

**Sigle : GEN 1173 Gr. 01**

**Titre : Systèmes asservis**

**Session : Automne 2021 Horaire et local**

**Professeur : Berkane, Soulaïmane**

**1. Description du cours paraissant à l'annuaire :**

**Objectifs**

Au terme de cette activité, l'étudiant(e) sera en mesure : d'appliquer la théorie des systèmes de commande linéaire pour la conception et l'analyse des systèmes de commande automatique à haute performance.

**Contenu**

Définition et exemples de systèmes à commande automatique. Système asservi, servomécanisme, système de régulation, perturbations. Caractéristiques des systèmes en boucle fermée : sensibilité à la variation des paramètres. Erreurs statiques. L'erreur statique et le type du système. Réponse transitoire. Mesures de réponse en fréquence : méthodes, instruments. Performances des systèmes : spécification dans le domaine du temps et dans le domaine des fréquences. Contrôlabilité, observabilité. Stabilité des systèmes asservis; stabilité et précision. Critères de stabilité de Nyquist. Lieu des racines : définition et utilisation des racines pour le réglage des paramètres et la synthèse de composantes afin de rencontrer les spécifications imposées aux systèmes. Analyse et méthode de synthèse dans le domaine des fréquences. Lieu de Nyquist, Nichols, Black. Diagrammes de Bode de fonctions de transferts simples et composées. Analyse de Bode : stabilité, les marges de gain et de phase. La réponse temporelle à partir de la réponse fréquentielle. Compensation des systèmes. Correction par action avance-retard de phase. Contrôleurs multimodes : P, PD, PI, PID, conception par des méthodes analogiques. Méthodes empiriques de synthèse de régulateurs PID. Méthode de Ziegler-Nichols. Compensation dans le plan de Bode. Compensation à partir du lieu des racines.

Descriptif – Annuaire

**2. Objectifs spécifiques du cours :**

Le cours couvre 4 des 12 qualités requises des diplômé(e)s telles que définies dans les normes d'agrément des programmes de génie au Canada. (<http://www.engineerscanada.ca/fr/ressources-en-matiere-dagrément>) :

**a. Qualité 1 : Connaissances en génie**

**b. Qualité 3 : Investigation**

**c. Qualité 4 : Conception**

d. Qualité 5 : Utilisation d'outils d'ingénierie

**Les qualités 1, 3 et 4 sont mesurées dans ce cours pour fins de rétroaction.**

Objectifs spécifiques	Qualité	Indicateurs	Introduit	Développé	Appliqué
Connaître différentes méthodes d'analyse et de conception des systèmes de commande linéaires avec des applications sur des systèmes électriques et mécaniques.	1	4. Comprendre et appliquer les concepts de l'ingénierie propres au programme		x	
Modélisation du système physique et de détermination de la fonction de transfert (Formuler la relation entre l'entrée et la sortie). Étudier et interpréter le comportement d'une réponse de système.	3	1. Formuler et tester des hypothèses de travail.		x	
Utiliser MATLAB pour créer un système de contrôle et vérifier les performances sous différentes entrées avec les simulations requises.	4	3. Créer des modèles, simulations, prototypes et faire des tests.		x	
Évaluer la performance de la conception par les méthodes Bode et Nyquist. Appliquer les approches de commande étudiées en classe sur les plateformes du laboratoire (équipement Quanser).	4	4. Évaluer la performance de la conception en fonction du cahier des charges.		x	

**3. Stratégies pédagogiques :**

- Cours magistraux : 3 h/semaine de cours **en présentiel**.
- 5 séances de travaux pratiques **en présentiel**.
- Devoirs à la maison (~4-5).
- Un examen de mi-session en présentiel (durée = 2 h).
- Un examen final en présentiel (durée = 3 h).
- Disponibilité d'une page MOODLE contenant le matériel du cours et les résultats des évaluations des travaux.

#### Cours magistraux :

- La participation et les échanges en classe sont les bienvenus. Veuillez respecter vos collègues et vos professeurs en classe et vous serez traité avec le même respect en retour.
- L'utilisation des TIC dans la salle de classe ne peut se faire qu'à des fins pédagogiques; les autres formes d'utilisation pouvant être potentiellement une source de distraction pour le professeur ou les autres étudiants.
- Prière de ne pas arriver en retard au cours et de ne pas quitter avant la fin du cours. Si vous devez quitter avant la fin du cours, s'il vous plaît en informer le professeur au début du cours et minimiser la perturbation de la classe en occupant un siège près de la porte.

#### Laboratoires :

- Une assistance technique sera assurée par un technicien du département. Le technicien ne sera disponible que lors de la séance de laboratoire prévue à l'horaire.
- Les règlements spécifiques au fonctionnement des laboratoires seront abordés lors de la première séance de travaux pratiques.
- La présence aux séances de travaux pratiques est obligatoire.

#### Liens et guides utiles :

- 1- [Introduction à Simulink](#).
- 2- [Introduction à Matlab](#).

Accès aux laboratoires de génie - COVID 19 A2021 : <https://uqo.ca/docs/43856>

#### 4. Heures de disponibilité ou modalités pour rendez-vous :

Prendre rendez-vous en envoyant un courriel à [soulaimane.berkane@uqo.ca](mailto:soulaimane.berkane@uqo.ca).  
Le rendez-vous aura lieu soit en présentiel (Bureau B-2016) ou par vidéoconférence via Zoom.

#### 5. Plan détaillé du cours sur 15 semaines :

Semaine	Thèmes	Dates
1	<b>Chapitre 1 : Introduction aux systèmes à commande automatique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduction générale (définitions et historique des systèmes de commande).</li> <li>- Classification des systèmes de commande (boucle ouverte (BO) et boucle fermée (BF), régulation et poursuite).</li> <li>- Modèles mathématiques des systèmes de commande (EDO, fonctions de transfert, représentation d'état).</li> <li>- Notions d'identification des systèmes. Méthode de Strejc.</li> <li>- Objectifs d'analyse et de conception des systèmes à commande automatique.</li> </ul>	14 sept. 2021
2	<b>Chapitre 2 : Caractéristiques des systèmes asservis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse du signal d'erreur.</li> <li>- Sensibilité à la variation des paramètres.</li> <li>- Rejet de perturbation.</li> <li>- Atténuation du bruit de mesure.</li> <li>- Précision dynamique et réponse transitoire.</li> <li>- Erreurs statiques, précision statique et le type du système.</li> </ul>	21 sept. 2021
3	<b>Chapitre 3 : Performance des systèmes asservis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réponses à des entrées typiques.</li> <li>- Performances et spécifications dans le domaine temporel.</li> <li>- Performance des systèmes du premier ordre et du second ordre.</li> <li>- Effet du 3<sup>e</sup> pôle sur la réponse des systèmes du second ordre.</li> <li>- Effet des zéros sur la réponse des systèmes de commande.</li> <li>- Relations entre les pôles et la réponse transitoire.</li> <li>- Qualité de la régulation automatique (indices de performance).</li> </ul> <b>Travaux pratiques I : Introduction au système SRV02/QUARC de Quanser.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe A : lundi 27 septembre 2021 (8h30-11h30)</li> <li>- Groupe B : mardi 28 septembre 2021 (12h30-15h30)</li> </ul>	28 sept. 2021
4	<b>Chapitre 4 : Approches de conception des systèmes de commande</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compensation cascade/rétroaction des systèmes.</li> <li>- Contrôleurs multimodes : P, PD, PI, PID.</li> <li>- Correction par action avance-retard de phase.</li> <li>- Méthodes empiriques de synthèse de régulateurs PID. Méthode de Ziegler-Nichols.</li> </ul>	05 oct. 2021
5	<b>Semaine d'études</b>	12 oct. 2021

6	<p><b>Chapitre 5 : Analyse dans le plan complexe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilité dans le plan complexe.</li> <li>- Méthode du lieu des racines (lieu d'Evans).</li> <li>- Règles pour tracer le lieu des racines.</li> <li>- L'utilisation des racines pour le réglage des paramètres et la synthèse de composantes afin de rencontrer les spécifications imposées aux systèmes.</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques II</b> : Identification du système de mouvement rotatif du SRV02.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe A : lundi 18 octobre 2021 (8h30-11h30)</li> <li>- Groupe B : mardi 19 octobre 2021 (12h30-15h30)</li> </ul>	19 oct. 2021
7	<b>Examen de mi-session</b>	26 oct. 2021 <b>(8h30-11h30)</b>
8	<b>Chapitre 5 : Analyse dans le plan complexe (suite)</b>	26 oct. 2021 <b>(12h30-15h30)</b>
9	<p><b>Chapitre 5 : Conception de systèmes à commande automatique dans le plan complexe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compensation à partir du lieu des racines.</li> <li>- Synthèse des régulateurs P, PI, PD et PID à partir du lieu des racines.</li> <li>- Correction par action avance-retard de phase dans le plan complexe.</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques III</b> : Commande automatique de la position avec SRV02.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe A : lundi 01 novembre 2021 (8h30-11h30)</li> <li>- Groupe B : mardi 02 novembre 2021 (12h30-15h30)</li> </ul>	02 nov. 2021
10	<p><b>Chapitre 6 : Analyse fréquentielle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réponse fréquentielle.</li> <li>- Représentation graphique de la réponse fréquentielle (Nyquist, Black, Bode).</li> <li>- Diagrammes de Bode asymptotiques pour les fonctions de transferts simples et composées.</li> <li>- Abaques de Hall et de Nichols.</li> <li>- Stabilité dans le domaine des fréquences : critère de Nyquist, degré de stabilité, les marges de gain et de phase.</li> <li>- Performances dans le domaine fréquentiel : bande passante, fréquence de résonance, facteur de résonance.</li> </ul>	09 nov. 2021
11	<p><b>Chapitre 7 : Conception de systèmes à commande automatique dans le domaine de fréquences</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spécifications dans le domaine de fréquences.</li> <li>- Compensation dans le plan de Bode.</li> <li>- Correction par action avance-retard de phase à partir du diagramme de Bode.</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques IV</b> : Commande automatique de la vitesse avec SRV02.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe A : lundi 15 novembre 2021 (8h30-11h30)</li> <li>- Groupe B : mardi 16 novembre 2021 (12h30-15h30)</li> </ul>	16 nov. 2021
12	<b>Chapitre 7 : Conception de systèmes à commande automatique dans le domaine de fréquences (suite)</b>	23 nov. 2021
13	<p><b>Chapitre 8 : Analyse et conception avec les variables d'état</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Représentation d'état.</li> <li>- Matrice de transition et solution de l'équation d'état.</li> <li>- Stabilité dans l'espace d'état.</li> <li>- Erreur statique.</li> <li>- Commandabilité et commande par retour d'état.</li> <li>- Observabilité et observateurs d'état.</li> <li>- Interconnexion régulateur-observateur (principe de séparation)</li> </ul>	30 nov. 2021
14	<p><b>Chapitre 8 : Analyse et conception avec les variables d'état (suite)</b></p> <p><b>Travaux pratiques V</b> : Commande automatique du pendule inversé à la verticale.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe A : lundi 06 décembre 2021 (8h30-11h30)</li> <li>- Groupe B : mardi 07 décembre 2021 (12h30-15h30)</li> </ul>	07 déc. 2021
15	<b>Examen final</b>	14 déc. 2021

## 6. Évaluation du cours :

Outils d'évaluation	Pondération	Indicateurs mesurés
Travaux pratiques (5 séances)	20 %	4.3 et 4.4
Devoirs à la maison	10 %	3.1

Examen de mi-session	20 %	1.4
Examen final	50 %	1.4

Quatre à cinq devoirs seront donnés durant le cours. Les étudiant(e)s devront soumettre leur travail avant la date limite. Un devoir soumis moins de 24 heures en retard recevra une déduction de 50 %. Un devoir soumis avec plus de 24 heures de retard ne recevra aucun crédit sauf si un arrangement spécial a été approuvé au préalable par le professeur.

Indicateurs	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1.4 - Comprendre et appliquer les concepts de l'ingénierie propres au programme.	Moins de 52 %	Entre 52 % et 63 %	Entre 64 % et 83 %	Plus de 84 %
3.1 - Formuler et tester des hypothèses de travail.	Formulation inacceptable et tests inadéquats	Formulation et tests partiels	Formulation et tests adéquats	Formulation et tests remarquables
4.3 - Créer des modèles, simulations, prototypes, et faire des tests.	Création de modèles, simulations, prototypes et/ou exécution des tests inadéquates ou inexistantes.	Création acceptable de modèles, simulations, prototypes, mais exécution de tests insuffisante.	Création de modèles, simulations, prototypes et exécution de tests adéquates.	Création de modèles, simulations, prototypes et exécution de tests remarquables.
4.4 - Évaluer la performance de la conception en fonction du cahier des charges.	Vérification inadéquate ou inexistante	Vérification partielle	Vérification acceptable	Vérification exhaustive

## 7. Politiques départementales et institutionnelles :

- Politique du département d'informatique et d'ingénierie relative à la tenue des examens
- Note sur le plagiat et sur la fraude
- Politique relative à la qualité de l'expression française écrite chez les étudiants et les étudiantes de premier cycle à l'UQO
- Absence aux examens : cadre de gestion, demande de reprise d'examen (formulaire)

À l'UQO, **les violences à caractère sexuel, c'est tolérance zéro!**

La communauté universitaire s'engage à lutter contre les inconduites, le harcèlement et les violences à caractère sexuel : parce que **le respect, c'est l'affaire de tout le monde!**

N'oubliez pas de faire la formation obligatoire :

[uqo.ca/bimi/formation-obligatoire](https://uqo.ca/bimi/formation-obligatoire)

Pour de plus amples renseignements :

[bimi@uqo.ca](mailto:bimi@uqo.ca)



## 8. Principales références :

### Références :

- Modern Control Systems (13<sup>th</sup> Edition), Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, Addison Wesley, 2017. (Référence principale)
- Control Systems Engineering (7<sup>th</sup> Edition), Norman S. Nise, John Wiley & Sons, 2015 (ISBN 978-1-118-17051-9).
- Modern Control Engineering (5<sup>th</sup> Edition), K. Ogata, Prentice Hall, 2010.

## 9. Page Web du cours :

<https://moodle.uqo.ca>