_2 = 5 R_1$ ), et  $C = 100 \text{ nF}$ . Calculer la valeur de la fréquence centrale du filtre.

15. Quelle est la valeur du facteur de qualité Q de ce filtre ? En déduire la largeur de la bande passante du filtre?

#### TD 4. : Traitement, génération et conversion de signaux EI II MC (10h)

##### Exercice 4.1. : Trigger de Schmitt non inverseur (1h)

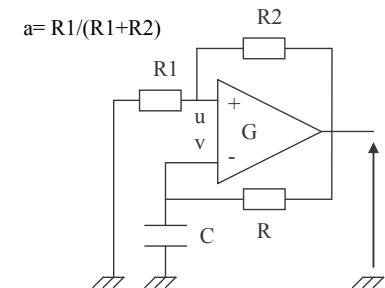


L'entrée de l'amp-op est soumise à un signal  $u = E \cdot \sin(\omega t)$  avec  $E > a \cdot V_{sat}$ .

1. Déterminer le régime de fonctionnement de ce montage.
2. Déterminer les valeurs de basculement quand la tension  $e(t)$  croît puis décroît.
3. Tracer sur le même graphe la variation de  $e(t)$  et  $s(t)$ .
4. Tracer la caractéristique  $s=f(e)$ .

##### Exercice 4.2. : Oscillateur à relaxation (2h)

On dispose d'un condensateur dont la capacité est proportionnelle au mesurande (eg. la pression). Nous allons voir comment l'on peut mesurer la capacité (et donc la pression) à l'aide de l'oscillateur à relaxation suivant:



Si l'on observe bien ce montage, on s'aperçoit qu'il est assimilable à un trigger de Schmitt avec pour entrée la ddp aux bornes de la capacité. Ce montage fonctionne donc en commutation entre  $V_{sat}$  et  $-V_{sat}$ .

1. Déterminer les valeurs de basculement quand la tension  $v(t)$  croît puis décroît.
2. Exprimer  $v=f(s)$  sous la forme d'une équation différentielle.

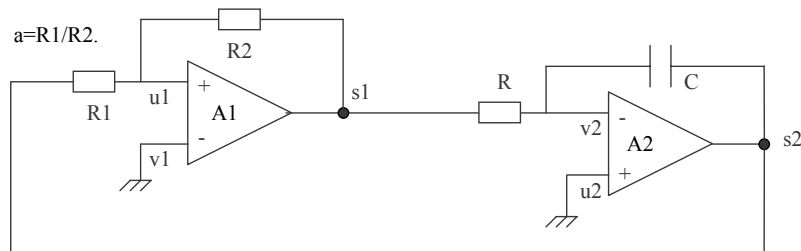
3. A l'instant initial, la charge du condensateur est nulle et on suppose que la sortie s bascule en saturation positive. Déterminer l'expression de  $v(t)$  par résolution d'équa. diff.

4. Déterminer l'instant  $t_1$  de la première commutation.

5. Déterminer l'instant  $t_2$  de la deuxième commutation en prenant en compte la condition initiale  $v(t_1)$ .

6. Représenter les tensions  $v(t)$  et  $s(t)$  et en déduire la période du signal obtenu. On vérifiera que celle-ci est proportionnelle à  $C$ .

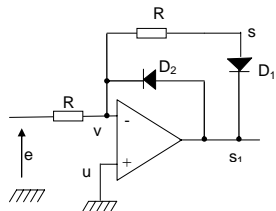
#### Exercice 4.3. : Générateur de signaux rectangulaires et triangulaires (1h)



1. Identifier l'association des deux montages élémentaires ci-dessus.
2. Déterminer les valeurs de basculement de  $s_1(t)$  quand la tension  $s_2(t)$  croît puis décroît.
3. Exprimer  $s_2=f(s_1)$  sous la forme d'une équation différentielle.
4. On considère qu'à l'instant initial  $t_0=0$  le condensateur est déchargé et que  $s_1$  bascule en saturation positive. Déterminer l'instant  $t_1$  du premier basculement.
5. Déterminer l'instant  $t_2$  du deuxième basculement.
6. Représenter  $s_1(t)$  et  $s_2(t)$  et donner la période des signaux.

#### Exercice 4.4. : Redresseur à ampli-op (0h30)

On considère le montage suivant où le gain en boucle ouverte de l'ampli-op est  $|G|=2 \times 10^5$ . On utilise le modèle simplifié pour les diodes (avec une tension de seuil  $V_d = 0.6 \text{ V}$ ). L'entrée  $e(t)$  est sinusoïdale d'amplitude  $1 \text{ V}$ .



1. On émet l'hypothèse : D1 est passante, D2 est bloquée (à vérifier a posteriori) ; Exprimer les tensions  $s$  et  $s_1$  en fonction de  $e$  et  $V_d$ . Quelle est la condition sur  $e$  ? Vérifier l'hypothèse.

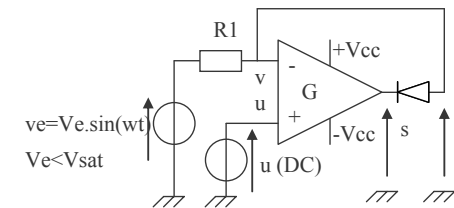
2. Même chose en supposant D1 bloquée et D2 passante.

3. Les deux diodes sont bloquées : quel est le régime de fonctionnement de l'ampli-op ? Exprimer  $s_1$  ; Dans quelles limites sur la tension  $v$ , y a-t-il blocage ? Sur la tension  $e$  ?

4. Représenter les oscillogrammes de  $e$  (amplitude  $1 \text{ V}$ ),  $s$  et de  $s_1$ .

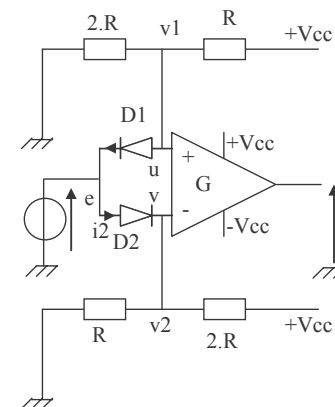
5. Quelle est l'amélioration par rapport à un montage redresseur avec une diode seule (sans ampli-op) ?

#### Exercice 4.5. : Limiteur de tension actif (0h30)



1. Exprimer  $s(t)$ . On considère la tension seuil de la diode  $V_s=0 \text{ [V]}$ .
2. Tracer  $s(t)$   $v_e(t)$  et  $v(t)$ .

#### Exercice 4.6. : Comparateur à fenêtre (1h30)



1. Déterminer le générateur équivalent de Thévenin du circuit vu depuis la borne  $u$  en direction de  $v_1$  et du circuit vu depuis la borne  $v$  en direction de  $v_2$ .
2. Dessiner le montage avec les générateurs équivalents de Thévenin



3. Exprimer à l'aide du tableau ci-dessous l'état du montage suivant les valeurs croissantes de  $e(t)$ . On notera  $v_{d1}$  et  $v_{d2}$  les tensions seuils des diodes  $d1$  et  $d2$ .

Hypothèse sur les diodes:

D1 passante si...	D2 passante si ....
$\Rightarrow e < \dots$	$\Rightarrow e > \dots$

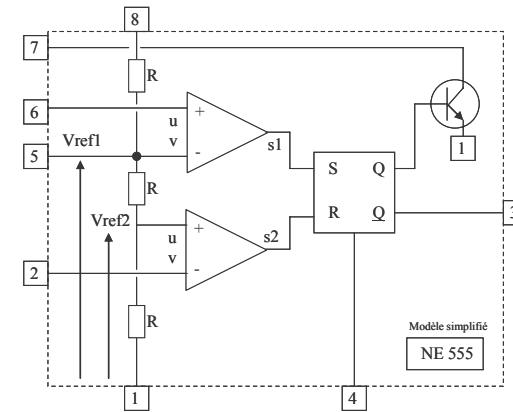
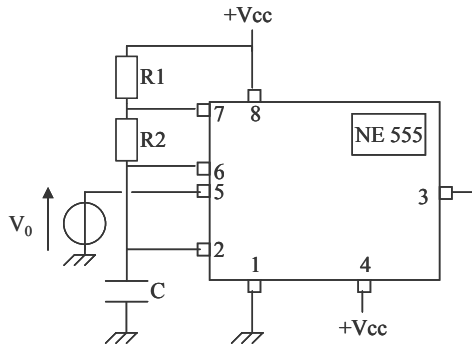
Etat du montage vs  $e$  et l'état des diodes:

$e < \dots$		$\dots < e < \dots$	$e > \dots$	
Etat de D1 Etat de D2		Etat de D1 Etat de D2	Etat de D1 Etat de D2	
$u-v=f(e, v_{d1}, V_{cc})$		$u-v=f(v_{d1}, v_{d1})$	$u-v=f(e, v_{d2}, V_{cc})$	
Hypothèse 1 $u-v < \dots$ et $s = \dots$ $\Rightarrow e < \dots$	Hypothèse 2 $u-v > \dots$ et $s = \dots$ $\Rightarrow e > \dots$	$\Rightarrow u-v > \dots$ et $s = \dots$	Hypothèse 2 $u-v > \dots$ et $s = \dots$ $\Rightarrow e < \dots$	Hypothèse 1 $u-v < \dots$ et $s = \dots$ $\Rightarrow e > \dots$

4. Tracer l'évolution de  $s=f(e)$ .

**Exercice 4.7. : Oscillateur commandé en tension: OCT (2h)**

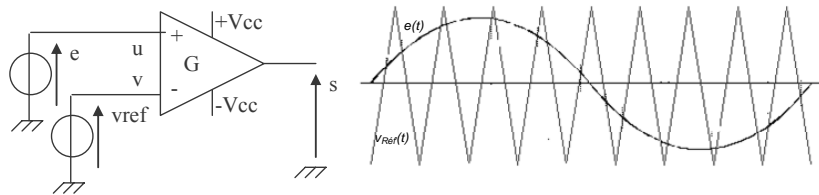
On considère le circuit 555 configuré comme illustré sur la figure ci-dessous où  $V_0$  est une tension continue (avec  $0 < V_0 < V_{cc}$ ):



S	R	Q	<u>Q</u>
Haut	Bas	Haut	Bas
Bas	Haut	Bas	Haut
Bas	Bas	Q0	<u>Q0</u>

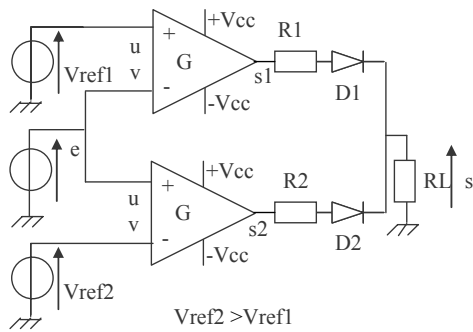
- Déterminer les tensions de références  $V_{ref1}$  et  $V_{ref2}$  des deux comparateurs  $A_1$  et  $A_2$ .
- Déterminer le régime de fonctionnement du transistor.  
  
On suppose qu'à l'instant  $t=0$ , le condensateur est déchargé.
- Déterminer les états de S, R, Q et du transistor T.
- Pour  $t > 0$ , établir l'équation différentielle régissant l'évolution de  $v_2(t)$  et en déduire l'expression de  $v_2(t)$ .
- Déterminer l'instant  $t_1$  du premier basculement de S (sortie du comparateur  $A_1$ ).
- Pour  $t > t_1$ , établir l'équation différentielle régissant l'évolution de  $v_2(t)$  et en déduire l'expression de  $v_2(t)$ .
- Déterminer l'instant  $t_2$  du deuxième basculement de R (sortie du comparateur  $A_2$ ).
- Pour  $t > t_2$ , établir l'équation différentielle régissant l'évolution de  $v_2(t)$  et en déduire l'expression de  $v_2(t)$ .
- Déterminer l'instant  $t_3$  du deuxième basculement de S.
- Représenter l'évolution de S, R,  $v_2(t)$ , Q et son complément ( $V_{out}$ ).
- Déduire les expressions de la période T, du rapport cyclique D et de la fréquence F de  $V_{out}$ .
- Justifier l'appellation "oscillateur commandé en tension" du montage

**Exercice 4.8. : Modulation en largeur d'impulsions: MLI (0h30)**



1. Tracer  $s(t)$  sur le graphique ci-dessus.
2. Commenter la forme du signal  $s(t)$

#### Exercice 4.9. : Comparateur à fenêtre inverse (1h30)



1. Analyser le fonctionnement du montage ci-dessus.
2. Tracer la caractéristique  $s=f(e)$ .
3. Justifier l'appellation "comparateur à fenêtre".