



Ministerio de Capital Humano
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Rosario

Rosario, 05 de marzo de 2024.-

VISTO el Expediente ID N° 8157473, relacionado con la presentación del Programa Analítico de la asignatura "Control Automático", correspondiente a la carrera Ingeniería en Energía Eléctrica – Plan 2023, y

CONSIDERANDO

Que la presentación realizada obedece a la implementación del nuevo Diseño Curricular aprobado por el Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Nacional – Ordenanza N° 1873.

Que dicho Programa Analítico cuenta con el aval del respectivo Consejo Departamental.

Que la Comisión de Enseñanza analizó el Expediente y aconsejó su aprobación.

Por ello y atento a las atribuciones otorgadas por el artículo 85° del Estatuto Universitario.

**EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD REGIONAL ROSARIO
DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**


RESUELVE:


ARTÍCULO 1°.- Aprobar el Programa Analítico de la asignatura "Control Automático" de la carrera Ingeniería en Energía Eléctrica – Plan 2023, que se agrega como Anexo I de la presente resolución.

ARTÍCULO 2°.- Regístrese. Comuníquese. Cumplido, archívese.

RESOLUCIÓN N° 141

UTN
FRRo
C.D.
S.R.


Ing. Rubén Fernando CICCARELLI
Decano


Ing. Antonio Luis MUIÑOS
Secretario Académico



Control Automático
PROGRAMA ANALITICO. PLAN 2023
Carrera: Ingeniería en Energía Eléctrica

1. Datos administrativos de la asignatura			
Asignatura:	Control Automático		
Nivel de la carrera:	4	Duración:	Anual
Plan	Plan 2023		
Bloque curricular:	Tecnologías Aplicadas		
Área:	Ingeniería de Aplicación		
Carga horaria presencial semanal: (hs cátedra)	5	Carga Horaria total: (hs reloj)	120
Carga horaria no presencial semanal (si correspondiese)	--	% horas no presenciales (si correspondiese)	--
Competencias	Específicas		
	CE1.1 - CE1.2 - CE1.3 - CE5.1 - CE5.2 - CE5.3		

2. Presentación, Fundamentación

El área del control en sí misma es una especialidad que históricamente se le asigna a los ingenieros en energía eléctrica o electrónica y que les posibilita un área de trabajo en grandes y medianas industrias. Por otra parte, una vez que han ganado experiencia en el tema no es impensable la alternativa de poder desarrollar su propia empresa en el área de control aplicado. Además, el aprendizaje de los conceptos básicos también involucra el conocimiento necesario para realizar modelos dinámicos de sistemas físicos reales. En este contexto, el enorme campo de aplicación que conlleva el conocimiento de modelar el efecto de variables que ingresan al sistema sobre las variables de salida del mismo se puede trasladar a sistemas biológicos, económicos, financieros, etc. Este último aspecto le proporciona un fuerte carácter de universalidad al modelado y control de sistemas ampliando en gran medida el espectro de aplicaciones a llevar a cabo.

- 3. Objetivos**
- Analizar el funcionamiento de un sistema de control lineal con realimentación negativa
 - Calcular los márgenes de estabilidad por medio del método de Bode.
 - Determinar la compensación de los sistemas para aumentar su estabilidad.
 - Diseñar un controlador PID –proporcional, integral, derivativo.
 - Aplicar el método de las "variables de estado".



- Programar sistemas simples de control en un PLC (controlador lógico programable).
- Emplear programas de simulación para el análisis de sistemas (Ej: -Simulink – Matlab)

4. Contenidos mínimos

- Función de transferencia. Grafos de señal. Diagramas en bloque.
- Realimentación.
- Régimen permanente. Entrada de referencia y perturbación o carga.
- Estabilidad. Criterios y su aplicación. Respuesta frecuencia Representación de Bode.
- Compensación en cascada y por realimentación.
- Representación de sistemas físicos mediante variables de estado. Matriz de estado. Ecuación retransición. Función retransferencia y autovalores.
- Observabilidad y controlabilidad de sistemas.
- Criterio de optimización de sistemas de control.

5. Asignaturas correlativas previas

Para cursar y rendir debe tener cursada:

- Electrotecnia II
- Fundamentos para el Análisis de Señales

Para cursar y rendir debe tener aprobada:

- Electrotecnia I
- Análisis Matemático II

6. Asignaturas correlativas posteriores

- Sistemas de Potencia
- Accionamientos y Controles Eléctricos
- Proyecto Final (integradora)

7. Programa analítico, Unidades temáticas

Unidad didáctica 1

Funciones de transferencia. Grafos de señal. Diagramas en bloque.

Modelado matemático de sistemas físicos. Repaso de los principales conceptos de la Transformada de Laplace. Obtención de funciones de transferencia de sistemas físicos. Funciones de respuesta impulsiva, al escalón y a la rampa. Funciones de transferencia de 1°, 2° orden. Funciones de órdenes superiores. Caracterización. Procedimiento para trazar diagramas de bloque. Reducción de diagramas en bloque. Grafos de señal. Definiciones. Propiedades de los grafos de señal. Álgebra de gráficos de flujo de señal. Representación gráfica de flujo de señal de sistemas lineales. Grafos de señal en sistemas de control.



Linearización de un modelo matemático no-lineal.

Unidad didáctica 2

Realimentación. Concepto de realimentación. Ejemplos de aplicación. Tipos de controladores industriales de realimentación. Control proporcional (P), proporcional-integral (PI), proporcional-integral-derivativo (PID). Elementos de medición (sensores). Líneas de transmisión. Elementos de acción final de control. Comportamiento dinámico de sistemas con control realimentados. Diagrama en bloques de la respuesta a lazo cerrado. Análisis en el dominio de la variable compleja S (de Laplace) del efecto de las acciones de control P, PI y PID a lazo cerrado aplicados a sistemas de 1° y 2° orden. Criterios de selección de controladores en estructuras retroalimentadas. Normas ISA

Unidad didáctica 3

Régimen permanente. Entrada de referencia y perturbación. Estudio del efecto en el comportamiento dinámico y de estado estacionario de los sistemas controlados con realimentación frente a cambios en la referencia (servo comportamiento) y en la carga (comportamiento regulador). Análisis del aporte de cada parámetro del controlador en la respuesta dinámica y de estado estacionario del sistema. Comparación con las respuestas del sistema sin controlar. Métodos de ajuste en el dominio temporal. Índices de error como medida del desempeño de los controladores según los parámetros de ajuste seleccionados.

Unidad didáctica 4

Estabilidad. Criterios y su aplicación. Respuesta frecuencial. Representación por Bode. Noción de estabilidad. La ecuación característica. Criterio de estabilidad de Routh –Hurwitz. Análisis de estabilidad por el método del lugar de raíces. Respuesta en frecuencia de sistemas de primer orden con entrada senoidal. Características de la respuesta en frecuencia de sistemas lineales. Diagramas de Bode. Diagramas de Nyquist. Diseño de controladores con retroalimentación en el dominio frecuencial aplicando criterios de estabilidad. Márgenes de ganancia y fase.

Unidad didáctica 5

Introducción al control avanzado tradicional. Diseño de controladores en avance o “feedforward” para contrarrestar el efecto de las perturbaciones. Diseño de controladores en avance y combinado con retroalimentación. Comparación de las ventajas a través de los índices de performance. Control por relación (Ratio control) como un caso especial del control en avance. Ventajas y desventajas del uso de control



en avance. Comparación con el control realimentado. Diseño de control realimentado con compensación de tiempo muerto (Compensador de Smith) y respuesta inversa. Diseño de control con múltiples lazos control en cascada. Control Selectivo. Control de rango dividido. Ejemplos de aplicación industrial.

Interacción y desacopladores: descripción del efecto de interacción entre lazos de control. Efecto de la interacción sobre la estabilidad del sistema global. Selección del apareamiento entre los lazos mediante la matriz de ganancia relativa (RGA). Diseño de lazos no interactuantes mediante el uso de desacopladores. Ventajas y desventajas del uso de desacopladores.

Unidad didáctica 6

Compensación en cascada y por realimentación.

Especificaciones de funcionamiento. Modificación de la dinámica de la planta. Compensación del sistema. Compensación en cascada o serie y compensación por realimentación o paralelo. Compensadores. Procedimientos de diseño de compensadores. Método del lugar de raíces aplicado a sistemas de control. Efecto de la adición de polos y ceros. Método de la respuesta en frecuencia aplicado a sistemas de control. Información obtenible de la respuesta en frecuencia de lazo abierto. Requerimientos de la respuesta en frecuencia de lazo abierto. Compensación en adelanto, atraso y adelanto- atraso. Técnicas de compensación basadas en el método del lugar de raíces y de la respuesta en frecuencia. Comparación de las compensaciones adelanto, atraso y adelanto- atraso. Cancelación de polos indeseables reales y complejos conjugados. Compensación por realimentación. Eliminación de efectos indeseables (perturbaciones).

Unidad didáctica 7

Representación de sistemas físicos mediante variables de estado. Matriz de estado. Ecuación de transición. Función de transferencia. Autovalores.

Limitaciones de la teoría del control convencional Principales conceptos y objetivos de la teoría de control moderna. Definiciones de estado, variables de estado, vector de estado, espacio de estado. Análisis de sistemas complejos. Representación de sistemas físicos en el espacio de estado. Carácter de no unicidad del conjunto de variables de estado para un sistema dado. Autovalores de una matriz. Invariancia de los autovalores. Resolución de la ecuación de estado invariante en el tiempo. Matriz de transferencia. Sistemas lineales variables en el tiempo. Matriz de transición de estado. Propiedades. Solución de ecuaciones de estado variantes en el tiempo.



Unidad didáctica 8

Controlabilidad y observabilidad. Principales conceptos y objetivos de la controlabilidad y observabilidad de sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas. Independencia lineal de vectores. Controlabilidad de estado completo en sistemas de tiempo continuo. Forma alternativa de la condición de controlabilidad completa de estado. Condición de controlabilidad de estado completa en el plano s . Controlabilidad de salida. Observabilidad de estado completo en sistemas de tiempo continuo. Forma alternativa de la condición de observabilidad completa de estado. Condiciones de observabilidad de estado completa en el plano s . Observabilidad de salida. Relaciones entre observabilidad, controlabilidad y función de transferencia.

Unidad didáctica 9

Criterio de optimización de sistemas de control.

Sistemas de control de tiempo óptimo de sistemas de tiempo continuo con señales de control acotadas. Comentarios sobre el control de tiempo óptimo en sistemas de control de orden superior. Sistemas de control óptimo basados en índices de comportamiento estadístico cuadrático. Problemas de optimización de parámetros resueltos por el segundo método de Liapunov.

8. Referencias bibliográficas (citadas según Normas APA)

Bibliografía obligatoria, optativa y otros materiales del curso.

Básica del alumno

- "Ingeniería de control moderna" K. Ogata. 3°, 4°, 5° edición . Prentice- Hall
- "Sistemas de control automático" B. Kuo. 9° edición. Prentice- Hall
- "Control System Design", Goodwin G., Graebe S. y Salgado M. 2000
- "PID controllers". Åström K. and T. Häggglund, (1995) ISA.

Del docente y de consulta del alumno (optativa)

- "PID controllers". Åström K. and T. Häggglund, (1995) ISA.
- "Designing Process and Control Systems for Dynamic Performance" Marlin T., Process Control., McGraw-Hill Inc., 1995
- "Process Dynamics, Modeling and Control" Ogunnaike B. y H. Ray Oxford University Press, 1994
- "Process, Dynamics and Control", Seborg D., T. Edgar, y D. A. Mellichamp John Wiley & Sons 1989.
- "Control System Design", Goodwin G., Graebe S. y Salgado M. 2000



- "Propuesta De Una Metodología Para La Enseñanza Del Control De Plantas Completas". Basualdo Marta, Ruiz Diego, Sequeira Sebastian, Pedrido Javier. VIII Reunión De Trabajo En Procesamiento De La Información Y Control (RPIC'99). Mar del Plata. Argentina. Septiembre 1999
- "Ingeniería de control moderna" K. Ogata. 3° , 4° y 5° edición . Prentice- Hall
- "Sistemas de control automático" B. Kuo. 9° edición. Prentice- Hall
- "Designing linear control system with MATLAB" K. Ogata. MATLAB curriculum series. Prentice- Hall
- "Enseñanza del diseño de controladores empleando simulación dinámica de procesos como herramienta pedagógica". Basualdo M.S, Strifezza J.J., Salcedo B. J., González R. D. y Ruiz. C. pp. 90-100. Revista Instrumentación y control automático. Editorial Control SRL, N° 86. 1997
- "Tunning Method for interactive multiloop IMC, PI and PID controlers" Basualdo M.S. y Marchetti J. 1990. Chemical Eng. Communications Vol.97, páginas 47-74.
- "Dynamic Simulation of Chemical Process as a Tool to Teach The Real Problem of Identification and Control". Basualdo M. S Proceedings of Frontiers in Education Control (Engineering Education in the 21st. Century) FIE'95. IEEE. 1-5/11/95. Atlanta GA. USA.
- "Basic Control Education by Using a Rigorous Process Model Simulation". Basualdo M. S. IASTED International Conference on Modelling and Simulation. Abril/1996. Pennsylvania USA.
- "La simulación dinámica de procesos para la enseñanza de control; 1.Aplicación al control predictivo." Strifezza J.J., Basualdo M. S. y Ruiz. C. Anales del 7° Congreso Latinoamericano de Control Automático. pp. Vol. 2. Bs. As. Sep. 1996.
- "Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice". Stephanopoulos G. (1984) Prentice Hall , Englewood Cliffs, NJ.
- Revistas: Instrumentación y Control Automático. Editorial Control
- Diferentes Actas de Congresos internacionales de la International Federation of Automatic Control (IFAC) y de la IEEE accesibles de la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Técnica.
- A. Khadi-Sedig and B. Moaveni, Control Configuration Selection for Multivariable Plants, Editors: M. Thoma, F. Allgöwer, M. Morari, Springer-Verlag, UK, 2009.
- Zumoffen, D., Basualdo, M., Monitoreo, Detección de Fallas y Control de Procesos Industriales, primera Edition AADECA. 2010.
- M. Basualdo, D. Feroldi, and R. Outbib, PEM Fuel Cells with Bio-ethanol Processor



Systems, ISBN: 978-1-84996-183-7 (Print) 978-1-84996-184-4 (Online) Springer, 2011.

- On a New Measure of Interaction for Multivariable Process Control, E. H. Bristol IEEE publication. 1966
- RGA 1977: Dynamic Effects Of Interaction. E. H. Bristol IEEE publication 1977

9. Metodologías de Enseñanza-Aprendizaje y de Evaluación

Se abordaran estrategias coherentes con las competencias que tienen que lograr los/las estudiantes de acuerdo a los lineamientos señalados en el apartado 6 del Diseño Curricular de la carrera Ingeniería en Energía Eléctrica y, tal como se destaca, teniendo en cuenta la participación activa de los/las estudiantes en el aula.

Se configuraran también estrategias de evaluación formativas y sumativas, enunciándose las formas e instrumentos de evaluación a utilizar para poder acreditar el desarrollo de las competencias indicadas en los niveles esperados. El régimen de aprobación considerara el cumplimiento de la Normativa vigente que incluye las modalidades de aprobación directa, aprobación no directa (regularización) y examen final de la asignatura.

Todos los apartados señalados más arriba se describen en detalle en el plan anual de actividades de la asignatura.