

# La fonction comparaison (Chap 7)

 Révisé et compris

 Chapitre à retravaillé

 Chapitre incompris

Un comparateur est un montage qui permet de comparer une tension variable à une ou plusieurs constantes, et de réaliser une mise en forme des signaux. En sortie du comparateur, il ne peut y avoir que deux valeurs stables et distinctes. Nous allons étudier les comparateurs à ADI, à portes logiques, et à circuits intégrés spécialisés (*LM 317*).

## 1. Les comparateurs à ADI:

**DEF**

L'amplificateur opérationnel fonctionne en **saturation**, donc il n'y a pas de **contre réaction**, ce qui signifie que l'AO est :

- soit en **boucle ouverte**
- soit en **réaction positive**.

L'ADI fonctionne en saturation, donc c'est le signe de la tension différentielle « **Ud** », qui détermine la tension de sortie **Us**

On a les deux cas suivants :

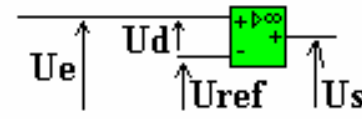
<b>Cas 1</b>	<b><math>V_{e+} &gt; V_{e-}</math></b>	<b>Si <math>U_d &gt; 0</math></b>	<b><math>U_s = +U_{sat}</math></b>
<b>Cas 2</b>	<b><math>V_{e+} &lt; V_{e-}</math></b>	<b>Si <math>U_d &lt; 0</math></b>	<b><math>U_s = -U_{sat}</math></b>

## 2. Le comparateur à un seuil :

**DEF**

On compare la tension d'entrée **Ue**, à une tension de référence, noté « **Uref** ».

*Exemple : Le comparateur non inverseur :*



$$U_d = (V_{e+}) - (V_{e-})$$

L'ADI est en fonctionnement saturé, car il n'y a pas de contre-réaction. On sait que **Us** ne peut prendre que deux valeurs :

- **$U_s = +V_{sat}$**
- **$U_s = -V_{sat}$**

Exprimons la tension différentielle « Ud » :

$$U_d = U_e - U_{ref}$$

$$U_d > 0 \text{ soit } U_e > U_{ref}, \text{ donc } U_s = +V_{sat}$$

$$U_d < 0 \text{ soit } U_e < U_{ref} \text{ donc } U_s = -V_{sat}.$$

On réalise une comparaison entre la tension d'entrée **Ue**, et la tension de référence **Uref**.

Le comparateur est « non inverseur », car la tension d'entre est appliqué sur l'entre non inverseuse de l'ADI.

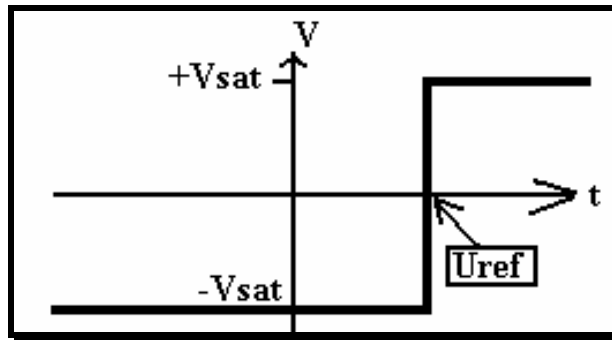
On observe un basculement de la tension de sortie (changement d'état), lorsque la tension différentielle est nulle.

$$U_d = 0V \text{ quand } U_e = U_{ref}$$

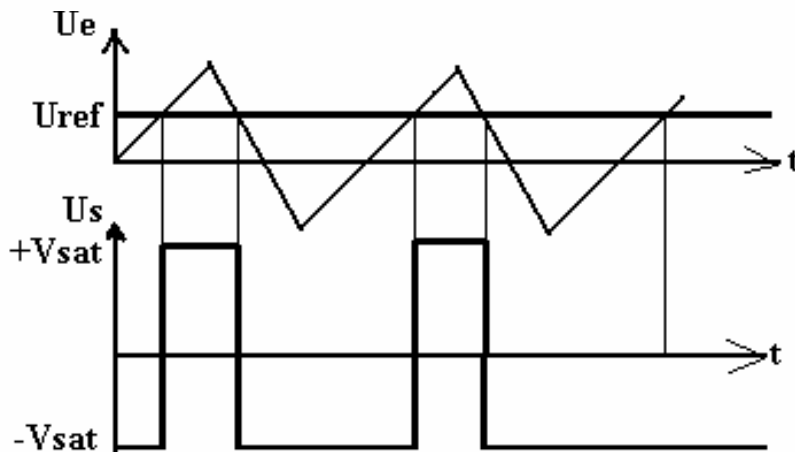
La tension « **Uref** » est appelée « tension de seuil », ou tension de basculement.

**Représentation de la caractéristique de transfert :**

La caractéristique de transfert nous permet de connaître la tension de sortie en fonction de celle d'entrée.



**Chronogramme des tensions d'entrée et de sortie :**



**Applications de ce montage :** Réalisation de générateurs de signaux à rapport cyclique variable (en faisant varier la tension de référence, on fait varier le rapport cyclique).

**Inconvénient :** Risque de basculement intempestif en cas de parasites.

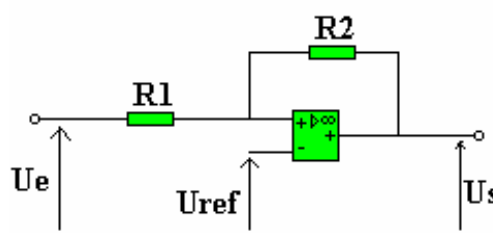
**3. Le comparateur à deux seuils :**

Pour le comparateur à deux seuils, il y a deux tensions de basculement :

- l'une quand **Ue** croît
- l'autre quand **Ue** décroît

Donc, pour une même valeur de **Ue**, on a une tension de sortie égale à « **+Usat** », et « **-Usat** ».

***Exemple : Le comparateur non inverseur :***



L'ADI fonctionne en **saturé**, car il y a une réaction positive.

**Attention** : Sur le montage ci-dessus, il n'y a pas de contre-réaction, car par définition, une contre réaction, est un rebouclage direct entre la sortie et l'entrée inverseuse, or ici, ce n'est pas le cas.

**Expression de la tension différentielle Ud :**

$$U_d = (V_{e+}) - (V_{e-})$$

- $V_{e+} = U_s \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_e \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

- $V_{e-} = U_{ref}$

Comme  $U_d = (V_{e+}) - (V_{e-})$ :

$$U_d = \left[ U_s \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_e \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] - U_{ref}$$

**Dans cette expression  $U_s = +U_{sat}$  ou  $-U_{sat}$**

Les deux tensions de basculements, sont des valeurs particulières de la tension d'entrée **Ue**, qui annule la tension différentielle (pour qu'il y est basculement).

Le basculement du comparateur à lieu quand  $U_d = 0V$ .

**Fonctionnement du comparateur :**

On va étudier les deux cas suivants :

- Quand  $U_e$  tends vers l'infini
- Quand  $U_e$  tends vers moins l'infini.

**Premier cas** :  $U_e$  tends vers l'infini

On considère que « **Ue** » est croissant jusqu'à la valeur particulière « **Uh** », pour laquelle **Ud** = 0V.

Si  $U_d < 0V$ , on a  $U_s = -U_{sat}$  :

$$-U_{sat} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_h \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{ref}$$

$$U_h \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{ref} + U_{sat} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_h = U_{ref} \times \frac{R_1}{R_2} + U_{sat} \left( \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Il y a basculement de la sortie du comparateur de :

« **-Usat** » à « **+Usat** », si **Ue** continue de décroître il n'y a pas de changement en sortie.

**Second cas** :  $U_e$  tends vers moins l'infini

Si  $U_d > 0V$ , on a  $U_s = +U_{sat}$  :

On considère  $U_e$ , comme étant décroissant jusqu'à la valeur particulière «  $U_b$  », pour laquelle on aura «  $U_d = 0V$  ».

$$U_d = U_{sat} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_b \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{ref} = 0V$$

$$U_b = U_{ref} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{sat} \left( \frac{R_1}{R_2} \right)$$

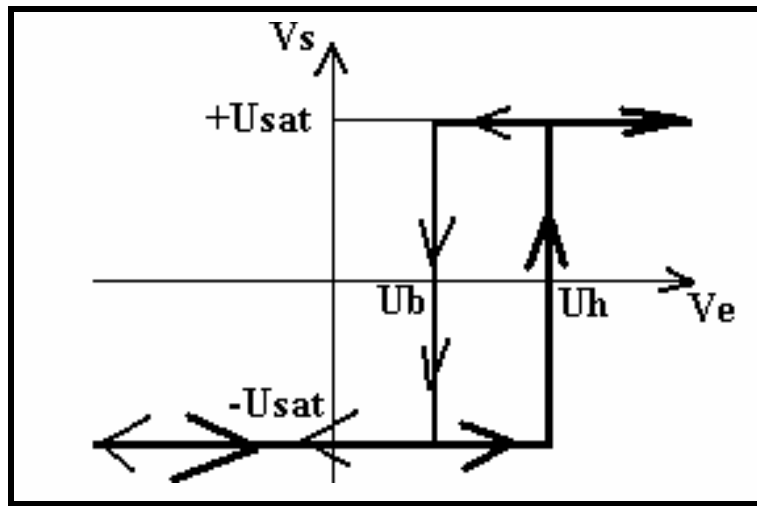
A la tension «  $U_b$  », il y a basculement de la tension de sortie de «  $+U_{sat}$  », à «  $-U_{sat}$  ». Si «  $U_e$  », continue à décroître, il n'y aura pas de changement.

An : Avec  $R_1 = 10 \text{ Kohms}$  ;  $R_2 = 50 \text{ Kohms}$ , et  $V_{ref} = 5V$

On a alors :  $U_h = 9V$  et  $U_b = 3V$ .

**Représentation de la caractéristique de transfert** (appelée « cyclogramme », ou cycle « d'hystérésis ».)

→ Pour observer le sens de parcours d'un cyclogramme sur un oscilloscope, on envoie en entrée du comparateur, un signal de fréquence 1Hz.



Il convient de ne pas oublier de « flécher » les différents segments présents sur le cyclogramme.

**La largeur du cycle** :  $\Delta u = U_h - U_b$

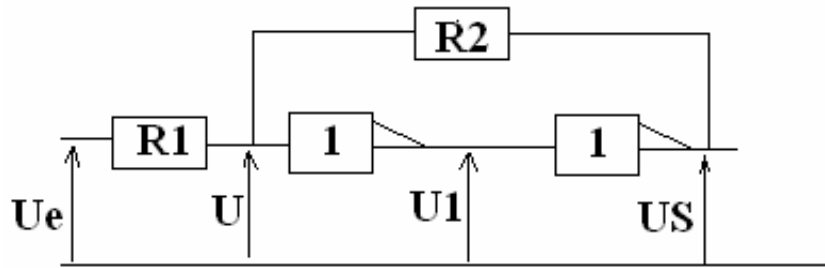
**Centre du cycle** :  $U_c = \frac{U_h - U_b}{2}$

#### 4. Remarque sur les comparateurs à amplificateur Opérationnels :

- Les AO sont limités en fréquence. Au-delà d'une certaine de 10kHz, ces derniers ne fonctionnent plus de manière optimale, car sa vitesse de réponse est trop lente. Pour contrecarrer cet inconvénient, on utilise des circuits intégrés spécialisés, tel que l'excellent LM311.

5. Comparateur à porte logiques CMOS :

Pour les portes logiques de la famille CMOS, le basculement se fait lorsque la tension d'entrée est égale à la moitié de la tension d'alimentation. On peut ainsi réaliser des comparateurs.

Les basculements se font grâce aux portes logiques, et deux cas se présentent :

→ Si  $U_e < (V_{dd} / 2)$ , on a  $U_1 = V_{dd}$ , et donc  $U_s = 0V$

→ Si  $U_e > (V_{dd} / 2)$ , on a  $U_1 = 0V$ , et donc  $U_s = V_{dd}$ .

La tension qui permet le basculement est la tension  $U$ .

De plus, le basculement a lieu quand  $U = V_{dd} / 2$

Exprimons la tension  $U$ , par le théorème de superposition :

$$U = U_e \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_2 \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Avec  $U_2$ , qui peut prendre les valeurs :  $0V$ , ou  $V_{dd}$ .

Deux cas sont alors possibles :

→ Supposons que  $U_e = 0V$

Dans ce cas, on a  $U = 0V$ ,  $U_1 = V_{dd}$ , et  $U_2 = 0V$ .

La tension  $U_e$  va croître jusqu'à ce que l'on obtienne la tension de basculement (à  $V_{dd} / 2$ ). Il va donc y avoir basculement de la tension de sortie, qui va passer de  $0V$  à  $V_{dd}$ .

$$\frac{V_{dd}}{2} = U_1 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + 0 \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{donc } U_1 = V_{dd} \times \frac{R_1 + R_2}{2 \times R_2}$$

→ Supposons que la tension  $U_e$  décroisse, dans ce cas on a :

$U = V_{dd}$ ,  $U_1 = 0V$ , et  $U_2 = V_{dd}$ , ce qui nous donne :

$$\frac{V_{dd}}{2} = U_2 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{dd} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{donc } U_2 = V_{dd} \times \frac{R_1 + R_2}{2 \times R_2} - V_{dd} \left( \frac{R_1}{R_2} \right)$$

AN : Avec  $R_1 = 100K\Omega$ , et  $R_2 = 20K\Omega$ , et  $V_{dd} = 8V$ .