TD Électronique

Lycée Thiers - Physique-Chimie - MPI/MPI*- 2025-2026

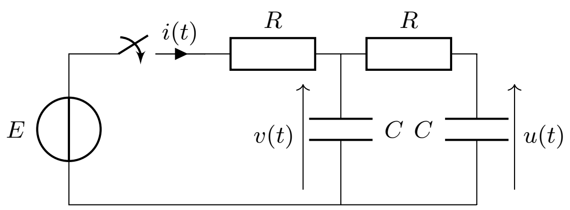
Table des matières

1 Révisions de première année : filtrage linéaire

Exercice 1 - Effet d'un filtre passe-haut : On considère un filtre passe-haut du premier ordre de gain en dB maximal de 0 dont la fréquence de coupure est de 100 Hz. Donner l'allure du signal en sortie si on envoie en entrée :

1. Une sinusoïde d'amplitude 4 V et de fréquence 2 kHz.
2. Une sinusoïde d'amplitude 4 V et de fréquence 2 kHz plus une tension continue de 1 V.
3. Un créneau de valeur moyenne nulle, d'amplitude 4 V et de fréquence 2 kHz plus une tension continue de 1 V.
4. Un signal triangle de valeur moyenne nulle et d'amplitude 4 V et de fréquence 2 Hz.

Exercice 2 - Circuit avec deux condensateurs : Le circuit schématisé ci-dessous comporte deux résistances R et deux condensateurs de capacité C, initialement déchargés. À l'instant $t = 0$ le branche sur un générateur de tension E.



1. Déterminer la tension u_∞ vers laquelle tend $u(t)$ en régime permanent.
2. On pose $\tau = RC$, montrer que la tension $u(t)$ vérifie l'équation différentielle
$$\frac{E}{\tau^2} = \frac{\mathrm{d}^2u(t)}{\mathrm{d}t^2} + \frac{3}{\tau}\frac{\mathrm{d}u(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{u(t)}{\tau^2}\ .$$
3. Quel est le facteur de qualité Q du montage ?
4. Après avoir déterminé les conditions initiales, en déduire $u(t)$.

Exercice 3 - Filtre RL : On considère un filtre R, L série. Une tension u_e est imposée en entrée et l'on mesure u_s aux bornes de la bobine.

1. Faire un schéma du circuit.
2. Déterminer la nature du filtre grâce à son comportement équivalent aux hautes et basses fréquences.
3. Déterminer la fonction de transfert $\underline{H} = \dfrac{\underline{U_s}}{\underline{U_e}}$ de ce filtre. Identifier sa pulsation caractéristique ω_0.
4. Tracer le diagramme de Bode du filtre. En déduire la bande passante du système.
5. Quelle est la valeur de la pente du diagramme de gain aux basses fréquences ? Justifier cette valeur particulière.
6. On met en signal d'entrée du filtre le signal suivant :

$$e(t) = e_0\sin(\omega_0 t) + e_1\sin(\omega_1 t) + e_2\sin(\omega_2 t)$$

avec $e_0 = 0.5\,\mathrm{V}$, $e_1 = 10\,\mathrm{V}$, $\omega_1 = \omega_0/100$, $e_2 = 1\,\mathrm{V}$ et $\omega_2 = 10\omega_0$.
À l'aide du diagramme de Bode, déterminer le signal de sortie. Commenter.

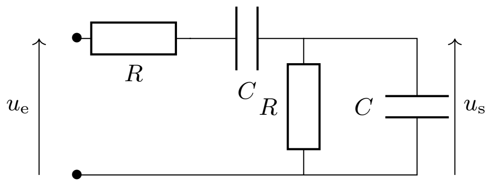
7. Trouver l'équation différentielle sur la tension u_s à l'aide d'une étude temporelle avec de la loi des mailles et la loi des nœuds.
8. À partir de cette équation différentielle, retrouver la fonction de transfert du filtre.

Exercice 4 - Filtre de Colpitts : On considère le quadripôle constitué d'une résistance R, d'une bobine L et de deux condensateurs C et $3C$ en série placés en parallèle de la bobine. La tension u_s est mesurée aux bornes du condensateur de capacité $3C$.

1. Étudier qualitativement le comportement de ce quadripôle. De quel type de filtre s'agit-il ?
2. Montrer que la fonction de transfert peut se mettre sous la forme $\underline{H} = \dfrac{A}{1 + jQ\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)}$. On donnera les expressions de A, Q et ω_0.
3. Déterminer la fréquence pour laquelle le déphasage est nul, ainsi que les fréquences de coupure.
4. Donner les pentes asymptotiques du diagramme de Bode en amplitude de ce filtre.
5. Un circuit multiplieur fournit le signal d'entrée $u_e(t) = 2B\cos(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)$ avec $\omega_1 = 100\omega_0$ et $\omega_2 = 101\omega_0$. Écrire $u_e(t)$ sous la forme d'une somme de cosinus. En déduire le signal obtenu à la sortie de ce filtre. On rappelle que $2\cos a \cos b = (\cos(a+b) + \cos(a-b))$.

Exercice 5 - Filtre de Wien :

1. Quelle est la nature du filtre de Wien représenté ci-dessous ?

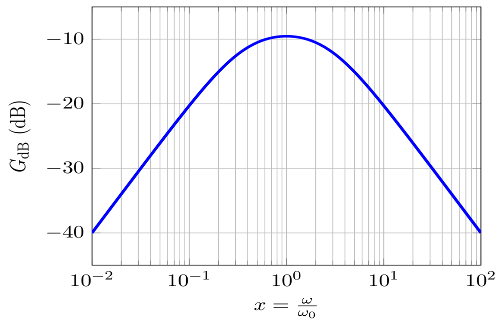


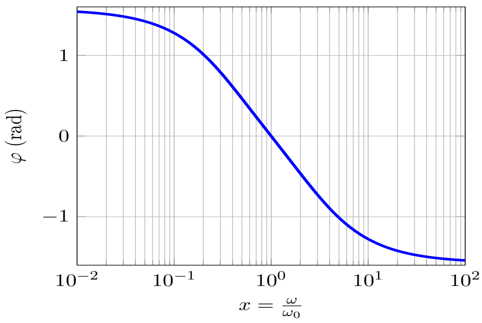
2 Établir la fonction de transfert du filtre et la mettre sous la forme

$$\underline{H}(x) = \frac{K}{1 + jQ\left(x - \dfrac{1}{x}\right)}$$

avec $x = \omega/\omega_0$ et où K, ω_0 et Q sont des constantes positives que l'on explicitera.

3. On trace ci-dessous le diagramme de Bode du filtre. Commenter l'allure du diagramme en amplitude et donner la valeur de la bande passante et la comparer au facteur de qualité. Ce filtre est-il sélectif ?

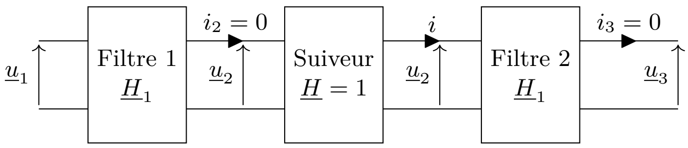




Exercice 6 - Filtres en cascade :

On considère l'association ci-contre de deux filtres tels que

$$\underline{H}_1 = \underline{H}_2 = \frac{1}{1 + j\omega/\omega_0}.$$



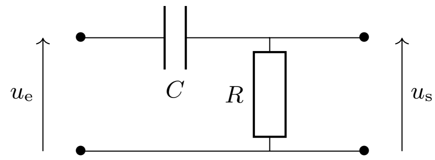
1. Quelle est la nature du filtre 1 ? Quel est son ordre ?
2. Donner un montage électrique simple permettant de réaliser ce filtre.
3. Quel est l'intérêt du montage suiveur ?
4. Donner l'expression de la fonction de transfert globale : $\underline{H} = \underline{u}_3/\underline{u}_1$.
5. On injecte en entrée du montage un signal u_1 de la forme : $u_1(t) = U + u_0\cos(\omega_0 t)\cos(2\omega_0 t)$ où $U = 5\,\mathrm{V}$ et $u_0 = 6\,\mathrm{V}$. On rappelle que $\cos a \cos b = (\cos(a+b) + \cos(a-b))/2$
   (a) Montrer que ce signal peut s'écrire comme une somme de signaux sinusoïdaux.
   (b) Représenter l'allure du spectre de ce signal.

(c) Déterminer le spectre du signal de sortie (on déterminera notamment l'amplitude des différents harmoniques).
(d) En déduire l'allure du signal de sortie.

Exercice 7 - Impédance d'entrée d'un oscilloscope :

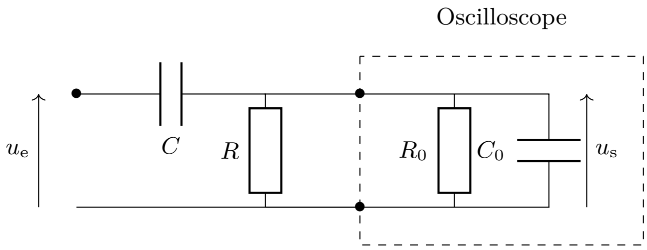
On considère le filtre ci-contre.

1. Déterminer la fonction de transfert $\underline{H} = \underline{u_s}/\underline{u_e}$ où l'on posera $\omega_0 = 1/(RC)$.
2. Déterminer la fréquence de coupure pour $R = 500\,\mathrm{k\Omega}$ et $C = 0.1\,\mathrm{nF}$.



3. Représenter le diagramme de Bode.

5. On observe la tension de sortie à l'aide d'un oscilloscope ayant une impédance d'entrée due à un groupement parallèle ($R_0 = 1\,\mathrm{M\Omega}$, $C_0 = 30\,\mathrm{pF}$). Calculer la nouvelle fonction de transfert et déterminer la nouvelle fréquence de coupure avec les valeurs de la question 2. Conclure sur l'influence de l'oscilloscope.



Élements de réponse :

2 - 1. $u_\infty = E$; 3. $\omega_0 = 1/\tau$ et $Q = 1/3 < 1/2$; 4. $u(0) = 0$ et $u'(0) = 0$.

3 - 3. $\underline{H} = \dfrac{j\omega/\omega_0}{1 + j\omega/\omega_0}$ avec $\omega_0 = R/L$; 6. $s_0 = 0.35\,\mathrm{V}$, $\phi_0 = \pi/4$, $S_1 = 0.1\,\mathrm{V}$, $\phi_1 \approx \pi/2$, $s_2 = 1\,\mathrm{V}$, $\phi_2 = 0$; 7. $\frac{\mathrm{d}u_s}{\mathrm{d}t} + \omega_0 u_s = \frac{\mathrm{d}u_e}{\mathrm{d}t}$.

4 - 1. $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{4}{3LC}}$, $Q = \dfrac{R}{2}\sqrt{\dfrac{3C}{L}}$ et $A = 1/4$; 4. ± 20 dB/dec ; 5. $u_s(t) = AB\cos(\omega_0 t)$.

5 - 1. passe-bande ; 2. $K = 1/3$, $Q = 1/3$ et $\omega_0 = 1/(RC)$; 3. Gain max : ≈ -9.5 et la bande passante $\Delta x = \Delta\omega/\omega_0 = 1/Q$.

6 - 4. $\underline{H} = \underline{H}_1^2 = 1/(1 - \omega^2/\omega_0^2 + 2j\omega/\omega_0)$; 5. $u_2(t) = U + u_2\cos(\omega_0 t)$ où $U = 5\,\mathrm{V}$ et $u_2 = 0.75\,\mathrm{V}$.

7 - 2. $\omega_0 = 2\times 10^4\,\mathrm{rad/s}$; 4. $\underline{H} = \frac{C}{C+C_0}\frac{j(C+C_0)R_{\mathrm{eq}}\omega}{1+j(C+C_0)R_{\mathrm{eq}}\omega}$ où $R_{\mathrm{eq}} = RR_0/(R+R_0)$. La pulsation de coupure vaut $\omega_0 = 1/(R_{\mathrm{eq}}(C+C_0))$ soit $f_c = 3.6\,\mathrm{kHz}$. La pulsation de coupure est maintenant différente.

2 Algèbre de Boole

Exercice 8 - Règles élémentaires de l'algèbre de Boole : À l'aide d'une table de vérité, montrer que :

1. $a \cdot a = a$ et $a + a = a$;
2. $(a + b) + c = a + (b + c)$;
3. $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$.

Exercice 9 - Simplifications dans l'algèbre de Boole : À l'aide d'une table de vérité, montrer que :

1. $a + a \cdot b = a$;
2. $a + \bar{a} \cdot b = a + b$;
3. $a \cdot (\bar{a} + b) = a \cdot b$.

Exercice 10 - Élément régulier dans l'algèbre booléenne :

1. À l'aide d'une table de vérité, montrer que

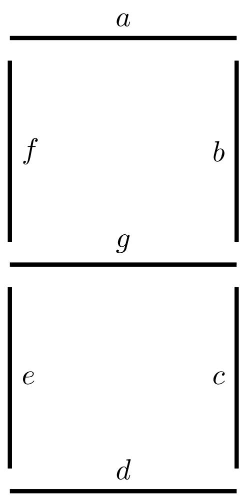
$$\bar{c} \cdot a + c \cdot b + b \cdot a = \bar{c} \cdot a + c \cdot b\,.$$

2. Dans l'algèbre des nombres réels, on peut en déduire une propriété sur $b \cdot a$, est-ce le cas dans l'algèbre de Boole ?

Exercice 11 - Afficheur hexadécimal sept segments : On souhaite afficher sur un afficheur 7 segments la valeur d'un nombre binaire. En entrée, on a un mot de 4 bits ce qui permet d'avoir les valeurs de 0 à F en hexadécimal. En sortie, on cherche le pilotage des sept segments de l'afficheur soit 7 sorties.

Chaque segment est relié à une LED. Dans cet exercice, nous avons choisi l'état allumé égal à 1. Par convention, les segments sont numérotés dans l'ordre alphabétique. La numérotation se fait en spirale, en partant du haut, conformément à la figure ci-contre.

Les données d'entrées sont enregistrées sur 4 bits notés $xyzt$. Le tableau ci-dessous rappelle les valeurs à prendre ainsi que le caractère à afficher sur l'afficheur.



Héxadécimal	0	1	2	3	4	5	6	7
Binaire	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
Affichage	0	1	2	3	4	5	6	7

Héxadécimal	8	9	A	B	C	D	E	F
Binaire	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
Affichage	8	9	A	b	C	d	E	F

1. Remplir la table de vérité donnant la sortie $abcdefg$ en fonction du mot binaire d'entrée $xyzt$.
2. Proposer une formule booléenne pour a permettant de répondre à cette table de vérité.

Élements de réponse :

10 - 2. $b \cdot a \neq 0$.

11 - 2. $a = \bar{x}\,\bar{y}\,\bar{z}\,\bar{t} + \bar{x}\,\bar{y}\,z\,\bar{t} + \bar{x}\,\bar{y}\,z\,t + \bar{x}\,y\,\bar{z}\,t + \bar{x}\,y\,z\,\bar{t} + x\,\bar{y}\,\bar{z}\,\bar{t} + x\,\bar{y}\,\bar{z}\,\bar{t} + x\,\bar{y}\,\bar{z}\,t + x\,\bar{y}\,z\,\bar{t} + x\,y\bar{z}\,\bar{t} + x\,y\,z\bar{t} + x\,y\,z\,t$.

3 Portes logiques

Exercice 12 - Utilisations de la porte XOR : On rappelle que l'opération XOR est donné par $a \oplus b = \bar{b} \cdot a + b \cdot \bar{a}$.

1. *Opérateur programmable :* soit la commande Y, proposez un circuit logique dont la sortie vaut a si $Y = 0$ et $\bar{a}$ si $Y = 1$.
2. *Clé de parité :*
   (a) On réalise une porte XOR sur trois entrées $a \oplus b \oplus c$. Montrez que
   $$a \oplus b \oplus c = c \cdot b \cdot a + c \cdot \bar{b} \cdot \bar{a} + \bar{c} \cdot \bar{b} \cdot a + \bar{c} \cdot b \cdot \bar{a}\,.$$
   (b) En déduire que cette sortie vaut 1 uniquement si le groupe (a, b, c) contient un nombre impair de 1.

Exercice 13 - Groupe complet de la porte NOR : On rappelle la loi de de Morgan $\overline{a+b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$. Proposez à l'aide uniquement de portes NOR un circuit logique permettant de réaliser les opérations NOT, AND et OR.

Exercice 14 - Codeur binaire : On définit un codeur comme un circuit de compression des données, car c'est un circuit qui réduit le nombre d'entrées et permet de transporter une information sur moins de fils.

Une seule entrée étant active à la fois, on obtient en sortie le numéro binaire de l'entrée active. On a 2^n entrées pour n sorties.

Prenons un codeur à quatre entrées et à deux sorties. On veut, conformément au cahier des charges, la table suivante :

e_3	e_2	e_1	e_0	s_1	s_0
1	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1
0	0	0	1	0	0

1. Justifier que les sorties sont données par
$$s_1 = e_3 \cdot \bar{e}_2 \cdot \bar{e}_1 \cdot \bar{e}_0 + \bar{e}_3 \cdot e_2 \cdot \bar{e}_1 \cdot \bar{e}_0\ ;$$
$$s_0 = e_3 \cdot \bar{e}_2 \cdot \bar{e}_1 \cdot \bar{e}_0 + \bar{e}_3 \cdot \bar{e}_2 \cdot e_1 \cdot \bar{e}_0\,.$$

2. Si toutes les entrées sont nulles, quel est le résultat de ce circuit ? En quoi est-ce un problème ?
3. Si $e_1 = e_2 = 1$, quel est le résultat de ce circuit ? En quoi est-ce un problème ?

Pour résoudre le premier problème, on rajoute une sortie Y qui vaut 1 si toutes les entrées sont nulles. Cette sortie permet de savoir lorsque le codeur doit être considéré comme inactif.

Pour le second problème, on hiérarchise les voies. Ainsi, si la voie 3 est active, la sortie doit être (11), quel que soit l'état des autres voies. De même pour les voies suivantes.

4. Justifier alors que $s_1 = e_3 + e_2$ et $s_0 = e_3 + e_1 \cdot \bar{e}_2$.

Exercice 15 - Additionneur binaire : Considérons deux bits a_0 et b_0 que l'on souhait additionner. La sortie est sur deux bits s_0 (représentant l'unité) et r_1.

1. Réaliser la table de vérité de de cet additionneur.
2. Proposer un circuit logique pour réaliser cette opération.

Pour réaliser une addition d'un grand nombre de chiffres, il est nécessaire de réaliser une addition à trois chiffres. En effet, il faut ajouter a_1, b_1 et r_1 pour obtenir en sortie s_1 et r_2.

3. Réaliser la table de vérité correspondante.
4. Montrer que $s_1 = r_1 \oplus a_1 \oplus b_1$ et $r_2 = a_1 \cdot b_1 + r_1 \cdot (a_1 \oplus b_1)$.
5. Proposer le circuit logique correspondant.

L'inconvénient du circuit précédent est que les opérations se font en série. Le temps de calcul est donc limité par le transfert de l'information.

Élements de réponse : | **14 -** 2. $s_1 = s_2 = 0$; 3. $s_1 = s_2 = 0$.

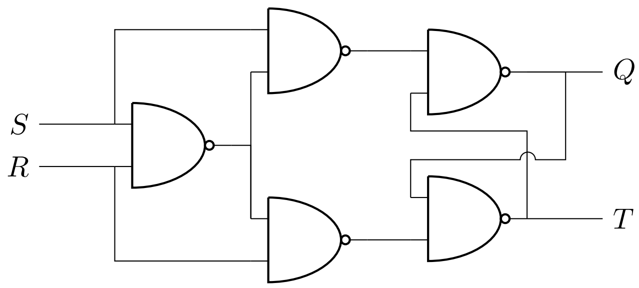
4 Logique séquentielle

Exercice 16 - Système à mémoire PQ : On étudie un système séquentiel à deux entrées S et R dont la sortie est notée Q. L'équation combinatoire du système est

$$Q_+ = S \cdot \bar{R} + (S + \bar{R}) \cdot Q_- \ .$$

1. Montrer que cette relation combinatoire est celle d'une mémoire Set-Reset.
2. Quel est l'effet de ce système si $R = S = 1$?

On considère le circuit logique suivant.



3. Vérifier que ce montage vérifie la relation combinatoire proposée.
4. Montrer que $T = \bar{Q}$ dans les cas acceptés d'utilisation de la bascule RS.

Exercice 17 - Système à mémoire D : On étudie un système séquentiel à une entrée D dont la sortie est notée Q. Il s'agit d'une mémoire RS telle que $S = \bar{R}$ à laquelle on ajoute une entrée H correspondant à un signal d'horloge. Le fonctionnement est le suivant :

- ▷ tant que $H = 1$, on a $Q = D$;
- ▷ si $H = 0$, il y a mémorisation du dernier état Q.

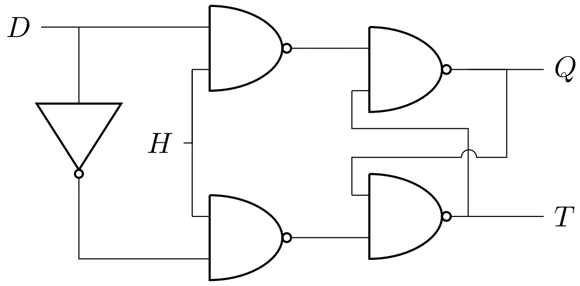
L'équation combinatoire du système dépend de trois variables et vaut

$$Q_+ = H \cdot D + \bar{H} \cdot Q_- \ .$$

1. Tracer le chronogramme représentant H, D et Q en fonction du temps.

2. Montrer que cette relation combinatoire correspond bien au cahier des charges décrit dans l'énoncé.

On considère le circuit logique suivant.



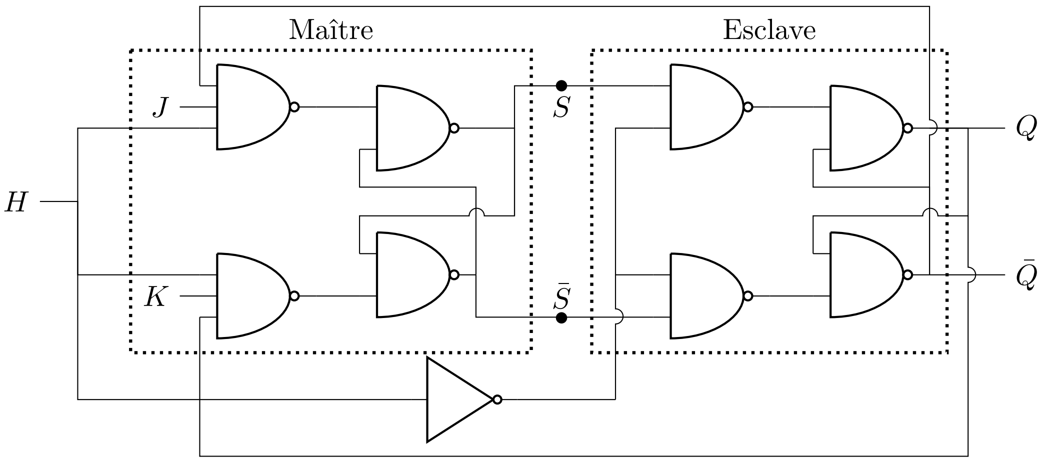
3. Vérifier que ce montage vérifie la relation combinatoire proposée.
4. Monter que $T = \bar{Q}$ dans les conditions d'utilisation normales du système.

Exercice 18 - Bascule JK : Les bascules RS et D présentent un certain nombre d'inconvénients. En particulier, il est souvent gênant quand on utilise ces bascules en cascade (compteur) que les sorties changent d'état au moment où les niveaux d'entrée des bascules suivantes devraient être fixes.

Pour cette raison on a développé la structure maître-esclave qui comporte deux bascules en cascade avec une réaction croisée entre les sorties de la bascule esclave et les entrées de la bascule maître. La première (maître) change d'état sur un front montant de l'horloge alors que l'esclave est bloquée puisque son signal d'horloge est à 0. Sur le front descendant la bascule esclave prend l'état de la bascule maître (le signal d'horloge de l'esclave est à 1). La bascule maître enregistre le signal sur un front montant et le transmet aux sorties finales sur le front descendant. Il y a un effet de « tampon » qui permet l'utilisation en compteur. Cela permet de plus de se protéger contre des fluctuations non désirées en entrée.

La bascule JK comporte deux entrées de commande, une entrée horloge H et deux sorties complémentaires. Les entrées J et K permettent de placer la bascule dans un état stable défini. Cette bascule est surtout utilisée pour la division de fréquences et la réalisation de compteurs.

On considère le circuit logique suivant.



1. On suppose que $H = 1$, quel est le rôle de la bascule esclave ? Que dire de la valeur de Q ?
2. On suppose que $H = 0$, quel est le rôle de la bascule maître ? Que dire de la valeur de S ?
3. H est un signal d'horloge. Il passe périodiquement de l'état 1 à l'état 0 sous la forme d'un signal créneau. Déduire de ce qui précède le principe de fonctionnement de la bascule ?
4. On se place à $H = 0$, donner la valeur de Q en fonction de S. À quoi sert la bascule esclave ?
5. On se place à $H = 1$. Préciser la valeur des trois entrées des portes NAND d'entrée puis donner dans une table de vérité la sortie Q_+ selon les valeurs J et K d'entrée.

Élements de réponse :

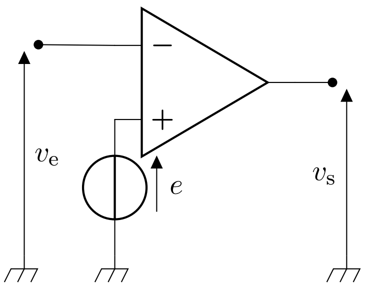
16 - 2. $Q_- = Q_+$.

18 - 1. mémoire ; 2. mémoire ; 4. $Q = S$; 5. $JK00 : Q_+ = Q_-$, $01 : 0$, $10 : 1$, $11 : \bar{Q}_-$.

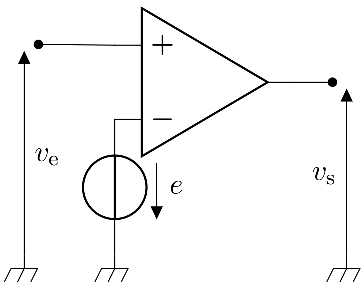
5 Pour aller plus loin avec les ALI...

Exercice 19 - Deux comparateurs simples : Pour chacun des montages :
1. Quel est le régime de fonctionnement de l'ALI ?
2. Exprimer la tension différentielle ε en fonction de v_s et e.
3. Tracer la courbe de fonctionnement du comparateur.

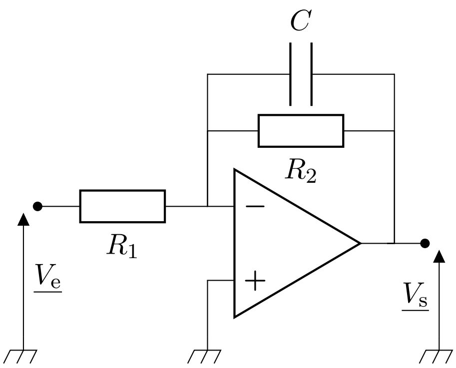
a.



b.

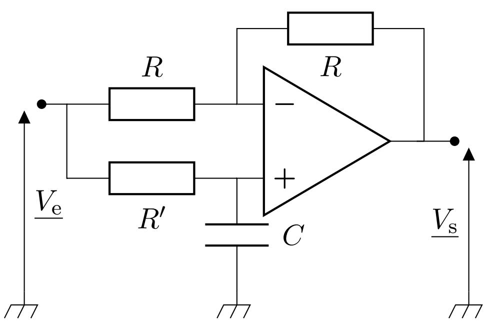


Exercice 20 - Le montage intégrateur :



1. Justifier que l'ALI fonctionne en régime linéaire.
2. Donner la fonction de transfert du montage.
3. Donner la relation, éventuellement sous forme d'une équation différentielle, entre le signal d'entrée $e(t)$ et celui de sortie $s(t)$.
4. Préciser l'intérêt du dispositif.

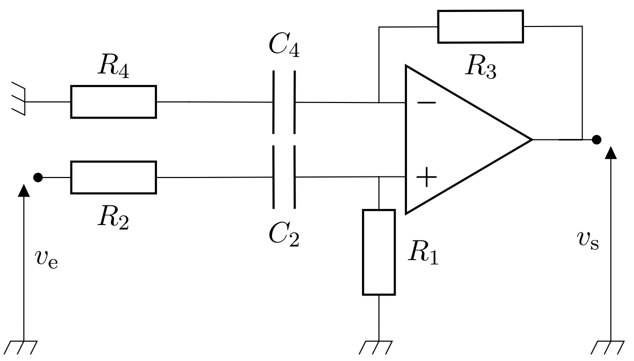
Exercice 21 - Le montage déphaseur :



1. Justifier que l'ALI fonctionne en régime linéaire.
2. Donner la fonction de transfert du montage.
3. Donner la relation, éventuellement sous forme d'une équation différentielle, entre le signal d'entrée $e(t)$ et celui de sortie $s(t)$.
4. Quel est l'effet du filtre sur l'amplitude du signal de sortie ?

Exercice 22 - Étude d'un filtre : On étudie d'abord le circuit ci-contre où v_e est une tension sinusoïdale de pulsation ω. L'amplificateur opérationnel est idéal et fonctionne en régime linéaire.

1. Donner les schémas équivalents en basses et hautes fréquences de ce circuit.
2. Déterminer alors les expressions de la tension de sortie v_s dans ces limites.
3. En déduire la nature probable du filtre.



4. Déterminer la fonction de transfert $\underline{H}(\omega) = \underline{v_s}/\underline{v_e}$ et la mettre sous la forme :

$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{H_1}(\omega)\underline{H_2}(\omega)}{\underline{H_3}(\omega)\underline{H_4}(\omega)}$$

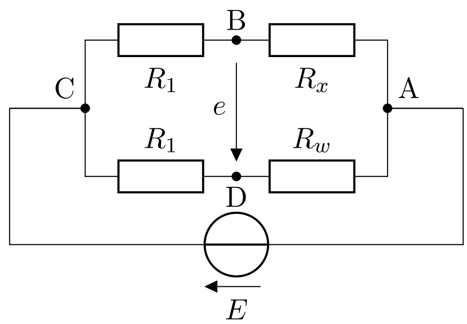
où $\underline{H_1}$, $\underline{H_2}$, $\underline{H_3}$ et $\underline{H_4}$ sont quatre fonctions de transferts du premier ordre de la forme

$$\underline{H_1}(\omega) = j\frac{\omega}{\omega_1} \qquad \text{et} \qquad \underline{H_i}(\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_i} \qquad \text{pour} \qquad i = \ 2,\ 3 \text{ et } 4.$$

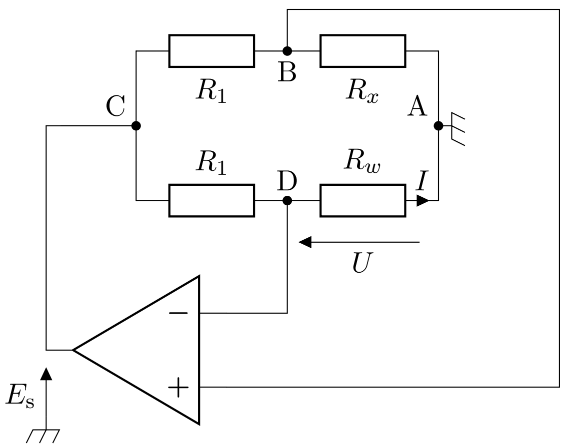
On exprimera les ω_i en fonction des composants.

Exercice 23 - Électronique d'asservissement : L'objectif est la mesure de la vitesse d'un fluide grâce à un dispositif appelé anémomètre à fil chaud. Une résistance variable est placée dans l'écoulement. À cause de celui-ci, de la chaleur passe de la résistance vers le fluide. La température de celle-ci est donc asservie pour rester constante. La mesure de cet asservissement permet de remonter à la vitesse du fluide. De façon indirecte, la résistance du fil chaud dépend du courant qui la traverse et de la vitesse du fluide. Par ailleurs, pour une valeur de résistance donnée, la température de celle-ci est fixée de façon univoque.

1. La résistance du fil chaud est insérée dans un circuit type « pont de Wheastone ». Ce circuit comporte deux résistances égales à R_1, une résistance R_x que l'on peut faire varier et le fil chaud représenté par la résistance R_w. En utilisant deux diviseurs de tension bien choisis, montrer que la tension e est égale à $e = E\left(\dfrac{1}{1+\delta} - \dfrac{1}{1+\beta}\right)$ où l'on précisera les expressions de β et δ. Quelle est la condition sur R_w et R_x pour que le pont soit équilibré, c'est-à-dire $e = 0$?



On peut choisir d'équilibrer le pont ($e = 0$) en jouant sur la valeur de R_x, ce qui va fixer la température de travail du fil chaud. Lorsque la vitesse de l'écoulement varie, le pont sera déséquilibré car R_w va varier. Afin de maintenir la température constante, le circuit électrique doit comporter une boucle de rétroaction. L'amplificateur linéaire intégré (ALI) fonctionne en régime linéaire et est idéal.



2. Que valent les courants d'entrée i_+ et i_- respectivement dans les bornes d'entrée + et − de l'ALI ? Que vaut la tension entre ces deux bornes d'entrée dans le cas d'un fonctionnement linéaire ?
3. Montrer que ce circuit va permettre d'ajuster le courant I pour que le fil chaud soit maintenu à température constante lorsque la vitesse de l'écoulement V varie. On rappelle que la résistance $R_w(V, I)$ est une fonction du courant qui la traverse I et la vitesse du fluide V.
4. Montrer que la tension de sortie de l'ALI E_s vaut γU où l'on exprimera γ en fonction de R_1 et R_w. En admettant que $R_w I^2 = \alpha + \beta\sqrt{V}$, montrer que la tension de sortie de l'ALI vérifie la loi de King $E_s^2 = A + B\sqrt{V}$, où l'on ne cherchera pas l'expression des coefficients.

Comme il est difficile de contrôler tous les paramètres qui interviennent dans la loi de King, les coefficients A et B sont déterminés par un étalonnage empirique. Pour chaque vitesse V de l'écoulement, on relève la tension de sortie E_s. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

V (m/s)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
E_s (V)	4.0	5.0	5.4	5.7	6.0	6.2	6.4	6.7	7.0

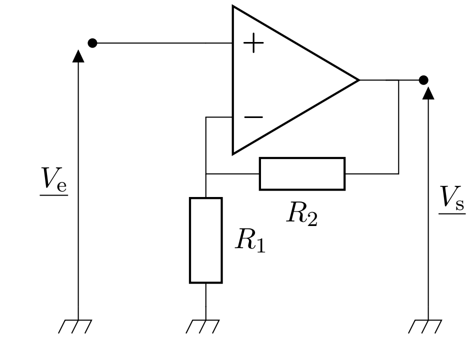
5. Que vaut le coefficient A ?
6. La loi de King est un modèle trop fort. On observe qu'il est plus facile d'ajuster les valeurs au modèle suivant : $E_s^2 = A + BV^n$ où l'exposant n est compris entre 0.4 et 0.6. Quelle courbe doit-on tracer pour trouver l'exposant n ? Déterminer alors cet exposant à l'aide du tableau fourni. On prendra une précision sur V de 0.05 m/s et sur E_s de 0.05 V .

Exercice 24 - Étude de la stabilité de la rétroaction d'un amplificateur linéaire intégré : En dehors du régime linéaire, la sortie de l'ALI sature à la valeur $\pm V_{sat}$. Par contre, lorsque le régime linéaire est atteint, autrement dit dans cet exercice, si le module de $\varepsilon = V_+ - V_-$ reste inférieur à 0.1 mV (mais non nécessairement nul), il est possible d'étudier le comportement fréquentiel de l'ALI. Dans ce cas, celui-ci est modélisé par un filtre passe-bas du premier ordre, donc :

$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{V_s}}{\underline{\varepsilon}} = \frac{A_0}{1 + \mathrm{j}\dfrac{\omega}{\omega_c}}, \tag{1}$$

avec $\omega_c \approx 100$ rad/s. Le gain statique de l'ALI A_0 est très élevé, de l'ordre de 10^5. La bascule entre les régimes linéaires et saturés a donc lieu pour $\varepsilon = \dfrac{V_{sat}}{A_0} \approx \pm 0.1$ mV. Cela conduit à une fréquence de coupure de l'ordre de 10 Hz, ce qui correspond à un filtre très sélectif. Autrement dit, si nous revenons à une équation différentielle du premier ordre, la durée du régime transitoire en cas de changement de la tension d'entrée est de l'ordre de 0.1 s, ce qui est bien trop élevé pour traiter un signal électronique.

Le montage amplificateur non-inverseur : On étudie le montage ci-dessous.



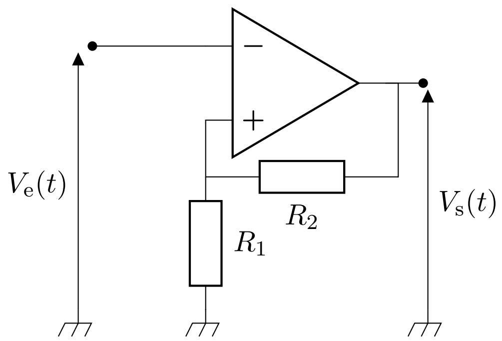
On suppose que le régime linéaire, tel que défini dans l'énoncé, de l'ALI est atteint. L'objectif de cette question est de montrer que ce régime linéaire implique $\underline{V_-} = \underline{V_+}$.

1. Donner la relation entre les tensions $\underline{V_s}$ et $\underline{V_e}$ en fonction de $\underline{H}(\omega)$, la fonction de transfert du régime linéaire de l'ALI. On posera $G = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2}$.
2. On suppose que les résistances sont choisies de sorte que $G \sim 1$. En utilisant l'expression de $\underline{H}(\omega)$ donnée dans la relation (1) et en tenant compte des ordres de grandeurs des paramètres de l'ALI, montrer que

$$\underline{V_s} \approx \frac{1}{G}\frac{1}{1 + \mathrm{j}\dfrac{\omega}{GA_0\omega_c}}\underline{V_e} \quad . \tag{2}$$

   Quelle est la nature du filtrage induit par cette relation ?
3. En déduire l'équation différentielle reliant les tensions d'entrée et de sortie en régime temporelle.
4. Quel est le temps caractéristique d'atténuation du régime transitoire ?
5. En tenant compte de l'ordre de grandeur de ce temps caractéristique, simplifier à nouveau (2) et montrer que $\underline{V_-} = \underline{V_+}$.
6. Le régime linéaire de l'ALI est-il stable dans cette configuration ?

Le comparateur à hystérésis : On étudie le montage ci-dessous.



7. Quelle est la différence avec montage précédent de l'amplificateur non inverseur ?
8. On suppose que le régime linéaire de l'ALI est atteint. Donner la relation entre les tensions $\underline{V_s}$ et $\underline{V_e}$ en fonction de $\underline{H}(\omega)$, la fonction de transfert du régime linéaire de l'ALI. On posera $G = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2}$.
9. On suppose que les résistances sont choisies de sorte que $G \sim 1$. En utilisant l'expression de $\underline{H}(\omega)$ donnée dans la relation (1) et en tenant compte des ordres de grandeurs des paramètres de l'ALI, montrer que

$$\underline{V_s} \approx \frac{1}{G}\frac{1}{1 - \mathrm{j}\dfrac{\omega}{GA_0\omega_c}}\underline{V_e} \quad . \tag{3}$$

10. En déduire l'équation différentielle reliant les tensions d'entrée et de sortie en régime temporelle.
11. Quelle est la particularité du régime transitoire issu de cette équation ?
12. Le régime linéaire de l'ALI est-il stable dans cette configuration ? Quelle sera, en module, la valeur finale de la tension de sortie ?

Élements de réponse :

19 - 2. a. $\varepsilon = e - v_{\mathrm{e}}$; b. $\varepsilon = v_{\mathrm{e}} + e$.

20 - 2. $\underline{H}(\omega) = -\dfrac{R_2}{R_1}\dfrac{1}{1 + jR_2C\omega}$.

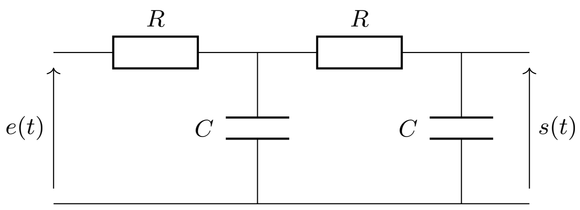
21 - 2. $\underline{H}(\omega) = \dfrac{1 - \mathrm{j}R'C\omega}{1 + \mathrm{j}R'C\omega}$.

22 - 2. BF : $v_{\mathrm{s}} = 0$. HF : $v_{\mathrm{s}} = \left(1 + \dfrac{R_3}{R_4}\right)\dfrac{R_1}{R_2 + R_1}v_{\mathrm{e}}$; 4. $\omega_1 = 1/(R_1C_1)$, $\omega_2 = 1/((R_3 + R_4)C_4$, $\omega_3 = 1/((R_1 + R_2)C_2)$ et $\omega_4 = 1/(R_4C_4)$.

23 - 1. $R_x = R_y$; 4. $U = E_{\mathrm{s}}R_w/(R_1 + R_w)$; 6. $n = 0.567 \pm 0.017$.

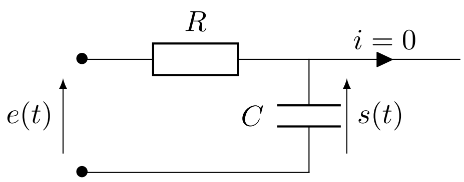
6 Sujets d'oraux

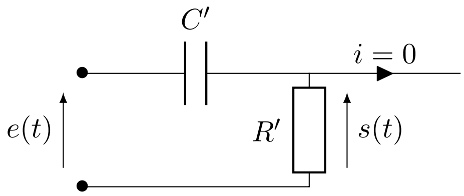
Oral 1 - CCINP - Filtre d'ordre 2 : On étudie le circuit ci-dessous et on pose $\omega_0 = \dfrac{1}{RC}$.



1. Calculer $\underline{H}(\omega)$ et la mettre sous la forme
$$\underline{H}(\omega) = \frac{1}{\left(1 + \mathrm{j}\dfrac{\omega}{\omega_1}\right)}\frac{1}{\left(1 + \mathrm{j}\dfrac{\omega}{\omega_2}\right)}\,.$$
2. On suppose $\omega \gg \omega_1 > \omega_2$. Comment se comporte le filtre ? Quel serait le signal de sortie si on mettait un créneau en entrée ?

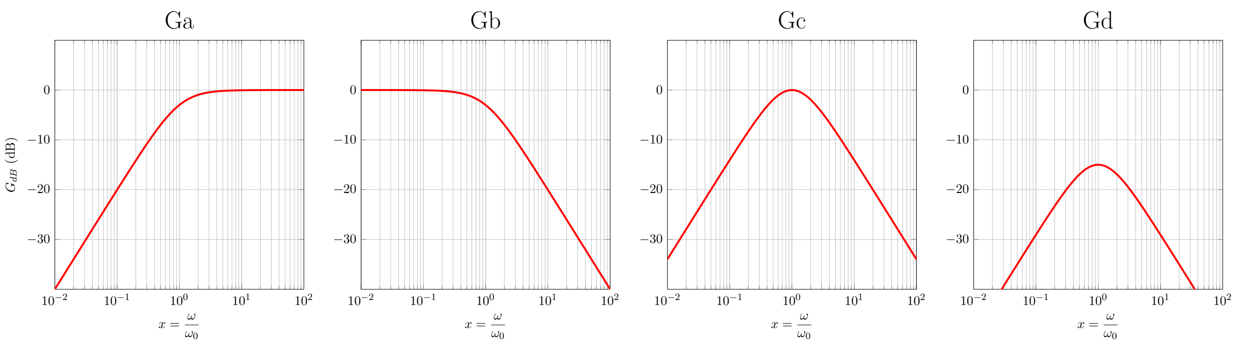
Oral 2 - CCINP - Filtrage : On considère les deux montages ci-dessous.



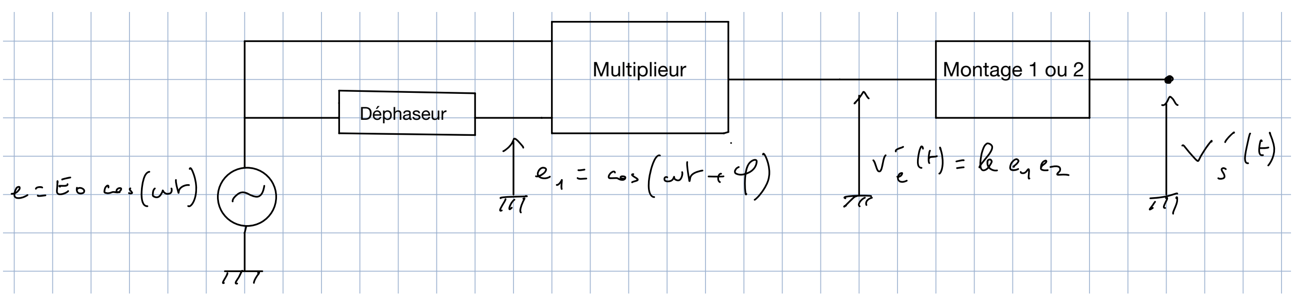


Circuit 1 **Circuit 2**

1. Déterminer les fonctions de transfert $\underline{H}(j\omega)$ des deux montages ci-dessus.
2. Parmi les diagrammes de Bode ci-dessous, lesquels correspondent à chacun des deux montages ci-dessus ?



3. On considère le montage suivant avec k une constante.



(a) Effectuer l'analyse fréquentielle de $V'_\mathrm{e}(t) = ke_1(t)e_2(t)$.
(b) Que vaut $V'_\mathrm{s}(t))$ si le dernier filtre est le montage 1 ? Et si c'est le montage 2 ?

Oral 3 - CCINP - Filtrage : On donne la décomposition en série de Fourier

▷ d'un signal créneau impair et de moyenne nulle, d'amplitude A et de période $T = 2\pi/\omega_0$

$$V_\text{créneau} = \frac{4A}{\pi}\sum_{p=0}^{+\infty}\frac{1}{2p+1}\sin\left((2p+1)\omega_0 t\right) \;;$$

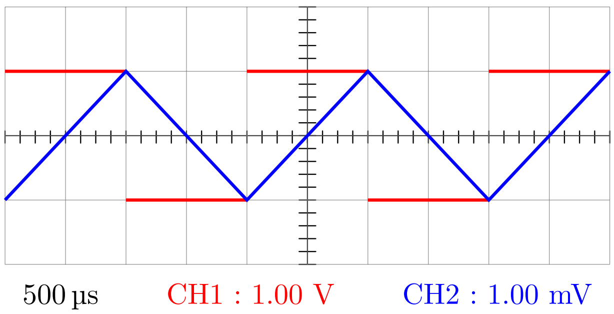
▷ d'un signal triangulaire pair et de moyenne nulle, d'amplitude A et de période $T = 2\pi/\omega_0$

$$V_\text{triangle} = \frac{8A}{\pi^2}\sum_{p=0}^{+\infty}\frac{(-1)^p}{(2p+1)^2}\sin\left((2p+1)\omega_0 t\right) \;.$$

On donne la fonction de transfert d'un filtre

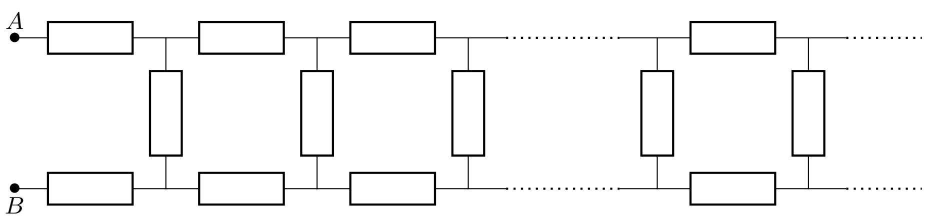
$$\underline{H}(f) = \frac{H_0}{1 + \mathrm{j}Q\left(\dfrac{f}{f_0} - \dfrac{f_0}{f}\right)} \;.$$

1. De quel type de filtre s'agit-il ? A-t-il un comportement intégrateur ou dérivateur aux basses et hautes fréquences ? Donner la fréquence pour laquelle $\underline{H}$ est réel.
2. ▷ **Observation 1 :** On place en entrée un signal créneau de période 0.1 ms et d'amplitude 1 V. On observe les signaux ci-dessous à l'oscilloscope.



▷ **Observation 2 :** Pour un signal d'entrée créneau de demi-période 10 ms, d'amplitude E, on observe cette fois en sortie un signal sinusoïdal de même période que le signal d'entrée, d'amplitude E et qui passe par 0 en même temps que l'entrée.
(a) Faire un tracé de l'observation 2.
(b) En déduire H_0, f_0 et Q.

Oral 4 - Mines-Ponts - Résistance équivalente : Quelle est la résistance équivalente du dipôle AB infini ci-dessous ? Toutes les résistances sont égales à la même valeur R. *Exercice donné après avoir fini l'exercice principal.*



Élements de réponse :

1 - 1. $\omega_1/\omega_0 = (3+\sqrt{5})/2$ et $\omega_2/\omega_0 = (3-\sqrt{5})/2$

2 - 3. $V'_\mathrm{e}(t) = \dfrac{1}{2}\cos\varphi + \dfrac{1}{2}\cos(2\omega t + \varphi)$.

3 - 2. $H_0 = \pi/4$, $Q \approx 1.2\times10^3$, $f_0 =$ 50 Hz.

4 - $(1+\sqrt{3})R$.