

# Les oscillateurs en électrocinétique.

P. Ribière

Collège Stanislas

Année Scolaire 2016/2017

- 1 Introduction.
- 2 Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.
- 3 Les oscillateurs à relaxation.

Les oscillateurs en électrocinétique sont des circuits susceptibles de générer un signal de période stable, de caractéristiques spectrales choisies, à partir d'une alimentation continue (dans notre cas, l'alimentation  $\pm 15$  V de l'ALI), sans autre signal d'entrée.

L'intérêt des oscillateurs est diverse :

- Réalisation de signaux de forme et période variable. (Traitement du signal, génération de fonction,...)
- Réalisation "d'horloge" électronique.

# Plan

- 1 Introduction.
- 2 **Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.**
  - **Présentation des oscillateurs quasi sinusoïdaux.**
    - Montage à résistance négative.
    - Circuit RLC associé au montage à résistance négative.
    - Etude des oscillations.
    - Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux.
- 3 Les oscillateurs à relaxation.

Un oscillateur est dit quasi sinusoïdal si le signal qu'il délivre est d'apparence sinusoïdal bien que son analyse spectrale puisse révéler la présence d'autres harmoniques.

Nous étudierons un exemple d'oscillateur quasi sinusoïdal : le montage à résistance négative. L'autre exemple très classique est l'oscillateur à filtre de Wien, étudié en TD.

# Plan

- 1 Introduction.
- 2 **Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.**
  - Présentation des oscillateurs quasi sinusoïdaux.
  - **Montage à résistance négative.**
  - Circuit RLC associé au montage à résistance négative.
  - Etude des oscillations.
  - Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux.
- 3 Les oscillateurs à relaxation.

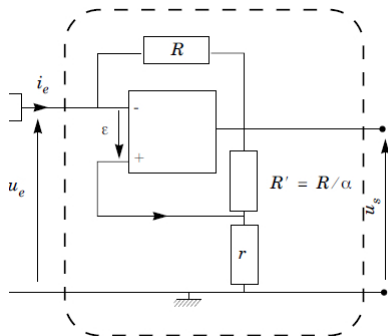


FIGURE – Montage à résistance négative.

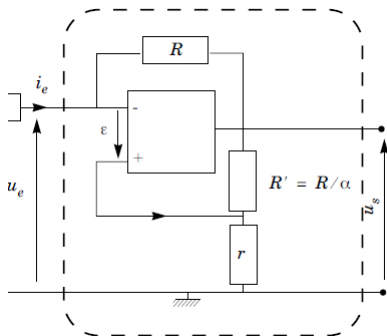


FIGURE – Montage à résistance négative.

Faisons l'hypothèse du régime linéaire (ALI idéal de gain infini).

$$V^+ = \frac{r}{R'+r} u_s$$

$$V^- = u_e$$

$$\varepsilon = 0 \text{ donne } \frac{r}{R'+r} u_s = u_e$$

$$\text{Or } u_e - R \cdot i_e = u_s.$$

D'où

$$u_e = -\alpha r i_e$$

### Rôle du montage

L'impédance d'entrée du circuit est  $-\alpha r$ .

$$u_e = -\alpha r i_e$$

Le montage simule une résistance négative.



Faisons l'hypothèse du régime linéaire (ALI idéal de gain infini).

$$u_e = -\alpha r i_e$$

L'impédance d'entrée du circuit est  $-\alpha r$ .

Le montage simule une résistance négative.

Faisons l'hypothèse du régime linéaire (ALI idéal de gain infini).

$$u_e = -\alpha r i_e$$

L'impédance d'entrée du circuit est  $-\alpha r$ .

Le montage simule une résistance négative.

Ce modèle est valable tant que la tension de sortie n'atteint pas la valeur de saturation  $V_{sat}$ .

Faisons l'hypothèse du régime linéaire (ALI idéal de gain infini).

$$u_e = -\alpha r i_e$$

L'impédance d'entrée du circuit est  $-\alpha r$ .

Le montage simule une résistance négative.

Ce modèle est valable tant que la tension de sortie n'atteint pas la valeur de saturation  $V_{sat}$ .

Pour la saturation haute

$$u_e = R \cdot i_e + V_{sat}$$

$$\text{et } i_{max} = \frac{V_{sat}}{R + \alpha \cdot r}$$

Faisons l'hypothèse du régime linéaire (ALI idéal de gain infini).

$$u_e = -\alpha r i_e$$

L'impédance d'entrée du circuit est  $-\alpha r$ .

Le montage simule une résistance négative.

Ce modèle est valable tant que la tension de sortie n'atteint pas la valeur de saturation  $V_{sat}$ .

Pour la saturation haute

$$u_e = R \cdot i_e + V_{sat}$$

$$\text{et } i_{max} = \frac{V_{sat}}{R + \alpha \cdot r}$$

Tous ces éléments peuvent être résumé être résumé sur le graphique de la caractéristique  $u_e = f(i_e)$  ci-contre

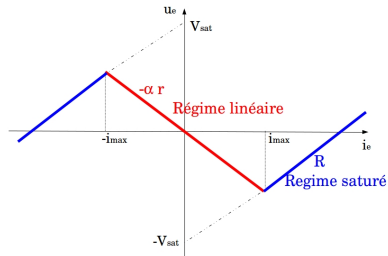


FIGURE – Graphique courant tension de la résistance négative.

# Plan

## 1 Introduction.

## 2 Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.

- Présentation des oscillateurs quasi sinusoïdaux.
- Montage à résistance négative.
- **Circuit RLC associé au montage à résistance négative.**
- Etude des oscillations.
- Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux.

## 3 Les oscillateurs à relaxation.

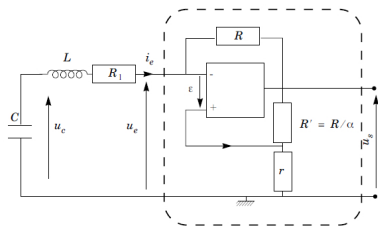


FIGURE – Oscillateur à résistance négative.

L'équation différentielle devient :

$$\frac{d^2 u_C}{dt^2} + \frac{R_1 - \alpha r}{L} \frac{du_C}{dt} + \frac{1}{LC} u_C = 0$$

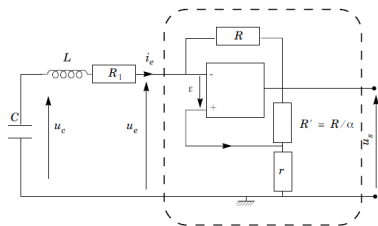


FIGURE – Oscillateur à résistance négative.

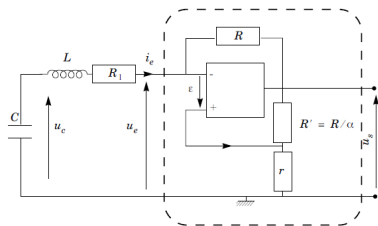


FIGURE – Oscillateur à résistance négative.

L'équation différentielle devient :

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{R_1 - \alpha r}{L} \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC} u_c = 0$$

Conditions d'oscillations : première approche.

Pour une valeur  $\alpha = \alpha_c = \frac{R_1}{r}$ , l'équation différentielle est celle d'un oscillateur harmonique.

Le système peut osciller sans signal d'entrée, à sa pulsation propre  $\omega_0$ , les pertes dans la résistance  $R_1$  sont compensées par l'apport d'énergie via l'alimentation de l'ALI. (Facteur de qualité infini).



# Plan

- 1 Introduction.
- 2 **Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.**
  - Présentation des oscillateurs quasi sinusoïdaux.
  - Montage à résistance négative.
  - Circuit RLC associé au montage à résistance négative.
  - **Etude des oscillations.**
  - Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux.
- 3 Les oscillateurs à relaxation.

Certes, les oscillations sont possibles. Mais il faut qu'elles soient amorcées.  
Tant que  $u_c(0^-) = 0$  et  $i(0^-) = 0$  les oscillations n'apparaissent pas, par continuité des grandeurs citées.

Certes, les oscillations sont possibles. Mais il faut qu'elles soient amorcées.

Tant que  $u_c(0^-) = 0$  et  $i(0^-) = 0$  les oscillations n'apparaissent pas, par continuité des grandeurs citées.

**L'amorçage des oscillations se fait sur un parasite**, un bruit électronique présent dans l'environnement.

Le bruit (blanc) contient, par définition même, toutes les harmoniques donc il en est une à la fréquence propre  $f_0$  du circuit.

Certes, les oscillations sont possibles. Mais il faut qu'elles soient amorcées. Tant que  $u_c(0^-) = 0$  et  $i(0^-) = 0$  les oscillations n'apparaissent pas, par continuité des grandeurs citées.

**L'amorçage des oscillations se fait sur un parasite**, un bruit électronique présent dans l'environnement.

Le bruit (blanc) contient, par définition même, toutes les harmoniques donc il en est une à la fréquence propre  $f_0$  du circuit.

Néanmoins, les oscillations ainsi créées sont d'amplitude très faible et doivent donc être amplifiées.

### Conditions d'oscillations.

La condition d'oscillation précédemment énoncée doit être revue et réécrite  $\alpha \succeq \alpha_c$ .

L'amplitude des oscillations croient donc jusqu'à ce que la saturation en tension de l'ALI soit atteinte.

Mais alors le montage à ALI cesse de se comporter comme une résistance négative. Et l'amplitude des oscillations décroît.

Certes, les oscillations sont possibles. Mais il faut qu'elles soient amorcées. Tant que  $u_c(0^-) = 0$  et  $i(0^-) = 0$  les oscillations n'apparaissent pas, par continuité des grandeurs citées.

**L'amorçage des oscillations se fait sur un parasite**, un bruit électronique présent dans l'environnement.

Le bruit (blanc) contient, par définition même, toutes les harmoniques donc il en est une à la fréquence propre  $f_0$  du circuit.

Néanmoins, les oscillations ainsi créées sont d'amplitude très faible et doivent donc être amplifiées.

### Conditions d'oscillations.

La condition d'oscillation précédemment énoncée doit être revue et réécrite  $\alpha \succeq \alpha_c$ .

L'amplitude des oscillations croient donc jusqu'à ce que la saturation en tension de l'ALI soit atteinte.

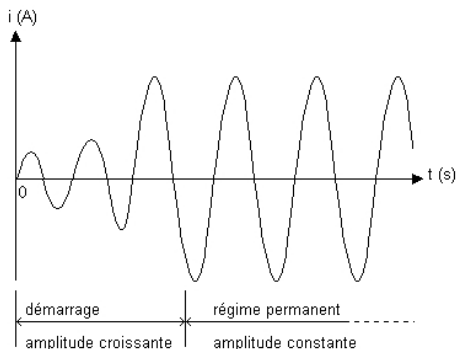
Mais alors le montage à ALI cesse de se comporter comme une résistance négative. Et l'amplitude des oscillations décroît.

Il est en effet possible de vérifier que, dans le cas de la saturation,  
 $\varepsilon = V_+ - V_- = V_{sat} + R_1 \cdot i_e - \frac{r}{R_1 + r} \cdot V_{sat}$  au départ positif (saturation haute) décroît puisque  $i_e$  décroît. Donc le système sort bien spontanément du régime saturé.

En conclusion,

## Conditions d'oscillations : Bilan.

- Les oscillations démarrent à partir de la composante spectrale du bruit à la fréquence de résonance du filtre passe bande.
- La condition d'amplification doit être  $\alpha \geq \alpha_c$ .
- L'amplitude des oscillations est alors limitée par la saturation en tension de sortie de l'ALI, saturation qui ne dure pas car le système en sort spontanément.
- Néanmoins ce passage par la saturation fait que le signal n'est pas parfaitement sinusoïdal. Il présente des harmoniques, faibles mais visibles, dans le spectre de Fourier.



# Plan

## 1 Introduction.

## 2 Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.

- Présentation des oscillateurs quasi sinusoïdaux.
- Montage à résistance négative.
- Circuit RLC associé au montage à résistance négative.
- Etude des oscillations.
- Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux.

## 3 Les oscillateurs à relaxation.

## Structure d'un oscillateur quasi-sinusoïdal.

Pour obtenir un oscillateur quasi sinusoïdal, comme dans l'oscillateur à résistance négative ou l'oscillateur de Wien, trois éléments sont nécessaires

- 1 présence d'une double rétroaction sur l'entrée + et - de l'ALI.
- 2 un filtre passif passe bande.  
(Étude en courant dans le RLC série, de fréquence de résonance  $f_0$ , ou le filtre passe bande de Wien)
- 3 un montage amplificateur (à ALI) pour compenser les "pertes" dans le filtre passif.

Si ces trois conditions sont réunies, il est possible d'obtenir sous certaines conditions (choix judicieux des paramètres d'amplification) un signal quasi sinusoïdal à la fréquence de résonance du filtre passe bande.



# Plan

- 1 Introduction.
- 2 Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.
- 3 Les oscillateurs à relaxation.
  - Oscillateur à relaxation compact à un ALI.
  - Le multivibrateur astable.
  - Structure générale des oscillateurs à relaxation.

Faisons l'hypothèse du régime linéaire (ALI idéal de gain infini).

(C'est la "mauvaise" hypothèse et il ne faut la faire que si l'énoncé le demande explicitement.)

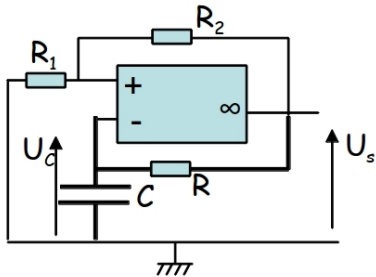


FIGURE – Oscillateur à relaxation à un ALI.

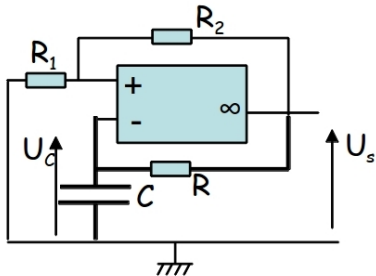


FIGURE – Oscillateur à relaxation à un ALI.

Faisons l'hypothèse du régime linéaire (ALI idéal de gain infini).

(C'est la "mauvaise" hypothèse et il ne faut la faire que si l'énoncé le demande explicitement.)

$$V^+ = \frac{\frac{0}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{V_s}{1+k}$$

$$V^- = U_C = \frac{0 \cdot jC\omega + \frac{V_s}{R}}{jC\omega + \frac{1}{R}} = \frac{V_s}{1+jRC\omega}$$

$$\varepsilon = 0 \text{ donne } \frac{V_s}{1+k} = \frac{V_s}{1+jRC\omega}$$

$$\text{Soit } V_s \cdot (1 + jRC\omega) = V_s \cdot (1 + k)$$

$$RC \frac{dV_s}{dt} - kV_s = 0 \text{ équation différentielle instable.}$$

$V_s$  augmente et sature.

L'hypothèse n'est pas bonne.

Faisons l'hypothèse du régime saturé.

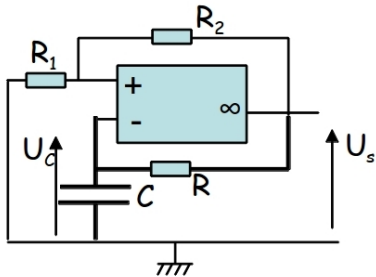


FIGURE – Oscillateur à relaxation à un ALI.

Faisons l'hypothèse du régime saturé.

Supposons donc la saturation haute :  $V_s = +U_{sat}$

Quelle est alors la condition sur  $U_C$  pour que cette hypothèse soit vérifiée ?

$$\varepsilon > 0$$

$$V^+ = \frac{V_s}{1+k} = \frac{U_{sat}}{1+k}$$

$$V^- = U_C$$

$$\text{Donc } U_C < \frac{U_{sat}}{1+k}$$

Reste à trouver l'équation de  $U_C(t)$

Par la loi des mailles :  $U_C(t) + U_R(t) = U_S = U_{sat}$

$$U_C + RC \frac{dU_C}{dt} = U_{sat}$$

En supposant le condensateur déchargé :

$$U_C(t) = U_{sat}(1 - \exp(-t/\tau))$$

$$\text{D'où } U_{sat}(1 - \exp(-t/\tau)) < \frac{U_{sat}}{1+k}$$

$$t < \tau \cdot \ln\left(\frac{1+k}{k}\right)$$

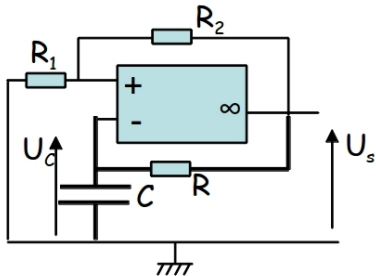


FIGURE – Oscillateur à relaxation à un ALI.

Faisons l'hypothèse du régime saturé.

Supposons donc le régime saturé :

$$V_s = +U_{sat}$$

Quelle est alors la condition sur  $U_C$  pour que cette hypothèse soit vérifiée?  $\varepsilon > 0$

$$U_C < \frac{U_{sat}}{1+k}$$

$$t < \tau \cdot \ln\left(\frac{1+k}{k}\right)$$

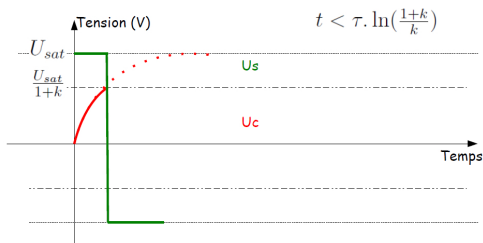


FIGURE – Début des scillations à relaxation.

Faisons l'hypothèse du régime saturé.

Supposons la saturation passe :  $V_s = -U_{sat}$

Quelle est alors la condition sur  $U_C$  pour que cette hypothèse soit vérifiée ?

$\varepsilon < 0$

$$V^+ = \frac{V_s}{1+k} = \frac{-U_{sat}}{1+k}$$

$$V^- = U_C$$

$$\text{Donc } U_C > \frac{-U_{sat}}{1+k}$$

Reste à trouver l'équation de  $U_C(t)$

Par la loi des mailles :  $U_C + U_R = U_S = -U_{sat}$

$$U_C + RC \frac{dU_C}{dt} = -U_{sat}$$

En supposant le condensateur à  $-\frac{U_{sat}}{1+k}$  à  $t=0$  :

$$U_C(t) = -U_{sat} + \frac{kU_{sat}}{1+k} \exp(-t/\tau)$$

Le basculement se produit donc pour :

$$-U_{sat} + \frac{kU_{sat}}{1+k} \exp(-T/(2.\tau)) = -\frac{U_{sat}}{1+k}$$

Soit un temps (correspondant à la demi période) :

$$\frac{T}{2} = \tau \cdot \ln\left(\frac{2+k}{k}\right) \text{ (le régime est établi)}$$

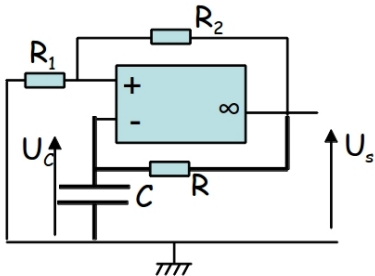


FIGURE – Oscillateur à relaxation à un ALI.

Faisons l'hypothèse du régime saturé.

Supposons la saturation basse :  $V_s = -U_{sat}$

Quelle est alors la condition sur  $U_C$  pour que cette hypothèse soit vérifiée ?  $\varepsilon < 0$

$$U_C > \frac{-U_{sat}}{1+k}$$

$$\frac{T}{2} = \tau \cdot \ln\left(\frac{2+k}{k}\right) \text{ (le régime est établi)}$$

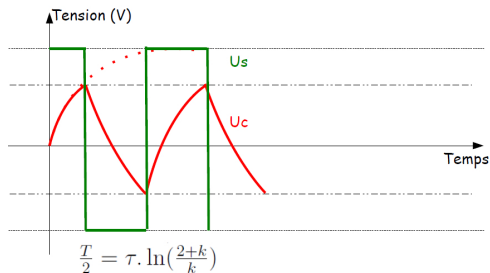


FIGURE – Oscillations à relaxation.



# Plan

- 1 Introduction.
- 2 Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.
- 3 **Les oscillateurs à relaxation.**
  - Oscillateur à relaxation compact à un ALI.
  - **Le multivibrateur astable.**
  - Structure générale des oscillateurs à relaxation.

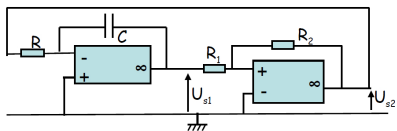


FIGURE – Oscillateur à relaxation à deux AII.

Supposons le régime saturé, en saturation haute :  
 $V_{s2} = +U_{sat}$

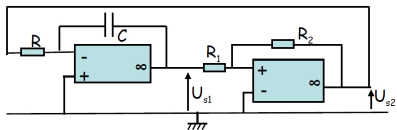


FIGURE – Oscillateur à relaxation à deux ALI.

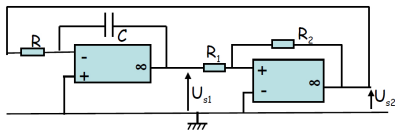


FIGURE – Oscillateur à relaxation à deux ALI.

Supposons le régime saturé, en saturation haute :  
 $V_{s2} = +U_{sat}$

Donc  $V_{s1} = -\frac{1}{RC} \int V_e dt = -\frac{1}{RC} \int U_{sat} dt = -\frac{U_{sat}}{RC} t$   
 Hypothèse du condensateur déchargé.

Quelle est alors la condition sur  $V_{+2}$  pour que cette hypothèse soit vérifiée ?

$\varepsilon_2 > 0$  soit

$$V_{+2} = \frac{\frac{V_{s1}}{R_1} + \frac{V_{s2}}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{k \cdot V_{s1} + U_{sat}}{1+k} = \frac{-k \cdot \frac{U_{sat}}{RC} t + U_{sat}}{1+k} > 0$$

Finalement  $t < \frac{RC}{k}$ .

Supposons le régime saturé, en saturation

haute :  $V_{s2} = +U_{sat}$

$$\text{Donc } V_{s1} = -\frac{1}{RC} \int V_e dt =$$

$$-\frac{1}{RC} \int U_{sat} dt = -\frac{U_{sat}}{RC} t$$

Hypothèse du condensateur déchargé.

Quelle est alors la condition sur  $V_{+2}$  pour que cette hypothèse soit vérifiée ?

$$V_{+2} = \frac{-k \cdot \frac{U_{sat}}{RC} t + U_{sat}}{1+k} > 0$$

$$\text{Finalement } t < \frac{RC}{k}.$$

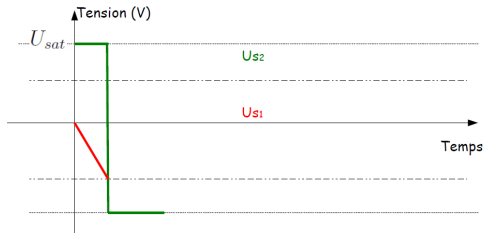


FIGURE – Début des oscillations à relaxation.

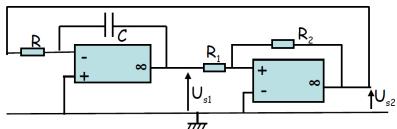


FIGURE – Oscillateur à relaxation à deux ALI.

Supposons donc le régime saturé, en saturation basse :  $V_{s2} = -U_{sat}$

Donc

$$V_{s1} = -\frac{1}{RC} \int V_e dt = \frac{1}{RC} \int U_{sat} dt = \frac{U_{sat}}{RC} t - \frac{U_{sat}}{k}$$

Par continuité dans le condensateur .

Quelle est alors la condition sur  $V_{+2}$  pour que cette hypothèse soit vérifiée ?

$\varepsilon_2 < 0$  soit

$$V_{+2} = \frac{\frac{V_{s1}}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{k \cdot V_{s1} - U_{sat}}{1+k} = \frac{-k \cdot \frac{U_{sat}}{RC} t - 2U_{sat}}{1+k} > 0$$

Finalement  $t < 2 \cdot \frac{RC}{k}$

Donc  $\frac{T}{2} = 2 \cdot \frac{RC}{k}$ .

Supposons donc le régime saturé, en saturation basse :  $V_{s2} = -U_{sat}$

Donc

$$V_{s1} = -\frac{1}{RC} \int V_e dt = \frac{1}{RC} \int U_{sat} dt = \frac{U_{sat}}{RC} t - \frac{U_{sat}}{k}$$

Par continuité dans le condensateur .

Quelle est alors la condition sur  $V_{+2}$  pour que cette hypothèse soit vérifiée ?

$$V_{+2} = \frac{-k \cdot \frac{U_{sat}}{RC} t - 2U_{sat}}{1+k} > 0$$

$$\text{Finalement } t < 2 \cdot \frac{RC}{k}$$

$$\text{Donc } \frac{T}{2} = 2 \cdot \frac{RC}{k}.$$

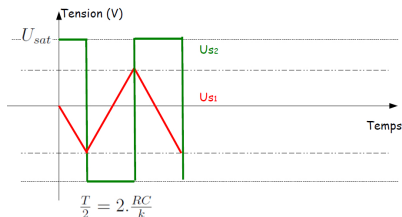


FIGURE – Début des oscillations à relaxation.

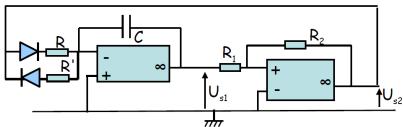


FIGURE – Oscillateur à relaxation à deux ALI, dissymétrique.



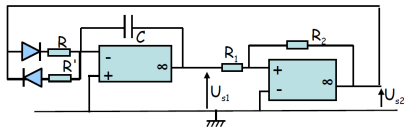


FIGURE – Oscillateur à relaxation à deux ALI, dissymétrique.

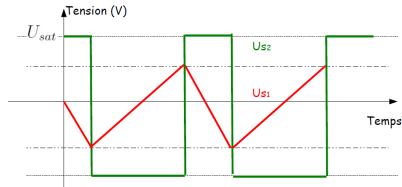


FIGURE – Oscillations à relaxation dissymétrisée.

Le rapport cyclique  $\alpha$  est tel que  $V_{s2}$  soit positive sur  $t \in [0, \alpha T]$  et négatif sur le reste de la période (pour un signal symétrique  $\alpha = 0,5$ ).

Ici le rapport cyclique est  $\alpha = \frac{R}{R+R'}$

# Plan

- 1 Introduction.
- 2 Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.
- 3 **Les oscillateurs à relaxation.**
  - Oscillateur à relaxation compact à un ALI.
  - Le multivibrateur astable.
  - **Structure générale des oscillateurs à relaxation.**

## Structure d'un oscillateur quasi-sinusoïdal.

Un oscillateur à relaxation est donc un oscillateur qui bascule entre deux états, sans jamais parvenir à se stabiliser dans l'un.

Il présente deux composantes :

- 1 un comparateur à hystérésis (2 états de saturation).
- 2 un intégrateur qui va forcer le basculement de l'ALI d'un état à l'autre.

## 1 Introduction.

## 2 Les oscillateurs quasi sinusoïdaux.

- Présentation des oscillateurs quasi sinusoïdaux.
- Montage à résistance négative.
- Circuit RLC associé au montage à résistance négative.
- Etude des oscillations.
- Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux.

## 3 Les oscillateurs à relaxation.

- Oscillateur à relaxation compact à un ALI.
- Le multivibrateur astable.
- Structure générale des oscillateurs à relaxation.