

Fecha de aprobación:  
07.enero.2011

Nivel Licenciatura	Unidad de enseñanza-aprendizaje		
Clave 113137	DISEÑO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II		
Horas teoría 4.5	Horas práctica 0.0	Seriación 113163	Créditos 9

Licenciatura en	Ingeniería . . .	Ambiental	Civil	En Computación	Eléctrica	Electrónica	Física	Industrial	Mecánica	Metallúrgica	Química	
OBLIGATORIA												
Tronco General												
Tronco Básico Profesional												
Área de Concentración					X							
OPTATIVA												
General												
de Área de Concentración												
Otros												
TRIMESTRE												
Observaciones												

**OBJETIVOS:**

Aplicar técnicas numéricas para la solución de campos magnéticos en máquinas eléctricas.

**CONTENIDO SINTÉTICO:**

Representación de máquinas síncronas a través de modelos de dos ejes. Circuitos equivalentes de dos ejes de orden superior. Funciones de transferencia de la máquina síncrona. Sistema de ecuaciones estado-espacio de la máquina síncrona. Determinación de parámetros a través de la prueba de respuesta a la frecuencia con rotor detenido. Simulación numérica de condiciones transitorias y de estado estable de la máquina síncrona.

Representación de la máquina síncrona a través de modelos de elementos finitos: estado estable. Simulación de la condición de circuito abierto. Simulación de la operación de la máquina síncrona en carga. Determinación de ángulo de carga y corriente de campo cuando se especifican las condiciones terminales de la máquina síncrona.

## **TEMA 1. Representación de máquinas síncronas a través de modelos de dos ejes; circuitos equivalentes de orden superior**

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Obtener el Modelo clásico de la Máquina Síncrona.
- Obtener circuitos equivalentes de orden superior de la Máquina Síncrona.

### **CONTENIDO:**

- 1.1. Modelo clásico.
- 1.2. Modelo de tercer orden.
- 1.3. Modelo de cuarto orden.
- 1.4. Modelo de quinto orden.

### **REFERENCIAS:**

- A. Román Messina, *notas del curso: Análisis y control de oscilaciones electromecánicas en Sistemas Eléctricos de Potencia* SEPI, ESIME, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F. del 23 al 27 de Mayo de 1994.

### **HORAS DE CLASE:**

6.0

### **OBSERVACIONES:**

## **TEMA 2. Funciones de transferencia de la máquina síncrona**

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Estudiar el concepto de función de transferencia en el análisis de máquina síncrona.

### **CONTENIDO:**

- 3.1 Modelo de la máquina síncrona como una red de dos puertos.
- 3.2 Parámetros operacionales en los ejes directo y cuadratura.
- 3.3 Función de Transferencia de la máquina síncrona.

### **REFERENCIAS:**

P. Kundur, "Power system stability and control", Mc Graw Hill, 1994.

### **HORAS DE CLASE:**

6.0

### **OBSERVACIONES:**

### **TEMA 3. Sistema de ecuaciones estado-espacio de la máquina síncrona**

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar el circuito equivalente estado-espacio.
- Calcular valores estado-espacio de la máquina síncrona.

#### **CONTENIDO:**

- 3.1 Voltaje, Corriente y enlaces de flujo.
- 3.2 Representación fasorial.
- 3.4 Ángulo del rotor.
- 3.5 Circuito equivalente estado-espacio.
- 3.6 Procedimiento para calcular valores estado-espacio.

#### **REFERENCIAS:**

- P. Kundur, "Power system stability and control", Mc Graw Hill, 1994.

#### **HORAS DE CLASE:**

6.0

#### **OBSERVACIONES:**

## **TEMA 4. Determinación de parámetros a través de la prueba de respuesta a la frecuencia con rotor detenido**

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar parámetros de la máquina síncrona mediante pruebas de respuesta en frecuencia

### **CONTENIDO:**

- 4.1 Modelo y representación para las pruebas.
- 4.2 Instrumentos y conexiones.
- 4.3 Parámetros que se obtienen a partir de pruebas de respuesta en frecuencia.
- 4.4 Pruebas de respuesta en frecuencia con mediciones experimentales:
  - Pruebas en eje directo.
  - Pruebas en eje en cuadratura.
- 4.5 Antecedentes matemáticos.

### **REFERENCIAS:**

- IEEE Std. 115-1995, IEEE Guide, Test Procedure for Synchronous machines.
- P. Kundur, "Power system stability and control", Mc Graw Hill, 1994.

### **HORAS DE CLASE:**

6.0

### **OBSERVACIONES:**

## **TEMA 5. Simulación numérica de condiciones transitorias y de estado estable de la máquina síncrona.**

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Simular numéricamente la máquina síncrona en condiciones de estados estable y transitorio.

### **CONTENIDO:**

- 5.1 Métodos numéricos de integración.
  - 5.1.1 Método de Euler.
  - 5.1.2 Método de Euler modificado.
  - 5.1.3 Métodos de Runge-Kutta.
  - 5.1.4 Estabilidad numérica de métodos explícitos de integración.
  - 5.1.5 Métodos implícitos de integración.
  - 5.1.6 Métodos directos para el análisis de estabilidad transitoria.
- 5.2 Análisis de fallas desbalanceadas.
  - 5.2.1 Impedancias de secuencia de máquinas síncronas.
  - 5.2.2 Simulación de diferentes tipos de fallas.
  - 5.2.3 Representación de condiciones de conductor abierto.

### **REFERENCIAS:**

- P. Kundur, "Power system stability and control", Mc Graw Hill, 1994.

### **HORAS DE CLASE:**

7.5

### **OBSERVACIONES:**

## **TEMA 6. Representación de la máquina síncrona a través de modelos de elementos finitos: introducción**

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Estudiar el método de elemento finito

### **CONTENIDO:**

- 6.1 Elementos triangulares de primer orden para problemas en un plano.
- 6.2 Representación de campos electromagnéticos.
- 6.3 Elementos triangulares para la ecuación escalar de Helmholtz.

### **REFERENCIAS:**

- P.P. Silvester and R.L. Ferrari, "Finite elements for electrical engineers", 3rd edition, Cambridge University Press, 1996.
- M.V.K. Chari and S.J. Salon, "Numerical methods in electromagnetism", Academic Press, 2000.

### **HORAS DE CLASE:**

6.0

### **OBSERVACIONES:**



## **TEMA 7. Simulación de la máquina síncrona en diferentes condiciones de operación**

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Simular por medio de modelos de elementos finitos la operación de la máquina síncrona en diferentes condiciones de operación.
- Realizar programa computacional.

### **CONTENIDO:**

- 7.1 Operadores integrales en materiales ferromagnéticos.
  - 7.1.1 Funcionales para el campo magnético.
  - 7.1.2 Minimización sobre elementos finitos.
  - 7.1.3 Solución por iteración simple.
  - 7.1.4 El electroimán elevador.
  - 7.1.5 El proceso de iteración de Newton.
  - 7.1.6 Elementos de Newton triangulares de primer orden.
- 7.2 Análisis de una máquina síncrona en circuito abierto.
- 7.3 Análisis de una máquina síncrona en carga.
- 7.4 Determinación de ángulo de carga y corriente de campo cuando se especifican las condiciones terminales de la máquina síncrona.

### **REFERENCIAS:**

- P.P. Silvester and R.L. Ferrari, "Finite elements for electrical engineers", 3rd edition, Cambridge University Press, 1996.

### **HORAS DE CLASE:**

7.5

### **OBSERVACIONES:**

**MODALIDADES DE CONDUCCIÓN DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

Exposición oral, sesiones de ejercicios en salón y modelado con herramientas computacionales.

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Determinación de ángulo de carga y corriente de campo cuando se especifican las condiciones terminales de la máquina síncrona.

**MODALIDADES DE EVALUACIÓN**

La calificación final estará constituida de: Evaluaciones periódicas (30%). Terminal (40%). Tareas (10%). Trabajo final (20%).

Admite evaluación de recuperación; no requiere inscripción previa.

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

#### BIBLIOGRAFÍA NECESARIA O RECOMENDABLE

1. B. Adkins, "The general theory of alternating current machines", Chapman and Hall, 1975.
2. P.C. Krause, O. Wasynczuk and S.D. Sudhoff, "Analysis of electric machinery", IEEE Press, 1995.
3. P. Kundur, "Power system stability and control", Mc Graw Hill, 1994.
4. S.R.H. Hoole and P.R.P., "A modern short course in engineering electromagnetics", Oxford University Press, 1996.
5. P.P. Silvester and R.L. Ferrari, "Finite elements for electrical engineers", 3rd edition, Cambridge University Press, 1996.
6. M.V.K. Chari and S.J. Salon, "Numerical methods in electromagnetism", Academic Press, 2000.
7. K. Hameyer and R. Belmans, "Numerical modeling and design of electrical machines and devices", WIT press, 1999.
8. J.J. Cathey, "Máquinas Eléctricas: Análisis y Diseño aplicando Matlab", Mc. Graw Hill, 2001.

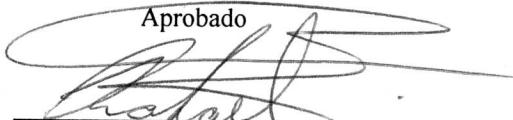
#### BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

IEEE Std. 115-1995, IEEE Guide, Test Procedure for Synchronous machines

A. Román Messina, *notas del curso: Análisis y control de oscilaciones electromecánicas en Sistemas Eléctricos de Potencia SEPI*, ESIME, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F. del 23 al 27 de Mayo de 1994.

Este programa analítico fue elaborado por una comisión académica del Departamento de Energía integrada por los profesores: Campero Littlewood Eduardo, Escarela Pérez Rafael, Hernández Anaya Octavio, Jasso López Jaime, López García Irvin, Rivera Salamanca Carlos Alberto, Zekkour Zekkour Ahmed.

Aprobado



Jefe de Departamento  
Dr. Rafael Escarela Pérez

Visto bueno



Director de División  
Dr. Emilio Sordo Zabay