Chapitre n°14	Oscillateurs	T^{ale} Génie Electronique

Objectifs :
- *Découvrir les méthodes de conception des oscillateurs sinusoïdaux.*
- *Déterminer la condition d'entretien des oscillations dans le cas d'un oscillateur décrit par un schéma fonctionnel à réaction positive et dans le cas d'un oscillateur à résistance négative.*

Pré requis :
- *Circuit RLC (chap. I), Filtres (chap. III), Amplificateurs (chap. IV), systèmes commandés en BF (réaction positive) (chap. XI)*

Introduction

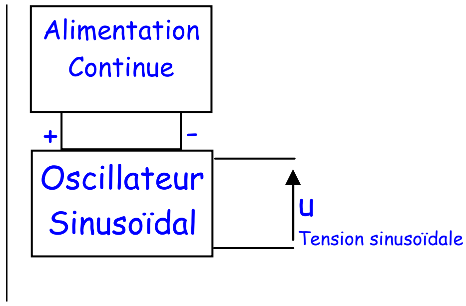
Un montage qui génère **spontanément** des signaux (sans qu'on lui applique de signal de commande) lors de sa mise sous tension est un oscillateur. Suivant la forme des signaux obtenus il est appelé :
- Oscillateur sinusoïdal (ou harmonique) s'il produit un signal de faible distorsions harmonique (quasi-sinusoïdal)
- Oscillateur de relaxation (ou astable) s'il produit un signal périodique non sinusoïdal

Partie A : Oscillateur sinusoïdal

I. Présentation :

I.1. Définition

- Un montage qui génère naturellement des signaux quasi-sinusoïdaux lors de sa mise sous tension est appelé oscillateur sinusoïdal..
- Aucun signal de commande n'est appliqué sur le montage..
- La puissance disponible en sortie provient donc d'une alimentation continue



I.2. Les oscillateurs en question

- Pourquoi un montage se comporte-t-il en oscillateur ?
- Peut-on fixer la fréquence d'oscillations ?
- Y'a-t-il des conditions particulières à respecter pour obtenir ces oscillations ?

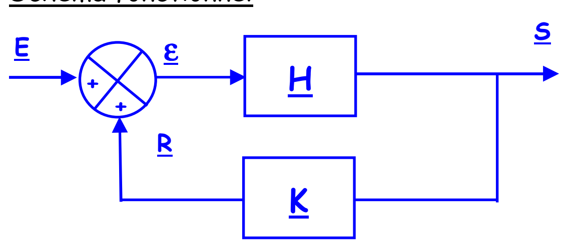
II. Oscillateurs à réaction positive:

II.1. Fonction de transfert du système bouclé

Un oscillateur sinusoïdal est un système commandé en boucle fermée dont la chaîne de retour apporte une réaction positive
(en faisant apparaître un sommateur dans le schéma fonctionnel)

$$\boxed{\underline{T} = \frac{\underline{Y}}{\underline{X}} = \frac{\underline{H}}{1-\underline{K}\underline{H}}}$$

Schéma fonctionnel



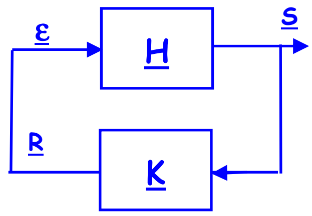
II.2. Condition d'oscillations sinusoïdales

Le dénominateur de $\underline{T}$ **s'annule** si **1 – $\underline{K}$.$\underline{H}$ = 0**

- Pour cette fréquence particulière, que l'on notera f_0, $\underline{T}$ est infinie et le système est donc instable.

↳ Apparition spontanée d'oscillations sinusoïdales de fréquence f_0 en l'absence de signal à l'entrée ($\underline{E}$ = 0)

- Schéma fonctionnel d'un oscillateur



La condition d'oscillation est : $\boxed{\underline{H}\ .\ \underline{K} = 1 = [\ 1\ ;\ 0\ ]}$

Deux conditions pour obtenir des oscillations sinusoïdales :

- Il existe une fréquence particulière pour laquelle le produit $\underline{H}$.$\underline{K}$ est réel

(↳ donc sa partie imaginaire nulle)

↳objectif : **déterminer la fréquence d'oscillation**

Filtre sélectif dans la chaîne de retour fixe la stabilité en fréquence

- Pour cette fréquence f_0, le produit $\underline{H}(f_0).\underline{K}(f_0)$ doit être égal à 1

Soit encore $\underline{H}(f_0) = \dfrac{1}{\underline{K}(f_0)}$

↳objectif : **Déterminer l'amplification de la chaîne directe.**

II.3. Naissance des oscillations

Un signal quelconque qui comporte une composante sinusoïdale de fréquence f_0 et d'amplitude très faible apparaît à l'entrée de la chaîne d'action. Origine : bruit dans les conducteurs…

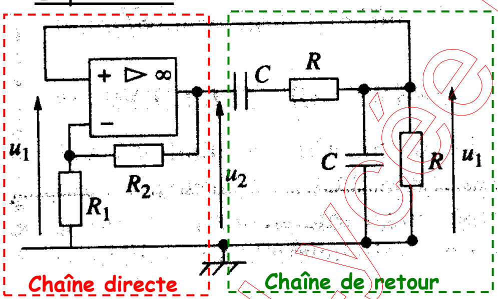
Seule, la composante sinusoïdale de fréquence f_0, apparaîtra à nouveau en phase après avoir été amplifiée par la chaîne d'action et filtrée par la chaîne de retour.

L'amplitude de cette composante de fréquence f_0 dépend du produit $\underline{H}(f_0).\underline{K}(f_0)$

$\underline{H}(f_0).\underline{K}(f_0) < 1$	$\underline{H}(f_0).\underline{K}(f_0) > 1$	$\underline{H}(f_0).\underline{K}(f_0) \gg 1$
Pas d'oscillations (atténuation)	Oscillations quasi-sinusoïdales	Oscillations qui ne sont plus sinusoïdales (avec $f \neq f_0$)

II.4. Oscillateur à circuit RC (filtre de Wien)

- Expérience



On réalise le montage suivant : V_{CC} = 15V, R_1 = 10 kΩ, R_2 : boites à décades ; R = 4,7 kΩ et C = 22nF.

Hypothèse : A.Op parfait fonctionnant en régime linéaire ($\underline{U}_D$ = 0, $\underline{I}^-$ = $\underline{I}^+$ = 0).

Identification de la chaîne directe et de la chaîne de retour…

- Etude théorique
  - Fonction de transfert de la chaîne directe

La résistance de sortie de l' A Op est considérée nulle donc la fonction de transfert de la chaîne directe est donc indépendante de la charge (chaîne de retour)

$$\underline{H} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

  - Fonction de transfert de la chaîne de retour

La résistance d'entrée de l' A Op (donc de la chaîne directe) est considérée infinie donc pour la chaîne de retour, on peut donc déterminer $\underline{K}$ à vide

avec $\underline{Z}_S = R + \dfrac{1}{jC\omega}$ et $\underline{Y}_{//} = \dfrac{1}{R} + jC\omega$

En appliquant le diviseur de tension, $\underline{K} = \dfrac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \dfrac{\underline{Z}_{//}}{\underline{Z}_{//} + \underline{Z}_S} = \dfrac{1}{1 + \underline{Z}_S \cdot \underline{Y}_{//}}$

$$\underline{K} = \frac{1}{3 + j\left(RC\omega - \dfrac{1}{RC\omega}\right)}$$

- Condition d'oscillation

$\underline{H} \cdot \underline{K} = 1$ soit encore $\underline{H} = \dfrac{1}{\underline{K}}$

c'est-à-dire $\dfrac{R_1 + R_2}{R_1} = 3 + j\left(RC\omega - \dfrac{1}{RC\omega}\right)$

↬ on identifie les parties réelles et imaginaires entre elles.

❑ 1ère condition: **fréquence des oscillation**

$\left(RC\omega_0 - \dfrac{1}{RC\omega_0}\right) = 0$, on en déduit $\omega_0 = \dfrac{1}{RC}$

↬ *et donc* $f_0 = \dfrac{1}{2\pi RC}$ *<u>AN :</u>* $f_0 = 1{,}5$ *kHz*

❑ 2ème condition: **amplification de la chaîne d'action**

$\underline{H} = \dfrac{R_1 + R_2}{R_1} = 3$

↬ $R_2 = 2\,R_1$ *<u>AN :</u>* $R_2 = 20$ *kΩ*

<u>Remarque :</u> en pratique, f_0 sera un peu différente de la valeur théorique car il y a la tolérance des composants
L'amplification soit être légèrement supérieure à 3 (donc $R_2 > 20$ kΩ) pour le démarrage des oscillations.

Voir l'exercice 11.15 page 249

II.5. Exercice d'application: oscillateur à circuit résonnant R, L, C parallèle *(d'après un sujet de Bac de 1993)*

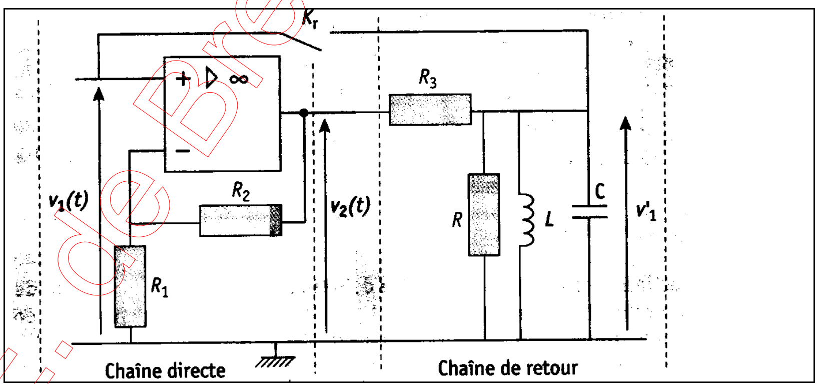
Le montage étudié est représenté sur la figure ci-dessous. L'amplificateur opérationnel est parfait et alimenté entre $+V_{CC} = 15$V et $-V_{CC} = -15$V.

L'oscillateur associe une chaîne directe, qui est un amplificateur de tension, et une chaîne de retour, qui est un quadripôle à circuit résonnant.

1. Etude en Boucle Ouverte.

L'interrupteur K_r est ouvert. Le montage est alimenté par une tension sinusoïdale $v_1(t)$ de pulsation ω.

$v_1'(t)$ et $v_2(t)$ sont des tensions sinusoïdales de même pulsation. A une tension sinusoïdale de valeur instantanée $v(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi)$ de valeur efficace V, on associera la grandeur complexe $\underline{V}$.



2.1. <u>Etude de la chaîne directe</u>

Exprimer la fonction de transfert complexe $\underline{H} = \dfrac{\underline{V_2}}{\underline{V_1}}$ de la chaîne directe en fonction de R_1 et R_2.

2.2. <u>Etude de la chaîne de retour</u>

Soit $\underline{Y}$ l'admittance complexe du dipôle RLC :

❑ Exprimer la fonction de transfert $K = \dfrac{\underline{V_1'}}{\underline{V_2}}$ de la chaîne de retour en fonction de R_3, $\underline{Y}$; puis de R, R_3, L, C et ω, et montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme : $\underline{K} = \dfrac{R}{R+R_3} \times \dfrac{1}{1 + j\dfrac{RR_3}{R+R_3}\left(C\omega - \dfrac{1}{L\omega}\right)}$.

❑ Déterminer l'expression f_0 de la pulsation pour laquelle $\underline{K}$ est réel. Quelle est alors l'expression de $\underline{K}$?

2. Etude en Boucle Fermée

L'interrupteur K_r est fermé. On admet que le montage oscille sinusoïdalement.

2.1. Donner la relation qui existe entre $\underline{V_1}$ et $\underline{V'_1}$ puis la relation entre $\underline{H}$ et $\underline{K}$.

2.2. En déduire les deux relations qui doivent alors exister :

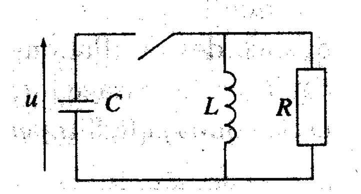
- Entre L, C et la fréquence f d'une part ;
- Entre R_1, R_2, R_3 et R d'autre part.

III. Oscillateurs à résistance négative:

III.1. Rappels sur le circuit R,L,C

En fermant l'interrupteur, le condensateur étant initialement déchargé, on observe des oscillations amorties.

A l'instant t = 0, on ferme l'interrupteur :



- ❑ la fréquence des oscillations est égale à la fréquence de résonance du circuit RLC.
- ❑ Echange d'énergie entre le condensateur et la bobine
  ↳ la tension u oscille.
- ❑ Il y a dissipation d'énergie dans la résistance R
  ↳ l'amplitude des oscillations diminue (elles sont amorties)

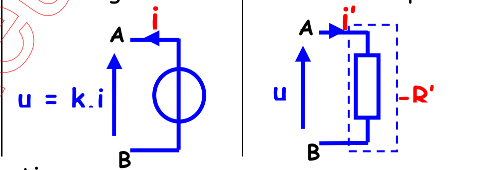
Remarque : rappels, $P_J = U^2/R$ — **Moins d'amortissement si R ∞**

- Si R tend vers l'infini ➔ oscillations constantes
- en dessous d'une certaine valeur de R (notée R_C) : pas d'oscillations

III.2. Principe d'un oscillateur à résistance négative

❑ Générateur à résistance négative — **Abus de langage : en fait dipôle à résistance négative (signe de la puissance)**

On appelle générateur à résistance négative, un dipôle dont la tension u à ses bornes est proportionnelle à l'intensité i du courant qu'il fournit.
u = k . i (avec k homogène à une résistance).

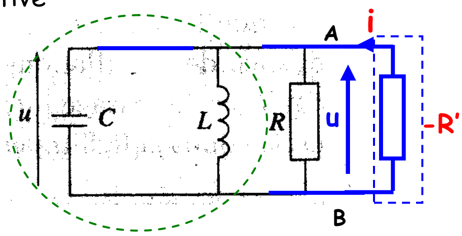


❑ Oscillateur : association circuit RLC + générateur à résistance négative

- Le générateur fournit une puissance p = u . i = u^2 / R'
- Si **R = R'**, puissance fournie = puissance dissipée

$$\frac{1}{R_{éq}} = \{R // R'\} = \frac{1}{R} + \frac{1}{(-R')}$$ donc $R_{éq}$ **tend vers l'infini**

↳ nouveau circuit LC



- En régime sinusoïdal, avec la loi des mailles, on établit

$$\underline{I_1} \cdot \left(jL\omega + \frac{1}{jC\omega} \right) = 0 \text{ qui impose } \omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ et donc } f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

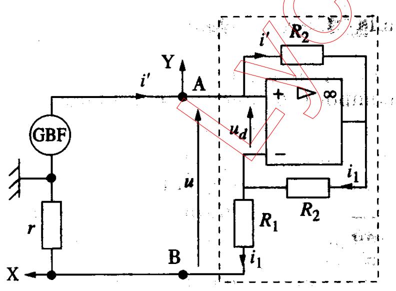
La condition d'oscillation est : R = R'

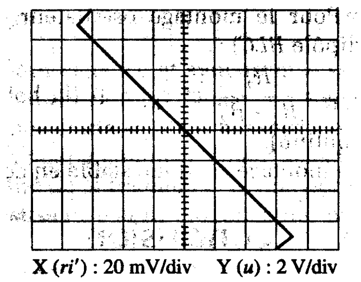
Si R' > R ➔ pas d'oscillations (avec u^2/R' < u^2/R)

Si R' < R ➔ oscillations non sinusoïdales

III.3. Réalisation d'un oscillateur à résistance négative

❑ Caractéristique du dipôle à résistance négative





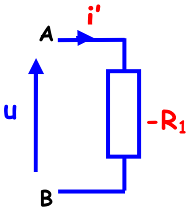
Conditions d'étude : r suffisamment faible pour que la tension sur la voie Y soit égale à u.
R = 100 Ω, R_1 = R_2 = 10 kΩ. Oscilloscope en mode XY. *Hypothèses de l'AOp parfait*
Remarque : rappels sur le chapitre 11, quand il y a à la fois une réaction positive et positive sur un AOp
Pour garantir un fonctionnement linéaire de l'A OP (donc ε = 0) il faut $\tau_{RN} > \tau_{RP}$

❑ Relations théoriques : dipôle à résistance négative seul *(en appliquant la loi des mailles et la loi d'Ohm)*

$1^{ère}$ maille ⇨ $u_d = 0 = R_2.i' + R_2.i_1$ soit $i_1 = -i'$
$2^{ème}$ maille ⇨ $u = u_d + R_1.i_1$ soit $u = R_1.i_1$ et donc **$u = -R_1.i'$**

↳ dipôle AB ≡ générateur de résistance négative $-R_1$.

- Schéma équivalent



- Conditions limites de fonctionnement linéaire

$\Rightarrow |u_s| < U_{Sat}$ soit $|u| = |V^-| < \frac{R_1}{R_1+R_2} U_{Sat}$

$\Rightarrow |i'| < i_M$ avec $i_M = \frac{R_1}{R_1+R_2} U_{Sat} \times \frac{1}{R_1} = \frac{U_{Sat}}{R_1+R_2}$

- Oscillateur complet

On associe ce générateur à résistance négative avec le circuit RLC // d'admittance (cf III.2)

$$\underline{Y} = \frac{1}{R} + j\left(C\omega - \frac{1}{L\omega}\right)$$

- pulsation d'oscillation $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- si $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1}$ alors $\boxed{R = R_1}$

Remarque : puissance absorbée par R = puissance fournie par le dipôle actif

- Condition de stabilité
  - Pour le tracé de caractéristique

$\tau_{RN} = \frac{R_1 + r}{R_1 + R_2 + r}$ et $\tau_{RP} = \frac{R_g}{R_g + R_2}$

Il faut donc $\tau_{RN} > \tau_{RP}$ soit encore $R_1 + r > R_g$

- Pour le montage oscillateur

$\tau_{RN} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ et $\tau_{RP} = 0$ (bobine ≡ court-circuit en continu)

↳ donc montage stable en continu

Remarques :

- *Etude possible avec la méthode des systèmes en BF, donc deux approches possibles.*

Etude par l'oscillateur à résistance négative surtout avec circuit RLC (parallèle et série)…

IV. Applications des oscillateurs :

Autre utilisation : entrée d'un VCO dans la pompe à perfuser

IV.1. Capteurs

- Certains capteurs utilisent la conversion : variation d'une grandeur physique ↔ variation d'inductance ou de capacité.

Exemples : Capteurs inductifs de proximité, position, capteur capacitif d'humidité

Projet ELN 2003 : monnayeur

- Associés à des oscillateurs, la variation du paramètre produira alors une variation de fréquence des oscillations

IV.2. Horloges à quartz

- Utilisation d'horloge dans les microprocesseurs (fréquence constante ≈ MHz).
- Associations d'un quartz (élément sélectif de grande précision, stable en fréquence) et d'une porte logique.

Exemples : radio réveil, montre…quartz mais pour 1 Hz, la fréquence est divisée par un compteur

Conclusion

⇨ définition oscillateur sinusoïdal

⇨ oscillateur à réaction positive
- Ce que représente chaque élément
- Condition d'oscillations

⇨ oscillateur à résistance négative
- Principe
- Conditions d'oscillations

Ce que vous devez savoir :	Ce que vous devez savoir faire :
❑ Représenter le schéma fonctionnel d'un oscillateur à réaction. ❑ Enoncer la condition limite d'entretien d'oscillations quasi-sinusoïdales	❑ Déterminer la condition d'entretien des oscillations dans le cas d'un oscillateur décrit par un schéma fonctionnel à réaction et dans le cas d'un oscillateur à résistance négative.

❑ Savoir faire expérimentaux : Câbler un oscillateur et effectuer les réglages pour obtenir des oscillations sinusoïdales.

Partie B : Générateurs de signaux non sinusoïdaux

Objectifs :

- *Définir la fonction réalisée par un montage astable puis étudier deux exemples de réalisation.*
- *Déterminer les caractéristiques d'un astable et connaître quelques applications.*

Outils mathématiques : *fonction exponentielle*

Pré requis : comparateurs, propriétés condensateur, caractéristiques (AOp et portes logiques)

Introduction

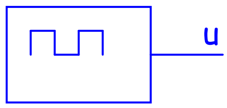
V. Oscillateur Astable : principe et présentation:

V.1. Présentation : définition et symbole

Définition : Un montage réalisant la fonction ASTABLE est, comme son nom l'indique, un montage dont la sortie ne possède pas d'état stable.

↳ Cela signifie que sans action extérieure, cette sortie passe d'un état à un autre de façon automatique et autonome.
Il s'agit en fait d'oscillateur fournissant des signaux créneaux.

Symbole



Remarque 1 : pas de signal de commande

Remarque 2 : la puissance fournie à la charge provient donc de l'alimentation continue.

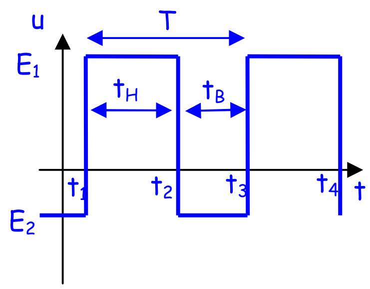
V.2. Caractéristiques

Etude limitée aux montages astables délivrant une tension rectangulaire évoluant entre deux états $\mathbf{E_1}$ **et** $\mathbf{E_2}$.
Caractéristiques du montage astable :

↳ Période T : définie par $T = t_H + t_B$

↳ Rapport cyclique α : $\alpha = \dfrac{t_H}{T}$

↳ Niveaux de tension pour u
avec $u = E_1$ pour $t_1 \le t \le t_2$ et $u = E_2$ pour $t_2 \le t \le t_3$

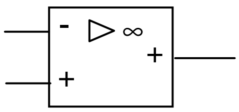


Rappel : Le rapport cyclique d'un signal créneau est défini comme le rapport de la durée à l'état haut sur la période du signal

$$\alpha = \frac{\text{durée de l'état haut}}{\text{période}}$$

VI. Montage Astable à A.Op.:

📖 voir exercice d'application



Hypothèses :
A Op considéré idéal donc $i^+ = i^- = 0$
Et A Op fonctionnant en régime saturé ($u_s = \pm U_{Sat}$)

2 parties :

- **Comparateur deux seuils (symétriques)**

$$\text{Avec } V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{Sat} \text{ et } V_B = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{Sat}$$

- **Circuit RC**

Le condensateur se charge à travers une résistance R par une source de tension continue $\pm U_{Sat}$

**$u_C = V^-$ est la tension qui varie.
Quand elle croisera le seuil V_H ou V_B il y a basculement de la tension de sortie et la tension sera alors respectivement décroissante ou croissante.
La période de u_S est fixée par R et C.**

VII. Montage Astable à portes logiques :

VIII.1. Etude du fonctionnement :

Dans le montage de la **figure 1** les opérateurs, appelés portes inverseuses, sont parfaits : leur courant d'entrée et leur résistance de sortie sont nuls. Leur caractéristique de transfert est représentée sur la **figure 2**.
On donne R = 4,7 kΩ, C = 3,3 nF et V_{DD} = 15 V.

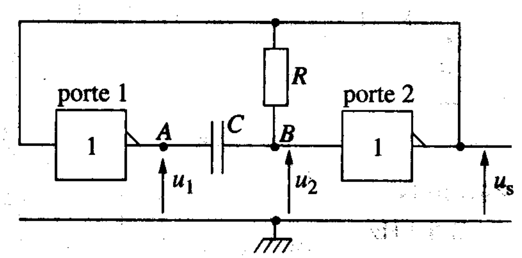


figure 1

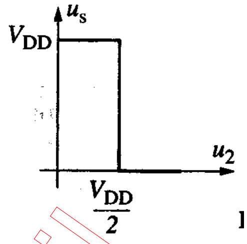


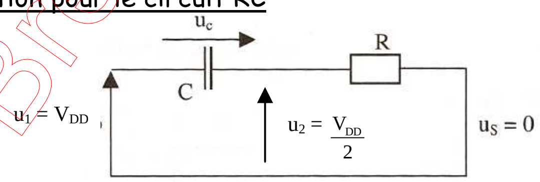
figure 2

On suppose que la sortie de la porte 2 bascule de 0V à V_{DD}, à l'instant **t = 0**.

1. Déterminer **à l'instant t = 0^-** (donc juste avant le basculement) les tensions u_s, u_1 et u_2.

- **u_s = 0 qui est la tension d'entrée de la porte 1**
- **La sortie de la porte 1 est donc $u_1 = V_{DD}$**
- **u_2 a atteint le seuil de basculement $\frac{V_{DD}}{2}$**

Situation pour le circuit RC

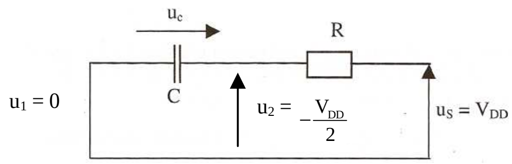


2. Exprimer, **juste après** le basculement à **l'instant t = 0^+**, les tensions u_s, u_1 et u_2.

- **La sortie de la porte 2 bascule donc $u_s = V_{DD}$**
- **La sortie de la porte 1 bascule aussi et $u_1 = 0$**
- **La variation de tension brutale de u_1 est reportée sur la 2^nde^ armature de C donc sur u_2**

$$u_2(0^+) = \frac{V_{DD}}{2} - V_{DD} = -\frac{V_{DD}}{2}$$

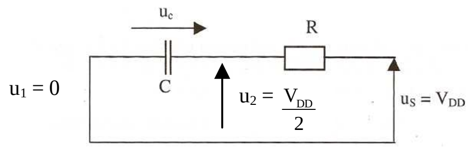
Situation pour le circuit RC



3. Comment **évolue** la tension u_2 après le basculement ?

Après le basculement la tension u_2 **va augmenter pour tendre vers** V_{DD}
Elle croit exponentiellement jusqu'à t_1 ou v_2 va atteindre le seuil de basculement ($V_{DD}/2$)
Le basculement suivant se produit **à l'instant t_1**

Situation pour le circuit RC juste avant ce 2^ème^ basculement

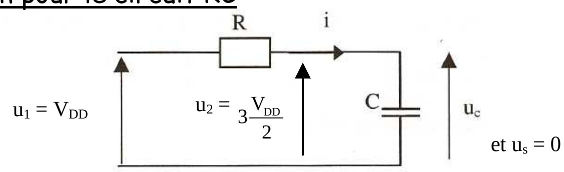


4. Exprimer u_s, u_1 et u_2 à l'instant t_1^+.

- **Le basculement de la porte 2 fait que $u_s = 0$**
- **Le basculement de la porte 1 fait que $u_1 = V_{DD}$**
- **L'augmentation de + VDD sur u_1 est reportée Sur la 2^nde^ armature de C donc sur u_2**

$$u_2 = \frac{V_{DD}}{2} + V_{DD} = \frac{3V_{DD}}{2}$$

Situation pour le circuit RC



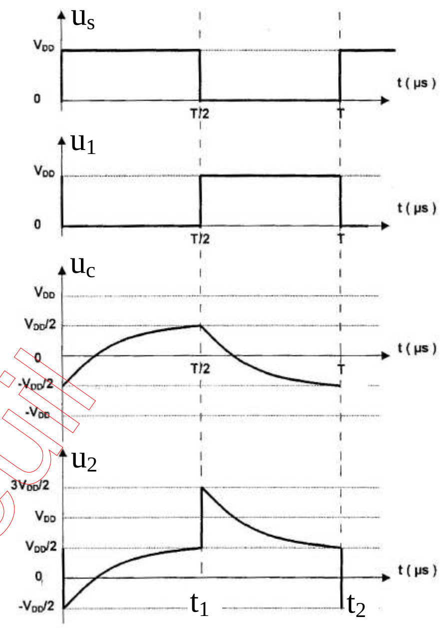
5. Quelle est l'**évolution** de u_2 après l'instant t_1 ?

Après l'instant t_1, u_2 décroît exponentiellement pour tendre vers 0. Mais il y a basculement quand u_2 atteint $V_{DD}/2$

6. Exprimer t_1 en fonction de **R** et **C**.

C'est la durée nécessaire pour que u_2 passe de $-\frac{V_{DD}}{2}$ à $+\frac{V_{DD}}{2}$

$$t_1 = RC.\ln\frac{V_\infty - V_{t=0}}{V_\infty - V_{t=t_1}} = RC.\ Ln3$$



7. Le basculement suivant a lieu à l'instant t_2 ; exprimer $t_2 - t_1$ en fonction de **R** et **C**

Temps mis par u_2 pour passer de $3\frac{V_{DD}}{2}$ à $\frac{V_{DD}}{2}$ (et $V_\infty = 0$) donc $t_2 - t_1 = RC.\ln3$

8. Montrer que les tensions sont périodiques

L'état du système à t_2^- est le même qu'à l'instant t= 0^-, les tensions sont donc périodiques

9. **Tracer** les chronogrammes des tensions u_1, u_2 et u_s en concordance de temps.

10. Exprimer la **période T** et le **rapport cyclique** α de la tension u_s.

- **$T = t_1 + (t_2 - t_1) = 2RCln3 = 2,2\ RC$**

- **Durée à l'état haut = durée à l'état bas, le rapport cyclique est $\alpha = \frac{1}{2}$**

VIII.2. Instabilité du montage

Intuitivement, un état est dit **stable s'il se maintient indéfiniment** quand on n'agit pas sur le système.
Un état stable est un état de repos : cela signifie que les courants et tensions n'évoluent plus. Quand il y a présence d'un condensateur, une tension qui n'évolue plus est synonyme de courant nul.
↳ Dans le cas de l'astable, on ne se trouve **jamais dans un état stable**

<u>Remarque 1:</u> Comment modifier la période T du montage ?on remplacera R par un potentiomètre (réglage fin) et on peut donner à C différentes valeurs

<u>Remarque 2:</u> Comment modifier le rapport cyclique α ?il faut modifier les durées de charge et décharge du condensateur en modifiant R pour la charge et la décharge : aiguillage à diodes.

VIII. Utilisation des Astables :

VIII.1. Horloges

Astables utilisées comme horloges dans le domaine des Basses fréquences, avec une précision modérées…
En HF : oscillateurs à quartz

VIII.2. Générateurs de signaux

dans les GBF : signaux triangulaire et créneau construits à partir d'astables la gamme de fréquence est choisie avec des batteries de condensateurs et la réglage se fait à l'aide d'un potentiomètre

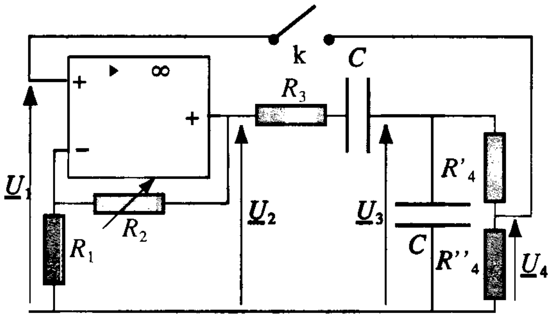
Conclusion

⇨ importance du comportement d'un condensateur ⇨ Caractéristiques d'un Astable (T, α, niveaux de tension)	⇨ Pour décrire le fonctionnement d'un astable : Choisir une condition initiale. Vérifier sa validité et décrire un cycle de fonctionnement pour retomber sur la CI.
Ce que vous devez savoir :	**Ce que vous devez savoir faire :**
❑ Donner la définition d'un état stable. ❑ Donner les définitions de : période, rapport cyclique ❑ Citer au moins une application de la fonction astable	❑ Montrer qu'un tel montage n'a pas d'état stable. ❑ Les valeurs et formules nécessaires étant données, calculer : la période et le rapport cyclique.

Exercice d'application n°1 : Oscillateur à réaction positive *(d'après Bac Electronique)*

Pour le montage de la figure ci-dessous, l'ADI est parfait et fonctionne en régime linéaire. (nous poserons : $R_4 = R_4' + R_4''$).

On donne R_1 = 680 Ω ; R_3 = 3,3 kΩ ; R_4' = 2,7 kΩ; R_4'' = 330 Ω ; C = 10 nF.



1. Etude de la chaîne directe

1.1. Exprimer l'amplification en tension $\underline{A_V} = \dfrac{\underline{U_2}}{\underline{U_1}}$ en fonction de R_1 et R_2.

1.2. Exprimer le module de $\underline{A_V}$ et le déphasage de u_2 par rapport à u_1.

2. Etude de la chaîne de réaction

2.1. Exprimer la transmittance $\underline{T} = \dfrac{\underline{U_3}}{\underline{U_2}}$ en fonction de R_3, R_4, C et ω.

2.2. Donner l'expression de f_0 pour laquelle : Arg $\underline{T}$ = 0.

2.3. Que de vient l'expression T_0' de $\underline{T'} = \dfrac{\underline{U_4}}{\underline{U_2}}$ à cette fréquence ? Calculer f_0 et T_0'.

3. Etude de l'oscillateur

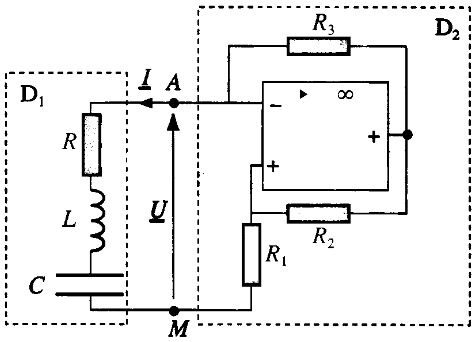
Pour réaliser l'oscillateur, nous fermons l'interrupteur k ; la condition $\underline{A_V}.\underline{T_V'}$ = 1 doit être satisfaite.

3.1. Quelle est la fréquence des oscillations ?

3.2. Quelle doit être la valeur A_V pour que le signal de sortie soit sinusoïdal ? En déduire R_2.

Exercice d'application n°2 : Oscillateur à résistance négative

Pour le montage ci-dessous, l'ADI est parfait et fonctionne en régime linéaire.



1. Exprimer en fonction de R, L, C et ω l'impédance complexe $\underline{Z} = \dfrac{\underline{U}}{\underline{I}}$ du dipôle D_1.

2. Montrer que le dipôle D_2 vérifie la relation $\underline{U} = \underline{Z_e}\ \underline{I}$ avec $\underline{Z_e} = -\dfrac{R_1 R_3}{R_2}$.

En déduire la relation entre $\underline{Z}$ et $\underline{Z_e}$.

3. A partir de la relation précédente, déterminer

3.1. La pulsation des oscillations en fonction de L et C

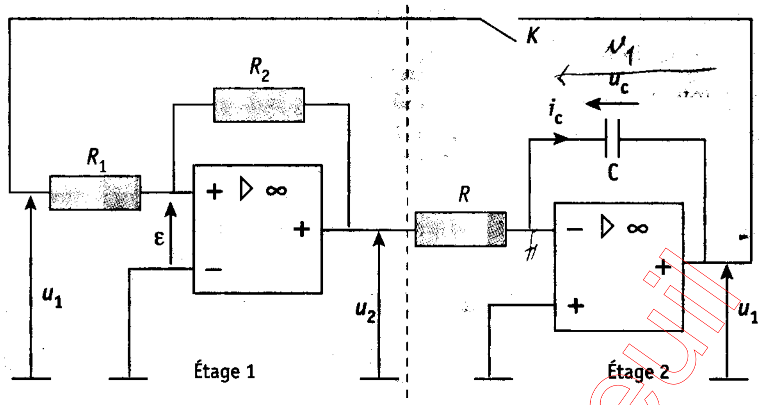
3.2. La relation entre les résistances du montage

4. Comparer la puissance absorbée par le dipôle D_1, et la puissance fournie par le dipôle D_2.

Exercice d'application n°3 : Astable à amplificateur opérationnel (extrait du bac 1997)

Indications : Les A.O. sont alimentés sous $\pm V_{CC} = \pm 10V$. On les considérera idéaux, avec une tension de saturation $U_{sat} = 10$ V.

Le montage est présent ci-dessous.



1. Etude de l'étage 1 (interrupteur K ouvert)

1.1. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel ? Justifier.
Donner les valeurs possibles pour u_2, selon la valeur de la tension appliquée à l'entrée.

1.2. Exprimer ε en fonction de u_1, u_2, R_1, R_2.

1.3. Exprimer les valeurs U_H et U_B ($U_H > U_B$) de u_1 provoquant la commutation de u_2.
On donne : $R_1 = 1$ kΩ, $R_2 = 100$ kΩ. Calculer U_H et U_B.

1.4. Tracer la caractéristique de transfert du premier étage, en justifiant le sens de parcours lorsque u_1 varie entre –0,2V et +0,2 V.

2. Etude de l'étage 2 (interrupteur K ouvert)

L'A. O.p. fonctionne en régime linéaire.

2.1. Exprimer i_c en fonction de u_2 et R.

2.2. Exprimer l'équation différentielle liant i_c et u_c.

2.3. Quelles relation lie u_c et u_1 ?
En déduire l'équation différentielle liant u_1 et u_2.

2.4. En déduire la loi de variation de u_1 en fonction du temps t, de u_2, R, C et U_0 (valeur de u_1 à l'instant initial).

3. Etude du système bouclé (interrupteur K fermé)

3.1. *A l'instant $t = 0$, $u_1 = U_H = 0,1$ V, u_2 passe de $-U_{sat}$ à $+U_{sat}$ et conserve cette valeur. On donne $R = 2,5$ kΩ, $C = 100$ µF.*
Donner pendant cette phase de fonctionnement, l'expression de u_1 en fonction du temps. A quel instant t_1, u_1 aura-t-il atteint la valeur U_B ?

3.2. *A l'instant t_1, u_2 passe de $+U_{sat}$ à $-U_{sat}$.*
Donner la nouvelle loi de variation de u_1 en fonction du temps.
A quel instant t_2, u_1 reprend-il la valeur U_H ?