



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA
AREA DE AUTOMÁTICA Y BIOINGENIERÍA
FONO : (56-2) 6784207 FAX: (56-2) 6720162 ó 6953881
AV. TUPPER 2007 - CASILLA 412-3 - SANTIAGO - CHILE

EM 725 CONTROL ADAPTIVO DE SISTEMAS

REQUISITOS: EL 41C, EL 42D, MA34B y AD

DH: (4-2-4) 10 UD

CARACTER: Electivo de la Carrera de Ingeniería Civil Electricista y Magister en Ingeniería Eléctrica

OBJETIVOS GENERALES:

Comprender los fundamentos de la teoría de control adaptivo. Capacitar al alumno en métodos y técnicas que permitan diseñar y analizar sistemas de control adaptivo tanto de tiempo continuo como discreto y en condiciones ideales como de incerteza.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Diseñar observadores adaptivos para sistema lineales.
- Diseñar controladores adaptivos por modelo de referencia para plantas lineales ideales.
- Diseñar esquemas de control adaptivo en presencia de perturbaciones externas y variaciones paramétricas.

CONTENIDOS:

Hrs. de Clases

- | | |
|---|----------|
| 1. Introducción | 4 |
| 1.1 Historia de los Sistemas Adaptivos. Breve reseña histórica de los sistemas adaptivos desde sus orígenes (desde que el término es introducido en 1957) hasta el presente. Clasificación de los primeros sistemas adaptivos. Filosofías existentes en control adaptivo. Centros de investigación en el mundo donde se realiza la investigación sobre control adaptivo. | |
| 1.2 Objetivos y Métodos Usados en Control Adaptivo. Definiciones de sistemas adaptivos. Método de perturbación de parámetros y método de sensibilidad. Descripción de los objetivos perseguidos en los problemas de control adaptivo. Enumeración de los métodos usados en el análisis y el diseño de los problemas de control adaptivo. | |
| 2. Teoría de estabilidad usada en control adaptivo. | 8 |
| 2.1 Estabilidad según Lyapunov. Repaso de los conceptos de estabilidad según Lyapunov vistos en los cursos EL 302 y/o EL 305, tanto para sistemas de tiempo continuo como sistemas de tiempo discreto. Ampliación de la teoría para incluir sistemas de parámetros variables en el tiempo y el caso $V > 0$, $V \leq 0$. | |
| 2.2 Funciones y Operadores Real Positivos. Definición y características más sobresalientes de estos operadores. El Lema de Kalman - Yakubovich. | |
| 2.3 Teoremas de Estabilidad de Sistemas Adaptivos. Análisis de estabilidad de ecuaciones diferenciales y de diferencias típicas que aparecen en el estudio de sistema adaptivos. Tasa de crecimiento de señales. Estabilidad en términos de un vector de parámetros. | |
| 2.4 Otros Conceptos de Estabilidad. Estabilidad total (Malkin). Hiperestabilidad (Popov) Estabilidad de entrada - salida. Estabilidad BIBO. | |

| | |
|--|----|
| 3. Sistemas adaptivos simples. | 4 |
| 3.1 Sistemas Algebraicos y Dinámicos. | |
| Identificación y control adaptivo de sistemas simples, del tipo escalar y de estado accesible. | |
| 4. Observadores adaptivos. | 8 |
| 4.1 Teoría de Observadores. | |
| El observador de Luenberger. Identificación y control no adaptivo usando el observador de Luenberger. | |
| Principio de separación. | |
| 4.2 Observadores Adaptivos. | |
| Planteamiento del problema. Realizaciones mínimas y no mínimas de observadores adaptivos. Observadores Paralelo y Serie-Paralelo. Observadores adaptivos modificados. Mejoras que es posible introducir en los observadores adaptivos (algoritmos híbridos, ganancias variables en el tiempo, algoritmos integrales, algoritmos de error múltiple, etc.) | |
| 5. Control adaptivo por referencia a modelo (CARM). | 12 |
| 5.1 Planteamiento del Problema de CARM. | |
| Planteamiento detallado del problema poniendo énfasis en la existencia de la solución. Identidad de Bezout (Problema Algebraico). | |
| 5.2 Análisis de Estabilidad del Problema de CARM. | |
| Demostración de estabilidad separada para los casos de plantas de grado relativo unitario y no unitario. (Problema Analítico). Análisis de las hipótesis y supuestos a priori sobre la planta. Análisis de otros enfoques de CARM tales como métodos combinados e indirectos. | |
| 5.3 Excitación Persistente. | |
| Definiciones y propiedades de funciones persistentemente excitadoras. Aplicaciones a sistemas adaptivos. Conexiones entre excitación persistente y estabilidad uniforme y asintótica. | |
| 5.4 Modelos de Error. | |
| Estudio de los modelos de error que más comunmente se encuentran en sistemas adaptivos, tanto de tiempo continuo como de tiempo discreto, y que permiten el análisis de un sistema adaptivo independiente del problema mismo que lo origina. | |
| 6. Control adaptivo robusto. | 8 |
| 6.1 Observadores Adaptivos Robustos. | |
| 6. Control adaptivo robusto. | |
| Análisis de los observadores adaptivos en presencia de incertidumbres tales como perturbaciones externas acotadas y variaciones temporales en los parámetros. | |
| 6.2 Control Adaptivo en Presencia de Perturbaciones Externas. | |
| Cancelación exacta de la perturbación. Modificaciones de las leyes de ajuste de parámetros. Aplicación de entradas de referencia de excitación persistente. Control adaptivo híbrido y métodos combinados. | |
| 6.3 Control Adaptivo de Plantas de Parámetros Variables en el Tiempo. | |
| Análisis de plantas de primer orden de parámetros variables en el tiempo. Generalización a plantas de orden superior. | |
| 6.4 Controladores de Orden Reducido. | |
| Inestabilidad producida por dinámica no modelada. Planteamiento del problema. Soluciones Parciales. | |
| 7. Relajación de las hipótesis del CARM. | 6 |
| 7.1 Signo de la Ganancia de Alta Frecuencia. | |
| Eliminación de esta hipótesis a través del concepto de la ganancia de Nussbaum. | |
| 7.2 Orden de la Planta. | |
| Discusión del teorema que establece que el orden de la planta es información suficiente para efectuar la regulación adaptiva de una planta desconocida. Estudio de controladores universales. | |
| 7.3 Ceros de la Planta en C^- . | |
| Estudio de métodos que se emplean en el control adaptivo de plantas con ceros en el semiplano izquierdo complejo. | |
| 7.4 Métodos de Control Adaptivo Simplificados. | |
| Estudio de métodos de control adaptivo simplificados que son aplicables sólo a cierto tipo de plantas con entradas de referencia particulares, como por ejemplo el método del comando generador de seguimiento. | |

8. Aplicaciones del control adaptivo. 6

Estudio en profundidad de 2 o más procesos específicos en los cuales se apliquen técnicas de control adaptivo, elegidas de la siguiente lista: Dinámica de Barcos, Control de Procesos (columnas de destilación, molienda semiautógena y flotación de minerales, etc.), Sistemas Eléctricos de Potencia, Manipuladores Robóticos, Aplicaciones en Bioingeniería (control de presión arterial, control muscular, etc.).

9. Investigación en control adaptivo. 4

Enumeración y breve explicación de los problemas de control adaptivo que aún no han sido resueltos y que concentran la atención y los esfuerzos de los grupos de investigación en el mundo, señalando las soluciones parciales que se hayan obtenido. Poner de manifiesto posibles futuras líneas de investigación en el área de control adaptivo.

ACTIVIDADES:

Se realizará clases expositivas en dos sesiones semanales, cada una de 2 horas de duración, complementadas con actividades de Ejercicios teóricos y computacionales.

Se realizará un trabajo de investigación sobre tópicos avanzados en control adaptivo, a desarrollarse durante el semestre, con un informe y presentación final.

Se efectuará, además del examen y al menos dos controles durante el semestre

EVALUACION:

La nota final del curso se calculará como $NF = 0.5C + 0.3E + 0.2P$.

La aprobación final del curso se logrará en la medida que cada uno de los promedios anteriores por separado sea mayor o igual a cuatro. En particular se exigirá que cada uno de los ejercicios por separado tenga una nota mayor o igual a cuatro.

BIBLIOGRAFIA:

P.A. Ioannou y P.V. Kokotovic, **Adaptive Systems with Reduced Models**, Springer-Verlag, 1983.

B. Egardt, **Stability of Adaptive Controllers**, Springer-Verlag, 1979.

Y.D. Landau, **Adaptive Control: The Model Reference Approach**, Marcel Dekker Inc., 1979.

Eds. C.J. Harris y S.A. Billings, **Self-Tuning and Adaptive Control: Theory and Applications**, Peter Peregrinus, 1981.

P.R. Kumar y P. Varaiya, **Stochastic Systems: Estimation, Identification and Adaptive Control**, Prentice Hall, 1986.

K.J. Astrom y B. Wittenmark, **Adaptive Control**, Addison Wesley, 1988.

K.S. Narendra y A.M. Annaswamy, **Stable Adaptive Systems**, Prentice Hall, 1989.

K.S. Narendra y R.V. Monopoli Eds., **Applications of Adaptive Control**, Academic Press, 1980.

K.S. Narendra Ed., **Adaptive and Learning Systems**, Plenum, 1988.

G.C. Goodwin y K.S. Sin, **Adaptive Filtering, Prediction and Control**, Prentice Hall, 1984.

M. Duarte, **Teoría de Observadores y Observadores Adaptivos**. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile, 1989.

RESUMEN DE CONTENIDOS:

Introducción. Teoría de estabilidad usada en control adaptivo. Sistemas adaptivos simples. Observadores adaptivos. Control adaptivo por referencia a modelo (CARM). Relajación de las hipótesis del CARM. Aplicaciones del control adaptivo. Investigación en control adaptivo.