



NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO  
SCHOOL OF ENGINEERING



COURSE SYLLABUS

<b>ELECTRICAL MACHINES I</b>	<b>1998</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
Course	Code	Semester	Credits

<b>ELECTRICAL ENGINEERING</b>	<b>POWER ELECTRICAL ENGINEERING</b>	<b>ELECTRIC ELECTRONIC ENGINEERING</b>
Division	Department	Undergraduate Program

Course:	Hours /week:	Hours / Semester:
Compulsory <input checked="" type="checkbox"/>	Lecture <input type="text" value="4.0"/>	Lecture <input type="text" value="64.0"/>
Elective <input type="checkbox"/>	Practical <input type="text" value="2.0"/>	Practical <input type="text" value="32.0"/>
	Total <input type="text" value="6.0"/>	Total <input type="text" value="96.0"/>

**Mode:** Lecture-Practical course.

**Prerequisite course:** Analysis of Electrical Circuit

**Subsequent course:** Power Electrical Systems I, Electrical Machines II

**Course Objective(s)**

The student will describe the characteristics of electrical transformers and three-phase induction motors. They will analyze, both qualitatively and quantitatively, their operation and apply specific tests to obtain their parameters. The student will identify and apply the current regulations and specifications.

Course Topics

NO.	NAME.	HOURS
1.	Characteristics of Magnetic Circuits	8.0
2.	Structure and Basic Theory of Transformers	6.0
3.	Equivalent Circuit of the Transformer and Parameter Determination	6.0
4.	Transformer Operation in an Electrical System	6.0
5.	Three-Phase Transformers	8.0
6.	Description of Three-Phase Induction Motors	4.0
7.	Operating Principles of Three-Phase Induction Motors	6.0

8.	Equivalent Circuit of Induction Motors and Parameter Determination	6.0
9.	Analysis of the Operation of Three-Phase Induction Motors	6.0
10.	Starting, Protection, and Control of Induction Motors	8.0

---

64.0

Practical Activities

32.0

Total

---

96.0

### **1. Signals and Systems.Characteristics of Magnetic Circuits**

**Objective:** The student will describe and identify the characteristics of magnetic circuits.

**Content:**

#### **1.1 Concept of magnetic circuit**

**1.1.1** Excitation of ferromagnetic cores with direct current

**1.1.2** Magnetization curve

**1.1.3** Saturation

**1.1.4** Stored magnetic energy

#### **1.2 Excitation of ferromagnetic cores with alternating current**

**1.2.1** Losses due to eddy currents

**1.2.2** Core lamination. Stacking factor

**1.2.3** Reactor with ferromagnetic core. Equivalent circuit

### **2. Structure and Basic Theory of Transformers**

**Objective:** The student will describe the structure and fundamental components of an electrical transformer and the basic theory on which its operation is based.

**Content:**

#### **2.1 Basic components of an electrical transformer**

**2.1.1** Transformer structure: magnetic core, windings, tank, expansion tank, terminals, among others

**2.1.2** Cooling systems

#### **2.2 Induced electromotive force, transformation ratio, and polarity**

### **3. Equivalent Circuit of the Transformer and Parameter Determination**

**Objective:** The student will identify and describe the electrical circuit that represents a transformer and apply the tests used to determine its parameters. The student will identify the regulations related to transformers.

**Content:**

#### **3.1 Deduction of the transformer equivalent circuit and phasor diagram**

#### **3.2 Determining transformer parameters**

**3.2.1** Short-circuit test

**3.2.2** Open-circuit test

#### **3.3 Percentage and per-unit impedance of the transformer**

**3.3.1** Meaning of percentage and per-unit impedance of a transformer

#### **3.4 Regulations related to transformers**

#### **4. Transformer Operation in an Electrical System**

**Objective:** The student will analyze transformer operation under any load condition.

**Content:**

4.1 Analysis of transformer operation with load

#### **5. Three-Phase Transformers**

**Objective:** The student will describe three-phase transformers and analyze their operation under any load condition.

**Content:**

5.1 Characteristics of three-phase transformers

5.1.1 Structure of three-phase transformers: magnetic cores, windings, tank, expansion tank, terminals, among others

5.1.2 Connections

5.1.3 Standardized classification of transformers

5.1.4 Transformer selection

5.2 Analysis of three-phase transformers with load

5.2.1 Equivalent circuits of three-phase transformers

5.2.2 Analysis of the operation of three-phase transformers using the equivalent circuit under any load condition

#### **6. Description of Three-Phase Induction Motors**

**Objective:** The student will describe the structure of three-phase induction motors.

**Content:**

6.1 Structure of induction machines

6.1.1 Structure of three-phase induction motors

6.1.2 Characteristics of the stator and windings

6.1.3 Number of poles

6.1.4 Types of rotors

#### **7. Operating Principles of Three-Phase Induction Motors**

**Objective:** The student will explain the fundamental principles underlying the operation of three-phase induction motors and their analogy with transformers.

**Content:**

7.1 Fundamental principles of three-phase induction motors

7.1.1 Rotating magnetic field

7.1.2 Induced torque in the rotor

7.1.3 Direction of rotation

7.2 Analogy of induction motors with transformers

#### **8. Equivalent Circuit of Induction Motors and Parameter Determination**

**Objective:** The student will identify and describe the equivalent electrical circuit of induction motors and apply the tests used to obtain their parameters. The student will identify the corresponding regulations.

**Content:**

8.1 Equivalent circuit of induction motors

8.1.1 Comparison of the induction motor circuit with the transformer circuit

8.2 Determining the parameters of the equivalent circuit

8.2.1 No-load motor test

8.2.2 Locked rotor test

8.3 Regulations applicable to induction motors

## **9. Analysis of the Operation of Three-Phase Induction Motors**

**Objective:** The student will analyze the operation of three-phase induction motors under various load conditions.

**Content:**

**9.1** Characteristics of operation of three-phase induction motors

**9.1.1** Slip and synchronous speed

**9.1.2** Electrical frequency in the rotor

**9.1.3** Determination and analysis of the torque-speed curve

**9.1.4** Relationship between power and torque

**9.2** Analysis of operation of three-phase induction motors

## **10. Starting, Protection, and Control of Induction Motors**

**Objective:** The student will describe the various methods for starting induction motors, define protection measures, and the speed control devices required, according to the application of the motors.

**Content:**

**10.1** Starting induction motors

**10.1.1** Starting devices for three-phase induction motors

**10.2** Protection of induction motors

**10.2.1** Protection against overloads and short-circuit currents

**10.2.2** Protection against overvoltage

**10.2.3** Coordination of protection elements

**10.3** Speed control of induction motors

**10.3.1** Techniques for controlling the speed of induction motors

**10.3.2** Devices for controlling the speed of induction motors

**10.3.3** State of the art in induction motor control



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROGRAMA DE ESTUDIO

**MÁQUINAS ELÉCTRICAS I**

**1998**

**6**

**10**

Asignatura

Clave

Semestre

Créditos

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DE POTENCIA**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA  
Y ELECTRÓNICA**

División

Departamento

Licenciatura

**Asignatura:**

Obligatoria

Optativa

**Horas/semana:**

Teóricas

Prácticas

Total

**Horas/semestre:**

Teóricas

Prácticas

Total

**Modalidad:** Curso teórico-práctico

**Seriación obligatoria antecedente:** Análisis de Circuitos Eléctricos

**Seriación obligatoria consecuente:** Sistemas Eléctricos de Potencia I, Máquinas Eléctricas II

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno describirá las características de transformadores eléctricos y motores de inducción trifásicos. Analizará, cualitativa y cuantitativamente, el funcionamiento de los mismos y aplicará las pruebas específicas para la obtención de sus parámetros. Identificará y aplicará la normatividad y especificaciones vigentes.

**Temario**

NÚM.	NOMBRE	HORAS
1.	Características de los circuitos magnéticos	8.0
2.	Estructura y teoría básica de los transformadores	6.0
3.	Circuito equivalente del transformador y obtención de sus parámetros	6.0
4.	Operación del transformador en un sistema eléctrico	6.0
5.	Transformadores trifásicos	8.0
6.	Descripción de los motores de inducción trifásicos	4.0
7.	Principios de funcionamiento de los motores de inducción trifásicos	6.0
8.	Circuito equivalente de los motores de inducción y obtención de sus parámetros	6.0
9.	Análisis de la operación de motores de inducción trifásicos	6.0
10.	Arranque, protección y control de motores de inducción	8.0
		64.0
Actividades prácticas		32.0
		96.0

## 1 Características de los circuitos magnéticos

**Objetivo:** El alumno describirá e identificará las características de los circuitos magnéticos.

**Contenido:**

- 1.1 Concepto de circuito magnético.
  - 1.1.1 Excitación de núcleos ferromagnéticos con corriente directa.
  - 1.1.2 Curva de magnetización.
  - 1.1.3 Saturación.
  - 1.1.4 Energía magnética almacenada.
  
- 1.2 Excitación de núcleos ferromagnéticos con corriente alterna.
  - 1.2.1 Pérdidas por corrientes parásitas.
  - 1.2.2 Laminación del núcleo. Factor de apilamiento.
  - 1.2.3 Reactor con núcleo ferromagnético. Circuito equivalente.

## 2 Estructura y teoría básica de los transformadores

**Objetivo:** El alumno describirá la estructura y componentes fundamentales de un transformador eléctrico y la teoría básica en la que se basa su operación.

**Contenido:**

- 2.1 Componentes básicos de un transformador eléctrico.
  - 2.1.1 Estructura del transformador. Núcleo magnético, devanados, tanque, depósito de expansión, terminales, entre otros.
  - 2.1.2 Sistemas de enfriamiento.
  
- 2.2 Fuerza electromotriz inducida, relación de transformación y polaridad.

## 3 Circuito equivalente del transformador y obtención de sus parámetros

**Objetivo:** El alumno identificará y describirá el circuito eléctrico que representa a un transformador y aplicará las pruebas mediante las cuales se obtienen los parámetros propios del mismo. Identificará la normatividad relativa a los transformadores.

**Contenido:**

- 3.1 Deducción del circuito equivalente de un transformador y diagrama fasorial.
- 3.2 Obtención de los parámetros del transformador.
  - 3.2.1 Prueba de corto circuito.
  - 3.2.2 Prueba de circuito abierto.
  
- 3.3 Impedancia en por ciento y en por unidad del transformador.
  - 3.3.1 Significado de la impedancia en por ciento y en por unidad de un transformador.
  
- 3.4 Normatividad relacionada con los transformadores.

## 4 Operación del transformador en un sistema eléctrico

**Objetivo:** El alumno analizará la operación de los transformadores bajo cualquier condición de carga.

**Contenido:**

- 4.1 Análisis de la operación de los transformadores con carga.

## 5 Transformadores trifásicos

**Objetivo:** El alumno describirá los transformadores trifásicos y analizará su operación bajo cualquier condición de carga.

**Contenido:**

### 5.1 Características de los transformadores trifásicos.

5.1.1 Estructura de los transformadores trifásicos: núcleos magnéticos, devanados, tanque, depósito de expansión, terminales, entre otros.

5.1.2 Conexiones.

5.1.3 Clasificación normalizada de transformadores.

5.1.4 Selección de transformadores.

### 5.2 Análisis de los transformadores trifásicos con carga.

5.2.1 Circuitos equivalentes de los transformadores trifásicos.

5.2.2 Análisis de la operación de transformadores trifásicos mediante el circuito equivalente, en cualquier condición de carga.

## 6 Descripción de los motores de inducción trifásicos

**Objetivo:** El alumno describirá la estructura de los motores de inducción trifásicos.

**Contenido:**

### 6.1 Estructura de las máquinas de inducción.

6.1.1 Estructura de los motores de inducción trifásicos.

6.1.2 Características del estator y los embobinados.

6.1.3 Número de polos.

6.1.4 Tipos de rotor.

## 7 Principios de funcionamiento de los motores de inducción trifásicos

**Objetivo:** El alumno explicará los principios fundamentales en los que se basa la operación de los motores de inducción trifásicos y la analogía con los transformadores.

**Contenido:**

### 7.1 Principios fundamentales de los motores de inducción trifásicos.

7.1.1 Campo magnético giratorio.

7.1.2 Momento de torsión inducido en el rotor.

7.1.3 Dirección de rotación.

### 7.2 Analogía de los motores de inducción con los transformadores.

## 8 Circuito equivalente de los motores de inducción y obtención de sus parámetros

**Objetivo:** El alumno identificará y describirá el circuito eléctrico equivalente de los motores de inducción y aplicará las pruebas mediante las cuales se obtienen los parámetros del mismo. Identificará la normatividad correspondiente.

**Contenido:**

### 8.1 Circuito equivalente de los motores de inducción.

8.1.1 Comparación del circuito del motor de inducción con el del transformador.

### 8.2 Obtención de los parámetros del circuito equivalente.

8.2.1 Prueba del motor en vacío.

8.2.2 Prueba a rotor bloqueado.

8.3 Normatividad aplicable a los motores de inducción.

## 9 Análisis de la operación de motores de inducción trifásicos

**Objetivo:** El alumno analizará la operación de los motores de inducción trifásicos bajo diversas condiciones de carga.

**Contenido:**

9.1 Características de operación de los motores de inducción trifásicos.

9.1.1 Deslizamiento y velocidad síncrona.

9.1.2 Frecuencia eléctrica en el rotor.

9.1.3 Obtención y análisis de la curva par - velocidad.

9.1.4 Relación entre la potencia y el momento de torsión.

9.2 Análisis de operación de los motores de inducción trifásicos.

## 10 Arranque, protección y control de motores de inducción

**Objetivo:** El alumno describirá los diversos métodos de arranque de los motores de inducción, definirá las medidas de protección y los dispositivos de control de velocidad requeridos, de acuerdo con la aplicación de los motores.

**Contenido:**

10.1 Arranque de motores de inducción.

10.1.1 Dispositivos de arranque de motores de inducción trifásicos.

10.2 Protección de motores de inducción.

10.2.1 Protección de motores contra sobrecarga y corrientes de corto circuito.

10.2.2 Protección contra sobretensiones.

10.2.3 Coordinación de los elementos de protección.

10.3 Control de velocidad de motores de inducción.

10.3.1 Técnicas para el control de velocidad de los motores de inducción.

10.3.2 Dispositivos para el control de velocidad de los motores de inducción.

10.3.3 Estado del arte en el control de motores de inducción.

### Bibliografía básica

ALVAREZ, Pulido Manuel

*Transformadores*

México

Alfaomega, 2009

CHAPMAN, S. J.

*Máquinas eléctricas*

México

Prentice Hall, 1998

### Temas para los que se recomienda:

1,2,3,4,5

Prentice Hall, 1998



FITZGERALD, Kingley & Kusko <i>Electrical Machinery</i> México McGraw-Hill, 2004	Todo
NASAR, S. A. <i>Máquinas eléctricas</i> México CECSA, 1993	Todos
PONCE, Pedro, SAMPE, Javier <i>Máquinas eléctricas y técnicas modernas de control</i> México Alfaomega, 2008	6, 7, 8, 9, 10
PÉREZ AMADOR, Víctor <i>Generadores, motores y transformadores</i> México Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994	Todos
WILDI, Theodore <i>Máquinas eléctricas y sistemas de potencia</i> México Pearson, Prentice Hall, 2007	Todos

**Bibliografía complementaria****Temas para los que se recomienda:**

KOSOW, Irving L. <i>Control of Electric Machines</i> Englewood Cliffs Prentice Hall, 1973	Todos
MOHAMED E., El-hawary <i>Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications</i> Toronto Prentice Hall, 1986	Todos
SEN, P. C. <i>Principles of Electric Machines and Power Electronics</i> New York John Wiley and Sons, 1997	Todos

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	<input checked="" type="checkbox"/>
Exposición audiovisual	<input checked="" type="checkbox"/>
Ejercicios dentro de clase	<input checked="" type="checkbox"/>
Ejercicios fuera del aula	<input checked="" type="checkbox"/>
Seminarios	<input type="checkbox"/>
Uso de software especializado	<input type="checkbox"/>
Uso de plataformas educativas	<input type="checkbox"/>

Lecturas obligatorias	<input type="checkbox"/>
Trabajos de investigación	<input type="checkbox"/>
Prácticas de taller o laboratorio	<input checked="" type="checkbox"/>
Prácticas de campo	<input type="checkbox"/>
Búsqueda especializada en internet	<input type="checkbox"/>
Uso de redes sociales con fines académicos	<input type="checkbox"/>

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	<input checked="" type="checkbox"/>
Exámenes finales	<input checked="" type="checkbox"/>
Trabajos y tareas fuera del aula	<input checked="" type="checkbox"/>

Participación en clase	<input checked="" type="checkbox"/>
Asistencia a prácticas	<input checked="" type="checkbox"/>

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Profesor con licenciatura en Ingeniería Eléctrica Electrónica o carreras afines con conocimiento amplio de teoría electromagnética, circuitos eléctricos, máquinas eléctricas. Tener experiencia en la aplicación, instalación y selección de transformadores y motores de inducción y en la normatividad correspondiente.

El profesor debe contar con experiencia docente o con preparación en los programas de formación docente de la Facultad.