

# Programme de Colle PSI

*Semaine 2 : du 19 au 23 septembre*

Toute l'électronique de SUP est implicitement au programme. Elle peut faire l'objet d'exercices spécifiques ou être simplement un outil dans des montages à ALI.

L'électronique numérique ainsi que la modulation-démodulation ne peuvent faire l'objet d'exercices cette semaine.

La partie « **Stabilité des systèmes linéaires** » s'intéresse aux propriétés des systèmes linéaires déjà abordés en première année. Les capacités relatives au filtrage et à la décomposition harmonique d'un signal périodique sont révisées sans ajout de nouvelles capacités. Dans le but de faciliter le lien avec le cours de sciences industrielles pour l'ingénieur, la notation symbolique de la fonction de transfert  $H(p)$  est utilisée sans faire référence à la transformée de Laplace. L'étude est complétée par une analyse de

la stabilité des systèmes du premier et du second ordre en examinant le régime transitoire associé à l'équation différentielle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.1. Stabilité des systèmes linéaires</b>	
Fonction de transfert d'un système entrée-sortie linéaire continu et invariant.	Transposer la fonction de transfert opérationnelle dans les domaines fréquentiel (fonction de transfert harmonique) ou temporel (équation différentielle).
Stabilité.	Étudier la stabilité d'un système d'ordre 1 ou 2 à partir des signes des coefficients de l'équation différentielle ou de la fonction de transfert.

La partie « **Rétroaction** » illustre quelques propriétés sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est évoquée en travaux pratiques afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire. Les limitations associées aux courants de polarisation et la tension de décalage ne sont pas étudiées.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.2. Rétroaction</b>	
Modèle de l'ALI défini par une résistance d'entrée infinie, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie. Limites du modèle : vitesse limite de balayage, saturation de l'intensité du courant de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. <b>Détecter, dans un montage à ALI, les manifestations de la vitesse limite de balayage et de la saturation de l'intensité du courant de sortie.</b>
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Analyser la stabilité du régime linéaire. Établir la conservation du produit gain-bande passante du montage non inverseur.

ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	<p>Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de probable stabilité du régime linéaire.</p> <p>Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur et intégrateur.</p> <p>Déterminer les impédances d'entrée de ces montages.</p> <p>Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de forte impédance d'entrée et de faible impédance de sortie.</p>
ALI idéal de gain infini en régime saturé.	<p>Identifier l'absence de rétroaction ou la présence d'une unique rétroaction sur la borne non inverseuse comme l'indice d'un probable comportement en saturation.</p> <p>Établir la relation entrée-sortie d'un comparateur simple.</p> <p>Associer, pour un signal d'entrée sinusoïdal, le caractère non-linéaire du système et la génération d'harmoniques en sortie.</p> <p>Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis.</p> <p>Décrire le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de fonction mémoire.</p>

La partie « **Oscillateurs** » s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les calculs des fonctions de transfert des filtres ne constituent pas un objectif de formation. En travaux pratiques, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.3. Oscillateurs</b>	
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	<p>Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé.</p> <p>Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations.</p> <p>Interpréter le rôle des non-linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations.</p> <p><b>Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés.</b></p> <p><u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, simuler l'évolution temporelle d'un signal généré par un oscillateur.</p>
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis. Générateur de signaux non sinusoïdaux.	<p>Décrire les différentes séquences de fonctionnement.</p> <p>Exprimer les conditions de basculement.</p> <p>Déterminer l'expression de la période d'oscillation.</p> <p><b>Mettre en œuvre un oscillateur de relaxation et analyser les spectres des signaux générés.</b></p>

La partie « **Électronique numérique** » est étudiée de manière expérimentale et aborde la question du traitement numérique du signal dans le prolongement du programme de première année. Le phénomène de repliement de spectre est expliqué qualitativement à l'aide par exemple d'une analogie stroboscopique, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon et de réaliser convenablement une acquisition numérique en vue d'une analyse spectrale.

Afin de mettre en évidence d'autres effets associés à l'échantillonnage, on réalise de manière comparative un filtre analogique passe-bas et un filtre numérique remplissant la même fonction. Ce dernier est réalisé à l'aide d'une chaîne de traitement : CAN, algorithme numérique, CNA. On étudie expérimentalement l'influence de la fréquence d'échantillonnage.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.4. Électronique numérique</b>	
Échantillonnage.	<b>Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage.</b>
Condition de Nyquist-Shannon.	Utiliser la condition de Nyquist-Shannon.  <b>Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.</b>
Analyse spectrale numérique.	Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une acquisition numérique afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.  <u>Capacité numérique</u> : calculer, à l'aide d'un langage de programmation, la transformée de Fourier discrète d'un signal numérique.
Filtrage numérique.	<b>Mettre en œuvre une chaîne d'acquisition et de conversion.</b>  <u>Capacité numérique</u> : réaliser, à l'aide d'un langage de programmation, un filtrage numérique d'un signal issu d'une acquisition, et mettre en évidence la limitation introduite par l'échantillonnage.

La partie « **Modulation-démodulation** » est l'occasion de faire le lien entre la propagation des ondes électromagnétiques et le traitement du signal afin d'expliquer la problématique de la transmission d'une information. Cette étude est illustrée en travaux pratiques à l'aide d'un multiplieur analogique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.5. Modulation-démodulation</b>	
Transmission d'un signal codant une information variant dans le temps.	Définir un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase. Citer les ordres de grandeur des fréquences utilisées pour les signaux radio AM, FM, la téléphonie mobile.
Modulation d'amplitude.	Interpréter le signal modulé comme le produit d'une porteuse par une modulante. Décrire le spectre d'un signal modulé.

# I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

1. Décrire le modèle de l'ALI. Représenter  $S(p) = f(\epsilon(p))$ . On précisera en particulier les notions de : résistance d'entrée et de sortie, saturation en tension, saturation en courant, slew rate. Vous donnerez des valeurs caractéristiques de ces grandeurs. Le comportement passe-bas de l'ALI ne sera pas soulevé dans cette question.
2. Représenter un montage amplificateur non inverseur à ALI et déterminer sa fonction de transfert dans le cas du modèle de l'ALI :

$$S(p) = \frac{A_0}{1 + \tau p} \epsilon(p)$$

Montrer que le montage amplificateur non inverseur est stable. Montrer que le produit gain bande passante est constant et ne dépend que de  $A_0$  et  $\tau$ . Vous préciserez les valeurs attendues pour ces trois grandeurs (produit gain bande,  $A_0$  et  $\tau$ ).

3. Présenter la caractéristique  $S = f(\epsilon)$  dans le cas du modèle de l'ALI idéal de gain infini. Proposer un montage suiveur à ALI. Déterminer sa fonction de transfert et expliquer son intérêt en particulier dans le cas de filtres en cascade.
4. Proposer un montage intégrateur idéal à ALI. Déterminer sa fonction de transfert et en déduire l'expression de  $s(t)$  en fonction de  $e(t)$  dans le domaine temporel. Expliciter avec précision  $s(t)$  si  $e(t)$  est un signal créneau d'amplitude  $E_0 = 1$  V et de fréquence  $f = 1$  kHz dans le cas où  $R = 10$  k $\Omega$  et  $C = 100$  nF.
5. Avec un intégrateur idéal, que se passe-t-il si le signal d'entrée contient une composante parasite continue ? Proposer un montage intégrateur modifié permettant de tenir compte de cette difficulté. Déterminer la fonction de transfert du filtre. Le filtre est-il encore intégrateur à toutes fréquences ?
6. Représenter un comparateur à hystérésis négatif et déterminer son fonctionnement. On tracera  $s = f(e)$ . Faire également la représentation temporelle de la sortie si l'entrée est un signal triangulaire de moyenne nulle.
7. Représenter par schéma blocs un oscillateur quasi-sinusoidal. On supposera que la fonction de transfert du filtre s'écrit :

$$\underline{H}_f = \frac{H_0 \times j \frac{\omega}{\omega_0 Q}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j \frac{\omega}{\omega_0 Q}}$$

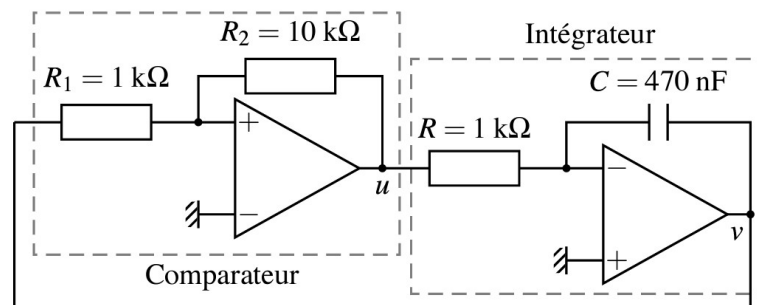
En déduire le critère de Barkhausen (oscillations stables sinusoidales) et montrer qu'alors, en notant  $A$  le gain de l'étage d'amplification

$$\omega = \omega_0 \quad \text{et} \quad H_0 A = 1$$

8. Déterminer l'équation différentielle régissant l'évolution de  $s$  pour un oscillateur quasi-sinusoidal et montrer que la condition d'oscillation correspond à

$$H_0 A \geq 1$$

9. Le montage ci-dessous constitue un oscillateur à relaxation. Après avoir déterminé le cycle d'hystérésis  $u = f(v)$  du comparateur, déterminer le fonctionnement de l'ensemble.



On précisera en particulier, pour  $u$  et  $v$  :

- la forme des signaux (sinusoïde, créneau, triangle...);
- la période des signaux;
- l'amplitude des signaux.

Aide : On rappelle que pour un intégrateur :

$$v(t) = -\frac{1}{RC} \int_a^t u(x) dx + v(t = a)$$

10. Décrire le processus de numérisation : échantillonnage et quantification. Prendre l'exemple d'un signal numérisé sur 3 bits. Vous préciserez en particulier le nombre de pas de quantification et le codage binaire correspondant aux décimaux 0, 1, 2, 3....
11. Rappeler le critère de Nyquist Shannon. Préciser l'allure du spectre obtenu après numérisation pour un signal échantillonné à  $f_e = 1000$  Hz et dont le spectre analogique contient des composantes spectrales aux fréquences  $f_1 = 300$  Hz,  $f_2 = 600$  Hz et  $f_3 = 1100$  Hz. Comment appelle-t-on ce phénomène? Quelle précaution faut-il prendre pour éviter ce phénomène? Expliquer le rôle d'un filtre anti-repliement.
12. Considérons un signal modulé en amplitude écrit sous la forme

$$s_{AM}(t) = (1 + m \cos(2\pi f_s t)) \times A_p \cos(2\pi f_p t)$$

Déterminer par le calcul son spectre et le représenter. Généraliser la représentation spectrale à un signal à spectre large (par exemple le signal voix compris entre 20 Hz et 20 kHz). Expliciter l'encombrement spectral du signal.

# Programme spécifique 5/2

## L'intégralité de la thermodynamique de SUP.

Les expressions de  $\Delta S$  doivent être rappelées aux candidats.

— Pour une phase condensée indilatable et incompressible :

$$\Delta S = C \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right)$$

— Pour un gaz parfait pour lequel la température et la pression évolue :

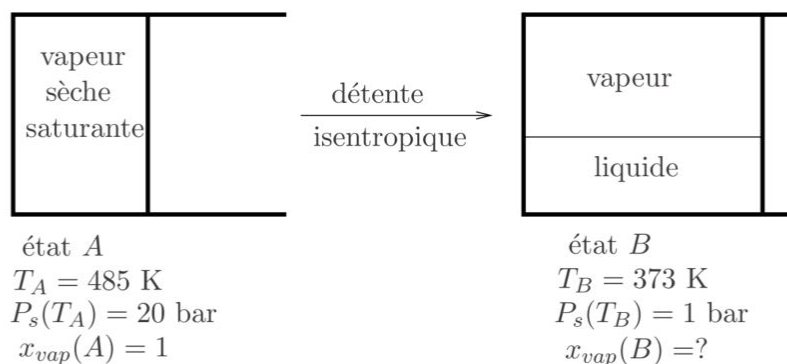
$$\Delta S = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right) - nR \ln \left( \frac{P_f}{P_i} \right)$$

Questions de cours possibles :

1. Savoir exprimer  $\Delta U$  ( $\Delta H$  lorsque c'est pertinent),  $W$  et  $Q$  pour une transformation thermodynamique d'un gaz parfait. Au choix du colleur parmi : 1) compression adiabatique irréversible, 2) compression monotherme irréversible, 3) isochore, 4) isobare réversible, 5) isotherme réversible.
2. Savoir énoncer les lois de Laplace avec précision et avec les trois hypothèses.
3. Exemple du cycle de Carnot (deux adiabatiques réversibles, deux isothermes réversibles) moteur. Représenter en diagramme de Clapeyron. Démonstration de l'expression des travaux et des transferts thermiques au cours du cycle. Définir le rendement. Démontrer l'expression du rendement de Carnot (pour un moteur).
4. Réaliser le bilan d'entropie d'une compression monotherme irréversible. Commenter le signe de l'entropie créée.
5. Réaliser le bilan d'entropie d'une compression monotherme quasistatique. Commenter la valeur de l'entropie créée.
6. Réaliser le bilan d'entropie lors de la mise en contact d'un solide (qui sera notre système d'étude) avec un thermostat à la température  $T_0$ . Commenter la valeur de l'entropie créée.
7. Savoir refaire l'exercice suivant :

Une machine à vapeur est destinée à fournir du travail à l'extérieur. La phase motrice est la détente du fluide dans une enceinte fermée par un piston.

*Hypothèse* : on étudie la détente que l'on suppose adiabatique réversible et donc isentropique.



*Question* : déterminer la fraction massique en vapeur dans l'état final.

*Indication* : la transformation étant isentropique, on a intérêt à raisonner sur l'entropie.

On donne les chaleurs latentes de vaporisation  $l_v(T_A) = 1892 \text{ kJ.kg}^{-1}$  et  $l_v(T_B) = 2258 \text{ kJ.kg}^{-1}$  ainsi que la capacité thermique massique de l'eau liquide  $c_0 = 4,185 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

8. Savoir refaire l'exercice suivant :

- i. Un calorimètre, dont on négligera les fuites thermiques, contient 200 g d'eau liquide à 20°C. On verse 200 g d'eau liquide à 50°C. La température à l'équilibre est 34°C. Déduire de cette expérience la valeur en eau du calorimètre (masse d'eau liquide équivalente).
- ii. Dans les 400 g d'eau liquide en équilibre à 34°C, on introduit 145 g de glace à 0°C. Toute cette glace fond et la nouvelle température d'équilibre est 5°C. En déduire l'enthalpie massique de fusion  $l_f$  de la glace à 0°C.

*Donnée* : capacité thermique massique de l'eau liquide  $c_0 = 4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

9. Définir la notion de pression partielle. Savoir expliquer pourquoi l'évaporation de l'eau peut avoir lieu dans l'atmosphère malgré une température inférieure à 100°C. Vous commenterez l'ensemble de vos affirmations à l'aide d'un diagramme (PT). Expliquez les affirmations suivantes :
- On souffle sur sa soupe pour la refroidir.
  - On étend le linge au vent en extérieur.
  - On a froid en sortant de la douche alors que l'on n'avait pas froid en y entrant.
10. Savoir faire un bilan énergétique et entropique pour une machine ditherme. Connaître les signes de  $W$ ,  $Q_f$  et  $Q_c$  selon que la machine fonctionne en moteur ou machine frigorifique.
11. Démontrer l'inégalité de Clausius et en déduire l'impossibilité du moteur monotherme.
12. Montrer que les machines thermiques dithermes ont un rendement/efficacité borné par le rendement/efficacité de Carnot. La démonstration sera réalisée, au choix du colleur, pour un moteur, un réfrigérateur ou une pompe à chaleur.
13. Expliquer le principe de la cogénération et son intérêt. Montrer que le rendement total de la machine est égal à l'unité lorsqu'elle est utilisée en cogénération. Cela viole-t-il le fait que le rendement de Carnot est le rendement maximal atteignable par un moteur ? Pourquoi utiliser une machine en cogénération réduit-il potentiellement le rendement mécanique de la machine ?