

**FITXA IDENTIFICATIVA****Dades de l'Assignatura**

Codi	34943
Nom	Control digital
Cicle	Grau
Crèdits ECTS	6.0
Curs acadèmic	2022 - 2023

Titulació/titulacions

Titulació	Centre	Curs	Període
1404 - Grau d'Enginyeria Electrònica Industrial	Escola Tècnica Superior d'Enginyeria	3	Segon quadrimestre

Matèries

Titulació	Matèria	Caràcter
1404 - Grau d'Enginyeria Electrònica Industrial	18 - Automatització i control industrial	Obligatòria

Coordinació

Nom	Departament
ESPI HUERTA, JOSE MIGUEL	242 - Enginyeria Electrònica

RESUM

Aquesta és una assignatura de caràcter obligatori, que s'imparteix en el segon quadrimestre del tercer curs de la titulació de Grau en Enginyeria Electrònica Industrial. La càrrega lectiva total és de 6 ECTS. La càrrega de treball per l'alumne és de 150 hores al llarg del quadrimestre, de les quals 60 són presencials o d'aula i 90 són de treball no presencial o fora de l'aula. L'assignatura "Control Digital" forma part de la matèria "Automatització i Control Industrial".

La "Automatització" és un concepte global que persegueix la realització de tasques (en el nostre cas "industrials" o associades amb processos propis de la indústria) de manera "automàtica", és a dir, sense la necessitat que l'home sigui part activa de elles, ni en la presa de decisions (quina tasca fer), ni en la realització de la tasca mateixa (actuació). L'home passa a ser un simple agent supervisor del procés automatitzat.



Habitualment, en l'entorn industrial, la presa de decisions es resol mitjançant un dispositiu anomenat PLC o "autòmat programable", que rep les consignes de l'operari i la informació de l'entorn (a través dels sensors), i que decideix en cada moment la acció sobre el/s actuador/s (vàlvules, motors, calefactores, etc.). La majoria de les vegades, només cal programar en el PLC una estructura de màquina d'estats o autòmat, on les ordres de l'operari i l'estat del procés determinen una acció simple d'activació / desactivació sobre els actuadors.

No obstant això, sovint, en la planificació d'una automatització, cal fer la "regulació" d'una variable d'un subprocés, o del procés principal. És a dir, pot ser necessari mantenir governada a voluntat una variable física (una distància, una temperatura, una velocitat de rotació d'un eix, etc.). En aquest cas s'ha de determinar en cada moment, i amb precisió, la "intensitat de l'actuació" (tensió sobre el motor, grau d'obertura de la vàlvula, quantitat de potència calorífica alliberada pel calefactor, etc.) perquè aquesta variable reaccioni a les nostres ordres amb celeritat i suavitat. Per aconseguir-ho s'ha de plantejar una "realimentació", que consisteix a comparar la mesura d'aquesta variable amb la consigna, i decidir, mitjançant càlculs de "compensació", la intensitat d'actuació necessària. Si els càlculs no són els adequats, apareixen problemes de naturalesa més complexa relacionats amb l'estabilitat del sistema realimentat. Aquesta és la problemàtica pròpia de la "enginyeria de control", i en particular de l'assignatura "Control Digital". Es pot dir que el "Control Digital" tracta amb el problema dinàmic de la realimentació i el disseny adequat dels algorismes de compensació, d'execució síncrona, que han de garantir exactitud, velocitat i robustesa en la regulació d'una variable.

Encara que la "enginyeria de control" és només una part dins de la "automatització" (ja que només de vegades cal resoldre una regulació mitjançant realimentació quan es pretén automatitzar un procés industrial), també l'enginyeria de control juga un paper essencial en el desenvolupament de circuits, equips i sistemes electrònics, fora o dins l'àmbit industrial. En bona part dels sistemes electrònics (joguines, electrònica de consum, equips de mesura, maquinària industrial, etc.) s'han de resoldre realimentacions en subsistemes o fins i tot com a finalitat última o funció bàsica del sistema / equip electrònic. En aquests casos, el control s'implementa, la majoria de les vegades, mitjançant l'ús de microprocessadors (microcontroladors, DSP 's, FPGA s, etc.) embeguts en l'equip.

En definitiva, la formació de l'alumne en "Control Digital" és essencial tant per l'enginyer de sistemes o de processos que pretengui automatitzar una instal·lació industrial, com per l'enginyer electrònic que pretengui desenvolupar equips electrònics.

CONEIXEMENTS PREVIS

Relació amb altres assignatures de la mateixa titulació

No heu especificat les restriccions de matrícula amb altres assignatures del pla d'estudis.

Altres tipus de requisits

Els coneixements bàsics previs, necessaris per seguir el curs de l'assignatura, són els que s'adquireixen en les assignatures de Matemàtiques (a destacar la variable complexa) i Física (especialment la mecànica) de primer curs, i els impartits en l'assignatura "Dinàmica i Control" (especialment els conceptes de funció de transferència, resposta en freqüència i diagrames de blocs). És recomanable la formació en instrumentació i en electrònica analògica i digital.



COMPETÈNCIES

1404 - Grau d'Enginyeria Electrònica Industrial

- CG3 - Coneixement en matèries bàsiques i tecnològiques, que els capacite per a l'aprenentatge de nous mètodes i teories, i els dote de versatilitat per adaptar-se a noves situacions.
- CG4 - Capacitat de resoldre problemes amb iniciativa, presa de decisions, creativitat, raonament crític i de comunicar i transmetre coneixements, habilitats i destreses en el camp de l'enginyeria industrial (amb la tecnologia específica d'electrònica industrial)
- CG6 - Capacitat per al maneig d'especificacions, reglaments i normes d'obligat compliment.
- CE7 - Coneixement i capacitat per al modelatge i la simulació de sistemes.
- CE8 - Coneixements de regulació automàtica i tècniques de control i la seua aplicació a l'automatització industrial.
- CE11 - Capacitat de dissenyar sistemes de control i automatització industrial

RESULTATS DE L'APRENTATGE

El resultat de l'aprenentatge després d'haver realitzat l'assignatura "Control Digital" es sintetitza en les següents capacitats:

- Ser capaç de triar la freqüència de mostreig del control digital per a cada aplicació (CG4, CG6, CE11).
- Saber obtenir el model discret d'un procés continu a controlar (CG3, CE7).
- Saber analitzar l'estabilitat d'un sistema de control digital, i determinar la seua robustesa prevista en termes de marges d'estabilitat (CG6, CE8, CE11).
- Saber triar l'estructura de compensació més adequada, i dissenyar-la en base a unes especificacions de llaç tancat (CG4, CG6).
- Saber concretar el compensador digital donant les seues equacions en diferències, i saber programarles en un dispositiu controlador (CG4, CE11).
- Saber sintonitzar una compensació PID discreta mitjançant tècniques basades en mesura (CG4, CG6, CE8, CE11).

DESCRIPCIÓ DE CONTINGUTS

1. Introducció al Control Digital

- Introducció: Objectiu, estructura i funcionament del control digital.
- Senyals discrets: Discretitzador temporal. Transformada Z i les seues propietats. Senyals discrets bàsics. Teoremes del valor inicial i final.
- Sistemes discrets: Equacions en diferències finites. Causalitat. Funció de transferència en Z.
- Solució de les equacions en diferències: resposta impulsional i resposta a l'escaló.



- Estabilitat dels sistemes discrets.
- Resposta en freqüència. Teorema del mostreig. Diagrama de Bode.

2. Discretització de Sistemes Continus

- Introducció.
- Model de la conversió A/D.
- Codificació sencera i codificació en coma flotant.
- Model de la conversió D/A. DACs i eixides PWM.
- Representació per diagrama de blocs. Exemples pràctics.
- Modelització mitjançant mètode experimental.
- Model del retenidor d'ordre zero (ZOH).
- Sistema discret equivalent: Discretització de sistemes continus pel mètode del retenidor d'ordre zero. Casos i exemples pràctics.

3. Anàlisi dels Sistemes Discrets Realimentats

- Introducció.
- Anàlisi estàtic: Rang controlable. Error d'eixida. Errors unitaris. Exemples pràctics.
- Relació entre resposta transitòria i pols en Z. Disseny de pols en el pla Z.
- Anàlisi de l'estabilitat absoluta: Mètode directe. Criteri d'estabilitat de Jury. Exemples pràctics.
- Anàlisi de l'estabilitat relativa: Criteri d'estabilitat de Nyquist. Transformació de Tustin. Dibuix del Bode asimptòtic del guany de llaç. Marges de fase i de guany. Criteri de disseny del període de mostreig. Exemples pràctics.
- El Lloc de les Arrels discret: Condicions de l'argument i del mòdul. Regles de dibuix. Exemples pràctics.

4. Compensadors Discrets

- Introducció.
- Família de compensadors PID: compensadors P, I (Forward Euler, Backward Euler i Trapezoidal), D, PD, PI i PID. Representació en Z i en el domini de Tustin. Comparativa PI - PID. Implementació paral·lela estàndard.
- Altres compensadors: Compensador d'avançament, compensador d'endarreriment i compensador PI+pol. Implementacions directa i paral·lela. Exemples.

5. Disseny Freqüencial de Compensadors Discrets

- Introducció.
- Timers i eixides PWM en microcontroladors: Ajust del període de mostreig. Configuració PWM.
- Disseny freqüencial asimptòtic de compensadors PI. Limitació anti-windup. Exemples pràctics. Programació del control en microcontrolador.
- Disseny freqüencial asimptòtic de compensadors PID. Exemples pràctics. Programació.
- Disseny freqüencial analític de compensadors PI. Exemples pràctics. Programació.
- Disseny freqüencial analític de compensadors PI+pol i avançament. Mètode de cancel·lació. Mètode



de fase màxima. Exemples pràctics. Programació.

6. Disseny de Compensadors en el Lloc de les Arrels

- Introducció. Expressions per al disseny dels pols dominants.
- Estratègies de disseny sobre el lloc de les arrels. Casos: sistema de primer ordre, de segon ordre sobreamortiguat, de segon ordre subamortiguat i de segon ordre integrador.
- Disseny en el lloc de les arrels de compensadors PI. Exemples pràctics. Programació del control en microcontrolador.
- Disseny en el lloc de les arrels de compensadors PI+pol. Exemples pràctics. Programació.
- Disseny en el lloc de les arrels de compensadors PID. Exemples pràctics. Programació.

VOLUM DE TREBALL

ACTIVITAT	Hores	% Presencial
Classes de teoria	30,00	100
Pràctiques en laboratori	20,00	100
Pràctiques en aula	10,00	100
Elaboració de treballs en grup	15,00	0
Estudi i treball autònom	40,00	0
Lectures de material complementari	5,00	0
Preparació de classes de teoria	5,00	0
Preparació de classes pràctiques i de problemes	25,00	0
TOTAL	150,00	

METODOLOGIA DOCENT

CLASSES DE TEORIA.

Les classes de teoria s'impartiran de manera magistral. Després de la introducció d'un contingut nou, s'il·lustrarà la seua aplicació amb exemples pràctics (CG3, CG6, CG23, CE7, CE8, CE11). Després, el professor podrà proposar un problema relacionat per a la seua realització no presencial (CG3, CG4, CG6, CG23, CE7, CE8, CE11), que es resoldrà en la següent classe de problemes.

CLASSES DE PROBLEMES.

Durant les classes de problemes el professor resoldrà problemes-exemple i tots els problemes proposats als alumnes per a la seua realització no presencial.

CLASSES DE LABORATORI.



S'impartiran en els laboratoris del centre. La realització de les pràctiques requerirà d'equips electrònics específics i ordinadors. Els alumnes s'organitzaran en grups de 2 o 3 alumnes. Les pràctiques disposaran d'un guió descriptiu d'aquestes.

AVALUACIÓ

En primera convocatòria l'alumne podrà triar entre dues modalitats d'avaluació: avaluació contínua o avaluació per examen final. En segona convocatòria l'alumne sempre serà avaluat per la modalitat d'examen final. Totes dues modalitats es detallen a continuació.

a) Modalitat d'AVALUACIÓ CONTÍNUA:

- Avaluació de teoria-problemes:

Es realitzaran 2 exàmens parcials: el primer a meitat de quadrimestre, i el segon el dia fixat pel centre per a la realització de l'examen de primera convocatòria. Els alumnes que aproven el primer parcial només hauran d'examinar-se dels continguts de la segona part de l'assignatura en el segon parcial, i la seua nota de Teoria-Problemes (*nota_teorpro*) s'obtindrà com a mitjana aritmètica de tots dos parcials. Els alumnes que suspenguin el primer parcial hauran d'examinar-se de tota l'assignatura en el segon parcial, obtenint *nota_teorpro* directament d'aqueix examen.

- Avaluació de laboratori:

Es realitzarà l'avaluació contínua de les pràctiques de laboratori i s'obtindrà *nota_prac* com a mitjana aritmètica de totes elles.

Es realitzarà un examen de laboratori, que en cas d'aprovar-se determina *nota_test*. En cas contrari *nota_test* = 0.

La qualificació final de laboratori es calcularà com:

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

b) Modalitat d'EXAMEN FINAL:

Es realitzarà un examen final de teoria-problemes i un altre de laboratori en la data fixada pel centre, obtenint-se directament *nota_teorpro* i *nota_lab* d'aquests exàmens. Per a poder acollir-se a aquesta modalitat en primera convocatòria, l'alumne haurà d'indicar-lo al professor de laboratori a l'inici de les classes, evitant ser avaluat per aquest de manera contínua, i no haurà de realitzar el primer examen parcial de teoria-problemes.

Independentment de la modalitat d'avaluació triada, serà necessari un mínim de 5 tant en teoria-problemes (*nota_teorpro*) com en laboratori (*nota_lab*) per a aprovar. En aqueix cas la nota final de l'assignatura s'obtindrà de la següent manera:



$Nota_final = (2 * nota_teorpro + nota_lab) / 3.$

En cas contrari: $Nota_final = \min(nota_teorpro, nota_lab).$

En qualsevol cas, el sistema d'avaluació es regirà pel que s'estableix en el Reglament d'Avaluació i Qualificació de la Universitat de València per a Graus i Masters.

REFERÈNCIES

Bàsiques

- 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>

Complementàries

- 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.