

l'intégrale

PSI | PSI*

**EXERCICES
INCONTOURNABLES**

J.-N. BEURY

Physique

exercices incontournables

**CONFORME
AU NOUVEAU
PROGRAMME**

Les exercices incontournables
du programme

Les méthodes de résolution
étape par étape

Les erreurs à éviter

Les corrigés détaillés

DUNOD

l'intégrale

**EXERCICES
INCONTOURNABLES**

PSI • PSI*

JEAN-NOËL **BEURY**

Physique

exercices incontournables

DUNOD

Conception et création de couverture : Atelier 3+

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--



© Dunod, 2014

5 rue Laromiguière, 75005 Paris
www.dunod.com

ISBN : 978-2-10-071267-0

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Physique

exercices incontournables

Tout le catalogue sur
www.dunod.com

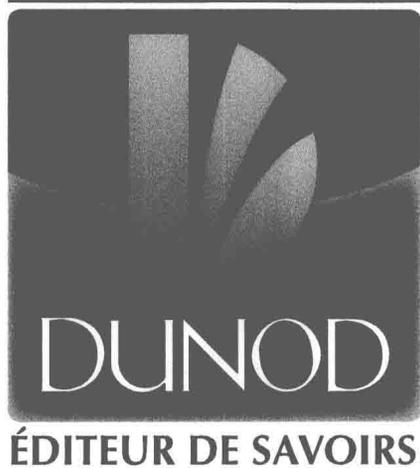


Table des matières

Partie 1

Électronique

- | | |
|----------------------------|----|
| 1. ALI – Oscillateurs | 3 |
| 2. Électronique numérique | 18 |
| 3. Modulation-Démodulation | 25 |

Partie 2

Phénomènes de transport

- | | |
|---------------------------------------|----|
| 4. Transport de charge | 33 |
| 5. Transfert thermique par conduction | 37 |
| 6. Diffusion de particules | 59 |
| 7. Statistique des fluides | 64 |

Partie 3

Bilans macroscopiques

- | | |
|---|----|
| 8. Bilans d'énergie | 69 |
| 9. Relation de Bernoulli | 85 |
| 10. Bilans dynamiques et thermodynamiques | 89 |

Partie 4

Électromagnétisme

- | | |
|---|-----|
| 11. Champ électrique en régime stationnaire | 113 |
| 12. Condensateur | 133 |
| 13. Champ magnétique en régime stationnaire | 137 |
| 14. Électromagnétisme dans l'ARQS | 143 |
| 15. Milieux ferromagnétiques | 173 |

Partie 5

Conversion de puissance

16. Puissance électrique en régime sinusoïdal	181
17. Transformateur	189
18. Conversion électro-magnéto-mécanique	193
19. Machine synchrone	197
20. Machine à courant continu	212
21. Conversion électronique statique	220

Partie 6

Ondes

22. Phénomènes de propagation non dispersifs	235
23. Ondes sonores dans les fluides	246
24. Ondes électromagnétiques dans le vide	261
25. Absorption et dispersion	279
26. Interface entre deux milieux	298

Index	303
-------	-----

Partie 1

Électronique

Plan

1. ALI – Oscillateurs	3
1.1 : Montages fondamentaux avec des ALI	3
1.2 : Oscillateur de relaxation	8
1.3 : Oscillateur à pont de Wien	11
1.4 : Oscillateur à résistance négative	14
2. Électronique numérique	18
2.1 : Condition de Shannon	18
2.2 : Filtrage numérique avec Scilab	21
3. Modulation-Démodulation	25
3.1 : Modulation d’amplitude	25
3.2 : Démodulation d’amplitude	28

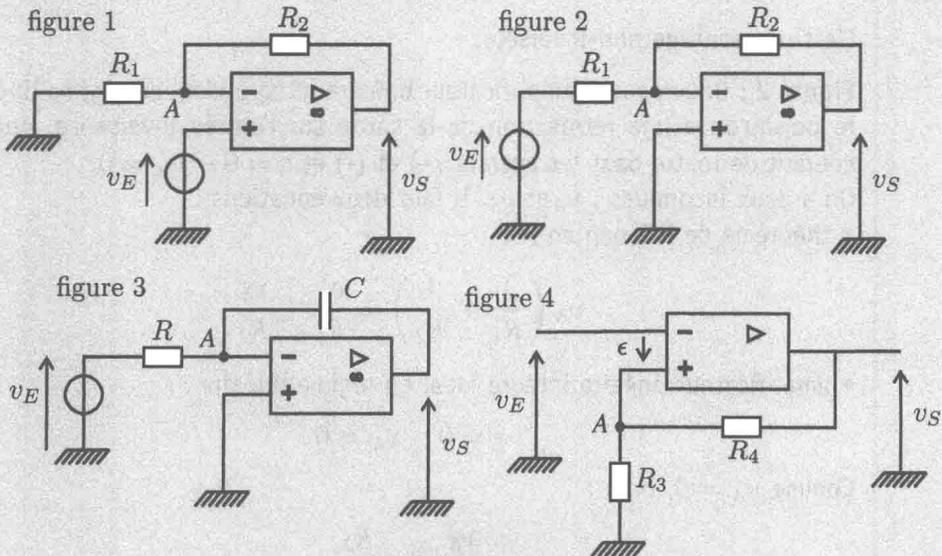
ALI-Oscillateurs

Exercice 1.1 : Montages fondamentaux avec des amplificateurs linéaires intégrés (ALI)

On considère quatre montages avec des amplificateurs linéaires intégrés idéaux.

On pose $\beta = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$.

1. Déterminer la fonction de transfert pour les figures 1 et 2.
2. Déterminer la relation entre $v_E(t)$ et $v_S(t)$ par deux méthodes pour la figure 3. À $t = 0$, on applique une tension continue $v_E = -V_0 < 0$ au dispositif et le condensateur est déchargé. Déterminer la tension de sortie $v_S(t)$ pour $t > 0$.
3. Pour quelle valeur de v_E la tension de sortie de la figure 4 passe-t-elle de la valeur $v_S = V_{\text{sat}}$ à $v_S = -V_{\text{sat}}$? Tracer le graphe représentant v_S en fonction de v_E . Comment appelle-t-on ce montage ?



Analyse du problème

Cet exercice reprend quelques montages fondamentaux avec des amplificateurs linéaires intégrés en régime linéaire ou en régime de saturation. On va voir plusieurs méthodes permettant d'obtenir l'équation différentielle.

Cours : La méthode générale pour la mise en équation dans les montages avec des amplificateurs linéaires intégrés est d'écrire

- le théorème de Millman ou la loi des noeuds en termes de potentiels à tous les noeuds sauf à la masse et à la sortie,
- l'équation de fonctionnement de l'amplificateur linéaire intégré : saturation positive ou saturation négative ou régime linéaire ($\epsilon = 0$ pour un amplificateur linéaire intégré idéal).



Figure 1 : On suppose l'amplificateur linéaire intégré idéal en régime linéaire puisqu'on a une rétroaction de la sortie sur l'entrée inverseuse. Aucun courant ne rentre dans les entrées (+) et (-) et $\epsilon = 0 - v_A = 0$.

On a deux inconnues : v_A et v_S . Il faut deux équations :

- théorème de Millman en A :

$$v_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{v_S}{R_2}$$

- amplificateur linéaire intégré idéal en régime linéaire :

$$\epsilon = v_E - v_A = 0$$

Comme $v_A = v_E$, on a :

$$\frac{v_S}{v_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

C'est un montage non-inverseur.

Figure 2 : On suppose l'amplificateur linéaire intégré idéal en régime linéaire puisqu'on a une rétroaction de la sortie sur l'entrée inverseuse. Aucun courant ne rentre dans les entrées (+) et (-) et $\epsilon = 0 - v_A = 0$.

On a deux inconnues : v_A et v_S . Il faut deux équations :

- théorème de Millman en A :

$$v_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{v_E}{R_1} + \frac{v_S}{R_2}$$

- amplificateur linéaire intégré idéal en régime linéaire :

$$\epsilon = 0 - v_A = 0$$

Comme $v_A = 0$, on a :

$$\frac{v_S}{v_E} = -\frac{R_2}{R_1}$$

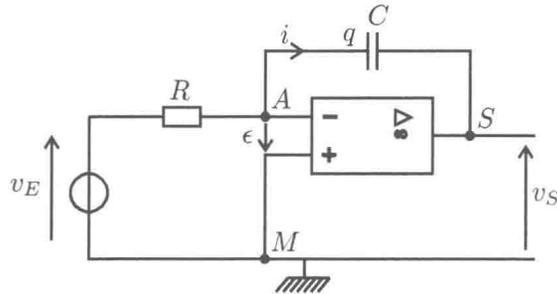
C'est un montage inverseur.

Figure 3 :

Première méthode

On cherche à obtenir directement l'équation différentielle.

On suppose l'amplificateur linéaire intégré idéal en régime linéaire puisqu'on a une rétroaction de la sortie sur l'entrée inverseuse. Aucun courant ne rentre dans les entrées (+) et (-) et $\varepsilon = 0 - v_A = 0$.



On a deux inconnues : v_A et v_S . Il faut donc deux équations :

- loi des noeuds en termes de potentiels en A :

$$\frac{v_e}{R} - i = 0$$

Il faut relier l'intensité i à la tension de sortie v_S . Soit q la charge du condensateur. On a $i = \frac{dq}{dt}$ et $q = C(v_A - v_S)$.

- amplificateur linéaire intégré idéal en régime linéaire :

$$\varepsilon = 0 = 0 - v_A$$

Soit :

$$\frac{v_e}{R} + C \frac{dv_S}{dt} = 0$$

On obtient finalement :

$$v_S(t) - v_S(0) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_e(t) dt$$

On a donc un montage intégrateur. L'amplificateur linéaire intégré doit rester en régime linéaire pour fonctionner en intégrateur.

Deuxième méthode

On se place en régime sinusoïdal forcé pour calculer la fonction de transfert. On pourra en déduire directement l'équation différentielle.

Les deux équations sont :

- théorème de Millman en A :

$$\underline{V}_A \left(\frac{1}{R} + jC\omega \right) = \frac{V_E}{R} + \underline{V}_S jC\omega$$

- amplificateur linéaire intégré idéal en régime linéaire :

$$\underline{\varepsilon} = 0 = 0 - \underline{V}_A$$

On a alors :

$$\underline{V_S} = -\frac{V_E}{jRC\omega}$$

Soit :

$$j\omega \underline{V_S} = -\frac{V_E}{RC}$$

On en déduit l'équation différentielle :

$$\frac{dv_S}{dt} = -\frac{v_e}{RC}$$

On retrouve bien le même résultat qu'avec la méthode 1.

À $t = 0$, $v_S = 0$ et $v_E = -V_0$. On intègre de 0 à t :

$$v_S(t) - 0 = \frac{V_0}{RC}t$$



Ce résultat est valable uniquement jusqu'à 15 V où on a une saturation de l'amplificateur linéaire intégré.

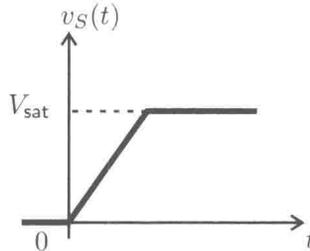


Figure 4 :

On n'a pas de rétroaction de la sortie sur l'entrée inverseuse. Le régime linéaire ne peut pas être stable. On a donc uniquement un régime de saturation positive ou négative. On définit :

$$\varepsilon = v_A - v_e$$

Cours

On a plusieurs modes de fonctionnement possible de l'amplificateur linéaire intégré. Pour analyser un tel montage, on fait des hypothèses de fonctionnement et on vérifie les hypothèses à la fin des calculs.



1^{re} hypothèse :

Supposons l'amplificateur linéaire intégré en régime de saturation positive. Les deux équations sont :

- théorème de Millman en A :

$$v_A \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) = \frac{v_S}{R_4}$$

Soit :

$$v_A = \frac{R_3}{R_3 + R_4} v_S = \beta v_S$$

- amplificateur linéaire intégré en régime de saturation positive :

$$v_S = +V_{\text{sat}}$$

Remarque : On aurait pu appliquer la formule du diviseur de tension pour calculer V_A puisque $i_+ = 0$.



Vérification des hypothèses : Il faut que $\epsilon > 0$. Comme $v_A = \beta V_{\text{sat}}$, on doit avoir :

$$v_E < \beta V_{\text{sat}}$$

2^e hypothèse :

Supposons l'amplificateur linéaire intégré en régime de saturation négative. Les deux équations sont :

- théorème de Millman en A : C'est la même équation d'avec la première hypothèse. On a :

$$v_A = \beta v_S$$

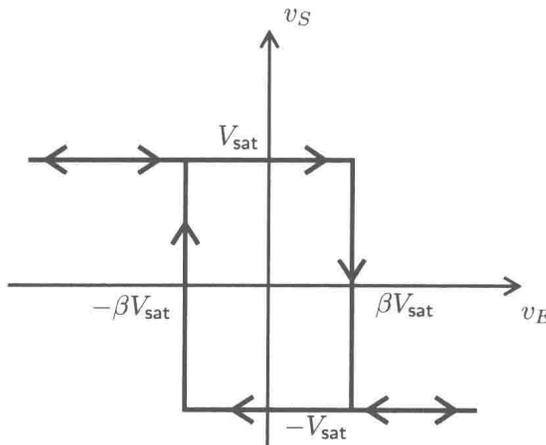
- amplificateur linéaire intégré en régime de saturation négative :

$$v_S = -V_{\text{sat}}$$

Vérification des hypothèses : Il faut que $\epsilon < 0$. Comme $v_A = -\beta V_{\text{sat}}$, on doit avoir :

$$v_E > -\beta V_{\text{sat}}$$

Conclusion : On a la caractéristique suivante :



Explication du sens de parcours du cycle :

- On augmente la tension v_E à partir d'une valeur inférieure à $-\beta V_{\text{sat}}$. La tension de sortie vaut V_{sat} . v_S vaut V_{sat} tant que v_E est inférieure à βV_{sat} .

On a un basculement de la tension de sortie de V_{sat} à $-V_{\text{sat}}$ quand v_E vaut βV_{sat} . Au delà, v_S vaut $-V_{\text{sat}}$ puisque v_E est comparée à $-\beta V_{\text{sat}}$.

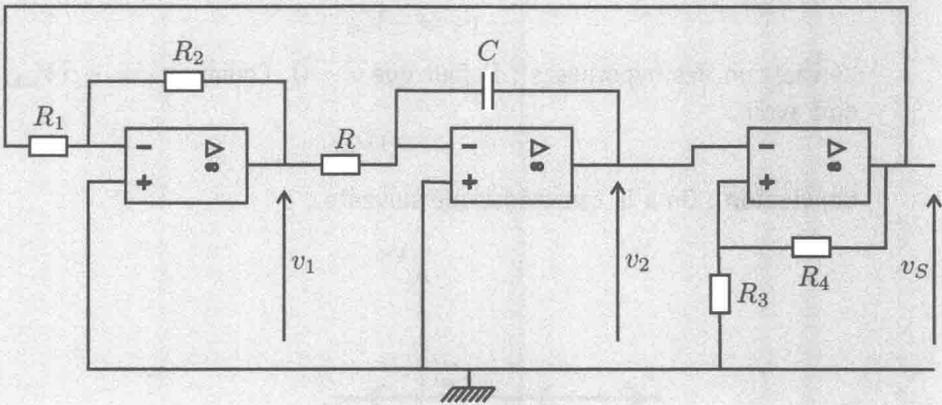
- On diminue la tension v_E à partir d'une valeur supérieure à βV_{sat} . La tension de sortie vaut $-V_{\text{sat}}$. v_S vaut $-V_{\text{sat}}$ tant que v_E est supérieure à $-\beta V_{\text{sat}}$. On a un basculement de la tension de sortie de $-V_{\text{sat}}$ à V_{sat} quand v_E vaut $-\beta V_{\text{sat}}$. Au delà, v_S vaut V_{sat} puisque v_E est comparée à βV_{sat} .

Une fois le basculement effectué, le seuil de comparaison change. Ce montage permet d'éviter des rebonds successifs. Le cycle est appelé cycle à hystérésis.

Exercice 1.2 : Oscillateur de relaxation

On considère le montage suivant reprenant les figures décrites dans l'exercice précédent. À l'instant $t = 0$, la tension de sortie v_S est égale à $v_S = V_{\text{sat}} = 14,7 \text{ V}$ et le condensateur est déchargé. On donne : $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$; $R = 10 \text{ k}\Omega$; $C = 10 \text{ nF}$; $R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$; $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$.

1. Étudier l'évolution ultérieure des tensions $v_S(t)$, $v_1(t)$ et $v_2(t)$.
2. Tracer les graphes de ces trois tensions et calculer la fréquence des signaux obtenus.



Analyse du problème

Dans l'exercice précédent, on a analysé en détail le fonctionnement de chaque montage à amplificateur linéaire intégré. On travaille en régime transitoire. Il faut donc étudier le montage en partant de $t = 0$ avec une saturation positive d'après l'énoncé. On reste en saturation positive tant que v_2 est inférieure à βV_{sat} . On calcule le temps t_1 correspondant au premier basculement puis le temps t_2 correspondant au deuxième basculement.

Il ne faut pas utiliser les notations complexes pour analyser le montage globalement car le circuit n'est pas linéaire. Par contre, on peut utiliser les complexes pour déterminer l'équation différentielle reliant v_1 et v_2 .



1. Régime de saturation positive entre $t = 0$ et $t = t_1$:

La tension de sortie vaut : $v_S = 14,7 \text{ V}$.

On en déduit que : $v_1 = -\frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}} = -6,9 \text{ V}$.

On a vu que $\frac{dv_2}{dt} = \frac{-v_1}{RC} = \frac{1}{RC} \frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}}$.

On a donc :

$$v_2(t) - v_2(0) = \frac{1}{RC} \frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}} t = 69000 t$$

La tension aux bornes d'un condensateur ne peut pas varier de façon discontinue. Le condensateur est déchargé à $t = 0$, donc :

$$v_2(t) = 69000 t$$

Vérification des hypothèses : Il faut que $v_2 < \beta V_{\text{sat}}$.

Pour $t = t_1$, v_2 atteint $\beta V_{\text{sat}} = 4,7 \text{ V}$. Il y a basculement de la tension de sortie de V_{sat} à $-V_{\text{sat}}$.

Pour $t = t_1$, on a : $69000 t_1 = \beta V_{\text{sat}}$. D'où :

$$t_1 = 6,81 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Régime de saturation négative entre $t = t_1$ et $t = t_2$:

La tension de sortie vaut : $v_S = -14,7 \text{ V}$.

On en déduit que : $v_1 = \frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}} = 6,9 \text{ V}$.

On a vu que $\frac{dv_2}{dt} = \frac{-v_1}{RC} = -\frac{1}{RC} \frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}}$.

On a donc :

$$v_2(t) - v_2(t_1) = -\frac{1}{RC} \frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}}(t - t_1) = -69000(t - t_1)$$

La tension aux bornes d'un condensateur ne peut pas varier de façon discontinue. La tension aux bornes du condensateur vaut $4,7 \text{ V}$ à $t = t_1$, donc :

$$v_2(t) = 4,7 - 69000(t - t_1)$$

Vérification des hypothèses : il faut que $v_2 > -\beta V_{\text{sat}}$

Pour $t = t_2$, v_2 atteint $-\beta V_{\text{sat}} = -4,7 \text{ V}$. Il y a basculement de la tension de sortie de $-V_{\text{sat}}$ à V_{sat} .

Pour $t = t_2$, on a : $v_2(t_2) = -4,7 = 4,7 - 69000(t_2 - t_1)$. D'où :

$$t_2 - t_1 = 1,36 \times 10^{-4} \text{ s}$$



Attention au montage intégrateur avec les conditions initiales. Il est inutile de remplacer t_1 par une expression qui peut être compliquée. Il est préférable de garder des termes en $t - t_1$.



2. Régime de saturation positive entre $t = t_2$ et $t = t_3$:

La tension de sortie vaut : $v_S = 14,7 \text{ V}$.

On en déduit que : $v_1 = -\frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}} = -6,9 \text{ V}$.

On a vu que $\frac{dv_2}{dt} = \frac{-v_1}{RC} = \frac{1}{RC} \frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}}$.

On a donc :

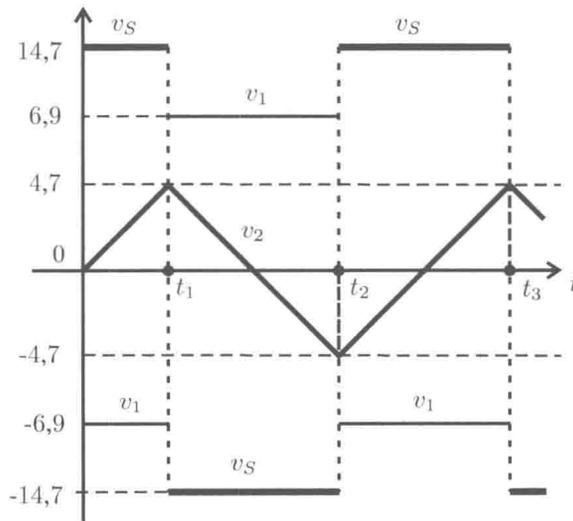
$$v_2(t) - v_2(t_2) = \frac{1}{RC} \frac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}} t = 69000 t$$

La tension aux bornes d'un condensateur ne peut pas varier de façon discontinue. La tension aux bornes du condensateur vaut $-4,7 \text{ V}$ à $t = t_2$, donc :

$$v_2(t) = -4,7 + 69000(t - t_2)$$

Vérification des hypothèses : Il faut que $v_2 < \beta V_{\text{sat}}$.

Pour $t = t_3$, v_2 atteint $\beta V_{\text{sat}} = 4,7 \text{ V}$. Il y a basculement de la tension de sortie de V_{sat} à $-V_{\text{sat}}$.



Oscillations périodiques :

On a des signaux périodiques de période $T = t_3 - t_1$.

D'après l'étude précédente, on a $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$. La période des oscillations est :

$$T = 2(t_2 - t_1)$$

La fréquence des signaux est donc :

$$f = \frac{1}{T} = 3670 \text{ Hz}$$