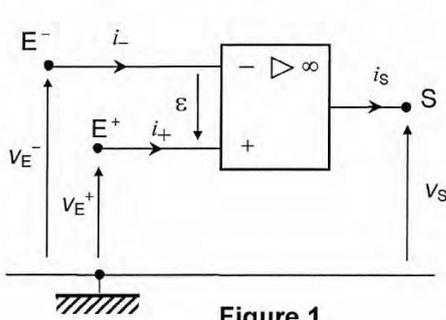


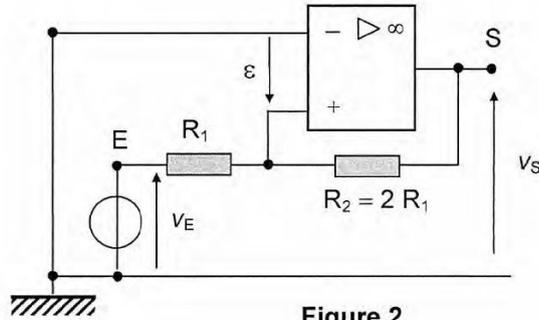
PREMIERE PARTIE (E3A 2014 PSI Extrait)

**A / Amplificateur opérationnel idéal**

La représentation symbolique de l'amplificateur opérationnel idéal (AO) et la notation adoptée sont précisées en figure 1, ci-dessous :



**Figure 1**



**Figure 2**

L'AO est un amplificateur de différence, la tension de sortie  $v_S$  est proportionnelle à la tension différentielle d'entrée  $\varepsilon = v_{E^+} - v_{E^-}$  entre les tensions appliquées respectivement aux entrées non inverseuse  $E^+$  et inverseuse  $E^-$ , soit  $v_S = A(v_{E^+} - v_{E^-})$ . Le coefficient  $A$  est l'amplification différentielle, il dépend de la fréquence du signal d'entrée et sa valeur en régime continu est notée  $A_d$ . La valeur absolue de la tension de saturation en sortie vaut :  $V_{SAT} = 15 \text{ V}$ .

- A1.** Rappeler les hypothèses de l'AO idéal.
- A2.** Préciser ses deux régimes de fonctionnement et les conditions sur  $\varepsilon$  et  $v_S$  associées. Expliquer comment les reconnaître simplement, en visualisant à l'oscilloscope simultanément les signaux d'entrée et de sortie du montage.

**B / Comparateur à hystérésis**

**Stabilité du montage**

Considérons le montage de la figure 2 ci-dessus. L'amplificateur opérationnel est idéal. Dans son comportement intrinsèque, l'AO est un système linéaire du premier ordre. La tension de sortie  $v_S$  de l'AO est liée à la tension différentielle d'entrée  $\varepsilon$  par une équation différentielle linéaire du premier ordre qui s'écrit :

$$\tau \frac{dv_S(t)}{dt} + v_S(t) = A_d \varepsilon(t),$$

- $\tau \approx 10^{-2} \text{ s}$  : constante de temps de l'amplificateur opérationnel ;
  - $A_d \approx 10^5$  : coefficient d'amplification statique (ou gain en régime continu).
- B1.** Établir l'équation différentielle linéaire du premier ordre à laquelle obéit  $v_S(t)$  en fonction de  $A_d$ ,  $\tau$  et  $v_E(t)$ . Le système est-il stable ou instable ? En déduire le mode de fonctionnement de l'AO.
  - B2.** Évaluer numériquement la constante de temps  $\tau_B$  caractéristique de l'évolution de  $v_S(t)$ . Commenter.

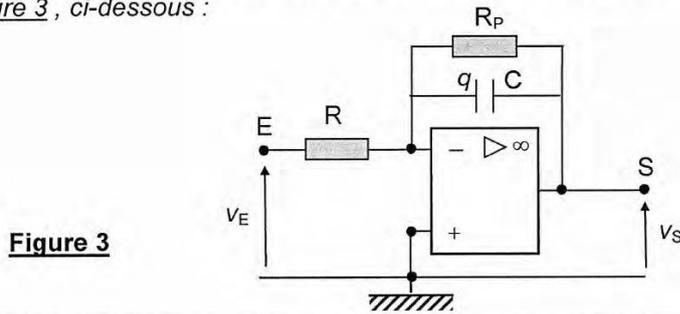
**Description du cycle d'hystérésis**

- B3.** Justifier qu'il y a basculement à  $\pm V_{SAT}$  pour deux valeurs seuils de  $v_E$  à préciser.
- B4.** La tension d'entrée est sinusoïdale de pulsation  $\omega$  et d'amplitude  $V_{EM} = 15 \text{ V}$ . Compléter la caractéristique statique de transfert  $v_S = f(v_E)$  du montage, fournie sur le document-réponse. Préciser le sens d'orientation du cycle obtenu. Justifier le nom donné au montage : « comparateur non inverseur à hystérésis ».

## C / Intégrateur inverseur

### Amplificateur opérationnel idéal

L'amplificateur opérationnel idéal fonctionne en régime linéaire selon le montage proposé sur la figure 3, ci-dessous :



**Figure 3**

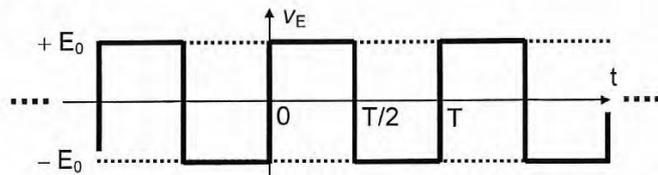
- C1.** Donner, sans effectuer de calcul, la nature du filtre ainsi constitué. Quelle opération réalise-t-il à basse fréquence ?
- C2.** Déterminer la fonction de transfert  $H(j\omega) = v_S/v_E$  de ce filtre pour un signal d'entrée  $v_E(t)$  sinusoïdal, de pulsation  $\omega$  ; préciser sa pulsation de coupure  $\omega_C$ .
- C3.** Représenter l'allure asymptotique des courbes de gain  $G_{dB} = 20 \log(|H|)$  et de déphasage entrée-sortie  $\varphi = \arg(H)$  en fonction de  $\log(\omega/\omega_C)$ .

La condition initiale sur la charge électrique est telle que :  $v_S(0) = \frac{E_0 T}{4RC}$ .

- C4.** Rechercher dans quel domaine de pulsation le montage de la figure 3 réalise une intégration et une inversion du signal d'entrée. Placer ce domaine sur les graphes obtenus en C3.

La tension alternative d'entrée est un créneau, de période  $T$  et d'amplitude  $E_0$ , dont la décomposition en série de Fourier s'écrit :

$$v_E(t) = \frac{4E_0}{\pi} \sum_{p=0}^{\infty} \frac{\sin[(2p+1)\omega t]}{2p+1}$$



**Figure 4**

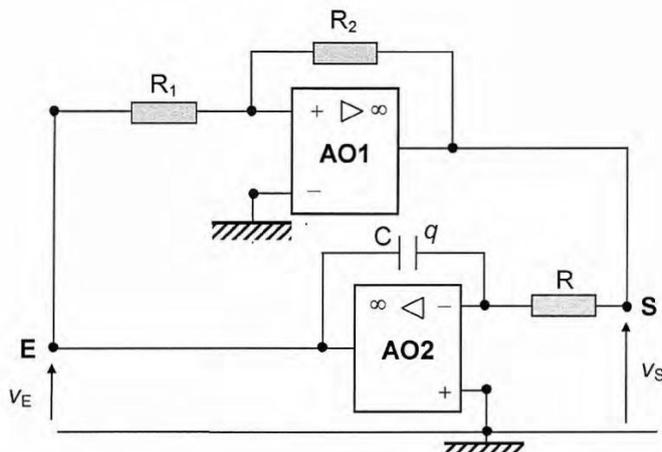
- C5.** Déterminer la tension de sortie  $v_{Sn}(t)$  pour la composante  $v_{En}(t)$  d'ordre  $n = 2p + 1$  du signal d'entrée dans son domaine d'intégration.
- C6.** En déduire que le signal de sortie  $v_S(t)$  admet la décomposition en série de Fourier :

$$v_S(t) = B \sum_{p=0}^{\infty} \frac{\cos [(2p+1)\omega t]}{(2p+1)^2}$$

Préciser l'expression de  $B$  en fonction de  $E_0$ ,  $R$ ,  $C$  et  $\omega$ . Décrire la forme du signal de sortie  $v_S(t)$ . Représenter, sur le chronogramme 1 du document-réponse, l'évolution de  $v_S(t)$  pour  $R_p = 10R$  et  $T = 2RC$ .

## D / Génération de signaux périodiques

Les amplificateurs opérationnels du montage suivant (figure 5) sont supposés idéaux.



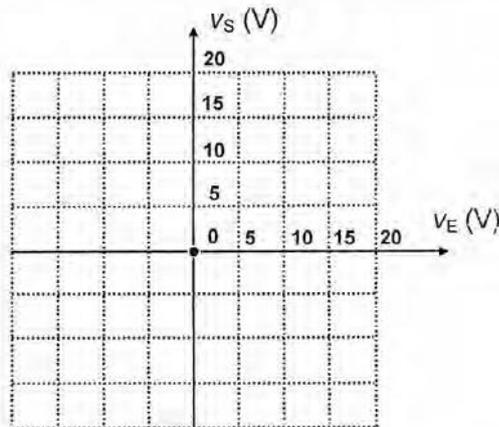
**Figure 5**

La condition initiale imposée est  $q(t=0) = 0$ . A cet instant,  $v_S$  bascule en saturation positive :  $v_S(0^+) = V_{SAT}$ . La saturation négative correspond à un signal de sortie  $-V_{SAT}$ .

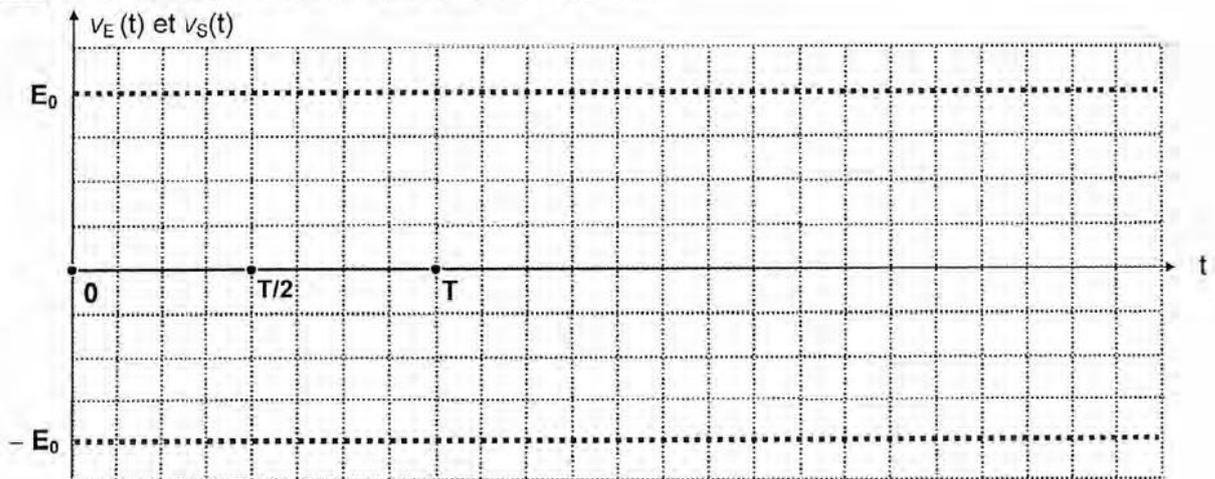
- D2.** Déterminer l'évolution de  $v_E(t)$  au cours du temps en fonction de  $R$ ,  $C$ ,  $V_{SAT}$  et  $t$ . Pour quelle valeur de  $v_E$  et à quel instant  $t_0$  le premier basculement de  $v_S$  vers  $-V_{SAT}$  se produit-il ?
- D3.** En choisissant  $t_0$  comme origine des temps, déterminer la nouvelle évolution de  $v_E(t)$ . Pour quelle valeur de  $v_E$  le basculement de  $v_S$  en saturation positive se produit-il ? Quelle est la durée  $\Delta t_1$  de la phase de saturation négative de  $v_S$  ? Quelle est la durée  $\Delta t_2$  de la phase suivante correspondant à une saturation positive de  $v_S$  ? Exprimer la période  $T$  des oscillations en fonction de  $R$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $C$ .
- D4.** Représenter, sur le *chronogramme 2* du *document-réponse*, les évolutions de  $v_S(t)$  et  $v_E(t)$  au cours du temps, pour  $R_2 = 2 R_1$ . Quels types de signaux sont générés par un tel dispositif ?
- D5.** Compléter sur le *document-réponse* la caractéristique statique de transfert  $v_S = f(v_E)$  du montage. Préciser le sens d'orientation du cycle obtenu.

**B4. Caractéristique statique de transfert : cycle d'hystérésis**

$v_E$  : 5 V/division  
 $v_S$  : 5 V/division

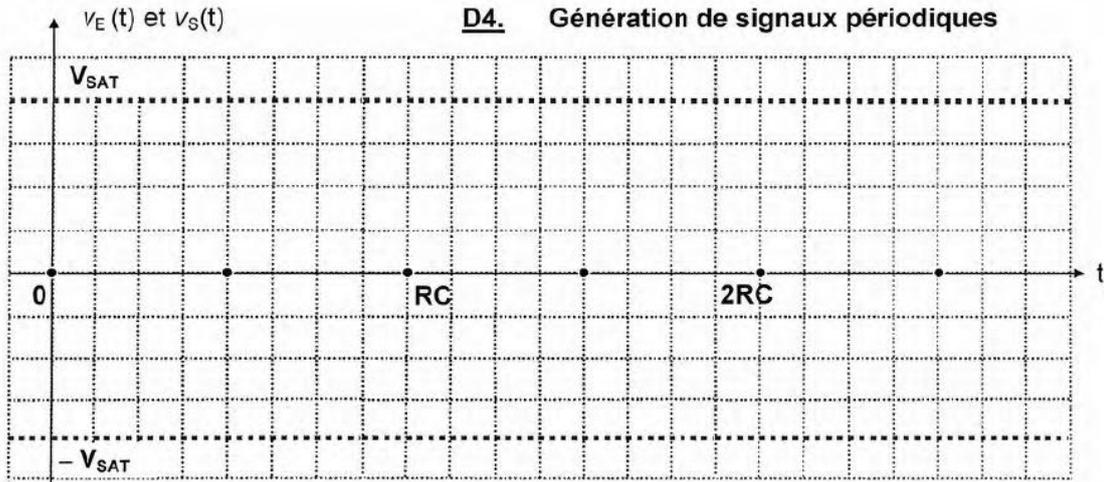


**C6. Intégrateur inverseur (schéma à compléter)**



*chronogramme 1*

**D4. Génération de signaux périodiques**



*chronogramme 2*

**D5. Caractéristique statique de transfert : génération de signaux périodiques**

$v_E$  : 5 V/division  
 $v_S$  : 5 V/division

