



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

### ❑ LES OBJECTIFS PEDAGOGIQUES :

Apporter les bases théoriques et pratiques pour modéliser et concevoir des systèmes mécatroniques avec leur système de contrôle-commande.

### ❑ LES PERSONNES CONCERNEES :

Cette formation s'adresse aux ingénieurs ou techniciens désirant acquérir les connaissances dans la conception et l'asservissement des systèmes mécatroniques.

### ❑ LE CONTENU DE LA FORMATION :

#### 1<sup>ère</sup> journée :

#### ➤ **MATIN - 09H00 – 10H30 : Présentation des principaux processus de conception généralisée.**

##### ➤ Introduction

- ✓ Tour de table pour la présentation des participants et le recueil de leurs attentes.

##### ➤ Objectifs de la formation.

##### ➤ Les processus de conception généralisée.

- ✓ Présentation des principales entrées / sorties des différents processus, de leurs interactions, de leurs contenus et ceci, sur tout le cycle de vie du système à concevoir.

⇒ La gestion des exigences et des contraintes,

⇒ L'analyse fonctionnelle.

⇒ L'étude de conception (know-how, modélisation / simulation, etc.).

⇒ La gestion des interfaces.

⇒ La gestion des risques.

⇒ Le processus de vérification et de validation.

#### ➤ **MATIN - 10H30 – 12H30 : Les méthodes et outils associés (début).**

##### ➤ **LA MODELISATION.**

- ✓ Modélisation, approche système et conception généralisée. Les enjeux de la modélisation.

- ✓ La place des modèles dans la démarche de conception généralisée (Mise en évidence et résolution des problèmes au plus tôt, avant réalisation de l'ensemble).



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

- ✓ Utilisation du modèle. Quels types de modèles, quels phénomènes à prendre en compte :
  - ⇒ Utilisation pour les validations fonctionnelles.
  - ⇒ Utilisation pour la compréhension des phénomènes.
  - ⇒ Utilisation pour le dimensionnement.
  - ⇒ Utilisation pour la conception de lois de Contrôle Commande.
  - ⇒ Utilisation pour la spécification des essais de recette composants, sous-systèmes et systèmes. Utilisation de bancs d'essais « virtuels » pour établir les spécifications des montages d'essais ainsi que les résultats attendus.
    - Intégration / validation virtuelle sur la base du modèle.
    - Vérification des exigences.
    - Sûreté de fonctionnement.

### 1<sup>ère</sup> journée :

#### ➤ APRES MIDI - 14H00 – 17H30 : Les méthodes et outils associés.

##### ➤ **LE DIMENSIONNEMENT EN PUISSANCE.**

- ✓ Mise en forme du cahier des charges fonctionnel (à partir d'une spécification de réponse à l'échelon, à partir d'une spécification de réponse en rampe, à partir d'une réponse sinusoïdale).
- ✓ Dimensionnement et spécification "en puissance".

##### ➤ **L'ANALYSE LINEAIRE (début).**

- ✓ Rappels et terminologies concernant les outils mathématiques utilisés pour l'analyse des systèmes dynamiques :
  - ⇒ le gain d'un système, le décibel (dB),
  - ⇒ la bande passante,
  - ⇒ la fréquence propre, le mode propre,
  - ⇒ le déphasage entre une entrée et une sortie d'un système,
  - ⇒ la dérivée, l'intégrale.
- ✓ Les systèmes dynamiques - Le point de vue du mécanicien.

A partir d'exemples simples et didactiques issus du domaine de la mécanique, nous abordons les notions d'oscillations libres non



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

amorties, oscillations libres amorties, oscillations forcées non amorties et oscillations forcées amorties, ainsi que la notion de mode et fréquence propres.

- ⇒ La masse, la raideur, les frottements (visqueux, secs, hydrodynamiques).
  - ⇒ Le système masse/amortisseur.
  - ⇒ Le système masse/ressort/amortisseur.
- ✓ Etude des systèmes linéaires.
- ⇒ Les équations différentielles. Les équations d'états.
  - ⇒ Le passage du domaine fréquentiel au domaine temporel.
  - ⇒ Le bloc diagramme : construction d'un bloc diagramme et algèbre permettant de calculer les fonctions de transfert et de simplifier un bloc diagramme.
  - ⇒ Les fonctions de transfert. Les pôles et les zéros (résonances et antirésonances). Les diagrammes (Bode, Nyquist).
  - ⇒ Les systèmes de base : retard pur, intégrateur, premier ordre, second ordre. Représentations fréquentielles et temporelles de ces différents éléments.

### 2<sup>ème</sup> journée :

#### ➤ **MATIN - 09H00 – 12H30 : Les méthodes et outils associés.**

#### ➤ **L'ANALYSE LINEAIRE (fin).**

- ✓ La théorie des systèmes asservis.
  - ⇒ Boucles ouverte et fermée.
  - ⇒ La régulation (face à des perturbations externes s'appliquant sur le système) et la poursuite (le suivi de consignes).
  - ⇒ Stabilité. Comment apprécier le degré de stabilité d'un système asservi (marge de gain, marge de phase).
  - ⇒ Précisions statique et dynamique.
- ✓ Les outils d'analyse des systèmes asservis.
  - ⇒ Réponses impulsionnelle et indicielle.
  - ⇒ Les diagrammes (Bode, Nyquist).
- ✓ Les méthodes de contrôle-commande :



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

- ⇒ Correcteurs de type P, PI, PID. Présentation, utilisation, réglage.
- ⇒ Les filtres. Présentation, utilisation et réglage.
- ⇒ Les retours d'états. Le placement de pôles.

### ➤ **LE DIMENSIONNEMENT FREQUENTIEL.**

- ✓ Evaluation des dynamiques en présence. Conditionnement fréquentiel du système. Répartition fréquentielle, positionnement modal.
- ✓ Spécifications de raideurs, d'inerties, de cinématiques (réducteurs, autres...).
- ✓ Choix des capteurs et de leur emplacement.

### ➤ **L'ANALYSE NON LINEAIRE (début).**

- ✓ Introduction de la partie contrôle / commande de façon continue (non prise en compte des problèmes liés à la numérisation des signaux).
- ✓ Evaluation de l'influence des phénomènes non-linéaires de type jeux, frottements secs, etc ..., sur les comportements statique et dynamique du système asservi à concevoir. Spécification des valeurs limites.
- ✓ Etude fine du contrôle mis en œuvre lors de la phase d'analyse linéaire ainsi que les valeurs des paramètres de ce contrôle et les caractéristiques techniques des différents composants.
- ✓ Etude de robustesse. Analyse de l'influence des dispersions de fabrication. Analyse de l'influence du vieillissement des composants.
- ✓ Spécifications des essais de recettes des différents organes, sous systèmes et pour ceux de l'actionnement complet et pour préciser les résultats attendus lors des différents essais.
- ✓ Sécurité de fonctionnement (cas de panne, stratégies de replis, seuil de détection des pannes, etc.).
- ✓ Vérification / validation des fonctions demandées à l'ensemble.

### ➤ **APRES MIDI - 14H00 – 17H30 : Les méthodes et outils associés (fin).**

### ➤ **L'ANALYSE NON LINEAIRE (fin).**



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

### ➤ **INTRODUCTION DES CONTRAINTES LIEES A LA NUMERISATION DES SIGNAUX.**

- ✓ Introduction : Intérêts de la prise en compte des problèmes liés à la numérisation des signaux.
- ✓ Le théorème de SHANNON.
- ✓ Introduction, des phénomènes liés à la numérisation des signaux. Prise en considération des phénomènes liés à la chaîne d'acquisition (capteur, filtrage des mesures, échantillonneur / bloqueur, conversion numérique / analogique, retards, correcteurs numériques).
- ✓ Evaluation des dégradations de performances induites.
- ✓ Spécification de l'ensemble des valeurs des paramètres liés à la chaîne d'acquisition des mesures et aux calculs numériques des correcteurs.
  - ⇒ Caractéristiques des capteurs et des électroniques de conditionnement.
  - ⇒ Bande passante des filtres anti-repliement,
  - ⇒ Périodes d'échantillonnage, locale et de commande du niveau supérieur,
  - ⇒ Résolutions des convertisseurs analogique / numérique et numérique / analogique.
  - ⇒ Retards admissibles.
  - ⇒ Algorithmes numériques des contrôle / commande.

### **3<sup>ème</sup> journée :**

#### ➤ **MATIN - 09H00 – 12H30 : Sensibilisation aux problématiques liées à chaque métier.**

- ✓ Lien entre les méthodes et outils et les problématiques spécifiques des différents métiers.
  - ⇒ Electrique.
    - Présentation des différents types de moteurs.
    - Les aspects thermiques. Tenue des isolants.
    - La commande rapprochée fournisseurs.
    - La commande en courant, vitesse, position.



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

⇒ Hydraulique.

- Les variations des caractéristiques des fluides (viscosité, compressibilité).
- La dynamique des composants.
- Les phénomènes liés aux lignes hydrauliques.
- Les problèmes de stabilité de certains composants.

⇒ Electronique (contrôle / commande et matériel).

- Les limitations liées aux calculateurs.
- La précision des calculs.
- Les résolutions.

### ➤ APRES MIDI - 14H00 – 17H30 :

- ✓ Sensibilisation aux problématiques liées à chaque métier (suite et fin).
- ✓ Synthèse de la formation
- ✓ Débriefing

### ❑ METHODE PEDAGOGIQUE ET EXEMPLES :

L'ensemble de la formation sera basé sur deux exemples. Le premier servira de fil conducteur au formateur. Le second servira d'exemple pour les stagiaires. Les deux exemples seront à définir / choisir d'un commun accord entre la société client et SHERPA ENGINEERING.

### ❑ LES PRE REQUIS :

Cette formation nécessite d'avoir des notions en automatique des systèmes.

### ❑ LES SESSIONS « CSMA » EN 2022 :

PRIX : (Stages INTRA, nous consulter).

DUREE : 3 jours.

LIEU : Paris (Stages INTRA, nous consulter).

DATES : nous consulter.

### ❑ STAGES INTRA :

Pour les stages INTRA, le contenu du cours et des exercices pourra être personnalisé pour répondre à des attentes spécifiques.

Pour tout renseignement complémentaire, merci de contacter :

Hassane EL BAAMRANI : Responsable Formation  
SHERPA Engineering – Le Gaïa, 333 Avenue Georges Clemenceau, CS  
50297 - 92741 Nanterre Cedex- FRANCE  
Tel : 01 47 82 08 23  
Email : [formation@sherpa-eng.com](mailto:formation@sherpa-eng.com)