

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Máquinas Sincrónicas y de CD
Clave de la asignatura:	ELF-1016
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería Eléctrica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Eléctrico la capacidad de explicar el funcionamiento de las máquinas sincrónicas y de corriente directa, así como su contribución, junto con asignaturas posteriores, como Modelado de los Sistemas Eléctricos de Potencia, en donde se requiere analizar, diagnosticar y presentar soluciones a problemas relacionados con máquinas sincrónicas y de corriente directa buscando una mejor eficiencia.

El alumno debe conocer físicamente una máquina sincrónica y una máquina de C.D. en sus funciones de generador y motor, para que al término del curso pueda seleccionarlos, operarlos y mantenerlos.

Es importante que el estudiante participe en grupos de trabajo para modelar las máquinas eléctricas, empleando métodos computacionales en su análisis.

Intención didáctica

La manera en que el profesor abordará los contenidos de los 6 temas a tratarse en este curso toma en cuenta lo siguiente:

En el primer tema, se establecerán una serie de definiciones y conceptos que se utilizan en el análisis del campo magnético giratorio que se produce en los devanados de la máquinas trifásicas, la fuerza electromotriz inducida en una máquina elemental de corriente alterna, así como los factores que afectan la fuerza electromotriz en una máquina de corriente alterna. Se describen los aspectos constructivos de las máquinas sincrónicas. Esto permite establecer las bases para los siguientes temas de la asignatura.

En el segundo tema se considera el circuito equivalente y cómo determinar los parámetros de la máquina sincrónica, las características del ángulo de par y su relación con las potencias en estado estacionario, así como la operación del generador trabajando aislado. Se deberá realizar una interpretación física de los parámetros de la máquina sincrónica y la relación que tiene su magnitud con aspectos de operación, eficiencia y diseño.

En el tercer tema se describe la forma en que se conecta el generador con un sistema eléctrico de potencia y los problemas de estabilidad en generadores sincrónicos. Se deben conocer las condiciones necesarias para conectarlos en paralelo y utilizar herramientas computacionales para simular su comportamiento ante diferentes condiciones de operación.

En el cuarto tema se estudia la operación del motor sincrónico empleando su modelado en estado estacionario. También se estudian los métodos de arranque de los motores síncronos en forma teórica y práctica.

En el quinto tema se tratan los fundamentos teóricos de la máquina de corriente directa, las conexiones y la operación de estas máquinas como generadores. En forma práctica se comprueban los efectos de la velocidad y corriente de excitación sobre la tensión generada, así como las características carga-tensión para los diferentes tipos de generadores.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

El sexto tema trata la máquina conectada como motor, realizando su modelado para determinar su característica par-velocidad, así como analiza los métodos de arranque y control de velocidad.

El docente debe establecer y explicar una serie de definiciones iniciales y necesarias del tema en cuestión, procurando la realización de ejemplos que orienten las actividades de enseñanza aprendizaje en los alumnos.

Los alumnos deberán realizar una serie de prácticas y tareas o trabajos que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo. Asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja.

Al final de cada una de las unidades el alumno deberá someterse a una evaluación que podrá ser un examen escrito y/o la realización práctica de un proyecto en el laboratorio.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, del 24 al 28 de agosto de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Ciudad Juárez, Coahuila, Coahuila de Zaragoza, Culiacán, Durango, Hermosillo, La Laguna, Mérida, Nuevo Laredo, Orizaba, Pachuca, Saltillo, Tlalnepantla, Valle De Bravo y Veracruz.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.
Instituto Tecnológico de Mexicali, del 25 al 29 de enero del 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Ciudad Juárez, Coahuila, Coahuila de Zaragoza, Culiacán, Durango, Hermosillo, La Laguna, Mérida, Mexicali, Orizaba, Pachuca, Saltillo, Tlalnepantla, Valle De Bravo y Veracruz.	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.
Instituto Tecnológico de la Laguna, del 26 al 29 de noviembre de 2012.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Chetumal, Chihuahua, Ciudad Guzmán, Culiacán, Hermosillo, La Laguna, Mexicali, Oaxaca, Pachuca, Querétaro, Tuxtla Gutiérrez y Veracruz.	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica.

<p>Instituto Tecnológico de Toluca, del 10 al 13 de febrero de 2014.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Boca del Río, Celaya, Mérida, Orizaba, Puerto Vallarta y Veracruz.</p>	<p>Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de Ingenierías, Licenciaturas y Asignaturas Comunes del SNIT.</p>
<p>Tecnológico Nacional de México, del 25 al 26 de agosto de 2014.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Apizaco, Boca del Río, Celaya, Cerro Azul, Cd. Juárez, Cd. Madero, Chihuahua, Coacalco, Coatzacoalcos, Durango, Ecatepec, La Laguna, Lerdo, Matamoros, Mérida, Mexicali, Motúl, Nuevo Laredo, Orizaba, Pachuca, Poza Rica, Progreso, Reynosa, Saltillo, Santiago Papasquiari, Tantoyuca, Tlalnepantla, Toluca, Veracruz, Villahermosa, Zacatecas y Zacatepec. Representantes de Petróleos Mexicanos (PEMEX).</p>	<p>Reunión de trabajo para la actualización de los planes de estudio del sector energético, con la participación de PEMEX.</p>

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia específica de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> • Aplica los fundamentos de las máquinas sincrónicas y las máquinas de corriente directa para analizar su operación en estado estacionario. • Analiza las condiciones de arranque y operación de las máquinas sincrónicas y de C.D. para seleccionarlas, de acuerdo a su aplicación. • Simula los modelos matemáticos de estas máquinas para verificar sus condiciones de operación.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Comprende los conceptos básicos de las leyes y principios fundamentales de Electricidad y Magnetismo, desarrollando habilidades para la solución de problemas. • Conoce, comprende y aplica 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. • Utiliza apropiadamente los instrumentos de medición y prueba, para la medición e interpretación de variables eléctricas en componentes y circuitos eléctricos. • Resuelve problemas de estructuras magnéticas excitadas con corriente alterna senoidal y analizar los resultados. • Aplica los conceptos de la teoría de los campos eléctricos y magnéticos para determinar su comportamiento en el estudio de cualquier dispositivo electromagnético. • Utiliza un software matemático para la aplicación en el ámbito de su profesión.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Fundamentos de la máquina sincrónica	1.1. Aspectos constructivos de las máquinas sincrónicas. 1.2. Fuerzas magnetomotrices giratorias en máquinas trifásicas. 1.3. Fuerza electromotriz inducida en una máquina elemental de corriente alterna. 1.4. Factores que afectan la fuerza electromotriz en una máquina de corriente alterna.
2	Generador sincrónico	2.1. Circuito equivalente. 2.2. Determinación de parámetros de la máquina sincrónica. 2.3. Característica del ángulo de potencia en operación en estado estacionario. 2.4. Operación en estado estacionario en condiciones aisladas. 2.5. Teoría de las componentes en cuadratura aplicada a las máquinas sincrónicas de polos salientes. 2.6. La máquina sincrónica como fuente de reactivos. 2.7. Modelado del generador sincrónico. 2.8. Selección y aplicación de generadores Sincrónicos.
3	Sincronización	3.1. Conexión de máquinas sincrónicas en paralelo. 3.2. Sincronización de una máquina sincrónica a un bus infinito. 3.3. Problemas de estabilidad en generadores sincrónicos.
4	Motor sincrónico	4.1. Operación en estado estacionario de los motores sincrónicos. 4.2. Arranque del motor sincrónico. 4.3. Curvas "V" del motor sincrónico. 4.4. Modelado del motor sincrónico. 4.5. Selección y aplicación de motores sincrónicos.
5	Máquinas de corriente directa, operación como generador	5.1. Aspectos constructivos de las máquinas de corriente directa. 5.2. Principio de funcionamiento. (Acción generadora, Acción motora). 5.3. Devanados de armadura. 5.4. Reacción de armadura. 5.5. Flujo de potencia en máquinas de corriente directa.

		5.6. Generadores de corriente directa. 5.7. Características con carga.
6	Análisis y control de los motores de corriente directa	6.1. Característica velocidad contra par de los diferentes motores de corriente directa. 6.2. Aplicaciones de los motores de CD. 6.3. Arranque de los motores de CD. 6.4. Control de velocidad. 6.5. Modelado del motor de CD. 6.6. Aplicación y selección de máquinas de corriente directa.

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Fundamentos de la máquina sincrónica	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Analiza los fundamentos de las máquinas sincrónicas para explicar su comportamiento</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar las partes constitutivas de la máquina sincrónica y definir la función de cada una de ellas. • Simular el campo magnético giratorio empleando un paquete computacional. • Investigar sobre los factores que intervienen en la FEM inducida de la máquina sincrónica. • Realizar un ensayo práctico para observar la forma de onda de la tensión generada. • Investigar y diferenciar los distintos tipos de pérdidas que se presentan en las máquinas sincrónicas y los factores que afectan a cada una de estas pérdidas.
2. Máquina sincrónica	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Analiza el comportamiento del generador sincrónico en condiciones de operación aislada para determinar su operación y realizar el modelado. Investiga, evalúa y selecciona generadores sincrónicos para cada aplicación particular</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar cuales son los parámetros de la máquina sincrónica y la relación que tienen la magnitud de éstos con los aspectos como eficiencia, diseño y tamaño. • Determinar el valor de la reactancia sincrónica de un generador empleando las pruebas de vacío y de rotor bloqueado. • Investigar acerca del funcionamiento de la máquina sincrónica para realizar su modelado. • Realizar el modelado del generador sincrónico empleando una herramienta computacional. • Analizar el comportamiento del generador sincrónico en condiciones aisladas del sistema.

<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Investiga en diversas fuentes de información, las aplicaciones y características de los generadores sincrónicos
3. Sincronización.	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Determina el comportamiento de los generadores sincrónicos conectados en paralelo para simular su desempeño, bajo diferentes condiciones de operación, en estado estacionario o dinámico</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar sobre las condiciones que se deben cumplir para conectar generadores en paralelo. • Realizar un ensayo práctico para interconectar una máquina sincrónica a un bus infinito. • Utilizar herramientas computacionales para simular el comportamiento de un generador sincrónico ante diferentes condiciones de operación estacionarias y dinámicas, realizando su análisis y síntesis.
4. Motor sincrónico	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza el principio de operación y los métodos de arranque del motor síncrono para caracterizar su funcionamiento en estado estacionario. • Investiga, evalúa y selecciona motores sincrónicos para cada aplicación particular <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Capacidad de comunicación oral y escrita • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Capacidad de trabajo en equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar las condiciones bajo las cuales una máquina sincrónica opera como motor. • Analizar las condiciones bajo las cuales un generador sincrónico se puede motorizar. • Realizar un ensayo práctico sobre las diferentes formas de arranque de un motor sincrónico. • Interpretar los datos de placa de los motores sincrónicos. • Realizar un ensayo práctico para determinar la curva característica de corriente de carga contra corriente de excitación. • Investiga en diversas fuentes de información las aplicaciones y características de los motores sincrónicos

<ul style="list-style-type: none"> Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	
5. Máquinas de corriente directa	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Analiza los fundamentos de la máquina de corriente directa como generador. Determina las características de los diferentes tipos de conexiones de los generadores para una adecuada selección. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de abstracción, análisis y síntesis Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica Capacidad de comunicación oral y escrita Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Habilidades interpersonales. Capacidad de trabajo en equipo. Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> Investigar las partes constructivas de la máquina de corriente directa, así como sus respectivas funciones. Investigar y analizar el principio de funcionamiento de la máquina de CD como generador y como motor. Investigar los diferentes tipos de devanados de armadura. Investigar y analizar el fenómeno de reacción de armadura. Investigar los diferentes tipos de conexión de la máquina de corriente directa. Realizar un ensayo práctico para determinar los parámetros de la máquina de corriente directa. Usar el modelo de la máquina de corriente directa para definir sus características par-velocidad. Realizar un ensayo práctico para comprobar los efectos de la velocidad y la corriente de excitación sobre la tensión inducida. Realizar un ensayo práctico que verifique las curvas características para diferentes tipos de generadores. Realizar un análisis para la selección del generador.
6. Análisis y control de los motores de corriente directa	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Analiza el principio de operación del motor de corriente directa y sus características de par contra velocidad. Realiza el arranque y control de velocidad de los motores de corriente directa. Investiga, evalúa y selecciona motores de corriente directa para cada aplicación particular. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de abstracción, análisis y síntesis Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica Capacidad de comunicación oral y escrita 	<ul style="list-style-type: none"> Investigar el principio de funcionamiento de los motores de corriente directa, especificando sus ventajas y desventajas. Realizar un ensayo práctico para obtener las características de par contra velocidad de los diferentes tipos de conexiones de los motores de corriente directa. Analizar el arranque de los motores de corriente directa y realizar el ensayo práctico correspondiente. Simular el comportamiento del motor de corriente directa y obtener la característica de par contra velocidad.

<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar los efectos de variar la corriente de campo de excitación en las diferentes conexiones de motores de corriente directa. • Realizar un ensayo práctico para controlar la velocidad de los motores de corriente directa. • Investiga en diversas fuentes de información las aplicaciones y características de las máquinas de corriente directa.
--	---

8. Prácticas

<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de las partes que constituyen la máquina sincrónica • Pruebas de rotor bloqueado y de vacío para la obtención de los parámetros de la máquina sincrónica. • Regulación de voltaje de un alternador • Sincronización del generador a un bus infinito. • Conexión en paralelo de dos generadores sincrónicos • Métodos de arranque del motor sincrónico • Curvas “ V “ de los motores sincrónicos • Identificación de las partes de la máquina de corriente directa • Medición de resistencia de los devanados y determinación de parámetros que afectan el voltaje generado • Curva de magnetización del generador de corriente directa. • Característica externa de los generadores de corriente directa • Arranque de los motores de corriente directa • Control de velocidad de los motores de corriente directa • Característica de velocidad contra par de los motores de corriente directa

9. Proyecto de asignatura

<p>El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentación: marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo. • Planeación: con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo. • Ejecución: consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar. • Evaluación: es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se
--

estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación por competencias

Debe aplicarse evaluación:

- **Diagnóstica**, al inicio del curso, sin que se considere para la evaluación sumativa.
- **Formativa**, durante el desarrollo de la asignatura, apoyándose en los instrumentos y herramientas que se señalan a continuación.
- **Sumativa**, al final, para determinar la valoración numérica de la asignatura se debe basar en los niveles de desempeño establecidos en el Lineamiento para la Evaluación y Acreditación de Asignaturas vigente.

Se recomienda el uso de la coevaluación, autoevaluación y heteroevaluación.

Todos los productos deben de estar contenidos en el portafolios de evidencias que el alumno integrará durante el desarrollo de la asignatura. El docente tendrá en resguardo dicho portafolios al finalizar el curso. El portafolio de evidencias puede ser electrónico.

Instrumentos y herramientas sugeridas para evaluar las actividades de aprendizaje:

Instrumentos	Herramientas
<ul style="list-style-type: none"> • Mapa conceptual • Problemario • Examen teórico/práctico • Esquemas • Representaciones gráficas o esquemáticas • Mapas mentales • Ensayos • Reportes de prácticas • Resúmenes • Simulaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Rúbrica • Lista de cotejo • Matriz de valoración • Guía de observación

11. Fuentes de información

1. Gonen T.(2012). *Electrical Machines with MATLAB*. (2a Ed.).CRC Press .
2. Nasar S. (1997) *Electric Machines and. Electromechanics*. McGraw-Hill
3. Gross Ch. A. (2006). *Electric Machines*. (1ª Ed.). CRC Press.
4. Chee- Mun O. (1998). *Dynamic Simulation of Electric Machinery. Using Mat Lab/Simulink*. Prentice Hall PTR..
5. Richardson D. (1997), *Máquinas eléctricas rotativas y transformadores*, McGraw-Hill,
6. Kosow, I. L. (1996). *Máquinas eléctricas y transformadores*. (2ª Ed.). Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
7. Fitzgerald, Kingsley, (2003) *Máquinas eléctricas*, (6ª Ed.). McGraw Hil.
8. Cathey, J. J. (2002). *Máquinas eléctricas, análisis y diseño aplicando Matlab*, McGraw- Hill.
9. Krause, P., Wasynczuk O. y Scott D. (1995). *Analysis of Electric Machinery*. McGraw- Hill
10. Chapman, Stephen J. (2005) *Máquinas eléctricas*.(4ª Ed.). Mc. Graw-Hill.
11. Textos electrónicos, bases de datos y programas informáticos
<http://www.epsevg.upc.es/xic/cd/ponencias/R0089.pdf>
12. Máquinas Eléctricas. Aula Moisan. Recuperado de <http://www.aulamoisan.com/software-moisan/maquinas-electricas>