

Programa de
Accionamientos Eléctricos



Código/s: E20

Identificación y características de la Actividad Curricular

Carrera/s:	Ingeniería Eléctrica		
Plan de Estudios:	2014	Carácter:	Obligatoria
Bloque/Campo:	Tecnologías Aplicadas	Área:	Máquinas Eléctricas
Régimen de cursado:	Cuatrimestral		
Cuatrimestre:	9º [ETA]		
Carga horaria:	80 hs. / 5 hs. semanales	Formato curricular:	Asignatura
Escuela:	Ingeniería Eléctrica	Departamento:	Electricidad Aplicada
Docente responsable:	MARTINEZ, Néstor		

Programa Sintético

Introducción a la electrónica industrial y de potencia. Componentes. Cálculo de las principales magnitudes en la electrónica de potencia. Rectificadores de media onda. Rectificadores de onda completa. Controladores de tensión de alterna. Convertidores continua-continua (DC-DC). Fuentes de alimentación. Inversores. Convertidores resonantes. Circuitos auxiliares y complementarios. Sistemas de accionamientos. Principios mecánicos involucrados. Curvas torque-velocidad típicas de las cargas mecánicas. Estructura básica, modelado y utilización de las máquinas eléctricas y los convertidores electrónicos. Diseño de los reguladores para las máquinas y los convertidores. Control vectorial. Control de posición y velocidad.

Asignaturas Relacionadas

Previas:	E14 - Maquinas Eléctricas II
Simultaneas Recomendadas:	E21 - Sistemas de Potencia
Posteriores:	

Vigencia desde

Firma Profesor

Fecha

Firma Aprob. Escuela

Fecha

Con el aval del Consejo Asesor:

Características generales

La asignatura "Accionamientos Eléctricos" cubre aspectos establecidos en las incumbencias del Ingeniero Eléctrico de la FCEIA-UNR por la Resolución N° 1232/01 del Ministerio de Educación.

La asignatura estimula el desarrollo en el alumno de las capacidades necesarias para identificar, formular, resolver, concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería vinculados con los accionamientos eléctricos, utilizando de manera efectiva las técnicas y herramientas disponibles.

La estrategia de enseñanza se basa en el desarrollo de clases teórico/prácticas con modalidad presencial, y actividad de Laboratorio. En las clases prácticas (de pizarrón y de Laboratorio) se fomenta el trabajo grupal para la resolución de problemas, modalidad que contribuye al proceso de enseñanza/aprendizaje por sus beneficios sobre la ayuda, apoyo mutuo, negociación y resolución más rápida.

La evaluación consta de 2 parciales teórico/prácticos y 2 Trabajos Prácticos de Laboratorio.

Objetivos

Capacitar al alumno en aspectos conceptuales y tecnológicos para interpretar el funcionamiento (especificaciones) de una máquina ó un proceso industrial de mediana complejidad. El objetivo de la asignatura es la consolidación y ampliación de los conocimientos que el alumno trae de otras materias de la especialidad, completando esta base con temas específicos de la aplicación industrial de las máquinas eléctricas. El dictado técnico-práctico busca la aplicación de los conocimientos del alumno en el desarrollo de problemas concretos para la selección del equipamiento más apropiado para resolver necesidades específicas de accionamiento eléctrico.

Contenido Temático

Unidad 1 INTRODUCCIÓN Y CÁLCULOS DE POTENCIA

- 1.1 Introducción
- 1.2 Clasificación de los convertidores
- 1.3 Interruptores electrónicos
- 1.4 Selección de los interruptores
- 1.5 Potencia y energía, potencia instantánea, energía, potencia media
- 1.6 Inductancias y capacitores
- 1.7 Recuperación de la energía, transistor en conducción, en corte
- 1.8 Valor eficaz o valor cuadrático medio
- 1.9 Potencia aparente y factor de potencia
- 1.10 Cálculos de potencia en circuito de alterna con señales sinusoidales
- 1.11 Cálculos de potencia para formas de ondas periódicas no sinusoidales, series de Fourier, potencia media, fuente no sinusoidal y carga lineal

Unidad 2 RECTIFICADORES DE MEDIA ONDA

- 2.1 Carga resistiva, creación de una componente de continua utilizando un interruptor electrónico
- 2.2 Carga resistiva-inductiva
- 2.3 Carga RL-generador, alimentación de un generador de corriente continua a partir de un generador de corriente alterna
- 2.4 Carga bobina-generador, uso de la inductancia para limitar la corriente
- 2.5 El diodo de libre circulación, creación de una corriente continua, reducción de los armónicos de la corriente de carga
- 2.6 Rectificador de media onda con un filtro de condensador, creación de una tensión continua a partir de un generador de alterna
- 2.7 El rectificador de media onda controlado, carga resistiva, carga R-L, Carga RL-generador
- 2.8 Conmutación, efecto de la inductancia del generador

Unidad 3 RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA Y TRIFÁSICOS

3.1 Rectificadores monofásicos de onda completa, El rectificador en puente, carga resistiva, carga R-L, armónicos del generador, carga RL-generador, filtro de salida basado en condensador, dobladores de tensión, salida con filtro L-C, corriente continua para la salida con filtro L-C, corriente discontinua para la salida con filtro L-C

3.2 Rectificadores controlador de onda completa, carga resistiva, carga R-L con corriente discontinua, carga R-L con corriente continua, rectificador controlado con carga RL-generador, el convertidor monofásico controlado operando como un inversor

3.3 Rectificadores trifásicos

3.4 Rectificadores controlados trifásicos, Rectificadores de doce pulsos, El convertidor trifásico operando como un inversor

3.5 Transmisión de potencia continua

3.6 Conmutación: el efecto de la inductancia del generador, rectificador monofásico en puente, rectificador trifásico

Unidad 4 CONTROLADORES DE TENSION ALTERNA: CONVERTIDORES CA-CA

4.1 El controlador de tensión alterna monofásico, funcionamiento básico, controlador monofásico con carga resistiva, controlador monofásico con carga R-L

4.2 Controladores trifásicos de tensión, carga conectada en estrella, carga resistiva conectada en triángulo

4.3 Control de la velocidad de los motores de inducción

4.4 Control de VAR estático (compensador estático de reactiva)

Unidad 5 CONVERTIDORES CC-CC

5.1 Reguladores lineales de tensión

5.2 Un convertidor conmutado básico

5.3 El convertidor reductor, relaciones entre la tensión y la corriente, rizado de la tensión de salida

5.4 Consideraciones de diseño

5.5 El convertidor elevador, relaciones entre la tensión y la corriente, rizado de la tensión de salida

5.6 el convertidor reductor-elevador, relaciones entre la tensión y la corriente, rizado de la tensión de salida

5.7 El convertidor Cuk

5.8 Efectos no ideales en el funcionamiento de un convertidor, caídas de tensión en los interruptores, resistencia del condensador: efecto en el rizado, resistencia de la bobina, pérdida de conmutación

5.9 Funcionamiento con corriente discontinua: convertidor reductor con corriente discontinua, convertidor elevador con corriente discontinua

Unidad 6 FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE CC

6.1 Modelos de transformadores

6.2 El convertidor flyback: análisis con el interruptor cerrado, análisis con el interruptor abierto, modo de corriente discontinua en el convertidor flyback

6.3 el convertidor forward: análisis con el interruptor cerrado, análisis con el interruptor abierto

6.4 Convertidor forward con dos interruptores

6.5 El convertidor push-pull

6.6 Convertidores CC-CC en puente completo y en semi-puente

6.7 Convertidores alimentador en corriente

6.8 Convertidores con múltiples salidas

6.9 Elección de convertidores

6.10 Control de las fuentes de alimentación, estabilidad del bucle de control, análisis en pequeña señal, función de transferencial del interruptor, función de transferencia del filtro, función de transferencia del circuito PWM, amplificador de error con compensación, diseño de un amplificador de error compensado, circuitos de control PWM

Unidad 7 INVERSORES

- 7.1 El puente convertidor de onda completa
- 7.2 El inversor de onda cuadrada
- 7.3 Análisis mediante series de Fourier
- 7.4 Distorsión armónica total
- 7.5 Control de armónicos y de amplitud
- 7.6 El inversor en medio puente
- 7.7 Salida con modulación por ancho de impulsos, conmutación bipolar, conmutación unipolar
- 7.8 Definiciones y consideraciones relativas a la modulación PWM
- 7.9 Armónicos en la modulación PWM, conmutación bipolar, conmutación unipolar
- 7.10 Simulación de inversores con modulación por ancho de impulsos, PWM bipolar, PWM unipolar
- 7.11 Inversores trifásicos, inversor de seis pasos, inversor trifásico PWM

Unidad 8 CONVERTIDORES RESONANTES

- 8.1 Convertidor conmutado resonante: conmutación a corriente cero
- 8.2 Convertidor conmutado resonante: conmutación a tensión cero
- 8.3 El inversor resonante serie, pérdidas de conmutación, control de amplitud
- 8.4 Convertidor CC-CC resonante serie
- 8.5 Convertidor CC-CC resonante paralelo
- 8.6 Convertidor CC-CC serie-paralelo
- 8.7 Comparación de convertidores resonantes
- 8.8 el convertidor resonante con paso intermedio por corriente continua

Unidad 9 CIRCUITOS DE EXCITACIÓN Y DE PROTECCIÓN

- 9.1 Introducción
- 9.2 Circuito de excitación para MOSFET
- 9.3 Circuito de excitación para el transistor bipolar
- 9.4 Circuitos de excitación de tiristor
- 9.5 Circuitos de protección para el transistor
- 9.6 Circuitos de protección de recuperación de energía
- 9.7 Circuitos de protección para el tiristor

Unidad 10 CONTROL DE MOTORES DE CC

- 10.1 Principios del control de velocidad del motor de CC: relaciones fundamentales, control de campo, control de armadura, controles de campo y armadura, operación de cuatro cuadrantes
- 10.2 Análisis del estado estacionario del accionamiento motor de CC controlado por convertidor trifásico
- 10.3 Accionamiento motor de CC controlado por convertidor trifásico de dos cuadrantes
- 10.4 Funciones transferencia de los subsistemas: Motor de CC y carga, Conversores, Controladores de corriente y velocidad, realimentación de corriente, realimentación de velocidad
- 10.5 Diseño de controladores: Controlador de corriente, aproximación de primer orden del lazo de corriente interior, controlador de velocidad
- 10.6 Accionamiento motor de CC de dos cuadrantes con campo debilitado
- 10.7 Accionamiento motor de CC de cuatro cuadrantes
- 10.8 Selección y características del conversor
- 10.9 Simulación de un accionamiento motor de CC de un cuadrante
- 10.10 Armónicos y problemas asociados
- 10.11 Cupla de sexto armónico: modo de conducción continua de corriente, modo de conducción discontinua de corriente
- 10.12 Sensibilidad paramétrica

Unidad 11 ACCIONAMIENTO MOTOR DE INDUCCIÓN CONTROLADO POR FASE

- 11.1 Introducción

- 11.2 Control de tensión del estator
- 11.3 Esquema de recuperación de energía

Unidad 12 ACCIONAMIENTO MOTOR DE INDUCCIÓN CONTROLADO POR FRECUENCIA

- 12.1 Cambiadores estáticos de frecuencia
- 12.2 Inversor fuente de tensión: Inversor de McMurray modificado, Operación del inversor de puente completo
- 12.3 Accionamiento motor de inducción con inversor fuente de tensión: formas de onda de la tensión, potencia activa, potencia reactiva, control de velocidad, control Volt/Hz constante, control constante deslizamiento-velocidad, Control flujo de entrehierro constante, pulsaciones de cupla, control de armónicos, operación con campo debilitado
- 12.4 Accionamiento motor de inducción con fuente de corriente

Unidad 13 ACCIONAMIENTOS CONTROLADOS VECTORIALMENTE

- 13.1 Introducción
- 13.2 Principios del control vectorial
- 13.3 Control vectorial directo
- 13.4 Derivación del esquema de control vectorial indirecto
- 13.5 Esquema del control vectorial indirecto
- 13.6 Una implementación de un esquema de control vectorial indirecto
- 13.7 Sintonización del controlador vectorial
- 13.8 sensibilidad paramétrica
- 13.9 Compensación de la sensibilidad paramétrica
- 13.10 Operación con campo debilitado
- 13.11 Diseño de un controlador de velocidad para un accionamiento motor de inducción controlado vectorialmente en forma indirecta

Unidad 14 ACCIONAMIENTOS BRUSHLESS Y DE IMÁN PERMANENTE

- 14.1 Introducción
- 14.2 Imanes permanentes y sus características
- 14.3 Máquinas sincrónicas con imanes permanentes
- 14.4 Control vectorial de un motor sincrónico de imán permanente (PMSM)
- 14.5 Estrategias de control
- 14.6 Operación de campo debilitado
- 14.7 Diseño del controlador de velocidad
- 14.8 Control sensorless
- 14.9 Sensibilidad Paramétrica
- 14.10 Motor de CC brushless de imán permanente (PMBDCM)

Modalidades de enseñanza-aprendizaje

El dictado de la asignatura consta de clases teóricas, prácticas y de laboratorio. Las clases teóricas abordan los aspectos conceptuales de los distintos módulos, siendo las clases prácticas las encargadas de contextualizar los conocimientos teóricos en problemas de casos reales.

Actividades de Formación Práctica

Las actividades previstas apuntan a desarrollar habilidades de modelado, simulación y análisis en relación con los temas integrados en el dictado de la asignatura.

Nº	Título	Descripción
1	Simulación de motores de corriente continua y lazos de control de corriente y velocidad	El objeto de este trabajo práctico es el de realizar la simulación en Matlab de un sistema de control de velocidad de motores de CC de modo de poder evaluar el comportamiento de sus principales variables (torque, corriente de armadura y velocidad en el eje) frente a distintos estados de carga.
2	Accionamientos con Arrancadores Suaves y Variadores de Velocidad	El objeto de este trabajo práctico es el de realizar la simulación para determinar el reemplazo natural de los arrancadores de tensión reducida electromecánicos mediante el arrancador electrónico suave que controla dos tiristores por fase, con lo que se efectúa la disminución de la tensión eficaz en bornes del motor y que permite además, realizar diferentes ajustes.

Evaluación

INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

Durante el transcurso del cuatrimestre, el alumno será evaluado en tres instancias, consistentes en:

I1: un Primer Parcial, que cubrirá los aspectos tecnológicos de los semiconductores y los puentes convertidores.

I2: un Segundo Parcial, que cubrirá el tratamiento de los Sistemas de accionamientos motores en sus diferentes aplicaciones

I3: la práctica de Laboratorio (enumerados precedentemente).

En caso de reprobación de las instancias I1 y/o I2, los alumnos dispondrán de dos instancias adicionales, respectivamente I4 e I5, en donde tendrán la oportunidad de recuperar la(s) instancia(s) reprobada(s).

Cada uno de los Parciales de las instancias I1 e I2 (y sus respectivos recuperatorios) constará de dos ó más temas que cubrirán aspectos conceptuales teóricos y aspectos prácticos a través de la resolución de problemas.

REQUISITOS DE APROBACIÓN

Finalizado el período de evaluaciones y recuperatorios se adoptarán los siguientes criterios para la condición final de la asignatura.

Condición "APROBADO":

Obtendrán esta condición quienes hayan aprobado TODAS LAS INSTANCIAS DE EVALUACIÓN con un piso de 70%.

Las instancias I1 e I2 (con sus respectivos recuperatorios) se considerarán aprobadas cuando TODOS Y CADA UNO DE SUS TEMAS hayan sido aprobados con un piso de 60%.

La calificación final resultará del promedio ponderado de todas las instancias de evaluación.

Condición "INTERMEDIA" (C.I.):

Alcanzarán esta condición quienes cumplan con TODAS las condiciones siguientes:

- haber reprobado a lo sumo dos (2) de las tres instancias I1, I2 e I3 (con sus correspondientes recuperatorios)
- con un solo tema reprobado por instancia
- y todos los demás temas aprobados con un piso de 70%.

Al rendir bajo Condición Intermedia, el alumno será evaluado en todas las instancias de la asignatura, quedando a criterio de la Cátedra seleccionar los temas que considere convenientes.

Condición "LIBRE":

Quedarán en esta condición quienes, no habiendo alcanzado la condición de Aprobado, a criterio de la Cátedra NO hayan adquirido los conocimientos necesarios para ser considerados en Condición Intermedia.

Dicho de otra manera: quedarán LIBRES quienes cumplan CUALQUIERA de las siguientes condiciones:

- hayan reprobado las tres instancias I1, I2 e I3 (con sus correspondientes recuperatorios), independientemente de la cantidad de temas reprobados por instancia
- hayan reprobado (con sus correspondientes recuperatorios) más de un tema en cualquier instancia.

Al rendir bajo Condición Libre el alumno será evaluado en todas las instancias de la asignatura. Los Trabajos Prácticos de Laboratorio deberán efectuarse y aprobarse en forma individual (no grupal) durante las mesas de examen.

Distribución de la carga horaria**Presenciales**

Teóricas		32 Hs.
Prácticas	Experimental de Laboratorio	8 Hs.
	Experimental de Campo	0 Hs.
	Resolución de Problemas y Ejercicios	0 Hs.
	Problemas Abiertos de Ingeniería	32 Hs.
	Actividades de Proyecto y Diseño	8 Hs.
	Práctica Profesional Supervisada	0 Hs.
	Total	80 Hs.
Evaluaciones		8 Hs.
Dedicadas por el alumno fuera de clase		
	Preparación Teórica	14 Hs.
	Preparación Práctica	14 Hs.
	Elaboración y redacción de informes, trabajos, presentaciones, etc.	6 Hs.
	Total	34 Hs.

Bibliografía básica

Título	Autores	Editorial	Año	Ejem.
INTRODUCCIÓN Y CÁLCULOS DE POTENCIA	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
RECTIFICADORES DE MEDIA ONDA	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA Y TRIFÁSICOS	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
CONTROLADORES DE TENSION ALTERNA: CONVERTIDORES CA-CA	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
CONVERTIDORES CC-CC	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE CC	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
INVERSORES	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
CONVERTIDORES RESONANTES	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
CIRCUITOS DE EXCITACIÓN Y DE PROTECCIÓN	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
CONTROL DE MOTORES DE CC	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
ACCIONAMIENTO MOTOR DE INDUCCIÓN CONTROLADO POR FASE	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
ACCIONAMIENTO MOTOR DE INDUCCIÓN CONTROLADO POR FRECUENCIA	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital

ACCIONAMIENTOS CONTROLADOS VECTORIALMENTE	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
ACCIONAMIENTOS BRUSHLESS Y DE IMÁN PERMANENTE	N. MARTÍNEZ	Apuntes de Cátedra	2014	Digital
Electrónica de Potencia	Daniel W. Hart	Prentice Hall	2001	1
Electric Machines and Drives (2da)	Ned Mohan	Wiley	2012	1

Bibliografía complementaria

Título	Autores	Editorial	Año	Ejem.
Power Converter Circuits	William Shepherd	Marcel Dekker, Inc.	2004	1
Fundamentals of Electric Drives	Mohamed A. El-Sharkawi	Cole	2000	1
Electric Motor Drives, Modelling, Analysis, and Control	R. Krishnan	Prentice Hall	2001	1

Recursos web y otros recursos

En el desarrollo de las clases se utiliza: pizarra y proyector

Cronograma de actividades

Semana	Unidad	Tema	Actividad
1	1	Clasificación de los convertidores. Interruptores. Selección. Potencia y energía. Recuperación de la energía. Valor eficaz. Potencia aparente y factor de potencia. Cálculos de potencia para formas de ondas periódicas no sinusoidales	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
2	2	Carga resistiva. Carga resistiva-inductiva. Carga RL-generador. Carga bobina-generador. El diodo de libre circulación. Rectificador de media onda con un filtro de condensador. El rectificador de media onda controlado. Conmutación	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
3	3	Rectificadores monofásicos de onda completa. Rectificadores controlados de onda completa. Rectificadores trifásicos. Rectificadores controlados trifásicos. Efecto de la inductancia del generador	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
4	4	El controlador de tensión alterna monofásico. Controladores trifásicos de tensión. Control de la velocidad de los motores de inducción. Control de VAR estático	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
5	5	Reguladores lineales de tensión. Convertidor reductor. Consideraciones de diseño. Convertidor elevador. Convertidor reductor-elevador. Convertidor Cuk. Funcionamiento con corriente discontinua	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
6	6	Convertidor flyback. Convertidor forward. Convertidor push-pull. Convertidores CC-CC en puente completo y en semi-puente. Convertidor alimentador en corriente. Convertidores con múltiples salidas. Elección. Control de las fuentes de alimentación. Circuitos de control PWM	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
7	7	Puente convertidor de onda completa. Inversor de onda cuadrada. Distorsión armónica total. Control de armónicos y de amplitud. Inversor en medio puente. Salida con modulación por ancho de impulsos. Definiciones y consideraciones relativas a la modulación PWM. Armónicos en la modulación PWM. Inversores trifásicos	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
8	8	Convertidor conmutado resonante: conmutación a corriente cero y a tensión cero. Inversor resonante serie. Convertidor CC-CC resonante serie y paralelo. Convertidor CC-CC serie-paralelo. Comparación.	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica

9	9	Circuito de excitación para MOSFET, transistor bipolar, tiristor. Circuitos de protección para el transistor. Circuitos de protección de recuperación de energía. Circuitos de protección para el tiristor	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica
10			1er Parcial
11	10	Principios del control de velocidad del motor de CC. Análisis del estado estacionario del accionamiento motor de CC controlado por convertidor trifásico. Funciones transferencia de los subsistemas. Diseño de controladores. Campo debilitado. Accionamiento motor de CC de cuatro cuadrantes. Armónicos y problemas asociados. Sensibilidad paramétrica	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica Clase de Laboratorio:
12	11	Control de tensión del estator. Esquema de recuperación de energía	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica Clase de Laboratorio:
13	12	Cambiadores estáticos de frecuencia. Inversor fuente de tensión. Accionamiento motor de inducción con inversor fuente de tensión. Accionamiento motor de inducción con fuente de corriente	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica Clase de Laboratorio:
14	13	Principios del control vectorial. Control vectorial directo. Derivación del esquema de control vectorial indirecto. Sintonización del controlador vectorial. Sensibilidad paramétrica. Operación con campo debilitado. Diseño de un controlador de velocidad para un accionamiento motor de inducción controlado vectorialmente en forma indirecta	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica Entrega Trabajo Práctico 1 Clase de Laboratorio:
15	14	Imanes permanentes y sus características. Máquinas sincrónicas con imanes permanentes. Control vectorial de un motor sincrónico de imán permanente (PMSM). Estrategias de control. Operación de campo debilitado. Diseño del controlador de velocidad. Control sensorless. Sensibilidad Paramétrica. Motor de CC brushless de imán permanente (PMBDCM)	Clase de contenidos teóricos Clase de Práctica Clase de Laboratorio
16			2do Parcial Entrega Trabajo Práctico 2