



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
.URUGUAY

Programa de MÁQUINAS ELÉCTRICAS

1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

MÁQUINAS ELÉCTRICAS

2. CRÉDITOS

DIEZ (10) créditos

3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

El curso tiene como objetivos principales:

- 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 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 84 horas con 56 horas teóricas y 28 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 entregan temas de estudio a ser desarrollados por los estudiantes en forma de subgrupos (Entregables), 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

Aprobado por resolución N°113 del CFI de fecha 04.07.2017

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

Aprobado por resolución N°113 del CFI de fecha 04.07.2017

2. Notas teóricas del curso de Máquinas Eléctricas 2015 (disponible en la web del curso).
3. E. Ras - Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección. Ed. Marcombo, Barcelona, 1994
4. M.Kostenko, L.Piotrovsky. – Máquinas Eléctricas. Mir, Moscow, 1968/69.
5. A.E.Fitzgerald, Ch.Kingsley, S. Umans – Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill, 2004.

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. Teoría de las componentes simétricas. Introdutorios de Transformadores de Potencia y Motores Asíncronos Trifásicos.

7.2 Conocimientos Previos Recomendados:

Conceptos básicos de modelado de máquinas sincrónicas.

ANEXO A**A1) INSTITUTO**

IIE

A2) CRONOGRAMA TENTATIVO

Semana 1	Introducción al curso, Circuitos magnéticos (2h T, 0h P)
Semana 2	Transformador monofásico (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 trafos de medida (4h T, 2h P)
Semana 6	Energía y coenergía magnética, convertidores de una y dos excitaciones (4h T, 2h P)
Semana 7	Convertidor bifásico de dos excitaciones, simulaciones (4h T, 2h P)
Semana 8	Campo giratorio y mejora del contenido armónico (4h T, 2h P)
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	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 (4h T, 2h P)
Semana 16	Presentación entregables y repaso para parcial (2h 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 Pruebas Parciales de Práctico (ejercicios del tipo del práctico más preguntas de aplicación práctica del teórico), más una Prueba de Teórico, más un Entregable, al final del curso.

La Prueba de Teórico es tomada conjuntamente con la 2da Prueba Parcial de Práctico. 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. Las Pruebas Parciales de Práctico se notará con un máximo de 80 puntos para la suma de ambas. El puntaje máximo asignado a cada prueba, así como su duración, se informará con antelación a las mismas, y dependerá del grado efectivo de avance del curso (Teórico y Práctico) a la fecha de realización de la Primera Prueba Parcial.
2. La Prueba de Teórico se notará con un máximo de 10 puntos.
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.
4. 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 (suma de los puntos obtenidos en ambas Pruebas Parciales de Práctico, la Prueba de Teórico y el Entregable).
 - b) Rendir Examen Parcial (sólo preguntas de teórico) si obtiene entre 50 y 69 puntos totales.
 - c) Exonerar la asignatura si obtiene 70 o más puntos totales.

Los Exámenes Totales consisten en una prueba práctica escrita (ejercicios y problemas similares a los de las Pruebas Parciales), que en caso de aprobación es seguida de una prueba de teórico. La prueba práctica escrita es eliminatoria en caso de no aprobación de la misma. La prueba de teórico consiste en preguntas y/o desarrollos de temas tratados en el teórico del curso. Las pruebas de teórico se tomarán en forma oral convencional o en forma escrita, dependiendo de la cantidad de estudiantes rindiendo examen.

Los Exámenes Parciales consisten en una prueba de teórico de iguales características a las de la parte teórica de los Exámenes Totales.

A4) CALIDAD DE LIBRE

Se podrá rendir el examen en Calidad de Libre.

A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

La Unidad Curricular no tiene cupos asignados.

ANEXO B

B1) ÁREA DE FORMACIÓN

Convertidores Electromagnéticos de Energía

B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS

Curso:

- curso de Electrotécnica
- curso de Teoría de Circuitos
- examen de Electromagnetismo
- 5 créditos en Fundamentos
- 35 créditos en Física
- 50 en matemática

Alternativamente, podrá cursar Maquinas Eléctricas si tiene aprobados el examen de Sistemas Lineales 1 o Sistemas Lineales 2, el examen de Electromagnetismo y el curso de Electrotécnica

Examen:

- no tiene

PROB. RES. CONSEJO DE FAC. ING.

09/07/2019 EXP. 060180 - 002540-15