

L'AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL EN COMMUTATION

C'est en fait la fonction de comparaison que nous allons étudier. Celle-ci a une très grande importance du fait qu'elle réalise souvent l'interface entre le domaine analogique et le domaine numérique. En effet, un comparateur délivre un niveau de sortie haut ou bas qui traduit directement le résultat de la comparaison qu'il vient d'effectuer.

La caractéristique d'un comparateur est semblable à celle d'un A.O. en boucle ouverte (fig V.1), les niveaux bas et hauts sont généralement adaptés à la logique qui le suit (0 et 5v en TTL), et il ne fonctionne dans la zone linéaire que de manière transitoire.

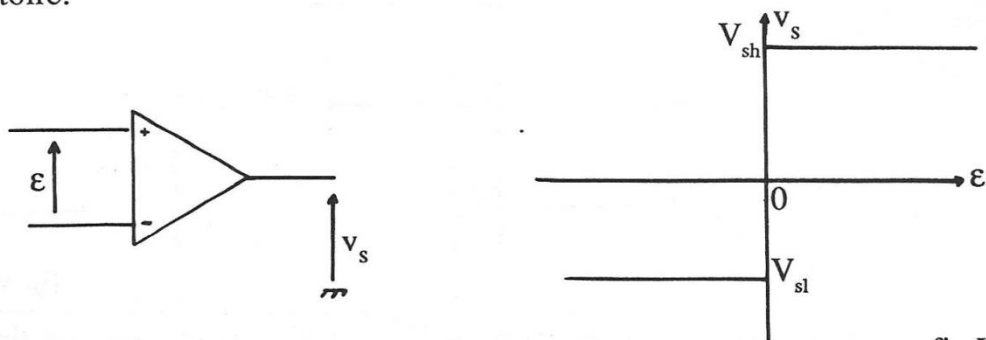


fig V.1

La caractéristique essentielle du fonctionnement en commutation est donc que la tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs distinctes, notées dans la suite V_{sh} et V_{sl} : niveau haut et niveau bas. Le changement d'état de la sortie est la conséquence directe du changement de polarité de la tension différentielle d'entrée.

En basse fréquence, dans la mesure où la vitesse de basculement n'est pas un facteur primordial, il est possible d'utiliser l'A.O. en comparateur.

Jusque là nous avons étudié les applications linéaires de l'A.O., pour cela nous avons supposé que la tension différentielle d'entrée était infiniment faible ou nulle.

Nous nous intéressons maintenant à la **commutation** pour laquelle le **niveau de sortie ne dépend que de la polarité du niveau d'entrée si l'amplification A est infinie**. La tension de sortie ne reflète donc plus les variations de la tension d'entrée, elle est constante à polarité de l'entrée ε fixée. Il est inutile de calculer le rapport $\frac{v_s}{v_e}$, celui-ci n'a aucun sens, puisque les deux grandeurs ne sont pas proportionnelles.

Nous retiendrons que pour un composant idéal (A infini), dont on ne limite pas la tension de sortie:

$$v_s = \text{signe}(\epsilon) \cdot V_{\text{sat}}$$

et: $\epsilon \neq 0$

V_{sat} est la tension de saturation de l'A.O.

Deux configurations sont possibles pour l'A.O.:

- 1) en boucle ouverte donc sans réseau de contre-réaction.
- 2) avec une réaction positive,

A - L'A.O. EN BOUCLE OUVERTE

Nous supposons que l'A.O. est idéal, notamment son amplification A est infinie, les courants i_+ et i_- sont nuls et il n'y a pas de tension de décalage. La caractéristique de l'A.O. est alors la suivante (fig V.2).

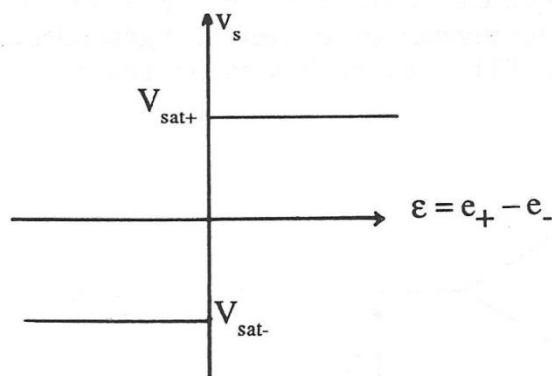


fig V.2

Les tensions V_{sh} et V_{sl} sont les tensions V_{sat+} et V_{sat-} si v_s n'est pas limitée extérieurement.

L'amplification A étant infinie le basculement de la tension de sortie s'effectue au passage par 0 de la tension différentielle d'entrée. L'A.O. se comporte naturellement comme un comparateur non inverseur $v_s > 0$ si $\epsilon > 0$ et $v_s < 0$ si $\epsilon < 0$.

A - 1 Détecteurs de passage par zéro

Si nous appliquons la tension v_e à l'une des entrées $+$ ou $-$ de l'A.O., l'autre étant reliée à la masse, le basculement a lieu quand ϵ passe par 0 donc quand v_e passe par 0 (tableau 1).

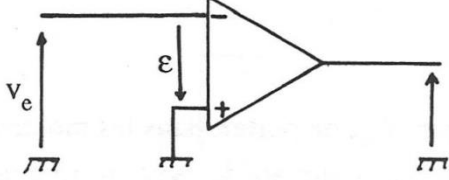
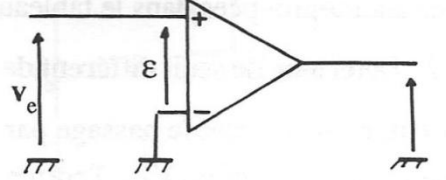
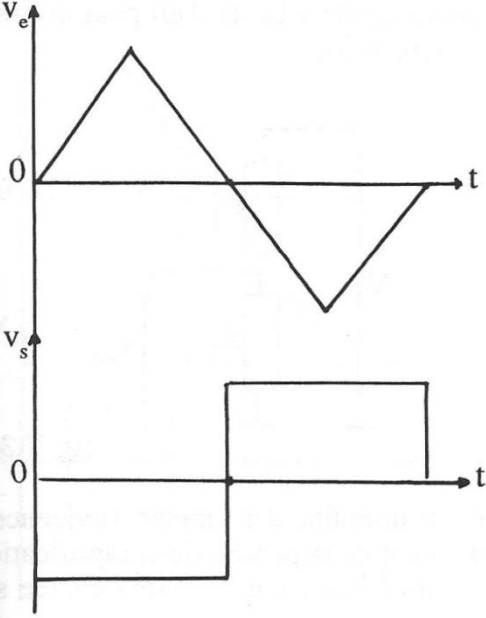
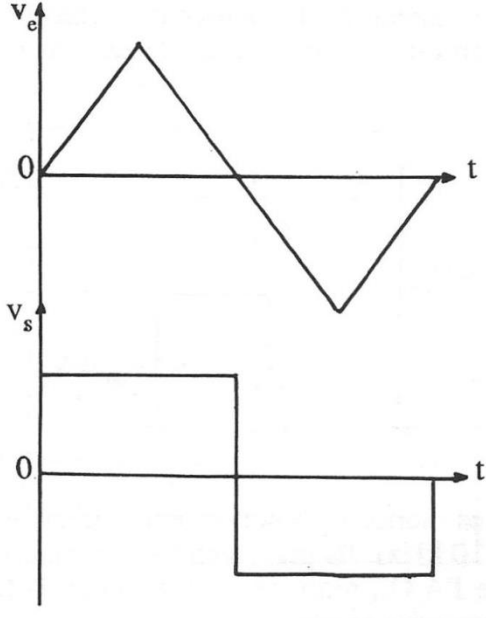
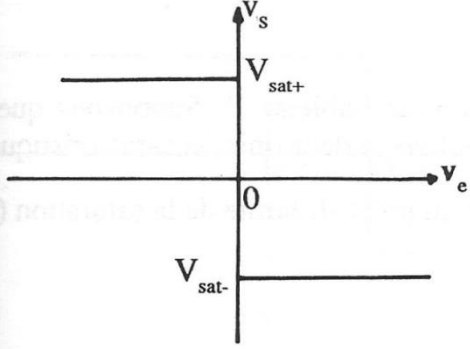
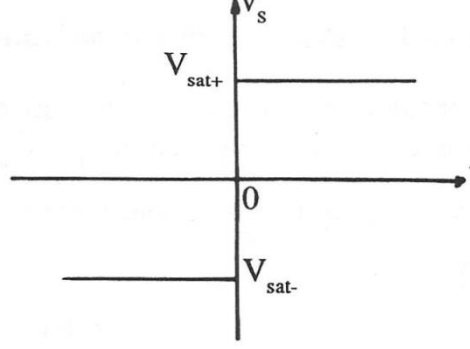
INVERSEUR	NON INVERSEUR
	
	
 <p data-bbox="406 1825 638 1948"> $v_e(t) = -\epsilon$ $v_e > 0 \Rightarrow v_s < 0$ $v_e < 0 \Rightarrow v_s > 0$ </p>	 <p data-bbox="973 1825 1204 1948"> $v_e(t) = \epsilon$ $v_e > 0 \Rightarrow v_s > 0$ $v_e < 0 \Rightarrow v_s < 0$ </p>

tableau 1.

$$v_s = \text{signe}(\varepsilon) \cdot V_{\text{sat}} \quad \text{si } \varepsilon = e_+ - e_-$$

La tension de sortie v_s aura même polarité que v_e ou la polarité inverse suivant l'entrée sur laquelle est appliquée v_e .

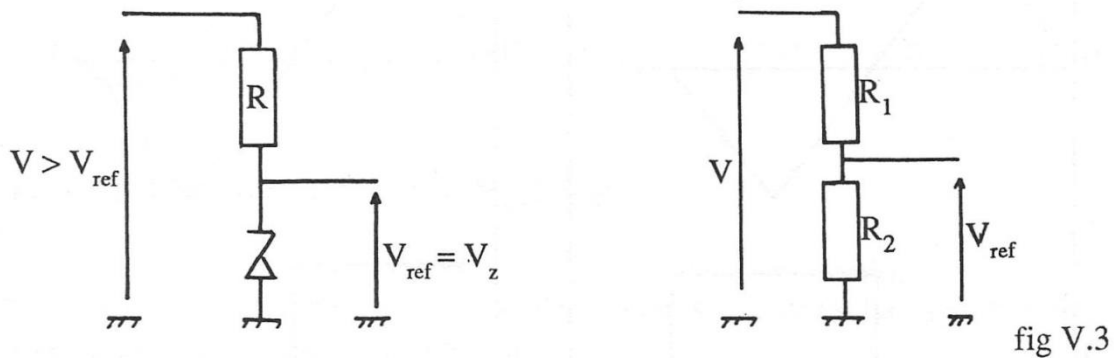
Nous obtenons deux types de montages: inverseur ou non-inverseur. Les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 1.

A - 2 Détecteur de seuil différent de 0

Il suffit, pour détecter le passage par une tension V_{ref} , de porter, dans les montages précédents, au potentiel V_{ref} l'entrée + ou l'entrée - suivant le type de montage souhaité. Les montages sont représentés dans le tableau 2.

Remarque 1: Les caractéristiques sont translatées le long de l'axe horizontal.

Remarque 2: La source de référence peut être réalisée à l'aide d'un pont diviseur résistif ou à l'aide d'une diode zéner par exemple (fig V.3).



Ces montages fonctionnent correctement dans le domaine des basses fréquences ($f < 10$ kHz). Ils présentent notamment l'inconvénient de dépendre de l'amplification A de l'A.O., mais aussi l'avantage d'offrir une impédance d'entrée très élevée sur chacune des entrées.

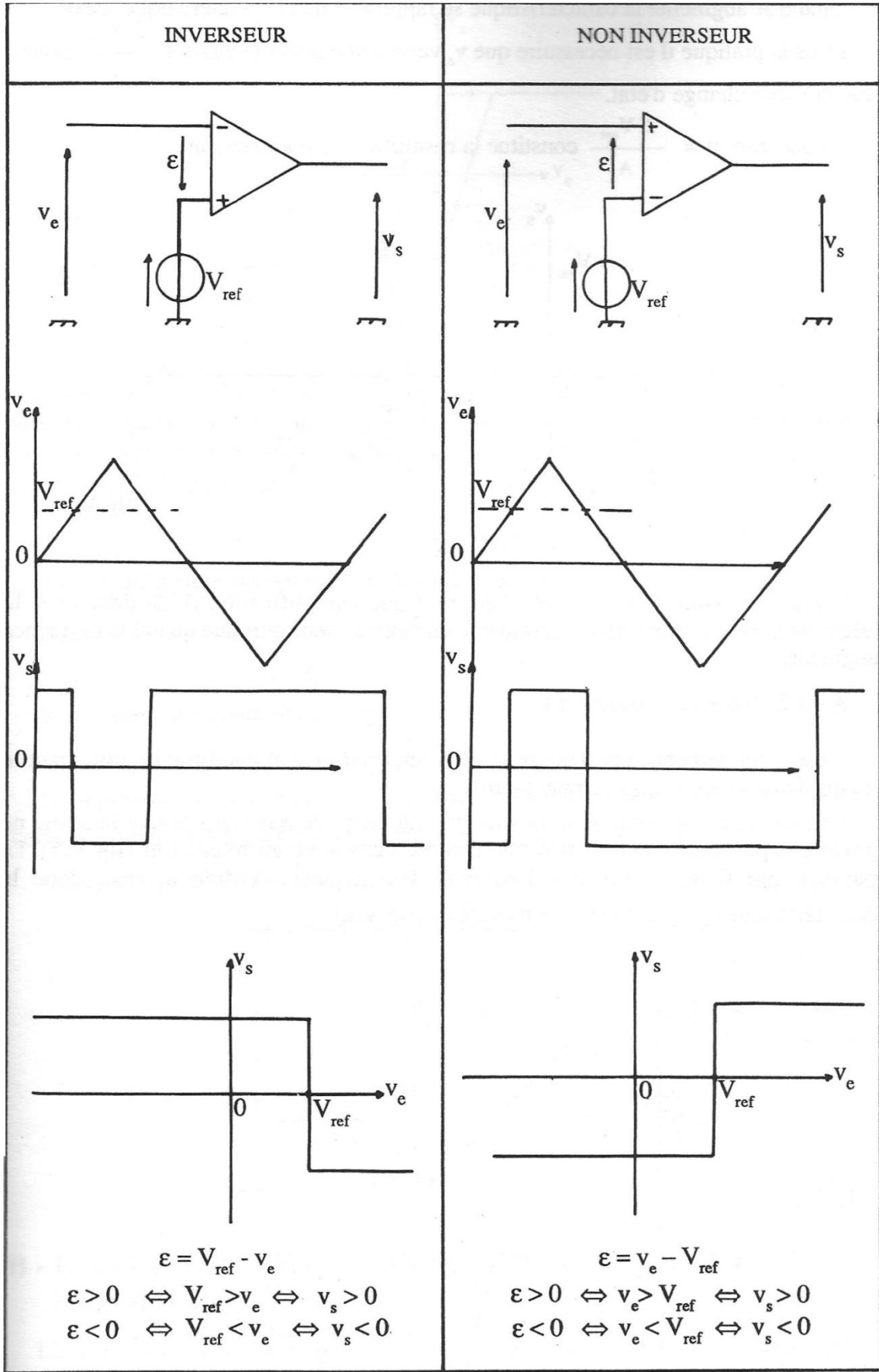


tableau 2

B - L'A.O. AVEC RÉACTION POSITIVE: TRIGGER DE SCHMITT

L'application d'une légère réaction positive, qui consiste à réinjecter une fraction de la tension de sortie en série avec l'entrée + de l'A.O., conduit à un fonctionnement meilleur des comparateurs, les basculements étant accélérés. Ceci s'accompagne de l'introduction d'un hystérésis, c'est-à-dire que les basculements correspondants aux flancs montants et descendants se produisent pour des seuils de tensions différents.

B - 1 Réaction positive

Soit l'A.O. de la fig V.8. Le circuit de réaction est réalisé à l'aide du pont diviseur R_1, R_2 .

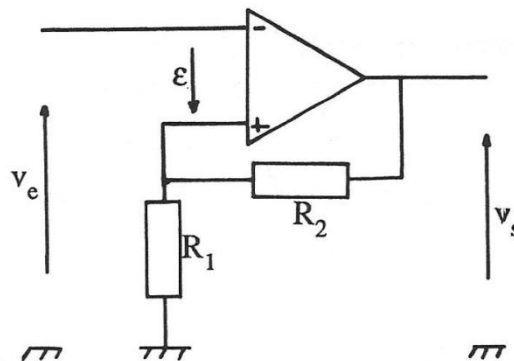


fig V.8

B - 2 Trigger inverseur

Nous considérons le montage de la fig V.8. La tension d'entrée est appliquée à l'entrée - de l'A.O.

v_s et ϵ sont toujours liées par le fait que v_s bascule quand ϵ change de signe: A.O. idéal.

v_s peut prendre 2 valeurs: V_{sh} et V_{sl} .

B - 2-1 $v_s = V_{sh} > 0$

$$e_+ = \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_1 + R_2}$$

$$\epsilon = e_+ - v_e$$

v_s est positive si $v_e < e_+$

ce qui suppose que:

$$v_e < \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_1 + R_2}$$

Posons:
$$V_{bh} = \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_1 + R_2} \text{ seuil de basculement haut;}$$

v_e évolue à v_s constant tant que $\varepsilon > 0$ ou $v_e < V_{bh}$.

v_s bascule dès que ε devient inférieur à zéro, alors $v_s = V_{sl} < 0$

B - 2-2 $v_s = V_{sl} < 0$

$$e_+ = V_{bl} = \frac{R_1 \cdot V_{sl}}{R_1 + R_2} \text{ seuil de basculement bas;}$$

$$\varepsilon = e_+ - v_e$$

$$\varepsilon = V_{bl} - v_e$$

v_s reste égal à V_{sl} tant que $\varepsilon < 0$. v_e peut évoluer jusqu'à ce que ε soit égal à 0.

$$v_s = V_{sl} \text{ si } v_e > V_{bl}$$

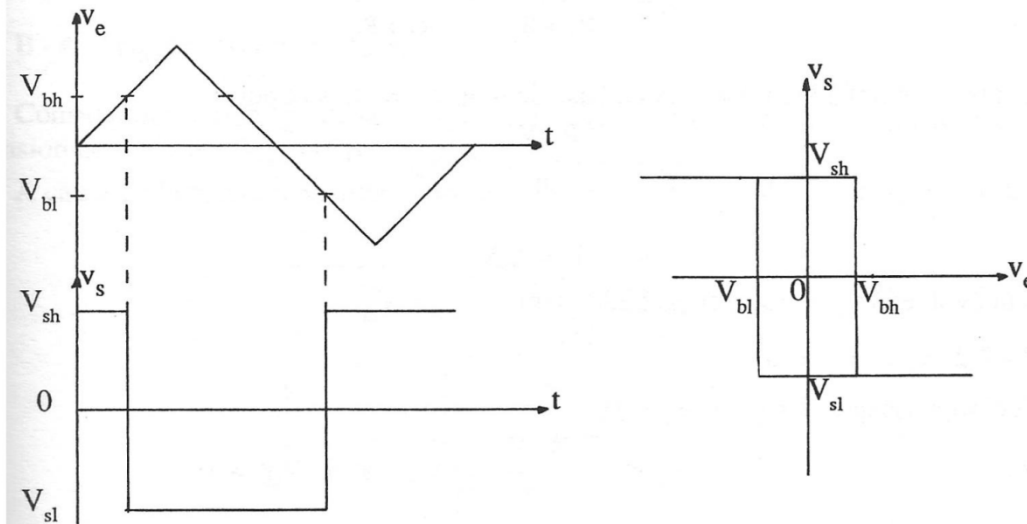


fig V.9

Nous avons représenté ci-contre (fig V.9), les oscillogrammes correspondants à une entrée triangulaire et la caractéristique $v_s(v_e)$.

Le cycle d'hystérésis est centré sur 0 (A.O. idéal), l'hystérésis est représenté par l'écart δV :

$$\delta V = V_{bh} - V_{bl}$$

$$\delta V = \frac{R_1 \cdot (V_{sh} - V_{sl})}{R_1 + R_2}$$

Si $|V_{bh}| = |V_{bl}| = V_{sat}$:

$$\delta V = \frac{2 R_1 \cdot V_{sat}}{R_1 + R_2}$$

L'hystérésis est réglable par R_1 et (ou) R_2 .

B - 3 Trigger non inverseur

Le montage est représenté fig V.10. Toujours à cause de la réaction positive la sortie v_s ne peut prendre que 2 valeurs V_{sh} et V_{sl} .

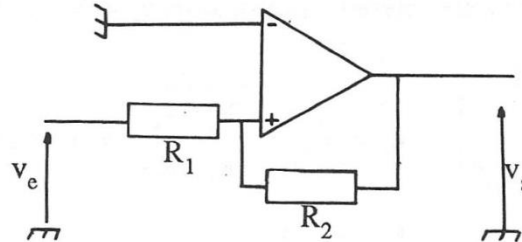


fig V.10

B - 3-1 $v_s = V_{sh} > 0$

Ceci suppose que $\varepsilon > 0$, donc $e_+ > 0$. Le théorème de superposition permet d'écrire:

$$e_+ = \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 \cdot v_e}{R_1 + R_2}$$

L'entrée – étant à la masse, l'A.O. bascule pour $e_+ = 0$, soit pour:

$$v_e = - \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_2} = V_{bl} < 0$$

$$\varepsilon > 0 \text{ si } v_e > V_{bl}$$

v_e peut évoluer à v_s constant et égal à V_{sh} tant que $v_e > V_{bl}$.

B - 3-2 $v_s = V_{sl} < 0$

Ceci suppose que $\varepsilon < 0$ ou $e_+ < 0$.

donc:

$$v_e < - \frac{R_1 \cdot V_{sl}}{R_2} = V_{bh} \text{ avec } V_{bh} > 0$$

v_e peut évoluer à v_s constant et égal à V_{sl} tant que $v_e < V_{bh}$, l'A.O. bascule quand il y a égalité.

Les oscillogrammes sont représentés ci-contre, ainsi que la caractéristique $v_s(v_e)$ (fig V.11 a).

L'hystérésis du montage est égal à:

$$\delta V = \frac{R_1 \cdot (V_{sh} - V_{sl})}{R_2}$$

Si $|V_{bh}| = |V_{bl}| = V_{sat}$:

$$\delta V = \frac{2 R_1 \cdot V_{sat}}{R_1 + R_2}$$

L'hystérésis est réglable grâce aux résistances R_1 et R_2 , mais il faut noter que dans ce montage l'impédance interne de la source s'ajoute à R_1 et intervient dans la détermination des seuils. Le cycle d'hystérésis est représenté (fig V.11 b), il est centré.

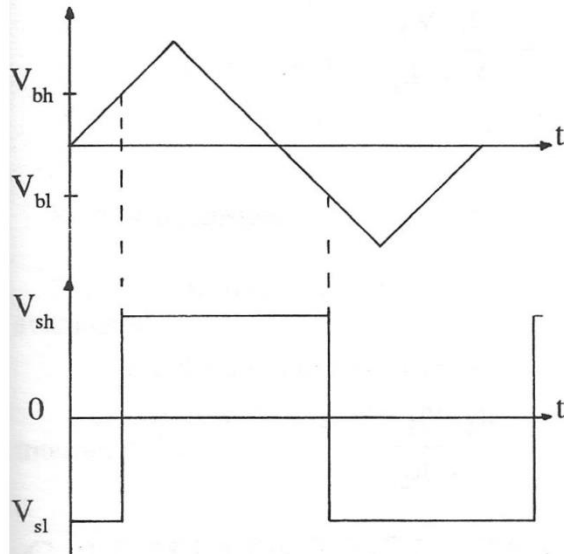


fig V.11 a

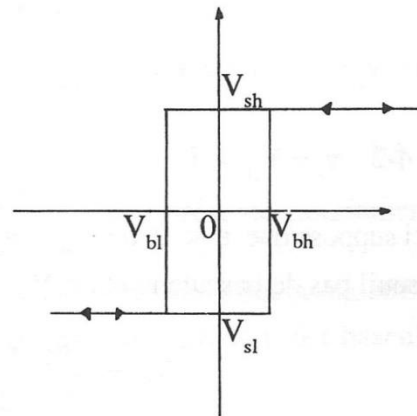


fig V.11 b

B - 4 Trigger inverseur décentré

Considérons le montage de la fig V.12, dans lequel nous avons ajouté une source de tension de référence $V_{ref} > 0$.

A cause de la réaction positive la sortie ne peut prendre que deux valeurs V_{sh} et V_{sl} .

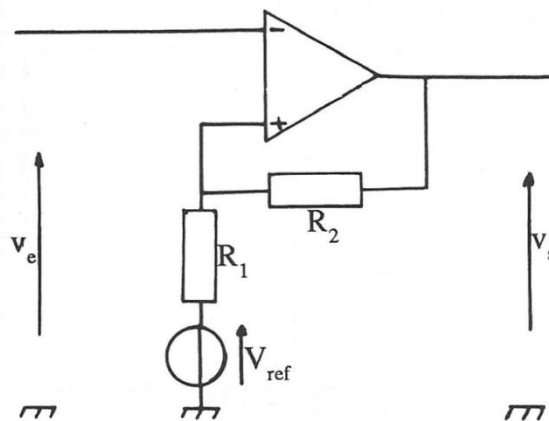


fig V.12

B - 4 1 $v_s = V_{sh} > 0$

Ceci suppose que $\varepsilon > 0$. Le théorème de superposition permet d'écrire:

$$e_+ = \frac{R_2 \cdot V_{ref}}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_1 + R_2}$$

$$\varepsilon = e_+ - v_e$$

Donc $v_s = V_{sh}$ si:

$$\frac{R_2 \cdot V_{ref}}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_1 + R_2} > v_e$$

Le basculement a lieu dès que ε change de signe, le seuil de basculement est:

$$V_{bh} = \frac{R_2 \cdot V_{ref}}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot V_{sh}}{R_1 + R_2}$$

Donc $v_s = V_{sh}$ tant que $v_e < V_{bh}$

B - 4-2 $v_s = V_{sl} < 0$

Ceci suppose que $\varepsilon < 0$ ou $e_+ < v_e$

Le seuil bas de basculement est V_{bl} :

$$V_{bl} = \frac{R_2 \cdot V_{ref}}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot V_{sl}}{R_1 + R_2}$$

$$V_{bl} < 0 \text{ si } R_2 \cdot V_{ref} < R_1 \cdot |V_{sl}|$$

$$v_s = V_{sl} \text{ tant que } v_e > V_{bl}$$

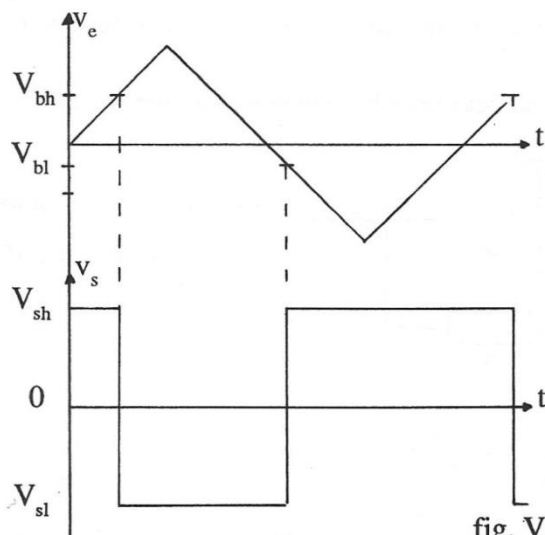


fig. V.13a

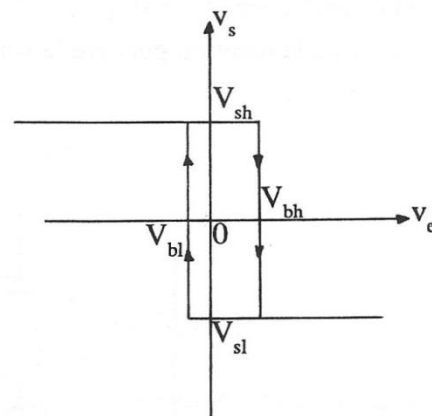


fig. V.13b

Nous avons représenté les oscillogrammes caractéristiques ci-contre (fig V.13), ainsi que la caractéristique $v_s(v_e)$.

Si $|V_{sh}| = |V_{sl}|$ les quantités V_{bl} et V_{bh} sont symétriques par rapport à la valeur:

$$\frac{R_2 \cdot V_{ref}}{R_1 + R_2}$$

Le cycle d'hystérésis est décentré par rapport au 0. Si $V_{ref} = 0$ le trigger est dit **CENTRÉ**.

La valeur de l'hystérésis est:

$$\delta V = V_{bh} - V_{bl}$$

$$\delta V = \frac{(V_{sh} - V_{sl}) R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } |V_{sh}| = |V_{sl}| = V_{sat}$$

$$\delta V = \frac{2 R_1 \cdot V_{sat}}{R_1 + R_2}$$

B - 5 Conclusion

L'utilisation d'un A.O. muni d'une réaction positive présente notamment deux avantages:

- 1) La réaction positive accélère les basculements par son effet cumulatif.
- 2) L'hystérésis réglable qui apparaît peut permettre d'éviter des basculements intempestifs.