



THEME : ELECTRICITE

TITRE DE LA LEÇON : MONTAGES DERIVATEUR ET INTEGRATEUR

I. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Au cours d'une conférence prononcée sur les TIC au foyer du Lycée Moderne 2 de Man, les élèves en général et ceux de la Terminale C en particulier ont été édifiés par le rôle joué par les TIC dans notre vie. Ils ont ainsi appris l'existence de circuits intégrés réalisant toutes sortes d'opérations en particulier des dérivations et des intégrations.

De retour en classe les élèves décident avec l'aide de leur Professeur de Physique-Chimie de déterminer la relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie d'un montage dérivateur puis d'un montage intégrateur, d'interpréter ces deux montages et de dégager l'intérêt de chacun de ces montages.

II. CONTENU DE LA LECON

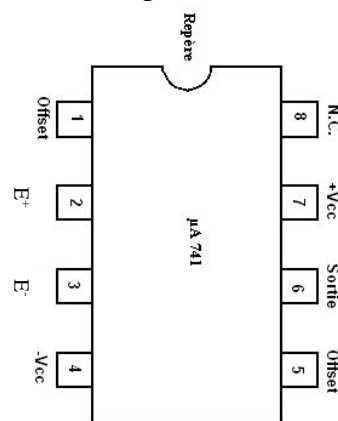
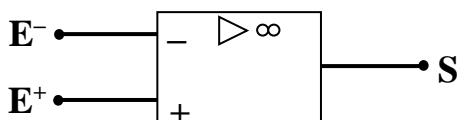
D) RAPPELS : PROPRIÉTÉS DE L'AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL IDÉAL

1- Description d'un AOP

L'amplificateur opérationnel (AOP) est un **circuit intégré linéaire** comportant 8 bornes dont :

- une borne d'entrée Inverseuse E^-
- une borne d'entrée Non Inverseuse E^+
- une borne de sortie S
- deux bornes d'alimentation $-V_{cc}$ et $+V_{cc}$.

Son symbole est :



2- Fonctionnement d'un AOP

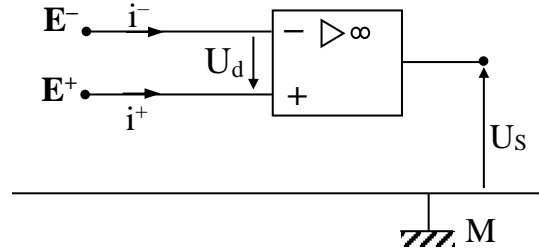
Un amplificateur opérationnel fonctionne soit en régime **linéaire** (amplificateur) ou en régime **saturé** (comparateur).

Lorsque l'amplificateur est **idéal (AOP)**, on a les propriétés caractéristiques suivantes :

- * En régime linéaire

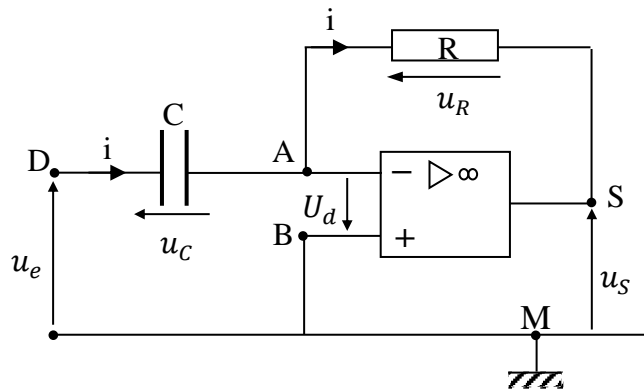
- Les courants d'entrée sont négligeables : $i^- = i^+ = 0$.
- L'entrée inverseuse E^- et l'entrée non inverseuse E^+ sont pratiquement au même potentiel : $V_{E^+} - V_{E^-} = U_d \approx 0$.
- La tension de sortie est toujours inférieure à la tension de saturation de l'AOP : $|U_S| < V_{sat}$

* En régime saturé
 $U_S = \pm V_{sat}$



II) MONTAGE DÉRIVATEUR

1- Schéma du dispositif expérimental



2- Relation entre la tension d'entrée u_e et la tension de sortie u_S

* Considérons à l'entrée la maille MDABM :

La loi des mailles : $u_{MD} + u_{DA} + u_{AB} + u_{BM} = 0$

Or $u_{MD} = -u_e$; $u_{DA} = u_C = \frac{q}{C}$; $u_{AB} = -U_d = 0$; $u_{BM} = 0$

D'où on a : $-u_e + \frac{q}{C} = 0$; $q = C \cdot u_e$

$i = \frac{dq}{dt}$; $i = C \frac{du_e}{dt}$

* Considérons à la sortie la maille MBASM:

La loi des mailles : $u_{MB} + u_{BA} + u_{AS} + u_{SM} = 0$

$u_{MB} = 0$; $u_{BA} = U_d = 0$; $u_{AS} = u_R = Ri$; $u_{SM} = u_S$

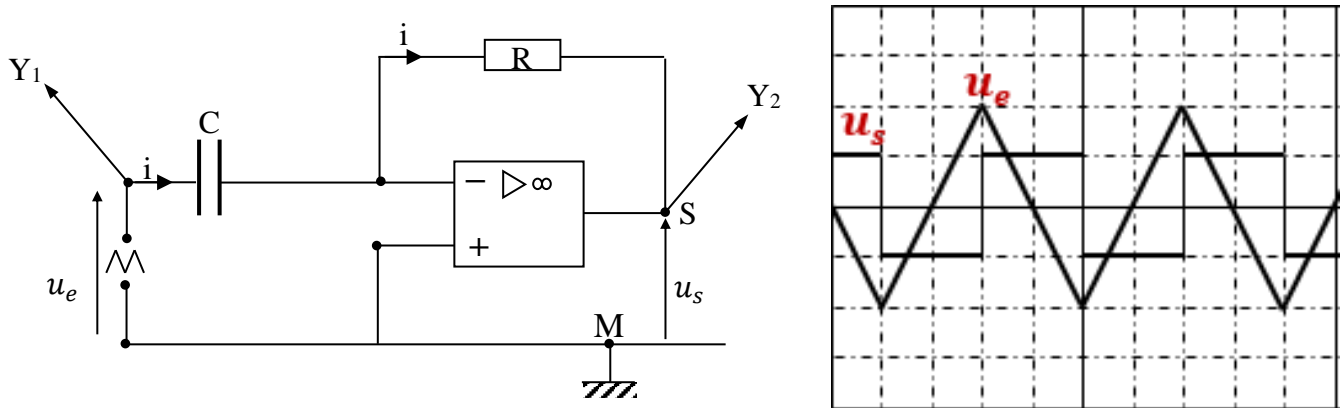
Soit $Ri + u_S = 0$; $u_S = -Ri$

Or $i = C \cdot \frac{du_e}{dt}$; $u_S = -RC \cdot \frac{du_e}{dt}$

La tension de sortie u_s est proportionnelle à la dérivée de la tension d'entrée u_e .

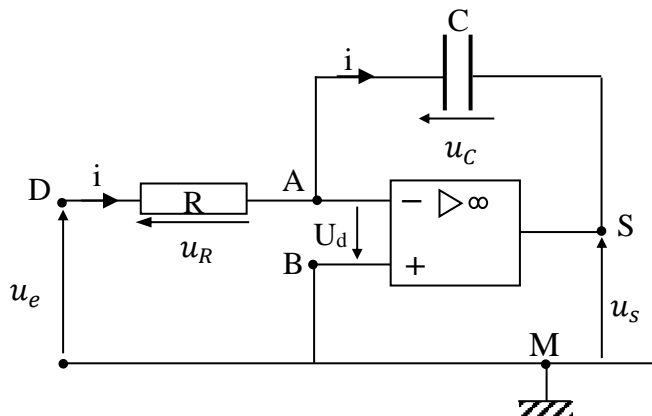
3- Cas pratique : visualisation des tensions u_e et u_s à l'oscilloscope

Si la tension d'entrée u_e est un signal triangulaire, la tension de sortie u_s est un signal carré



III- MONTAGE INTÉGRATEUR

1- Dispositif expérimental



2- Relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie

* Considérons à l'entrée la maille MDABM :

La loi des mailles : $u_{MD} + u_{DA} + u_{AB} + u_{BM} = 0$

$$u_{MD} = -u_e ; u_{DA} = u_R = Ri ; u_{AB} = -U_d ; u_{BM} = 0$$

$$\text{D'où : } -u_e + Ri = 0 ; u_e = Ri ; i = \frac{u_e}{R}$$

* Considérons la maille MBASM à la sortie :

La loi des mailles : $u_{MB} + u_{BA} + u_{AS} + u_{SM} = 0$

$$u_{MB} = 0 ; u_{BA} = U_d = 0 ; u_{AS} = u_C = \frac{q}{C} ; u_{SM} = u_s$$

$$u_C + u_s = 0 ; u_s = -u_C = -\frac{q}{C}$$

$$\frac{du_s}{dt} = -\frac{1}{C} \frac{dq}{dt} \quad \text{or } i = \frac{dq}{dt} = \frac{u_e}{R}$$

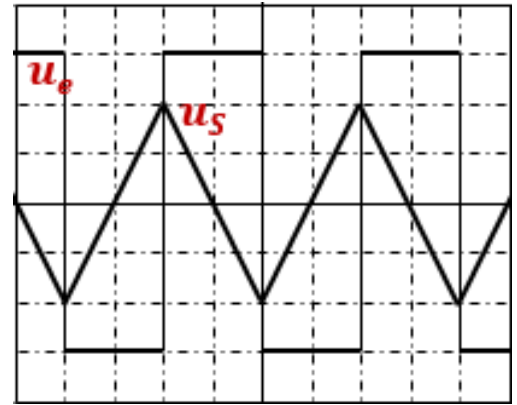
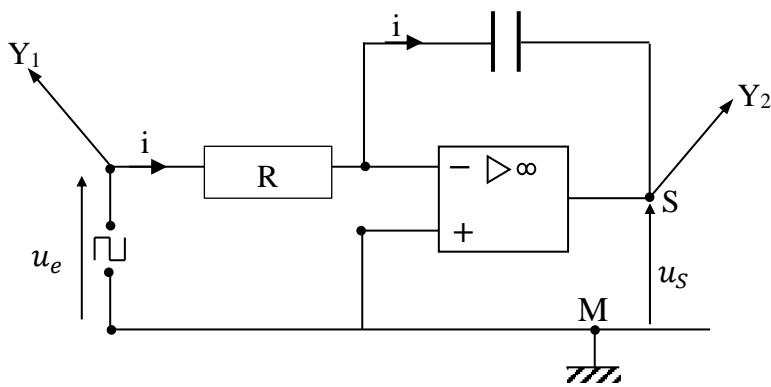
$$\frac{du_s}{dt} = -\frac{1}{RC} u_e \quad \text{soit } u_s = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_e dt$$

La dérivée de la tension de sortie u_s est proportionnelle à la tension d'entrée u_e .

La tension de sortie u_s est proportionnelle à une primitive de la tension d'entrée u_e .

3- Cas pratique : visualisation des tensions u_e et u_s à l'oscilloscope

La réponse à une tension d'entrée u_e rectangulaire est une tension de sortie u_s triangulaire.

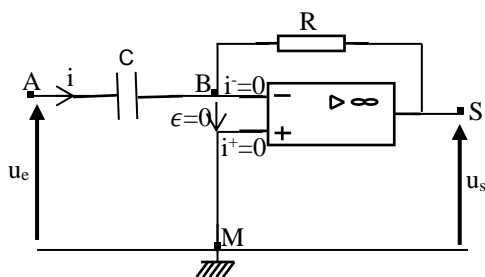


IV- INTÉRÊT DES MONTAGES

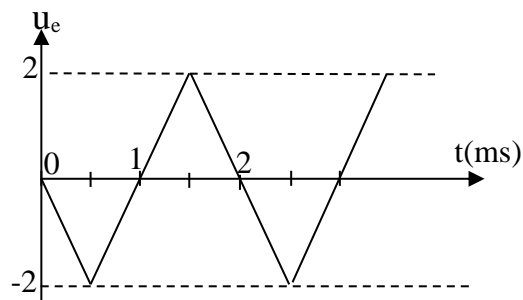
- Un montage dérivateur permet de transformer une tension d'entrée en sa dérivée.
- Un montage intégrateur permet de transformer une tension d'entrée en primitive.

SITUATION D'ÉVALUATION

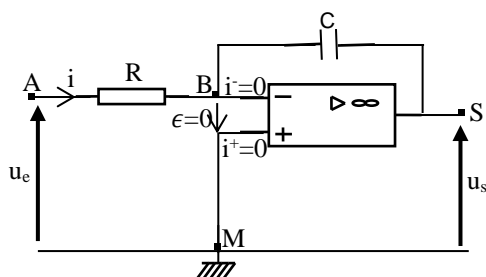
Tu es chargé d'expliquer la leçon sur les montages et dérivateur à ton voisin de classe absent à ce cours pour raison de santé. À cet effet, le professeur de physique chimie réalise les montages représentés ci-dessous. Pour chaque montage, il applique respectivement la tension d'entrée u_e ci-dessous représentée.



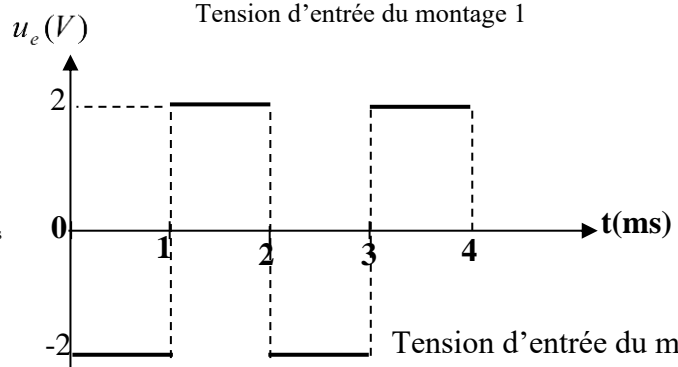
Montage 1



Tension d'entrée du montage 1



Montage 2



Tension d'entrée du montage 2

$$\text{Échelle : } \begin{cases} 1 \text{ cm} \leftrightarrow 1 \text{ V} \\ 1 \text{ cm} \leftrightarrow 0,5 \text{ ms} \end{cases}$$

$$\text{Données : } R = 20 \text{ k}\Omega, C = 50 \text{ nF}$$

- 1- Nomme chaque montage
- 2- Détermine
 - 2.1- la période T
 - 2.2- la fréquence N de ce signal.
 - 2.3- la tension de sortie $u_s(t)$ pour chaque montage.
- 3- Représenter sur le même graphe u_e et u_s .

Solution:

- 1- Nom de chaque montage

Montage ① : montage dérivateur ;

Montage ② : montage intégrateur.

- 2-

2.1- Période T

$$T = 2 \text{ ms} = 0,002 \text{ s}$$

2.2- Fréquence N du signal.

$$N = \frac{1}{T} \Rightarrow N = 500 \text{ Hz}$$

2.3- Tensions de sortie $u_s(t)$ des montages.

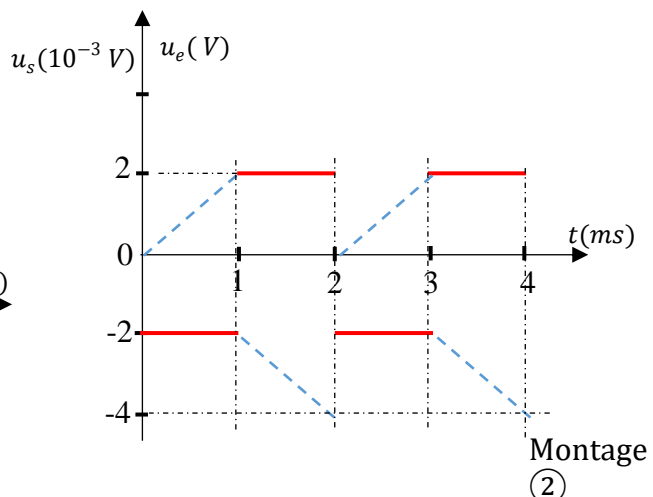
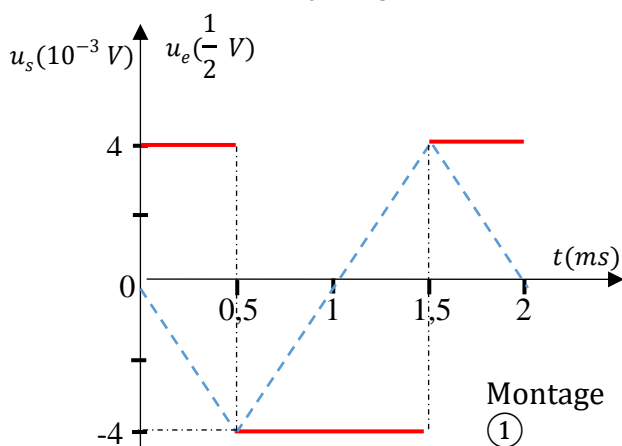
Montage ① : $u_s = -RC \frac{du_e}{dt}$

- $t \in [0; 0,5 \text{ ms}]$, $u_e = at + b = -4t \Rightarrow \frac{du_e}{dt} = -4 \text{ V/s}$,
 $u_s = -(-4)RC = 4RC$ A.N. $u_s = 4 \cdot 10^{-3} \text{ V}$
- $t \in [0,5 \text{ ms}; 1,5 \text{ ms}]$, $u_e = 4t + b' \Rightarrow \frac{du_e}{dt} = +4 \text{ V/s}$,
 $u_s = -4RC$ A.N. $u_s = -4 \cdot 10^{-3} \text{ V}$
- $t \in [1,5 \text{ ms}; 2 \text{ ms}]$, $u_e = -4t + b'' \Rightarrow \frac{du_e}{dt} = -4 \text{ V/s}$,
 $u_s = 4RC$ A.N. $u_s = 4 \cdot 10^{-3} \text{ V}$

Montage ② : $u_s = -\frac{1}{RC} \int u_e dt$

- $t \in [0; 1 \text{ ms}]$, $u_e = -2 \text{ V}$.
 $u_s = \frac{1}{RC} \int 2 dt = \frac{2t}{RC}$ A.N. $u_s = 2000t$
- $t \in [1 \text{ ms}; 2 \text{ ms}]$, $u_e = +2 \text{ V}$.
 $u_s = -\frac{1}{RC} \int 2 dt = \frac{-2t}{RC}$ A.N. $u_s = -2000t$

- 3- Représentation de u_e et u_s .



III. EXERCICES

Exercice 1

Ecris VRAI si l'affirmation est vraie et FAUX si l'affirmation est fausse.

1. la tension de sortie d'un A.O idéal est toujours inférieure à la tension de saturation de l'A.O.
2. En régime saturé, la tension différentielle est nulle.
3. Entre les armatures d'un condensateur, les électrons traversent le diélectrique.
4. La capacité d'un condensateur dépend de la tension à ses bornes.
5. Dans un circuit dérivateur, la tension de sortie est proportionnelle à l'opposé de la dérivée de la tension d'entrée.
6. Un montage dérivateur permet de convertir la tension rectangulaire délivrée par le générateur en tension triangulaire à la sortie donnée par l'A.O.
7. Un montage intégrateur permet de convertir la tension triangulaire délivrée par le générateur en tension créneaux à la sortie, donnée par l'A.O.

Solution

1. Vrai ; 2. Faux ; 3. Faux ; 4. Vrai ; 5. Vrai ; 6. Faux ; 7. Faux.

Exercice 2

Recopie les groupes de mots ci-dessous dans l'ordre de manière à obtenir une phrase correcte, en rapport avec Le montage intégrateur:

L'opposé / intégrateur, / tension d'entrée / Dans / proportionnelle / de la / la tension / un montage / l'intégrale / est / de sortie / à / de /

Solution

Dans un circuit intégrateur, la tension de sortie est proportionnelle à l'opposé de l'intégrale de la tension d'entrée.

Exercice 3:

Complète les phrases suivantes avec mots suivants: **entrée; dérivée; primitive; sortie**

- 1) Un circuit intégrateur est un circuit dans lequel la tension..... est proportionnelle à la dérivée de la tension de
- 2) Un circuit dérivateur est un circuit dans lequel la tension de sortie est proportionnelle à la de la tension d'entrée.
- 3) Un circuit intégrateur est un circuit dans lequel la tension de sortie est proportionnelle à lade la tension d'entrée.

Solution:

- 1) Entrée puis sortie
- 2) Dérivée
- 3) Primitive

Exercice 4

Au cours d'une activité pratique, le professeur réalise un montage faisant intervenir :

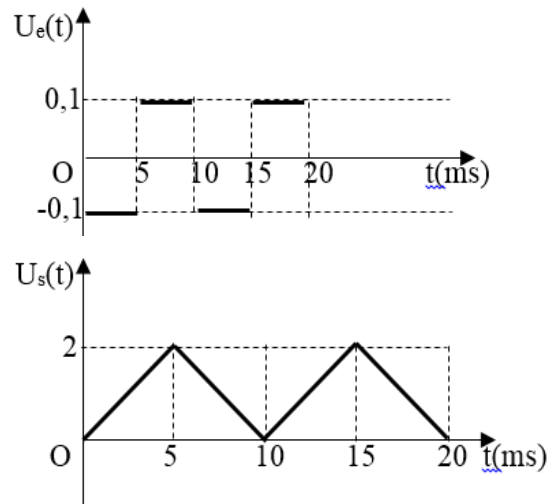
- Un A.O. parfait ;
- Un résistor de résistance R ;
- Un condensateur de capacité C inconnue ;
- Un oscilloscope bicourbe.

Les tensions $u_e(t)$ et $u_s(t)$ visualisées respectivement à l'entrée et à la sortie du montage par l'oscilloscope bicourbe sont représentées ci-contre.

Le professeur demande à ton groupe de déterminer la capacité du condensateur.

Tu es le rapporteur du groupe.

Donnée : $R = 5 \text{ k}\Omega$;

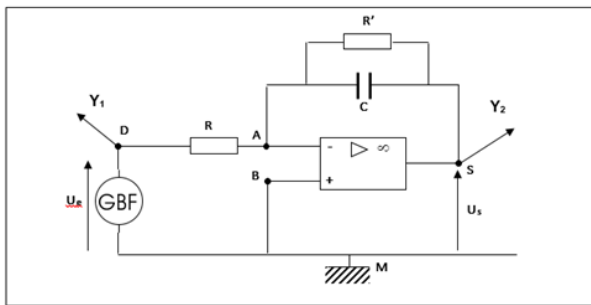


1. Donne le nom du montage qui réalise la transformation de $u_e(t)$ en $u_s(t)$.
2. Fais le schéma du montage.
3. Etablis la relation entre $u_e(t)$ et u_s .
4. Détermine la valeur de la capacité C du condensateur.

Solution

1. Nom du montage : montage intégrateur car à l'entrée on a les signaux en créneaux et à la sortie les signaux triangulaires.

2. Schéma



3. Relation entre U_s et U_e

En considérant la maille à l'entrée, on a : $-U_e + Ri = 0 \Rightarrow i = \frac{U_e}{R}$ (1)

En considérant la maille à la sortie, on a : $\frac{q}{C} + U_s = 0 \Rightarrow U_s = -\frac{q}{C}$ (2)

On sait que $i = \frac{dq}{dt} \Leftrightarrow q = \int i dt = \frac{1}{R} \int U_e dt$

(2) $\Rightarrow U_s = -\frac{1}{RC} \int U_e dt$

4. La capacité C :

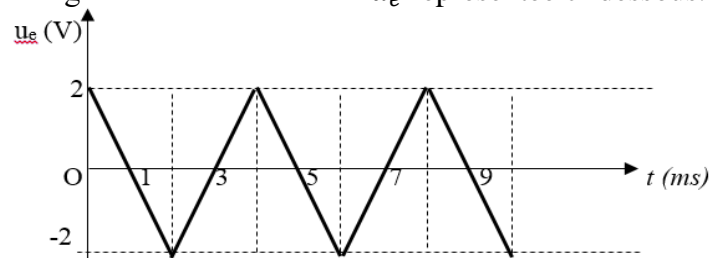
Pour $t \in [0; 5\text{ms}]$, $U_e = -0,1 \text{ V}$ et $\frac{dU_s}{dt} = \frac{2-0}{(5-0) \cdot 10^{-3}} = 400 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$

Or $U_s = -\frac{1}{RC} \int U_e dt \Leftrightarrow U_e = -RC \frac{dU_s}{dt} \Leftrightarrow -0,1 = -RC \times 400 \Leftrightarrow C = \frac{0,1}{400R} = \frac{0,1}{400 \times 5000}$
 $\Rightarrow C = 5 \cdot 10^{-8} \text{ F}$

Exercice 5

Lors d'une séance de travaux pratiques, le professeur de Physique-Chimie de ta classe demande à un groupe d'élèves d'étudier un montage dérivateur afin de déterminer la nature de la tension de sortie.

Le groupe applique à ce montage une tension d'entrée u_e représentée ci-dessous.



L'A.O est parfait en régime linéaire. On donne : $R = 2\text{ k}\Omega$; $C = 0,5\ \mu\text{F}$.

Hélas le groupe éprouve des difficultés. Le professeur te désigne alors pour aider le groupe.

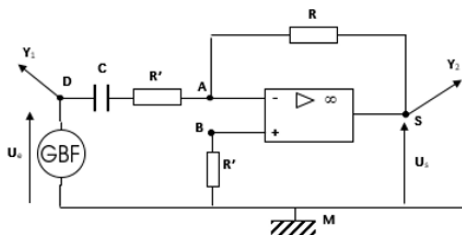
1. Fais le schéma du montage.
2. Etablis l'expression de la tension de sortie u_s en fonction de R, C et u_e .
3. Détermine l'expression de la tension de sortie u_s pour $t \in [0; 2\text{ms}]$ puis $t \in [2\text{ms}; 4\text{ms}]$.
4. Complète la représentation ci-dessus en représentant la tension de sortie $u_s = f(t)$.

$$\text{Echelle : } \begin{cases} 1\text{ cm} \leftrightarrow 1\text{ ms} \\ 1\text{ cm} \leftrightarrow 1\text{ V} \end{cases}$$

5. En déduis la nature de la tension de sortie u_s .

Solution

1. Schéma du montage dérivateur



2. Expression de la tension de sortie :

*La maille d'entrée MDABM : $u_{MD} + u_{DA} + u_{AB} + u_{BM} = 0 \Leftrightarrow -U_e + \frac{q}{C} = 0 \Leftrightarrow q = CU_e$ (1)

*La maille de sortie MBASM : $u_{MB} + u_{BA} + u_{AS} + u_{SM} = 0 \Leftrightarrow Ri + U_s = 0 \Leftrightarrow U_s = -Ri$ (2)

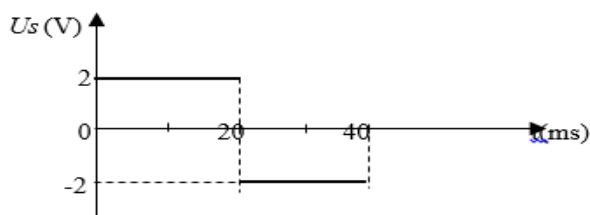
$$(1) \Rightarrow i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_e}{dt} \quad (2) \Rightarrow U_s = -Ri = -RC \frac{dU_e}{dt}$$

3. Expression de la tension de sortie :

* $t \in [0; 2\text{ms}]$ $\frac{dU_e}{dt} = \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = \frac{-2 - 2}{(2 - 0) \cdot 10^{-3}} = -2 \cdot 10^3\text{ V} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow U_s = -2 \cdot 10^3 \times 0,5 \cdot 10^{-6} \times (-2 \cdot 10^3)$
 $\Rightarrow U_s = 2\text{ V}.$

* $t \in [2\text{ms}; 4\text{ms}]$, $\frac{\Delta U_e}{\Delta t} = \frac{2 - (-2)}{(4 - 2) \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^3\text{ V} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow U_s = -2 \cdot 10^3 \times 0,5 \cdot 10^{-6} \times 2 \cdot 10^3$
 $\Rightarrow U_s = -2\text{ V}$

4. Représentation



5. Nature de la tension : tension en créneaux ou rectangulaire

IV. DOCUMENTATION

https://ressources.unisciel.fr/sillages/physique/tp_electrocinétique_1a_pcsi/res/TP15.PDF

<https://robert.cireddu.free.fr/SI/Cours%20sur%20les%20AOP.pdf>

Physique Terminale CDE Collection Arex