

TP2 : Montages oscillateurs contenant un ALI, une porte analogique ou une porte logique

Matériel :

- Une clé USB apportée par l'étudiant(e)
- un GBF arbitraire ;
- une alimentation symétrique continue (ASC) $[-15; 0; 15V]$
- Un ordinateur doté de Latispro, Python, Regressi
- Une carte Sysam (qui écrête à 10V)
- Un oscilloscope
- Des diodes à jonction, des LED, des diodes Zener
- **Une diode rapide 1N4148** (sac plastique PSI*)
- Une puce CD 4066 (4 interrupteurs commandables) et sa fiche technique (data sheet) (sac plastique PSI*)
- Une puce CI CMOS 4011 (4 portes NON-ET (NAND)) et sa fiche technique (data sheet) (sac plastique PSI*)
- Les puces sont embrochées sur une plaquette LAB (voir fig 12).
- 2 plaquettes LAB, des composants Radiospare, des ALI 081, des pinces crocodiles,
- une VDR (pastille rouge à deux grandes pattes, dans sac plastique PSI*),
- Des fils, des pinces crocodiles.

Protéger les ALI :

toujours polariser *a priori* le ou les ALI en $[+V_{cc} = 15V; -V_{cc} = -15V]$ à l'aide de l'alimentation symétrique continue (ASC), avant de mettre en marche tout GBF.

TP2A : montages à ALI en régime de saturation ; oscillateurs à relaxations

I. COMPAREUR A HYSTERESIS :

1. Analyse de la caractéristique entrée-sortie :

- Tracer théoriquement la caractéristique $V_s = f(V_e)$ du comparateur dont le schéma est donné en figure 1. On scindera l'étude en deux, selon que la tension V_e croît de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ ou qu'elle décroît de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$.

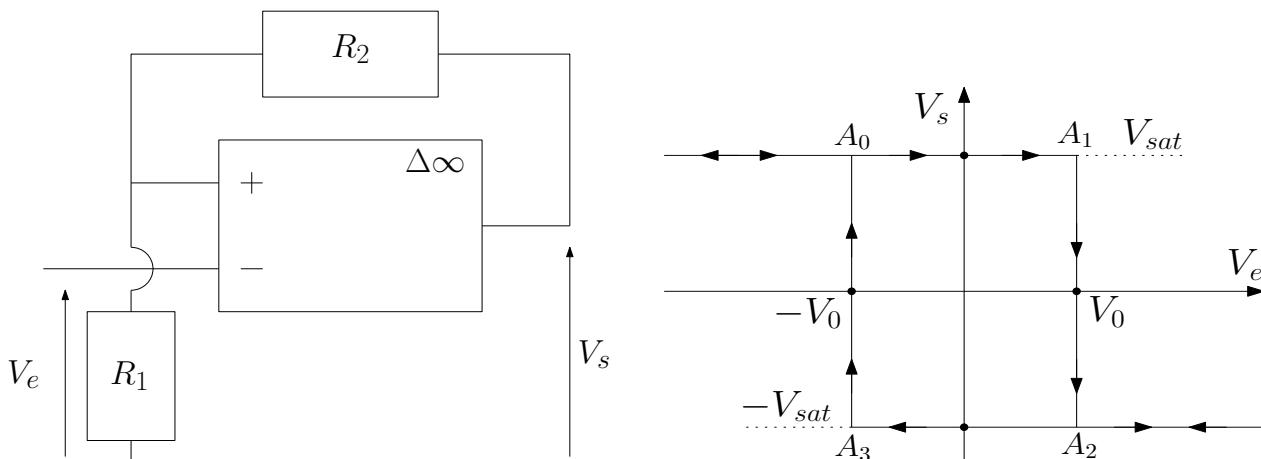


FIGURE 1 – Comparateur à hystérésis (à gauche). Caractéristique du comparateur à hystérésis (à droite).

- Proposer un protocole expérimental de tracé de la caractéristique dynamique du comparateur à hystérésis, (utilisant une tension sinusoïdale), soit sur l'écran de l'oscilloscope soit sur celui de l'ordinateur.

Appeler le professeur et lui exposer le protocole envisagé.

- Mettre en œuvre le protocole retenu. Mesurer les pentes des segments quasi-verticaux et les seuils de basculement. Que se passe-t-il si :
 - on abaisse démesurément l'amplitude ?
 - on élève démesurément la fréquence de la tension sinusoïdale appliquée ?
- Aurait-on pu tracer une caractéristique statique, si oui comment ?

— Valider le modèle théorique et en préciser les limites.

Appeler le professeur pour présenter les résultats.

2. Usages du comparateur à hystérésis :

Proposer des applications du comparateur à hystérésis et préciser ses avantages par rapport à un comparateur simple.

II. BASCULE DE SCHMITT : exemple emblématique d'oscillateur de relaxations

Un montage oscillateur électronique de relaxation est un montage délivrant des signaux en créneaux et des signaux alternatifs en portions d'exponentielles, de puissance inférieure à 1 W, en puisant l'énergie dans une alimentation continue. La figure (2-gauche) donne le schéma-bloc d'un tel montage.

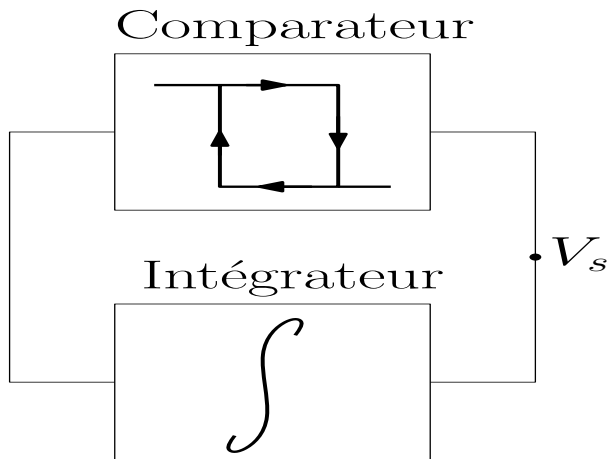


FIGURE 2 – Schéma-bloc d'un oscillateur de relaxations.

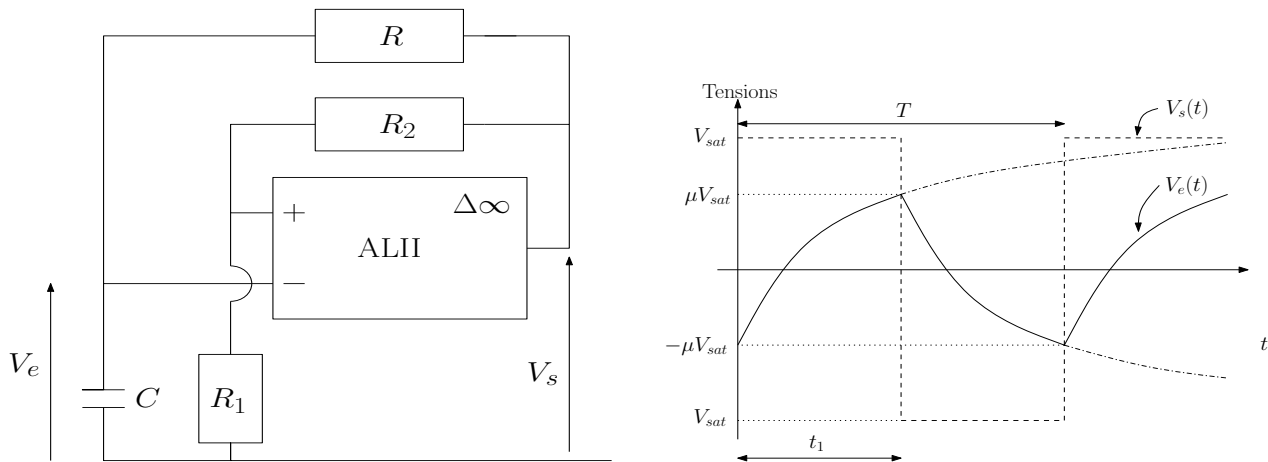


FIGURE 3 – Bascule de Schmitt (à gauche). Tensions délivrées par la bascule de Schmitt (à droite).

— Analyse théorique :

Pour analyser théoriquement le fonctionnement alternatif établi du montage de la figure (??), où l'ALI est supposé idéal :

— poser $k_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ (formule (E)) et $\tau = RC$ (formule (G)),

— Établir l'équation différentielle satisfaite par $V_e(t)$,

— Analyser successivement les deux phases de fonctionnement :

$$\left\{ t \in [0; \frac{T}{2}] : V_s = +V_{sat} \right\} \text{ et } \left\{ t \in [\frac{T}{2}; T] : V_s = -V_{sat} \right\} .$$

— Tracer les chronogrammes de $V_e(t)$ et $V_s(t)$,

— Monter par le calcul que la période T s'écrit :

$$T = 2\tau \ln\left(\frac{1+k_0}{1-k_0}\right) \quad : \quad (F)$$

— **Mise en œuvre :**

— Mettre en œuvre la bascule de SCHMITT sur la plaquette LAB avec des composants Radiospare et le jeu de valeurs (R_1 et R_2 peuvent être réalisés avec un potentiomètre Radiospare) :

$$R = 1k\Omega; C = 0,1\mu F; R_1 = 2,2k\Omega; R_2 = 15k\Omega.$$

— Proposer un protocole de tracé et impression des oscillogrammes des tensions, de mesure du rapport k_0 , de la constante de temps τ et de la période T .

— **PYTHON :**

1. par une régression linéaire (un ajustement affine) codée sous Python, et à partir de données expérimentales, valider la proportionnalité de la période T à la variable $x = \ln\left(\frac{1+k_0}{1-k_0}\right)$ établie théoriquement :

$$T = p[0]x + p[1]$$

Ici, on supposera k_0 connue avec une incertitude négligeable. En déduire une mesure de τ et l'incertitude u_τ . On s'inspirera du code `reg_lin2.py` de la drop box.

2. On réalise sous Python un ajustement affine de la loi :

$$T = p[0]x + p[1]$$

et une simulation Monte-Carlo de l'incertitude sur les coefficients de la loi affine.

Pour cela,

- on entre dans le programme :

- un ARRAY nommé x , de 6 valeurs expérimentales de x ,
- un ARRAY nommé T de 6 valeurs expérimentales de T ,
- un ARRAY nommé u_T , de 6 valeurs des incertitudes-types u_T .

- on fait l'ajustement affine selon la loi $T = p[0]x + p[1]$, on calcule les résidus et les écarts normalisés.
- on simule la mesure de 6 valeurs de T , pour 6 valeurs de x par :

$$TMC = T + rd.normal(0, u_T, size = 6)$$

- on reprend l'ajustement affine de cette série de valeurs de T et on stocke les valeurs AMC et BMC des coefficients $p[0]$ (pente) et $p[1]$ (ordonnée à l'origine) obtenus avec cette méthode Monte-Carlo.
- on fait l'analyse statistique des valeurs de $p[0]$ et $p[1]$ obtenues.
- on s'inspirera du code : `Cauchy_prisme.py` positionné dans la dropbox.
- en déduire une mesure de τ et de u_τ . Notons que la simulation MC d'une propagation d'incertitude sera toujours plus précise que la méthode analytique qui repose sur l'hypothèse de petites incertitudes relatives.

— **Calcul d'incertitudes par la méthode analytique :**

Avec une prise de différentielle des formules (E), (G) et (F), il vient :

$$dk_0 = \frac{1}{(R_1 + R_2)^2} [R_1 dR_2 - R_2 dR_1]$$

$$\text{et } dT = 2 \ln\left(\frac{1+k_0}{1-k_0}\right) (CdR + RdC) + \left(\frac{4RC}{1-k_0^2}\right) dk_0$$

$$\text{donc } dT = 2 \ln\left(\frac{1+k_0}{1-k_0}\right) (CdR + RdC) + \left(\frac{4RC}{1-k_0^2}\right) \frac{1}{(R_1 + R_2)^2} [R_1 dR_2 - R_2 dR_1]$$

Exprimer (racine de somme de carrés) et calculer l'incertitude u_T sur la période à l'aide des incertitudes u_R , u_C , u_{R_1} et u_{R_2} . Conclure.

Appeler le professeur pour rendre compte du protocole et des résultats.

— **Amélioration 1 :**

Proposer un montage de bascule, ayant un rapport cyclique différent de 1/2 et ajustable (avec deux diodes à jonction, (ou des LED) protégées par des résistances de 100Ω). Le mettre en œuvre.

Appeler le professeur pour rendre compte du protocole et rendre compte des résultats.

— **Amélioration 2 :**

Proposer un protocole utilisant une ou deux diodes Zener et permettant d'adapter l'amplitude de la tension $V_s(t)$. Le mettre en œuvre. **Appeler le professeur pour rendre compte du protocole et des résultats.**

III. OSCILLATEUR A INTERRUPTEUR ANALOGIQUE COMMANDÉ :

1. Analyse théorique :

on veut analyser théoriquement le fonctionnement du montage de la figure 4-gauche, contenant deux ALI idéaux, une diode (D) de détection rapide, une puce CD4066 qui fait office d'interrupteur (K) commandé par la tension logique $V_c(t)$, un générateur de tension continue de f. e. m. V_0 .

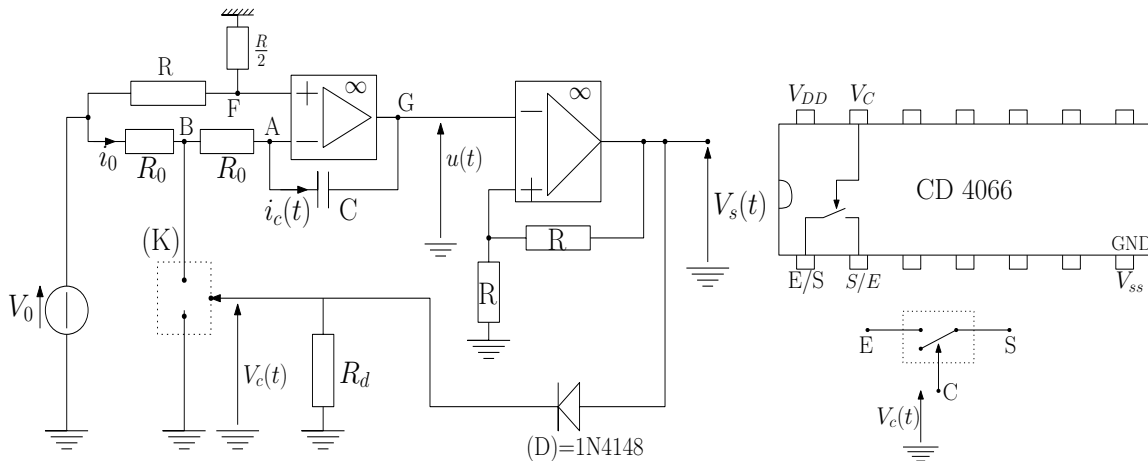


FIGURE 4 – Oscillateur à interrupteur commandé (à gauche). Brochage puce 4066 (à droite).

i. Précisions sur le matériel :

- Via la diode (D), on redresse $V_s(t)$ en $V_c(t)$, au sens où $V_c(t)$ est égal à $V_s(t)$ si $V_s(t) > 0$ et $V_c(t) = 0$ sinon. C'est $V_c(t)$ qui assure la commande de (K) : (K) est fermé si $V_c(t) > 0$ et ouvert si $V_c(t) = 0$.
- La puce contenant l'interrupteur (K) commandable est la CD 4066 ; sa polarisation et son brochage sont expliqués en figure 4-droite. C'est un boîtier DIL (dual in line) à 14 broches (une grande puce) où sont enfermés 4 interrupteurs (K) commandables. Nous n'en utilisons qu'un. Chaque interrupteur (K) possède trois bornes, les bornes E et S (interchangeables) de part et d'autre de son canal, et sa borne C à laquelle on amène la tension de commande.

Le fournisseur de la puce CD 4066 donne le cahier des charges suivant :

$V_{DD} = 15V$: tension de polarisation réalisée avec alimentation continue symétrique d'ALI.		
$V_{SS} = 0V$: référence de tension nulle imposée par le zéro de l'alimentation continue symétrique, la masse d'oscilloscope, la masse de carte Sysam...		
À l'entrée E (ou S si on échange) doit être apposée une tension $V_E \in [-0,5V ; 15,5V]$.		
<ul style="list-style-type: none"> • À l'état fermé ($V_c = 15V$), l'interrupteur (K) possède une résistance R_{on} de quelques 100Ω qui dépend de la tension V_{DD}. • À l'état ouvert ($V_c = 0V$) l'interrupteur (K) possède une résistance quasi-infinie. 		

- (D) est une diode rapide 1N4148 (noir et orange) apte à commuter à la fréquence des oscillations du montage.
- En remplaçant $\frac{R}{2}$ par un potentiomètre, on peut obtenir un rapport cyclique ajustable.

— On prend :	$R_D = 100k\Omega$	$R = R_0 = 10k\Omega$	$C = 1nF$ ou $C = 10nF$
	$\frac{R}{2} = 4.7k\Omega$ en série avec 220Ω ou potentiomètre		V_0 ajustable dans $[0, 12V]$.

ii. Équations théoriques :

en posant $\tau_0 = R_0 C$, établir que :

- à l'entrée non inverseuse de l'ALI 1, l'on a : $V_+ = \frac{V_0}{3}$,
- en phase $t \in [t_i; t_i + \frac{T}{2}]$ de décroissance de $u(t)$,
(K) est ouvert $\iff V_s(t) = -15V$ et :

$$\frac{du}{dt} = -\frac{V_0}{3 \tau_0} \Rightarrow u(t) = -\frac{V_0 (t - t_i)}{3 \tau_0} + \frac{V_{sat}}{2}$$

$$\text{où : } u(t_i) = \frac{V_{sat}}{2}.$$

- en phase $t \in [t_j; t_j + \frac{T}{2}]$ de croissance de $u(t)$,
(K) est fermé $\iff V_s(t) = +15V$ et :

$$\frac{du}{dt} = \frac{V_0}{3 \tau_0} \Rightarrow u(t) = \frac{V_0 (t - t_j)}{3 \tau_0} - \frac{V_{sat}}{2}$$

$$\text{où : } u(t_j) = -\frac{V_{sat}}{2}.$$

- la période est : $T = \frac{6 \tau_0 V_{sat}}{V_0}.$

2. Mise en œuvre :

- Il s'agit d'une manipulation difficile vu le nombre des composants. Il convient de câbler l'ensemble sur deux plaquettes LAB et de tester séparément les sous-blocs.
- Mettre en œuvre un protocole incluant cet oscillateur et des appareils de mesure, et en faire l'analyse expérimentale.
- Confronter les résultats au modèle théorique. Faire des calculs d'incertitudes et jauger la précision du matériel.
- **Appeler le professeur pour rendre compte du protocole et des résultats.**

3. OSCILLATEUR DE RELAXATION A PORTE LOGIQUE :

i. Fabrication d'une porte NO avec une porte NAND :

On va fabriquer une porte logique NO à l'aide d'une porte logique NAND (encore appelée &). Le boîtier *Dual in line* à 14 pattes (grande *puce*) contient des portes logiques NAND (ou encore &). Son schéma de brochage et sa table de vérité sont en figure 5 et dans sa *data sheet*. Sa tension de polarisation est $V_{DD} \in [5V; 10V]$.

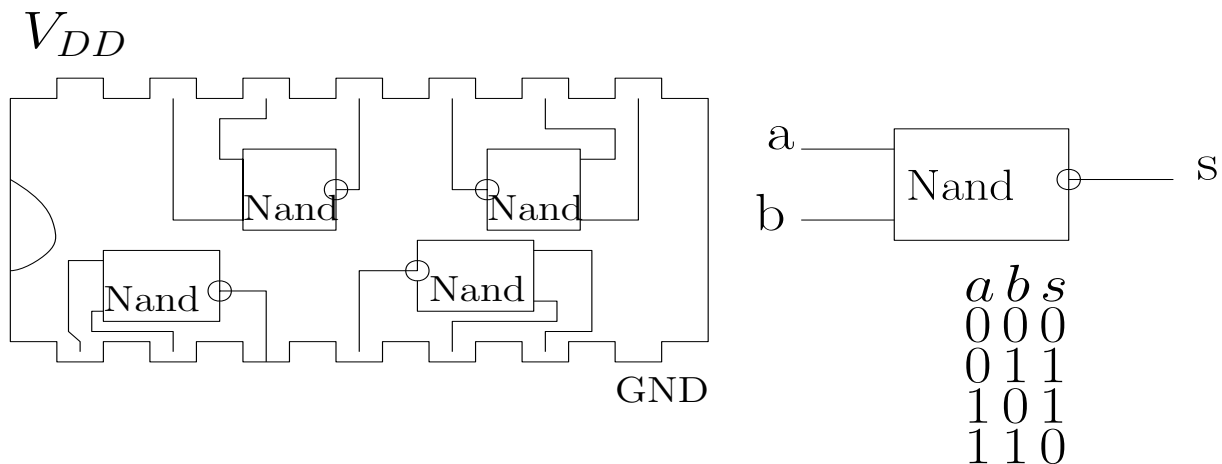


FIGURE 5 – Brochage de la puce CI CMOS 4011 et table de vérité de la porte NAND.

On réalise une porte NO (un inverseur logique) d'entrée E et de sortie S comme indiqué en figure 6 (Logo-bloc). Sa table de vérité est :

E	S
0	1
1	0

- Lire soigneusement le cahier des charges de la puce, notamment sa polarisation.

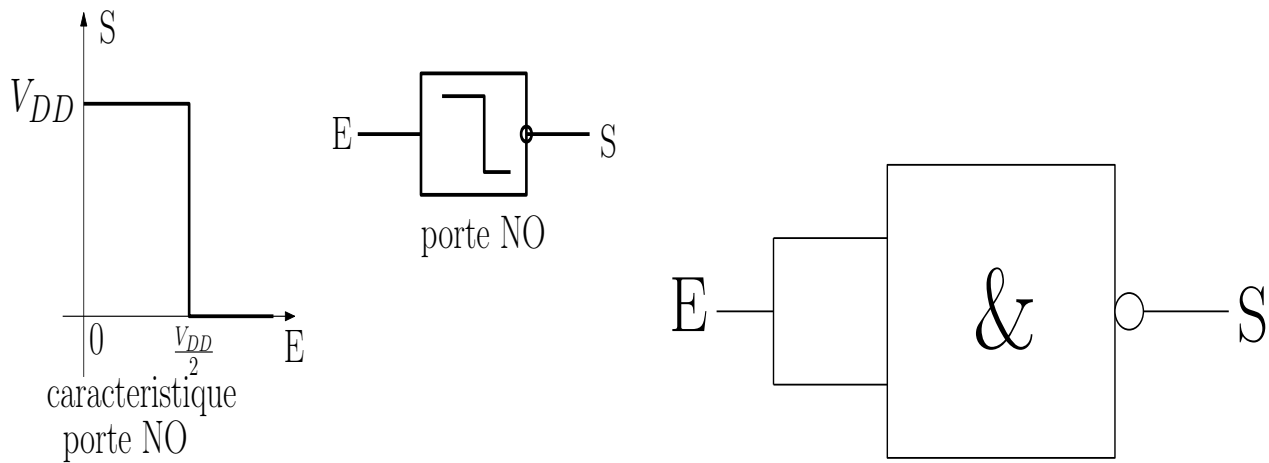


FIGURE 6 – Caractéristique d’une porte NO (à gauche). Logo-bloc d’une porte NO issue d’une porte NAND (à droite).

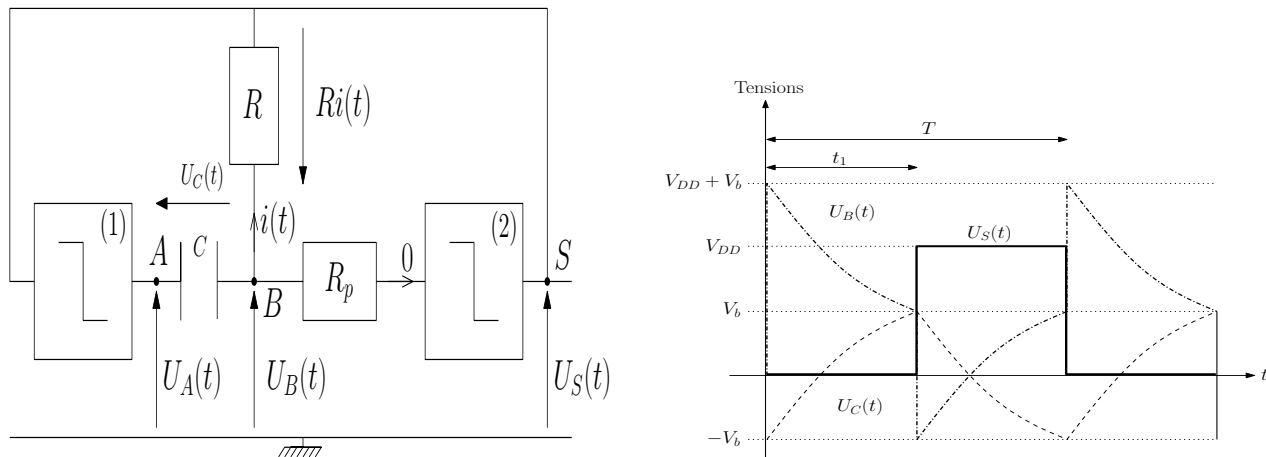


FIGURE 7 – Oscillateur à portes NAND (à gauche). Chronogrammes des tensions de l’oscillateur à portes NAND (droite).

- Vérifier que le Logo-bloc de figure 6 permet de fabriquer une porte NO.

ii. Oscillateur de relaxation :

- le schéma du montage oscillateur de relaxation à portes logiques NO est donné en figure 7-gauche. Étudier en théorie ce montage et établir une formule donnant sa période. Réponse : $T = 2RC \ln 3$.
On prend : $R = R_p = 200 \text{ k}\Omega$ | $C = 1 \text{ nF}$ | $f = 2.1 \text{ kHz}$ | $T = 0.48 \text{ ms}$
- Proposer un protocole expérimental de tracé et impression des chronogrammes, de mesure de la période.
- Mettre en œuvre le protocole et faire les mesures.
- Les chronogrammes expérimentaux sont-ils en accord avec ceux de la figure 7-droite ?
- Appeler le professeur pour exposer les résultats obtenus

TP2B : Étude d’un oscillateur pseudo-sinusoïdal : l’oscillateur à pont de Wien

1. GENERALITES SUT LES OSCILLATEURS PSEUDO-SINUSOÏDAUX :

Un oscillateur électronique pseudo-sinusoïdal est un montage qui génère des signaux électroniques sensiblement sinusoïdaux (signaux alternatifs de distorsion faible, de puissance inférieure au Watt), en puisant l’énergie dans une alimentation continue. C’est un montage à rétroaction (dit « montage bouclé ») :

- dont la chaîne directe est un montage amplificateur (A), de fonction de transfert réelle μ ,
- dont la chaîne de retour est un *résonateur* (filtre passe-bande en général, ou filtre réjecteur de bande exceptionnellement), de fonction de transfert $\underline{\beta}(j\omega)$.

La figure (5-gauche) indique le schéma-bloc d'un tel montage oscillateur électronique.

La condition de fonctionnement en régime sinusoïdal pur est appelée «critère de Barkhausen fort» et s'écrit :

$$\underline{T}(j\omega) = \mu \times \underline{\beta}(j\omega) = 1$$

Des facteurs d'amortissement font que les oscillations se pérennisent seulement si le montage est légèrement instable.

La condition réelle de fonctionnement («critère de Barkhausen faible») s'écrit :

$$|\underline{T}|(\omega) = \mu \times |\underline{\beta}|(\omega) > 1.$$

La figure (8-droite) illustre ce critère dans le cas idéal (critère fort) et réel (critère faible).

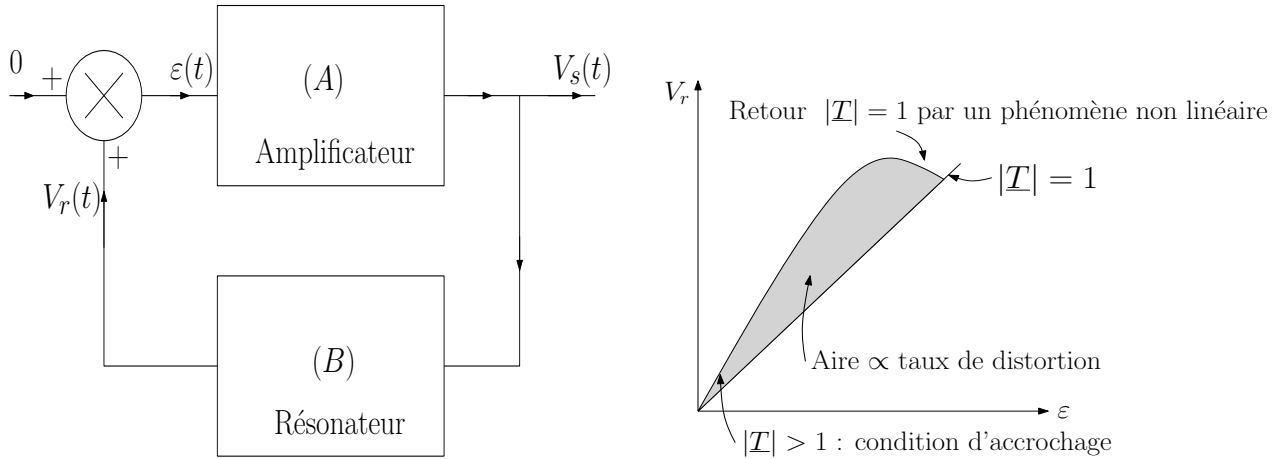


FIGURE 8 – Schéma-bloc d'un oscillateur pseudo-sinusoïdal (à gauche). Critère de Barkhausen (à droite).

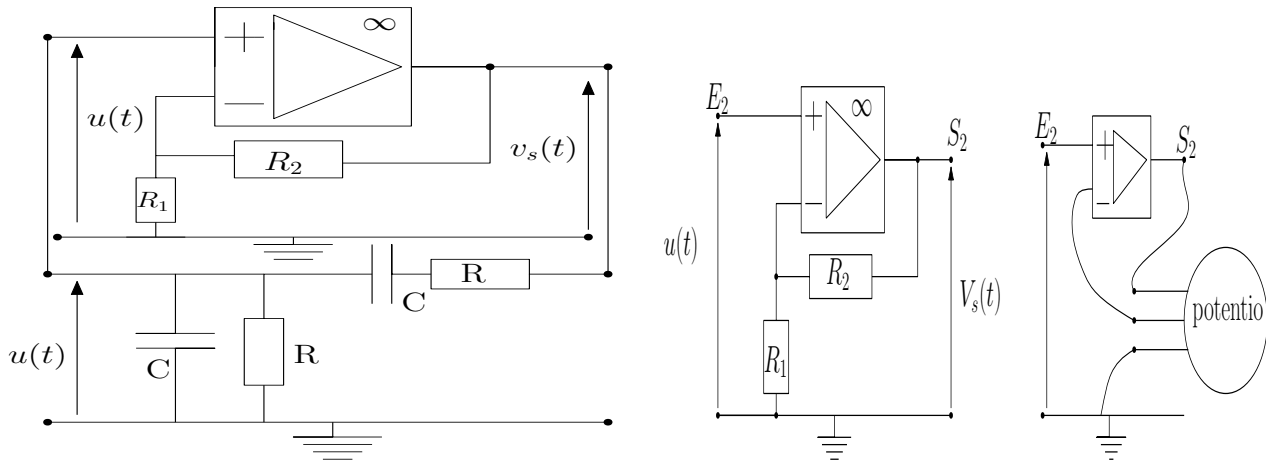


FIGURE 9 – Montage oscillateur à pont de Wien (à gauche). Montage amplificateur non-inverseur (à droite).

2. OSCILLATEUR A PONT DE WIEN

i. Étude graphique et fréquentielle du quadripôle de Wien :

- La figure 6-gauche donne le schéma du quadripôle appelé « pont de Wien » de fonction de transfert :

$$\underline{\beta}(j\omega) = \frac{1}{3 + j\omega\tau + \frac{1}{j\omega\tau}} \quad \text{où } \tau = RC.$$

Son diagramme de Bode en amplitude et en phase est donné en figures 10 et 11, où on a pris l'argument $\Phi(\omega)$ dans $[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$. De quel type de filtre s'agit-il ? À quelle équation différentielle la tension de sortie du quadripôle de Wien satisfait-elle en régime variable ? Que vaut son amplification maximale B_{max} ?

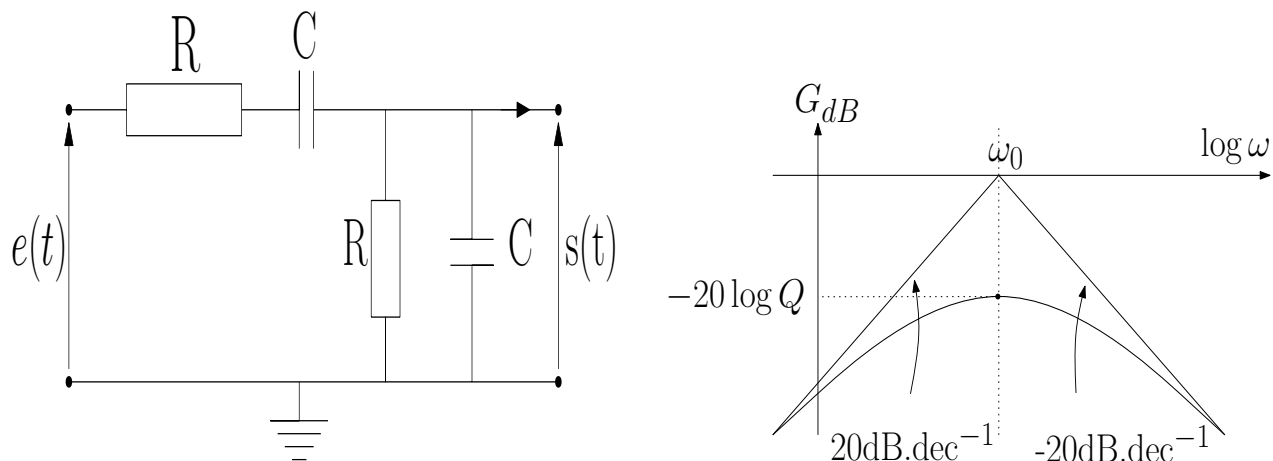


FIGURE 10 – Pont de Wien (à gauche). Diagramme de Bode en amplitude du pont de Wien (à droite).

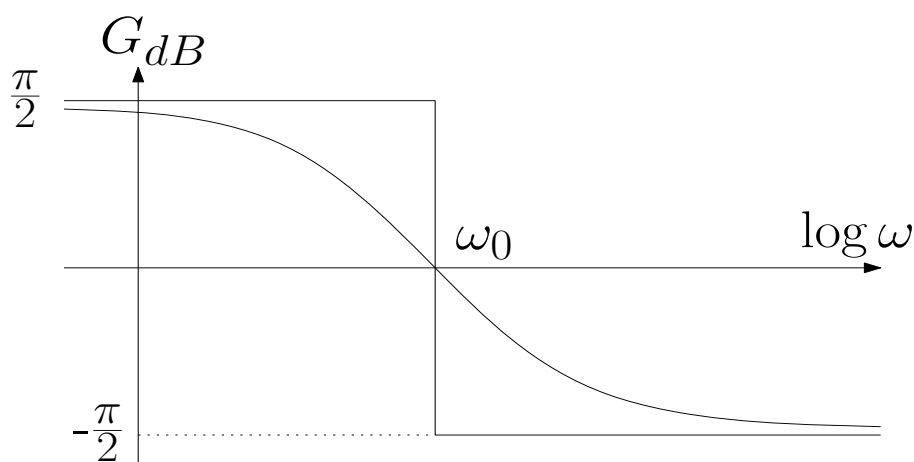


FIGURE 11 – Diagramme de Bode en phase du pont de Wien .

- Choisir τ pour que la pulsation de résonance soit voisine de $3,14 \cdot 10^4 \text{ rad.s}^{-1}$.

ii. Étude de l'oscillateur à amplificateur non inverseur et pont de Wien :

- Exprimer la fonction de transfert A_0 du montage amplificateur de la figure (9) non inverseur, à ALI idéal.
- En associant cet amplificateur au quadripôle de Wien, élaborer le montage à rétroaction de la figure 9-gauche. On utilise un potentiomètre qui réalise à lui seul le pont diviseur (R_1 , R_2).

Dans un monde parfait où chaque composant aurait exactement et constamment sa valeur supposée, ce montage auto-oscillerait en régime purement sinusoïdal à la pulsation ω_{ideal} , à la condition :

$$\underline{T(j \omega_{ideal})} = \underline{\beta(j \omega_{ideal})} \times A_0 = 1 \Leftrightarrow \omega = \omega_{ideal} \text{ et } \frac{R_2}{R_1} = f.$$

Identifier théoriquement f et ω_{ideal} .

- Équiper le montage d'un oscilloscope interfacé à l'ordinateur pour étudier la naissance des oscillations et leur régime établi. Que nous permet d'obtenir une rotation du manche du potentiomètre ?

Appeler le professeur pour rendre compte du protocole choisi.

- Mettre en œuvre le protocole sur plaquette LAB.
- Vérifier expérimentalement que la naissance (l'accrochage sur un parasite) et l'auto-entretien d'oscillations sont conditionnés à une inégalité portant sur le rapport $w = \frac{R_2}{R_1}$.
- Dans le cas favorable à l'auto-entretien, le régime libre est-il amplifié ou amorti ?
- *Modèle d'accrochage des oscillations :*

On suppose l'ALI en régime linéaire. **THEORIE :**

Établir l'équation différentielle satisfaite par $V_s(t)$ et par $u(t)$, pour un rapport $w = f + \epsilon$ quelconque. La mettre sous forme : $\frac{d^2 V_s}{dt^2}(t) + b_1 \frac{dV_s}{dt}(t) + b_0 V_s(t) = 0$ et exprimer les paramètres (b_1, b_0).

À quelle condition sur a (donc sur w) le régime libre du montage est-il amplifié ?

- On se place dans le cas où $V_s = V_{sat}$. **THEORIE :**

Mettre l'équation différentielle satisfaite par $u(t)$ sous forme : $\frac{d^2 u}{dt^2}(t) + b_{1,sat} \frac{du}{dt}(t) + b_0 u(t) = 0$ et exprimer $b_{1,sat}$.

- Vérifier expérimentalement que les oscillations sont d'autant moins distordues que l'on est au plus près de l'égalité $\omega = f$. Le modèle précédent prévoit-il cette observation ? Quelles est le décalage idéal ϵ_{ideal} , la pulsation idéale ω_{ideal} , le transfert idéal de l'amplificateur $A_{0,ideal}$, conditionnant des oscillations parfaitement sinusoïdales ?
- En vous plaçant au plus près des oscillations idéales, mesurer la pulsation ω_{exp} , l'amplification $A_{0,exp}$ de l'amplificateur non inverseur, le décalage ϵ_{exp} . Pour cela, on sort précautionneusement le potentiomètre de la plaquette LAB, on connecte des pinces crocodiles à deux de ses pattes et on mesure les valeurs de R_1 et R_2 à l'ohmmètre. Conclure.

- **PYTHON :**

Faire tourner le code Python `Oscill_Pont_Wien.py` (positionné dans la dropdown) et observer les chronogrammes obtenus pour diverses valeurs de A_0 .

- **Amélioration :**

Remplacer la résistance R_1 par l'association en parallèle d'une VDR (*Voltage dependant resistor*) et d'une résistance de $1,5k\Omega$. Prendre une résistance R_2 variable en utilisant deux pattes consécutives d'un potentiomètre. Montrer que :

- il y a régulation du gain de l'amplificateur à $A_0 = A_{0,ideal}$, de la pulsation à $\omega = \omega_{ideal}$,
- la distorsion devient minime
- et que l'amplitude V_{s_m} de la tension de sortie peut être ajustée par choix de R_2 .

Conclure.

Appeler le professeur pour rendre compte des résultats obtenus

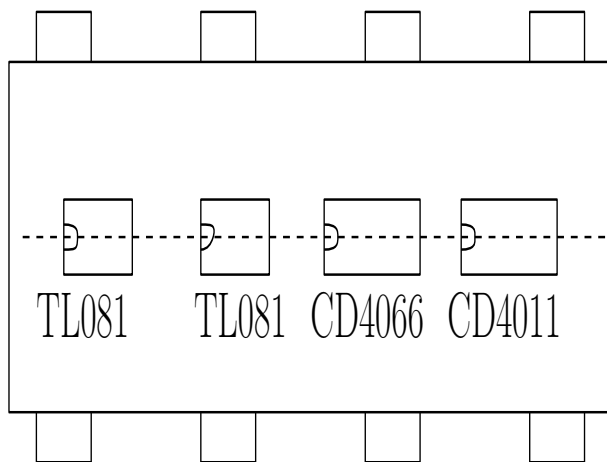


FIGURE 12 – Plaquette LAB avec puces embrochées).