



Programa de MÁQUINAS ELÉCTRICAS

1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Máquinas eléctricas

2. CRÉDITOS

10 créditos

3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

El curso tiene como objetivos principales:

- Realizar el modelado y estudiar el funcionamiento de los transformadores tanto monofásicos como trifásicos
- Dar una formación básica sobre los principios generales de la conversión electromecánica de la energía a través de los dispositivos y máquinas clásicas de campo electromagnético.
- Proporcionar bases sólidas para el modelado de las máquinas eléctricas a partir del cálculo de sus inductancias.
- Realizar el estudio detallado de las máquinas sincrónicas, en régimen permanente, lineal y saturado.

Se estudia el modelo del transformador monofásico y trifásico, sus circuitos equivalentes y características operativas, tanto en régimen equilibrado como desequilibrado.

Se estudia con detalle las características del campo giratorio en las máquinas de corriente alterna y a partir del mismo se determina las relaciones de energía y par y se calcula las inductancias propias y mutuas en dichas máquinas. Se revisa la deducción del circuito equivalente de la máquina de inducción polifásica en régimen equilibrado permanente, sus modos de funcionamiento y principales características, con alimentación normal y doblemente alimentada. Se introduce la máquina de inducción monofásica como un caso particular de máquina trifásica en régimen desequilibrado, y se indica sus principales características. Se realiza un modelado de la máquina sincrónica a partir de las relaciones de tensiones inducidas, energía y par resultantes del campo giratorio, y también un modelado detallado a partir de sus ecuaciones eléctricas, con los valores de inductancias deducidos a partir del campo giratorio. Se estudia el régimen permanente a partir de las consideraciones de tensiones inducidas, energía y par.



4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Comprende un total de 80 horas con 54 horas teóricas y 26 horas de práctico, en un régimen de 6 horas semanales (4 teóricas y 2 de práctico).

Se resaltan temas específicos del diseño u operación de las diferentes máquinas eléctricas indicando su importancia práctica en los problemas reales asociados al uso de esas máquinas en diferentes aplicaciones, especialmente en sistemas de potencia. Sobre el final del curso se entrega un problema de modelado electromagnético en base a elementos finitos desarrollados por los estudiantes en forma de subgrupos (entregable), los que son expuestos por éstos en forma de una presentación oral.

5. TEMARIO

1. Revisión de Circuitos Magnéticos
2. Transformadores
3. Fundamentos de la conversión electromecánica de la energía
4. Campo giratorio y generación de par en el entrehierro
5. Modelado de las máquinas sincrónicas de polos lisos y salientes, en régimen lineal y saturado
6. Máquinas de inducción simple y doblemente alimentadas

1. Revisión de Circuitos Magnéticos. Repaso de circuitos magnéticos. Materiales magnéticos. Pérdidas en el hierro.
2. Transformadores. Transformadores monofásicos. Corriente de vacío, corriente de inrush y rendimiento. Transformadores trifásicos en régimen equilibrado. Circuitos equivalentes de secuencia directa, inversa y homopolar de transformadores trifásicos. Corrientes y tensiones armónicas en los transformadores trifásicos. Transformador trifásico en régimen desequilibrado. Transformadores de medida y autotransformadores.
3. Fundamentos de la conversión electromecánica de la energía. Balance de energía en un convertidor electromecánico de campo magnético. Convertidor ideal. Energía y co-energía almacenadas en el campo magnético. Fuerza y par de origen magnético. Ecuaciones dinámicas de los convertidores. Convertidor giratorio monofásico de doble excitación. Par de reluctancia y par de inducción mutua. Convertidor giratorio bifásico de doble excitación: condición de existencia de conversión electromecánica.
4. Campo giratorio y generación de par en el entrehierro. Fuerza magnetomotriz de entrehierro creada por: espira diametral, bobinado distribuido discreto, y continuo.



Campo (f.m.m.) giratorio creado por un sistema trifásico. Teorema de Ferraris. Reducción del contenido armónico con bobinado distribuido. Campo multipolar. Efecto del número de fases. Campo giratorio elíptico. Bobinado monofásico. Campos giratorios armónicos. Nociones sobre la disposición de los bobinados trifásicos: bobinados en dos capas de paso reducido. Flujo de arrollamiento por fase, fem inducida. Coeficiente de distribución del bobinado. Inductancias propias y mutuas en estructuras de entrehierro constante y de entrehierro periódico (polos salientes). Energía y par en el campo giratorio.

5. Modelado de las máquinas sincrónicas de polos lisos y salientes, en régimen lineal y saturado. Descripción física de la máquina sincrónica (MS). MS de rotor cilíndrico. Régimen permanente, diagrama vectorial, circuito equivalente. Ensayos. Reactancia sincrónica. Potencia activa y reactiva. Par. Curvas en V o de Mordey. Estabilidad. Ecuación de pequeñas oscilaciones. Límites de operación. Funcionamiento como motor sincrónico. MS de polos lisos con saturación. Método de Potier. MS de polos salientes en régimen lineal. Diagramas vectoriales. X_d y X_q . Circuito equivalente. Ensayo de deslizamiento. Par. Límites de operación. MS de polos salientes en régimen saturado: método de Blondell.

6. Máquinas de inducción simple y doblemente alimentadas Constitución de las máquinas de inducción. Circuito equivalente. Ensayos. Balance energético: curva par-velocidad. Modos de funcionamiento: motor, generador, freno. Modos de funcionamiento de la máquina de inducción doblemente alimentada. Diagrama circular. Métodos de arranque. Motores de barras profundas y doble jaula. Principio de operación de los variadores de frecuencia.

6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
Revisión de Circuitos Magnéticos	(1)	(2) (5)
Transformadores	(1)	(2) (3) (4)
Fundamentos de la conversión electromecánica de la energía	(1)	(2) (5)
Campo giratorio y generación de par en el entrehierro	(1)	(2) (4) (5)
Modelado de las máquinas sincrónicas de polos lisos y salientes, en régimen lineal y saturado	(1)	(2) (4) (5)
Máquinas de inducción simple y doblemente alimentadas	(1)	(2) (4) (5)

6.1 Básica

1. Presentaciones de clase teórica del curso.



6.2 Complementaria

2. Notas teóricas del curso de Máquinas Eléctricas 2015 (disponible en la web del curso).
3. Ras, E. (1994). Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección. Barcelona: Ed. Marcombo,
4. Kostenko, M.; Piotrovsky, L (1969). Máquinas Eléctricas. Moscú: Ed. Mir.
5. Fitzgerald, A.E; Kingsley; Ch. Umans, S. (2004). Máquinas Eléctricas. México: Ed. McGraw-Hill

7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

7.1 Conocimientos Previos Exigidos:

Electromagnetismo. Teoría de circuitos, en especial manejo de notación vectorial compleja (fasores) y concepto de potencia eléctrica. Resolución de circuitos trifásicos. Introdutorios de Transformadores de Potencia y Motores Asíncronos Trifásicos.

7.2 Conocimientos Previos Recomendados:

Conceptos básicos de modelado de máquinas sincrónicas.

ANEXO A

Para todas las Carreras

A1) INSTITUTO

Instituto de Ingeniería Eléctrica

A2) CRONOGRAMA TENTATIVO

Semana 1	Introducción al curso, Circuitos magnéticos. Transformador monofásico (4h T, 2h P)
Semana 2	Transformador monofásico. Componentes simétricas (4h T, 2h P)
Semana 3	Transformador trifásico en régimen equilibrado (4h T, 2h P)
Semana 4	Transformador trifásico en régimen desequilibrado (4h T, 2h P)
Semana 5	Impedancias de secuencia en transformadores, autotransformadores y transformadores de medida. Energía y coenergía magnética, convertidor de una excitación. (4h T, 2h P)
Semana 6	Convertidor de dos excitaciones. Convertidor bifásico de dos excitaciones. Par de reluctancia. (4h T, 2h P)
Semana 7	Campo giratorio y mejora del contenido armónico (4h T, 2h P)
Semana 8	Primeros parciales
Semana 9	Primeros parciales
Semana 10	Generación de par en entrehierro uniforme y no uniforme (4h T, 2h P)
Semana 11	Máquina sincrónica de polos lisos, en régimen lineal y saturado (4h T, 2h P)
Semana 12	Máquina sincrónica de polos lisos, en régimen lineal y saturado (4h T, 2h P)
Semana 13	Presentación entregable. Estabilidad y máquina sincrónica de polos salientes (4h T, 2h P)
Semana 14	Máquina de inducción con alimentación estatórica. Máquina de inducción con rotor de barras profundas (4h T, 2h P)
Semana 15	Máquina de inducción doblemente alimentada y variadores de frecuencia. Presentación entregables. (4h T, 2h P)

A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Clases teóricas y prácticas de asistencia libre con los siguientes procedimientos de evaluación:



La evaluación se compone de dos parciales con parte práctica (ejercicios del tipo del práctico) y parte teórica (preguntas), evaluaciones en EVA a lo largo del curso, y un entregable al final del curso.

El entregable es presentado por los estudiantes ante los docentes y el resto de los estudiantes del curso en la última clase teórica.

Procedimientos de evaluación/aprobación:

1. Los parciales se notarán con un máximo de 85 puntos para la suma de ambos.
2. Las evaluaciones en EVA se notarán con un total de 5 puntos. Se dará publicidad a las mismas a lo largo del curso, estando diseñadas como mecanismo de autoevaluación o de control de conocimientos, sobre todo teóricos y de aplicación del mismo.
3. El entregable se notará con un máximo de 10 puntos, en los que se evaluará el trabajo realizado, así como la calidad de la presentación realizada ante los docentes y la clase.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el estudiante quedará habilitado a:

- a) Rendir Examen Total (práctico más teórico) si obtiene entre 25 y 49 puntos totales.
- b) Rendir Examen Parcial (sólo teórico) si obtiene 50 o más puntos.

El Examen Total consiste en una prueba práctica escrita (ejercicios similares a los de los parciales), que en caso de aprobación es seguida de una prueba de teórico oral. La prueba práctica escrita es eliminatoria en caso de no aprobación de la misma. En la situación en que un estudiante supere la parte escrita pero no el oral, en caso de volver a rendir el examen deberán hacerlo en forma completa (escrito + oral).

El Examen Parcial consiste en una prueba de teórico oral de iguales características a las de la parte teórica del Examen Total. Aquellos estudiantes que en el curso obtengan la habilitación a dar examen parcial, conservarán la misma por los períodos reglamentarios.

A4) CALIDAD DE LIBRE

Se podrá rendir el examen en Calidad de Libre.

A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Cupos mínimos: no tiene

Cupos máximos: no tiene

APROBADO POR RES DE CONSEJO DE FAC DE ING.
Fecha 13/05/2025 EXP: 061130-000005-25