

| | | | |
|---|--|---------------|---------------|
|  | Contenidos Programáticos de Posgrados | Código | FGA -148 v.00 |
| | | Página | 1 de 1 |

| DATOS DEL PROGRAMA Y DEL CURSO | | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|--|
|--------------------------------|--|--|--|--|--|

| | |
|-----------------|----------------------------|
| FACULTAD | Ingenierías y Arquitectura |
|-----------------|----------------------------|

| | |
|----------------------------|------------------------------------|
| NOMBRE DEL PROGRAMA | Maestría en Controles Industriales |
|----------------------------|------------------------------------|

| | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------|---------------------------|---|
| NOMBRE DEL CURSO | Tópicos Especiales de Control | CODIGO DEL CURSO | 571412 | CRÉDITOS DEL CURSO | 3 |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------|---------------------------|---|

| | |
|----------------------------|---|
| UBICACIÓN SEMESTRAL | 3 |
|----------------------------|---|

| | | | | |
|-------------------|---|----|-----------------------------------|----|
| COMPONENTE | NÚMERO DE HORAS CONTACTO DIRECTO | 30 | HORAS DE TRABAJO INDIRECTO | 66 |
|-------------------|---|----|-----------------------------------|----|

COMPONENTE CONCEPTUAL DEL CURSO

(Debe describir los aspectos del componente que se desarrollan en el curso dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje del programa de posgrado para el logro de los objetivos)

- Introducción a la Conversión Electromecánica.
 - Magnitudes Electromagnéticas.
 - Ley de Ampere. Ley de Faraday. Magnitudes mecánicas.
 - Leyes de Newton.
 - Mecanismos Electromecánicos.
 - Mecanismo de generación de par electromagnético.
 - Par de reluctancia.
 - Par de excitación.
 - Modelos de Máquinas Eléctricas simples.
- Motores de Corriente Directa.
 - Partes principales.
 - Principio de funcionamiento.
 - Clasificación. Ecuación de la Fem.
 - Ecuación del par electromagnético.
 - Circuitos equivalentes.
 - Modelo matemático del motor de CD de excitación independiente.
 - Modelo matemático representado en diagrama en bloques.
 - Modelo matemático representado en espacio de estados.
- Motores de Corriente Alterna.
 - Motores trifásicos de inducción.
 - Partes principales.
 - Campo magnético rotacional.
 - Principio de funcionamiento.
 - Clasificación.
 - Velocidad de sincronismo.
 - Deslizamiento.
 - Ecuación de la frecuencia del rotor.
 - Ecuación de la fem.
 - Circuitos equivalentes.
 - Potencias, pérdidas y eficiencia.
 - Ecuación del par electromagnético.
 - Característica mecánica (T vs. Wr).
 - Modelo matemático del motor de inducción trifásico.
- Transformaciones de fases y de coordenadas.
 - Transformación similar.
 - Transformación de Clarke o Transformación $\alpha\beta 0$.
 - Transformación de Park o Transformación dq0.
 - Matriz de transformación.
 - Propiedades de la matriz de transformación.
 - Componentes homopolares.
 - Aplicación de las transformaciones de Clarke y Park directa e inversa.
- Modelo matemático de motor trifásico de inducción.
 - Vector espacial.
 - Inductancias propias y mutuas.
 - Ecuación de los flujos y las corrientes.
 - Ecuación de los voltajes en los ejes $\alpha\beta 0$ y dq0.
 - Ecuaciones dinámicas del motor de inducción en los ejes dq0.
 - Ecuación del par electromagnético.
 - Ecuación mecánica. Simulación del motor de inducción trifásico en el simulink del Matlab.
- Control Escalar (V/Hz).
 - Inversores de potencia.
 - Inversores VSI y CSI.
 - Inversor de 6 niveles convencional.
 - Inversores multinivel.
 - Inversores multinivel en cascada.

| | | | |
|---|--|---------------|---------------|
|  | Contenidos Programáticos de Posgrados | Código | FGA -148 v.00 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Modulación SPWM y SVM. ○ Ecuación de la fem del motor trifásico de inducción. ○ Control Escalar o Control V/Hz. ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control escalar. • Control Vectorial (FOC y DTC). <ul style="list-style-type: none"> ○ Principio del control por orientación del campo (FOC). ○ Campo orientado directo (DFOC). ○ Campo orientado indirecto (IFOC). ○ Control directo del par (DTC). ○ Control sin sensor de posición (Control sensorless). ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control vectorial por campo orientado indirecto e directo. ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control vectorial por campo orientado sensorless. ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control vectorial DTC. |
|--|--|

| COMPONENTE | NÚMERO DE HORAS CONTACTO DIRECTO | 10 | HORAS DE TRABAJO INDIRECTO | 22 |
|---|--|----|----------------------------|----|
| COMPONENTE PROCEDIMENTAL (habilidades y destrezas a desarrollar en el estudiante de posgrado) | <ul style="list-style-type: none"> • Introducción a la Conversión Electromecánica. <ul style="list-style-type: none"> ○ Identificar y aplicar las Magnitudes Electromagnéticas en el análisis de sistemas electromecánicos. ○ Utilizar la Ley de Ampere, Ley de Faraday, y Leyes de Newton para calcular campos magnéticos y fuerzas electromotrices. • Motores de Corriente Directa. <ul style="list-style-type: none"> ○ Diseñar y analizar modelos equivalentes de motores de corriente directa. ○ Calcular la ecuación de la FEM y el par electromagnético en un motor de CD y utilizarla para diseñar un sistema de control adecuado. ○ Crear una representación de Modelos matemático en diagrama en bloques. • Motores de Corriente Alterna. <ul style="list-style-type: none"> ○ Identificar las partes principales y el funcionamiento de motores de corriente alterna. ○ Calcular la velocidad de sincronismo, el deslizamiento y la ecuación de la FEM en un motor trifásico de inducción, y diseñar un sistema de control eficiente. ○ Crear una representación de Modelos matemático en diagrama en bloques que representen motores de corriente alterna. • Transformaciones de Fases y de Coordenadas. <ul style="list-style-type: none"> ○ Aplicar transformaciones de Clarke y Park para simplificar el análisis de sistemas trifásicos. ○ Utilizar la matriz de transformación para convertir variables entre sistemas de coordenadas $\alpha\beta$ y $dq0$, y aplicar estas transformaciones en la simulación de sistemas electromecánicos. • Modelo Matemático de Motor Trifásico de Inducción <ul style="list-style-type: none"> ○ Construir un modelo matemático completo de un motor de inducción trifásico. ○ Simular el comportamiento dinámico del motor en MATLAB/Simulink, incluyendo la simulación del par electromagnético y la velocidad de rotación. • Control Escalar (V/Hz). <ul style="list-style-type: none"> ○ Diseñar un sistema de control escalar para un motor de inducción trifásico. ○ Implementar y simular el control V/Hz utilizando inversores de potencia y modulación SPWM en MATLAB/Simulink. • Control Vectorial (FOC y DTC): <ul style="list-style-type: none"> ○ Aplicar el control vectorial para mejorar la eficiencia y el rendimiento de un motor de inducción trifásico. ○ Implementar y simular el control FOC y DTC en MATLAB/Simulink, incluyendo casos de control sensorless. | | | |

| COMPONENTE | NÚMERO DE HORAS CONTACTO DIRECTO | 5 | HORAS DE TRABAJO INDIRECTO | 11 |
|--|---|---|----------------------------|----|
| COMPONENTES COMPONENTE ACTITUDINAL (Aspectos que se requieren) | <ul style="list-style-type: none"> • Reconoce la importancia del aprendizaje autónomo para mejorar la operación de sistemas y la utilización de principios | | | |

| | | | |
|---|--|---------------|---------------|
|  | Contenidos Programáticos de Posgrados | Código | FGA -148 v.00 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | |
|--|--|
| desarrollar en el estudiante de posgrados) | <p>fundamentales de la conversión electromecánica, y temas relacionados con motores eléctricos y sistemas de control.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantiene una actitud responsable y ética en su desarrollo profesional y la aplicación del conocimiento. • Reconoce la importancia de colaboración y trabajo en equipo en proyectos de diseño y control de motores eléctricos, fomentando los espacios para la comunicación asertiva de ideas y experiencias en el análisis y solución de problemas. • Aplica las mejores prácticas del ejercicio profesional y mantiene una actitud proactiva hacia la mejora continua. • Mantiene una comunicación efectiva para difundir el conocimiento, utilizando los estándares científicos y el lenguaje técnico asociado con los sistemas de control de motores eléctricos, facilitando la comprensión y aplicación de los conceptos aprendidos en el campo de la conversión electromecánica. • Fomenta la capacidad investigativa, y la solución de problemas de forma autónoma que garanticen un aprendizaje y actualización continuo. |
|--|--|

| COMPETENCIAS A DESARROLLAR (INVESTIGATIVA) |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Adquirir habilidades para desarrollar sistemas de control avanzados, con fuertes componentes de innovación en el diseño y control de motores eléctricos, aplicando nuevos enfoques y tecnologías para mejorar su eficiencia y rendimiento. • Aplicar mecanismos para el estudio y análisis de datos, con el fin de generar conocimiento sobre los sistemas de control de motores eléctricos, y utilizar este conocimiento en la optimización y mejora de las condiciones de funcionamiento de los mismos. • Descubrir nuevos paradigmas y enfoques de aplicación a través de la investigación en el campo de la conversión electromecánica, identificando oportunidades de mejora en los sistemas de control de motores eléctricos y proponiendo soluciones innovadoras. • Redactar y presentar con calidad científica los resultados obtenidos en el diseño y control de motores eléctricos, utilizando un lenguaje técnico preciso y siguiendo los estándares científicos establecidos para la divulgación de resultados de investigación en el área. |

| AGENDA DE TRABAJO |
|--|
| <p>Sesión 1. (15 Horas):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introducción a la Conversión Electromecánica. <ul style="list-style-type: none"> ○ Magnitudes Electromagnéticas. ○ Ley de Ampere. Ley de Faraday. Magnitudes mecánicas. ○ Leyes de Newton. ○ Mecanismos Electromecánicos. ○ Mecanismo de generación de par electromagnético. ○ Par de reluctancia. ○ Par de excitación. ○ Modelos de Máquinas Eléctricas simples. • Motores de Corriente Directa. <ul style="list-style-type: none"> ○ Partes principales. ○ Principio de funcionamiento. ○ Clasificación. Ecuación de la Fem. ○ Ecuación del par electromagnético. ○ Circuitos equivalentes. ○ Modelo matemático del motor de CD de excitación independiente. ○ Modelo matemático representado en diagrama en bloques. ○ Modelo matemático representado en espacio de estados. <p>Sesión 2. (15 Horas):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motores de Corriente Alterna. <ul style="list-style-type: none"> ○ Motores trifásicos de inducción. ○ Partes principales. ○ Campo magnético rotacional. ○ Principio de funcionamiento. ○ Clasificación. ○ Velocidad de sincronismo. ○ Deslizamiento. ○ Ecuación de la frecuencia del rotor. ○ Ecuación de la fem. ○ Circuitos equivalentes. ○ Potencias, pérdidas y eficiencia. ○ Ecuación del par electromagnético. ○ Característica mecánica (T vs. Wr). ○ Modelo matemático del motor de inducción trifásico. • Transformaciones de fases y de coordenadas. <ul style="list-style-type: none"> ○ Transformación similar. ○ Transformación de Clarke o Transformación $\alpha\beta 0$. ○ Transformación de Park o Transformación $dq 0$. ○ Matriz de transformación. |

| | | | |
|---|--|---------------|---------------|
|  | Contenidos Programáticos de Posgrados | Código | FGA -148 v.00 |
| | | Página | 1 de 1 |

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Propiedades de la matriz de transformación. ○ Componentes homopolares. ○ Aplicación de las transformaciones de Clarke y Park directa e inversa. <p>Sesión 3. (15 Horas):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelo matemático de motor trifásico de inducción. <ul style="list-style-type: none"> ○ Vector espacial. ○ Inductancias propias y mutuas. ○ Ecuación de los flujos y las corrientes. ○ Ecuación de los voltajes en los ejes $\alpha\beta 0$ y $dq0$. ○ Ecuaciones dinámicas del motor de inducción en los ejes $dq0$. ○ Ecuación del par electromagnético. ○ Ecuación mecánica. Simulación del motor de inducción trifásico en el simulink del Matlab. • Control Escalar (V/Hz). <ul style="list-style-type: none"> ○ Inversores de potencia. ○ Inversores VSI y CSI. ○ Inversor de 6 niveles convencional. ○ Inversores multinivel. ○ Inversores multinivel en cascada. ○ Modulación SPWM y SVM. ○ Ecuación de la fem del motor trifásico de inducción. ○ Control Escalar o Control V/Hz. ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control escalar. • Control Vectorial (FOC y DTC). <ul style="list-style-type: none"> ○ Principio del control por orientación del campo (FOC). ○ Campo orientado directo (DFOC). ○ Campo orientado indirecto (IFOC). ○ Control directo del par (DTC). ○ Control sin sensor de posición (Control sensorless). ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control vectorial por campo orientado indirecto e directo. ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control vectorial por campo orientado sensorless. ○ Simulación del control del motor de inducción trifásico con control vectorial DTC. |
|--|

NOTA: Puede agregar casillas si necesita.

| METODOLOGÍA Y/O ACTIVIDADES EN LA PRÁCTICA PEDAGÓGICA Descripción de las estrategias didácticas y prácticas pedagógicas a desarrollarse en el curso. (Debe evidenciarse el empleo de nuevas tecnologías de apoyo a la enseñanza y al aprendizaje) |
|---|
| <p>A lo largo del desarrollo de esta disciplina, el proceso de aprendizaje se construye a través de clases magistrales impartidas por el profesor y acompañada por la participación activa de los estudiantes en las discusiones propiciadas en clase. Además, se promoverá la resolución de problemas, con el docente actuando como orientador y guía hacia la solución. La componente práctica del curso se abordará mediante ejercicios que permitirán a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos en cada tema. Estos ejercicios se desarrollarán a lo largo del curso, a medida que los estudiantes se familiaricen con diversas técnicas de análisis y diseño de sistemas de control. Además, el profesor brindará orientación sobre el uso de herramientas computacionales como Matlab, Octave y Scilab, que se utilizarán en el curso.</p> |
| EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE (Según Criterio y Autonomía del Docente) |
| <p>Existirá una evaluación individual con un peso del 40%, una evaluación de trabajo en equipo con un peso del 30%, solución de una asignación o lista de ejercicios con un peso del 30%. Al final de la disciplina podrá existir una actividad evaluativa de reposición (opcional), con requisito para ser presentada tener una frecuencia de asistencia al curso mayor al 70%.</p> |

| N° | BIBLIOGRAFÍA BÁSICA |
|----|---|
| 1 | Fitzgerald, A. (2013). Máquinas Eléctricas. 7ma Edición. New York: McGraw Hill. |
| 2 | Fraile Mora, J. (2008). Máquinas Eléctricas. 6ta Edición. Madrid: McGraw Hill. |
| 3 | Chapman, S. (2012). Máquinas Eléctricas. 5ta Edición. Bogotá: McGraw Hill. |
| 4 | R. H. Park, "Two-reaction theory of synchronous machines," AIEE Transactions, vol. 48, 1929, p.716. |
| 5 | E. Clarke, "Circuit Analysis of AC Power Systems". New York: Wiley, 1950, vol. I. |
| 6 | Mihailovic, Zoran. "Modeling and control design of VSI fed PMSM drive system with active load". Master Thesis, 1998. Disponible en: http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-031899-212402/ |
| 7 | P. Kundur, "Power System Stability and Control". New York: EPRI Power System Engineering Series, McGraw-Hill, Inc., 1994. |

NOTA: Puede agregar casillas si necesita.

| N° | BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA |
|----|--|
| 1 | J. J. Grainger and W. D. Stevenson, "Power System Analysis". New York: McGraw-Hill, Inc., 1994. |
| 2 | C. L. Fortescue, "Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks," Trans. AIEE, pt. II, vol. 37, pp. 1027-1140, 1918. |
| 3 | P. M. Weedy, "Electric Power Systems". New York: John Wiley & Sons, 1990. |
| 4 | Astrom K.y Wittenmark. B. "Computer Controlled Systems". Prentice-Hall. 1989. |
| 5 | T. Cheng y B. Francis. "Optimal Sampled-Data Control Systems". Springer-Verlag. 1995 |
| 6 | B. K. Bose, Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, United States, 2001. |
| 7 | J. Chiasson, Modeling and High Performance Control of Electric Machines, IEEE Press Series on Power Engineering, Wiley-Interscience, New York, 2005. |

| | | | |
|---|--|---------------|---------------|
|  | Contenidos Programáticos de Posgrados | Código | FGA -148 v.00 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | |
|----|--|
| 8 | A. E. Fitzgerald, Jr. C. Kingsley, S. D. Umans, Electric Machinery, 6th edition, United States, 2003. |
| 9 | M. Montanari, S. Peresada, A. Tilli, A Speed sensorless indirect field-oriented control for induction motors based on high gain speed estimation, Automatica, 42, pp. 1637-1650, 2006. |
| 10 | J. Chiasson, A new approach to dynamic feedback linearization control of an induction motor, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 43, No. 3, pp. 391-397, March 1998. |
| 11 | G. Espinosa-Pérez, R. Ortega, An Output Feedback Globally Stable Controller for Induction Motors, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 40, No. 1, pp. 138-143, January 1995. |
| 12 | Blaschke, F. (1971). The Principle of Field Orientation as Applied to the New TRANSCVEKTOR Close-Loop Control System for Rotating-Field Machines. Siemens Z. Vol. 45. pp 757-760. |
| 13 | Hasse, K. (1969). Zur Dynamik Drehzahlgeregelter Antriebe mit Stromrichtergespeisten Asynchronkurzschlusslaufermotoren Dissertation. T. H. Darmstadt. |
| 14 | Zambada, J. (2006) Sensorless Field Oriented Control of PSMS Motors. Microchip |
| 15 | Díaz Rodríguez, J. L., et al. (2005). Simulación de Sistemas de Control Indirecto por Campo Orientado del Motor de Inducción. Universidad de Pamplona. Colombia. |
| 16 | Kharburi, D. (1996). Implementing a Universal Control System for Field-Oriented Control of AC Machines Using the TMS320C14 DSP. Texas Instrument. ESIEESPR328. Paris. |

NOTA: Puede agregar casillas si necesita.

| N° | DIRECCIONES ELECTRÓNICAS DE APOYO AL CURSO/ BASES DE DATOS A UTILIZAR |
|----|---|
| 1 | http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?aux=Home |
| 2 | https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-241j-dynamic-systems-and-control-spring-2011/index.htm |
| 3 | https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-30-feedback-control-systems-fall-2010/index.htm |
| 4 | https://www.emerson.com/ |
| 5 | https://www.honeywell.com/ |
| 6 | https://www.nasa.gov/ |
| 7 | https://www.ecopetrol.com.co/ |
| 8 | https://www.isa.org/ |
| 9 | https://www.iso.org/home.html |
| 10 | https://www.iec.ch/ |
| 8 | https://www.elion.es/ |

NOTA: Puede agregar casillas si necesita.

Proyectado: ING. Fernando Moreno.