

3bmrg30 Régulation et processus

Nom de l'UE	3bmrg30 Régulation et processus			Obligatoire
Cursus	Bachelier en sciences de l'ingénieur industriel - électromécanique	Bloc	3	
Crédits	7	Heures	Q1 57 + Q2 24.5	
Prérequis	2baom20	Corequis	3bmra30	
Responsable	David ROUCHARD	Langue	EN FR	

Contribution au programme

Cette UE aborde les notions de systèmes dynamiques ainsi les outils mathématiques permettant de les traiter, dans le but de mettre en place des structures de réglage appropriées permettant le contrôle en boucle fermée de ces systèmes. Les instruments de mesure sont également abordés.

Code	Activité	Heures		%	Type d'évaluation			Enseignants	Langue	
		Q1	Q2		Q1	Q2	Q3		Ens.	Eval.
M306A	Fundamentals of control theory	48		59%	E		E	BJT RCH	FR+EN	FR
M306B	Laboratoire de régulation		14	17%		C		BJT DBR MUS RCH	FR	FR
M306C	Instrumentation industrielle	9		11%	E		E	M2R	FR	FR
M306D	Laboratoire d'instrumentation		10.5	13%		C		BJT RCH VCH	FR	FR

Acquis d'apprentissage spécifiques

Pour la composante "Régulation" :

- L'étudiant explique et applique les notions suivantes relatives aux systèmes dynamiques :
 - Système (définition et propriétés)
 - Principe de linéarisation et de point de fonctionnement.
 - Transformée de Laplace
 - Fonction de transfert et ses caractéristiques (pôles, zéros, gain statique, stabilité, réalisabilité)
 - Relation entre les pôles d'une fonction de transfert d'un système et l'allure de la réponse temporelle du système à une impulsion ou un échelon.
- L'étudiant calcule la réponse temporelle d'un système LTI à une sollicitation à l'aide des transformées de Laplace, il en détermine les valeurs initiales et finales à l'aide du théorème aux limites, et en trace l'allure.
- L'étudiant applique les règles afin de simplifier un schéma fonctionnel quelconque pour le ramener à une simple fonction de transfert (éventuellement avec rétroaction unitaire)
- L'étudiant cite, explique et représente les caractéristiques d'un système d'ordre 1 ou d'ordre 2, et ce dans le domaine temporel (réponse impulsionnelle et indicielle), dans le plan complexe (emplacement des pôles), et dans le domaine fréquentiel (diagrammes de Bode, Nyquist et Black-Nichols), tout en expliquant les liens entre ces différents domaines.
- L'étudiant explique et applique les notions suivantes relatives à la régulation des systèmes dynamiques :
 - Boucle ouverte et fermée (en suivi de consigne et en réjection de perturbation)
 - Erreur statique
 - Gain critique
 - Rôle des action P, I et D dans les régulateurs industriels classiques
- L'étudiant trace à la main et justifie le tracé des outils suivants : lieu des pôles (lieu d'Evans), diagrammes de Bode, Nyquist & Black-Nichols pour un système à contrôler en boucle fermée.
- L'étudiant explique le sens pratique de ces outils (lieu d'Evans, diagramme de Bode, Nyquist et Black-Nichols), ainsi que leur raison d'être et il interprète les résultats qu'ils fournissent.
- L'étudiant effectue la synthèse d'un régulateur (P, PI,PID, lead-lag, ...) par les méthodes fréquentielles et la méthode du lieu des pôles.
- Après avoir effectué la synthèse d'un régulateur l'étudiant critique les résultats obtenus et le cas échéant modifie la structure du régulateur.
- L'étudiant dimensionne un régulateur permettant d'obtenir l'astatisme de conduite, d'obtenir des performances données en conduite et en réjection de perturbation, mesurables ou non.
- L'étudiant connaît et exploiter les commandes Matlab lui permettant de vérifier les résultats obtenus par calculs manuels (réponses temporelles, analyse dans le plan complexe, analyse fréquentielle, synthèse de régulateur)

Pour la composante "Instrumentation" :

- L'étudiant est capable de critiquer l'installation pratique d'un thermomètre dans le but de réduire les incertitudes de mesure.

- L'étudiant est capable de choisir un instrument de mesure (niveau, débit...) en fonction de la spécificité du procédé.
- L'étudiant est capable, sur base des principes physiques de fonctionnement des débitmètres de les comparer entre eux dans le but de sélectionner le débitmètre le plus approprié dans une situation donnée.

Pour les laboratoires :

- L'étudiant est capable, sur base d'informations récoltées pendant les manipulations relatives à un laboratoire, d'en extraire la substance et de la présenter de façon synthétique dans un rapport.

Description du contenu

Fundamentals of control theory :

Table des matières : (sujet à de légères modifications)

1. Introduction
2. Dynamic systems
3. Frequency domain perspective
4. Transfer functions
5. System Linearization
6. Time-domain analysis
7. Closed-loop control
8. Root-locus Design method
9. Frequency domain analysis
10. Frequency-response design method
11. Control Structures
12. Identification
13. Conclusion

Instrumentation industrielle :

Table des matières : (sujet à de légères modifications)

1. Les constituants d'une chaîne de mesure
2. La boucle 4-20 mA
3. Le Protocole HART®
4. Mesure des débits
5. Mesure des déplacements
6. Mesure des pressions
7. Mesure des niveaux
8. Incertitudes communes aux thermomètres

Laboratoire de régulation :

Applications concrètes qui s'articulent autour de 4 séances de laboratoire relatives à la régulation des procédés industriels

Ces quatre séances du laboratoire de régulation ont lieu autour d'un canon à chaleur commandé en débit d'air et puissance électrique dissipée dans une résistance chauffante dans le but de régler la température.

1. Identification paramétrique de modèles simples (fonctions de transfert).

- Modèles de Strejc, Broida et Vandergrinten.
- Validation par simulation au moyen de Matlab.

2. Réglage (PID) par rétroaction de la température, suivi de consigne et réjection des perturbations.

- Étude de l'influence des paramètres PID sur la rapidité, la précision et la stabilité.

3 : Réglage à action prévisionnelle.

- Comparaison et déduction des avantages de la combinaison du réglage à action prévisionnelle en complément du réglage par rétroaction

4 : Réglage par modèle interne (IMC)

- Mise en évidence des avantages de cette structure de réglage particulière pour le réglage des systèmes à fort temps mort.

Laboratoire d'instrumentation industrielle :

Les trois séances de laboratoire sont relatives à l'instrumentation industrielle et aux mesures

1: Etude détaillée du transformateur différentiel :

- courbes caractéristiques en V.
- réponse fréquentielle.
- réponse temporelle.
- comparaison avec le modèle mathématique établi au cours.

2. Acquisition de données :

- Paramétrisation d'une carte d'acquisition
- Échantillonnage de signaux sinusoïdaux de fréquences différentes
- Analyse des données en temporel et en fréquentiel
- Mise en évidence des difficultés relatives à l'interprétation des mesures
- Mesure transitoire de la température d'un fil chauffé par effet Joule au moyen de thermocouples en milieu perturbé

3. Étalonnage de capteurs de température :

- Relevé des caractéristiques de différentes sondes de températures
- Recherche de leur modèle mathématique
- Modélisation théorique du système mesuré
- Illustration d'instruments de mesure modernes

Méthodes d'enseignement

Fundamentals of control theory :

- Exposé magistral (30h) en Français - Support de cours en anglais.
- Séances d'exercices dirigés en auditoire (15h)
- Séance d'exercice complémentaire en auditoire, sur PC, portant sur l'utilisation de Matlab pour le contrôle de systèmes dynamiques (3h)

Le cours se donnera à distance au vu de la situation sanitaire. Les séances d'exercices seront-elles maintenues en auditoire, sauf si la situation sanitaire l'interdit. Dans ce cas de figure, elles seraient également dispensées à distance.

Instrumentation industrielle :

- Exposé magistral.
- E-learning sur base de websites de constructeurs de capteurs.

Laboratoire de régulation :

Expériences concrètes sur des équipements. Les séances seront toutes maintenues dans le laboratoire si la situation sanitaire le permet.

Dans le cas de figure où il faudrait limiter la fréquentation des locaux de l'ECAM du moins partiellement, les 2 premières séances seront maintenues au laboratoire, de façon à permettre à l'étudiant de percevoir l'aspect concret, physique et réel du contrôle d'un système dynamique. Les 2 dernières se feront alors en simulation à distance, de façon à limiter l'occupation des locaux. Elles seront néanmoins maintenues à l'horaire, il sera attendu de l'étudiant qu'il prépare les séances et l'enseignant encadrant sera disponible pendant la plage horaire réservée pour répondre aux questions et donner des explications.

Dans le cas de figure où il ne serait pas possible, à la suite de la situation sanitaire, de donner les 2 premières séances à l'ECAM, toutes les séances seront alors réalisées en simulation à distance. A nouveau, les séances seront maintenues à l'horaire, il sera attendu de l'étudiant qu'il prépare les séances et l'enseignant encadrant sera disponible pendant la plage horaire réservée pour répondre aux questions et donner des explications.

Dans le cas de séances de laboratoires (les 2 dernières ou toutes) réalisées à distance en simulation, les instructions et supports de cours adaptés seront communiqués aux étudiants via Claco.

Laboratoire d'instrumentation industrielle :

Séances pratiques de laboratoire. Les séances seront toutes maintenues dans le laboratoire si la situation sanitaire le permet.

Dans le cas de figure où il faudrait limiter la fréquentation des locaux de l'ECAM, les séances de laboratoire seront supprimées, et cette activité n'interviendra dès lors pas dans la pondération de l'UE. Des vidéos illustratives des notions et problématiques auxquelles les étudiants auraient été confrontés durant le laboratoire seront mises à disposition.

Méthodes d'évaluation

Fundamentals of control theory :

Examen écrit en fin de Q1 portant sur la connaissance et la compréhension des notions abordées dans le cadre du cours, et sur leur application à une situation donnée.

Instrumentation industrielle :

Examen écrit en fin de Q1.

Laboratoire de régulation :

Si le laboratoire peut se donner complètement à l'ECAM, l'évaluation du laboratoire de régulation portera sur deux éléments ayant le même poids :

- L'évaluation continue qui juge de la capacité d'attention de l'étudiant, de son implication dans le travail collaboratif du groupe (4 étudiants environ) **(50%)**
- La qualité (clair, concis, complet) du dossier que l'étudiant et son groupe auront rédigé. **(50%)**

Si le laboratoire ne peut se donner que partiellement à l'ECAM, l'évaluation du laboratoire de régulation portera sur les deux éléments suivants :

- L'évaluation continue portant sur les 2 séances réalisées en présentiel qui juge de la capacité d'attention de l'étudiant, de son implication dans le travail collaboratif du groupe (4 étudiants environ) **(30%)**
- La qualité (clair, concis, complet) du dossier que l'étudiant et son groupe auront rédigé. **(70%)**

Si le laboratoire ne peut se donner que à distance, en simulation, l'évaluation du laboratoire de régulation ne portera que sur la qualité (clair, concis, complet) du dossier que l'étudiant et son groupe auront rédigé. **(100%)**

L'ensemble des 4 rapports portant sur les 4 manipulations composera un dossier dont les étudiants sont solidairement responsables. Ce dossier sera remis (sous format papier si les conditions sanitaires le permettent, si pas au format numérique) à l'enseignant endéans les 5 jours ouvrables qui suivent la dernière séance du groupe. Tout retard sera sanctionné comme suit :

- 0-24h de retard : - 2 points (sur 20) pour la composante "rapport" de l'évaluation, et ce pour l'ensemble du groupe
- 24-48h de retard : - 4 points (sur 20) pour la composante "rapport" de l'évaluation, et ce pour l'ensemble du groupe
- 48-72h de retard : - 6 points (sur 20) pour la composante "rapport" de l'évaluation, et ce pour l'ensemble du groupe
- + de 72h de retard : la composante "rapport" de l'évaluation est cotée 0 pour l'ensemble du groupe.

Cette activité est non-réévaluable en seconde session.

Laboratoire d'instrumentation industrielle :

L'évaluation du laboratoire porte la qualité (clair, concis, complet) des 3 rapports que le groupe d'étudiants devra rédiger pour chacune des trois manipulations. Ce rapport doit être remis par mail (fichier pdf) à l'enseignant endéans les 5 jours ouvrables suivant la séance.

Tout retard sera sanctionné comme suit :

- 0-24h de retard : - 2 points (sur 20) pour la composante "rapport" de l'évaluation, et ce pour l'ensemble du groupe
- 24-48h de retard : - 4 points (sur 20) pour la composante "rapport" de l'évaluation, et ce pour l'ensemble du groupe
- 48-72h de retard : - 6 points (sur 20) pour la composante "rapport" de l'évaluation, et ce pour l'ensemble du groupe
- + de 72h de retard : la composante "rapport" de l'évaluation est cotée 0 pour l'ensemble du groupe.

Cette activité est non-réévaluable en seconde session.

Remarque importante concernant les laboratoires :

Les absences non justifiées au laboratoire sont irrécupérables et cotées 0/20.

En cas d'absence justifiée, l'étudiant est tenu de prévenir l'enseignant qui encadre la séance le plus vite possible, et de lui suggérer d'autres séances (avec d'autres séries) lors desquelles il pourrait participer pour rattraper la séance manquée. L'enseignant regardera alors si un arrangement est matériellement possible et tiendra l'étudiant informé.

Une cote de laboratoire acquise en fin de quadrimestre est définitive et non modifiable en seconde session.

Evaluation globale de l'UE :

La moyenne de l'unité d'enseignement est calculée sur base de la moyenne arithmétique pondérée des notes des activités d'apprentissage. La pondération de la cote des activités se fait au prorata de leur volume horaire.

Dans le cas où toutes les activités sont bien maintenues :

- 59% pour l'activité "Fundamentals of Control Theory"
- 11% pour l'activité "Instrumentation Industrielle"
- 17% pour l'activité "Laboratoire de régulation"
- 13% pour l'activité "Laboratoire d'instrumentation industrielle"

Dans le cas où le laboratoire d'instrumentation industrielles devait être supprimé :

- 67% pour l'activité "Fundamentals of Control Theory"
- 13% pour l'activité "Instrumentation Industrielle"
- 20% pour l'activité "Laboratoire de régulation"

Support de cours

Fundamentals of control theory :

- Slides du cours (en Anglais) disponibles sur Claco
- Il est nécessaire d'avoir un PC avec Matlab installé et opérationnel dessus pour la dernière séance d'exercices.

Instrumentation industrielle :

- Slides utilisés aux cours disponibles sur Claco

Laboratoire de régulation :

- Slides du cours "Fundamentals of Control Theory"
- Fascicule de notes préparatoires au laboratoire, disponible sur Claco

Laboratoire d'instrumentation industrielle :

- Slides du cours "Instrumentation industrielle"
- Notes relatives au laboratoire disponible sur Claco.
- Il est nécessaire d'avoir un PC avec Matlab installé et opérationnel dessus.

Bibliographie

Composante régulation (cours et labo) :

- Automatique Générale, Edition 2016 - Bernard Arnould, ECAM
- The fundamentals of Control Theory, Revision 1.5 - Brian Douglas – Creative Commons
- Feedback Control of Dynamic Systems, Seventh Edition, - Gene F.Franklin, J. David Powell, AbbasEmami-Naeini – Pearson Education
- Régulation Automatique, Première Edition – Louis Maret – Presses polytechniques romandes
- Control System Lectures,YouTube Channel - Brian Douglas
- Signals & Systems, Edition 2018 – Franky De Bruyne, ECAM
- Chapitre XVI. Elements de calcul operationnel, Ruben Hillewaere, ECAM

Composante Instrumentation industrielle (cours et labo) :

- Georges Asch, « Les Capteurs en instrumentation industrielle », Dunod, 1992.
- Georges Asch, « Acquisition de données », Dunod, 2011.
- Michel Cerr, « Instrumentation industrielle », Technique & Doc, 1980.
- Cecil L. Smith, , « Basic process measurements », John Wiley & Sons, 2009