

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura:	Control II
Carrera:	Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica
Clave de la asignatura:	AEF-1010
SATCA ¹	3 - 2 - 5

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

La asignatura de Ingeniería de Control II sustenta en el perfil del Ingeniero Eléctrico e Ingeniero Electrónico las competencias necesarias para el análisis de respuesta a la frecuencia, diseño de compensadores y las herramientas básicas del análisis de los sistemas automáticos de control mediante el concepto de estado.

El análisis permite incorporar dentro del campo de la ingeniería eléctrica o electrónica los diferentes elementos que integran un sistema automático de control que requieren un desarrollo previo de su respuesta ante entradas senoidales a diferentes frecuencias.

Además, es necesario comprender y aplicar los diferentes métodos de compensación clásicos a estos sistemas y por último, debido a que la mayoría de las aplicaciones son de dimensiones complejas se dificulta su análisis desde el punto de vista del control clásico, razón por la cual, se presenta una alternativa a través del análisis de espacio de estado, herramienta que le será útil para analizar redes grandes, así como sistemas integrados de la industria.

La asignatura de control II es previa al estudio de materias como control de máquinas, sistemas eléctricos de potencia, controladores lógicos programables e instrumentación, razón por la cual su ubicación es en los semestres intermedios proporcionando soporte a estas asignaturas.

Intención didáctica.

Los temas que integran esta asignatura, han sido organizados en tres unidades de tal manera que se dé continuidad a la asignatura de ingeniería de control I, ya que su amplio contenido no permite su comprensión en una sola asignatura y los temas respuesta a la frecuencia y diseño de compensadores del control clásico se han propuesto en esta segunda asignatura de control.

Por otro lado, se presenta una introducción al control moderno, con el propósito de proveer al estudiante de las herramientas de esta disciplina y las bases suficientes para el análisis de sistemas integrados.

En la primera unidad se presenta una introducción al análisis de la respuesta a la

¹ Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

frecuencia, posteriormente se hace referencia a la relación que existe entre el análisis de redes eléctricas mediante el uso de fasores. Lo anterior con el propósito de enlazar los contenidos de la asignatura de Análisis de circuitos II con el contenido de esta asignatura y observar sus ventajas y desventajas. Posteriormente se presenta al análisis de respuesta a la frecuencia a partir de la ubicación de polos y ceros en el plano complejo, lo cual permite enlazar los conocimientos de la clase de Ingeniería de control I con los contenidos de esta asignatura. En el siguiente tema se presentan los métodos de análisis de Bode y de Nyquist que facilitan el estudio de la respuesta en frecuencia. Por último se presenta el análisis de estabilidad utilizando los métodos aquí estudiados mediante el análisis de margen de fase y de margen de ganancia. Estos temas permiten que el estudiante tenga los conocimientos, destrezas y habilidades que requiere para determinar el comportamiento ante entradas senoidales de cualquier dispositivo o sistema de control, para su posterior aplicación en el campo profesional.

En la segunda unidad, se presenta el diseño de compensadores en adelanto, atraso y atraso – adelanto, utilizando los métodos de lugar geométrico de las raíces y de la respuesta a la frecuencia. El propósito de esta unidad está enfocado a que el estudiante pueda integrar un controlador del tipo eléctrico, electrónico o mecánico, en una aplicación que así lo requiera con elementos simples y comprendiendo su funcionamiento.

En la tercera unidad se presenta la filosofía del espacio de estado en la modelación, solución y compensación de sistemas lineales invariantes en el tiempo, las diferentes formas canónicas de representarlos y la solución de la ecuación de estado lineal e invariante en el tiempo con al menos una entrada y al menos una salida.

Las prácticas propuestas para esta asignatura están dirigidas al desarrollo de las habilidades de los estudiantes para la experimentación a través del uso de dispositivos eléctricos o electrónicos, que le permitan concatenar los conocimientos teóricos con lo que se aprende en clase y su desarrollo procedimental a través del trabajo colaborativo, identificando las necesidades que requiere para la comprensión de los temas tratados. Es necesario que el profesor diseñe los experimentos adecuados que le permitan al estudiante su desarrollo intelectual, de análisis y síntesis mediante la integración de actividades con cierto grado de complejidad.

Se propone que las actividades de experimentación se realicen a la par del desarrollo de las unidades temáticas con la intención de una mejor comprensión de los temas tratados, que permitan el desarrollo conceptual como procedimental de los estudiantes.

En las actividades de aprendizaje propuestas, se presenta una guía que puede ser mejorada por los docentes que imparten la materia de acuerdo con su experiencia. Se presentan sugerencias que algunos docentes utilizan y que han dado resultados, sin embargo, cada protagonista es libre de elegir la metodología necesaria que le permita alcanzar el aprendizaje significativo en sus estudiantes.

Preferentemente los profesores deberán de partir de conocimientos previos y de situaciones cotidianas que permitan al estudiante interesarse en la modelación, análisis y síntesis de sistemas de control automático y de la aplicación de las técnicas que se adquirirán en esta materia. También es importante hacer hincapié en la reflexión de los temas tratados mediante la investigación, empleando las tecnologías de la información y comunicación a través de aplicaciones de diversa índole.

Durante el desarrollo de las actividades programadas en la asignatura es muy importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva particularmente a cabo y entienda que está construyendo su conocimiento, aprecie la importancia del mismo y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión, la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo, el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía y en consecuencia actúe de manera profesional.

Es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en estos aspectos y los considere en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura.

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p>Competencias específicas:</p> <p>Analizar y diseñar sistemas de control utilizando los métodos de respuesta a la frecuencia para el diseño de controladores, así como el uso de la teoría de control moderno para el control de sistemas automáticos.</p>	<p>Competencias genéricas:</p> <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de análisis y síntesis• Capacidad de organizar y planificar• Conocimientos básicos de la carrera• Comunicación oral y escrita• Habilidades básicas de manejo de la computadora• Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas• Solución de problemas• Toma de decisiones. <p>Competencias interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad crítica y autocrítica• Trabajo en equipo• Habilidades interpersonales• Compromiso ético <p>Competencias sistémicas</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica• Habilidades de investigación• Capacidad de aprender• Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)• Habilidad para trabajar en forma autónoma• Capacidad para diseñar y gestionar proyectos• Iniciativa y espíritu emprendedor• Preocupación por la calidad• Búsqueda del logro
---	--

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Irapuato, Guanajuato, 24 al 28 de agosto de 2009.	Tecnológicos participantes	Reunión de Diseño curricular de la carrera de Ingeniería eléctrica del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica.
Institutos Tecnológicos de: Saltillo, La Laguna, Aguascalientes, Orizaba Chetumal 01 de Septiembre de 2009 al 22 de Enero de 2010	Representantes de la Academia de Ingeniería Eléctrica.	Análisis, enriquecimiento y elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la carrera de Ingeniería Eléctrica.
Mexicali, Baja California Norte, 25 al 29 de Enero de 2010	Representantes de los Institutos Tecnológicos participantes en el diseño de la carrera de Ingeniería Eléctrica	Reunión nacional de consolidación de la carrera de ingeniería eléctrica.

5.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO

Analizar y diseñar sistemas de control utilizando los métodos de respuesta a la frecuencia para el diseño de controladores, así como el uso de la teoría de control moderno para el control de sistemas automáticos.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Comprender y utilizar los conceptos básicos de control clásico para el análisis y modelado de sistemas físicos.
- Conocer, comprender y aplicar los conceptos y leyes fundamentales que se emplean en el análisis en estado permanente de circuitos eléctricos excitados con corriente alterna, con apoyo de herramientas de análisis y simulación.
- Utilizar software de simulación (Matlab y CC)

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Respuesta a la Frecuencia	1.1 Introducción a la respuesta a la frecuencia. 1.2 Uso de los fasores para determinar la respuesta a una frecuencia de un sistema. 1.3 Gráficas rectangulares y polares. 1.4 Respuesta a la frecuencia a partir de polos y ceros. 1.5 Gráfica logarítmica de Bode. 1.6 Margen de fase y margen de ganancia. 1.7 Estabilidad utilizando el criterio de Nyquist.
2	Compensación	2.1 Introducción a la compensación de sistemas automáticos de control. 2.2 Compensadores en adelanto de fase usando el método de lugar geométrico de las raíces. 2.3 Compensadores en adelanto de fase usando el método de respuesta a la frecuencia. 2.4 Compensadores en atraso de fase usando el método de lugar geométrico de las raíces. 2.5 Compensadores en atraso de fase usando el método de respuesta a la frecuencia. 2.6 Compensadores en atraso - adelanto usando el método de lugar geométrico de las raíces. 2.7 Compensadores en atraso - adelanto usando el método de respuesta a la frecuencia.
3	El método de espacio de estado	3.1 Definición de conceptos. 3.2 Representación de sistemas físicos mediante variables de estado. 3.3 Relación entre la función de transferencia y el modelo de estado. 3.4 Transformaciones de semejanza. 3.5 Solución de la ecuación de estado lineal e invariante en el tiempo. 3.6 Compensación. 3.7 Estabilidad, controlabilidad y observabilidad

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

El profesor debe:

Ser conocedor de la disciplina que está bajo su responsabilidad, conocer su origen y desarrollo histórico para considerar este conocimiento al abordar los temas. Desarrollar la capacidad para coordinar y trabajar en equipo; orientar el trabajo del estudiante y potenciar en él la autonomía, el trabajo cooperativo y la toma de decisiones. Mostrar flexibilidad en el seguimiento del proceso formativo y propiciar la interacción entre los estudiantes. Tomar en cuenta el conocimiento de los estudiantes como punto de partida para la construcción de nuevos conocimientos.

- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes.
- Propiciar el uso de las tecnologías en el desarrollo de los contenidos de la asignatura.
- Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes.
- Propiciar en el estudiante el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, las cuales lo encaminan hacia la investigación, la aplicación de conocimientos y la solución de problemas.
- Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis y de trabajo en equipo.
- Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que se van aprendiendo en el desarrollo de la asignatura.
- Propiciar el uso adecuado de conceptos, y terminología científico-tecnológica
- Proponer problemas que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y solución.
- Relacionar los contenidos de la asignatura con el cuidado del medio ambiente; así como con las prácticas de una ingeniería bajo las premisas de la sustentabilidad.
- Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con otras del plan de estudios para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

- Reportes escritos de las prácticas desarrolladas, con base al formato establecido.
- Reporte escrito de las investigaciones documentales solicitadas.
- Resolución de problemas solicitados (tareas)
- Descripción de otras experiencias concretas que podrían realizarse adicionalmente.
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Manejo de un programa de simulación como puede ser Matlab o CC.
- Reporte de simulaciones y conclusiones obtenidas en éstas.
- Desarrollar ensayos
- Participación en clase
- Utilización de rúbricas
- Integrar el portafolio de evidencias

- Buscar y seleccionar reportes de respuesta a la frecuencia de dispositivos eléctricos, electrónicos, mecánicos, etc., en revistas técnicas, folletos, libros, Internet.
- Analizar e interpretar las gráficas de respuesta a la frecuencia presentadas en reportes técnicos.
- Desarrollar un ensayo sobre las diferentes técnicas que se emplean para representar la respuesta a la frecuencia.
- Analizar y resolver problemas en los que aplique las técnicas de respuesta a la frecuencia.
- Desarrollar un ensayo en el que se discuta ventajas e inconvenientes entre el control PID y el de los compensadores.
- Utilizar las técnicas de compensación para diseñar un compensador que satisfaga las condiciones dadas.
- Realizar una mesa de discusión para establecer las diferencias entre el control clásico y el control moderno poniendo énfasis en sus beneficios.
- Buscar y seleccionar información en Internet o revistas especializadas sobre alguna aplicación del control moderno en un sistema de control relacionado con la protección del medio ambiente.
- Analizar y resolver problemas aplicados a sistemas eléctricos o electrónicos en las que se utilicen las técnicas espacio de estado.

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: Respuesta a la Frecuencia.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Interpretar las gráficas de respuesta a la frecuencia de los diferentes dispositivos o elementos de utilización eléctrica o electrónica.</p> <p>Aplicar los métodos de respuesta a la frecuencia en el análisis de dispositivos de cualquier tipo o a sistemas integrados de control.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Buscar y seleccionar información relacionada con reportes de respuesta a la frecuencia de dispositivos eléctricos, electrónicos, mecánicos, etc., en revistas técnicas, folletos, libros o Internet.• Analizar e interpretar las gráficas de respuesta a la frecuencia presentadas en reportes técnicos.• Investigar acerca de fenómenos físicos en los que se observe los problemas que pueden causar las frecuencias de resonancia, sobre todo en sistemas mecánicos.• Interpretar como se aprovecha la frecuencia de resonancia en los circuitos eléctricos y electrónicos.• Con base en la búsqueda de información de respuesta a la frecuencia de dispositivos, determinar las frecuencias útiles de los elementos encontrados.• Desarrollar un ensayo sobre las diferentes técnicas que se emplean para representar la respuesta a la frecuencia.• Investigar el teorema de mapeo previo a la aplicación del criterio de Nyquist para estabilidad.• Argumentar cómo llegó Nyquist a establecer su criterio.• Analizar y resolver problemas en los que aplique las técnicas de respuesta a la frecuencia.• Aplicar los métodos de respuesta a la frecuencia para determinar la estabilidad de un sistema representado a partir de su función de transferencia.

Unidad 2: Compensación

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Utilizar los métodos de lugar geométrico de las raíces y de respuesta a la frecuencia en el diseño de un compensador en cascada aplicado a un sistema de control.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Investigar aplicaciones de los compensadores.• Identificar la relación que existe entre un controlador y un compensador.• Desarrollar un ensayo sobre las ventajas y desventajas entre el control PID y los compensadores.

	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los diferentes modelos matemáticos de los compensadores en función de su respuesta a la frecuencia. • Identificar como se relaciona la función de transferencia de un compensador con los elementos físicos que lo integran. • Identificar las limitaciones del modelo físico con respecto al modelo matemático. • Determinar las características de respuesta a la frecuencia de cada uno de los compensadores tratados en esta unidad. • Determinar el ángulo máximo a compensar a partir de la ubicación de los polos y ceros. • Verificar el comportamiento de los compensadores como filtros pasa baja frecuencia, pasa alta frecuencia y pasa banda de frecuencia. • Utilizar las técnicas de compensación para el diseño de un compensador que satisfaga las condiciones dadas.
--	--

Unidad 3: El método de espacio de estado.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Utilizar la filosofía del espacio de estado en la modelación, solución y compensación de sistemas lineales invariantes en el tiempo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una investigación documental acerca de los conceptos de espacio de estado. • Clasificar las aplicaciones del espacio de estado en sistemas de control. • Modelar sistemas físicos (eléctricos, electrónicos, mecánicos) mediante el concepto de estado. • Establecer la relación entre la representación del método clásico de función de transferencia y el método de espacio de estado. • Aplicar el concepto de eigenvalores y eigenvectores. • Analizar el comportamiento de los sistemas de control al modificar los conceptos anteriores. • Identificar las diferentes formas de representación de sistemas físicos mediante las transformaciones de semejanza o similaridad. • Aplicar los conceptos de observabilidad y controlabilidad a sistemas físicos.

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Ogata, Katsuhiko, Ingeniería de control moderna, Cuarta Edición, Ed. Prentice Hall, 2003,
2. Diestefano, Joseph J., Stubberud, Allen R. e Williams, Ivan J., Feedback and Control Systems, 2nd. Edition, Ed. Mc. Graw Hill, 1995.
3. Kuo, Benjamín C., Automatic Control Systems, 9th. Ed. John Wiley & Sons, 2009.
4. Dorf, Richard C., Modern Control systems, 11th. Edition, Ed. Pearson-Prentice Hal, 2008.
5. Umez Eronini, Eronini, Dinámica de sistemas y control, Ed. Thomson Learning, 2001.
6. D'azzo, J. J. y Houpis, C. H., Linear control system analysis & design, Ed. Mc. Graw Hill, última edición.
7. Nise, Norman S., Sistemas de control para ingeniería, Ed CECSA, última edición.
8. Rohrs, Melsa, Schlotz, Sistemas de control lineal, Ed. Mc. Graw Hill, última edición.
9. Karni, Shlomo, Analysis of electrical networks, Ed. John Wiley & Sons, última edición.
10. Bolton, William, Ingeniería de control, Segunda edición, Ed. Alfaomega, 2001.
11. Phillips & Harbor, Feedback control systems, Ed. Prentice Hall, última edición.
12. Etter, Delores M., Solución de problemas de ingeniería con MatLab, Ed. Mc. Graw Hill, última edición.
13. Ogata, Katsuhiko, Problemas de ingeniería de control usando MatLab, Ed. Prentice Hall, última edición.
14. Gomariz, S., Biel, D., et al, Teoría de control, Ed. Alfaomega, última edición.
15. Kailath, Thomas, Linear systems, Ed. Prentice Hall, última edición.
16. Lindner, Douglas, Introducción a las señales y sistemas, Ed. Mc. Graw Hill, última edición.
17. Creus Solé Antonio, Simulación y control de procesos por ordenador, Ed. AlfaOmega, 2^a. Edición, 2007.
18. Hernandez Gaviño, Ricardo, *Introducción a los sistemas de control: conceptos, aplicaciones y simulación con Matlab*, primera edición, Ed. Pearson, México, 2010.
19. Kart J. Aström y Tore Hägglund, *Control PID avanzado*, Ed. Prentice Hall, España, 2009.
20. Lewis, Paul H. y Yang Chang, *Sistemas de control en ingeniería*, Ed. Prentice Hall, 1999.
21. Bolzer, Paolo, *Fundamentos de control automático*, Ed. Mc. Graw Hill, 2009.
22. Smith, Carlos A. y Corripio, Armando B., *Control automático de procesos. Teoría y práctica*, Ed. Limusa.
23. Barrientos, Antonio, Matía, Fernando, Sanz, Ricardo y Gamboa, Ernesto, *Control de sistemas continuos "Problemas resueltos"*, Ed. Mc. Graw Hill.
24. Grantham, Walter J. y Vincent, Thomas L., *Sistemas de control moderno "Análisis y diseño"*, Ed. Limusa.
25. Rodríguez Ávila, Jesús E., *Introducción a la ingeniería de control automático*, última edición, Ed. Mc. Graw Hill.
26. Ogata, Katsuhiko, *Dinámica de sistemas*, última edición, Ed. Prentice Hall.

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS (aquí sólo describen brevemente, queda pendiente la descripción a detalle).

- Determinar y graficar en una escala semilogarítmica, la respuesta a la frecuencia de redes eléctricas RC y RLC, utilizando una red eléctrica, un generador de señales y un osciloscopio.
- Determinar y graficar en una escala semilogarítmica, la respuesta a la frecuencia de un circuito electrónico construido con amplificadores operacionales o con transistores BJT, utilizando un generador de señales y un osciloscopio.
- Verificar los resultados obtenidos en las prácticas anteriores, mediante la modelación y simulación de la red elegida con CC y con MatLab.
- Construir un compensador de atraso, un compensador en adelanto y un compensador en adelanto – atraso, con amplificadores operacionales y determinar su respuesta a la frecuencia identificando el rango de frecuencia en el cual trabaja adecuadamente.
- Modelar matemáticamente los compensadores propuestos en la práctica anterior y verificar sus hallazgos mediante la simulación con CC y con MatLab.
- Implementar una red eléctrica (RLC) o electrónica (con amplificadores operacionales) y observar la respuesta de alguna variable de interés mediante el uso de un osciloscopio ante una entrada conocida.
- Verificar los resultados de la práctica anterior mediante la modelación en el espacio de estado y a través de la simulación en CC y MatLab.