

**FICHA IDENTIFICATIVA****Datos de la Asignatura**

Código	34943
Nombre	Control digital
Ciclo	Grado
Créditos ECTS	6.0
Curso académico	2023 - 2024

Titulación(es)

Titulación	Centro	Curso	Periodo
1404 - Grado de Ingeniería Electrónica Industrial	Escuela Técnica Superior de Ingeniería	3	Segundo cuatrimestre

Materias

Titulación	Materia	Caracter
1404 - Grado de Ingeniería Electrónica Industrial	18 - Automatización y control industrial	Obligatoria

Coordinación

Nombre	Departamento
ESPI HUERTA, JOSE MIGUEL	242 - Ingeniería Electrónica

RESUMEN

Esta es una asignatura de carácter obligatorio, que se imparte en el segundo cuatrimestre del tercer curso de la titulación de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial. La carga lectiva total es de 6 ECTS. La carga de trabajo para el alumno es de 150 horas a lo largo del cuatrimestre, de las cuales 60 son presenciales o de aula y 90 son de trabajo no presencial o fuera del aula. La asignatura “Control Digital” forma parte de la materia “Automatización y Control Industrial”.

La “Automatización” es un concepto global que persigue la realización de tareas (en nuestro caso “industriales” o asociadas con procesos propios de la industria) de manera “automática”, es decir, sin la necesidad de que el hombre sea parte activa de ellas, ni en la toma de decisiones (qué tarea hacer), ni en la realización de la tarea misma (actuación). El hombre pasa a ser un simple agente supervisor del proceso automatizado.



Habitualmente, en el entorno industrial, la toma de decisiones se resuelve mediante un dispositivo llamado PLC o "autómata programable", que recibe las consignas del operario y la información del entorno (a través de los sensores), y que decide en cada momento la acción sobre el/los actuador/es (válvulas, motores, calefactores, etc.). La mayoría de las veces, basta con programar en el PLC una estructura de máquina de estados o autómata, donde las órdenes del operario y el estado del proceso determinan una acción simple de activación/desactivación sobre los actuadores.

Sin embargo, a menudo, en la planificación de una automatización, es necesario realizar la "regulación" de una variable de un subproceso, o del proceso principal. Es decir, puede resultar necesario mantener gobernada a voluntad una variable física (una distancia, una temperatura, una velocidad de rotación de un eje, etc.). En ese caso debe determinarse en cada momento, y con precisión, la "intensidad de la actuación" (tensión sobre el motor, grado de apertura de la válvula, cantidad de potencia calorífica liberada por el calefactor, etc.) para que dicha variable reaccione a nuestras órdenes con celeridad y suavidad. Para conseguirlo debe plantearse una "realimentación", que consiste en comparar la medida de esa variable con la consigna, y decidir, mediante cálculos de "compensación", la intensidad de actuación necesaria. Si los cálculos no son los adecuados, aparecen problemas de naturaleza más compleja relacionados con la estabilidad del sistema realimentado. Esta es la problemática propia de la "ingeniería de control", y en particular de la asignatura "Control Digital". *Se puede decir que el "Control Digital" trata con el problema dinámico de la realimentación y el diseño adecuado de los algoritmos de compensación, de ejecución síncrona, que deben garantizar exactitud, velocidad y robustez en la regulación de una variable.*

Aunque la "ingeniería de control" es sólo una parte dentro de la "automatización" (pues sólo a veces es necesario resolver una regulación mediante realimentación cuando se pretende automatizar un proceso industrial), también la ingeniería de control juega un papel esencial en el desarrollo de circuitos, equipos y sistemas electrónicos, fuera o dentro del ámbito industrial. En buena parte de los sistemas electrónicos (juguetes, electrónica de consumo, equipos de medida, maquinaria industrial, etc.) deben resolverse realimentaciones en subsistemas o incluso como finalidad última o función básica del sistema/equipo electrónico. En estos casos, el control se implementa, la mayoría de las veces, mediante el uso de microprocesadores (microcontroladores, DSP's, FPGA's, etc.) embebidos en el equipo.

En definitiva, la formación del alumno en "Control Digital" es esencial tanto para el ingeniero de sistemas o de procesos que pretenda automatizar una instalación industrial, como para el ingeniero electrónico que pretenda desarrollar equipos electrónicos.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Relación con otras asignaturas de la misma titulación

No se han especificado restricciones de matrícula con otras asignaturas del plan de estudios.

Otros tipos de requisitos

Los conocimientos básicos previos, necesarios para seguir el curso de la asignatura, son los que se adquieren en las asignaturas de Matemáticas (a destacar la variable compleja) y Física (especialmente la mecánica) de primer curso, y los impartidos en la asignatura Dinámica y Control (especialmente los conceptos de función de transferencia, respuesta en frecuencia y diagramas de bloques). Es recomendable la formación en instrumentación y en electrónica analógica y digital.



COMPETENCIAS

1404 - Grado de Ingeniería Electrónica Industrial

- CG3 - Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
- CG4 - Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial (con la tecnología específica de Electrónica Industrial).
- CG6 - Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.
- CE7 - Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas.
- CE8 - Conocimientos de regulación automática y técnicas de control y su aplicación a la automatización industrial.
- CE11 - Capacidad para diseñar sistemas de control y automatización industrial.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

El resultado del aprendizaje tras haber realizado la asignatura “Control Digital” se sintetiza en las siguientes capacidades:

- Ser capaz de elegir la frecuencia de muestreo del control digital para cada aplicación (CG4, CG6, CE11).
- Saber obtener el modelo discretizado de un proceso continuo a controlar (CG3, CE7).
- Saber analizar la estabilidad de un sistema de control digital, y determinar su robustez prevista en términos de márgenes de estabilidad (CG6, CE8, CE11).
- Saber elegir la estructura de compensación más adecuada, y diseñarla en base a unas especificaciones de lazo cerrado (CG4, CG6).
- Saber concretar el compensador digital dando sus ecuaciones en diferencias, y saber programarlas en un dispositivo controlador (CG4, CE11).
- Saber sintonizar una compensación PID discreta mediante técnicas basadas en medida (CG4, CG6, CE8, CE11).

DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

1. Introducción al Control Digital

- Introducción: Objetivo, estructura y funcionamiento del control digital.
- Señales discretas: Discretizador temporal. Transformada Z y sus propiedades. Señales discretas básicas. Teoremas del valor inicial y final.
- Sistemas discretos: Ecuaciones en diferencias finitas. Causalidad. Función de transferencia en Z.
- Solución de las ecuaciones en diferencias: respuesta impulsional y respuesta al escalón.
- Estabilidad de los sistemas discretos.



- Respuesta en frecuencia. Teorema del muestreo. Diagrama de Bode.

2. Discretización de Sistemas Continuos

- Introducción.
- Modelo de la conversión A/D.
- Codificación entera y codificación en coma flotante.
- Modelo de la conversión D/A. DACs y salidas PWM.
- Representación por diagrama de bloques. Ejemplos prácticos.
- Modelización mediante método experimental.
- Modelo del retenedor de orden cero (ZOH).
- Sistema discreto equivalente: Discretización de sistemas continuos por el método del retenedor de orden cero. Casos y ejemplos prácticos.

3. Análisis de los Sistemas Discretos Realimentados

- Introducción.
- Análisis estático: Rango controlable. Error de salida. Errores unitarios. Ejemplos prácticos.
- Relación entre respuesta transitoria y polos en Z. Diseño de polos en el plano Z.
- Análisis de la estabilidad absoluta: Método directo. Criterio de estabilidad de Jury. Ejemplos prácticos.
- Análisis de la estabilidad relativa: Criterio de estabilidad de Nyquist. Transformación de Tustin. Dibujo del Bode asintótico de la ganancia de lazo. Márgenes de fase y de ganancia. Criterio de diseño del periodo de muestreo. Ejemplos prácticos.
- El Lugar de las Raíces discreto: Condiciones del argumento y del módulo. Reglas de dibujo. Ejemplos prácticos.

4. Compensadores Discretos

- Introducción.
- Familia de compensadores PID: compensadores P, I (Forward Euler, Backward Euler y Trapezoidal), D, PD, PI y PID. Representación en Z y en el dominio de Tustin. Comparativa PI - PID. Implementación paralela estándar.
- Otros compensadores: Compensador de adelanto, compensador de atraso y compensador PI+polo. Implementaciones directa y paralela. Ejemplos.

5. Diseño Frecuencial de Compensadores Discretos

- Introducción.
- Timers y salidas PWM en microcontroladores: Ajuste del periodo de muestreo. Configuración PWM.
- Diseño frecuencial asintótico de compensadores PI. Limitación anti-windup. Ejemplos prácticos. Programación del control en microcontrolador.
- Diseño frecuencial asintótico de compensadores PID. Ejemplos prácticos. Programación.
- Diseño frecuencial analítico de compensadores PI. Ejemplos prácticos. Programación.
- Diseño frecuencial analítico de compensadores PI+polo y adelanto. Método de cancelación. Método de fase máxima. Ejemplos prácticos. Programación.

**6. Diseño de Compensadores en el Lugar de las Raíces**

- Introducción. Expresiones para el diseño de los polos dominantes.
- Estrategias de diseño sobre el lugar de las raíces. Casos: sistema de primer orden, de segundo orden sobreamortiguado, de segundo orden subamortiguado y de segundo orden integrador.
- Diseño en el lugar de las raíces de compensadores PI. Ejemplos prácticos. Programación del control en microcontrolador.
- Diseño en el lugar de las raíces de compensadores PI+polo. Ejemplos prácticos. Programación.
- Diseño en el lugar de las raíces de compensadores PID. Ejemplos prácticos. Programación.

VOLUMEN DE TRABAJO

ACTIVIDAD	Horas	% Presencial
Clases de teoría	30,00	100
Prácticas en laboratorio	20,00	100
Prácticas en aula	10,00	100
Elaboración de trabajos en grupo	15,00	0
Estudio y trabajo autónomo	40,00	0
Lecturas de material complementario	5,00	0
Preparación de clases de teoría	5,00	0
Preparación de clases prácticas y de problemas	25,00	0
TOTAL	150,00	

METODOLOGÍA DOCENTE**CLASES DE TEORÍA.**

Las clases de teoría se impartirán de manera magistral. Tras la introducción de un contenido nuevo, se ilustrará su aplicación con ejemplos prácticos (CG3, CG6, CG23, CE7, CE8, CE11). Después, el profesor podrá proponer un problema relacionado para su realización no presencial (CG3, CG4, CG6, CG23, CE7, CE8, CE11), que se resolverá en la siguiente clase de problemas.

CLASES DE PROBLEMAS.

Durante las clases de problemas el profesor resolverá problemas-ejemplo y todos los problemas propuestos a los alumnos para su realización no presencial.

CLASES DE LABORATORIO.

Se impartirán en los laboratorios del centro. La realización de las prácticas requerirá de equipos electrónicos específicos y ordenadores. Los alumnos se organizarán en grupos de 2 o 3 alumnos. Las prácticas dispondrán de un guión descriptivo de las mismas.



EVALUACIÓN

En primera convocatoria el alumno podrá elegir entre dos modalidades de evaluación: evaluación continua o evaluación por examen final. En segunda convocatoria el alumno siempre será evaluado por la modalidad de examen final. Ambas modalidades se detallan a continuación.

a) Modalidad de EVALUACIÓN CONTINUA:

- Evaluación de teoría-problemas:

Se realizarán 2 exámenes parciales: el primero a mitad de cuatrimestre, y el segundo el día fijado por el centro para la realización del examen de primera convocatoria. Los alumnos que aprueben el primer parcial sólo tendrán que examinarse de los contenidos de la segunda parte de la asignatura en el segundo parcial, y su nota de Teoría-Problemas (*nota_teorpro*) se obtendrá como media aritmética de ambos parciales. Los alumnos que suspendan el primer parcial tendrán que examinarse de toda la asignatura en el segundo parcial, obteniendo *nota_teorpro* directamente de ese examen.

- Evaluación de laboratorio:

Se realizará la evaluación continua de las prácticas de laboratorio y se obtendrá *nota_prac* como media aritmética de todas ellas.

Se realizará un examen de laboratorio, que en caso de aprobarse determina *nota_test*. En caso contrario *nota_test* = 0.

La calificación final de laboratorio se calculará como:

$$nota_{lab} = 0.7 * nota_{prac} + 0.3 * nota_{test}.$$

b) Modalidad de EXAMEN FINAL:

Se realizará un examen final de teoría-problemas y otro de laboratorio en la fecha fijada por el centro, obteniéndose directamente *nota_teorpro* y *nota_lab* de dichos exámenes. Para poder acogerse a esta modalidad en primera convocatoria, el alumno deberá indicarlo al profesor de laboratorio al inicio de las clases, evitando ser evaluado por éste de forma continua, y no deberá realizar el primer examen parcial de teoría-problemas.

Independientemente de la modalidad de evaluación elegida, será necesario un mínimo de 5 tanto en teoría-problemas (*nota_teorpro*) como en laboratorio (*nota_lab*) para aprobar. En ese caso la nota final de la asignatura se obtendrá de la siguiente manera:

$$Nota_{final} = (2 * nota_{teorpro} + nota_{lab}) / 3.$$

En caso contrario: $Nota_{final} = \min(nota_{teorpro}, nota_{lab})$.

En cualquier caso, el sistema de evaluación se regirá por lo establecido en el Reglamento de Evaluación i Calificación de la Universitat de València para Grados i Masters.



REFERENCIAS

Básicas

- b1: Digital Control Engineering. M. Sami Fadali; Antonio Visioli. Ed. Elsevier, Academic Press. ISBN: 978-0-12-374498-2.
<http://proquest.safaribooksonline.com/9780123744982?uicode=valencia>
- b2: Microcontroller Based Applied Digital Control. Dogan Ibrahim. Ed. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-470-86335-0. ISBN (e-book): 0-470863-35-8.
<http://proquest.safaribooksonline.com/9780470863350>
- b3: Sistemas de Control en Tiempo Discreto. Katsuhiko Ogata. Ed. Prentice-Hall. ISBN: 9789688805398.
- b4: Digital Control. Kannan Moudgalya. Ed. Wiley-Interscience. ISBN: 0-470031-43-3.
<http://proquest.safaribooksonline.com/9780470031438?uicode=valencia>

Complementarias

- c1: Ingenieria de Control Moderna. Katsuhiko Ogata. Ed. Pearson. ISBN: 9788483226605. ISBN (e-book): 9788483229552.
http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=1259
- c2: Control de Sistemas Dinámicos con Realimentación. Gene F. Franklin. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. ISBN: 0-201-64421-5.