

Titre : Rétroaction et oscillations

Présentée par : Thibaut Perdereau

CR rédigée par : Basile Wurmser

Correcteur : Jérémy Neveu

Date : 27 septembre 2022

Compte-rendu leçon de physique élève

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Editeur (année)	ISBN
Électronique	Pérez, Lagoute, Fourniols, Bouhours	Dunod	
Physique Tout-en-un PSI	Cardini, Ehrhard, Guerillot, Guillot, Morvan, Sanz	Dunod	
Physique Spé. PSI, PSI*	Olivier, More, Gié	Tec et Doc	
Cours Électronique	Jérémy Neveu		

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Prérequis : Loi des mailles/noeuds; Théorème de Millman; filtres (1er et 2e ordre); fonction de transfert; ALI idéal

Déroulé détaillé de la leçon :

Introduction

Exemple escalator

→ slide illustrative

1min15

Manip illustrative : MCC. Comparaison signal de consigne/signal de sortie, sans rétroaction, le moteur ne suit pas la consigne. Avec rétroaction, le moteur suit mieux la consigne. On ajoute un correcteur : le moteur suit la consigne, même avec une contrainte.

3min15

I- Rétroaction

Définition : Une rétroaction est la réintroduction du signal de sortie d'un système à l'entrée de ce système.

1– Système bouclé

Composition :

- chaîne directe \underline{A}
- chaîne de retour, capteur $\underline{\beta}$
- comparateur (soustracteur ou additionneur)

Schéma synoptique

Remarque :

- \underline{A} et $\underline{\beta}$ fonction de transfert
- signal de commande ε linéaire

Fonction de transfert :

Boucle fermée :

$$\underline{H_F} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}}$$
$$\underline{H_F} = \frac{\underline{A}}{1 + \underline{A}\underline{\beta}}$$

Boucle ouverte :

$$\underline{H_O} = \frac{\underline{r}}{\underline{e}}$$
$$\underline{H_O} = \underline{A}\underline{\beta}$$

Si $\underline{A}\underline{\beta} = -1 \Rightarrow \underline{H_F} \rightarrow +\infty$
11min45

Expérience docteur

Oscillateur à pont de Wien : recherche du rapport R_1/R_2 tel que le système oscille.

Mesure au RCL-mètre :

$$R_1 = 13 \pm 1k\Omega$$
$$R_2 = 20.09 \pm 0.07k\Omega$$
$$\nu_0 = 1.58 \pm 0.01Hz$$

Les mesures seront interprétées plus tard.

17min30

2– Exemples systèmes bouclée

→ Schéma synoptique de l'ALI non inverseur avec fonction de transfert

→ Optique adaptative : schéma + images d'étoile

20min

3– Caractéristique systèmes bouclés

Précision : $\underline{s} \rightarrow \underline{e}$

Rapidité : Élément correcteur

Stabilité : en compétition avec la rapidité.

22min

II– Stabilité

1– Critères

Définition : Un système linéaire est stable si à un signal e borné correspond un signal s borné.

Système d'ordre 1

$$a \frac{ds}{dt} + bs(t) = 0$$

a et b de même signe \Rightarrow stable

Système d'ordre 2

$$a \frac{d^2s}{dt^2} + b \frac{ds}{dt} + cs(t) = 0$$

a , b et c de même signe \Rightarrow stable

2– Cas des systèmes bouclés

Définition : Un système bouclé évoluant en régime libre, au voisinage de son équilibre, est dit : stable si l'évolution de la sortie tend spontanément vers l'équilibre et instable dans le cas contraire.

Condition de Barkhausen

Un système bouclé est auto-oscillant s'il existe ω_0 telle que

$$A(j\omega_0)\beta(j\omega_0) = -1 \text{ (soustracteur)}$$

$$A(j\omega_0)\beta(j\omega_0) = +1 \text{ (additif)}$$

$$\underline{H_O} = A\underline{\beta}$$

Système en limite de stabilité si

$$\begin{aligned} |H_O| &= 1 \\ \arg(H_O) &= -\pi \text{ (soustracteur)} \quad \arg(H_O) = 0 \text{ (additif)} \end{aligned}$$

29min15

→ Illustration du critère de Nyquist

III– Oscillation

1– Généralité

Définition : Un oscillateur est un système dont l'évolution présente des variations alternativement croissantes et décroissantes de l'une de ses grandeurs caractéristique.

→ Oscillateur quasi-sinusoidaux : horloge à balancier, oscillateur à relaxation : extracteur de Soxhlet

→ Oscillateur à pont de Wien

Calcul de la fonction de transfert en appliquant le théorème de Millman

$$\underline{H_F} = \frac{-R_2/R_1}{1 + \underline{\beta} \frac{R_2+R_1}{R_1}}$$

Conditions de Barkhausen :

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{R_1} &= 2 \\ \omega &= \omega_0 \end{aligned}$$

Ce critère n'est pas vérifié expérimentalement dû à une erreur de mesure.

39min30

Conclusion

Contrôler la sortie d'un système : asservissement avec critère de qualités. Si système instable : oscillateurs auto-entretenus avec applications (horloge, puces)

Ouverture : → systèmes bouclés non linéaires (cycle de l'eau)

Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

Q : Comment faire le lien entre le système compliqué du cycle de l'eau et les notions introduites dans la leçon ?

On peut dresser un schéma synoptique représentant ce cycle où les chaînes représentent les océans, les nuages ...

Q : Quel est le lien entre l'escalator et la manip présentée en introduction ? JN : il faut se servir de l'exemple intuitif de l'escalator pour faire le lien entre celui-ci et la paillasse, puis entre celui-ci et les notions théoriques du système bouclé : moteur électrique, présence d'un capteur pour asservir la vitesse, alimentation, les fonctions de transfert, etc.

La contrainte dans le cas de l'escalator sont les personnes qui montent où descendent. Dans le cas de la MCC la contrainte est l'aimant qui freine le moteur.

Q : Détaillez la manip de la MCC.

Q : Comment obtenir la fonction de transfert en boucle fermée ?

On écrit la fonction de transfert à l'aide du schéma synoptique, en partant de la sortie. **JN : notion nouvelle de la leçon : faire le calcul au tableau pour montrer comment marche ces schémas synoptiques**

Q : Revenez sur le cas particulier de H_F qui peut diverger ?

Dans l'oscillateur à pont de Wien il n'y a pas de signal d'entrée mais pourtant on a un signal de sortie. Ce signal provient de l'ALI qui est lui alimenté. **JN : ce n'est pas le "signal" qui vient de l'ALI mais la puissance**

Q : On a pas de signal d'entrée ?

Des perturbations peuvent provenir du bruit, du 50 Hz, et sont amplifiées et filtrées.

Q : Dans la manip. Comment as-tu mesuré la fréquence ?

Grâce à une option de mesure de l'oscilloscope.

Comment être plus précis sur cette mesure ?

On mesure une période (ou N périodes) puis on en déduit la fréquence. **JN : en choisissant un croisement à zéro là où la pente de la courbe est la plus forte.**

Q : Pourquoi choisir cette méthode ?

C'est la méthode la plus rapide dans le temps qui m'était imparti.

Q : Discutez de la valeur des résistances qui ne vérifient pas le critère.

Lors de la mesure au RCL-mètre, celui-ci fluctue.

Q : Comment marche le RCL-mètre ?

L'appareil envoie un signal à une fréquence donnée puis mesure le déphasage après passage dans le dipôle.

Comment la phase est calculée ?

Par détection synchrone, le signal de sortie est multiplié au signal d'entrée.

Q : Comment peut-on calculer la résistance autrement ?

Avec un ohm-mètre.

Q : Qu'est-ce qu'un asservissement ?

C'est un cas particulier de système bouclé

Q : Pourquoi y-a-t-il une compétition entre rapidité et stabilité ? JN : on peut tenter une réponse avec les mains : plus on est rapide plus on risque de dépasser la valeur de consigne et que le système sur-réagisse, l'entraînant de plus en plus loin de la valeur attendue.

Q : Qu'est-ce que c'est qu'un système de Sexhlet ?

Pour illustrer le fait que les système bouclé se retrouve dans plusieurs phénomènes/expériences.

Q : Dans l'oscillateur à pont de Wien, qu'est-ce qui fixe l'amplitude des oscillations ?

L'amplitude des oscillations sont limitées par l'alimentation de l'ALI. Pour certain rapport R_2/R_1 , on atteint la saturation de l'ALI. Ces limites sont atteintes.

Commentaires lors de la correction de la leçon

C'est bien. Le plan est très classique, mais on n'a pas trop le choix ! Tu fais bien le prof, tu soulignes bien les résultats que tu considères important, tu utilises des couleurs.

Le point délicat est d'aborder la stabilité étant donné les prérequis et le temps imparti. Tu l'as fait en deux temps, d'abord avec la divergence de la fonction de transfert, puis dans la partie 2 dans ta définition. Ce qui m'a chagriné c'est qu'en donnant les exemples des systèmes d'ordre 1 et 2 tu n'as pas fait le lien avec ta définition de la section 2.

Il a manqué également un lien entre les exemples de l'intro et la leçon, comme dans le cas de la MCC/escalator. Tu peux plus exploiter ton exemple de l'escalator pour rendre concret la manip d'intro et les notions théoriques, un peu comme un fil rouge le long de la leçon. Autrement dit, un exemple concret doit servir à faire passer les notions dures, donc il faut l'exploiter.

Sur la manip de la MCC, utiliser directement le correcteur pour aller plus vite, sans l'évoquer et le laisser pour les questions. Mettre une tension de consigne constante (comme pour un escalator) pour que l'exemple de l'escalator parle plus.

Manip docteur : elle est un peu pauvre quantitativement, mais complexe à monter. Du coup il faut soigner la mesure, c'est la seule fois où l'on fait une mesure. Être précis sur l'acte de mesurage, les choix de méthode que l'on fait. Pour la mesure de la fréquence, utiliser une méthode plus scolaire/pédagogique (avec les curseurs

par exemple, en prenant comme repère le passage à 0 et non les crêtes). C'est un peu dommage l'erreur sur la mesure des résistances, ne pas hésiter à continuer pour aboutir au bon résultat, quitte à accélérer plus tard. Si la mesure ne convient pas, certes cela rompt le rythme de la leçon, mais ça reste un concours il faut plus se battre pour qu'elle fonctionne, surtout si on sait qu'en préparation ça allait. Mieux accentuer le fait qu'il n'y ait pas d'entrée.

Retirer le critère de Nyquist, pas au programme et fait perdre du temps.

Pour conclure, ma remarque générale est qu'il faut faire du lien entre les parties, les exemples, la paillasse, les définitions et notions théoriques pour que le discours de ne soit pas un patchwork. Clairement il y avait un effort dans cette direction, il manquait juste du liant par-ci par-là.

Exemples de « passages obligés » sur cette leçon

Oscillateur à pont de Wien, boucle de rétroaction de l'ALI

Titre : Rétroaction et oscillations

Présentée par : Alexandre JEDRECY

Rapport écrit par : Tamara BARDON-BRUN

Correcteur : Jérémy NEVEU

Date : 28/09/2021

Bibliographie		
Titre	Auteurs	Éditeur
Electronique, fondement et application	J.-P. Perez	Dunod
Physique tout-en-un, PSI/PSI*	S. Cardini	Dunod
Cours d'électronique	Jeremy Neveu	autoédité

Plan détaillé

(indiquer parties, sous-parties, 1 ou 2 phrases d'explications par sous-partie, et références)

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis : électrocinétique ; fonction de transfert ; AO ; oscillation harmonique

I) Rétroaction :

Introduction rapide avec listes d'exemples sur diapo

1-Schéma bloc

- introduction schéma bloc et calcul fonction de transfert boucle fermée et boucle ouverte

2- Système bouclé avec un pont de Wien

- Présentation du schéma électrique

- calcul fonction de transfert système et obtention équation différentielle

II) Stabilité :

1- Définition

2- Critère de stabilité

- discussion stabilité des solutions de l'équation avec pont de Wien

Montage : observation des différents régimes de stabilité d'un oscillateur à pont de Wien et mesure quantitative de la fréquence des oscillations

III) Oscillations :

1- types d'oscillateurs

2- système auto-oscillant

- critère de Barkhausen

3- régime quasi-sinusoidal

Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

(l'étudiant liste les questions posées, ainsi que les réponses données par l'enseignant. Si certaines réponses manquent, l'enseignant pourra compléter le document)

Q : citer des exemples d'oscillateurs

R : oscillateurs à quartz (très stable) ; oscillateurs mécanique

Q : pourquoi les oscillateurs de quartz sont-ils très stables ?

R : car facteur de qualité très élevé \Leftrightarrow leur bande-passante est très étroite

Q : dans la partie stabilité, tu dis qu'il faut un excès [par rapport à condition de Barkhausen], pourquoi ?

R : pour que le critère de Nyquist soit respecté

Q : Tu multiplies deux complexes et tu as une condition avec un réel, comment ça se fait ? [sur le tableau : $A(i\omega) B(i\omega) = 1 + \epsilon$]

R : Condition séparée sur le module et sur la phase de la fonction de transfert

Q : On peut faire un système (quasi)sinusoïdal, est-ce qu'on peut faire autre chose ?

R : On peut également générer des signaux carrés (cf TTL du GBF)

Q : demande de précision sur la liste des différents exemples

R : le système masse-ressort est un peu tordu, il y a beaucoup d'exemples simples qui sont moins sujet à débat sur la rétroaction

Q : Quelle est la différence entre rétroaction et asservissement ?

R : l'asservissement est un type particulier de rétroaction où on va chercher à adapter la sortie sur un signal de référence

Q : Citer un autre type de rétroaction

R : Les oscillateurs

Q : quel est l'intérêt des deux cas limites présentés dans la première partie ? [$H_0 \gg 1$ et $H_0 = 1$]

R : surtout le premier qui est intéressant car il s'agit du cas où on a un taux de contre-réaction fort c'est-à-dire où l'on va pouvoir énormément agir sur le système avec la boucle de rétroaction (ex : on peut influencer sur le gros moteur de train avec notre petit capteur très sensible)

Q : Tu peux me redonner la définition de H_F ? [erreur sur le tableau pendant la leçon]

R : $H_F = \frac{s}{e}$

Q : Passons au montage, quelle est ta relation entre f et ω ?

R : $f = \frac{\omega}{2\pi}$

Q : Les incertitudes sur ton montage, elles sont statistiques ou systématiques ? Comment on peut les « contrer » ?

R : c'est systématique, on peut mesurer R et C avec un RLC-mètre plus précis que l'affichage des boîtes à décade.

Q : Si la manip avait marché, qu'est-ce que tu avais l'intention de mesurer ? qu'est-ce qu'on aurait pu mesurer d'autre ?

R : Idée : mesurer la période des oscillations du système. Autres mesures possibles : facteur de qualité à l'aide d'un diagramme de Bode

Q : Pour évaluer la stabilité, tu as présenté la condition de Barkhausen, y a-t-il d'autres critères ?

R : Par représentation graphique, on a le critère de Nyquist

Commentaires lors de la correction de la leçon

(l'étudiant note les commentaires relatifs au contenu de la leçon : niveau, sujets abordés, enchaînement, réponses aux questions, etc. L'enseignant relit, et rectifie si besoin)

- Un petit trop de calculs : le tout premier tableau c'était que ça (à part les titres de parties)

La leçon ce n'est pas une restitution de savoir, c'est une transmission vers des élèves

=> il faut jouer au prof

ici seule phrase écrite était la définition de la stabilité et quasiment tout le temps dos tourné à la salle pour faire face au tableau

- Bien distinguer les définitions, les résultats importants etc.

=> qu'est-ce que les élèves doivent retenir à la fin ?

Pour cette leçon, par exemple, la condition de Barkhausen est très importante (mais ici elle a été uniquement présentée dans le cadre du pont de Wien, un peu dommage)

- La manip est centrale pour la leçon docteur, faut apprendre à souffler, faire des petits tests pour comprendre ce qui ne va pas

(bon ici pas facile de déboguer un système qui fait rien si y a pas les bonnes conditions)

- Attention aux introductions avec des listes d'exemples présentés trop rapidement sans explications/développements

=> pendant l'introduction, faut prendre un peu le temps, parler de physique

- Attention aux petites blagues devant le jury (on évite) (JN : mais j'ai apprécié ;))

- Sur les schémas bloc, on met des flèches pour savoir dans quel sens s'appliquent les fonctions de transfert

- Pas forcément besoin de se justifier sur les notations choisies pour la leçon (si elles sont bien claires et bien définies)

- Remarques sur le plan :

Très centré sur le pont de Wien, c'est un bon choix mais il ne peut servir à illustrer toutes les parties, notamment les asservissements stables. De plus on perd en généralité s'il n'est pas mis explicitement en perspective.

De plus, pour partie sur rétroaction, discussion avec un système où l'entrée est nulle, ça peut valoir le coup de faire les calculs formels avec un système plus simple

Pour cette leçon, faut bien traiter les deux parties. Avec le programme, on peut pas faire grand-chose d'autre que l'AO pour la rétroaction. Pas trop d'autre choix pour l'ordre non plus.

Pour être sûr-e de respecter le programme : aller voir dans les livres récents de prépa

Pour aller plus loin, aller voir le Perez ou les livres plus vieux de prépa

Remarque sur le temps :

- C'était bien de refaire le schéma (du pont de Wien) au tableau même si ça a pris un peu de temps : faire un schéma est toujours un bon moment pour décrire posément le système

- supprimer un peu de calculs => éventuellement mettre quelques étapes sur diapos pour gagner du temps et ne pas les écrire

- énoncer plus de « lois toutes faites » et de généralités. On peut toujours le faire soit après l'étude du système, soit avant et on l'applique au système, mais cette dernière façon peut économiser du temps car cela fait démontrer moins de faits.

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.) :

Plan ok, mais il faut plus « jouer au prof ». Si l'oscillateur à pont de Wien est utilisé comme le fil rouge de la leçon, il faut en tirer des généralités pour ses élèves.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates :

Forcément aborder rétroaction générale et oscillateurs. Sur la rétroaction la difficulté est d'en faire une présentation générale intéressante, et d'aborder la notion de stabilité qui permet de faire la transition vers les oscillateurs.

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur) :

Oscillateur à pont de Wien (étude des différents éléments), oscillateur multivibrateur astable (idem), plaquettes d'asservissements : mesure de la précision avec différents correcteurs

Bibliographie conseillée :

Livres de PSI récent et anciens. Livres d'automatique/asservissement.