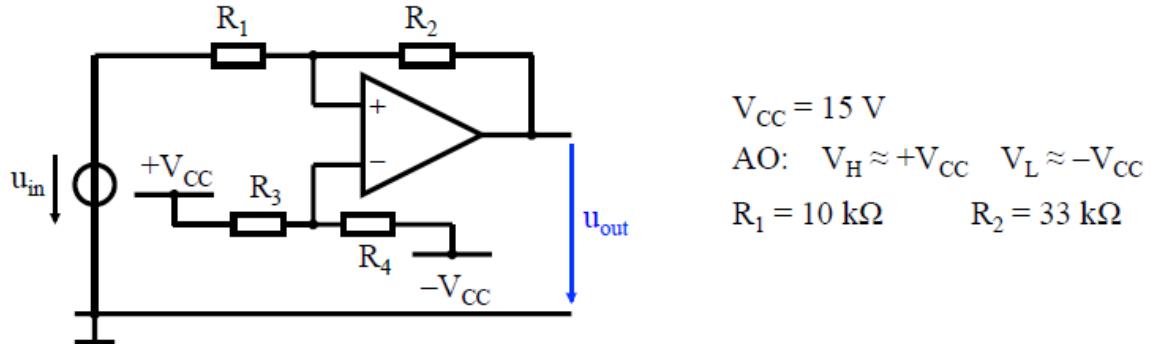


# Comparateur à seuils (solution)

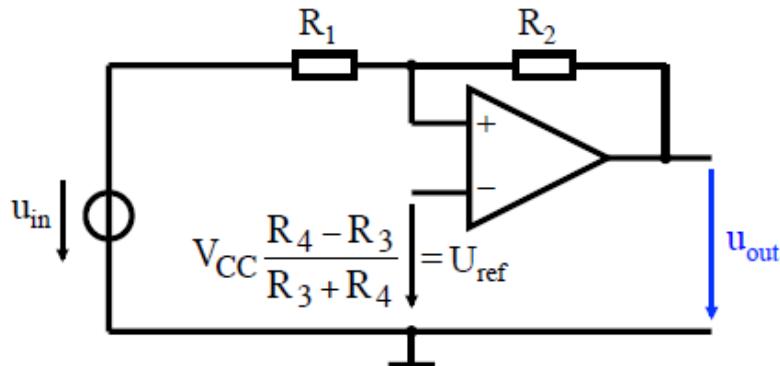
## Ex 1 Comparateur à seuils

Déterminer la caractéristique entrée-sortie du circuit à ampli op ou comparateur ci-dessous.



Solution :

On retrouve alors le schéma d'un montage à réaction positive :



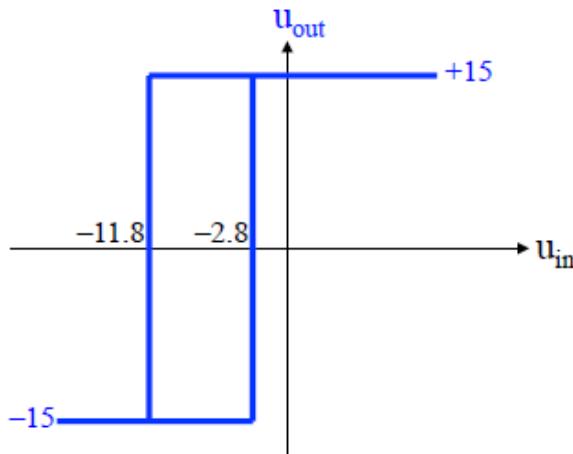
C'est le comparateur à seuil non-inverseur présenté au cours

$$V_{T1} = \frac{R_2 + R_1}{R_2} U_{ref} - \frac{R_1}{R_2} V_H = \left( \frac{R_2 + R_1}{R_2} \frac{R_4 - R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_2} \right) V_{CC}$$

$$V_{T2} = \frac{R_2 + R_1}{R_2} U_{ref} - \frac{R_1}{R_2} V_L = \left( \frac{R_2 + R_1}{R_2} \frac{R_4 - R_3}{R_3 + R_4} + \frac{R_1}{R_2} \right) V_{CC}$$

$$\text{hystérèse : } \Delta V_T = V_{T2} - V_{T1} = \frac{R_1}{R_2} 2V_{CC}$$

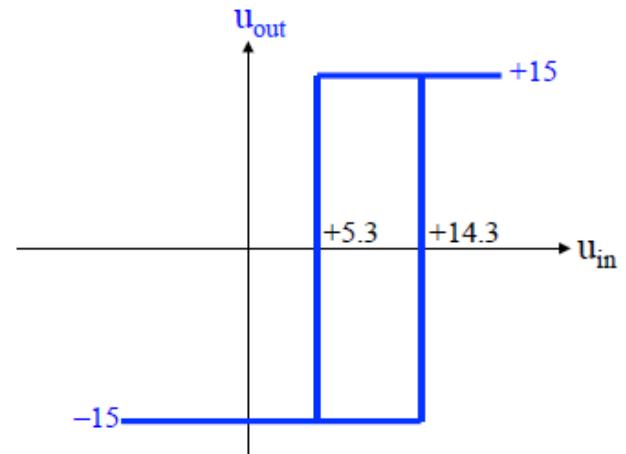
$$\text{centre : } V_C = \frac{V_{T2} + V_{T1}}{2} = \left( \frac{R_2 + R_1}{R_2} \frac{R_4 - R_3}{R_3 + R_4} \right) V_{CC}$$



Cas a)

$$\Delta V_T = 9 \text{ V}$$

$$V_C = -7.3 \text{ V}$$



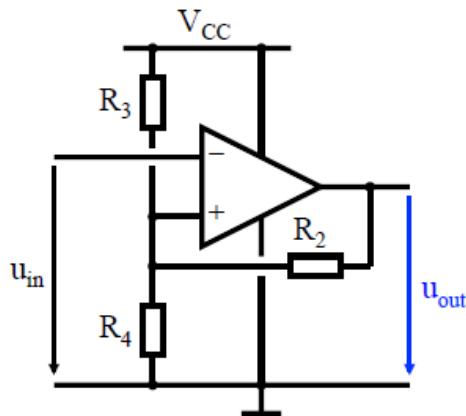
Cas b)

$$\Delta V_T = 9 \text{ V}$$

$$V_C = +9.8 \text{ V}$$

## Ex 2 Comparateur à seuils à alimentation unique

Déterminer la caractéristique entrée-sortie du circuit à ampli op ou comparateur ci-dessous n'utilisant qu'une alimentation unique.



$$V_{CC} = +5 \text{ V}$$

$$\text{AO: } V_H = V_{CC} \quad V_L = 0$$

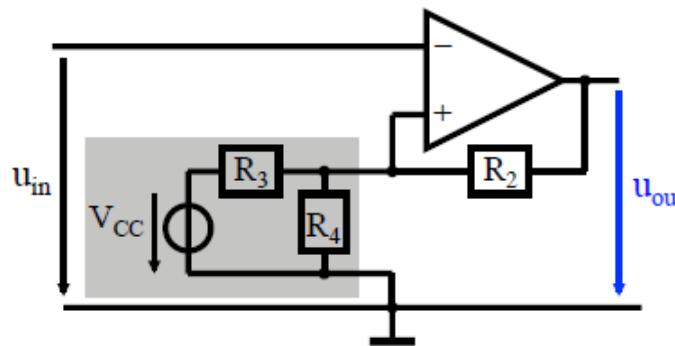
$$R_2 = 56 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 33 \text{ k}\Omega$$

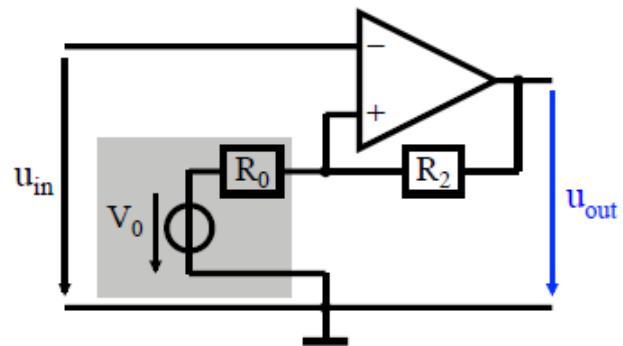
$$R_4 = 18 \text{ k}\Omega$$

Solution :

On peut dessiner le schéma ainsi : ....

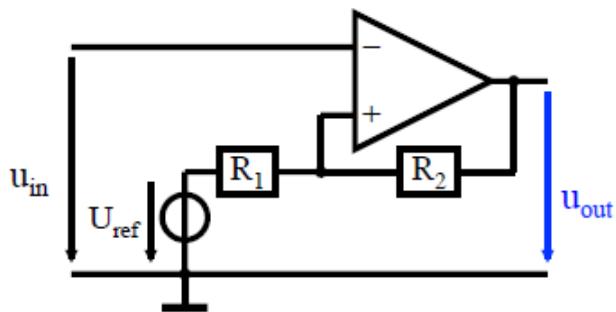


... puis remplacer le dipôle gris par son équivalent de Thévenin

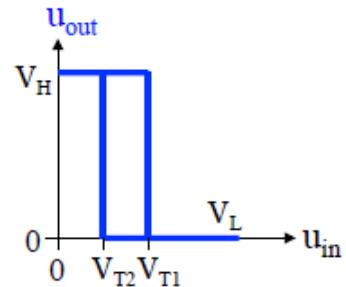


$$V_0 = V_{CC} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad R_0 = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

Le schéma de droite est celui d'un comparateur à seuils inverseur (cours page 3-47) :



$$\begin{aligned} V_H &= V_{CC} \\ V_L &= 0 \\ U_{ref} &= V_0 \\ R_1 &= R_0 \end{aligned}$$



Les tensions de seuil d'un comparateur à seuils inverseur (cours page 3-47) sont :

$$V_{T1} = U_{ref} \frac{R_2}{R_2 + R_1} + V_H \frac{R_1}{R_2 + R_1} = V_{CC} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_2}{R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} + \frac{\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}{R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}} \right)$$

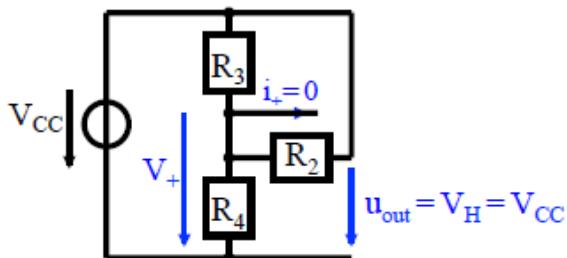
$$V_{T1} = V_{CC} \frac{(R_2 + R_3)R_4}{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4} = 2.32 \text{ V}$$

$$V_{T2} = U_{ref} \frac{R_2}{R_2 + R_1} + V_L \frac{R_1}{R_2 + R_1} = V_{CC} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_2}{R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}$$

$$V_{T2} = V_{CC} \frac{R_2 R_4}{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4} = 1.46 \text{ V}$$

### Autre méthode:

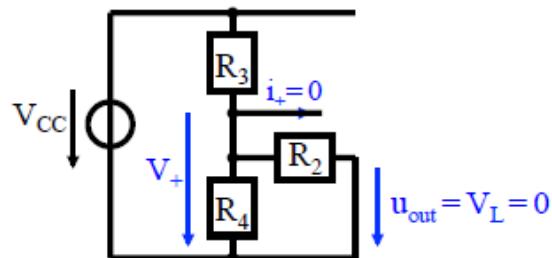
Sur le schéma on voit que l'AO est en réaction positive par  $R_2$ , donc  $u_{out}$  ne peut prendre que deux valeurs,  $V_H$  ou  $V_L$ . Le potentiel de l'entrée + est fonction de  $V_{CC}$ , qui est constante, et de  $u_{out}$ , qui vaut  $V_H$  ou  $V_L$ , il ne peut donc prendre que deux valeurs qui correspondent aux deux seuils auxquels  $u_{in}$  est comparée.



$$V_+ = V_{T1} = V_{CC} \frac{R_4}{(R_2 // R_3) + R_4}$$

$$V_{T1} = V_{CC} \frac{R_4}{R_4 + R_2 R_3 / (R_2 + R_3)}$$

$$V_{T1} = V_{CC} \frac{(R_2 + R_3) R_4}{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4} = 2.32 \text{ V}$$

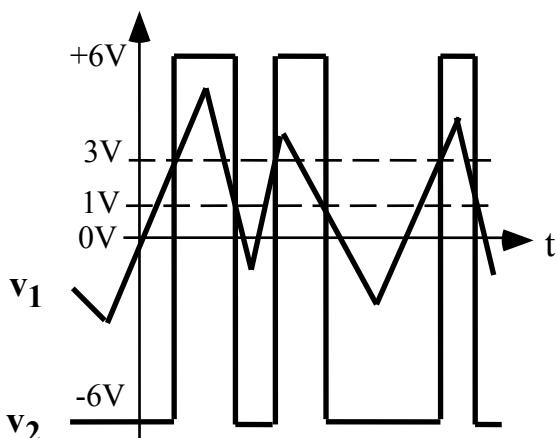


$$V_+ = V_{T2} = V_{CC} \frac{R_2 // R_4}{(R_2 // R_4) + R_3}$$

$$V_{T2} = V_{CC} \frac{R_2 R_4 / (R_2 + R_4)}{R_3 + R_2 R_4 / (R_2 + R_4)}$$

$$V_{T2} = V_{CC} \frac{R_2 R_4}{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4} = 1.46 \text{ V}$$

### Ex 3 Comparateur à seuils conception



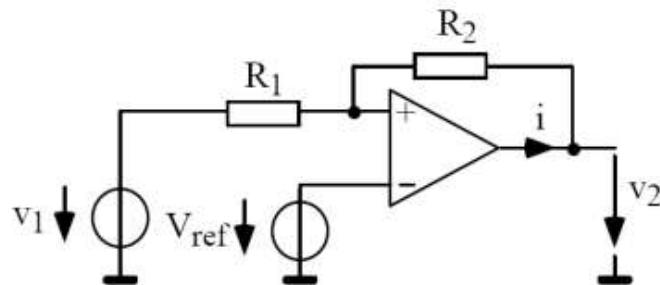
En appliquant le signal  $v_1$  de la figure ci-dessous à un comparateur à seuils (bascule de schmitt), on désire obtenir le signal  $v_2$  représenté.

- a- Dessiner le circuit permettant de réaliser une telle fonction avec un amplificateur opérationnel et en dimensionner les éléments de manière à obtenir les caractéristiques voulues.

## Solution :

Il faut réaliser un comparateur à seuils en montage non-inverseur avec:

$V_H = +6 \text{ V}$ ,  $V_L = -6 \text{ V}$ ,  $V_{T1} = +1 \text{ V}$  et  $V_{T2} = +3 \text{ V}$



$$\Delta V_T = V_{T2} - V_{T1} = 2 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{V_H - V_L}{\Delta V_T} = 6$$

Le courant de sortie de l'ampli. op. vaut:

$$i = \frac{V_H - v_1}{R_1 + R_2} = \frac{V_{CC} - v_1}{R_1 + R_2} \quad \text{lorsque } v_2 = V_H = +V_{CC}$$

$$i = \frac{V_L - v_1}{R_1 + R_2} = \frac{-V_{CC} - v_1}{R_1 + R_2} \quad \text{lorsque } v_2 = V_L = -V_{CC}$$

tant que  $-V_{CC} \leq v_1 \leq +V_{CC}$  les valeurs extrêmes de  $i$  sont :

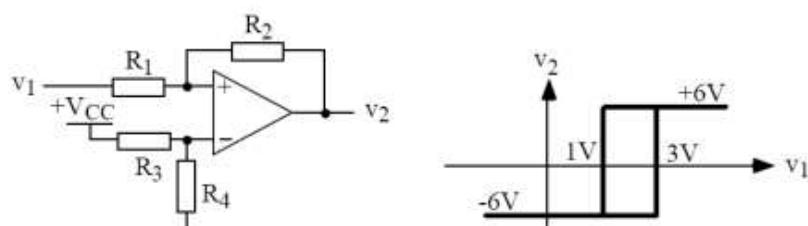
$$i_{\max} = \frac{V_H - V_{T1}}{R_1 + R_2} \quad \text{et} \quad i_{\min} = -\frac{V_{T2} - V_L}{R_1 + R_2}$$

Pour ne pas dépasser 1 mA en valeur absolue on prendra donc  $R_1 + R_2 > 9 \text{ k}\Omega \Leftrightarrow R_2 > 7.7 \text{ k}\Omega$

$$V_{ref} = +2 \text{ V} \Rightarrow V_{ref} = V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = +1.71 \text{ V}$$

Comme la source  $V_{ref}$  ne doit théoriquement fournir aucun courant dans l'entrée - de l'Ampli Op., elle n'a pas besoin d'être idéale. Elle peut être créée à partir de  $V_{CC}$  par un diviseur résistif, avec des résistances de valeur quelconque respectant le rapport suivant:

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{V_{ref}}{V_{CC}} \Rightarrow \frac{R_3}{R_4} = \frac{V_{CC}}{V_{ref}} - 1 = 2.5$$



Les Valeurs normalisées suivantes pourront convenir :

$R_1 = 56 \text{ k}\Omega$  ;  $R_2 = 330 \text{ k}\Omega$  ;  $R_3 = 56 \text{ k}\Omega$  ;  $R_4 = 22 \text{ k}\Omega$ .