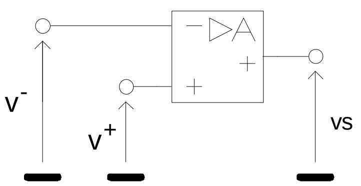
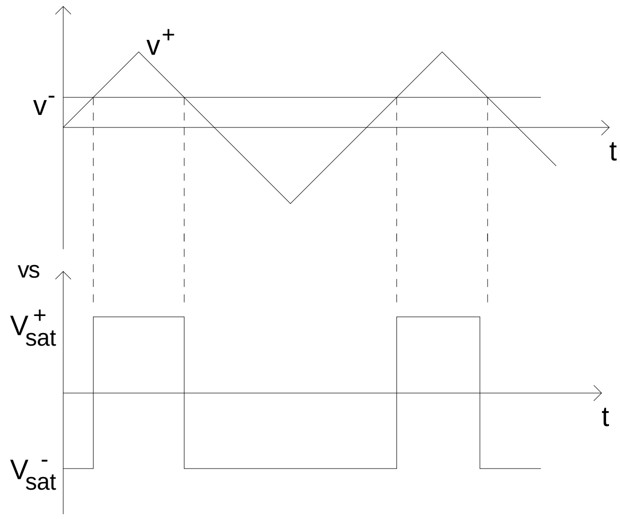
AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL EN REGIME NON LINEAIRE

Dans ce chapitre l'amplificateur différentiel intégré sera toujours considéré comme parfait, mais la tension de sortie ne pourra prendre que deux valeurs : V^+_{sat} et V^-_{sat} qui sont les tensions de saturation positive et négative de l'amplificateur.
Puisque l' AOP ne fonctionne plus en régime linéaire il n'y a plus proportionnalité entre les tensions d'entrée et de sortie, et la **tension différentielle d'entrée v_d ne peut plus être considérée comme nulle**. En revanche les courants d'entrée le seront.

1. COMPARATEUR À UN SEUIL

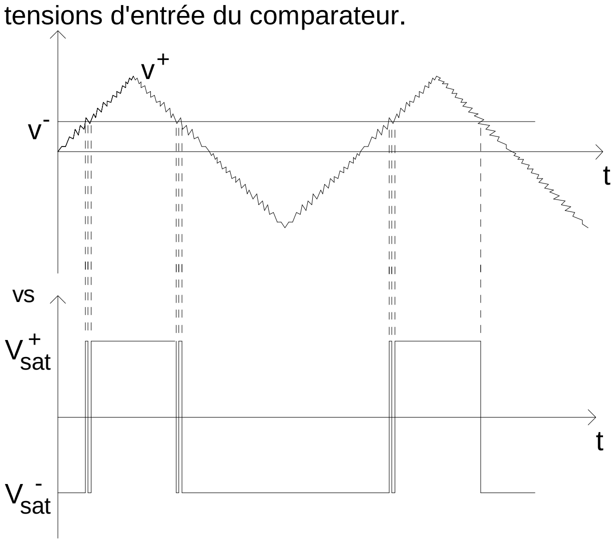




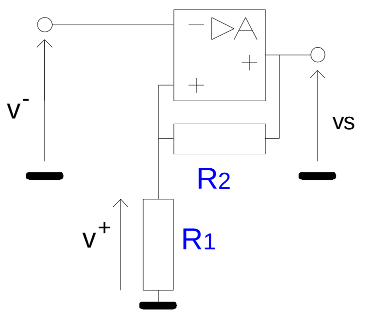
Si $v^+ < v^-$ alors $v_S = V^-_{sat}$, alors que si $v^+ > v^-$, $v_S = V^+_{sat}$, d'où les chronogrammes obtenus avec un signal triangulaire v^+ et une tension continue v^-.

2. COMPARATEUR À DEUX SEUILS (À HYSTÉRÉSIS OU TRIGGER)

Si le signal est entâché de bruit, il se produira plusieurs basculements au moment de l'égalité des tensions d'entrée du comparateur.



Pour remédier à ce problème, on réalise un comparateur à deux seuils.

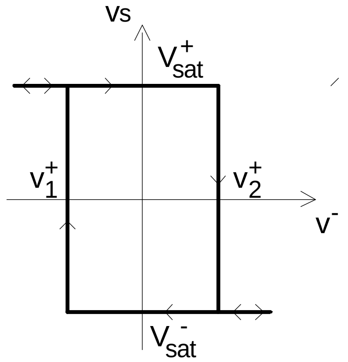


Observons la figure ci-dessus : quelle que soit la valeur de la tension v^- , la sortie de l'AOP est en saturation et $v^+ = \beta.v_S$ avec :

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

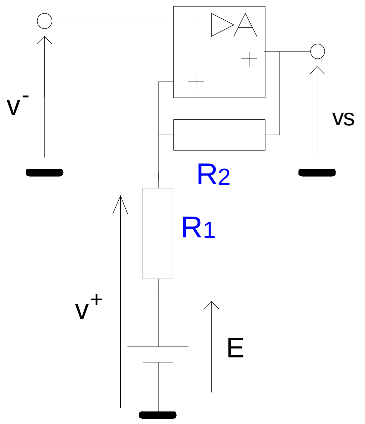
soient : $v^+_1 = \beta.V^-_{sat}$ et $v^+_2 = \beta.V^+_{sat}$

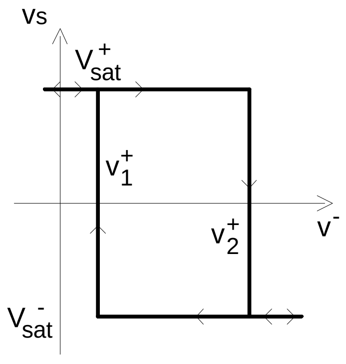
- Supposons $v^- < v^+$:
  $v_S = V^+_{sat}$ et $v^+ = \beta.v_S > 0$
- Faisons croître v^- :
  La sortie change d'état lorsque $v^- = \beta.V^+_{sat}$, v_S prenant alors la valeur $v_S = V^-_{sat} < 0$.
  Si l'on continue à faire croître la tension v^- la sortie reste dans cet état.
- Faisons maintenant décroître v^- :
  Pour que la sortie change d'état, il faut maintenant que : $v^- = \beta.V^-_{sat}$, v_S reprenant alors sa valeur initiale V^+_{sat} et y restant tant que v^- décroît, d'où la caractéristique de transfert :



Si l'on désire deux tensions de seuil positives il suffit d'ajouter au montage précédent une source de tension continue conformément au montage ci-dessous, la caractéristique de transfert étant translatée suivant l'axe des abscisses, les tensions de seuil ayant pour valeur :

$v^+_1 = (1-\beta).E + \beta.V^-_{sat}$ et $v^+_2 = (1-\beta).E + \beta.V^+_{sat}$





Pour que la tension v^+_1 soit positive il est nécessaire de choisir :

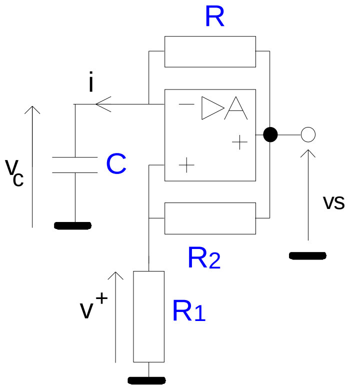
$E > \beta.\ V^-_{sat} / (1-\beta)$.

La largeur du cycle d'hystérésis devra être supérieure à l'amplitude du bruit superposé au signal triangulaire.

3. MULTIVIBRATEUR ASTABLE

3.1 Principe

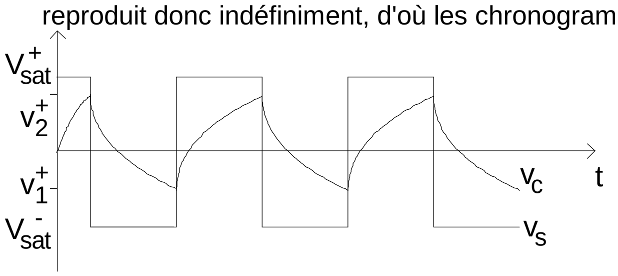
Son schéma de principe utilise un comparateur à deux seuils auquel on ajoute un circuit RC, le signal d'entrée étant supprimé.



Supposons qu'à l'instant t = 0, on mette le circuit sous tension, le condensateur C étant initialement déchargé; la sortie passera alors instantanément en saturation positive ou négative.

Nous choisirons arbitrairement : $v_S(0^+) = V^+_{sat}$.

- Le condensateur se charge donc à travers la résistance R sous la tension V^+_{sat} jusqu'à ce que la tension $v^- = \beta.V^+_{sat}$ à l'instant t_1; la tension v_S basculant alors à V^-_{sat} .
- Le condensateur se charge alors sous la tension V^-_{sat} jusqu'à l'instant t_2 où $v^- = \beta.V^-_{sat}$, v_S repassant instantanément à V^+_{sat} .
- Le condensateur se recharge à nouveau sous la tension V^+_{sat} jusqu'à l'instant t_3 où $v^- = \beta.V^+_{sat}$. Nous nous retrouvons alors dans les mêmes conditions qu'à l'instant t_1 ; la même séquence se reproduit donc indéfiniment, d'où les chronogrammes :



3.2 Equations : période

La tension aux bornes du condensateur est liée à la tension de sortie par l'équation différentielle :

$$\tau\frac{dv_c}{dt} + v_c = v_s = cte \quad \text{avec} \quad \tau = R.C$$

équation qui a pour solution :

$v_c(t) = A.e^{-t/\tau} + v_S$ où A est une constante d'intégration.

Si on appelle v_{CO} la tension initiale (à t = 0) aux bornes du condensateur, alors $A = v_{CO} - v_S$,d'où :

$v_c(t) = v_S.(1 - e^{-t/\tau}) + v_{CO}.e^{-t/\tau} = (v_{CO} - v_S).e^{-t/\tau} + v_S$

De cette équation on peut déduire le temps que met la tension v_C pour passer de la valeur v_{CO} à la valeur $v_c(t)$:

$$t = \tau.\mathrm{Ln}\frac{v_s - v_{co}}{v_s - v_c(t)}$$

Prenons comme origine des temps l'instant t_1 où V_S bascule à V^-_{sat}, V_C ayant alors pour valeur $\beta.V^+_{sat}$.
On considère généralement que les tensions de saturation sont symétriques donc :
$-V^-_{sat} = V^+_{sat} = V_{sat}$
Si on appelle θ_1 la durée de l'état bas en sortie, et puisque $v_c(\theta_1) = -\beta.V_{sat}$:

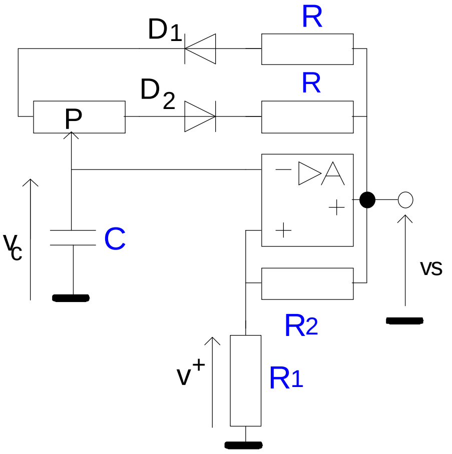
$$\theta_1 = \tau.\mathrm{Ln}\frac{1+\beta}{1-\beta} = \tau.\mathrm{Ln}\left(1+\frac{2.R_1}{R_2}\right)$$

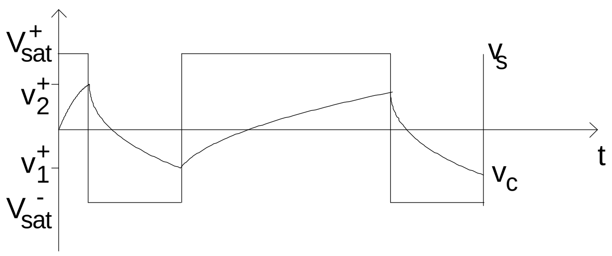
d'où la période :

$$T = 2.\theta_1 = 2\tau.\mathrm{Ln}\left(1+\frac{2.R_1}{R_2}\right) \quad \text{avec} \quad \tau = R.C$$

3.3 Modification du rapport cyclique

Le rapport cyclique est le rapport entre la durée à l'état haut et la période du signal de sortie. Pour le modifier on réalise le montage suivant :





Le condensateur se charge sous V_{sat} avec la constante de temps $(R + \gamma.P).C$ et sous $-V_{sat}$ avec la constante de temps $(R + (1-\gamma).P).C$.
En appelant θ_1 la durée à l'état bas et θ_2 celle à l'état haut, on obtient :

$$\theta_2 = (R+\gamma.P).C.\mathrm{Ln}\left(1+\frac{2.R_1}{R_2}\right)$$

$$\theta_1 = [R+(1-\gamma).P].C.\mathrm{Ln}\left(1+\frac{2.R_1}{R_2}\right)$$

Le signal aura donc pour période :

$$T = (2.R+P).C.\mathrm{Ln}\left(1+\frac{2.R_1}{R_2}\right)$$

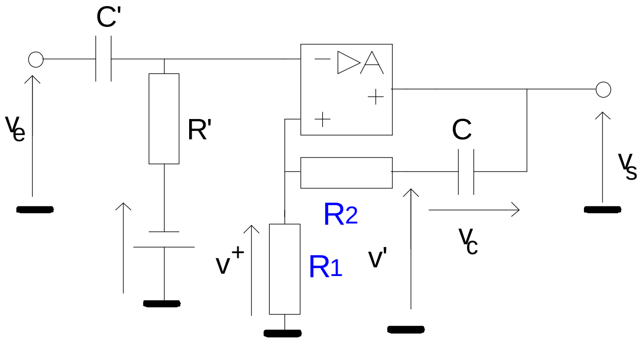
et pour rapport cyclique :

$$\alpha = \frac{\theta_2}{T} = \frac{R+\gamma.P}{2.R+P}$$

Les calculs ont été faits en supposant les diodes parfaites; on remarquera qu'en théorie la période est indépendante de la position du curseur du potentiomètre.
Les multivibrateurs astables sont utilisés pour générer des signaux rectangulaires de période et de rapport cyclique variables.

4. MONOSTABLE

4.1 Principe



Le circuit R'.C' d'entrée transforme les fronts de tension en impulsions. Pour un fonctionnement correct du montage la constante de temps R'.C' doit être faible devant la constante de temps R.C avec $R = R_1 + R_2$ (sinon la durée de l'impulsion de sortie dépendra de la constante de temps R'.C').

Au repos $v^- = -E$, l'intensité du courant dans le condensateur C est nulle, v^+ et v' sont donc nulles et la sortie de l'AOP est en saturation positive car $v^+ > v^-$.

Si V_e présente un front positif d'amplitude supérieure à E, V_s passe de V_{sat} à $-V_{sat}$.

Le front de tension de sortie $-2.V_{sat}$ est transmis par C et v' passe instantanément de 0 à $-2V_{sat}$, quant à la tension v^+, elle vaut alors $-2\beta.V_{sat}$, contribuant ainsi à maintenir la sortie en saturation négative lorsque v^- atteint à nouveau $-E$ (à condition que $-2\beta.V_{sat} < -E$).

Le condensateur se charge alors sous la tension $-V_{sat}$, les tensions v^+ et v' tendant exponentiellement vers 0 V. Mais lorsque v^+ atteint -E la sortie bascule à $+V_{sat}$ et y reste (état stable).

Le front de $2.V_{sat}$ en sortie est transmis par C, v^+ passant instantanément de -E à $2.\beta V_{sat}-E$ maintient la sortie en saturation positive. C se charge maintenant sous V_{sat} , v^+ et v' tendent exponentiellement vers 0V (état initial).

Pour appliquer une nouvelle impulsion à l'entrée, il est nécessaire que le circuit soit à nouveau dans son état stable (v' = 0), soit après la durée t_r, appelée temps de récupération qu'on choisit égal à $5.\tau$.

Ce temps de récupération peut être diminué en ajoutant, entre le point commun à R_2 et C et la masse, une diode (cathode à la masse) et une résistance en série, de faible valeur devant $R_1 + R_2$, qui permettra une décharge plus rapide du condensateur C.

4.2 Equations : durée de l'impulsion

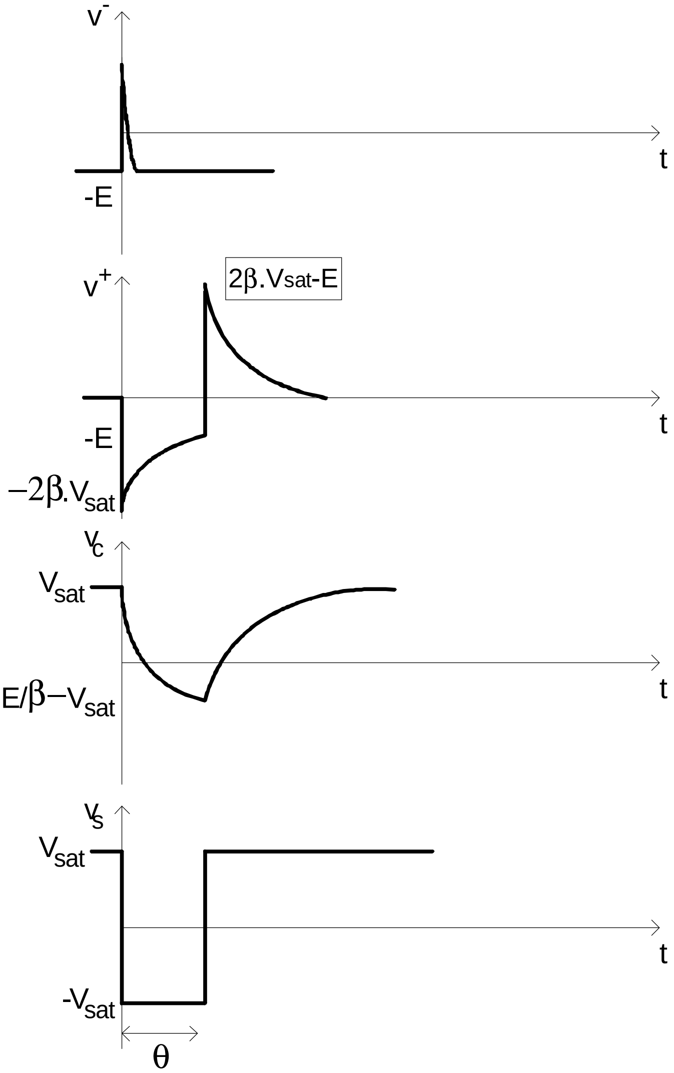
La durée de l'impulsion peut être déterminée à partir de l'équation :

$$\theta = \tau.\text{Ln}\frac{v_s - v_{co}}{v_s - v_c(\theta)}$$

avec : $\tau = (R_1 + R_2).C$ $\quad v_s = -V_{sat}$ $\quad v_{co} = V_{sat}$ $\quad v_c(\theta) = E/\beta - V_{sat}$

donc : $\theta = (R_1 + R_2).C.\text{Ln}\left(\frac{2.V_{sat}}{E}\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$

4.3 Chronogrammes



4.4 Applications

Les monostables sont utilisés pour générer des impulsions de durée calibrée ou pour créer des impulsions retardées.
Une application intéressante est le convertisseur fréquence tension :
un monostable suivi d'un filtre passe-bas délivre une tension dont la valeur moyenne est égale au rapport $\theta/T = \theta.f$, f étant la fréquence du signal d'entrée du monostable.