

Utiliser des amplificateurs opérationnels comme comparateurs

Par Tim Claycomb, ingénieur d'applications, [amplificateurs à usage général](#), Texas Instruments

On a souvent recours à des comparateurs pour distinguer deux états d'un système, par exemple : un niveau logique en sortie haut (5 V) en situation de surtension et bas (0 V) en fonctionnement normal. Outre les comparateurs conçus en tant que tels, il est possible d'utiliser des amplificateurs opérationnels (ampli op).

Ces derniers présentent plusieurs avantages : moins coûteux, ils nécessitent moins de place sur le circuit imprimé. Cependant, vous devrez tenir compte d'un certain nombre de spécifications et de caractéristiques. Dans le présent article, j'examinerai ces éléments et proposerai une procédure de configuration.

Éléments de conception

Pour monter un amplificateur opérationnel en comparateur, vous devez tenir compte de la présence de diodes de clamp (diodes dos-à-dos), de la tension d'entrée en mode commun, de la vitesse de balayage et du temps de rétablissement après surcharge. La Figure 1 illustre une configuration de comparateur classique utilisant un ampli op.

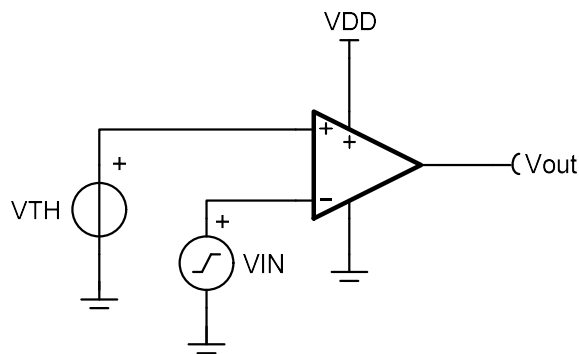


Figure 1 : Configuration de comparateur classique utilisant un ampli op

Diodes de clamp

Les diodes de clamp, également appelées diodes dos-à-dos, protègent les transistors de l'étage d'entrée contre les tensions différentielles trop élevées. La Figure 2 représente des diodes de clamp internes.

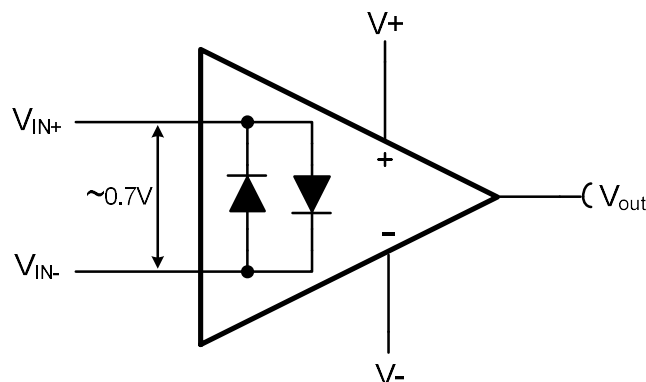


Figure 2 : Diodes de clamp

Un ampli op doté de diodes de clamp ne peut être utilisé comme comparateur. En effet, si l'on y appliquait un

signal différentiel supérieur à la chute de tension dans les diodes, l'une des diodes situées entre les entrées inverseuse et non inverseuse conduirait le courant, occasionnant un court-circuit entre ces entrées. Un excès de courant traverserait alors la diode en question, risquant d'endommager le dispositif. La Figure 3 illustre cet effet, la diode d'entrée conduisant le courant depuis une source de référence (V_{Ref}) jusqu'à la tension d'entrée (V_{in}).

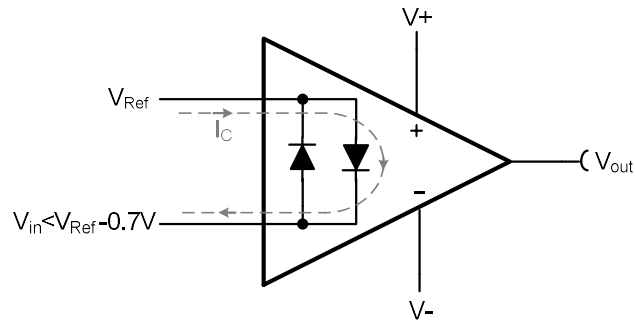


Figure 3 : La diode de clamp conduit le courant lorsque la tension différentielle en entrée est trop élevée.

Tension d'entrée en mode commun

La plage de tension en mode commun définit le domaine de fonctionnement linéaire de l'étage d'entrée d'un ampli op. La tension au niveau des entrées doit être comprise dans cette plage sous peine d'observer des résultats indésirables, tels qu'une inversion de phase.

Délai de propagation

Dans un montage comparateur, le délai de propagation correspond à la durée totale nécessaire pour que la tension de sortie passe de l'état haut à l'état bas, ou inversement, après le changement du signal d'entrée. La durée totale de la transition dépend du temps de rétablissement après surcharge et de la vitesse de balayage de l'ampli op. L'Équation 1 permet de la calculer :

$$t_{TOTAL} = t_{OL} + t_s \quad (1)$$

où t_{OL} est le temps de rétablissement après surcharge et t_s la durée de balayage.

La tension d'entrée ne doit pas varier avant que la tension de sortie n'atteigne sa valeur cible. La Figure 4 illustre la forme d'onde classique de la tension de sortie d'un ampli op monté en comparateur. Notez que la transition arrive à son terme avant que le signal d'entrée ne change.

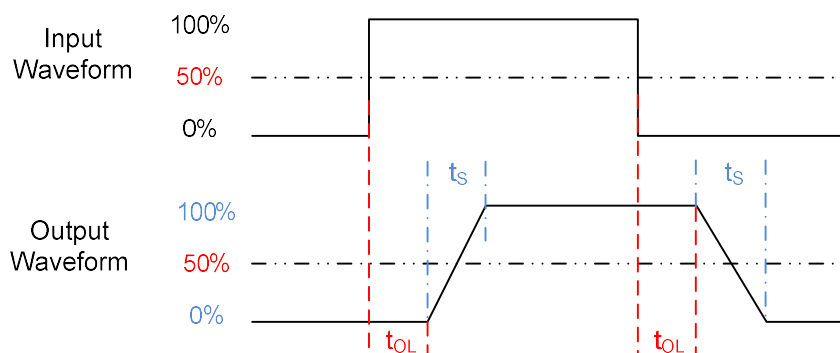


Figure 4 : Délai de propagation

Temps de rétablissement après surcharge

Le temps de rétablissement après surcharge est le temps nécessaire pour que la tension de sortie commence à quitter l'état de saturation après un changement de la tension d'entrée. Si le temps de rétablissement après surcharge de l'ampli op est trop long pour un signal d'entrée haute fréquence, la synchronisation s'en trouvera affectée, car le signal de sortie ne pourra pas atteindre le niveau d'amplitude de l'état haut ou de l'état bas avant que le signal d'entrée ne change à nouveau.

La Figure 5 montre comment le rétablissement après surcharge peut affecter la synchronisation sur un ampli op monté en comparateur. Dans cet exemple, t_{TOTAL} excède le temps de transition admissible en raison de t_{OL} . La ligne verte en pointillés correspond à une synchronisation correcte, le rétablissement après surcharge étant suffisamment rapide par rapport à la fréquence du signal d'entrée. La ligne continue figurant la forme d'onde de sortie correspond à un temps de rétablissement après surcharge trop long. Notez que le signal d'entrée change avant que le signal de sortie ait atteint l'amplitude cible, ce qui peut générer des erreurs de synchronisation (ΔV).

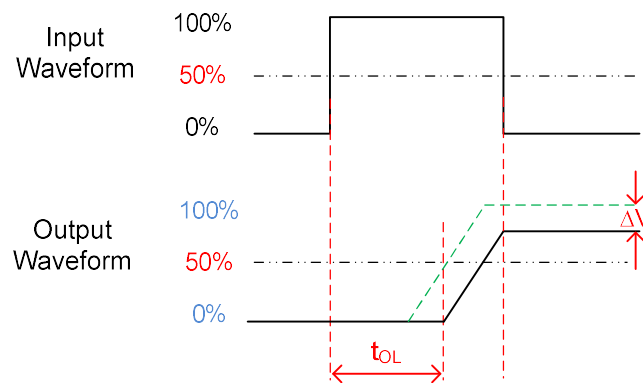


Figure 5 : Impact du temps de rétablissement après surcharge sur la synchronisation

Vitesse de balayage

La vitesse de balayage est la vitesse de variation maximale de la tension de sortie d'un ampli op. Elle affecte le temps de montée et de descente de la forme d'onde représentée par la Figure 4. Sur les montages comparateurs, le signal de sortie doit généralement passer d'un état haut à un état bas, ou inversement, dès que la tension d'entrée dépasse la valeur seuil. La vitesse de balayage est une spécification importante, car elle limite la vitesse à laquelle la tension produite peut varier. Si elle est lente, le signal de sortie met plus longtemps à atteindre son amplitude cible, ce qui peut générer des erreurs de synchronisation lorsque le signal d'entrée change avant que la tension de sortie ait pu parvenir à l'état haut ou à l'état bas.

La Figure 6 montre comment la vitesse de balayage affecte la synchronisation sur un ampli op monté en comparateur. Dans cet exemple, t_{TOTAL} excède le temps de transition admissible en raison de t_s . La ligne verte en pointillés correspond à une synchronisation correcte, la vitesse de balayage étant suffisamment rapide pour que le signal de sortie atteigne l'état haut ou bas avant que le signal d'entrée ne change. La ligne continue figurant la forme d'onde de sortie correspond à une vitesse de balayage trop faible. Notez que le signal d'entrée change avant que le signal de sortie ait atteint l'amplitude cible, ce qui peut générer des erreurs de synchronisation (ΔV).

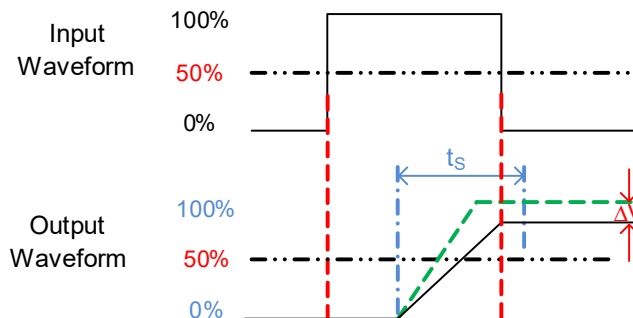


Figure 6 : Influence de la vitesse de balayage sur la synchronisation

Le délai de propagation couvre les effets du temps de rétablissement après surcharge et de la vitesse de balayage, chacun affectés par l'amplitude du signal différentiel en entrée. Augmenter la tension différentielle en entrée ou la tension de surmultiplication peut réduire ce délai. La Figure 7 montre l'impact de différentes amplitudes de tension de surmultiplication en entrée sur le délai de propagation du [TLV9062](#). Notez que plus cette tension est élevée, plus le délai de propagation est rapide. Des tensions de surmultiplication inférieures à 100 mV entraînent des délais de propagation plus longs, car le temps de rétablissement après surcharge augmente et la vitesse de balayage diminue.

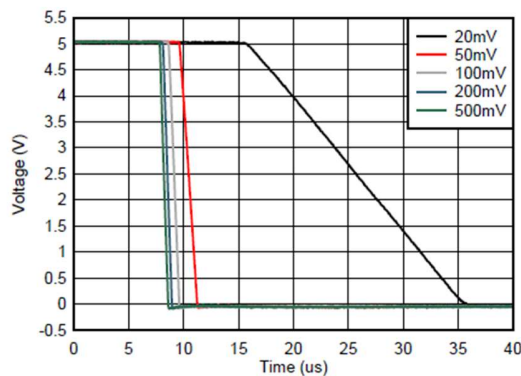


Figure 7 : Tension de surcharge en entrée vs. délai de propagation du front descendant

Procédure de configuration

Il est possible de créer une configuration d'ampli op fonctionnant comme un comparateur en seulement deux étapes :

- définir la tension de seuil à l'aide d'un diviseur à résistances ou d'une tension de référence ;
- sélectionner un ampli op respectant toutes les exigences de conception mentionnées ici.

La Figure 8 représente le TLV9062 monté en comparateur inverseur. Le composant n'est pas doté de diodes de clamp (condition nécessaire pour un montage comparateur), présente des entrées/sorties rail-à-rail et affiche une vitesse de balayage de 6,5 V/ μ s ainsi qu'un temps de rétablissement après surcharge de 200 ns.

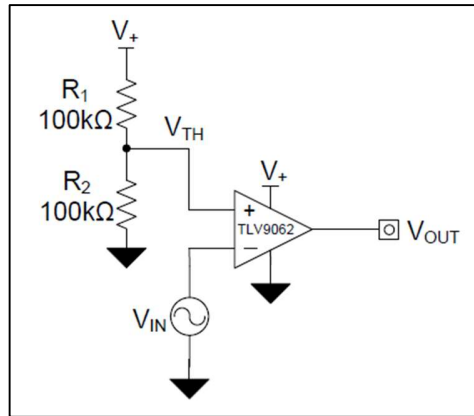


Figure 8 : Application de comparateur utilisant le TLV9062

Pour obtenir une topologie de comparateur inverseur, connectez le signal d'entrée, V_{IN} , à la borne inverseuse de l'ampli op et la tension de seuil, V_{TH} , à la borne non inverseuse. Dans cette configuration, le signal de sortie passe à l'état haut, vers l'alimentation positive (V_+) lorsque le signal d'entrée est inférieur à la tension de seuil, et à l'état bas, vers l'alimentation négative (masse) lorsque le signal d'entrée est supérieur à la tension de seuil.

La tension de seuil du circuit est définie par un diviseur à résistances R_1 et R_2 et la tension d'alimentation V_+ . Elle est calculée à l'aide de l'Équation 2. Définir une valeur égale pour R_1 et R_2 permet de fixer la tension de seuil à la moitié de la tension d'alimentation.

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_+ = \frac{100 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega} \times 5 \text{ V} = 2.5 \text{ V} \quad (2)$$

Courbes d'application

Pour valider le bon fonctionnement du comparateur, on utilise une forme d'onde triangulaire de 0 V à 5 V. Dans la mesure où elle correspond à un signal d'entrée qui évolue lentement, elle permet de déterminer facilement à quel moment le signal de sortie passe de l'état haut à l'état bas, ou inversement. La Figure 9 représente les formes d'onde du signal d'entrée (en noir) et du signal de sortie (en rouge). Notez que le signal de sortie change après que le signal d'entrée ait franchi la tension de seuil, soit 2,5 V.

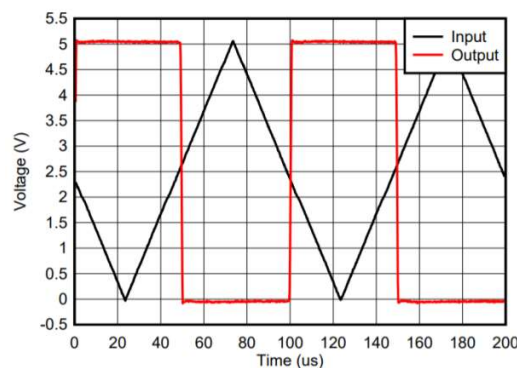


Figure 9 : Réponse du comparateur à la tension en entrée (délai de propagation inclus)

Sur la Figure 10, l'agrandissement des fronts montant et descendant du signal de sortie de la Figure 9 illustre les effets potentiels de la vitesse de balayage sur la synchronisation du circuit. Il faut environ $1 \mu\text{s}$ au TLV9062 pour passer de l'état bas à l'état haut (et inversement).

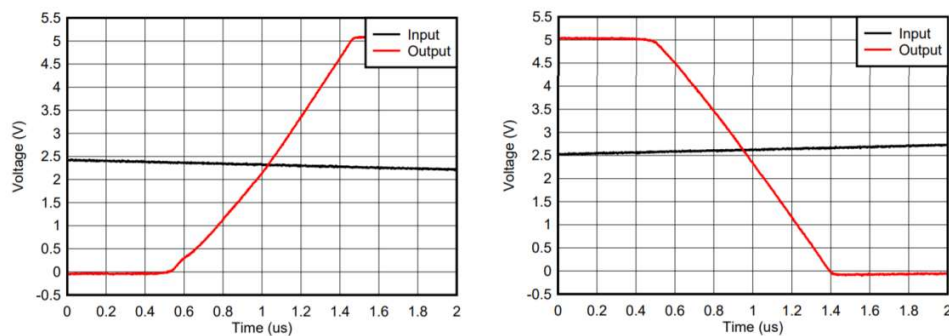


Figure 10 : Front montant (à droite) et front descendant (à gauche)

Conclusion

Les ampli op montés en comparateurs sont moins coûteux et nécessitent moins d'espace sur le circuit imprimé que les comparateurs conçus en tant que tels. Cependant, quatre caractéristiques fondamentales doivent être prises en compte pour garantir les performances attendues :

- les diodes de clamp ;
- la tension d'entrée en mode commun ;
- la vitesse de balayage ;
- le temps de rétablissement après surcharge.

L'ampli op ne doit pas être doté de diodes de clamp, sans quoi un excès de courant pourrait circuler au niveau des entrées et endommager le dispositif. Ne dépassez pas la tension d'entrée en mode commun sous peine de risquer des effets indésirables, tels qu'une inversion de phase. Enfin, tenez compte de la vitesse de balayage et du rétablissement après surcharge pour calculer le temps de transition du signal de sortie afin d'éviter les erreurs de synchronisation et de mesure sur le circuit. Sachant comment chacune de ces caractéristiques affecte les performances, vous serez en mesure de concevoir un système robuste et précis.

Références (en anglais) :

1. [TI Precision Labs – Formation sur les ampli op.](#)
2. Trump, Bruce. « [Peut-on utiliser les ampli op comme comparateurs ?](#) » Article technique de la communauté TI E2E™, 14 mars 2012.