



PROGRAMA PLANEAMIENTO EDUCATIVO
Departamento de Desarrollo y Diseño Curricular

	PROGRAMA				
	Código en SIPE	Descripción en SIPE			
TIPO DE CURSO	063	Ingeniero Tecnológico			
PLAN	2020				
ORIENTACIÓN	344	Electrotecnia			
MODALIDAD	-----	-----			
AÑO	-----	-----			
TRAYECTO	-----	-----			
SEMESTRE/ MÓDULO	6	Sexto			
ÁREA DE ASIGNATURA	80010	MAQ			
ASIGNATURA	26562	Maquinas Eléctricas II			
CRÉDITOS EDUCATIVOS	9				
DURACIÓN DEL CURSO	Horas totales: 96	Horas semanales: 6	Cantidad de semanas: 16		
Fecha de Presentación: 10/10/19	Nº Resolución del CETP	Exp. Nº	Res. Nº	Acta Nº	Fecha __/__/____

OBJETIVO DE LA ASIGNATURA

El objetivo central de la asignatura es:

- 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.
- Dar una introducción al conocimiento de los métodos generales de análisis del comportamiento en régimen transitorios de máquinas eléctricas.

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, y sus ecuaciones transformadas.

Se estudia el régimen permanente a partir de las consideraciones de tensiones inducidas, energía y par, y también como caso particular del modelado general válido para regímenes transitorios, y se estudia algunos regímenes transitorios particulares.

PROGRAMA SINTÉTICO

Tema 1: Introducción.

Tema 2: Sistemas polifásicos.

Tema 3: Revisión de Circuitos Magnéticos y Transformadores.

Tema 4: Fundamentos de la conversión electromecánica de la energía.

Tema 5: Campo giratorio.

Tema 6: Máquinas sincrónicas.

Tema 7: Máquinas de inducción polifásicas.

Tema 8: Máquinas de inducción monofásicas.

Tema 9: Modelado de las máquinas sincrónicas.

Tema 10: Máquinas sincrónicas en régimen permanente.

Tema 11: Regímenes transitorios de máquinas sincrónicas.

PROGRAMA ANALÍTICO

TEMA 1

1. Introducción.
 - 1.1. Presentación del curso.
 - 1.2. Breve reseña histórica sobre la evolución de las máquinas eléctricas.
 - 1.3. Consideraciones generales sobre la energía, sus fuentes, su conversión, y el rol de las máquinas eléctricas en la misma.
 - 1.4. Importancia de la normalización.

TEMA 2

2. Sistemas polifásicos.
 - 2.1. Sistemas monofásico, trifásico, y polifásicos generales.
 - 2.2. Resolución de sistemas trifásicos simétricos en régimen desequilibrado.
 - 2.3. Impedancias directa, inversa y homopolar.

TEMA 3

3. Revisión de Circuitos Magnéticos y Transformadores.

- 3.1. Repaso de circuitos magnéticos. Materiales magnéticos. Pérdidas en el hierro. Imanes permanentes.
- 3.2. Revisión de bobinas y transformadores monofásicos. Circuitos equivalentes de secuencia directa, inversa y homopolar de transformadores trifásicos.
- 3.3. Corrientes y tensiones armónicas en los transformadores trifásicos.

TEMA 4

4. Fundamentos de la conversión electromecánica de la energía.
 - 4.1. Balance de energía en un convertidor electromecánico de campo magnético. Convertidor ideal.
 - 4.2. Energía y co-energía almacenadas en el campo magnético.
 - 4.3. Fuerza y par de origen magnético.
 - 4.4. Sistemas de simple y doble excitación.
 - 4.5. Ecuaciones dinámicas de los convertidores.
 - 4.6. Conceptos básicos de las máquinas giratorias. Convertidor giratorio monofásico de doble excitación.
 - 4.7. Par de reluctancia y par de inducción mutua.
 - 4.8. Convertidor giratorio bifásico de doble excitación: condición de existencia de conversión electromecánica.
 - 4.9. Fuerza normal y tangencial aplicada por el campo electromagnético.

TEMA 5

5. Campo giratorio.
 - 5.1. Fuerza magnetomotriz de entrehierro creada por: espira diametral, bobinado distribuido discreto, y continuo.
 - 5.2. Campo (fmm) giratorio creado por un sistema trifásico. Teorema de Ferraris.
 - 5.3. Reducción del contenido armónico con bobinado distribuido. Campo multipolar. Efecto del número de fases.
 - 5.4. Campo giratorio elíptico. Bobinado monofásico. Campos giratorios armónicos.
 - 5.5. Nociones sobre la disposición de los bobinados trifásicos: bobinados en dos capas de paso reducido.
 - 5.6. Flujo de arrollamiento por fase, fem inducida. Coeficiente de distribución del bobinado.

- 5.7. Inductancias propias y mutuas en estructuras de entrehierro constante y de entrehierro periódico (polos salientes).
- 5.8. Energía y par en el campo giratorio.

TEMA 6

6. Máquinas sincrónicas
 - 6.1. Introducción máquinas sincrónicas (repaso).
 - 6.2. Análisis no lineal de la máquina síncrona. Reactancia síncrona saturada (Método de Potier).
 - 6.3. Regulación de tensión en las máquinas síncronas de polos salientes.
 - 6.4. Funcionamiento de un alternador en una red aislada.
 - 6.5. Acoplamiento de un alternador a la red.
 - 6.6. Potencia activa y reactiva desarrollada por una máquina síncrona acoplada a una red de potencia infinita.
 - 6.7. Funcionamiento de una máquina síncrona conectado a una red de potencia infinita.
 - 6.8. Funcionamiento en paralelo de alternadores de potencia similares.
 - 6.9. Motor síncrono: Características y aplicaciones. Curvas en V o de Mordey. }
 - 6.10. Diagrama de límites de funcionamiento de una máquina síncrona. Estabilidad. Ecuación de pequeñas oscilaciones
 - 6.11. Estudio de algunos regímenes transitorios particulares.
 - 6.12. Cortocircuito trifásico del generador en vacío. Aproximaciones usuales.

TEMA 7

7. Máquinas de inducción polifásicas.
 - 7.1. Introducción máquinas asíncronas (repaso).
 - 7.2. Diagrama de círculo.
 - 7.3. Modos de funcionamiento: motor, generador, freno. Modos de funcionamiento de la máquina de inducción doblemente alimentada.
 - 7.4. Arranque de motores asíncronos. Métodos de arranque.
 - 7.5. Motores de doble jaula de ardilla.
 - 7.6. Regulación de velocidad.
 - 7.7. Dinámica del motor asíncrono.
 - 7.8. El par de rotación de un motor de inducción desde el punto de vista físico.

- 7.9. Máquinas asíncronas especiales.
- 7.10. Motores de barras profundas y doble jaula.

TEMA 8

- 8. Máquinas de inducción monofásicas.
 - 8.1. Análisis como máquina trifásica en régimen desequilibrado y por doble campo giratorio.
 - 8.2. Circuito equivalente.
 - 8.3. Curva par-velocidad.
 - 8.4. Dispositivos de arranque.

TEMA 9

- 9. Máquinas especiales.
 - 9.1. Modelado de los amortiguadores.
 - 9.2. Máquina sincrónica ideal. Representación circuital de la MS. Inductancias.
 - 9.3. Ecuaciones en componentes de fase de la MS de polos salientes.

TEMA 10

- 10. Máquinas sincrónicas en régimen permanente.
 - 10.1. Régimen permanente a velocidad sincrónica. Funcionamiento en vacío.
 - 10.2. Funcionamiento con carga simétrica. MS de rotor cilíndrico.

TEMA 11

- 11. Regímenes transitorios de máquinas sincrónicas.
 - 11.1. Estudio de algunos regímenes transitorios particulares.
 - 11.2. Establecimiento de la tensión en vacío.
 - 11.3. Cortocircuito trifásico del generador en vacío. Aproximaciones usuales.

METODOLOGÍA

Máquinas Eléctricas II, asignatura perteneciente al 6to nivel de la Carrera de Ingeniero Tecnológico en Electrotecnia, de carácter semestral, presenta un enfoque orientado al concepto avanzado de las máquinas eléctricas que se encuentran presente en la industria,

haciendo especial foco en el principio de funcionamiento, aspecto constructivos y aplicaciones de las mismas.

La asignatura Maquinas Eléctricas II, es un curso teórico que cuenta con once temas a desarrollar.

El desarrollo de los temas será realizado por parte del docente responsable de la asignatura, se expondrán los contenidos de cada unidad didáctica por medio de presentaciones y explicaciones, junto con indicaciones sobre fuentes de información y bibliografía.

Se promoverá la participación activa del estudiante con actividades de debate, discusión de casos, preguntas y exposiciones. El estudiante dispondrá previamente de materiales didácticos, que incluirán objetivos, guiones, cronograma y recursos. Los materiales electrónicos, presentaciones, teóricos y ejercicios, estarán estar previamente cargados en la plataforma CV.

Desarrollo de la asignatura:

Horas de clase teóricas: 60 horas

Horas de clase práctico: 28 horas

Horas de consulta: 4 horas

Horas de evaluación: 4 horas

Total de horas presenciales: 96 horas

Horas de dedicación del estudiante: 96 horas

EVALUACIÓN

Esta es una asignatura con derecho a exoneración según lo establecido en el *reglamento de evaluación y titulación de educación superior terciaria* que se halle vigente, así como sus *anexos*.

Se sugieren 2 instancias de evaluación o parciales. El primero luego de finalizado el segundo mes del semestre y el último al finalizar éste. A partir de las calificaciones de dichos parciales y de su actuación, el estudiante obtendrá la calificación final del semestre.

BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía indicada a continuación es deliberadamente extensa, debido a que las máquinas eléctricas, las teorías explicativas de su funcionamiento y la enseñanza de las mismas tienen una larga historia de desarrollo. Por otra parte han existido y existen aún diferentes enfoques en cuanto a la naturaleza de las cuestiones básicas a tratar en un curso sobre el tema, desde tratamientos de índole más física orientados a explicar el funcionamiento, especialmente en régimen permanente, hasta enfoques más analíticos y algebraicos orientados al desarrollo de modelos que permitan la simulación del desempeño de las máquinas eléctricas rotativas, en particular en régimen transitorio.

Como los objetivos del presente curso cubren ambos enfoques, enfatizando el primero y presentando el segundo en forma introductoria, no se dispone de una única referencia bibliográfica abarcativa de ese espectro, y del nivel de profundidad y extensión acorde al curso.

Por lo cual se recomienda las siguientes dos referencias de la lista indicada más abajo:

[1] C.B.Gray - Electrical Machines and Drive Systems. Longman Sci. & Tech. Publications, London, & J.Wiley, New York, 1989. Máquinas Eléctricas y Sistemas Accionadores. Ed. Alfaomega, México, 1993.

[15] J.L.Alonso, A.Portillo. - Apuntes del curso de Máquinas Eléctricas II. Facultad de Ingeniería, Montevideo, (Curso dictado desde 1987 a 1997).

Adicionalmente, algunos temas de los capítulos 4 y 5 están basados en la referencia [5] (ver anexo).

A.- Libros básicos de referencia. ([*]= Disponibles en Biblioteca IIE.)

[1] C.B.Gray - Electrical Machines and Drive Systems. Longman Sci. & Tech. Publications, London, & J.Wiley, New York, 1989. Máquinas Eléctricas y Sistemas Accionadores. Ed. Alfaomega, México, 1993. [*]

[2] A.E.Fitzgerald, Ch.Kingsley, A.Kusko. - Electric Machinery (3rd ed.). McGraw-Hill, New York,

1969. Teoría y Análisis de las Máquinas Eléctricas. Ed. Hispano Europea, Barcelona, 1975.

[*]

- [3] L.W.Matsch. - Electromagnetic and Electromechanical Machines. International Textbook Co., New York, 1972. Máquinas Electromagnéticas y Electromecánicas. Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, 1974. [*]
- [4] G.Séguier, F.Notelet. - Electrotechnique Industrielle. Ed. Technique et Documentation, Paris, 1977. [*]
- [5] J.Chatelain. - Machines Electriques - Traité d'Electricité de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Vol. X. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1983.
- [6] M.Liwschitz - Garik, C.C.Whipple. - A.C. Machines. Van Nostrand, New York, 1946. [*] - D.C. Machines. Van Nostrand, New York, 1946. [*] Máquinas de Corriente Alterna. C.E.C.S.A., México, 1970. [*] Máquinas de Corriente Continua. C.E.C.S.A., México, 1970. [*]
- [7] M.Kostenko, L.Piotrovsky. - Electrical Machines. 1. D.C.Machines, 2.A.C.Machines. Mir, Moscow, 1968/69. [*] (Existe en traducción al español).
- [8] A.S.Langsdorf. - Principles of Direct Current Machines. McGraw- Hill, New York, 1940. [*] - Theory of Alternating Current Machinery. McGraw-Hill, New York, 1955. [*] (Existe traducciones al español).
- [9] G.J.Thaler, M.L.Wilcox. - Electric Machines. Dynamics and Steady State. Wiley, New York, 1966. [*] Máquinas Eléctricas - Estado dinámico y permanente. Ed. Limusa, México, 1969.
- [10] L.V.Bewley. - Alternating Current Machinery. MacMillan, New York 1949. [*]
- [11] P.C.Krause. - Analysis of Electric Machinery. McGrawHill, New York, 1986. [*]
- [12] P.C.Krause, O.Wasynczuk, S.D.Sudhoff. - Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. Wiley , New York, 2002.
- [13] R. Sanjurjo Navarro. - Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill, Madrid, 1989.

B. - Apuntes y Publicaciones universitarias.

- [14] A.G.Cisa. - Apuntes del curso de Máquinas Eléctricas. Oficina de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Montevideo, (Fascículos de fechas diversas).
- [15] J.L.Alonso, A.Portillo. - Apuntes del curso de Máquinas Eléctricas II. Facultad de Ingeniería, Montevideo, (Curso dictado desde 1987 a 1997).
- [16] Ph.Barret. - Electrotechnique Générale. Ecole Supérieure d'Electricité, Paris. Tome 1 (Publication No.2272), 1972; Tome 2 (Publ. No.2532), 1976. C. - Obras complementarias y de profundización.

C. - Obras complementarias y de profundización

- [17] J.Lesenne, F.Notelet, G.Séguier. - Introduction à l'Electrotechnique Approfondie. Ed. Technique et Documentation, Paris, 1981. [*]
- [18] J.Meisel. - Principles of Electromechanical Energy Conversion. McGraw-Hill, New York, 1966.
- [19] M.Jufer. - Transducteurs Electromécaniques - Traité d'Electricité de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Vol.IX. Ed.Georgi, Lausanne, 1979.
- [20] C.G.Veinott. - Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors. McGraw-Hill, New York, 1975. Motores Eléctricos de Potencia Fraccionaria y Subfraccionaria. Ed. Marcombo- Boixareu, Barcelona, 1978. [*]
- [21] D.C.White, H.H.Woodson. - Electromechanical Energy Conversion, Wiley, New York, 1959. [*]
- [22] J.Kirtley - Electric Machines. MIT graduate course 6.685.
<http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-685-electricmachines-fall-2005/>