

# SE1 : Electronique analogique - Enoncés de TD

Valentin Gies - Stéphane Karoski

## Contents

<b>1</b>	<b>TD 1 : Amplificateur opérationnel en régime linéaire</b>	<b>3</b>
1.1	Amplificateur inverseur . . . . .	3
1.2	Amplificateur non-inverseur . . . . .	3
1.3	Suiveur . . . . .	3
<b>2</b>	<b>TD 2 : Amplificateur opérationnel en régime linéaire (suite)</b>	<b>5</b>
2.1	Soustracteur non pondéré . . . . .	5
2.2	Additionneur inverseur non pondéré . . . . .	6
2.3	Amplificateur dual inverseur / non-inverseur . . . . .	6
2.4	Amplificateur à gain ajustable . . . . .	6
<b>3</b>	<b>TD 3 : Amplificateur opérationnel en régime linéaire (suite)</b>	<b>7</b>
3.1	Résistance négative . . . . .	7
3.2	Amplificateur à forte résistance d'entrée . . . . .	7
3.3	Amplificateur différentiel d'instrumentation . . . . .	8
<b>4</b>	<b>TD 4 : Systèmes électroniques du premier ordre</b>	<b>9</b>
4.1	Circuit R-C série . . . . .	9
4.2	Circuit R-L série . . . . .	9
<b>5</b>	<b>TD 5 : Systèmes électroniques du premier ordre</b>	<b>11</b>
5.1	Intégrateur inverseur . . . . .	11
5.2	Dérivateur inverseur . . . . .	11
5.3	Circuit R-L-C série (2 <sup>e</sup> ordre) . . . . .	11
<b>6</b>	<b>TD 6 : Systèmes électroniques en régime harmonique - filtrage</b>	<b>13</b>
6.1	Filtre passe-bas passif : Circuit R-C série en régime harmonique . . . . .	13
6.2	Filtre passe-haut passif : Circuit R-C série en régime harmonique . . . . .	13
<b>7</b>	<b>TD 7 : Systèmes électroniques en régime harmonique - filtrage (suite)</b>	<b>14</b>
7.1	Filtre passe-bas actif d'ordre 1 . . . . .	14
7.2	Filtre passe-haut actif d'ordre 1 . . . . .	14
7.3	Filtre passe-bande actif . . . . .	15
<b>8</b>	<b>TD 8 : Systèmes électroniques non linéaires - AOP saturé</b>	<b>16</b>
8.1	Générateur de signaux carrés . . . . .	16
8.2	Générateur de signaux triangulaires . . . . .	16

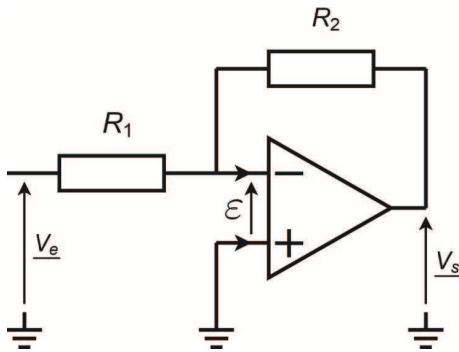
---

<b>9</b>	<b>TD 9 : Systèmes électroniques non linéaires - diodes</b>	<b>18</b>
9.1	Diodes : Redressement mono-alternance . . . . .	18
9.2	Diodes : Écrêteur de tension à diodes . . . . .	18
<b>10</b>	<b>TD 10 : Systèmes électroniques non linéaires - diodes</b>	<b>20</b>
10.1	Diodes : Détecteur de crêtes . . . . .	20
10.2	Diodes : Redresseur mono-alternance filtré . . . . .	20
10.3	Diodes : Redresseur double alternance filtré . . . . .	22
<b>11</b>	<b>TD 11 : Systèmes électroniques non linéaires - diode Zener</b>	<b>23</b>
11.1	Régulation de tension à l'aide d'une diode Zener . . . . .	23
11.1.1	Régulation aval . . . . .	23
11.1.2	Régulation amont . . . . .	23
11.1.3	Synthèse . . . . .	23
<b>12</b>	<b>TD 12 : Révisions</b>	<b>24</b>

# 1 TD 1 : Amplificateur opérationnel en régime linéaire

## 1.1 Amplificateur inverseur

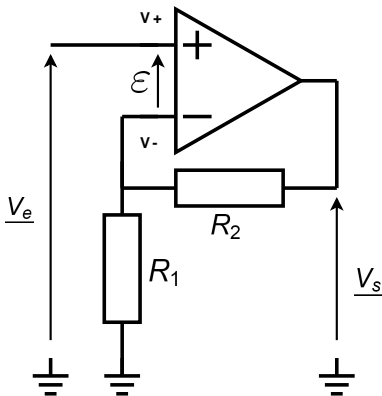
$$R_1 = 1k\Omega, R_2 = 5k\Omega$$



1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Proposer un nom pour ce montage.
3. Entre quelles valeurs peut évoluer  $V_e$  pour que le montage fonctionne en linéaire ? Que se passe-t-il en dehors de ce domaine ?
4. Que vaut la résistance d'entrée de ce montage ?

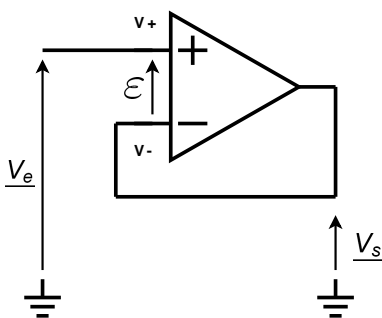
## 1.2 Amplificateur non-inverseur

$$R_1 = 1k\Omega, R_2 = 5k\Omega$$



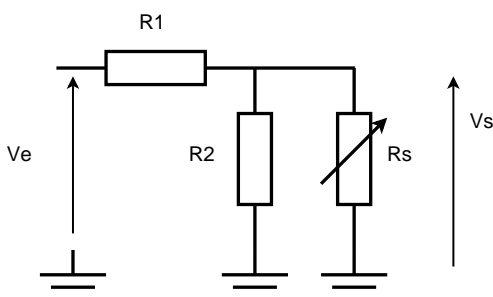
1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Proposer un nom pour ce montage.
3. Entre quelles valeurs peut évoluer  $V_e$  pour que le montage fonctionne en linéaire ? Que se passe-t-il en dehors de ce domaine ?
4. Que vaut la résistance d'entrée de ce montage ?

## 1.3 Suiveur

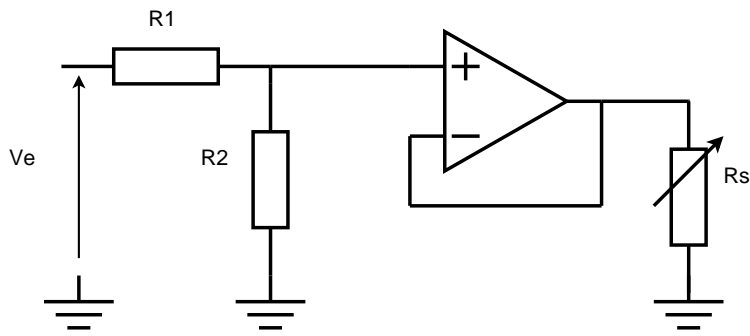


1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Entre quelles valeurs peut évoluer  $V_e$  pour que le montage fonctionne en linéaire ? Que se passe-t-il en dehors de ce domaine ?

Pour comprendre l'intérêt de ce montage, on se propose de réaliser les montages suivants :



1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Que se passe-t-il sur  $V_s$  lorsqu'on fait varier la résistance  $R_s$  ?

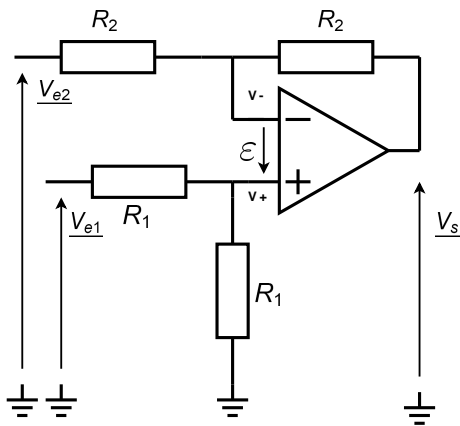


1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Que se passe-t-il sur  $V_s$  lorsqu'on fait varier la résistance  $R_s$  ?
3. En déduire l'intérêt du montage suiveur.

## 2 TD 2 : Amplificateur opérationnel en régime linéaire (suite)

### 2.1 Soustracteur non pondéré

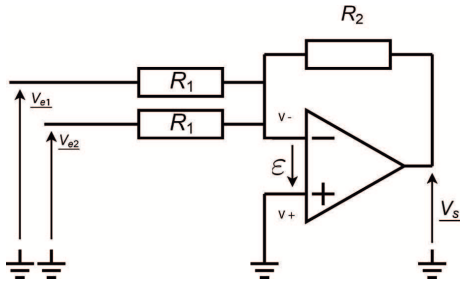
$$R_1 = R_2 = 47k\Omega$$



1. Exprimer  $v_S$  en fonction de  $V_{e1}$  et de  $V_{e2}$ .
2. Pour  $V_{e2} = 0$ , entre quelles valeurs peut évoluer  $V_{e1}$  ?
3. Pour  $V_{e1} = 0$ , entre quelles valeurs peut évoluer  $V_{e2}$  ?

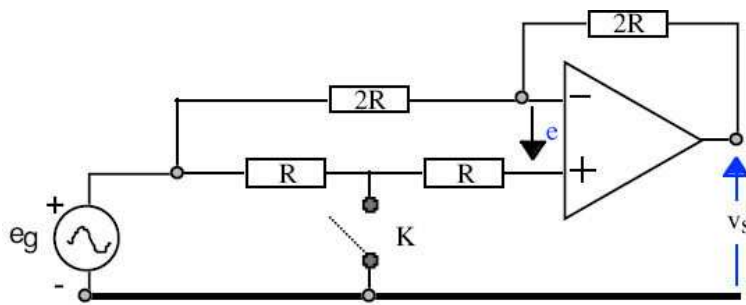
## 2.2 Additionneur inverseur non pondéré

$$R_1 = 4,7k\Omega, R_2 = 10k\Omega$$



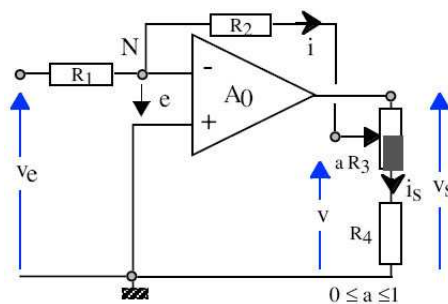
1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$ .
2. Pour  $V_{e2} = 0$ , entre quelles valeurs peut évoluer  $V_{e1}$  ?
3. Pour  $V_{e1} = 0$ , entre quelles valeurs peut évoluer  $V_{e2}$  ?

## 2.3 Amplificateur dual inverseur / non-inverseur



Déterminer l'amplification en tension  $\frac{V_S}{e_g}$  du montage donné ci-dessus pour les deux positions de l'interrupteur  $K$ .

## 2.4 Amplificateur à gain ajustable

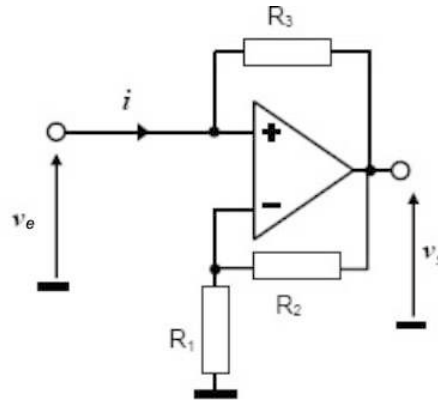


1. Redessiner le montage en remplaçant le potentiomètre par deux résistances dépendantes de  $\alpha$ , la position du curseur du potentiomètre.
2. Déterminer l'expression de  $V$  en fonction de  $V_e$ .
3. Déterminer l'expression de  $V_S$  en fonction de  $V$  en supposant que le courant qui passe dans  $R_2$  est négligeable par rapport au courant qui circule dans le potentiomètre et dans  $R_4$ .
4. En déduire l'expression de  $V_S$  en fonction de  $V_e$ .
5. On donne :  $R_1 = 100k\Omega$ ,  $R_2 = 100k\Omega$ ,  $R_3 = 5k\Omega$ ,  $R_4 = 1k\Omega$ . Calculer la valeur du gain pour les positions extrêmes du potentiomètre.

### 3 TD 3 : Amplificateur opérationnel en régime linéaire (suite)

#### 3.1 Résistance négative

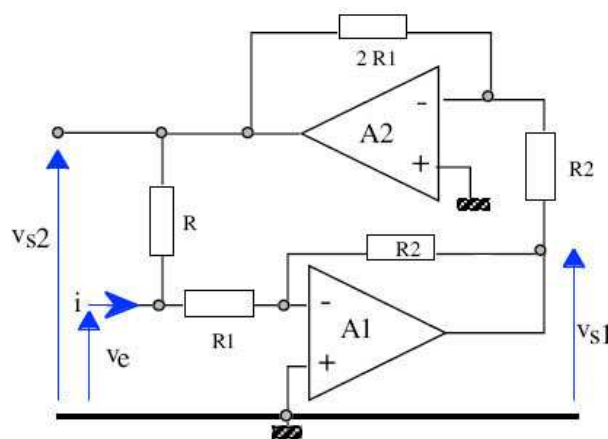
On considère le montage suivant :



1. Déterminer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Déterminer le domaine de fonctionnement linéaire du montage : entre quelles valeurs  $V_{min}$  et  $V_{max}$  de la tension d'entrée  $V_e$  la tension de sortie  $V_s$  est-elle comprise entre  $-15V$  et  $+15V$  ?
3. Dans le cas où le fonctionnement est linéaire (vous n'avez pas besoin du résultat de la question précédente pour continuer l'exercice), exprimer le courant  $i$  en fonction de  $V_e$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ . En déduire la résistance d'entrée  $R_e = \frac{V_e}{i}$  du montage.
4. Quel nom donneriez-vous à ce montage ? A quoi peut-il servir ?

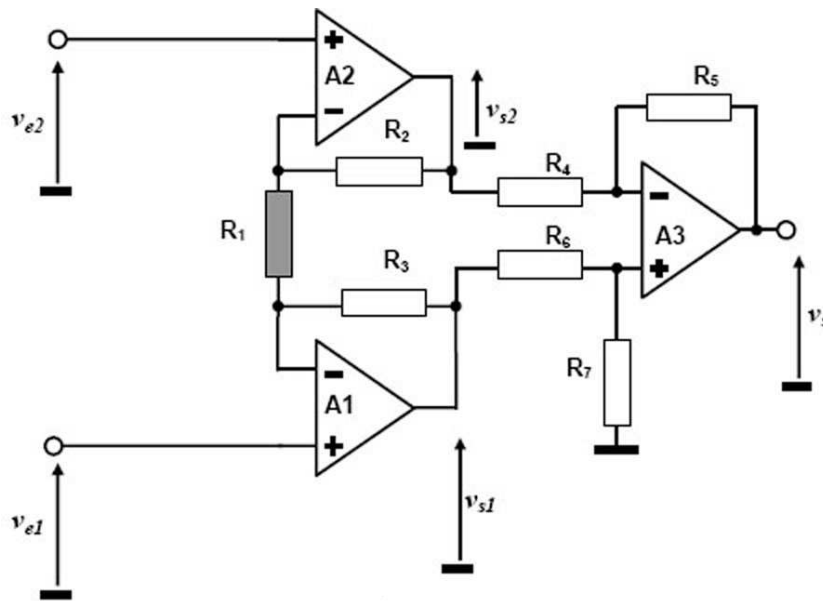
#### 3.2 Amplificateur à forte résistance d'entrée

On considère le montage suivant :



1. Déterminer l'expression des amplifications en tension :  $A_1 = \frac{V_{s1}}{V_e}$  et  $A_2 = \frac{V_{s2}}{V_{s1}}$ . En déduire l'amplification globale du montage :  $A = \frac{V_{s2}}{V_e}$ .
2. Calculer la résistance d'entrée du montage. Déterminer ensuite la valeur de  $R$  permettant d'obtenir une résistance d'entrée  $R_e = 100k\Omega$  sachant que  $R_1 = 10k\Omega$  et  $R_2 = 100k\Omega$ .

### 3.3 Amplificateur différentiel d'instrumentation



**Important :**  $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R$  et  $R_1 = \frac{1}{k}R$

1. Analyse préliminaire :

- (a) Justifier que chacun des étages  $A_1$ ,  $A_2$  et  $A_3$  fonctionne en régime linéaire.
- (b) Quelle est la fonction réalisée par l'étage  $A_3$  ?

2. Etage  $A_3$  :

- (a) Exprimer  $v_{3+}$  en fonction de  $v_{s1}$ .
- (b) Exprimer  $v_{3-}$  en fonction de  $v_{s2}$  et de  $v_s$ .
- (c) En déduire une expression de  $v_s$  en fonction de  $v_{s1}$  et de  $v_{s2}$ .

3. Etage  $A_1$  :

- (a) Exprimer  $v_{2-}$  en fonction de  $v_{e2}$ .
- (b) En appliquant le théorème de Millman en  $v_{1-}$ , exprimer  $v_{1-}$  en fonction de  $v_{s1}$  et de  $v_{e2}$ .

4. Etage  $A_2$  :

- (a) Exprimer  $v_{1-}$  en fonction de  $v_{e1}$ .
- (b) En appliquant le théorème de Millman en  $v_{2-}$ , exprimer  $v_{2-}$  en fonction de  $v_{s2}$  et de  $v_{e1}$ .

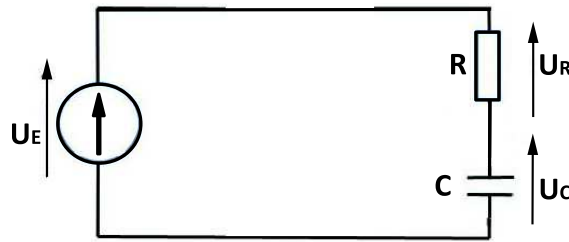
5. Synthèse :

- (a) En remarquant (et en justifiant) que  $v_{1-} - v_{2-} = v_{e1} - v_{e2}$ , déterminer la valeur de la différence  $v_{s1} - v_{s2}$  en fonction de  $v_{e1} - v_{e2}$ .
- (b) Déterminer l'expression de  $v_s$  en fonction de  $v_{e1}$  et de  $v_{e2}$ .
- (c) Quel peut être l'intérêt d'un tel montage. Expliquer en détail ses avantages dans le cas où il permet d'amplifier le signal provenant d'un capteur lointain et fonctionnant dans un environnement très perturbé.



## 4 TD 4 : Systèmes électroniques du premier ordre

### 4.1 Circuit R-C série



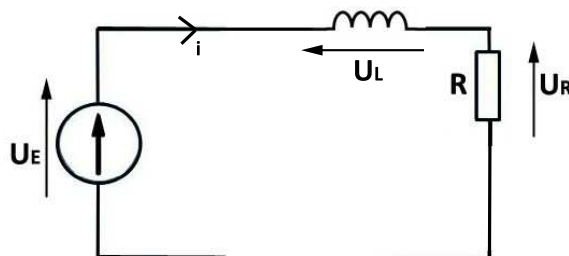
Le circuit est dans un premier temps alimenté par une tension  $U_E = E$ .

1. Déterminer l'équation différentielle en  $U_C$ .
2. Résoudre cette équation différentielle en considérant qu'à  $t = 0$ ,  $U_C = 0$ .
3. Vers quelle valeur tend la tension aux bornes du condensateur ?
4. Déterminer à quel instant le condensateur est chargé à 63%.
5. Déterminer à quel instant le condensateur est chargé à 90%.
6. Représenter l'évolution de  $U_C$  en fonction du temps.
7. Déterminer l'équation de la tangente à  $U_C$  à  $t = 0$ .

Le circuit est à présent alimenté par une tension  $U_E = 0$ .

1. Déterminer l'équation différentielle en  $U_C$ .
2. Résoudre cette équation différentielle en considérant qu'à  $t = 0$ ,  $U_C = E$ .
3. Vers quelle valeur tend la tension aux bornes du condensateur ?
4. Déterminer à quel instant le condensateur est-il déchargé à 63%.
5. Déterminer à quel instant le condensateur est-il déchargé à 90%.
6. Représenter l'évolution de  $U_C$  en fonction du temps.
7. Déterminer l'équation de la tangente à  $U_C$  à  $t = 0$ .

### 4.2 Circuit R-L série



Le circuit est dans un premier temps alimenté par une tension  $U_E = E$ .

1. Déterminer l'équation différentielle en  $i$ .

2. Résoudre cette équation différentielle en considérant qu'à  $t = 0$ ,  $i_L = 0$ .
3. Vers quelle valeur tend le courant ?
4. Déterminer à quel instant le courant est-il établi à 63%.
5. Déterminer à quel instant le courant est-il établi à 90%.
6. Représenter l'évolution de  $i$  en fonction du temps.
7. Déterminer l'équation de la tangente à  $i$  à  $t = 0$ .

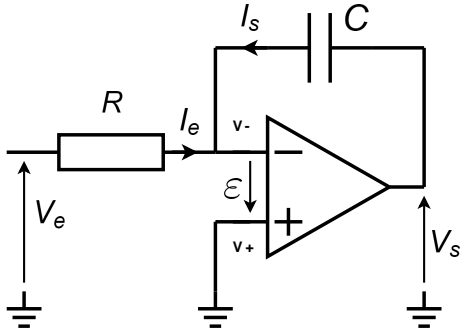
Le circuit est à présent alimenté par une tension  $U_E = 0$ .

1. Déterminer l'équation différentielle en  $i$ .
2. Résoudre cette équation différentielle en considérant qu'à  $t = 0$ ,  $i_L = \frac{E}{R}$ .
3. Vers quelle valeur tend le courant ?
4. Déterminer à quel instant le courant est-il établi à 63%.
5. Déterminer à quel instant le courant est-il établi à 90%.
6. Représenter l'évolution de  $i$  en fonction du temps.
7. Déterminer l'équation de la tangente à  $i$  à  $t = 0$ .

## 5 TD 5 : Systèmes électroniques du premier ordre

### 5.1 Intégrateur inverseur

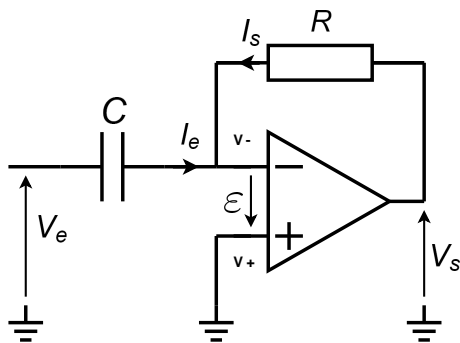
$$R = 47k\Omega, C = 10nF$$



1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Quelle est l'équation de  $V_s(t)$  quand  $V_e = cte = +10V$  ?
3. Quelle est l'équation de  $V_s(t)$  quand  $V_e = cte = -10V$  ?
4. Quelle est l'allure du chronogramme de  $V_s(t)$  quand la tension d'entrée est un signal carré variant de  $-5V$  à  $+5V$  à la fréquence  $f = 1\text{ kHz}$  ? (on supposera que  $V_s$  à  $t = 0$  vient de passer à  $+5V$ )

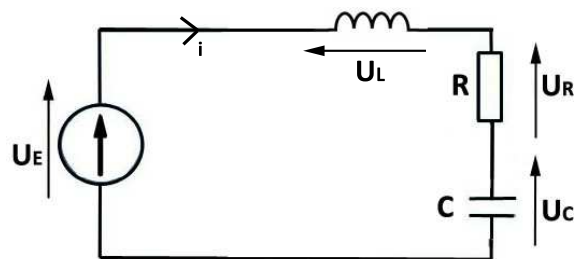
### 5.2 Dérivateur inverseur

$$R = 47k\Omega, C = 10nF$$



1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
2. Quelle est l'allure du chronogramme de  $V_s(t)$  quand la tension d'entrée est un signal triangulaire variant entre  $-5V$  et  $+5V$  à la fréquence  $f = 1\text{ kHz}$  ?
3. Quelle est l'allure du chronogramme de  $V_s(t)$  quand la tension d'entrée est un signal triangulaire variant entre  $0V$  et  $+10V$  à la fréquence  $f = 1\text{ kHz}$  ? Commenter par rapport au résultat précédent.

### 5.3 Circuit R-L-C série (2<sup>e</sup> ordre)



Le circuit est dans un premier temps alimenté par une tension  $U_E = E$ .

1. Déterminer l'équation différentielle en  $U_C$ .
2. Résoudre cette équation différentielle en considérant qu'à  $t = 0$ ,  $U_C = 0$
3. Vers quelle valeur tend la tension aux bornes du condensateur ?
4. Représenter l'évolution de  $U_C$  en fonction du temps.

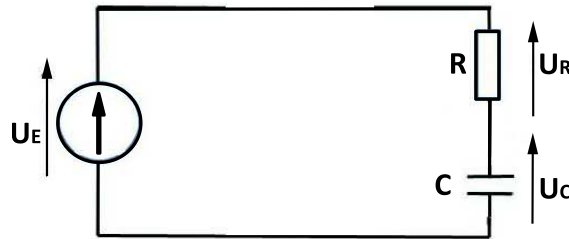
Le circuit est à présent alimenté par une tension  $U_E = 0$ .

1. Déterminer l'équation différentielle en  $U_C$ .

2. Résoudre cette équation différentielle en considérant qu'à  $t = 0$ ,  $U_C = E$
3. Vers quelle valeur tend la tension aux bornes du condensateur ?
4. Représenter l'évolution de  $U_C$  en fonction du temps.

## 6 TD 6 : Systèmes électroniques en régime harmonique - filtrage

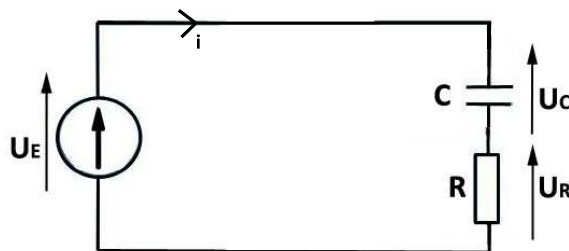
### 6.1 Filtre passe-bas passif : Circuit R-C série en régime harmonique



Le circuit est alimenté par une tension  $U_E = U_0 \cos \omega t$ .

1. Déterminer la fonction de transfert  $\underline{H} = \frac{U_C}{U_E}$  du montage.
2. Aux basses fréquences ( $\omega \rightarrow 0$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow 0$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $U_C$  par rapport à  $U_E$ .
3. Aux fréquences élevées ( $\omega \rightarrow \infty$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow \infty$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $U_C$  par rapport à  $U_E$ .
4. Tracer le diagramme de Bode asymptotique associé à la fonction de transfert  $\underline{H}$ .
5. Quel peut-être l'intérêt d'un tel montage ?

### 6.2 Filtre passe-haut passif : Circuit R-C série en régime harmonique

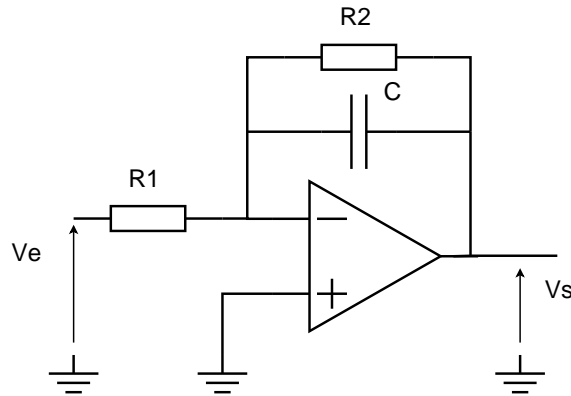


Le circuit est alimenté par une tension  $U_E = U_0 \cos \omega t$ .

1. Déterminer la fonction de transfert  $\underline{H} = \frac{U_C}{U_E}$  du montage.
2. Aux basses fréquences ( $\omega \rightarrow 0$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow 0$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $U_C$  par rapport à  $U_E$ .
3. Aux fréquences élevées ( $\omega \rightarrow \infty$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow \infty$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $U_C$  par rapport à  $U_E$ .
4. Tracer le diagramme de Bode asymptotique associé à la fonction de transfert  $\underline{H}$ .
5. Quel peut-être l'intérêt d'un tel montage ?

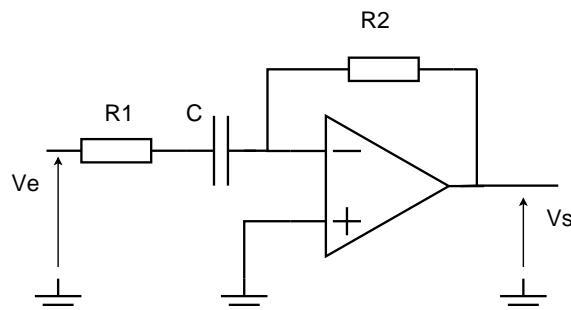
## 7 TD 7 : Systèmes électroniques en régime harmonique - filtrage (suite)

### 7.1 Filtre passe-bas actif d'ordre 1



1. Déterminer  $V_-$  en utilisant le théorème de Millmann.
2. Déterminer  $V_+$ .
3. Déterminer la fonction de transfert  $\underline{H} = \frac{V_s}{V_e}$  du montage.
4. Aux basses fréquences ( $\omega \rightarrow 0$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow 0$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $V_s$  par rapport à  $V_e$ .
5. Aux fréquences élevées ( $\omega \rightarrow \infty$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow \infty$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $V_s$  par rapport à  $V_e$ .
6. Tracer le diagramme de Bode asymptotique associé à la fonction de transfert  $\underline{H}$ .
7. Quel peut-être l'intérêt d'un tel montage ?

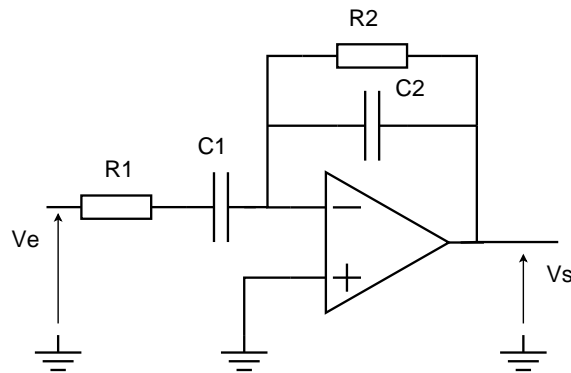
### 7.2 Filtre passe-haut actif d'ordre 1



1. Déterminer  $V_-$  en utilisant le théorème de Millmann.
2. Déterminer  $V_+$ .
3. Déterminer la fonction de transfert  $\underline{H} = \frac{V_s}{V_e}$  du montage.

4. Aux basses fréquences ( $\omega \rightarrow 0$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow 0$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $V_s$  par rapport à  $V_e$ .
5. Aux fréquences élevées ( $\omega \rightarrow \infty$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow \infty$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $V_s$  par rapport à  $V_e$ .
6. Tracer le diagramme de Bode asymptotique associé à la fonction de transfert  $\underline{H}$ .
7. Quel peut-être l'intérêt d'un tel montage ?

### 7.3 Filtre passe-bande actif

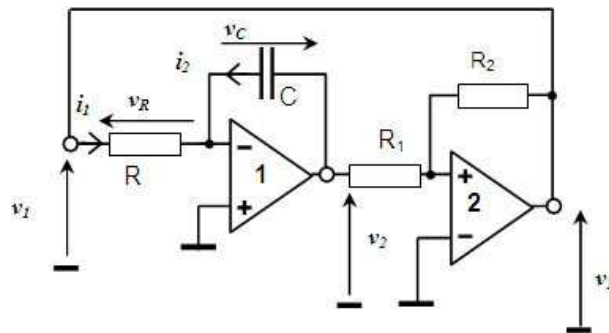


Note : ce filtre n'est pas un filtre du premier ordre, mais son importance justifie sa présence dans cette partie.

1. Déterminer  $V_-$  en utilisant le théorème de Millmann.
2. Déterminer  $V_+$ .
3. Déterminer la fonction de transfert  $\underline{H} = \frac{V_s}{V_e}$  du montage.
4. Aux basses fréquences ( $\omega \rightarrow 0$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow 0$ ) le gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $V_s$  par rapport à  $V_e$ .
5. Aux fréquences élevées ( $\omega \rightarrow \infty$ ), simplifier la fonction de transfert en négligeant ce qui peut l'être. En déduire dans ce cas ( $\omega \rightarrow \infty$ ) l'expression du gain en  $dB$  et la phase  $\phi$  de  $V_s$  par rapport à  $V_e$ .
6. Tracer le diagramme de Bode asymptotique associé à la fonction de transfert  $\underline{H}$ .
7. Quel peut-être l'intérêt d'un tel montage ?

## 8 TD 8 : Systèmes électroniques non linéaires - AOP saturé

### 8.1 Générateur de signaux carrés

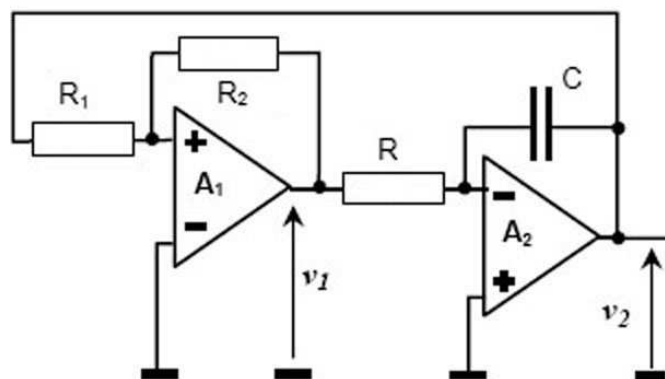


Les A.O. sont parfaits et sont alimentés en  $\pm 15V$  continu.

$R_1 = 10k\Omega$ ,  $R_2 = 15k\Omega$ ,  $R = 10k\Omega$  et  $C = 100nF$ .

1. Quelles fonctions réalisent chacun des deux étages ?
2. Déterminer les seuils de basculement de l'étage 2, donner l'allure de la courbe  $v_1 = f(v_2)$ .
3. Exprimer  $i_1$  en fonction de  $v_1$  et  $R$ . Calculer sa valeur lorsque  $v_1 = +15V$ .
4. Exprimer  $v_2$  en fonction de  $v_C$  ainsi que  $i_2$  en fonction de  $i_1$ .
5. En exprimant la loi d'Ohm aux bornes du condensateur, déterminer une relation entre  $i_2$  et  $v_C$ , en déduire ce que vaut  $\frac{dv_2}{dt}$  lorsque  $v_1 = +15V$ .
6. Calculer le temps  $t_H$  mis par  $v_2$  pour passer de  $-10V$  à  $+10V$ .
7. Donner l'allure des chronogrammes de  $v_1$  et  $v_2$ . On supposera qu'à  $t = 0$ ,  $v_{10} = +15V$  et  $V_{20} = +10V$ .
8. Calculer la fréquence de fonctionnement.

### 8.2 Générateur de signaux triangulaires



$R_1 = 8k\Omega$ ,  $R_2 = 10k\Omega$ ,  $R = 14,2k\Omega$  et  $C = 22nF$ .

Les A.O. sont parfaits et sont alimentés en  $\pm 15V$  continu.

1. Quelle est la fonction réalisée par l'amplificateur opérationnel  $A_1$  ?

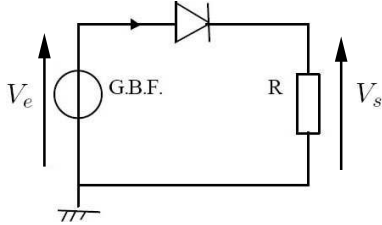


2. On rappelle que  $A_1$  fonctionne en saturé. Quelles valeurs peut prendre la sortie  $v_1$  de l'A.O.  $A_1$ . A quelles conditions sur  $V_{1+}$  et  $V_{1-}$  ?
3. Déterminer l'expression de  $V_{1+}$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$ .
4. Pour chacune des valeurs que peut prendre  $v_1$ , déterminer la condition sur  $v_2$  permettant de rester dans un état stable ( $v_1$  ne change pas).  
Faire les applications numériques.
5. Représenter le graphe d'évolution de  $v_1$  en fonction de  $v_2$ .
6. Quelle fonction réalise l'étage  $A_2$  ?
7. Déterminer la relation entre  $\frac{dv_2}{dt}$  et  $v_1$  (attention aux signes).
8. Dans le cas où  $v_1 = +V_{sat} = 15V$ , en déduire l'expression de  $v_2$  en fonction du temps sachant qu'à  $t = 0$ ,  $v_2 = 12V$ .
9. Calculer la durée de cette phase de charge sachant qu'elle se termine quand  $v_2 = -12V$ .
10. Dans le cas où  $v_1 = +V_{sat} = -15V$ , en déduire l'expression de  $v_2$  en fonction du temps sachant qu'à  $t = 0$ ,  $v_2 = -12V$ .
11. Calculer la durée de cette phase de charge sachant qu'elle se termine quand  $v_2 = +12V$ .
12. Représenter sur un chronogramme les évolutions de  $v_1$  et  $v_2$  en fonction du temps.
13. Déterminer la fréquence de fonctionnement du montage.

## 9 TD 9 : Systèmes électroniques non linéaires - diodes

### 9.1 Diodes : Redressement mono-alternance

On suppose dans cet exercice que la diode est parfaite. La tension d'entrée  $V_e$  est sinusoïdale et son expression est donnée ci-dessous.



$$V_e = U_0 \sin \omega t$$

$$U_0 = 20V$$

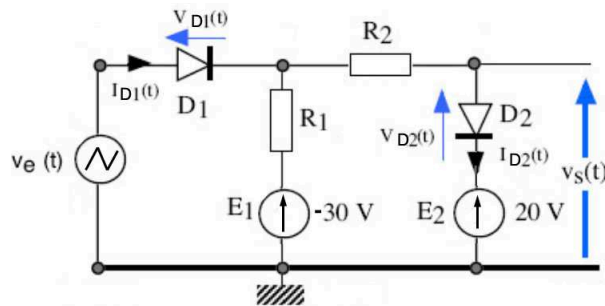
$$\omega = 2\pi f_0 \quad \text{avec} \quad f_0 = 50Hz$$

$$R = 200\Omega$$

1. On suppose que la diode est passante. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas, que vaut  $V_s$  ?
2. On suppose que la diode est bloquée. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas, que vaut  $V_s$  ?
3. Représenter l'évolution de  $V_e$  et de  $V_s$  sur un même graphe en fonction du temps.
4. Donner l'expression de la valeur moyenne de  $V_s$  en fonction de l'amplitude  $U_0$  de  $V_e$ .
5. A quoi peut servir un tel montage ?

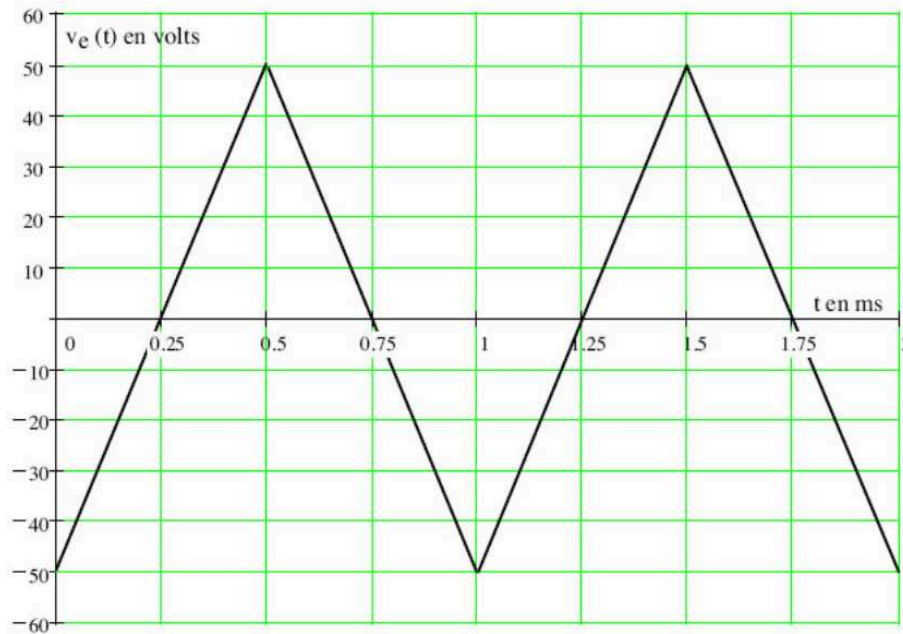
### 9.2 Diodes : Écrêteur de tension à diodes

On considère le montage de la figure ci-dessous. Les diodes sont supposées idéales.



Le but de l'exercice est de déterminer le graphe de la tension de sortie  $v_s(t)$  du montage lorsque celui-ci est excité par un générateur délivrant une tension  $v_e(t)$  triangulaire périodique ayant :

- Une fréquence  $f$  de  $1kHz$ .
- Une valeur moyenne nulle
- Une amplitude de  $100V$  crête à crête, avec à  $t = 0$  :  $v_e(t = 0) = -50V$

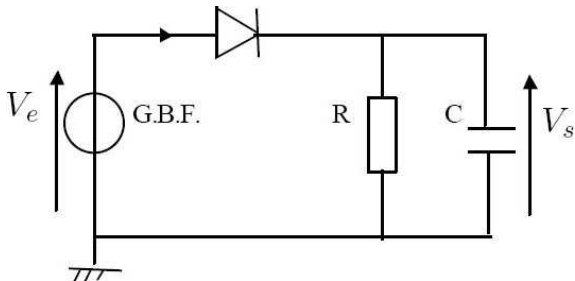


1. A l'instant  $t = 0$  où  $v_e(t) = -50V$ , on suppose que les diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont bloquées. Vérifier cette hypothèse. Calculer  $V_s$  à  $t = 0$ .
2. On suppose à présent que  $D_1$  et  $D_2$  sont bloquées. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas donner l'expression de  $V_s$ .
3. On suppose à présent que  $D_1$  est passante et  $D_2$  est bloquée. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas donner l'expression de  $V_s$ .
4. On suppose à présent que  $D_1$  et  $D_2$  sont passantes. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie (on donnera la condition sur  $D_2$  en premier, et on montrera que cette condition convient aussi pour  $D_1$ ) ? Dans ce cas donner l'expression de  $V_s$ .

## 10 TD 10 : Systèmes électroniques non linéaires - diodes

### 10.1 Diodes : Détecteur de crêtes

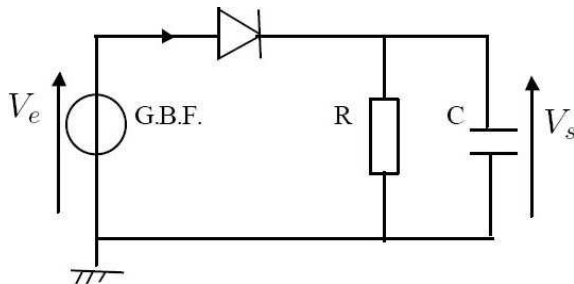
On suppose dans cet exercice que la diode est parfaite



1. A quelle condition la diode est-elle passante ? Dans ce cas, que vaut  $V_s$  ?
2. Lorsque la diode est bloquée, donner l'équation différentielle régissant le comportement de  $V_s$ . La résoudre.
3. Représenter l'évolution de  $V_e$  et de  $V_s$  sur un même graphe en fonction du temps.
4. Expliquer en quoi ce montage peut se comporter comme un détecteur de crêtes ?

### 10.2 Diodes : Redresseur mono-alternance filtré

On suppose dans cet exercice que la diode est parfaite. La tension d'entrée  $V_e$  est sinusoïdale et son expression est donnée ci-dessous.



$$V_e = U_0 \sin \omega t$$

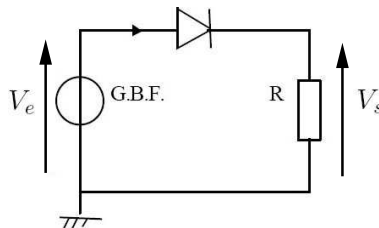
$$U_0 = 20V$$

$$\omega = 2\pi f_0 \text{ avec } f_0 = 50Hz$$

$$R = 200\Omega$$

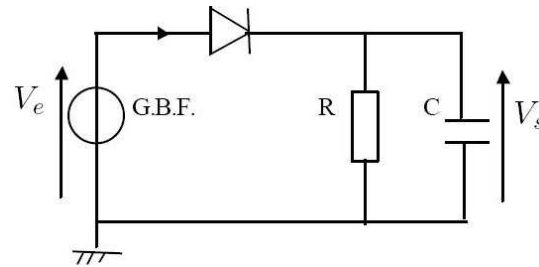
$$C = 50\mu\Omega$$

#### Etude du montage sans la capacité de filtrage C



1. On suppose que la diode est passante. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas, que vaut  $V_s$  ?
2. On suppose que la diode est bloquée. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas, que vaut  $V_s$  ?
3. Représenter l'évolution de  $V_e$  et de  $V_s$  sur un même graphe en fonction du temps.
4. Donner l'expression de la valeur moyenne de  $V_s$  en fonction de l'amplitude  $U_0$  de  $V_e$ .

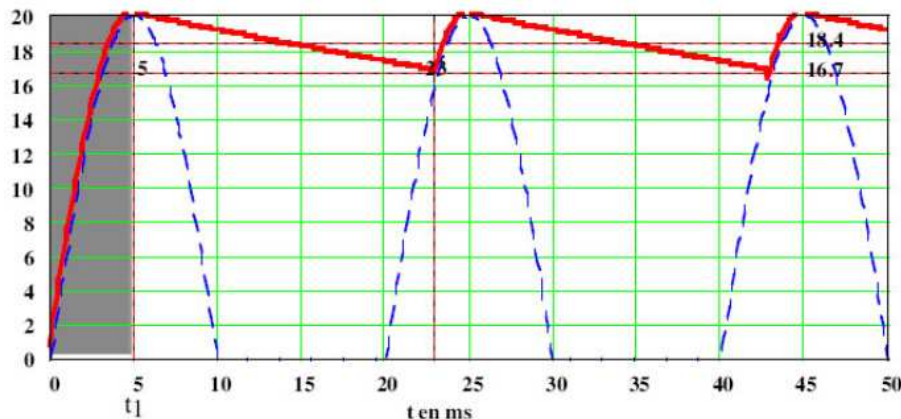
#### Etude du montage avec la capacité de filtrage C



1. On suppose la diode passante :

- Déterminer l'expression de la tension  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
- En utilisant l'expression de  $V_e$  donnée en début d'énoncé, déterminer l'expression des courants  $i_R$  dans la résistance et  $i_C$  dans le condensateur, en fonction de  $R$ ,  $C$ ,  $U_0$ ,  $\omega$ .
- A quelle condition la diode se bloque-t-elle ?
- En déduire l'instant  $t_1$  de blocage de la diode (en n'oubliant pas de mettre votre calculatrice en mode radian pour la calcul de  $\tan^{-1}$ ).

2. On suppose à présent la diode bloquée, et on choisit par commodité l'instant du blocage comme instant initial, en le prenant égal à  $5ms$ :



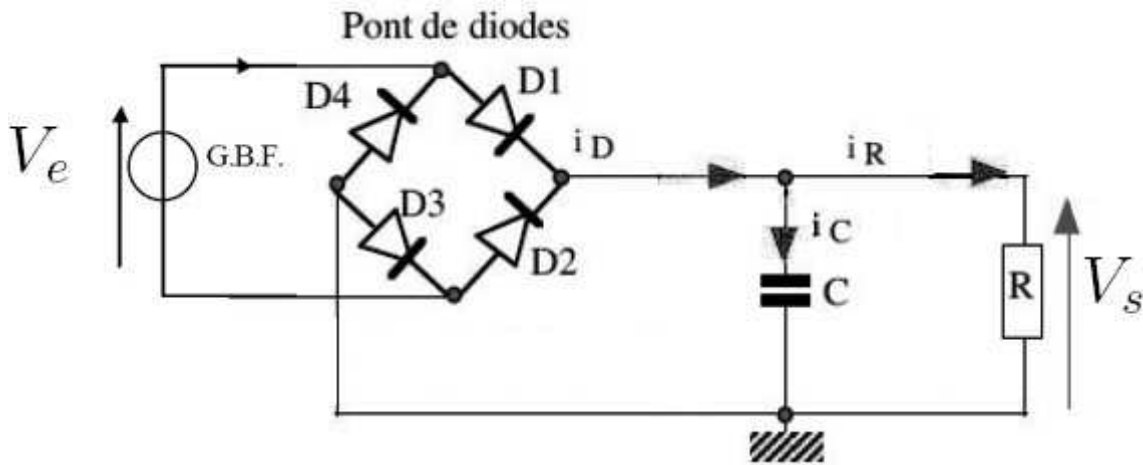
- En utilisant la loi des noeuds, établir l'équation différentielle régissant le comportement de  $V_s$ .
- Résoudre cette équation différentielle en posant  $\tau = RC$ .
- On suppose que  $\tau$  est suffisamment grand pour que la décharge exponentielle soit assimilable à une portion de droite comme représenté en sur la figure ci-dessus. Déterminer graphiquement au bout de combien de temps la diode redevient passante.
- Déterminer graphiquement l'ondulation de tension et la tension moyenne en sortie du montage (en supposera que l'on peut assimiler la portion de la courbe de  $V_s$  où la diode conduit à un segment de droite).

3. Durant quel pourcentage de chaque période la diode conduit-elle ?

4. Sachant que la charge  $R$  débite en permanence une puissance égale à  $V_s I_R = \frac{V_s^2}{R}$ , mais que l'alimentation ne fournit une puissance  $V_e I_D$  que durant la phase de conduction de la diode, que pouvez vous dire de l'amplitude du courant dans la diode durant la phase de conduction ?

5. Si  $V_e$  est fournie par le réseau EDF (équipé d'un transformateur), quelles sont les conséquences sur le dimensionnement de l'installation ? Que fait EDF pour compenser ces conséquences ?

### 10.3 Diodes : Redresseur double alternance filtré



#### Etude du montage sans la capacité de filtrage C

1. On suppose que les diodes  $D_1$  et  $D_3$  sont passantes et que  $D_2$  et  $D_4$  sont bloquées. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas, que vaut  $V_s$  ?
2. On suppose que les diodes  $D_2$  et  $D_4$  sont passantes et que  $D_1$  et  $D_3$  sont bloquées. A quelle condition sur  $V_e$  cette hypothèse est vraie ? Dans ce cas, que vaut  $V_s$  ?
3. Représenter l'évolution de  $V_e$  et de  $V_s$  sur un même graphe en fonction du temps.
4. Donner l'expression de la valeur moyenne de  $V_s$  en fonction de l'amplitude  $U_0$  de  $V_e$ .

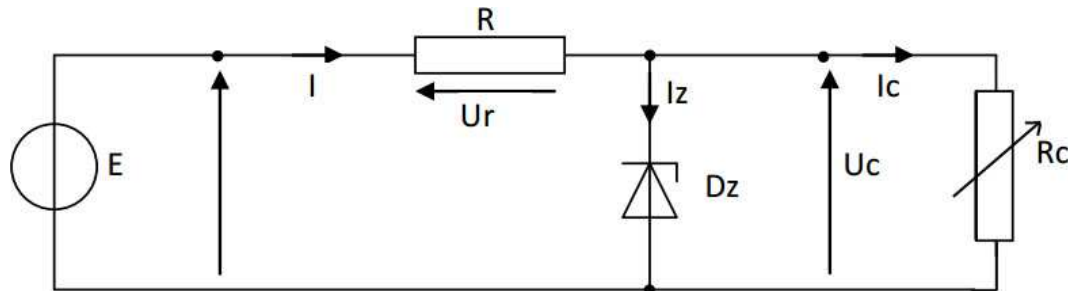
#### Etude du montage avec la capacité de filtrage C

Reprendre l'étude de l'exercice précédent dans le cas du redressement à l'aide d'un pont de diodes.

## 11 TD 11 : Systèmes électroniques non linéaires - diode Zener

### 11.1 Régulation de tension à l'aide d'une diode Zener

La régulation de tension à diode Zener est une méthode très peu onéreuse puisqu'elle se limite à l'usage d'une diode Zener coûtant quelques centimes. Le but de cet exercice est de voir les limites de cette solution de régulation.



$$R = 100\Omega, V_z = 6.2V, I_{Zmax} = 0.2A$$

#### 11.1.1 Régulation aval

La tension d'alimentation étant fixe et égale à  $40V$ , il faut calculer les limites de variation de  $R_C$  permettant la stabilisation de la tension.

- Déterminer la valeur minimum de  $R_C$  pour que la diode Zener soit passante et régule la tension.
- Dans ce cas limite, déterminer les valeurs des courants  $I_C$ ,  $I$  et  $I_Z$ .
- Supposons à présent que  $R_C$  a une valeur 4 fois supérieure : déterminer à nouveau les valeurs des courants  $I_C$ ,  $I$  et  $I_Z$ . Que peut-on conclure dans ce cas ?
- Déterminer à présent la valeur maximale de  $R_C$  permettant d'obtenir un courant  $I_Z$  égal à  $I_{Zmax}$ .
- En déduire les valeurs min et max que peut prendre  $R_C$  en mode stabilisation de tension.

#### 11.1.2 Régulation amont

La charge étant constante et égale à  $R_C = 200\Omega$ , il faut calculer les limites de variation de  $E$  permettant la stabilisation de la tension.

- Déterminer  $I_C$  et en déduire la plage de courant dans laquelle peut évoluer  $I$ .
- En déduire la plage de variation de  $E$  pour qu'il y ait stabilisation de la tension de sortie sans destruction de la diode Zener.

#### 11.1.3 Synthèse

Dans le cas où  $R_C = 200\Omega$ , et avec  $E = 24V$  :

- Calculer les puissances maximum dissipées dans  $R$  et  $D_Z$ .
- Calculer la puissance fournie par l'alimentation  $P_e$ , la puissance reçue par la charge  $P_S$  ainsi que le rendement de ce circuit  $\eta$ .
- Quelle conclusion peut-on en tirer sur ce dispositif de stabilisation de tension ?

## 12 TD 12 : Révisions