



Christian GARING  
Pierre-Yves VIALATTE

Les Mille et Une Questions en PRÉPA

# PHYSIQUE

2<sup>e</sup> année PSI/PSI\*

4<sup>e</sup> ÉDITION  
ACTUALISÉE  
+  
Capacités  
numériques



# Chapitre 1

## ■ Électronique ■

### Les ordres de grandeur utiles

#### Les composants

Résistances en électronique	1 k $\Omega$ à 1 M $\Omega$
Capacités en électronique	1 nF à 100 $\mu$ F

#### Le matériel de TP

Temps de montée du créneau d'un GBF	$dV/dt \approx 50$ V/ $\mu$ s
Résistance de sortie d'un GBF	50 $\Omega$
Fréquence maximum d'un GBF	10 MHz
Bande passante d'un oscilloscope	60 MHz
Impédance d'entrée d'un oscilloscope	$R_e = 1$ M $\Omega$ // $C_e = 10$ pF

#### L'amplificateur linéaire intégré (ALI)

Amplification en continu	$\mu_0 \approx 10^5$ à $10^6$
Bande passante	$f_0 \approx 10$ Hz à 1 kHz
Intensité maximale du courant de sortie	10 mA
Vitesse de balayage	$dV/dt \approx 10$ V/ $\mu$ s

#### Le multiplieur AD 633

Coefficient multiplicatif	$k = 0,10$ V $^{-1}$ .
Bande passante	500 kHz

### Le cours d'abord

#### ■ Signaux

1. En électronique, quelle est la nature physique des signaux les plus courants ?  
Quel est le plus souvent utilisé ?  
Quelles sont les principales caractéristiques d'un signal ?
2. Pour un signal  $u(t)$  dépendant du temps, définir sur un intervalle la moyenne, et la valeur quadratique moyenne (ou RMS ou encore efficace).

Quelle est la valeur de ces grandeurs sur une période dans le cas où le signal est sinusoïdal d'amplitude  $U_m$  ?

Si le signal est la tension aux bornes d'une résistance, à quelle grandeur physique la valeur RMS est-elle liée ?

3. Quelles sont la fréquence fondamentale  $f$  et la pulsation fondamentale  $\omega$  d'un signal périodique de période  $T$  ?  
Qu'est-ce que la décomposition spectrale du signal, et quelles sont les fréquences présentes *a priori* dans le spectre de ce signal ?  
Quelle simplification peut-on apporter dans le cas où le signal est une fonction paire ou impaire du temps ?
4. Dans le spectre d'un signal périodique de période  $T$ , quelle est l'influence concrète sur la forme de sa représentation graphique en fonction du temps :
  - du terme constant, encore appelé *offset* ?
  - du terme fondamental ?
  - des harmoniques de rang élevé ?

## ■ Systèmes linéaires

---

5. Donner la définition d'un système linéaire, continu, et invariant.
6. Donner une propriété caractéristique d'un tel système utilisant l'ensemble des fonctions sinusoïdales de pulsation  $\omega$ .
7. Que se passe-t-il pour un système « presque linéaire » ? Définir le taux de distorsion harmonique total.
8. Définir la fonction de transfert complexe d'un système linéaire ainsi que l'ordre de ce système. Comment peut-on obtenir l'équation différentielle du système ? Qu'appelle-t-on fonction de transfert opérationnelle ?
9. Qu'est-ce qu'un filtre en électronique ? Un filtre actif et un filtre passif ?
10. On peut représenter graphiquement une fonction de transfert à l'aide d'un diagramme de Bode. De quoi est-il constitué ? Quel est son intérêt ?
11. Comment est affecté qualitativement le spectre d'un signal par un filtre linéaire ? Est-il possible de faire apparaître ou disparaître de nouvelles composantes spectrales par filtrage linéaire ? Donner des exemples concrets.
12. Qu'est-ce qu'un moyenneur et comment choisir ses paramètres ?  
En donner un exemple concret très simple sur une tension en électronique.
13. Expliquer comment il est possible, en utilisant un filtre linéaire passe-bande très sélectif (à la limite raisonner avec un filtre idéal parfaitement sélectif) avec une fréquence de résonance ajustable, de construire un analyseur de Fourier permettant

la mesure des amplitudes des différentes composantes spectrales d'un signal périodique.

Définir des notations pour construire le raisonnement.

**14.** Définir un filtre intégrateur idéal. Quel est sa fonction de transfert ? Définir sa constante de temps.

Quels doivent être ses diagrammes de Bode en amplitude et en phase ?

Comment faut-il modifier ces résultats dans le cas d'un intégrateur inverseur ?

Pourquoi l'intégrateur idéal est-il un modèle inatteignable en réalité ? Par quel circuit concret à base de deux composants simples peut-on en pratique réaliser l'intégration d'une tension ? Dans quel domaine de fréquence ? Avec quelle constante de temps ?

**15.** Comment peut-on caractériser un système stable ?

**16.** Quelles sont les conditions de stabilité d'un système du premier ordre ?

**17.** Quelles sont les conditions de stabilité d'un système du second ordre ?

## ■ Rétroaction

---

**18.** Décrire le modèle de l'Amplificateur Linéaire Intégré (ALI) possédant une résistance d'entrée infinie, une résistance de sortie nulle, une saturation de la tension de sortie et de l'intensité de sortie et une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire.

**19.** Quelle est la caractéristique statique entrée-sortie d'un ALI ?

Définir un ALI idéal. Que devient la caractéristique dans ce cas ?

Quelle fonction simple réalise un ALI nu (sans composants extérieurs en dehors de l'alimentation) ?

**20.** À quelle condition un montage à ALI avec une seule boucle liant la sortie et une entrée est-il stable en régime linéaire ?

**21.** Représenter le montage à ALI appelé « amplificateur non inverseur ». Exprimer les tensions  $v_+$  et  $v_-$  en fonction de la tension d'entrée  $v_e$  et de la tension de sortie  $v_s$ .

**22.** Représenter les relations entre les tensions d'entrée et de sortie à l'aide d'un schéma fonctionnel (ou schéma bloc). En déduire la fonction de transfert opérationnelle.

**23.** Que peut-on conclure au sujet de la stabilité du montage non inverseur ?

Obtient-on un système stable en échangeant les rôles des entrées « + » et « - » ?

**24.** Refaire le schéma et tracer la caractéristique du montage obtenu à la question précédente par échange des rôles des entrées. Comment s'appelle-t-il et quelle propriété possède-t-il ?

25. Quelle est l'expression du gain statique du montage non inverseur ?  
Quelle est sa bande passante ? Que peut-on dire du produit de ces deux grandeurs ?
26. Comment peut-on obtenir la relation entrée sortie d'un montage non inverseur comportant un ALI idéal fonctionnant en régime linéaire ?
27. Qu'est ce qu'un montage suiveur ?
28. Représenter le montage à ALI appelé « amplificateur inverseur ». Donner le lien entre la tension d'entrée  $v_e$  et la tension de sortie  $v_s$  en supposant que l'ALI est idéal et fonctionne en régime linéaire.
29. Comment peut-on réaliser un montage « intégrateur » à partir d'une structure d'inverseur ?  
Pourquoi ne fonctionne-t-il pas en pratique ?  
Une résistance  $R_C$  de très grande valeur est ajoutée en parallèle sur le condensateur. Dans quel domaine de fréquences le montage se comporte-t-il toujours comme un intégrateur ?
30. Comment l'impédance d'entrée d'un quadripôle est-elle définie ? Donner la valeur des impédances d'entrée des montages inverseur, intégrateur, non inverseur et suiveur.
31. Quand différents quadripôles en cascade sont associés, comment faut-il choisir les impédances d'entrée et de sortie ? Quel est l'intérêt du montage suiveur ?
32. Dans le cas général, quels sont les éléments, et quelle est la structure d'un système bouclé simple ? Quelle est la relation entrée-sortie qui en découle ?

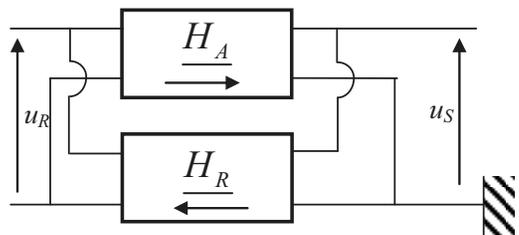
## ■ Oscillateurs

33. Définir un oscillateur. Comment fabrique-t-on un oscillateur ?  
Comment avoir un oscillateur sinusoïdal ? Quelles sont ses caractéristiques ?
34. En électronique, la chaîne directe et la chaîne de retour sont souvent des quadripôles dont deux bornes sont reliées à la masse. Leur assemblage se fait suivant le schéma ci-contre (où il n'y a plus d'entrée puisque  $e=0$ ). Quelle est alors la relation que doivent vérifier les deux fonctions de transfert  $H_A$  et  $H_R$  ?

Précisez cette condition si la chaîne directe est un amplificateur et la chaîne de retour est un filtre passe bande du deuxième ordre.

Écrire l'équation différentielle à laquelle obéit la tension  $u_R(t)$ .

Retrouver la condition théorique d'oscillation.



35. Expliquer pourquoi, en pratique, la condition théorique précédente doit être remplacée par une inégalité.
36. Comment l'amplitude des oscillations est-elle fixée ?
37. Comment faut-il associer un intégrateur et un comparateur à hystérésis pour obtenir un oscillateur (dit « astable ») ?  
Dans le cas d'un intégrateur de constante de temps  $\tau$  et d'un comparateur à hystérésis symétrique de tensions de saturations  $\pm V_{sat}$  et de tensions de seuil  $\pm \beta V_{sat}$ , trouver, avec un minimum de calculs, la valeur de la période de l'oscillateur.

## ■ Électronique numérique

---

38. En quoi consiste l'opération d'échantillonnage d'un signal fonction continu du temps ? Définir la fréquence d'échantillonnage  $f_e$ .
39. Énoncer la condition de Nyquist-Shannon.
40. Quel est le principe d'un convertisseur analogique-numérique ? Quels sont ses principaux paramètres de fonctionnement ?
41. Quelles sont les caractéristiques du spectre du signal discret obtenu après échantillonnage du signal d'origine ? En particulier, quelles sont les similitudes et les différences entre le spectre du signal d'origine et le spectre du signal échantillonné ?
42. Expliquer le phénomène de repliement de spectre.
43. Quel traitement permet, sur le signal à échantillonner, de supprimer ce repliement ?

## ■ Modulation Démodulation

---

44. Quel est l'intérêt de la modulation ?
45. Définir un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase.
46. Une porteuse de pulsation  $\omega$  doit être modulée en amplitude par une information à transmettre sinusoïdale de pulsation  $\Omega$ . Comment effectuer la modulation ? Quel est le spectre du signal modulé ?
47. Peut-on extraire l'information du signal modulé à l'aide d'un filtre ? Si, oui, de quelle nature doit-il être, sinon comment faut-il procéder ?

## Conseils à suivre □ Erreurs à éviter

□ La notation complexe en  $\exp(j\omega t)$  est très utile en électronique mais elle est n'est valable en toute rigueur qu'en régime sinusoïdal à la pulsation  $\omega$ . Sinon, quelle serait la signification du  $\omega$  dans l'exponentielle ? En régime variable quelconque (non sinusoïdal) il est souvent préférable de revenir aux relations linéaires du type  $u_L = L di_L / dt$  (tension aux bornes d'une bobine) ou  $i_C = dq / dt = C du_C / dt$  (courant dans un condensateur) et établir une équation différentielle dont la solution est la fonction cherchée (tension ou courant). L'équation différentielle obtenue est bien entendu valable dans le cas du régime sinusoïdal ; étant unique, elle peut être établie dans ce cas particulier avec la notation complexe puis étendue au cas d'une fonction du temps quelconque vue comme une superposition de sinusoïdes au sens de Fourier, mais cette justification doit être présentée et elle est souvent aussi longue que le calcul direct !

□ La représentation complexe ne doit pas être utilisée pour exprimer une puissance en régime sinusoïdal. La puissance consommée par un dipôle  $P = UI \cos \varphi$  (avec  $U$  la tension efficace aux bornes du dipôle,  $I$  le courant efficace traversant le dipôle et  $\varphi$  le déphasage tension-courant) est en effet non linéaire. On retrouve la même difficulté en électromagnétisme : *ne pas utiliser la notation complexe pour les énergies et les puissances.*

□ La non linéarité des multipliers interdit l'utilisation de la notation complexe : il faut travailler en réel (avec des sinus et des cosinus) et connaître parfaitement les formules trigonométriques permettant de transformer un produit en somme.

□ Il faut savoir passer de la forme (partie réelle – partie imaginaire) à la forme (module – argument) d'un complexe dans les deux sens. Pour mémoire :

$$\underline{Z} = a + jb = |\underline{Z}| \exp(j\varphi) \quad a = |\underline{Z}| \cos \varphi \quad b = |\underline{Z}| \sin \varphi \quad |\underline{Z}| = \sqrt{a^2 + b^2}$$
$$\varphi = \arg(\underline{Z}) \quad \tan \varphi = \frac{b}{a} \quad \cos \varphi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \sin \varphi = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

□ La valeur quadratique moyenne d'un signal n'est égale à sa valeur maximale divisée par  $\sqrt{2}$  que dans le cas où il est sinusoïdal. Sinon, il faut reprendre le calcul à partir de la définition. Pour cette raison, il est préférable d'employer dans le cas non sinusoïdal comme vocabulaire « RMS » plutôt que « efficace ».

□ Un raisonnement de type spectral doit devenir un réflexe : se demander d'abord si le filtre est linéaire. Si c'est le cas, il n'ajoute aucune nouvelle composante spectrale et se contente de modifier en amplitude et en phase les composantes existantes, sinon, il enrichit le spectre.

Pour préciser l'effet d'un filtre linéaire sur un signal périodique, il faut penser à son effet sur chaque fréquence du spectre du signal, et donc, se demander :

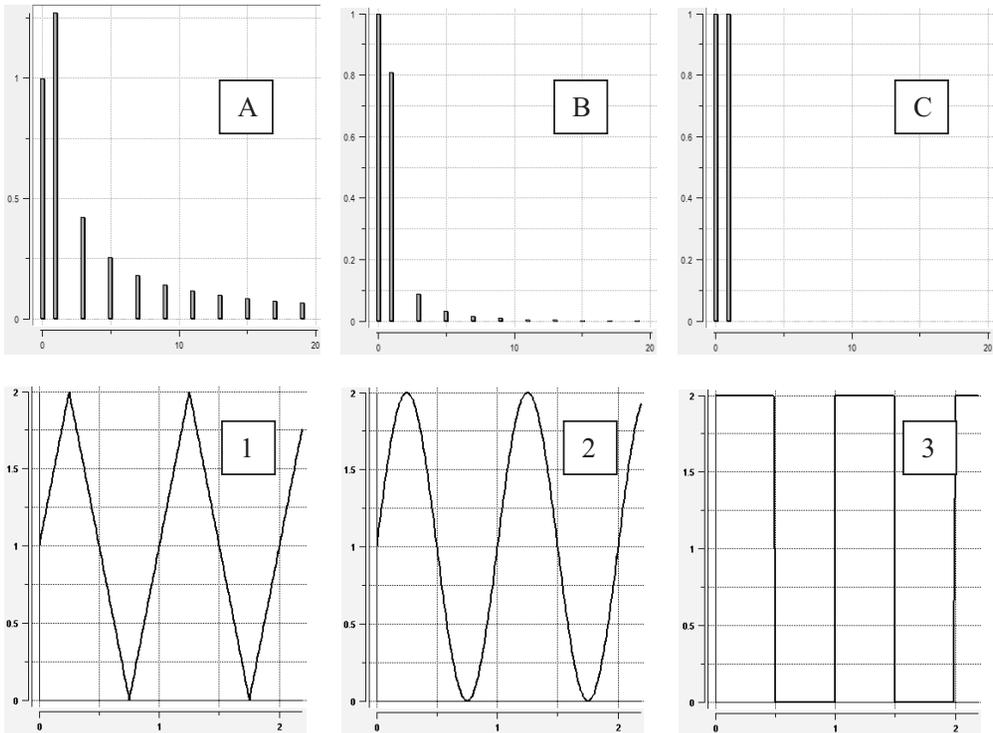
- le filtre laisse-il passer ou non le continu ? (si c'est non, le signal de sortie est à moyenne nulle),
- le filtre est-il extrêmement sélectif ? (si oui, la sortie est soit sinusoïdale à la fréquence sélectionnée par le filtre si elle existe dans le spectre d'entrée, soit nulle sinon),
- le filtre coupe-t-il les hautes fréquences du spectre ? (si oui, les variations temporelles du signal de sortie sont moins « abruptes » que celles de l'entrée).

- Un intégrateur (ou un dérivateur) non inverseur est entièrement déterminé par sa constante de temps, ou de manière équivalente, par la valeur de son gain à une fréquence donnée.
- Un filtre linéaire affecte aussi la phase de chaque composante spectrale, même si on a tendance à privilégier l'action sur l'amplitude dans les représentations graphiques. Par exemple, l'inversion d'une composante spectrale (donc sinusoïdale) se traduit par une avance de phase de  $\pi$  de la sortie par rapport à l'entrée et une intégration (sans inversion) se traduit par un retard de  $\pi/2$ .
- Aucun filtre passe-bas, même numérique, n'est capable de réaliser une coupure franche à une fréquence choisie (c'est-à-dire ne pas atténuer du tout les composantes spectrales de fréquence inférieure et faire disparaître toutes les fréquences supérieures). Se souvenir qu'un passe-bas analogique du premier ordre coupe avec une pente asymptotique à  $-20$  dB/décade, du deuxième ordre à  $-40$  dB/décade, etc...
- Sauf précision contraire, tous les ALI utilisés sont supposés parfaits (d'amplification infinie). Mais cela ne signifie pas nécessairement que la différence de potentiel entre l'entrée inverseuse et l'entrée non inverseuse soit nulle, il faut en plus pour cela que le régime soit linéaire.
- Le courant de sortie d'un ALI étant généralement non nul (et inconnu) il n'est pas utile d'appliquer la loi des nœuds à la sortie d'un ALI.
- L'étude de la période d'un astable est facilitée par un bon choix de l'origine des temps : il faut toujours choisir l'instant d'un basculement de la tension de sortie de l'AO.

## Applications directes du cours

### ■ Signaux

48. Rappeler l'expression de la tension efficace en fonction de la tension maximum aux bornes d'un dipôle dans le cas d'un régime sinusoïdal.  
 À partir de la définition, faire le calcul de la tension RMS dans le cas d'une tension  $T$  périodique, de forme triangulaire, de moyenne nulle, et d'amplitude  $U_m$ .  
 Même question si on ajoute à la tension précédente un « offset » (valeur constante  $U_0$  positive ici).
49. Dans les spectres ci-dessous, numérotés A, B, et C, se trouve en abscisse la fréquence en kHz, et en ordonnée, l'amplitude spectrale en Volt.  
 Les allures des signaux en fonction du temps correspondant à ces spectres, numérotés 1, 2, et 3 sont représentés plus bas. Sur ces chronogrammes, l'ordonnée est graduée en Volt également.



- a) Attribuer à chaque spectre le numéro du chronogramme qui lui correspond en argumentant et en justifiant les choix.  
 b) Quelle est l'unité de l'abscisse des chronogrammes, et pourquoi ?
50. Un multiplieur est un circuit intégré capable de réaliser à l'instant  $t$  le produit de deux tensions d'entrée  $u_1$  et  $u_2$  pour donner en sortie une tension  $u_s = k u_1 u_2$ .  
 Quelle est l'unité de  $k$  ?