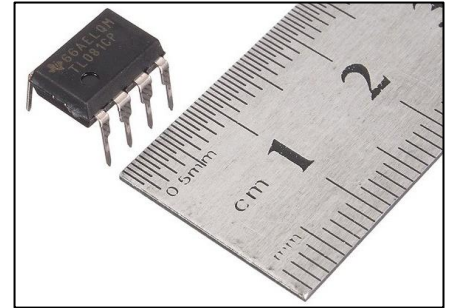


## Complément – Montages à ALI

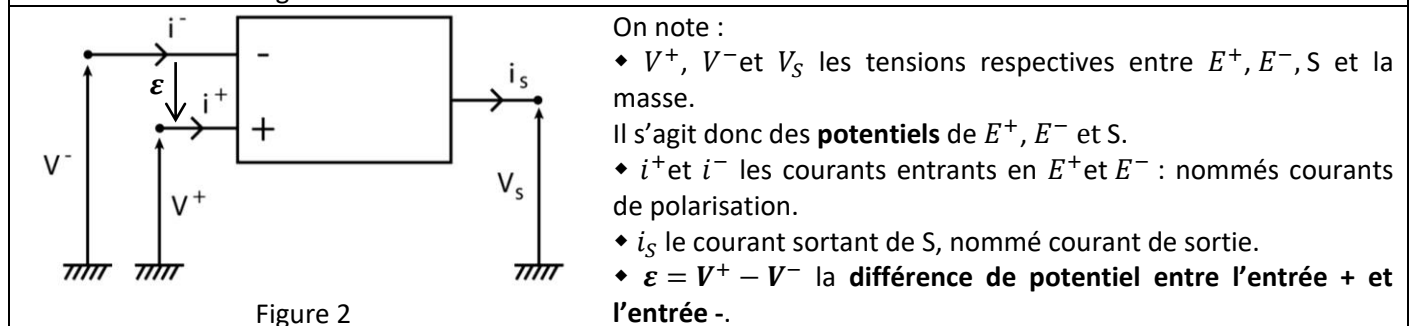
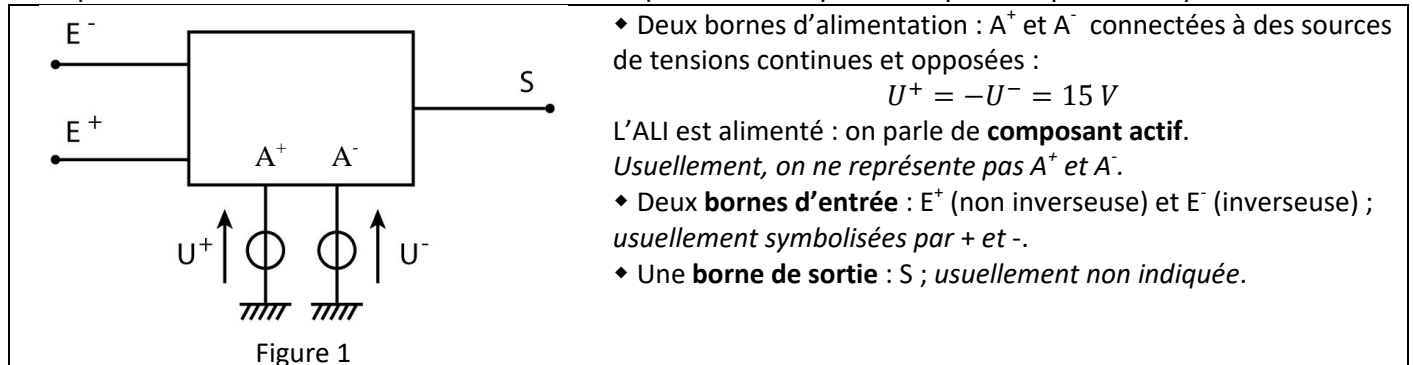
### A) Cours : Présentation de l'amplificateur linéaire intégré

L'Amplificateur Linéaire Intégré (= ALI) aussi appelé Amplificateur Opérationnel (= Ampli. Op. = AO) est un système électronique associant des composants passifs (R, C) et des composants actifs (transistors). Tous ces composants sont intégrés sur une petite plaque de silicium (« puce ») : on parle de « **circuit intégré** ».

On peut considérer l'ALI comme une « boîte noire » et s'intéresser à ses applications dans les circuits : amplification, sommation, filtrage, intégration...des signaux électriques.



L'ALI possède 8 bornes mais on se limite à une représentation partielle qui ne représente que 3 bornes :



L'ALI a deux domaines de fonctionnement :

- Un **fonctionnement linéaire** pour lequel la tension de sortie  $|v_s(t)| \leq V_{sat}$  ;
- Un **fonctionnement non linéaire** (régime saturé) pour lequel la tension de sortie  $v_s(t) = \pm V_{sat}$ , avec  $V_{sat} \approx 12\text{ V}$ .

Ici, les montages seront étudiés dans le domaine de **fonctionnement linéaire**. On veillera donc à ce que la tension de sortie vérifie :  $|v_s(t)| \leq V_{sat}$  avec  $V_{sat} \approx 12\text{ V}$ .


Une **rétroaction sur l'entrée inverseuse  $E^-$**  (= contre-réaction) stabilise le montage et permet à l'ALI de fonctionner en **régime linéaire**.

**Modèle de l'ALI idéal** : on admet que l'ALI, inclus dans des systèmes plus complexes, tels que ceux des parties B et C, répond aux hypothèses suivantes :

- $i^+ = i^- = 0$
- en régime linéaire,  $\epsilon = 0 \Leftrightarrow V^+ = V^-$

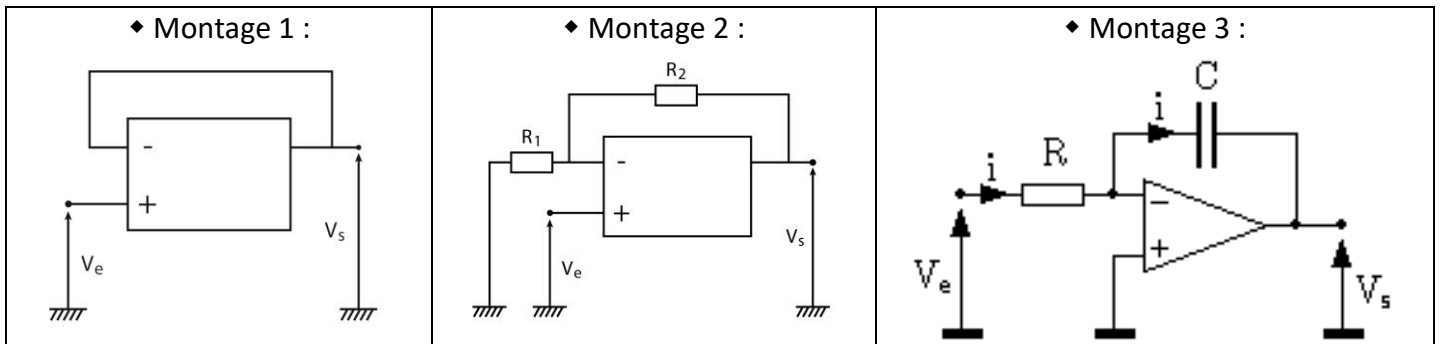
*Ces hypothèses seront valables dans toute la suite du texte.*

**NB** : Si  $\epsilon > 0$  alors  $V_S = +V_{sat}$  : saturation **positive**.  
Si  $\epsilon < 0$  alors  $V_S = -V_{sat}$  : saturation **negative**.

<p><b>Méthode</b></p>  <p>Etude d'un montage à ALI</p>	<p>① Schéma(s) du montage avec fléchage des tensions et des courants.</p> <p>② Identifier le <b>type de rétroaction</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de rétroaction ou rétroaction sur <math>E^+ \Rightarrow</math> <b>régime saturé</b> ;</li> <li>- Rétroaction sur <math>E^- \Rightarrow</math> a priori, l'ALI est en <b>régime linéaire</b>.</li> </ul> <p>③ On utilise le <b>modèle de l'ALI idéal</b>.</p> <p>a) <math>i^+ = i^- = 0</math></p> <p>b) en <b>régime linéaire</b>, <math>\varepsilon = 0 \Leftrightarrow V^+ = V^-</math></p> <p>④ Déterminer les <b>potentiels d'entrée</b> <math>V^+</math> et <math>V^-</math>, notamment via la loi des nœuds (ou des relations de <b>pont diviseur de tension</b>) en utilisant ③a) : penser à faire des <b>schémas équivalents</b>.</p> <p>⑤ Exprimer <math>\varepsilon</math> et conclure en utilisant ③b).</p>
---	---

## B) TD

### 1 Montages classiques à ALI idéal en régime linéaire : suiveur, amplificateur et intégrateur



Pour tous ces montages, on a une rétroaction sur l'entrée inverseuse de l'ALI et on considèrera que les ALI fonctionnent en régime linéaire.

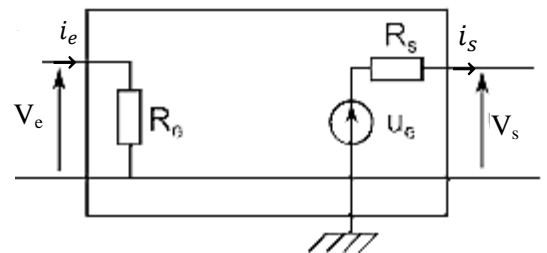
1) Dans le cadre du modèle de l'ALI idéal fonctionnant en régime linéaire, établir la relation entre la tension d'entrée  $V_e$  et la tension de sortie  $V_s$  pour les montages 1 à 3.

Justifier le nom de chaque montage : Suiveur, Amplificateur non inverseur et Intégrateur.

Chaque montage est équivalent au schéma ci-contre, avec  $R_e$  la résistance d'entrée et  $R_s$  la résistance de sortie telles que :

$$R_e = \frac{V_e}{i_e} \quad \text{et} \quad V_s = u_0 - R_s \cdot i_s$$

2) Que peut-on dire de l'impédance d'entrée du montage suiveur (utilisé au TP2).

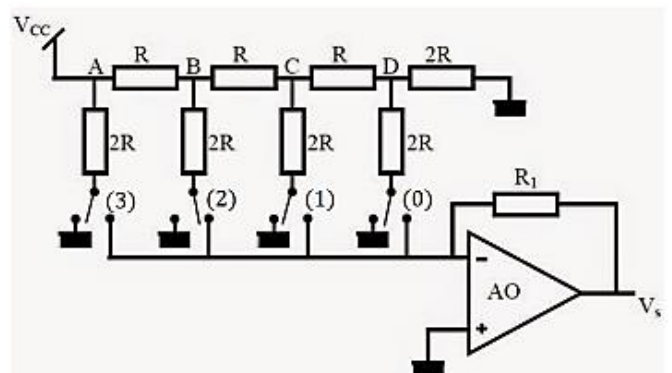


### 2 Réseau R-2R à 4 bits avec ALI

Dans le montage ci-contre, l'état du bit  $k$  agit sur l'interrupteur ( $k$ ), en position masse si  $b_k = 0$ , en position  $E$  si  $b_k = 1$ .

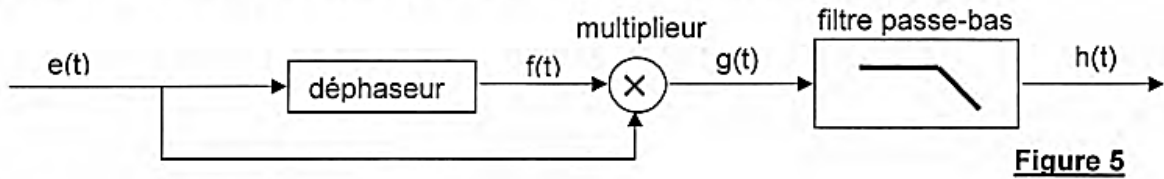
On considère que l'ALI fonctionne en régime linéaire.

➡ Déterminer l'expression de  $V_s$  en fonction de  $V_{cc}$  et des  $b_k$ .



### 3 Déphaseur (d'après E3A MP 2013)

Le téléphone portable reçoit un signal modulé en fréquence, de la forme  $e(t) = U_0 \cos[\omega_0 (1 + m(t)) t]$ ; sa pulsation s'écrit donc :  $\omega = \omega_0 (1 + m(t))$ . L'objectif est d'extraire de ce signal la quantité  $m(t)$ , qui constitue l'information échangée entre l'antenne et le téléphone. Pour cela, le circuit représenté sur la figure 5 est utilisé.

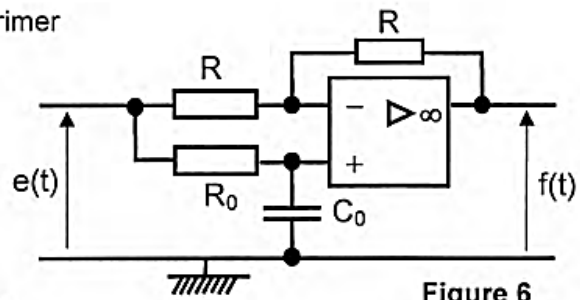


**Figure 5**

Le circuit déphaseur est schématisé sur la figure 6. L'amplificateur opérationnel est idéal et fonctionne en régime linéaire.

- C1.** Déterminer l'expression de la fonction de transfert  $\underline{T} = f/e$  du déphaseur, en régime sinusoïdal forcé à la pulsation  $\omega$ .
- C2.** Justifier que  $\underline{T}$  peut s'écrire  $\underline{T} = e^{j\psi}$ . Exprimer  $\cos(\psi)$  en fonction de  $\omega$  et  $\omega_0 = 1/(R_0 C_0)$ .

Considérons pour commencer que  $m(t)$  est une constante :  $m(t) = m = cste$ . Le multiplieur délivre une tension :  $g(t) = k \times e(t) \times f(t)$ ,  $k$  étant une constante.



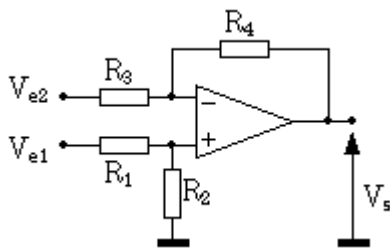
**Figure 6**

- C3.** Exprimer  $g(t)$ . Vérifier que  $g(t)$  est la somme d'une tension continue  $A$  et d'une tension de pulsation  $2\omega$ . Exprimer  $A$  en fonction de  $k$ ,  $U_0$  et  $m$ . Ecrire le développement limité de  $A$  jusqu'à l'ordre 1 en  $m$  inclus, sachant que  $m$  est petit devant 1.

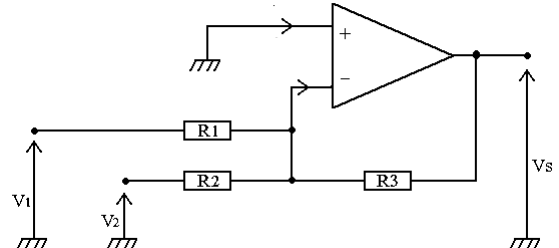
Il est admis que les résultats précédents restent valables tant que la quantité  $m(t)$  varie très lentement par rapport à  $\cos(\omega_0 t)$ , tout en restant très inférieure à 1.

- C4.** Comment faut-il choisir la pulsation de coupure  $\omega_C^{PB}$  du filtre passe-bas pour que la sortie  $h(t)$  soit proportionnelle à  $m(t)$  ?

### 4 Montages sommateur et soustracteur



- 1) Pour le montage ci-dessus :
- Déterminer la relation entre  $V_s$ ,  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$ .
  - Comment faut-il choisir  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$  pour avoir un montage « soustracteur » ?

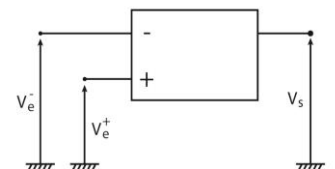


- 2) Pour le montage ci-dessus :
- Déterminer la relation entre  $V_s$ ,  $V_1$  et  $V_2$ .
  - Comment faut-il choisir  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  pour avoir un montage « sommateur » ?

### 5 Montage comparateur simple

Ce montage ne présente pas de rétroaction, l'ALI fonctionne en régime saturé. On a  $V_e^- = V_{réf}$  constante.

- ➡ Tracer  $V_s$  en fonction de  $V_e^+$ .



## 6 CCS2 MPI 2024 – Partie IV – Numérisation et traitement du signal

Le signal fourni par la guitare électrique est finalement numérisé puis traité. On considère dans tout ce qui suit que ce signal est une tension positive comprise entre 0 V (potentiel de la masse) et  $V_{cc}$  (potentiel haut). On étudie, en premier lieu, un convertisseur analogique numérique de type flash. Le schéma de la figure 10 représente le circuit électronique d'un convertisseur flash sur deux bits.

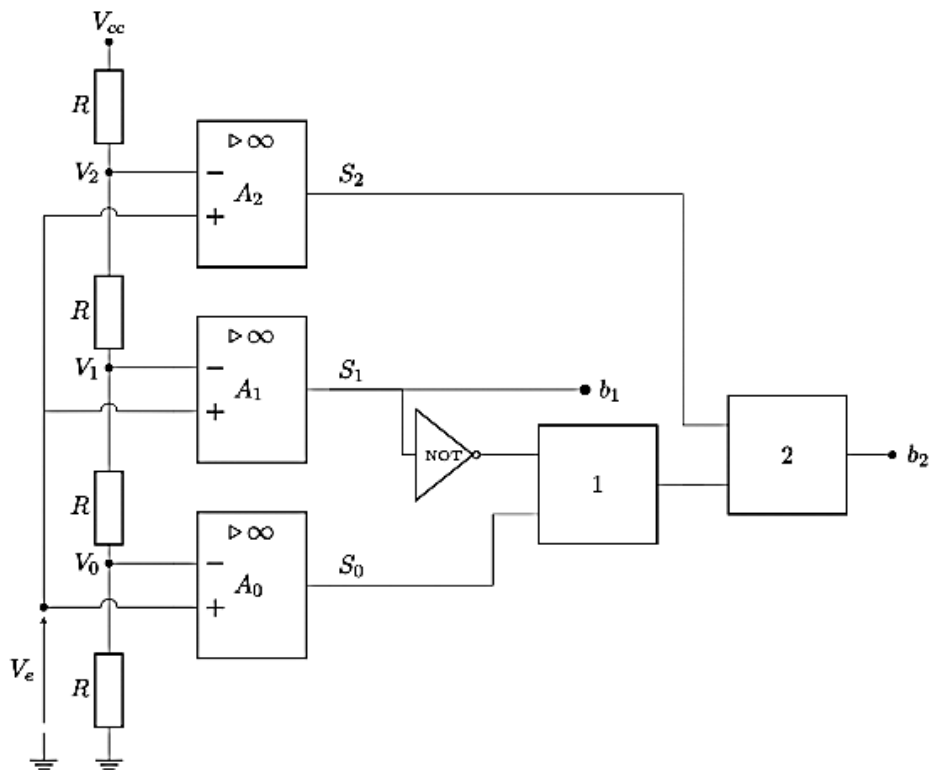


Figure 10

Q 41. Justifier que les tensions  $V_0$ ,  $V_1$  et  $V_2$  valent respectivement  $\frac{1}{4}V_{cc}$ ,  $\frac{1}{2}V_{cc}$  et  $\frac{3}{4}V_{cc}$ .

Dans la figure figure 10, la porte 1 réalise la fonction ET et la porte 2 la fonction OU.

Q 42. Reproduire et compléter la table de vérité ci-dessous relative au convertisseur flash.

	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$b_0$	$b_1$	$b_2$
$0 < V_e < \frac{1}{4}V_{cc}$						
$\frac{1}{4}V_{cc} < V_e < \frac{1}{2}V_{cc}$						
$\frac{1}{2}V_{cc} < V_e < \frac{3}{4}V_{cc}$						
$\frac{3}{4}V_{cc} < V_e$						

Q 43. La norme **Hi-Res Audio** des fichiers audios (utilisé dans les fichiers .flac, par exemple) impose un encodage sur 24 bits à une fréquence égale ou supérieure à 96 kHz. Combien d'amplificateurs linéaires intégrés seraient nécessaires pour réaliser un convertisseur flash sur 24 bits ?

En pratique, il n'existe pas dans le commerce de convertisseur flash sur plus de 12 bits (au delà, ils seraient trop chers et trop encombrants). On peut, néanmoins, mettre à profit leur grande rapidité de conversion dans des convertisseurs pipeline semi-flash. Prenons l'exemple du convertisseur pipeline 24 bits à trois étages représenté à la figure 11. *E/B* désigne un circuit échantillonneur bloqueur, *CAN* un convertisseur analogique numérique flash 8 bits et *CNA* un convertisseur numérique analogique 8 bits.

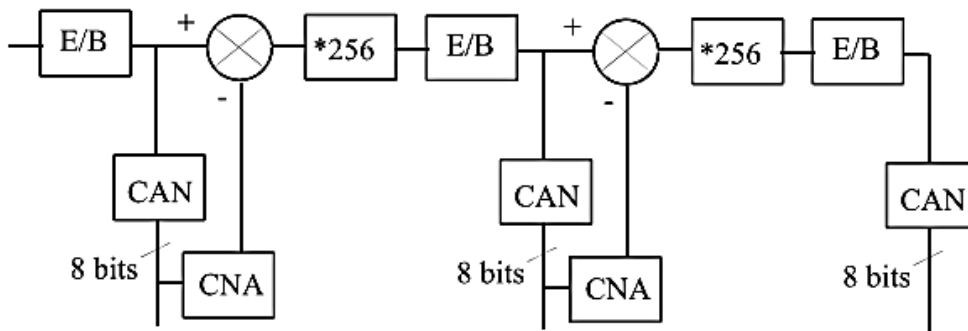


Figure 11

Le premier étage détermine les valeurs des 8 bits de poids fort, l'étage suivant les valeurs des 8 bits suivants, enfin le dernier étage détermine les valeurs des 8 bits de poids faible. Trois circuits échantillonneurs bloqueurs sont intercalés afin de synchroniser les trois conversions. Un échantillonneur bloqueur peut être réalisé selon le schéma de la figure 12, dans lequel l'interrupteur *K* est commandé par une tension créneau, appelé signal d'horloge, à la fréquence d'échantillonnage  $f_e$ .

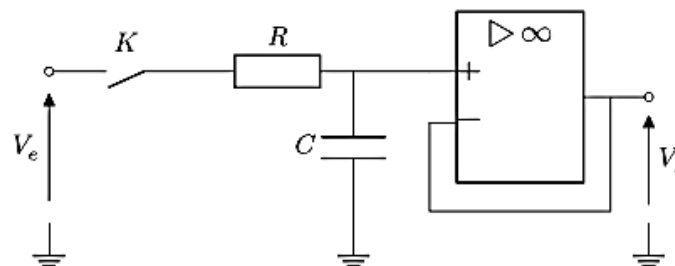


Figure 12

On suppose *K* fermé et le condensateur initialement déchargé. De plus, on suppose que les variations temporelles de  $V_e(t)$  sont très lentes devant le produit  $RC$ .

Q 44. Au bout de combien de temps le condensateur atteint-il la tension  $V_e$  à 99% ? En déduire une contrainte sur le produit  $RC$  pour que  $u_C$  diffère de  $V_e$  de moins de 1% à chaque front descendant du signal d'horloge .

Q 45. Que vaut la tension de sortie lorsque l'interrupteur est ouvert ? Quel est l'intérêt de ce circuit ?

Q 46. La tension d'horloge pilotant l'interrupteur  $K$  est réalisée à l'aide du circuit de la figure 13. L'interrupteur  $I$  est fermé pour  $Q$  à l'état bas, et ouvert quand  $Q$  est à l'état haut et ainsi qu'à la mise sous tension. Tracer le chronogramme de la tension  $u_C$ , des entrées  $R$ ,  $S$  et de la sortie  $Q$ , en partant de l'état initial  $R = 0$ ,  $S = 1$ ,  $I$  ouvert et  $u_C = 0$ . On tracera l'allure des chronogrammes sans chercher l'expression littérale de  $U_c$  au cours du temps.

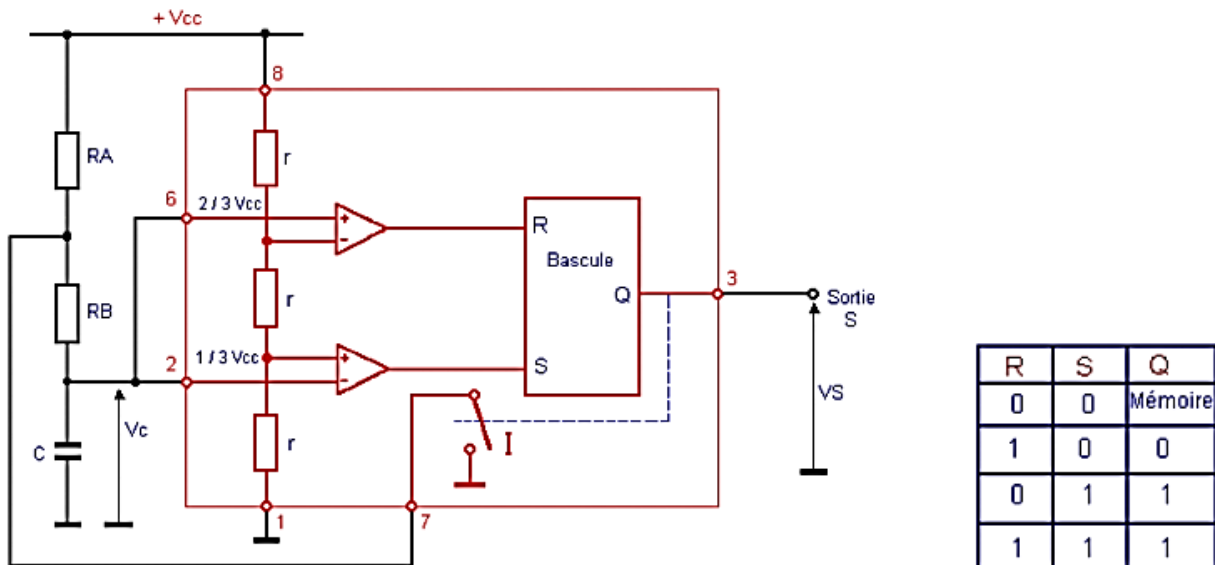


Figure 13

Q 47. Comment choisir  $R_A$  et  $R_B$  pour obtenir un signal d'horloge en forme de peigne (*i.e.* signal créneau pour lequel le temps à l'état haut est faible devant le temps à l'état bas) ?

Q 48. Le flanger est un effet sonore obtenu en additionnant au signal d'origine ce même signal mais légèrement retardé. De plus, ce retard est lentement modulé dans le temps. Ainsi, pour un signal d'entrée  $e(t)$ , le signal de sortie est  $s(t) = e(t) + e(t + \tau)$  avec  $\tau = \tau_0 + \delta\tau \sin \omega t$  et  $\delta\tau < \tau$ .

Proposer une fonction Python

`phaser(e : list, omega : float, tau : float, dtau : float) -> list :`

qui prend, respectivement, en argument :

- le signal  $e(t)$  numérisé à la période d'échantillonnage  $T_e$  et stocké sous forme de liste ;
- $\omega$  la pulsation de la modulation ;
- $\tau_0$  la valeur moyenne du déphasage ;
- $d\tau$  l'amplitude du déphasage ;

et qui renvoie le signal filtré sous forme de liste. On supposera que  $e$  a été enregistré pendant une durée grande devant  $\tau$  et que la fréquence d'échantillonnage a déjà été définie dans une variable globale `fe`.