

### PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
EL 7032	<b>Electrónica de Potencia y Accionamientos</b>			
Nombre en Inglés				
<b>Power Electronic and Drives</b>				
SCT	Unidades Docentes	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de Trabajo Personal
6	10	4	2	4
Requisitos			Carácter del Curso	
EL 4004 Fundamentos de Control de Sistemas. EL 4001 Conversión de la Energía y Sistemas Eléctricos.			Electivo - Línea de Especialización	
Resultado de Aprendizaje del Curso				
<p>Al final del curso se espera que el estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modele y simule la operación de sistemas basados en electrónica de potencia para estudiar la operación dinámica/estática de accionamientos eléctricos.</li> <li>2. Manejo del modelamiento y simulación de accionamientos basados en electrónica de potencia utilizando software como por ejemplo MATLAB y PLECS.</li> <li>3. Evalúa las técnicas de control de máquinas eléctricas y convertidores de potencia utilizados en accionamientos y sistemas eléctricos de generación.</li> <li>4. Conozca los métodos de modulación más importantes (PWM) para convertidores fuente de voltaje de dos niveles.</li> <li>5. Conocer las ventajas, desventajas y aplicaciones típicas de los distintos tipos de máquinas eléctricas disponibles.</li> </ol>				

Metodología Docente	Evaluación General
<p>La metodología de trabajo será activo-participativa, en donde se desarrollarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cátedras expositivas.</li> <li>• Tareas.</li> <li>• Laboratorios.</li> </ul>	<p>La evaluación permitirá que los estudiantes demuestren los resultados de aprendizaje alcanzados en los distintos momentos del proceso de enseñanza, siendo éstos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles.</li> <li>• Tareas.</li> <li>• Laboratorios.</li> </ul> <p>El examen dará cuenta del resultado de aprendizaje del curso.</p>

### Unidades Temáticas

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
1	Tecnología de Semiconductores y Rectificadores Controlados/no controlados	3 Semanas
Contenidos	Resultados de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p>1.1. Diodos y tiristores. rectificadores, Diodos rápidos y ultra rápidos.</p> <p>1.2. Interruptores controlados. GTO, IGCT, IGBT, bipolar transistors MOSFETs, etc. Ventajas, desventajas y aplicaciones. Pérdidas en los semiconductores.</p> <p>1.3. El puente de diodos de seis pulsos. Operación con cargas resistivas e inductivas</p> <p>1.4. Rectificadores de seis pulsos basados en tiristores.</p> <p>1.5. Modelación del convertidor de seis pulsos basado en tiristores.</p> <p>1.6. Efectos inductivos en la conmutación de diodos y tiristores. Pérdida de tensión media producida en la conmutación.</p> <p>1.7. Efectos de la conmutación en la red.</p> <p>1.8. Conceptos básicos relacionados con convertidores DC-DC</p> <p>1.9. Topologías de convertidores dc-dc en base a dispositivos de conmutación forzada: Chopper bidireccional, Chopper reductor (step-down), Chopper elevador (step-up), convertidor Buck-Boost. Convertidor Cúk.</p>	<p>Al final de la unidad se espera que el estudiante demuestre que:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compara y selecciona dispositivos de electrónica de potencia.</li> <li>2. Analiza las no linealidades y no idealidades de los dispositivos semiconductores y sistema de rectificación de potencia</li> <li>3. Analiza la operación de rectificadores en procesos de conversión de energía. Discrimina las limitaciones propias de un sistema de rectificación.</li> <li>4. Evalúa las topologías utilizadas para la conversión de energía de corriente continua a corriente continua.</li> </ol>	<p>[1], [2],[5]</p>

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas	
2	Control de Máquinas de Corriente Continua	4 Semanas	
Contenidos		Resultados de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p>2.1. Ventajas y desventajas de la máquina de corriente continua. Aspectos constructivos y funciones de transferencias básicas.</p> <p>2.2. Conceptos básicos: Velocidad base, zona de torque constante, zona de potencia constante, flujo debilitado.</p> <p>2.3. Esquema de control de una máquina de continua. Lazo de velocidad, lazo de corriente de armadura y lazo de control de flujo.</p> <p>2.4. Topologías de convertidores utilizadas para el control de máquinas de corriente continua</p> <p>2.5. Frenado regenerativo y frenado disipativo de la máquina de corriente continua.</p> <p>2.6. Sistemas de control basados en lazos anidados de corriente y velocidad utilizando lugar geométrico de las raíces. Anchos de banda típicos para los controladores de corriente y velocidad.</p> <p>2.7. Efectos de los cortes de corriente, típicamente producidos al operar con un puente de tiristores, en el desempeño del sistema de control y en el torque de la máquina.</p>		<p>Al final de la unidad se espera que el estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseña esquemas de control para máquinas de corriente continua operando a flujo nominal y flujo debilitado.</li> <li>2. Entender las ventajas, desventajas y aplicaciones de la máquina de corriente continua.</li> <li>3. Evalúa las topologías de electrónica de potencia utilizadas en el control de una máquina de corriente continua.</li> </ol>	[1], [2],

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
3	Control Vectorial de Máquinas de Inducción tipo Jaula de Ardilla y Rotor Bobinado	4 Semanas
Contenidos	Resultados de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p>3.1. Aspectos constructivos de la máquina de inducción jaula de ardilla y de la máquina doblemente alimentada. Ventajas, desventajas y aplicaciones.</p> <p>3.2. Modelación de máquina jaula de ardilla en coordenadas A,B,C y <math>\alpha</math>-<math>\beta</math>.</p> <p>3.3. Conceptos básicos de flujo de estator, flujo de rotor, coeficiente de dispersión, inductancias del rotor, estator y magnetizante.</p> <p>3.4. Modelación de la máquina de inducción jaula de ardilla en ejes sincrónicos rotatorios d-q. Ecuación de torque.</p> <p>3.5. Control vectorial directo e indirecto.</p> <p>3.6. Diseño de controladores de torque, corriente de estator y flujo, utilizando el método del lugar geométrico de las raíces. Implementación de los términos de desacoplo.</p> <p>3.7. Control vectorial de la máquina de inducción jaula de ardilla considerando flujo debilitado.</p> <p>3.8. Operación de la máquina de rotor bobinado en topologías Kramer y Scherbious.</p> <p>3.9. Modelación de la máquina de rotor bobinado como un caso especial de la máquina jaula de ardilla.</p> <p>3.10. Modelos alfa-beta y d-q de la máquina de rotor bobinado. Orientación del sistema de control en el flujo de estator.</p> <p>3.11. Control resonante como alternativa al control vectorial orientado en un eje sincrónico.</p> <p>3.12. Diseño de los controladores para una máquina de rotor bobinado utilizando lugar geométrico de las raíces.</p>	<p>Al final de la unidad se espera que el estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseña sistemas de control vectorial de alta velocidad de respuesta para máquinas de inducción.</li> <li>2. Diseñe y seleccione la topología de electrónica de potencia y la topología de control apropiadas para controlar máquinas de inducción.</li> <li>3. Comparar el desempeño y las necesidades de implementación de los esquemas de control vectorial y escalar para máquinas de inducción.</li> <li>4. Modela un sistema de generación/motor para máquinas de inducción jaula de ardilla y rotor bobinado.</li> </ol>	<p>[2], [6],[7], [9], [11].</p>

Implementación de los términos de desacoplo.		
--	--	--

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	Convertidores de Potencia Tipo Fuente de Voltaje	4 Semanas
Contenidos	Resultados de Aprendizaje de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p>4.1. Componentes de un convertidor PWM fuente de voltaje trifásico de dos niveles.</p> <p>4.2. Modelación de un convertidor fuente de voltaje considerando interruptores ideales.</p> <p>4.3. Introducción a la modulación por ancho de pulso utilizando inyección de terceros armónicos. Generalización utilizando el método min/max.</p> <p>4.4. No linealidades y condiciones no ideales. Tiempo muerto entre el transistor superior e inferior, tiempos mínimos de encendido, caída de tensión en los dispositivos, sobremodulación, etc.</p> <p>4.5. PWM regular simétrico y asimétrico. Implementación digital basada en FPGAs.</p> <p>4.6. Modulación basada en vectores espaciales. Conceptos básicos de sectores, vectores activos y vectores nulos.</p> <p>4.7 Modulación basada en el patrón simétrico doble.</p> <p>4.8 Control vectorial de un convertidor fuente de voltaje conectado a la red utilizando orientación en el voltaje de red.</p> <p>4.9 Uso de Phase Locked Loops (PLLs) para el control de convertidores.</p> <p>4.10. Convertidores back-to-back con entrada y salida sinusoidales para baja distorsión armónica.</p> <p>4.11. Control vectorial de los convertidores back-to-back. Control desacoplado de la potencia activa</p>	<p>Al final de la unidad se espera que el estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evalúa esquemas de modulación utilizados en convertidores tipo fuente voltaje.</li> <li>2. Compara PWM convencional tipo seno-pesado con PWM basado en vectores espaciales.</li> <li>3. Entiende las aplicaciones del <i>Phase Locked Loop</i> (PLL)</li> <li>4. Diseña esquemas de control vectorial para convertidores tipo fuentes de voltaje.</li> </ol>	<p>[3], [4], [8], [10],[11]</p>

<p>y reactiva. 4.12 Aplicaciones de la teoría de la potencia instantánea al control de convertidores de potencia tipo fuente de voltaje.</p>		
--	--	--

Bibliografía	
<p><b>Bibliografía Básica</b></p> <p>[1] Ned Mohan, Tore M. Undeland William P. Robbins. <i>“Power Electronics: Converters, Applications, and Design”</i>, Sanat Printers, 3<sup>rd</sup> Edition 2006. Capítulos 2, 5,6,7.</p> <p>[2] Werner Leonhard, <i>“Control of Electrical Drives”</i>, Springer Verlag; softcover edition 3rd edition 2012. Capítulos 7-10.</p> <p>[3] G. Holmes, T. Lipo, <i>“Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice”</i>, Wiley-IEEE Press; 1st edition 2003. Capítulos 5 y 6.</p> <p>[4] E. Monmasson, <i>“Power Electronic Converters: PWM Strategies and Current Control”</i>, Wiley-ISTE; 1st edition, 2011.</p> <p><b>Bibliografía Complementaria</b></p> <p>[5] Ayger Aycaguer, “Apuntes de Electrónica de Potencia”, disponible en <a href="https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/1/EL6009/1/material_docente/">https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/1/EL6009/1/material_docente/</a></p> <p>[6] R. Cárdenas, “Control vectorial de máquinas de inducción jaula de ardilla”, Universidad de Chile 2011. Disponible en <a href="https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/1/EL7032/1/material_docente/">https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/1/EL7032/1/material_docente/</a></p> <p>[7] R. Cárdenas, “Control Vectorial de Máquinas de Doble Excitación”, Universidad de Chile 2011. Disponible en <a href="https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/1/EL7032/1/material_docente/">https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/1/EL7032/1/material_docente/</a></p> <p>[8] R. Cárdenas, “Modulación PWM”, Universidad de Chile 2011. Disponible en <a href="https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/1/EL7032/1/material_docente/">https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2015/1/EL7032/1/material_docente/</a></p> <p>[9] R. Cardenas, R. Pena, S. Alepuz and G. Asher, "Overview of Control Systems for the Operation of DFIGs in Wind Energy Applications," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 60, no. 7, pp. 2776-2798, July 2013.</p> <p>[10] R. Cárdenas, M. Díaz, F. Rojas, J. Clare and P. Wheeler, "Resonant control system for low-voltage ride-through in wind energy conversion systems," in IET Power Electronics, vol. 9, no. 6, pp. 1297-1305, 18 5 2016.</p> <p>[11] R. Cárdenas, M. Diaz, F. Rojas and J. Clare, "Fast Convergence Delayed Signal Cancellation Method for Sequence Component Separation," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 30, no. 4, pp. 2055-2057, Aug. 2015.</p>	

Vigencia desde:	Julio 2011
Revisado y mejorado	Enero 2019
Elaborado por:	Roberto Cárdenas
Revisado por:	Doris Sáez Área de Desarrollo Docente (ADD)