

**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA**

Trabajo de Diploma *en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico*

Título: Propuesta de una guía de estudio para la asignatura Accionamiento Eléctrico.

Autor (a): Lic. Orialis Reyes Fuentes.

Tutor: Dr. Luis Delfín Rojas Purón.

Moa, 2012

“Año 54 de la Revolución”.

Tesis en opción al título de Ingeniera Eléctrica. Orialis Reyes Fuentes.

Declaración de autoría.

Yo, Orialis Reyes Fuentes, autora del presente trabajo de diploma titulado: “Propuesta de una guía de estudio para la asignatura Accionamiento Eléctrico”, certifico la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

Orialis Reyes Fuentes.
Diplomante

Dr. Luis Delfín Rojas Purón.
Tutor

Pensamiento.

Centrar la atención en la técnica es como estudiar en el último momento. Uno a veces acaba arreglándose las, o incluso puede obtener buenas notas, pero si queremos lograr realmente el dominio de las materias o desarrollar una mente culta, lo que hay que hacer es esforzarse honestamente día tras día.

Dedicatoria.

El presente trabajo ha sido el resultado de muchas noches de desvelo y horas de trabajo compartido con aquellas personas que a continuación relaciono y a las que dedico el mismo.

A quienes les agradezco hasta lo más insignificante de lo que me rodea: mis padres, que tanto me han enseñado y me han apoyado en toda la vida de manera incondicional.

A mis hijos Daniel de 9 meses y Lauren de 2 añitos, de los cuales espero un mañana lleno de logros y victorias.

A mi hermano, que se ha preocupado y me ha estimulado a llegar hasta aquí.

A cada una de las personas que desinteresadamente me han ayudado a que este sueño se haga realidad.

Agradecimientos.

La realización de este Trabajo de Diploma y mi éxito profesional no fuese posible sin la contribución de algunas personas a quienes quisiera agradecer:

Primeramente, a Dios por sus bendiciones continuamente en toda mi vida. De manera especial a mis padres los cuales han sido propulsores de mi educación. Les amo siempre. A toda mi familia la cual me ha apoyado y ha confiado en mí especialmente a mis amadísimos hijos Lauren y Daniel, a mi hermano Arisnel, a mis suegros y a mi esposo que han estado conmigo cada momento apoyándome y dándome fuerza para seguir adelante.

A mi querida compañera de aula Yanelis Marzo Herrera.

A mi tutor Dr. Luis Delfín Rojas Purón por su consejo y orientación durante la realización de este trabajo.

A los profesores M.Sc. Yordan Guerrero y Rolando Gamboa.

Va también mi agradecimiento al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, al departamento de Ingeniería Eléctrica especialmente a todos los profesores que me impartieron clases y a la Revolución cubana por darme la posibilidad de prepararme como un profesional capaz.

Resumen.

El presente trabajo de diploma aborda una investigación actual, en el mismo se tiene en cuenta la línea de trabajo para favorecer el aprendizaje desarrollador como vía esencial para elevar la calidad de la formación del futuro profesional de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

La tesis consta de tres capítulos, en el primero se muestran los aspectos generales de la asignatura antes referida; entre ellos fundamentación de la disciplina, objetivos generales educativos, relación de asignaturas, el P1.

En el segundo se muestra la guía de estudio para la enseñanza de la asignatura Accionamiento Eléctrico, en la primera parte se abordan entre otras cosas los aspectos, estructura a tener en cuenta para la elaboración de la misma, en la segunda parte se expone el desarrollo de las actividades con su respectiva estructura.

En el tercero se implementa la guía de estudio en el Moodle, además se ofrece una explicación clara de cómo acceder a este sitio, cómo descargar los archivos publicados, y de manera general se orienta los pasos a seguir para trabajar con esta plataforma.

Abstract.

This work addresses a current research diploma in the same taking into account the line of work to improve the learning developer and essential way to improve the quality of the education of future professional career in Electrical Engineering.

The thesis consists of three chapters, the first shows the general aspects of the subject referred to above, including grounds for the discipline, general education objectives, list of subjects, the P1.

The second shows the study guide for the teaching of the subject's Electrical Drives, in the first part deals with inter alia the aspects to take into account structure to prepare it, in the second part describes the development activity with the respective structure.

The third is implemented in the study guide Moodle also provides a clear explanation of how to access this site, how to download published files, and generally is oriented steps to take to work on this platform.

Índice

Introducción General.....	1
Problema de investigación:.....	2
Objeto de estudio:.....	2
Campo de acción:.....	2
Objetivo General:.....	3
Hipótesis:.....	3
Objetivos específicos:.....	3
Tareas:.....	3
Métodos de investigación:	4
Capítulo 1. Aspectos generales de la asignatura Accionamiento Eléctrico.....	5
Introducción.....	5
1.1 Programa para la disciplina accionamiento eléctrico para el plan D.....	5
1.1.2 Fundamentación de la disciplina.....	7
1.1.3 Objetivos Generales Educativos de la Disciplina.....	8
1.1.4 Objetivos Generales Instructivos de la Disciplina.....	9
1.1.5 Relación de Asignaturas:	9
1.1.6 Indicaciones metodológicas.....	10
1.2 Planes de las asignaturas.....	11
1.2.1 Ingeniería de control	11
1.2.2 Accionamiento eléctrico	13
1.2.3 Automatización industrial y autómatas.....	15
1.2.4 Sistemas de control de movimiento	17
1.3 Programación específica de las actividades (p1).....	20
1.4 Conclusiones del capítulo.....	23
Capítulo 2. Guía de estudio para la enseñanza de la asignatura Accionamiento Eléctrico.....	24
Introducción	24
2.1. ¿Qué es la guía de estudio?	24

2.1.2. ¿Qué elementos tener en cuenta para la elaboración de la guía?.....	24
2.1.3. Estructura de la guía de estudio.	24
2.2 Desarrollo de las actividades.	25
2.2.1 Conferencia 1. Componentes del accionamiento eléctrico y características mecánicas de los motores eléctricos.	25
2.2.2 Conferencia 2.....	34
2.2.3 Clase Práctica 1. Cálculo de las características de Accionamientos con motores de corriente directa.	46
2.2.4 Laboratorio No.1 Simulación de accionamiento con motor de corriente directa controlado desde chopper-fed a GTO en régimen continuo.	50
2.2.5 Conferencia 3.....	54
2.2.6 Clase Práctica 2 Cálculo sobre accionamiento con motores de corriente directa.	59
2.2.7 Conferencia 4.....	66
2.2.8 Laboratorio No.2	69
2.2.9 Conferencia 5.....	72
2.2.10 Clase Práctica 3.....	78
2.3 Conclusiones del capítulo.	85
Capítulo 3. Implementación en Moodle de la guía de estudio.	86
Introducción.	86
3.1 Inserción de guía de estudio en Moodle.	86
3.2 Valoración social.....	90
3.3 Conclusiones del capítulo.	90
Conclusiones Generales	91
Recomendaciones.....	92
Bibliografía	93

Introducción General.

En los últimos años la universidad cubana ha asumido la tendencia de aplicar estilos y métodos de dirección del aprendizaje con una concepción desarrolladora, debido a los resultados que esta teoría aporta en la calidad de la formación de los estudiantes. De ahí que constituya un imperativo la aplicación de esta concepción de dirección del aprendizaje.

Accionamiento Eléctrico es una asignatura que forma parte de la disciplina Accionamiento Eléctrico que se imparte al 4^{to} año de la carrera de ingeniería Eléctrica. Esta asignatura es de vital importancia para el desarrollo del modo de actuación de orden tecnológico del profesional en formación, debido a que le aporta los conocimientos necesarios para la proyección de las tecnologías de conversión de energía eléctrica en mecánica, así como de su control.

Es importante señalar que, el papel de los accionamientos eléctricos en la industria, el transporte y los servicios es cada vez mayor y se espera se incremente en el futuro. Su inclusión ha permitido un incremento notable en la productividad de las industrias con un menor consumo de energía eléctrica. Esto ha sido posible gracias a la utilización en estos sistemas de los últimos adelantos de dos importantes ramas: la Informática, la Computación y la Electrónica de Potencia. También se prevé la inclusión en ellos cada vez con más fuerza de otras tecnologías emergentes como por ejemplo, la Inteligencia Artificial.

A través de un estudio diagnóstico se pudo constatar un grupo de insuficiencias referidas a la dirección del aprendizaje, las que pueden resumirse en:

- No se aplica el modelo guía de aprendizaje en la concepción de las tareas docentes, como vía para favorecer la actividad de estudio independiente de los temas.
- Es necesario el empleo de métodos que estimulen el aprendizaje desarrollador.

Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez"

- Los profesores necesitan ampliar su preparación metodológica para el empleo del modelo guía de aprendizaje con una concepción desarrolladora que estimule la actividad de estudio independiente en la asignatura Accionamiento Eléctrico.
- No cuentan con una concepción didáctica - metodológica que los oriente en cómo aplicar el modelo guía de aprendizaje para el estudio independiente con una concepción desarrolladora.

Considerando además la línea de trabajo metodológico del departamento referida a la implementación de las guías de estudios digitalizadas para favorecer el aprendizaje desarrollador como vía esencial para elevar la calidad de la formación del futuro profesional de la carrera de Ingeniería Eléctrica; se determinó el siguiente

Problema de investigación:

Ausencia de una guía de estudio actualizada que contenga las salidas metodológicas que exige la formación integral del Ingeniero Eléctrico.

Este problema se manifiesta en el siguiente

Objeto de estudio:

El proceso docente educativo de la asignatura Accionamiento Eléctrico I de la carrera Eléctrica.

Y se concreta en el siguiente

Campo de acción:

Guía de estudio para la asignatura Accionamiento Eléctrico.

En la investigación se persigue el siguiente

Objetivo General:

Elaborar los fundamentos de contenido y aspectos metodológicos de la guía de estudio para la enseñanza de la asignatura de Accionamiento Eléctrico.

Esta investigación se llevará a cabo a partir de la siguiente

Hipótesis:

Con la caracterización de los recursos y medios pedagógicos de la asignatura de Accionamiento Eléctrico es posible elaborar una guía de estudio para perfeccionar su proceso de enseñanza y aprendizaje.

Como desarrollo de la investigación se consideran las siguientes

Objetivos específicos:

1. Caracterizar metodológicamente la asignatura Accionamiento Eléctrico.
2. Elaborar un cronograma de actividades académicas para la realización eficiente del programa de enseñanza y aprendizaje.
3. Elaborar un programa que contiene las guías de estudio de Accionamiento Eléctrico.
4. Implementar estrategias curriculares mediante las guías de estudio.

Tareas:

1. Elaboración del calendario de actividades específicas de la asignatura Accionamiento Eléctrico.
2. Digitalización de las conferencias, clases prácticas y laboratorios de la asignatura Accionamiento Eléctrico.
3. Montaje en Moodle de los materiales elaborados.

Para realizar las tareas se proponen los siguientes

Métodos de investigación:

Métodos teóricos:

1. **Análisis-síntesis** para mediante el análisis porcentual y cualitativo, interpretar toda la información obtenida a través de las entrevistas y las encuestas.
2. **Inductivo – deductivo** para determinar el estado actual del problema investigado, sus posibles causas y validar la efectividad los fundamentos de contenido y aspectos metodológicos de la guía de estudio para la enseñanza eficiente de la asignatura Accionamiento Eléctrico.
3. **Hipotético-deductivo** para demostrar mediante el proceso de validación, el cumplimiento o no, de la hipótesis planteada en la investigación.

Métodos empíricos:

1. **Entrevistas y Encuestas** para diagnosticar el estado actual del desarrollo del aprendizaje de los estudiantes de la carrera ingeniería Eléctrica y la utilización de las guías de estudio en el proceso de enseñanza aprendizaje de los contenidos de la asignatura Accionamiento Eléctrico, así como validar la efectividad de las guías propuestas.
2. **Observación** para evaluar la calidad del aprendizaje de los estudiantes antes y después de utilizada la guía de aprendizaje.
3. **Revisión de documentos** para caracterizar el proceso de enseñanza aprendizaje de la asignatura.

Capítulo 1. Aspectos generales de la asignatura Accionamiento Eléctrico.

Introducción.

En el presente capítulo se realiza la fundamentación de la disciplina y las asignaturas que la componen.

1.1 Programa para la disciplina accionamiento eléctrico para el plan D.

Antecedentes:

Como es conocido, cada cierto tiempo es necesario revisar los planes de estudio de las carreras de la Educación Superior ya que los planes C se introdujeron hace más de 10 años y su modificación hace más de 5 años. Las investigaciones realizadas en la Educación Superior cubana, la nueva realidad educacional y social cubana y los adelantos en la Ciencia y la Técnica incluyendo la introducción masiva de las tecnologías de la informática y las comunicaciones imponen un cambio en los planes de estudio el cual se ha dado en llamar Plan D.

El Ministerio de Educación Superior (MES) elaboró el denominado “Documento Base para la Elaboración de los Planes de Estudio D”, el cual debe servir de guía para la elaboración de los nuevos planes de estudio y en el cual se aprecian los aspectos fundamentales que deben caracterizar la elaboración de estos planes, los cuales señalaremos a continuación para que sirvan de base a la propuesta de plan de estudio de la disciplina Accionamiento Eléctrico, estos son (lo que aparece en cursiva es tomado literalmente del documento base citado anteriormente):

Conservar y profundizar el Modelo Pedagógico de Perfil Amplio basado fundamentalmente en la necesidad de una formación básica profunda que le permita al profesional resolver los principales problemas que se presenten en las diferentes esferas de su actuación profesional.

El enfoque en sistema del proceso de formación en el cual los objetivos y los contenidos esenciales se estructuran verticalmente en disciplinas y horizontalmente en años

académicos, lo que hace que ambos subsistemas sean objetos del diseño curricular, tanto a nivel de Comisiones Nacionales de Carrera como a nivel de cada CES.

Los CES pueden decidir una parte del plan de estudio con carácter obligatorio de acuerdo a las necesidades de la región en que se encuentran; así como un espacio optativo/electivo para que los propios estudiantes puedan decidir, individualmente como completar su formación, con lo cual se da respuesta también a los legítimos intereses de desarrollo personal de cada estudiante.

Debe tenerse en cuenta la Informatización de la Sociedad Cubana, aspecto éste que debe provocar profundas transformaciones en nuestros métodos de enseñanza implicando cambios importantes en los roles principales del profesor y el *estudiante*.

Un mayor grado de racionalidad en el diseño de los planes de estudio que debe manifestarse en la elaboración de disciplinas, de asignaturas o de partes de esta, comunes para diferentes carreras y en la literatura docente básica a emplear siempre que sea posible. A este fin se revitalizarán las Comisiones Nacionales de Disciplina en los casos en que se requiera, las que trabajarán en estrecha relación con las CNC.

Se deben producir cambios importantes en la actividad presencial de clases de los estudiantes con una tendencia a la disminución desde los primeros hasta los últimos años, a partir de la introducción de nuevos métodos en el proceso de formación, que centren su atención principal en el auto-aprendizaje de los estudiantes y entre los cuales ha de desempeñar un importante papel las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC)

La evaluación final debe tener un carácter más cualitativo e integrador, logrando que no sea un elemento añadido importado y se convierta en algo consustancial a la ejecución del proceso, centrada en el desempeño del estudiante durante el curso y donde las evaluaciones frecuentes y parciales representen el rol principal. Además deben incrementarse los trabajos y proyectos de curso que integren los contenidos de las diferentes disciplinas siempre que sea posible, con la consiguiente reducción de los exámenes finales de las asignaturas (pocos en los primeros años y menos en los años superiores). La evaluación final de la asignatura debe comprobar con prioridad, el desempeño alcanzado por el estudiante y concluir con un examen final, solo en los casos en que se considere indispensable.

El fortalecimiento de la formación social y humanística como consecuencia de nuevos contenidos relacionados con la historia de la profesión, la cultura medioambiental, los aspectos legales de la profesión. En estos aspectos la tendencia no debe ser a la creación de nuevas asignaturas y disciplinas sino la incorporación de todas las disciplinas del plan de estudio a esta labor, de modo que se logre proyectar una visión más abarcadora de dicha formación.

1. Se plantea también la existencia de Salidas Terminales anteriores al fin de la carrera que permita, por ejemplo, a un estudiante que abandona la carrera en tercera año tener un oficio o carrera reconocida que le permita integrarse al mercado laboral.

Teniendo en cuenta estos aspectos, la unidad y secuencia lógica, el desarrollo histórico de los Accionamientos Eléctricos y el contenido de la actuación profesional de los ingenieros cubanos correspondiente a estas asignaturas es que se propone este programa. También se han tenido en cuenta las experiencias de impartición de esta disciplina en el plan C y los últimos adelantos de la Ciencia y la Técnica en esta rama.

1.1.2 Fundamentación de la disciplina.

La importancia social y económica de la Energía Eléctrica en el mundo de hoy es bien conocida. La actividad humana moderna no se concibe sin ella. El desarrollo económico de un país está determinado en buena medida por su potencial de generación y transmisión de energía eléctrica. Desde el punto de vista social puede decirse que es inconcebible la vida cultural y el desarrollo de las actividades domésticas y humanas en general sin su presencia.

Alrededor del 50% del consumo de energía eléctrica en la actualidad, es a través de los Motores Eléctricos o Convertidores de Energía Electromecánica los cuales se utilizan para llevar a cabo los procesos tecnológicos más importantes existentes en la industria. Estos procesos son cada vez más automatizados, no se concibe hoy en día una fábrica o industria que no tenga un nivel mínimo de automatización. Para llevarla a cabo, es necesario todo un sistema que controle la conversión de energía. Es aquí donde aparecen los accionamientos eléctricos como sistemas encargados, no solo de la conversión de energía de eléctrica en mecánica, sino también de su control.

El papel de los accionamientos eléctricos en la industria, el transporte y los servicios es cada vez mayor y se espera se incremente en el futuro. Su inclusión ha permitido un incremento notable en la productividad de las industrias con un menor consumo de energía eléctrica. Esto ha sido posible gracias a la utilización en estos sistemas de los últimos adelantos de dos importantes ramas: la Informática y la Computación y la Electrónica de Potencia. También se prevé la inclusión en ellos cada vez con mas fuerza de otras tecnologías emergentes como por ejemplo, la Inteligencia Artificial.

Por otra parte, y debido a lo explicado en el párrafo anterior, puede decirse que esta disciplina tiene un elevado carácter integrador y debe incluir en ella asignaturas que no sólo son de su interés, si no que son de aplicación a otras disciplinas de la carrera.

1.1.3 Objetivos Generales Educativos de la Disciplina.

Contribuir a desarrollar en el estudiante:

El rigor científico en la solución de los problemas sobre la base de la aplicación de los conceptos, leyes y principios así como de los métodos y formas de trabajo en que se sustentan las asignaturas que la componen.

La capacidad de razonamiento mediante el incremento de su participación en el proceso de enseñanza aprendizaje, con el análisis y solución de situaciones de forma que llegue a conclusiones por él bajo la dirección del profesor pero con un marcado predominio del auto-aprendizaje por parte del alumno.

Constancia en el estudio mediante el diseño, organización, desarrollo y control de un sistema de tareas y evaluaciones periódicas de su propio desempeño que permitan al estudiante notar su avance en la asignatura o grado de cumplimiento de los objetivos con el fin de estimular su actuación.

Motivación por su profesión haciendo que la disciplina sea interesante, que se sienta estimulado a estudiarla con la demostración de la utilidad que tiene para la sociedad la solución de los problemas planteados, la correcta selección de los métodos de enseñanza

y evaluaciones en las cuales el estudiante pueda actuar de forma similar a como trabaja el profesional.

Hábitos de trabajo independiente con la disminución de la actividad presencial y la adecuada selección, motivación y orientación de los temas de la disciplina, ayudado por los textos, la literatura científico técnica y la consulta planificada y desarrollada con calidad.

Pensar y actuar como un profesional, a través de las diferentes actividades, haciendo hincapié en cuanto a eficiencia económica, ahorro, uso racional de la energía y de los recursos materiales y laborales, aumento de la productividad y cumplimiento de las normas del trabajo y la preparación para todas las actividades, la entrega en tiempo y con calidad de informes, tareas y evaluaciones.

1.1.4 Objetivos Generales Instructivos de la Disciplina.

1. Operar eficientemente en diferentes regímenes de trabajo y con nivel productivo, los Accionamientos Eléctricos mas utilizados, empleando los modelos físicos y matemáticos necesarios, a partir de evaluar sus principales características constructivas y de comportamiento, e interpretar la influencia de los factores que afectan su operación.
2. Proyectar sistemas de automatización industrial sencillos en los cuales el control de los procesos se lleve a cabo, fundamentalmente, basado en la utilización de sistemas de control de velocidad y otros dispositivos y sistemas típicos de la carrera.

1.1.5 Relación de Asignaturas:

En la tabla que aparece a continuación se muestran las asignaturas de la disciplina, el año, el semestre y el número de horas.

Tabla 1.1 Asignaturas de la disciplina.

ASIGNATURA	AÑO	SEMESTRE	HORAS
Ingeniería de Control	3ro	Segundo	48
Acc. Eléctrico.*	4to.	Primero	48
Automatiz. Ind. y Autómatas	4to	Segundo	48
Sist. de Control de Mov.	5to	primero	48 Opcional

Tiene examen final.

1.1.6 Indicaciones metodológicas.

- Tipicidad propuesta

Semanas impares Conferencia

Semanas pares Clase práctica Laboratorio

- Las conferencias deben impartirse en un Aula Especializada y serán sólo siete por asignaturas. En ellas el profesor dará una explicación general del tema motivando a los estudiantes para su estudio y orientándoles la forma de hacerlo. Las notas de clase a tomar por los estudiantes en las mismas solo serán las orientaciones dadas por el profesor y no el contenido de la materia. Debe quedar muy claro en ellas lo que debe estudiar el alumno para la realización de la clase práctica y el laboratorio de la siguiente semana.
- En la clase práctica, el profesor, conjuntamente con los estudiantes, resolverá problemas típicos sobre la conferencia dada. Al vencer esta actividad los estudiantes podrán resolver una parte de la tarea propuesta.
- Una parte de los laboratorios serán ensayos realizados con los equipos y otros consistirán en actividades realizadas en los centros de cálculo, pudiendo ser laboratorios virtuales o utilización de software especializado para la solución de problemas típicos.
- La tarea o proyecto se discutirá en la última semana de ser posible.

- Sistema de Evaluación
 - Asignaturas sin examen final
 - Dos pruebas intrasemestrales
 - Una tarea o proyecto discutido en la semana 15.
 - Desempeño en los laboratorios y clases prácticas.
 - Asignatura con examen final
 - Una prueba intrasemestral
 - Una tarea cuya discusión oral forma parte del examen final.
 - Desempeño en los laboratorios.
 - Examen final escrito-oral
 - Tienen una clase práctica o seminario más.

1.2 Planes de las asignaturas.

A continuación se relacionan los programas de las asignaturas que conforman la disciplina.

1.2.1 Ingeniería de control

Objetivos:

1. Analizar el comportamiento estático y dinámico de sistemas de controles continuos y discretos, lineales y no lineales utilizando los modelos matemáticos y sistemas de simulación adecuados.
2. Sintetizar los reguladores continuos y discretos de sistemas de control típicos utilizando métodos de compensación y control en cascada de lazos de control múltiples.

Sistema de Habilidades

1. Analizar el comportamiento dinámico y estático de sistemas de control continuos y discretos a lazo cerrado típicos basado en el cumplimiento de indicadores

adecuados y utilizando para ello los modelos y sistemas de simulación más convenientes.

2. Aplicar el método de respuesta de frecuencia al análisis de los sistemas de control continuos y lineales.
3. Sintetizar reguladores o controladores de sistemas a lazo cerrado utilizando métodos de compensación serie y control en cascada y comprobarlos mediante un sistema de simulación que considere las no linealidades más importantes.

Sistema de Conocimientos

1. Fundamentos de los sistemas de control a lazo cerrado.
2. Modelos matemáticos de los sistemas de control continuos.
3. Simulación de los sistemas de control utilizando el MATLAB y el SIMULINK.
4. Análisis de los sistemas de control a lazo cerrado.
5. Análisis del comportamiento de los sistemas de control empleando respuesta de frecuencia.
6. Síntesis de los sistemas de control.
7. Análisis y síntesis de los sistemas de control discretos.

Texto:

Ingeniería de Control Moderna, Katsuhiko Ogata.

Prerrequisitos

MATEMATICAS

- Cálculo diferencial e integral
- Ecuaciones Diferenciales
- Solución de Ecuaciones Diferenciales empleando Transformada de Laplace.
- Ecuaciones de Diferencia
- Solución de Ecuaciones de Diferencia empleando Transformada Z

1.2.2 Accionamiento eléctrico

Objetivos

1. Evaluar y explotar los accionamientos eléctricos más importantes existentes en la industria.
2. Seleccionar y parametrizar sistemas de control de velocidad como parte de un accionamiento eléctrico.
3. Diseñar esquemas de control a lazo abierto de accionamientos eléctricos.

Sistema de Habilidades

1. Identificar e interpretar las distintas componentes de un accionamiento eléctrico y su relación con el mecanismo accionado.
2. Evaluar y operar los accionamientos eléctricos de corriente directa.
3. Evaluar y operar los accionamientos eléctricos de motores de rotor bobinado.
4. Evaluar y operar los accionamientos eléctricos de motores jaula de ardilla.
5. Evaluar y operar los accionamientos eléctricos de motores sincrónicos de reluctancia variable y de imán permanente.
6. Seleccionar y parametrizar sistemas de control de velocidad.

Sistema de Conocimientos

1. Concepto y componentes del accionamiento eléctrico.
2. Accionamiento eléctrico de motores de corriente directa de velocidad variable.
3. Accionamiento eléctrico de motores de rotor bobinado.
4. Accionamiento eléctrico de motores de inducción de frecuencia variable.
5. Selección y parametrización de sistemas de control de velocidad.
6. Accionamiento Eléctrico de Motores Sincrónicos de Reluctancia Variable y de Imán Permanente.

Texto.

1. Electrical Drives, I. Boldea, S. Nasar, Editorial CRLC, 2000

Prerrequisitos

MATEMATICAS

- Cálculo diferencial e integral
- Ecuaciones Diferenciales
- Solución de Ecuaciones Diferenciales empleando Transformada de Laplace.

FISICA

- Leyes de la Mecánica Clásica
- Leyes fundamentales de la Electricidad

CIRCUITOS ELECTRICOS

- Solución de circuitos de CD.
- Solución de circuitos de CA Monofásica y Trifásica.

MEDICIONES ELECTRICAS

- Medición de corriente y tensiones con amperímetros y voltímetros de CD y CA.
- Medición de potencia monofásica y trifásica.

ELECTRONICA DE POTENCIA

- Convertidores CA CD
- Convertidores CD CD
- Inversores Autónomos

CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA

- Principio de operación y características de comportamiento de las máquinas de CD y CA

MODELACION Y SIMULACION

- Programación en MATLAB

1.2.3 Automatización industrial y autómatas

Objetivos:

1. Operar y evaluar esquemas de automatización industrial típicos
2. Proyectar esquemas de automatización industrial sencillos.

Sistema de Habilidades

1. Identificar e interpretar esquemas de automatización industrial típicos.
2. Proyectar esquemas de automatización utilizando autómatas programables.
3. Proyectar esquemas de automatización industrial sencillos utilizando redes de campo y diferentes tipos de sensores y sistemas de medición.
4. Proyectar esquemas de automatización de accionamientos eléctricos utilizando relés y contactores y autómatas programables
5. Identificar e interpretar los esquemas de automatización utilizados en sistemas eléctricos de potencia y centrales eléctricas.

Sistemas de Conocimiento

1. Introducción a la Automatización Industrial. Esquema general.
2. Sensores y sistemas de medición.
3. Redes de campo y redes industriales de comunicación en tiempo real.
4. Relés y contactores
5. Autómatas programables.
6. Automatización del arranque y el frenaje de los accionamientos eléctricos utilizando relés y contactores y autómatas programables.
7. Automatización industrial de Sistemas de Accionamiento Eléctrico.
8. Automatización de Sistemas Eléctricos de Potencia y sus componentes.

Texto:

Colectivo de autores, Monografía preparada especialmente para la asignatura

Prerrequisitos**MATEMATICAS**

- Cálculo diferencial e integral

FISICA

- Leyes fundamentales de la Electricidad

CIRCUITOS ELECTRICOS

- Solución de circuitos de CD
- Solución de circuitos de CA Monofásica y Trifásica

MEDICIONES ELECTRICAS

- Medición de corriente y tensiones con amperímetros y voltímetros de CD y CA
- Medición de potencia monofásica y trifásica

ELECTRONICA

- Transistores
- Amplificadores Operacionales
- Circuitos Digitales

CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA

- Principio de operación y características de comportamiento de las máquinas de CD y CA

MODELACION Y SIMULACION

- Programación en MATLAB

1.2.4 Sistemas de control de movimiento

Objetivos:

1. Analizar y sintetizar esquemas de control de movimiento de los accionamientos eléctricos partiendo de los requerimientos del mecanismo accionado.
2. Explotar los sistemas de control de movimiento y servomecanismos más utilizados en la industria.

Sistema de Habilidades

1. Identificar e interpretar los esquemas de control de movimiento a lazo cerrado de los accionamientos eléctricos.
2. Poner en marcha y operar sistemas de control de movimiento típicos.
3. Sintetizar los reguladores de los sistemas de control de movimiento.

Sistema de Conocimientos

1. Definición, aplicaciones y aspectos fundamentales de los sistemas de control de movimiento. Concepto de desacoplamiento.
2. Sistemas de control de movimiento de motores de corriente directa. Sistema de control con varios lazos de regulación.
3. Sistemas de control vectorial y por campo orientado de Motores de Inducción Trifásicos y Síncronos de Imán Permanente y Reluctancia Variable.
4. Control directo del par de Motores de Inducción Trifásicos.

Texto.

Electrical Drives, I. Boldea, S. Nasar, Editorial CRLC, 2000

Prerrequisitos

MATEMATICAS

- Cálculo diferencial e integral
- Ecuaciones Diferenciales
- Solución de Ecuaciones Diferenciales empleando Transformada de Laplace.

FISICA

- Leyes de la Mecánica Clásica
- Leyes fundamentales de la Electricidad

CIRCUITOS ELECTRICOS

- Solución de circuitos de CD
- Solución de circuitos de CA Monofásica y Trifásica

MEDICIONES ELECTRICAS

- Medición de corriente y tensiones con amperímetros y voltímetros de CD y CA
- Medición de potencia monofásica y trifásica

ELECTRONICA DE POTENCIA

- Convertidores CA CD
- Convertidores CD CD
- Inversores Autónomos

CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA

- Principio de operación y características de comportamiento de las máquinas de CD y CA
- Arranque y frenaje de los motores de CD y CA

MODELACION Y SIMULACION

- Programación en MATLAB
- Simulación dinámica empleando SIMULINK

INGENIERIA DE CONTROL

- Análisis y síntesis de sistemas de control a lazo cerrado continuo y discreto.

ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS

- Accionamientos eléctricos de CD
- Accionamientos eléctricos de CA

1.3 Programación específica de las actividades (p1).

En la tabla 1.2 se relaciona la programación específica de las actividades de la asignatura Accionamiento Eléctrico.

Tabla 1.2 Programación específica de las actividades.

No.	Tipo	Descripción de la actividad	Tema	Observación
1	C1	Concepto de accionamiento eléctrico. Componentes del accionamiento eléctrico. Ecuación de movimiento del accionamiento eléctrico. Características mecánicas de los motores eléctricos. Operación en los cuatro cuadrantes. Indicadores fundamentales del control de la velocidad	Tema I: Accionamientos con motores de corriente directa.	
2	CP ₁	Características en los cuatro cuadrantes del motor c.d.		
3	C ₂	Aspectos generales del control de velocidad de los motores de corriente directa. Regulación por tensión de armadura usando convertidores estáticos.		
4	L ₁	Características de operación en los cuatro cuadrantes del motor c.d.		Laboratorio
5	C ₃	Regulación de velocidad del motor de c.d. usando fuentes chopper.		
6	CP ₂	Métodos de regulación de velocidad del motor c.d.		
7	C ₄	Métodos de frenado eléctrico del motor c.d.		
8	L ₂	Métodos de regulación de velocidad del motor de c.d.		Laboratorio

9	C ₅	Regulación por tensión del campo usando convertidores estáticos. Criterios de selección de convertidores. Calidad de energía en los accionamientos con convertidores estáticos.		
10	CP ₃	Cálculo de las características mecánicas usando los métodos de regulación de velocidad del motor C.D		
11	CP ₄	Cálculo de las características mecánicas usando los métodos de frenado del motor C.D		
12	C ₆	Métodos de regulación de velocidad del motor de inducción	Tema II: Accionamientos con motores de inducción.	
13	L ₃	Características mecánicas del motor de inducción con diferentes métodos de regulación de velocidad.		Laboratorio
14	C ₇	Cascada asincrónica tiristores del motor de rotor bobinado.		
15	CP ₅	Cálculo y construcción de las características mecánicas del motor de inducción con diferentes métodos de regulación.		
16	CP ₆	Cálculo y construcción de las características mecánicas del motor de inducción con diferentes métodos de regulación.		
17	C ₈	Métodos de frenado del motor de inducción.		
18	L ₄	Características mecánicas del motor de rotor bobinado usando la cascada a tiristores.		
19	C ₉	Arranque del motor de inducción directo a línea y con tensión reducida. Utilización de arrancadores estáticos.		
20	CP ₇	Cálculo y construcción de las características mecánicas en accionamiento con motor de rotor bobinado usando la cascada asincrónica.		

21	CP ₈	Características mecánicas del motor de inducción a regímenes de frenado eléctrico.		Laboratorio
22	C ₁₀	Modelo del motor de inducción según la Teoría del Campo Orientado.	Tema III: Control Vectorial de accionamientos con motor de inducción	
23	CP ₉	Cálculo de las características mecánicas y de velocidad del motor de inducción usando control vectorial.		
24	L ₅	Curvas de trabajo del motor de inducción usando método de campo orientado.		Laboratorio
25	L ₆	Esquema de control a lazo abierto del motor de inducción usando el control vectorial.		
26	L ₇	Curvas de trabajo del accionamiento con motor de inducción usando variadores de velocidad para control vectorial.		
27	C ₁₁	Métodos de regulación de velocidad del motor sincrónico.	Tema IV: Accionamientos con motor sincrónico	Computación
28	CP ₁₀	Cálculo de las características de operación del motor sincrónico con potencia constante.		
29	L ₈	Curvas de trabajo del motor sincrónico usando método de regulación de velocidad con momento de carga variable.		Laboratorio
30	C ₁₂	Criterios de selección de los componentes de accionamientos eléctricos.	Tema V: Criterios de selección de motores	
31	S ₁	Métodos de cálculo de potencias de los mecanismos industriales típicos en accionamientos de potencia.		
32	CP ₁₁	Cálculo y selección de motores eléctricos para accionamientos típicos industriales.		Computación

33	L ₉	Modelación del accionamiento de bomba centrífuga para el hidro-transporte de pulpa laterítica de Moa.	eléctricos en los	Computación
34	L ₁₀	Modelación del accionamiento con motor de inducción para una instalación de potencia variable.	accionamientos industriales	Computación

1.4 Conclusiones del capítulo.

1. Con el actual programa D se puede garantizar un mayor incremento del trabajo independiente de los estudiantes.
2. La actualización del programa de la asignatura está de acuerdo a las aplicaciones y recursos disponibles en el departamento y la carrera.
3. El trabajo tiene mayor material científico técnico avalado por la bibliografía consultada.

Capítulo 2. Guía de estudio para la enseñanza de la asignatura Accionamiento Eléctrico.

Introducción

Este capítulo tiene como objetivo exponer los principales recursos metodológicos para la guía de estudio en la asignatura de Accionamiento Eléctrico, para esto se tienen en cuenta un material didáctico la adquisición de los fundamentos de la asignatura.

2.1. ¿Qué es la guía de estudio?

La guía de estudio es un material didáctico importante que orienta y facilita el aprendizaje de los estudiantes que desarrollan sus estudios en la modalidad semipresencial.

2.1.2. ¿Qué elementos tener en cuenta para la elaboración de la guía?

1. El plan de estudio de la carrera o del programa de postgrado.
2. El programa de la asignatura o curso.
3. Las fuentes de información básica y en particular el libro de texto en el caso de los estudios de pregrado.
4. Tener una clara concepción del resto de los medios didácticos y materiales complementarios.
5. El nivel y grado de madurez del alumnado.
6. La estimulación del estudiante.
7. La motivación del autor para escribir la guía.
8. Las vías mediante las cuales organizará la comprobación del aprendizaje.

2.1.3. Estructura de la guía de estudio.

La guía de estudio contendrá aspectos generales de la asignatura o curso, tales como su presentación, el papel que juega en el plan de estudio, los objetivos generales, fuentes de información básica, materiales complementarios y otros que se consideren necesarios, así como los aspectos específicos relacionados con la orientación del estudio y la

realización de las actividades de aprendizaje. Estos últimos se abordarán por temas y unidades didácticas.

2.2 Desarrollo de las actividades.

2.2.1 Conferencia 1. Componentes del accionamiento eléctrico y características mecánicas de los motores eléctricos.

Objetivo: Familiarizar a los estudiantes con los principales componentes y características de los accionamientos eléctricos.

Tema I: Accionamientos de motores CD.

1.1 Generalidades sobre accionamiento eléctrico.

1.2 Criterios para la selección de los componentes del accionamiento eléctrico.

1.3 Gráficos de operación entre el motor y la carga.

1.4 Consideraciones termales en la selección del motor.

1.5 Relaciones entre el convertidor y el motor.

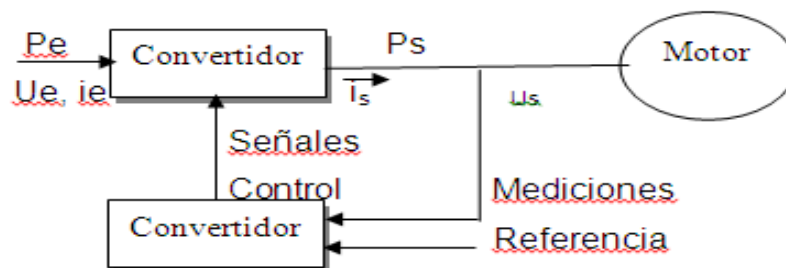


Figura 2.1 Sistema de accionamiento eléctrico.

Donde:

Pe: Potencia de entrada.

Ps: Potencia de salida.

U_e : tensión de entrada.

U_s : tensión de salida.

i_s : corriente de salida.

i_e : corriente de entrada.

La asignatura cuenta con 5 temas:

Tema I: Accionamientos de motores CD.

Tema II: Accionamientos de motores de inducción.

Tema III: Accionamientos de motores sincrónicos.

Tema IV: Accionamientos de motores por teoría orientado TCO.

Tema V: Cálculo y selección de motores eléctricos.

1.1 Generalidades de accionamientos eléctricos.

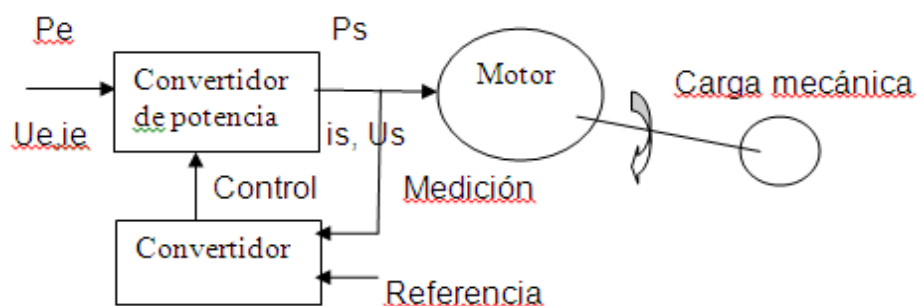


Figura 2.2 Accionamiento con carga mecánica, el motor suministra potencia mecánica rotacional al mecanismo industrial.

Tipos de mecanismos o cargas mecánicas.

- Bombas, ventiladores, compresores.

- Tornos, máquinas, herramientas.
- Molinos, bandas transportadoras.

Tipos de acoplamientos.

- Directo.
- Reductor- piñón, rueda dentada.
- Polea y correa.

Equation Chapter 2 Section 1

$$\eta = \eta_M \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{mec} \quad (2.1)$$

Dónde:

η : rendimiento.

η_M : rendimiento del motor.

η_{tr} : rendimiento de la transmisión.

η_{mec} : rendimiento mecánico.


Señal de control PWM Convertidor.

Tipos de motores.

C.D-

- ✓ Excitación serie.
- ✓ Excitación paralela o independiente.
- ✓ Excitación compuesta.

C.A- Jaula de ardilla.

-Rotor bobinado.  Asincrónico

- Polos salientes.
 - Polos lisos.
- } Sincrónico

1.2 Criterios para la selección de los componentes del accionamiento eléctrico.

Atendiendo a:

- a) Modo de la conmutación. → Cuadrantes de operación.
- b) Conservación de la energía (consumo). → Arranque y frenado.
- c) Control del proceso y automatización.
- d) Transportación → Fluidos, personas, autos, trenes eléctricos.

1.3 Gráficos de operación del motor y la carga.

- a) Régimen continuo.
- b) Régimen bruc- repetido.
- c) Régimen leve.

En la figura 2.3 se muestra el comportamiento de la potencia en función del tiempo para los regímenes de operación antes mencionados.

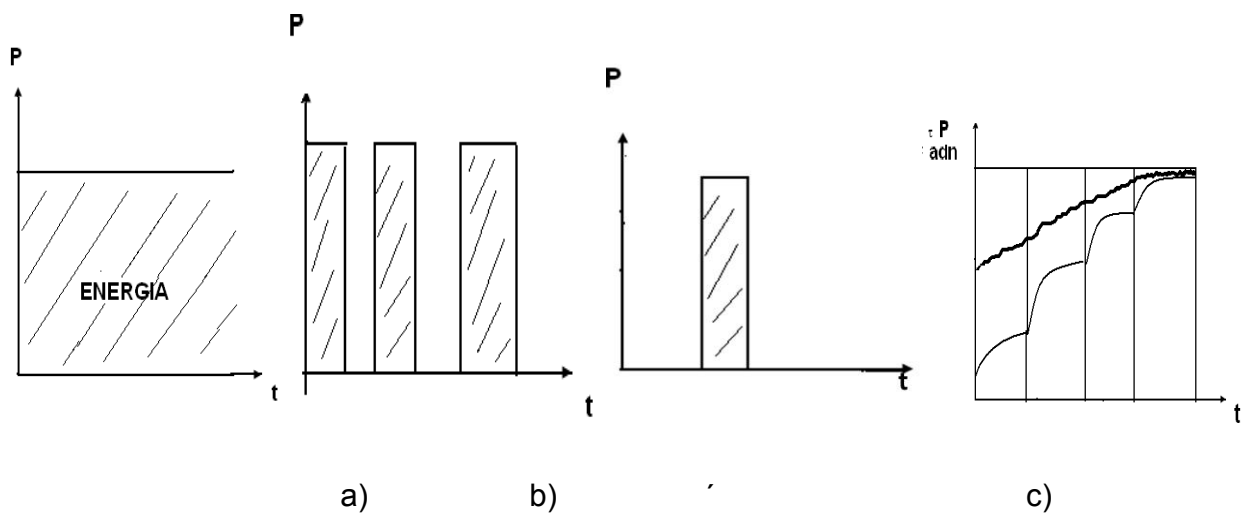


Figura 2.3 Regímenes de trabajo de los accionamientos eléctricos a) Régimen continuo, b) Régimen breve-repetido, c) Régimen breve.

$$\frac{M_m}{M_c} = \frac{w_c}{w_m} = \frac{\theta_c}{\theta_m} = a = \frac{V_c}{V_m} = \frac{n_m}{n_c} \quad (2.2)$$

$$M_{em} = \frac{w_c}{a} \cdot (J_m + a^2 J_c) + a \cdot M_c + \frac{w_c}{a} \cdot (B_m + a^2 \cdot B_c) \text{----- (N/m)} \quad (2.3)$$

Donde:

M_m: Momento del motor.

M_c: Momento de la carga.

w_c: velocidad angular de la carga

w_m: velocidad angular del motor

a: relación de transmisión

η_c: rendimiento de la carga.

M_{em}: Momento electromagnético.

J_m: Inercia del motor.

J_c: Inercia de la carga.

1.4 Consideraciones termales en la selección del motor.

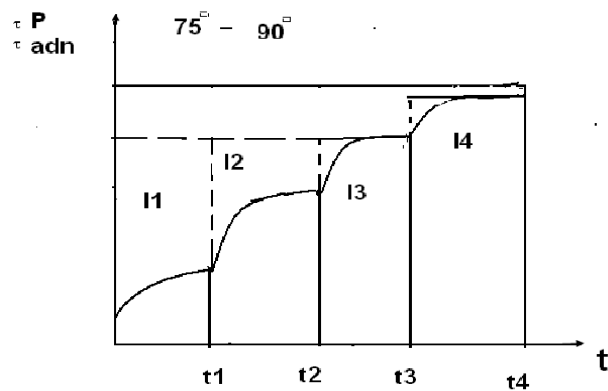


Figura 2.4. Gráfico de calentamiento del motor eléctrico en el accionamiento.

$$P_R = I^2 \cdot R_{eq} \quad (2.4)$$

Donde:

P_R : Potencia resistiva.

I : Intensidad de la corriente.

R_{eq} : Resistencia equivalente.

$$\tau = (75^\circ + 90^\circ)$$

$$I_{rms} = I_{eq} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}} \quad (2.5)$$

τ : torque del motor.

I_{rms} :

I_{eq} : intensidad equivalente.

t : tiempo.

-Tipo de aislamiento.

-Régimen de trabajo del accionamiento.

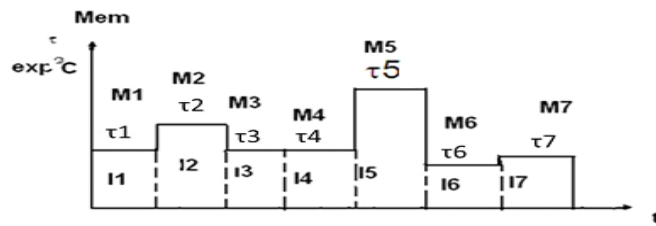


Figura 2.5 Esquema equivalente de los momentos del accionamiento eléctrico.

En la figura 2.5 se muestra el momento electromagnético del motor y corriente en forma de calor resistencia del motor o que se gasta en la potencia resistiva.

$$Mem = K_1 I^2 rms \quad (2.6)$$

$$P_R = K_2 Mem^2 rms \quad (2.7)$$

Pérdidas en el accionamiento eléctrico.

$$\Delta P = \Delta Pac + \Delta Pcu + \Delta Pmec + \Delta Pad \quad (2.8)$$

Resistencia termal:

$$\Delta \theta = \Delta P \bullet R_{termal} \quad (2.9)$$

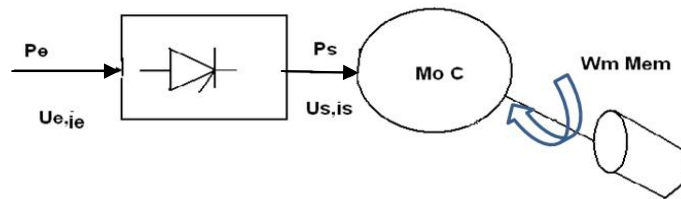
ΔP : variación de las pérdidas.

$\Delta \theta$: incremento o diferencial temperatura.

R_{TH} —está en grados centígrados [°C] por Watt. [°C/W]

1.5 Relaciones entre el convertidor y el motor.

- Corriente nominal.



2.6 Esquema de un accionamiento con motor de corriente directa alimentado desde un rectificador a tiristores.

- $P_{\text{cíos}}$ de los $M_c \ll K_{\text{thermal}}$ motor.
- K_{th} componente $\ll K_{\text{th molar}}$.
- Buen aislamiento de los componentes de potencia. (IGBT, GTO, MTC).
- Tensión nominal.

Motor

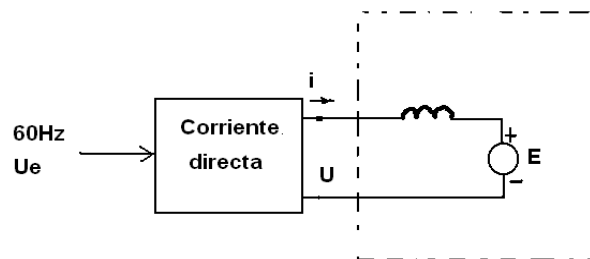


Figura 2.7 Esquema equivalente de un rectificador con motor de corriente directa.

$$U = L \frac{di}{dt} + e \quad (2.10)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{U - e}{L} \quad (2.11)$$

Donde:

U: tensión

L: Inductancia

e: FEM.

i: Corriente

Resumen:

1. Tipos de accionamientos:
 - a) Accionamientos de motores de C.D.
 - b) Accionamientos de motores de C.A.
 - b.1) Motores de inducción.
 - b.2) Motores sincrónicos.
2. Aplicaciones:
 - a) Servo Accionamientos.
 - b) Accionamientos de velocidad ajustable.

En los servo accionamientos, el tiempo de respuesta y la exactitud en la cual el motor sigue los comandos de velocidad y posición son extremadamente importantes.

En las aplicaciones de los accionamientos de velocidad ajustable AVA, el tiempo de respuesta a cambios de los comandos de velocidad no es crítico, en algunas aplicaciones no se necesita una alta exactitud del control de velocidad donde el lazo de realimentación tiene una constante de tiempo grande, el tiempo de respuesta del Accionamiento responde relativamente.

Conclusiones de la conferencia:

Se conoció el modelo del accionamiento con motor de corriente directa y sus cualidades de explotación atendiendo a las características de velocidad y mecánicas.

Se ofreció el campo de aplicación de los accionamientos y sus convertidores tipo rectificadores no controlados, semi-controlados y totalmente controlados.

Salidas curriculares:

Computación: Ver el en Toolbox del MATLAB los modelos del Electric Drives para rectificadores a tiristores en motores de corriente directa. Simular el demo con el diagrama de bloques del modelo de este accionamiento SRCM.

Idioma inglés: Traducir desde el inglés del demo dado en MATLAB, donde se muestre el procedimiento de los modelos de rectificadores para accionamientos con motores DC como objeto de control.

Medio ambiente: Describir la matriz de variables para la evaluación de los impactos que se evitan durante el uso de convertidores a semiconductores en motores eléctricos.

PPD: Describir un accionamiento usado para el mando posicional de dispositivos de armas con accionamientos con motores de corriente directa con mando electrónico a tiristores.

2.2.2 Conferencia 2

Tema: Accionamientos de motores de corriente directa.

2.1 Introducción

2.2 Circuito equivalente del motor de C.D

2.3 Accionamiento de motores de C.D con excitación independiente.

2.4 Efecto de la corriente de armadura.

2.5 Función de transferencia del accionamiento de motor de C.D.

2.6 Convertidores de potencia.

2.1 Introducción.

Tradicionalmente los accionamientos de motores de C.D han sido usados en aplicaciones para el control de velocidad y posición.

En los últimos años, los accionamientos de servo motores de C.D se han incrementado particularmente donde no se requieren altos mantenimientos, por sus excelentes características de regulación y capacidad de torque para condiciones de cargas grandes.

Se utilizan en trenes eléctricos, máquinas de laminados, allí donde se necesitan cargas de tracción con arranques frecuentes y características de regulación amplias.

2.2 Circuito equivalente del motor de C.D.

En el motor de C.D, es característico el campo de excitación magnético, que puede ser:

-Imanes permanentes $\rightarrow I_{exc} = K = const$

-Fuentes estáticas de C.D.

$$\Phi_{exc} = K_{exc} \bullet I_{exc} \quad (2.12)$$

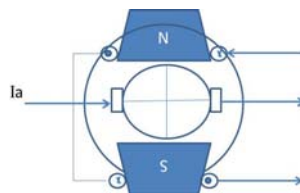


Figura 2. 8 Núcleos polares y sentido de líneas del campo.

$$M_{em} = K_m \cdot \Phi \cdot i_a \quad (2.13)$$

$$K_m = \frac{\rho \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad (2.14)$$

$$E_a = K_E \Phi \omega_m \quad (2.15)$$

Potencia eléctrica P_e :

$$P_e = e_a i_a = K_E \Phi \omega_m \bullet i_a \quad (2.16)$$

Potencia mecánica P_{mec} :

$$P_{mec} = w_m Mem = w_m \bullet K_M \Phi i_a \quad (2.17)$$

En estado estacionario:

$$P_e = P_{mec} \quad (2.18)$$

En la práctica, la tensión aplicada en los terminales de la armadura establece la corriente en los devanados de la armadura.

$$U = e_a + i_a \cdot R_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} \quad (2.19)$$

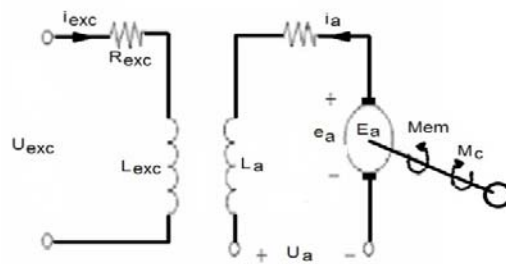


Figura 2.9. Circuito equivalente.

Ecuación del Movimiento del Accionamiento Eléctrico.

$$Mem - Mc = J \frac{dw_m}{dt} + Bw_m \quad (2.20)$$

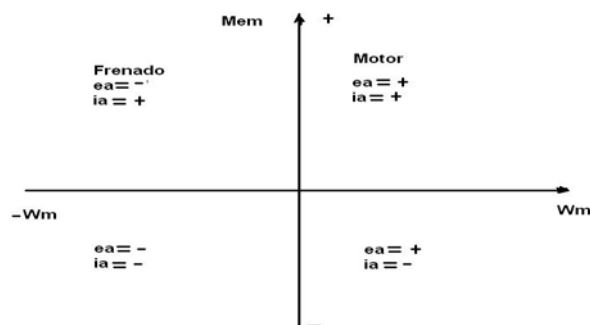


Figura 2.10. Relación Momento vs velocidad angular.

2.3 Accionamiento con motores de C.D de excitación independiente.

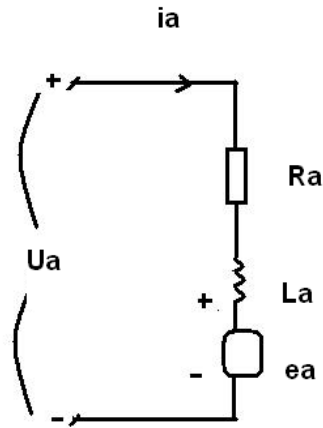


Figura 2.11 Circuito equivalente de accionamiento con motor de corriente directa.

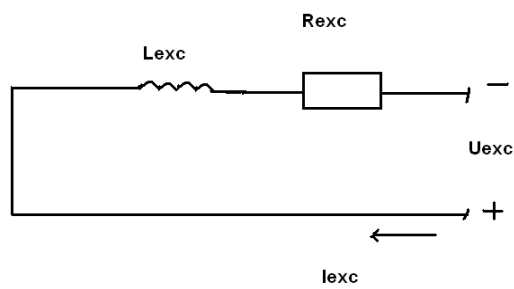


Figura 2.12 Circuito equivalente de excitación.

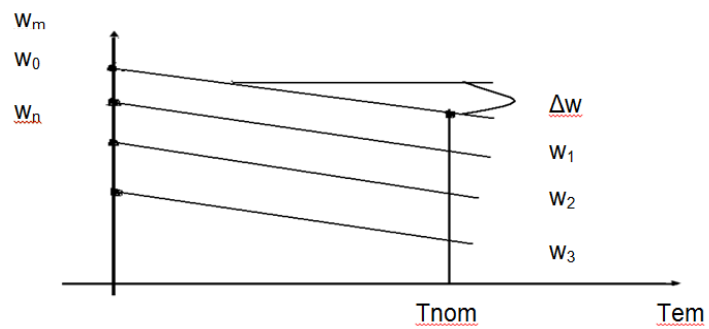


Figura 2.13 Características mecánicas del accionamiento con sistema rectificador controlado motor de corriente directa. SRCM

$$w_n = \frac{Un - IaRa}{K_E \Phi exc} \quad (2.21)$$

$$w_0 = \frac{Un}{K_E \Phi exc} \quad (2.22)$$

$$w_m = \underbrace{\frac{Ua}{K_E \Phi exc}}_{w_0} - \underbrace{\frac{IaRa}{K_E \Phi exc}}_{\Delta w} \quad (2.23)$$

2.4 Efecto de la corriente de armadura.

En los accionamientos con motores C.D, la tensión de salida del convertidor rectificador U_d contiene crestas superpuestas a la tensión deseada. Estas crestas en los terminales de la tensión U_d lo cual provoca crestas en la corriente de armadura I_a que ocasiona algunos inconvenientes que exigen atenuar el factor de forma y las pulsaciones del momento electromagnético.

2.4.1 El factor de forma está definido como:

$$K_F = \frac{Ia(rms)}{Ia(promedio)} \quad (2.24)$$

El $K_F=1$ si i_a es pura de C.D.

Para una mayor desviación de i_a desde la corriente pura de C.D, se tendrá el mayor valor del factor de forma K_F .

Cuando $K_F > 1$; implica que el pico de la $I_{arms} \gg I_{promedio}$, lo cual puede resultar una corriente excesiva en el colector de la máquina, que se ocasiona su deterioro y el motor ve afectada su capacidad de producir el momento electromagnético y el correspondiente

sobrecalentamiento en las partes del colector y escobillas. Por lo que es muy importante mejorar el factor de forma.

El crecimiento del factor de forma ocasiona pulsaciones del momento electromagnético en sintonía con los picos de corriente de armadura, fenómeno durante el trabajo del motor.

2.5 Función de transferencia del accionamiento con motor de C.D.

$$U_a^{(+)} = e_a(t) + i_a(t)Ra + La \frac{d}{dt} i_a(t) \quad (2.25)$$

$$e_a = K_E \Phi \omega_m \quad (2.26)$$

$$M_{em} = K_M \Phi i_a \quad K_M \Phi = K \quad (2.27)$$

Principio antrópico.

$$M_{em} = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + Mc \quad (2.28)$$

$$U_a(s) = E_a(s) + (Ra + sLa)I_a(s) \quad (2.29)$$

$$E_a(s) = K_E \omega_m(s) \quad K_E \Phi = K_E \quad (2.30)$$

$$M_{em}(s) = K_M I_a(s) \quad K_M \Phi = K_M \quad (2.31)$$

$$M_{em}(s) = (B + sJm)\omega_m(s) + Mc(s) \quad (2.32)$$

$$U_a(s) = K_E \omega_m(s) + (Ra + sLa)I_a(s) \quad (2.33)$$

$$\omega_m(s) = \frac{U_a(s) - (Ra + sLa)I_a(s)}{K_E} \quad (2.34)$$

$$W_m(s) = \frac{K_T}{(Ra + sLa)(sJ + B) + K_T K_E} U_a(s) - \frac{Ra + sLa}{(Ra + sLa)(sJ + B) + K_T K_E} M_c(s) \quad (2.35)$$

Cuando $M_c(s)=0$:

$$\text{Para } G(s) = \frac{w_m(s)}{U_a(s)} \quad (2.36)$$

$$G(s) = \frac{K_T}{(Ra + sLa)(sJ + B) + K_T K_E} \quad (2.37)$$

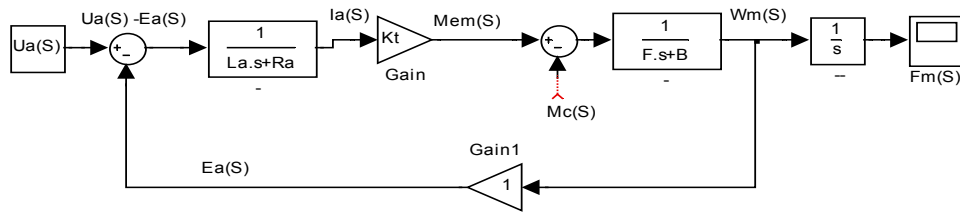


Figura 2.14. Diagrama de bloque del motor de CD con la carga mecánica. La ecuación de la función de transferencia del motor (2.12) se puede escribir de forma general.

La ecuación de la función de transferencia del motor (2.12) se puede escribir de forma general:

$$G_{(s)} = \frac{K_M}{sJ_m(Ra + sLa) + K_T K_E} - \frac{1}{K_E \left(s^2 \frac{LaJm}{K_T K_E} + \frac{RaJm}{K_T K_E} \right)} \quad (2.38)$$

Donde:

$$\tau_m = \frac{RaJm}{K_E K_T} \quad : \text{Constante mecánica del tiempo. (2.39)}$$

$$\tau_a = \frac{La}{Ra} \quad : \text{Constante eléctrica del tiempo. (2.40)}$$

$$G_{(s)} = \frac{1}{K_E (s^2 \tau_m \tau_e + s \tau_m + 1)} \quad (2.41)$$

Generalmente $\tau_m \gg \tau_e$

Entonces $s \tau_m$ se puede reemplazar por $S (\tau_m + \tau_e)$.

Resultando la expresión 2.42:

$$G_{l(s)} = \frac{\omega_{m(s)}}{Ua(s)} = \frac{1}{K_E (s \tau_m + 1)(s \tau_e + 1)} \quad (2.42)$$

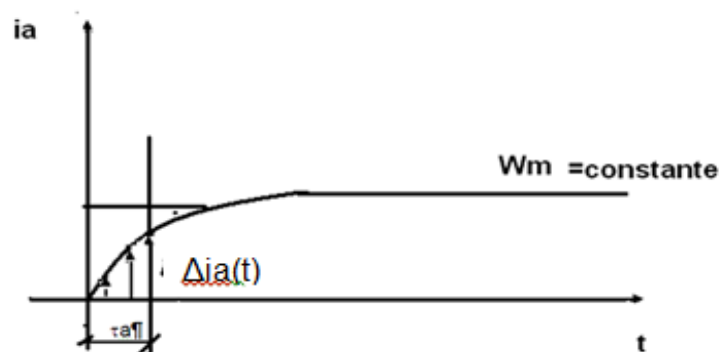


Figura 2.15 Característica de arranque del motor de corriente directa en el accionamiento a velocidad constante.

Problema. Mohan Undelan, Robbins. Power Electronics.

1. Considerando el accionamiento de un servomotor con los siguientes datos:

$$M_n = 10 \text{ N.m}$$

$$N_n=3700\text{rpm}$$

$$K_M=0.5\text{Nm/H}$$

$$K_E=0.53\text{V}/1000\text{rpm}$$

$$R_a=0.37\Omega$$

$$\tau_e=4.05\text{ms}$$

$$\tau_m=11.7\text{ms}$$

- a) Calcula la tensión en los terminales de la armadura en estado estacionario cuando se requiere un momento de 5N.m a una velocidad de 1500rpm. En estado estacionario:

$$\frac{d_{ia}}{d_t} = 0$$

Por lo tanto:

$$U_a = i_a \cdot R_a + L_a \frac{d_{ia}}{d_t} + K_E \cdot \omega_m$$

$$\omega_m = \frac{2\pi n_m}{60} = \frac{\pi}{30} n_m = \frac{3.14}{30} \cdot 1500$$

$$\omega_m = 0.105 \cdot 1500 = 157 \text{rad} / \text{s}$$

$$M_{em} = K_m \cdot I_a$$

$$5 = 0.5 \cdot I_a$$

$$\frac{5}{0.5} = I_a = 10\text{A}$$

En estado estacionario:

$$U_a = I_a R_a + K_E \omega_m$$

$$U_a = 10 \cdot 0.37 + K_E \omega_m$$

Para $K_E = 0.53V$ para cada 1000rpm

$$x \text{-----} 1500 \text{rpm}$$

$$U_a = 10 \cdot 0.37 + 53 \cdot 157$$

$$U_a = 3.7 + 83.21$$

$$U_a = 86.91V$$

$$K_E = 0.53$$

$$P = E_a I_a$$

$$P = 83.21 \cdot 10$$

$$P = 832.1W$$

Verificando:

$$P_n = M_n \cdot \omega_n$$

$$P_n = 10 \cdot 388.5$$

$$P_n = 3885W$$

$$\omega_n = 0.105 \cdot 3700$$

$$\omega_n = 388.5 \text{rad/s}$$

$$P = E_a I_a = 8321W$$

$$P = 86.91 \cdot 10$$

$$P = 869.1W$$

$$\frac{P_n}{P} = \frac{M_n \cdot \omega_n}{M \cdot \omega} = \frac{388.5 \cdot 10}{157 \cdot 5} = 4.95$$

Para las condiciones nominales:

$$M_n = K_M \bullet I_{an} \quad M_n = 10N \bullet m$$

$$10 = 0.5 I_{an} \quad I_{an} = 20A$$

$$\frac{10}{0.5} = I_{an} = 20A$$

$$K_M = 0.5N \bullet m / A$$

Para condiciones nominales:

$$U_a = I_a \bullet R_a + K_E W_m$$

$$U_a = 20 \bullet 0.37 + 0.53 \bullet 388.5$$

$$U_a = 7.4 + 205.9 = 213.3V$$

$$P_n = M_n \bullet n_n \quad (\text{kW})$$

$$P_n = 9550 \bullet 10 \bullet 3700 = 3.8743 \quad (\text{kW})$$

$$w_n = \frac{2\pi}{60} n_n = 0.105 \bullet 3700$$

$$w_n = 388.5 \text{ (rad/s)}$$

$$\tau_m = \frac{JmRa}{K_M K_E}$$

$$Jm = \frac{11.7 \bullet 0.5 \bullet 53}{0.37} = \frac{310.05}{0.37} = 837.97 = 0.837kg \bullet m^2$$

Verificando:

$$K_E = \frac{Jm \bullet Ra}{\tau_m K_M} = \frac{0.837 \bullet 0.37}{11.7 \bullet 0.5} = \frac{0.309}{5.85} = 0.53$$

$$P = Ea \bullet Ia = 194.25 \bullet 20 = 3890W$$

$$Ea = \frac{P}{Ia} = \frac{3890}{20} = 194.25$$

$$Ea = K_E Wm$$

$$K_E = \frac{Ea}{w_m} = \frac{194.25}{388.5} = 0.5$$

$$\tau_a = \frac{L_a}{R_a}$$

$$La = \tau_a \bullet R_a = 4.05 \bullet 0.37 = 1.49mH$$

$$\frac{P_n}{P} = \frac{M_n \bullet W_n}{M \bullet W} = \frac{3885}{1202} = \frac{10 \bullet 388.5}{5 \bullet 157} = 0.32$$

Para las condiciones nominales:

$$M_n = 10N \bullet m \quad M_n = K_M I_{an}$$

$$I_{an} = 20A \quad 10 = 0.5 I_{an}$$

$$\frac{10}{0.5} = I_{an} = 20A \quad K_M = 0.5N \bullet m / A$$

Problema propuesto de tarea.

- Determine la potencia del motor eléctrico que acciona una bomba centrífuga encargada de bombear agua a un recipiente de $260m^3$ que se encuentra a 10m de altura, si entrega $120m^3/h$ en una tubería con radio de 4cm, para que el recipiente se llene en hora y media.

Conclusiones de la conferencia

- Se conocieron las ecuaciones fundamentales que rigen el comportamiento de las características mecánicas y de velocidad de un accionamiento con motor de corriente directa alimentado desde un sistema rectificador controlado motor a tiristores SRCM.
- Se desarrolló un ejemplo de cálculo de accionamientos con motores de corriente directa con SRCM.

Salidas curriculares:

- **Computación:** Ver en el Toolbox del MATLAB los modelos del Electric Drives para rectificadores a tiristores en motores de corriente directa. Caso del de simple puente rectificador y puente completo.
- **Idioma inglés:** Traducir del MATLAB el demo de los modelos de rectificadores para accionamientos con motores DC.
- **Medio ambiente:** Describir la atenuación en el efecto ambiental que evita el uso de convertidores a semiconductores en motores eléctricos.
- **PPD:** Desarrollar el modelo de accionamientos de armas con accionamientos con motores de corriente directa con mando electrónico a tiristores.

2.2.3 Clase Práctica 1. Cálculo de las características de Accionamientos con motores de corriente directa.

Tema I: Accionamientos de motores CD.

Objetivo: Construcción de las características de velocidad y mecánica del motor de C.D operando con un convertidor rectificador semicontrolado con carga variable.

Ejemplo:

Un accionamiento con motor de C.D con excitación independiente de 3.73kW, 230V, alimentado por un rectificador semicontrolado a tiristor de 230-300V, 60Hz. Opera a 500rpm, 230V a condiciones nominales, con una corriente de 22A, $R_a=1.33\Omega$, $L_a=36\text{mH}$.

Dibujar las curvas de operación del motor de C.D y el ángulo de disparo α_{vs} Mc para el 75% de carga nominal.

Solución:

$$W_m = 500 \cdot 0.105 = 52.36 \text{ rad/s}$$

$$M_n = \frac{3.73}{52.36} = 71.24 \text{ N.m} = \frac{P_n}{W_n}$$

Accionamientos con Rectificadores Semicontrolados. Pág. 77. S.B. Dewan.

$$U_a = \frac{\sqrt{2}U}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$W_m = \frac{\sqrt{2}U}{\pi K\phi} (1 + \cos \alpha) - \frac{RaM}{(K\phi)^2}$$

Ejemplo 3.2

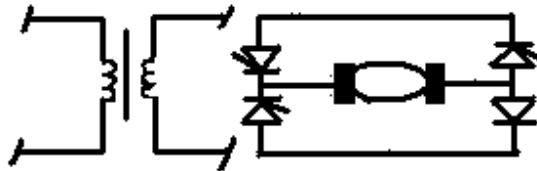


Figura 2.16 Circuito de un sistema rectificador de puente de onda completa totalmente controlado.

$$E_a = K_E \phi W_m$$

$$Z = \sqrt{(wLa)^2 + Ra^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{wLa}{Ra} \text{ rad}$$

$$U_a = IaRa + E_a$$

Para las condiciones nominales:

$$Ea_n = Ua_n - IaRa$$

$$Ea_n = 230 - 22 \cdot 1.33 = 200.7V$$

$$K\phi = \frac{Ea_n}{\omega_n} = 0.75V \cdot S/rad$$

$$Pe = Uan \cdot Ian = 230 \cdot 22 = 5060W$$

$$Ps = Pn = 3750W$$

$$\Delta P_{cu} = Ian^2 \cdot Ra = (22)^2 \cdot 1.33 = 644W$$

$$\Delta P_{wt} = Pe - Ps - \Delta P_{cu} = 686W$$

$$M\Delta P = \frac{\Delta P}{\omega_n} = \frac{686}{52.36} = 13.10N \cdot m$$

$$n[rpm] \quad 500 \quad 400 \quad 300 \quad 200 \quad 100 \quad 50$$

$$\alpha[grados] \quad 53.5 \quad 72.6 \quad 90.7 \quad 109.4 \quad 131.4 \quad 146$$

$$Mc[N \cdot m] \quad 26 \quad 28.1 \quad 24.9 \quad 17.8 \quad 7.4 \quad 1$$

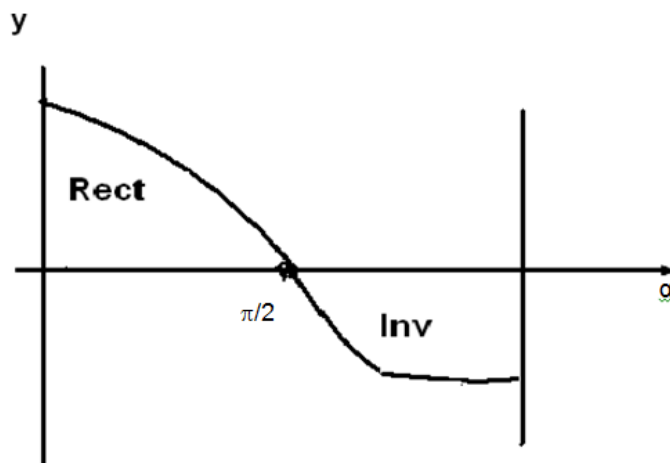


Figura 2.17 Gráfico de los regímenes de mando de los tiristores en el SRCM.

$$K\phi = \frac{Ua_n Ia_n Ra}{\omega_n}$$

$$\cos\alpha = \frac{K\phi W_m + I_a R + q\Delta v}{U_{d0}}$$

$$U_d = U_{d0} \cos\alpha$$

$$U_{d0} = K_b \cdot U_2$$

$$K_b = \sqrt{\frac{6}{\pi}} \sin \frac{\pi}{q}$$

• Rectificadores a tiristores:

1φ monofásico $K_b = 1.17$

3φ semicontrolado $K_b = 2.025$

3φ $K_b = 2.34$

q: # de ciclos por pulsos.

$$W = \frac{U_{d0} \cos\alpha - \Delta U_r}{K\phi} \cdot \frac{R}{K\phi}$$

$$W_0 = \frac{U_{d0} \cos\alpha - \Delta U_r}{K\phi}$$

$$I_c = \frac{M}{K\phi} = 450 / 2.66 \text{ (170A)}$$

- Teoría de control automático.

-Dr. Manuel Vargas Villanueva.

- ¿Cómo utilizando Simulink, conformar aplicaciones de Topografía?
- Introducción.
- Trabajos de campos.
- Mapas.
- Perfiles.
- SIG.

EXCEL en MATLAB.

Automatización en Minas.

Introducción.

Simuladores MATLAB, LabVIEW.

Modelos de procesos mineros.

Elementos de Control Modernos.

Aplicaciones en MATLAB de procesos modernos.

2.2.4 Laboratorio No.1 Simulación de accionamiento con motor de corriente directa controlado desde chopper-fed a GTO en régimen continuo.

Tema I: Accionamientos de motores CD.

Objetivo: Obtener las características de velocidad y mecánica del accionamiento con motor de corriente directa desde un sistema rectificador controlado motor, caso CHOPPER – FED a GTO, en régimen continuo, para diferentes condiciones de carga mecánica.

Esquema para la simulación

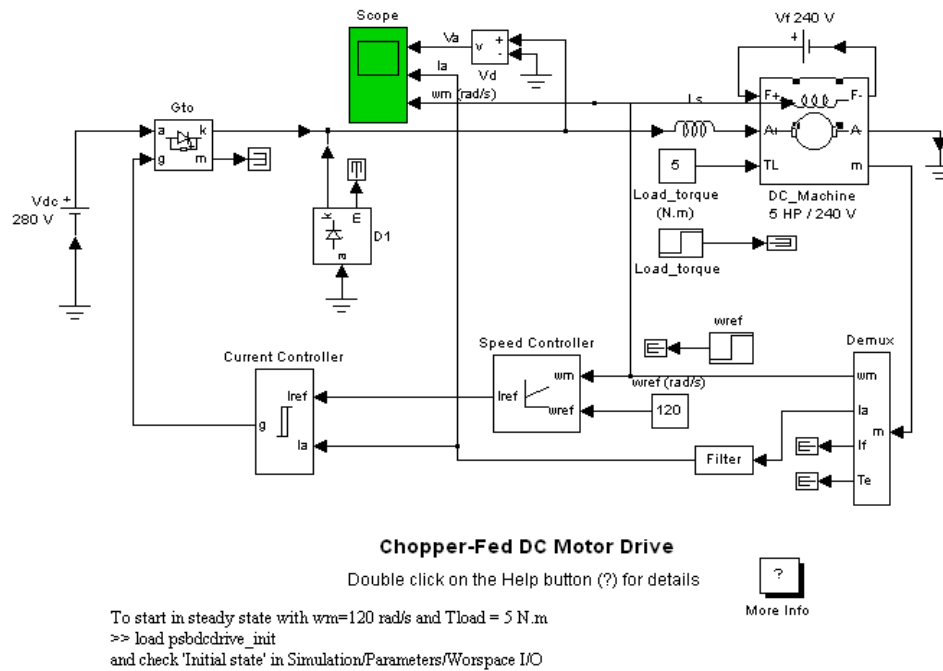


Figura 2.18 Modelo en Matlab para simulación del motor de cd con Chopper.

Desarrollo:

Desde el MATLAB, montar el esquema en Simulink del accionamiento con motor de corriente directa planteado en el problema.

- Poner los datos ofrecidos por el problema.
- Realizar la simulación del esquema con visualizadores que permitan la obtención de las curvas pedidas en el problema.
- Para elaborar el INFORME de Laboratorio se debe entregar:

Enunciado del problema.

- . Esquema de simulación.
- . Gráficos.
- . Conclusiones.

. Bibliografía.

Problema1

Un accionamiento con motor de corriente directa de 40 kW, 240 V, 1150 rpm de excitación independiente, es utilizado en un sistema de control sobre un convertidor rectificador tipo chopper-fed dc (continuo) a GTO. La corriente de excitación se mantiene constante de acuerdo a k_f igual a 1.95 V.s / rad. La resistencia de armadura R_a igual a 0.089 ohms y el coeficiente de fricción B igual a 0.275 N.m.s / rad. El factor del tacómetro es de 10 V / 1000 rpm y la ganancia del regulador de tensión k_1 es igual a 200. El momento de inercia del motor es de 1.4 kg.m²

(a). Obtener la característica de velocidad del accionamiento del motor a velocidad nominal sin carga mecánica en su árbol.

(b). Obtener la curva característica de $w = f(I_a)$ para la cual el motor opera cargado a su momento nominal.

c) Si el motor opera con una tensión de armadura constante de 240 V, determine las características de velocidad para diferentes valores del PWM en condiciones de un 25 % de carga nominal.

Problema 2

Un accionamiento con motor de corriente directa alimentado a través de un rectificador semicontrolado a tiristores, con tensiones de trabajo de 230 – 300 V, desde una fuente de corriente alterna de 230 V a 60 Hz a través de un transformador. La corriente nominal es de 22 A, la resistencia de armadura R_a es igual 1.33 ohms, la inductancia de la armadura L_a es igual a 36 mH y una potencia nominal de 3.73 kW a 500 rpm.

Construir las curvas de velocidad angular de rotación en función del ángulo de disparo α en función, así como del momento en función del ángulo α para las condiciones de carga nominal del accionamiento.

Problema 3

Para un accionamiento con motor de corriente directa con rectificador totalmente controlado desde 230 V, 1750 rpm, 37.50 kW. Las pérdidas del torque se incrementan en un 25 % cuando opera desde el rectificador. La corriente de excitación es mantenida constante desde una fuente de 230 V.

Determinar la corriente de armadura la para el trabajo continuo del motor a 600 rpm con el momento de carga al 25 % de su valor nominal, así como la característica de velocidad para estas condiciones de operación. Se tienen como datos: La resistencia de la armadura R_a igual a 0.0415 ohms, la inductancia de la armadura igual a 1.10 mH, La corriente nominal igual a 117 A y la potencia nominal igual a 3730 W.

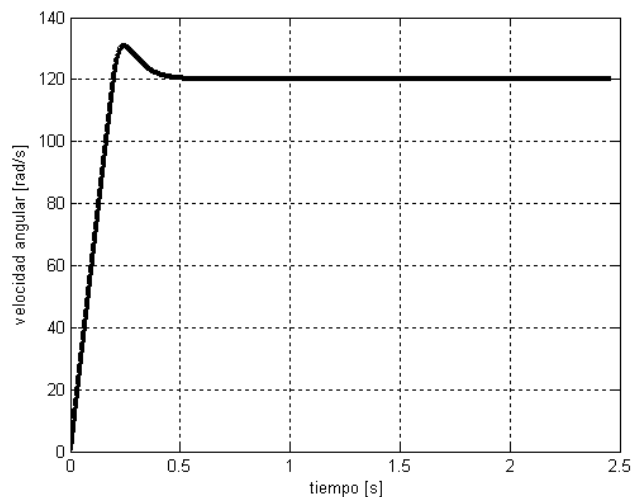


Figura 2.19 Gráfico del comportamiento de la velocidad de rotación del accionamiento luego del arranque del motor de corriente directa.

Conclusiones del laboratorio

- Se verificó el proceso de arranque y regulación del accionamiento con motor de corriente directa cuando es alimentado desde un rectificador a tiristores con diferentes configuraciones de los puentes rectificadores.
- Se consolidó la teoría de los convertidores rectificadores cuando alimentan a motores con cargas mecánicas constantes y variables.

Salidas curriculares

- **Computación:** Realizar la simulación del SRCM usando los modelos dados desde los toolbox del MATLAB y crear las interfaces para montar los gráficos de comportamientos de los convertidores y del motor DC.
- **Idioma inglés:** Escribir un resumen en ingles del procedimiento realizado en el laboratorio y definir las palabras claves empleadas en los objetos practicados.

2.2.5 Conferencia 3.

Tema I: Accionamientos de motores CD.

- Sistema Rectificador Controlado Motor de C.D.
- Operación en los cuatro cuadrantes del accionamiento eléctrico con motor de C.D.
- Métodos de control de velocidad del motor de C.D

Sistema Rectificador Controlado Motor de corriente directa.

El convertidor tipo rectificador de C.D que alimenta motores de C.D tiene las siguientes cualidades:

1. Permite la operación del motor con tensión U_d y Corriente I_d para los cuatro cuadrantes.
2. El rectificador debe estar preparado para entregar la corriente I_d rectificada a su máximo valor en las condiciones de máxima aceleración y desaceleración. La corriente I_d en estado dinámico alcanza valores mucho más grandes que en estado estacionario.

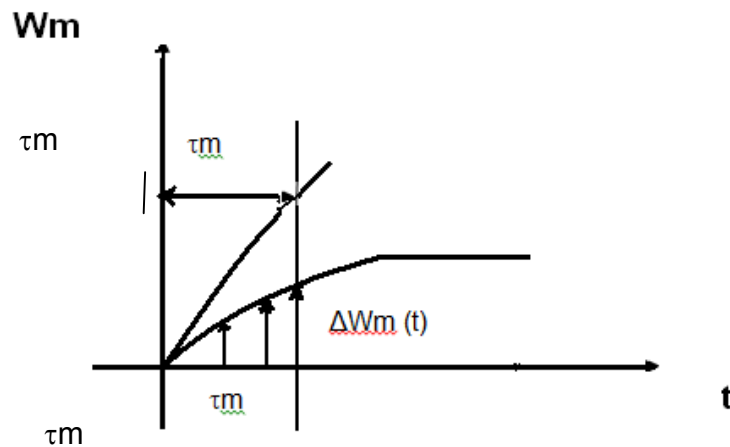


Figura 2.20 Gráfico para la determinación de la constante mecánica del motor.

$$\tau_m = \frac{Ra/m}{K_E K_T} \quad \text{Constante mecánica del motor.}$$

3. Para el control exacto de posición, la tensión de salida debe variar linealmente con el comando de control, independiente de la carga del motor.
4. El rectificador debe entregar una corriente I_d de armadura con un buen factor de forma y ocasionar las mínimas fluctuaciones del tanque y velocidad del motor.

$$K_f = \frac{I_a(rms)}{I_a(promedio)}$$

5. El rectificador debe responder adecuadamente a los comandos de entrada de control y esto permitirá representar una ganancia constante del convertidor para un tiempo muerto, representado en su función de transferencia:

$$F_{R(s)} = \frac{1}{Kc(Tcs + 1)}$$

K_c : Ganancia del convertidor

t_c : Constante de tiempo del rectificador. Debe cumplirse la condición de transferencia.

$$U_d = K_c \cdot U_c$$

U_c : Tensión de control.

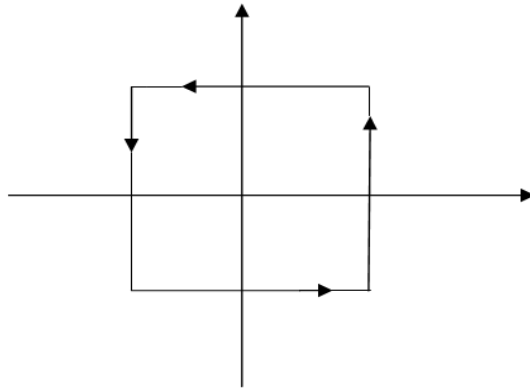


Figura 2.21 Cuatro cuadrantes de trabajo del accionamiento eléctrico en función del comportamiento de la corriente en función de la tensión.

Esquema del Sistema Rectificador Controlado Motor.

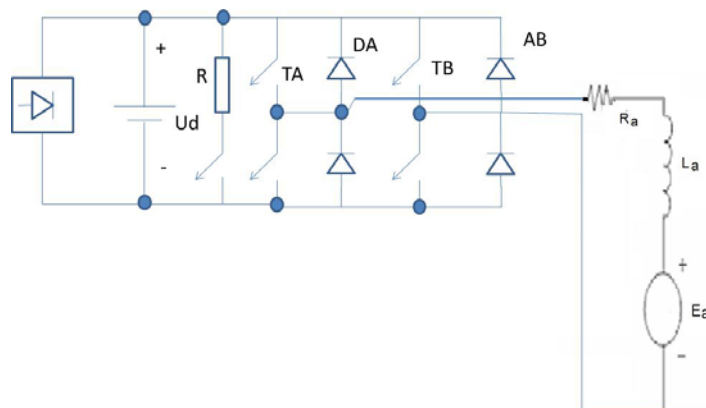


Figura 2.22 Esquema de sistema rectificador controlado del motor de corriente directa.

Métodos de control de velocidad del motor de C.D.

- Variando la tensión de armadura U_a .
- Variando la resistencia de armadura $I_a R_a$.

-Variando el flujo de excitación Φ .

- Operación en un solo cuadrante.

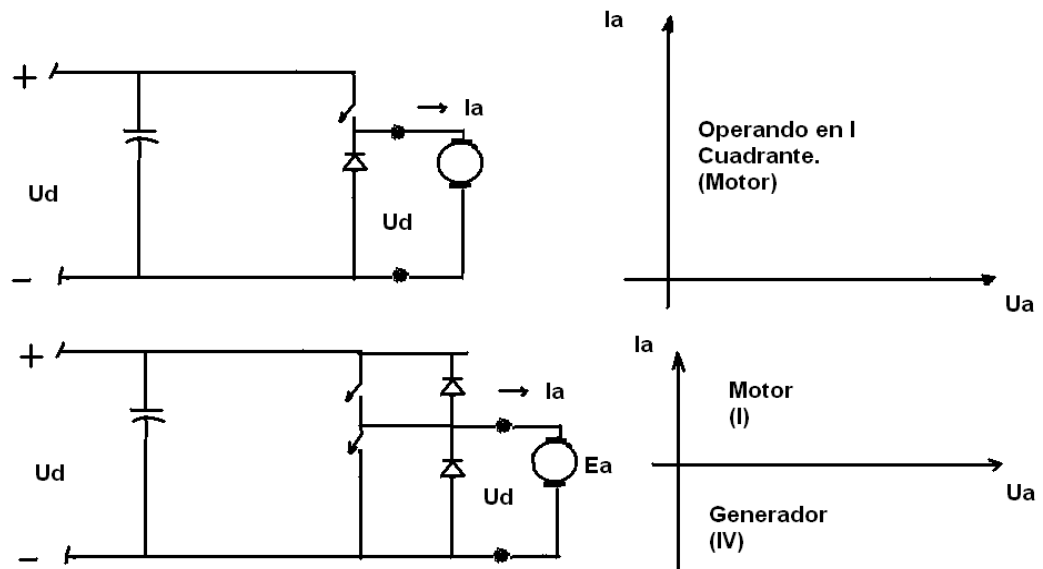


Figura 2.23 Esquemas equivalente de accionamientos con motores de corriente directa en su trabajo en los cuadrantes I y IV.

- Circuitos rectificadores 1Φ .
- Circuitos rectificadores 3Φ .
- Operación en los cuatro cuadrantes:

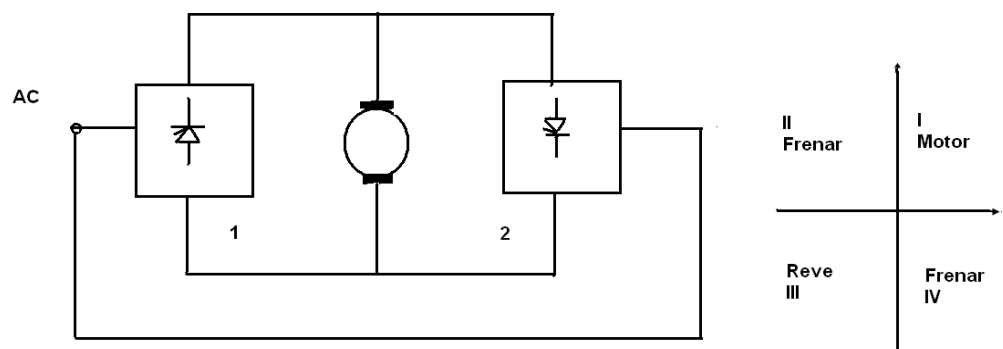


Figura 2.24 Esquema de accionamiento con SRCM reversible operando en los cuatro cuadrantes.

- Conexión con contactores para operar en los cuatro cuadrantes:

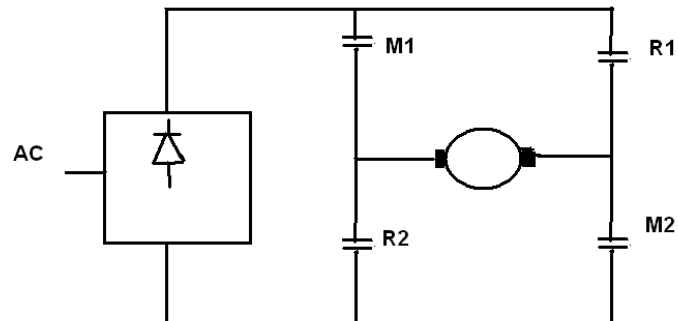


Figura 2.25 Esquema para el trabajo reversible del accionamiento con motor de corriente directa, puede ejercer el frenado por contracorriente.

Problema de tarea.

1. Considerando el accionamiento eléctrico de motor de C.D con lazo de control de velocidad a través de un regulador proporcional de tensión, con datos siguientes:

$$M_N = 10 \text{ Nm}$$

$$N_n = 3500 \text{ rpm}$$

$$P_n = 3.3 \text{ kW}$$

$$R_a = 0.37 \Omega$$

$$\tau_e = 4.05 \text{ ms}$$

$$\tau = 11.7 \text{ ms}$$

Determine sus características de velocidad cuando está cargado al 75% de su carga nominal en estado estacionario.

Conclusiones de la conferencia

- Se verificó el trabajo en los diferentes cuadrantes del del accionamiento con motor de corriente directa cuando es alimentado desde un rectificador a tiristores con diferentes esquemas de conexión con los puentes rectificadores.

Salidas curriculares

- **Computación:** Escribir pequeños programas para realizar la simulación del SRCM usando los modelos dados desde los toolbox del MATLAB y crear las interfaces para montar los gráficos de comportamientos de los convertidores y del motor DC.
- **Idioma inglés:** Escribir un resumen en ingles de los rectificadores que alimentan accionamientos con motores de corriente directa y definir las palabras claves empleadas.

Accionamiento Eléctrico

2.2.6 Clase Práctica 2 Cálculo sobre accionamiento con motores de corriente directa.

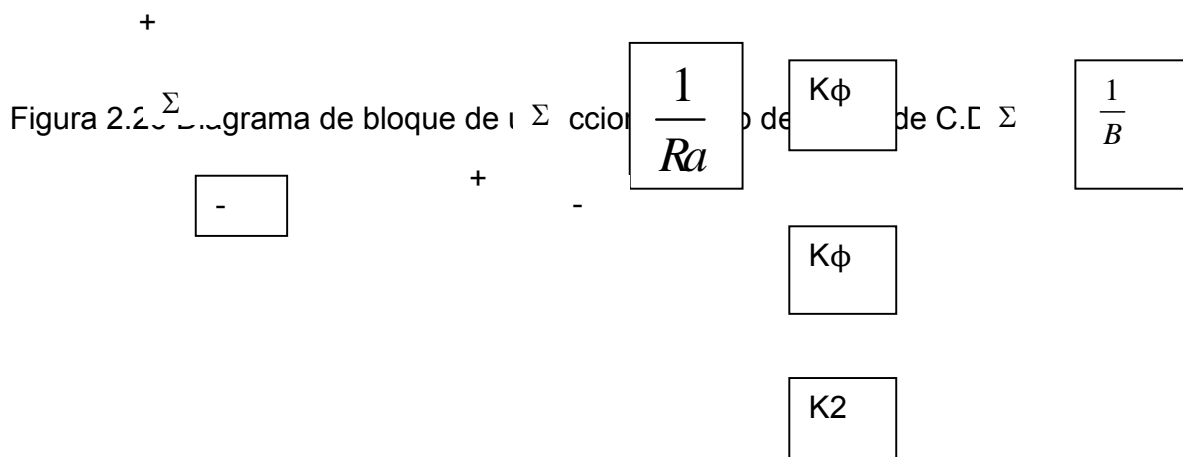
Tema I: Accionamientos de motores CD.

Objetivo: Consolidar los conocimientos adquiridos para la determinación de los parámetros.

Problema 1.

Un accionamiento con motores de C.D de 40kW, 240V, 1150rpm de excitación independiente es utilizado en un sistema de control, cuyo diagrama en bloque se representa a continuación:

.



La corriente de excitación se mantiene constante donde $K_\phi=1.95\text{V.s/rad}$. La $R_a=0.089\ \Omega$ y $B=0.275\text{N.ms/rad}$. El factor del tacómetro es $10\text{V}/1000\text{rpm}$ y la ganancia del regulador es $K_1=200$.

- Determine el valor de la señal de referencia U_{ref} requerida para el accionamiento del motor a velocidad nominal sin carga mecánica en su árbol.
- Si la señal de referencia es no cambiada determine la velocidad para la cual el motor opera cargado a su tope nominal.
- Si el motor opera con una tensión de armadura constante de 240V , determine la velocidad en marcha al vacío y a plena carga.

Respuestas:

$$W_n=0.105 \cdot 1150=120.4\text{rad/s}$$

Trabajando con la constante $K_2 = K_E$

$$K_E = \frac{10}{1000 \cdot 0.105} = 0.095\text{V.S/rad}$$

$$M_n = 332.2 \text{ N.m}$$

a) $U_{ref}=?$ A partir del diagrama de torque.

$$\frac{W_m}{U_a} = 1 + \frac{\frac{K\phi}{RaB}}{([K\phi])^2} = 0.5095$$

Para la velocidad nominal:

$$U_1 = \frac{W_n}{0.5095} = 236.3V$$

La tensión de referencia U_{ref} :

$$U_T = W_m I K^2$$

$$\frac{U_1}{U_{ref} - U_T} = \frac{236.3}{U_{ref} - 11.50} = 200$$

$$U_{ref}=12.68V=6.295V$$

El momento a plena carga:

$$W_m = \frac{U_n \cdot R_a}{R_a + K\phi(K_1 + K_2 + K\phi)}$$

$$W_m = \frac{-332 \cdot 0.089}{0.089 \cdot 0.275 + 1.95(200 \cdot 95.49 + \dots)}$$

$W_m = -6.875 \text{ rpm}$

Aplicando superposición la velocidad a plena carga es:

$$1150 - 6.875 = 1143 \text{ rpm}$$

Para la carga al vacío $M_c=0$

$$W_m = \frac{1.95 \cdot 240 - 0.089 \cdot 332.2}{(1.95)^2 + 0.089 \cdot 0.275}$$

$$W_m = 114.6 \text{ rad/s}$$

Problema 2

Un accionamiento con motor de corriente directa alimentado a través de un rectificador semicontrolado a tiristor con tensión de 230V, 60Hz, de 330-30V mediante un transformador. La corriente nominal es de 22A, $R_a=1.33 \Omega$, $L_a=36\text{mH}$ y una potencia nominal de 3.73kW a 500rpm.

Construir las curvas de velocidad angular de rotación en función del ángulo de disparo α , así como del tanque para las condiciones de carga nominal del accionamiento.

Solución:

$$\omega_n = 0.105 \cdot 500$$

$$\omega_n = 52.36 \text{ rad/s}$$

$$T_n = \frac{3730}{\omega_n} = \frac{3730}{52.36} = 71.24 \text{ N.m}$$

$$E_a = U_a - I_a \cdot R_a$$

$$E_a = 230 - (22 \cdot 1.33) = 200.7 \text{ V}$$

$$K\phi = \frac{E_a}{\omega_n} = \frac{200.7}{52.36} = 3.833 \text{ V}$$

$$P_e = U_a \cdot I_a = 5060 \text{ W}$$

$$P_s = P_n \cdot I_n = 3730 \text{ W}$$

$$\Delta P_{cu} = I_a^2 \cdot R_a = (22)^2 \cdot 1.33 = 644 \text{ W}$$

$$\Delta P_{rot} = P_e - P_s - \Delta P$$

$$\Delta P_{rot} = 5060 - 3730 - 644 = 686 \text{ W}$$

$$\omega = \frac{U_d \cos \alpha}{K\phi} - \frac{I_a R_a}{K\phi}$$

$$U_{d0} = 230 \cdot K_b = 230 \cdot 2.025 \text{ V}$$

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha$$

n(rpm)	500	400	300	200	100	50	25
--------	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

α (grados)	53.5	72.6	90.7	109.4	131.4	146	156
M_C (Nm)	26	28.1	24.9	7.8	7.4	1.0	-2.6

Problema 3.

Para un accionamiento con motor de CD con rectificador totalmente controlado desde 230V, 1750rpm, 37.50kW. Las pérdidas del tanque se incrementan en un 25% cuando opera desde el rectificador. La corriente de excitación es mantenida constante desde una fuente de 230V.

Determine la corriente de armadura para el trabajo continuo del motor a 600rpm con el tanque al 25% de su momento nominal que es requerido por el mecanismo de carga mecánica. Se tienen como datos $R_a=0.0415\ \Omega$, $L_a=1.10\text{mH}$, $I_n=117\text{A}$, $P_n=3730\text{W}$

Bibliografías:

Trabajo de Diploma. Roberto Sierra: -Análisis del accionamiento de los transportadores de bandas en la planta de preparación de minerales de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Clase Práctica 2. Simulación por PC.

- Montar el diagrama de bloques en simulink del Sistema Rectificador Controlado Motor. SCRCMCD para problema dado.
- Poner los datos ofrecidos por el problema.
- Realizar la simulación del modelo en SIMULINK, con visualizadores para constatar las interrogantes del problema.

-Graficar las curvas.

- Entregar informe con:

-Enunciado del problema.

-Diagrama en bloques.

-Gráficos.

-Conclusiones.

-Bibliografía.

Ver Demos SRCM Manejo del PWM con las características de velocidad y mecánica del motor de CD.

Capítulo1: Estudios precedentes.

Capítulo2: Aspectos metodológicos.

Capítulo3: Informatización. MATLAB.

Temas:

1. Tipología de la asignatura.

Capítulo4: Software. MATLAB.

Clase práctica.

- psbdc drive.-chopper- fed DC Motor

Drive (Continuos).

- Three-phase rectifier.
- Thyristor converter

Δ Sinks → workspace

-Para los gráficos.

% Gráficos Wm.

Plot (wm(:,1), Wm(:,2)), grid

X label ('tiempo [s] ')

Y label ('velocidad angular [rad/s] ')

Conclusiones de la Clase Práctica

- Se verificó mediante el cálculo las características de regulación de los accionamientos con motor de corriente directa cuando es alimentado desde un rectificador a tiristores con diferentes configuraciones de los puentes rectificadores.
- Se consolidó la teoría de los convertidores rectificadores cuando alimentan a motores con cargas mecánicas variables.

Salidas curriculares

- **Computación:** Elaborar unos programas con códigos de MATLAB para construir los gráficos de comportamiento ejercitados durante el cálculo de la clase práctica.
- **Idioma inglés:** Escribir un resumen en ingles del procedimiento desarrollado en la clase práctica para la construcción de las características de regulación de los accionamientos con motores y alimentados desde rectificadores controlados a tiristores. Definir las palabras claves empleadas en los objetos practicados.

Figura 2.26 Accionamiento de motor de cd con excitación independiente. Modelo en Matlab.

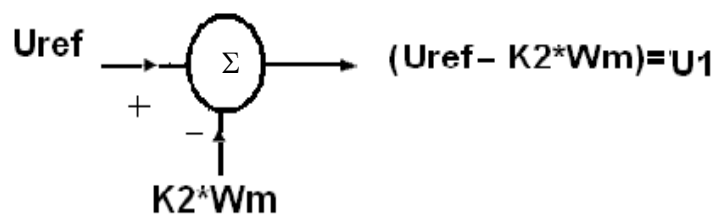


Figura 2.27 Sumatoria de tensiones en simulink

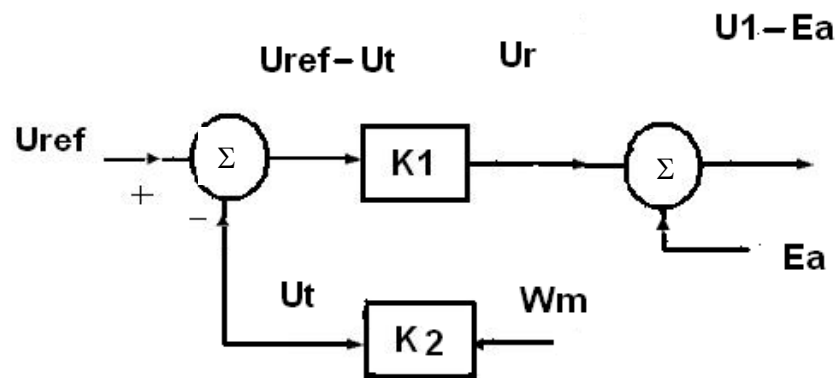


Figura 2.28 Esquema en Matlab

Accionamiento Eléctrico.

2.2.7 Conferencia 4

Tema I: Accionamientos con motores de C.D.

- Métodos de frenados en accionamiento con motores de C.D. (Regenerativo, Dinámico, Contracorriente).
- Ejemplos.

Métodos de frenado:

- Frenado regenerativo con la recuperación de energía para la red.

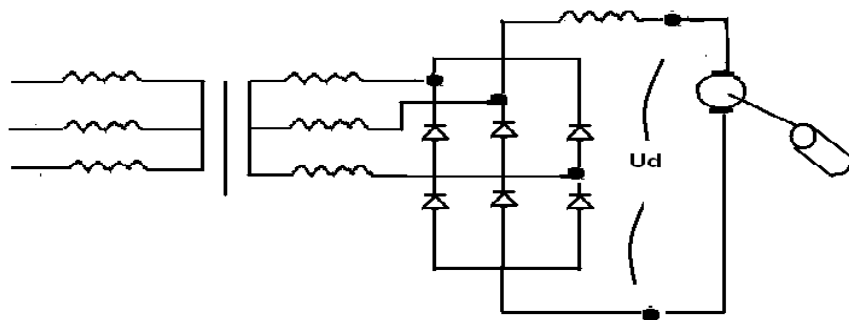


Figura 2.29 Esquema de frenado regenerativo.

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha$$

$$U_d0 = K_b \cdot U_2$$

$$K_b = \sqrt{6} \frac{q}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} \quad \text{Estado estacionario.}$$

$$w_m = \frac{U_d}{K\phi} - \frac{I_a \cdot R_a}{K\phi}$$

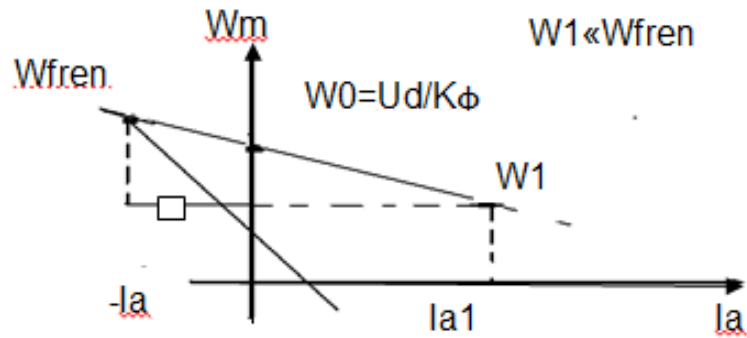


Figura 2.30 Relación de velocidad en función de la corriente de armadura

$$I_a = \frac{U_a - E_a}{R_a}$$

$$E_a \gg U_a \rightarrow I_a = -$$

$$M_{em} = M_{fre} = K \cdot \phi \cdot -I_a$$

$$M_{fre} = -K \cdot \phi \cdot I_a$$

Motor, al crecer $E_a \gg U_a$ generador, pero $-I_a =$ provoca momento de frenado.

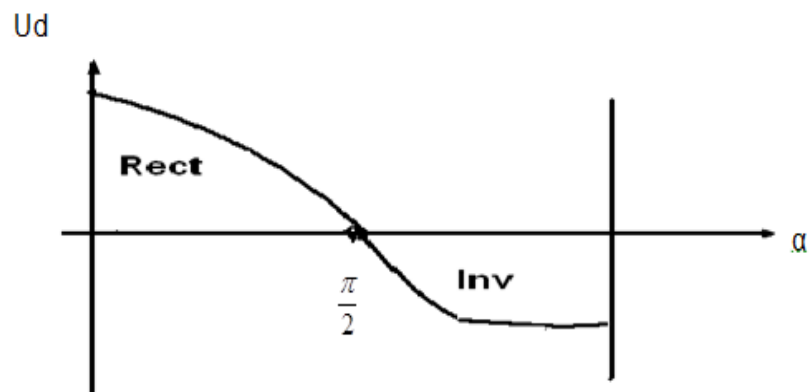


Figura 2.31 Cuadrantes de funcionamiento Motor (Rect), Generador (Inv)

- Frenado dinámico.

Manteniendo alimentado el circuito de excitación del motor, desconectan el circuito de la armadura y cerrarlo a través de una resistencia.

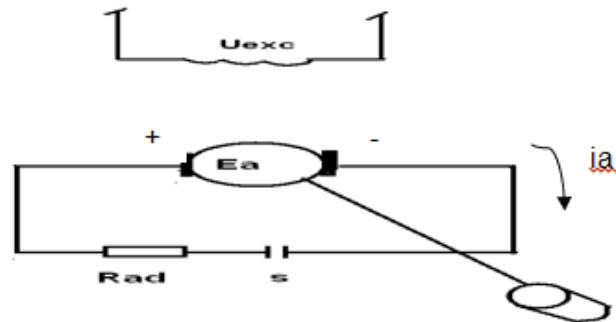


Figura 2.32 Accionamiento con excitación independiente.

$$U_a = E_a + I_a \cdot R_a$$

$$I_a = \frac{U_a - E_a}{R_a + R_{ad}}$$

$$\Sigma R = R_a + R_{ad}$$

$$I_a = (-E_a) / (R_a + R_{ad})$$

$$M_{fren} = -K\phi I_a$$

$$M_{em} - M_c = J \frac{dW}{dt} + B\omega$$

$$t = \frac{1}{J} \int M_{em} - M_c dt$$

$$t = \frac{1}{J} (M_{em} - M_c) - B\omega_m$$

• frenado muy brusco.

- Frenado por contracorriente.

$$U_a = E_a + I_a \cdot R_a$$

$$I_a = \frac{-U_a - E_a}{R_a}$$

$$I_a(-) \rightarrow M_{fren} = -R\phi I_a$$

$$p_{q1}(t) - p_{q2}(t) = \rho A \frac{dh}{ds}(t)$$

$$H(s) = \frac{1}{As} (Q_e(s) - Q_s(s))$$

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{-Kp}{As(ps + 1)}$$

$$H(s) = \frac{Kp \cdot B}{As^2(ps + 1)}$$

$$B = \frac{M(+)}{-U(+)}$$

Conclusiones de la conferencia

- Se conocieron los tipos de frenado eléctricos más utilizados en los accionamientos eléctricos, en especial industrialmente.
- Se establecieron las características mecánicas y los cuadrantes de trabajo de los accionamientos con motores de corriente directa en sus regímenes de frenado eléctrico.

Salidas curriculares

- **Computación:** Realizar la simulación del SRCM usando los modelos dados desde los toolbox del MATLAB en los tres casos de frenado eléctrico estudiado y crear las interfaces para montar los gráficos de comportamientos de los convertidores y del motor DC.

Idioma inglés: Escribir un resumen en inglés de los tres tipos de frenado eléctrico estudiados en base a su procedimiento electromagnético.

2.2.8 Laboratorio No.2

Tema II: Accionamiento con motor de inducción

Simulación de accionamiento con motor de inducción controlado desde Inversor Sinusoidal de Tensión en régimen continuo

Objetivo: Obtener el comportamiento de las variables de trabajo del motor de inducción y su característica mecánica cuando se alimenta desde un Inversor Sinusoidal de Tensión de frecuencia ajustable.

Desarrollo

Demostrar el uso del motor de inducción alimentado a través de un Inversor Sinusoidal de Tensión usando transistores efectos de campo, en un control de velocidad a lazo abierto de un motor de 2.3 kW, 220 V con empleo industrial.

Descripción del circuito

Un motor trifásico de 2.3 kW, 220 V, 1725 rpm es alimentado por un VSI a PWM. La frecuencia base de la onda de referencia es de 60 Hz, mientras la frecuencia de la onda portadora es ajustada a 1980 Hz.

El VSI a PWM está construido con los bloques normales del Simulink. Las salidas del Inversor están controladas a través de bloques de una fuente de tensión controlada, la cual está aplicada en los terminales de los devanados del estator del motor. El motor de inducción es de rotor de jaula de ardilla (rotor cortocircuitado). La inductancia del rotor es dos veces el valor actual para simular el efecto del reactor situado entre el inversor y la máquina.

El momento de carga en el árbol del motor está ajustado para su valor nominal de 11.9 N.m.

El motor arranca desde la posición estática (velocidad cero). El setpoint del regulador está ajustado para 1.0 p.u. o 1725 rpm. Esta velocidad se alcanza al cabo de 0.9 segundos.

Demostración

Observe los parámetros de simulación. El paso máximo ha sido limitado a 10 microsegundos. Esto es lo requerido debido a lo relativamente alta frecuencia de conmutación del inversor: 1980 Hz.

Observe que las corrientes del estator I_s y el rotor I_r están con distorsión, aunque mejoradas por el reactor de alisamiento. El ruido introducido por el inversor VSI a PWM es

también observado en la forma de onda del momento electromagnético M_{em} . Así mismo, la inercia del motor previene estos ruidos desde la aparición de la onda de velocidad ω_m .

El valor de la componente fundamental de la tensión de línea que llega a los terminales del motor, es extraído con el bloque de Fourier, el cual puede ser encontrado en el grupo de mediciones en la librería extra de Simulink.

Finalmente, observe la salida del inversor sinusoidal de tensión VSI a PWM a través de los visualizadores (scopes) situados al efecto.

Modelo del accionamiento con motor de inducción

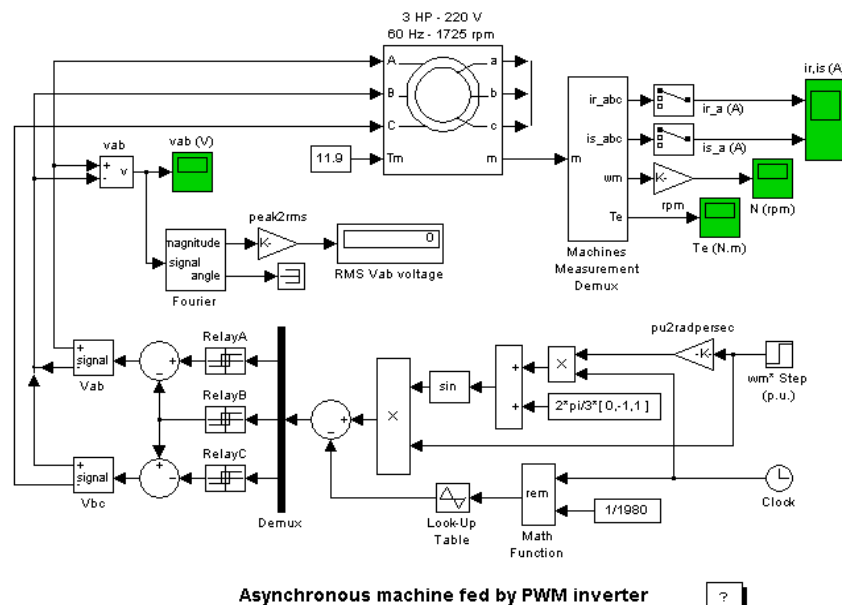


Figura 2.33 Esquema en Matlab de máquina asincrónica alimentada con PWM.

Informe

- Enunciado del problema.
- Esquema de simulación.
- Gráficos.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

Conclusiones del laboratorio

- Se consolidó el comportamiento de las características de los accionamientos con motor de inducción alimentados desde Inversores sinusoidales de tensión a PWM.
- Se verificó el proceso de arranque del motor de inducción desde un modelo del MATLAB, con Inversor sinusoidal de tensión a PWM
- Se consolidó la teoría de los inversores sinusoidales de tensión a PWM con cargas inductivas.

Salidas curriculares

- **Computación:** Realizar la simulación del Sistema Inversor Sinusoidal de Tensión a PWM en motores de inducción usando los modelos dados desde los toolbox del MATLAB y crear las interfaces para montar los gráficos de comportamientos de los convertidores y del motor de inducción.
- **Idioma inglés:** Escribir un resumen en ingles del procedimiento realizado en el laboratorio y definir las palabras claves empleadas en los objetos practicados.
- **PPD:** Describir un ejemplo de aplicación con circuito de mando en accionamientos de dispositivos de la defensa donde están presentes estos accionamientos con motores de inducción.

Accionamiento Eléctrico

2.2 9 Conferencia.5

Tema II: Accionamiento con motores de inducción.

5.1- Introducción.

5.2- Principios básicos del motor de inducción.

5.3- Característica mecánica del motor de inducción.

5.4- Clasificación de convertidores de frecuencia variable.

5.1 Introducción.

Tipos de motores:

- Jaula de ardilla.
- Rotor bobinado.

1. Accionamientos de velocidad ajustable.

2. Servo accionamientos de C.A.

Pe decrece significativamente como la velocidad decrece con la reducción del fluido durante el trabajo de la bomba centrífuga.

$$M_{em} = K_1 (W_m)^2$$

$$P = K_2 (W_m)^3$$

K1 y K2 -Constantes de proporcionalidad.

$$N_b = \frac{HQP}{102} \text{ (b.e.)}$$

5.2 Principios básicos del Motor de Inducción.

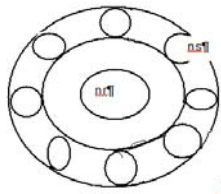


Figura 2.34 Esquema para explicar el principio de funcionamiento del rotor de motor de inducción.

n_s : estator

n_r : rotor

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100\%$$

$$W_m = \frac{2\pi n}{60} = 0.105 n_r$$

$$N_s = I_m I_m$$

$$\phi_{aire} = N_s \frac{d\phi_{aire}}{dt}$$

$$\phi_{aire} = N_s \omega \phi_{aire} \cos \omega t$$

$$E_{aire} = K_s \phi_{aire}$$

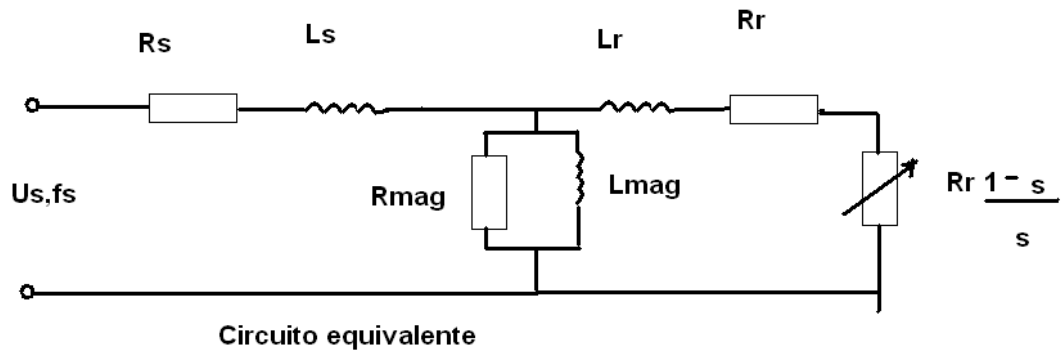


Figura 2.35 Circuito equivalente.

$$P_r = 3 \cdot I_r^2 \cdot R_r$$

$$P_{em} = P_{aire} - p_r$$

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_s}$$

$$\bar{I}_s = \bar{I}_{mag} + \bar{I}_r$$

$$U_s = E_{aire} + I_s (R_s + j2\pi f L_s)$$

$$T_{em} = K_4 \cdot \phi_{aire} \cdot I_r$$

$$I_s = \sqrt{I_m^2 + I_r^2} \quad \text{rms}$$

5.3 Característica mecánica del motor de inducción.

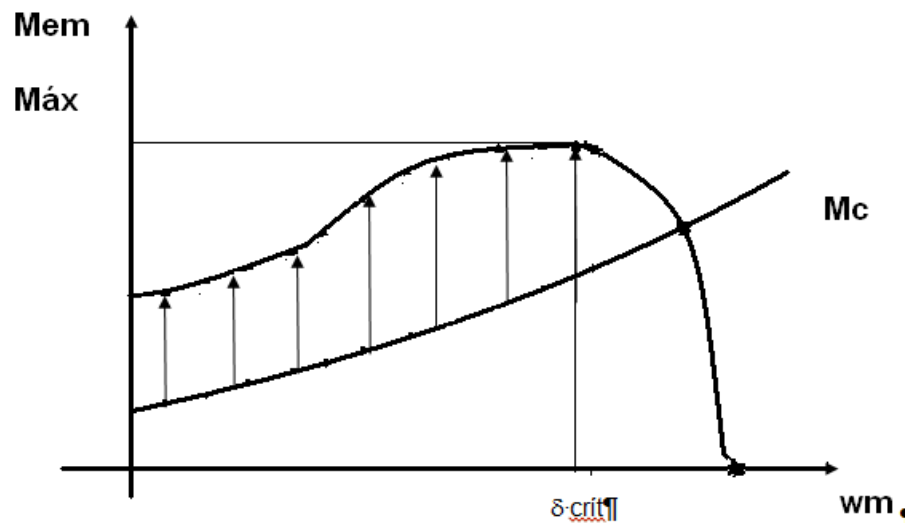


Figura 2.36 Comportamiento del momento electromagnético en función de la velocidad.

$\delta_{crít}$: ángulo crítico.

5.4 Clasificación de los convertidores de frecuencia.

Requerimientos:

- Ajustar la frecuencia de acuerdo a la velocidad de salida deseada.
- Ajustar la tensión de salida de tal forma que mantenga el flujo magnético constante en la región de torque constante.
- Suministrar corriente nominal a cualquier frecuencia a régimen continuo de operación.

Tipos de convertidores de frecuencia:

1. Inversor sinusoidal de voltaje con modulación de los pulsos VSI a PWM.
2. Fuente inversor de voltaje de ondas a PAM cuadradas con rectificador a tiristores.
3. Fuente inversora de corriente CSI con rectificador a tiristores.

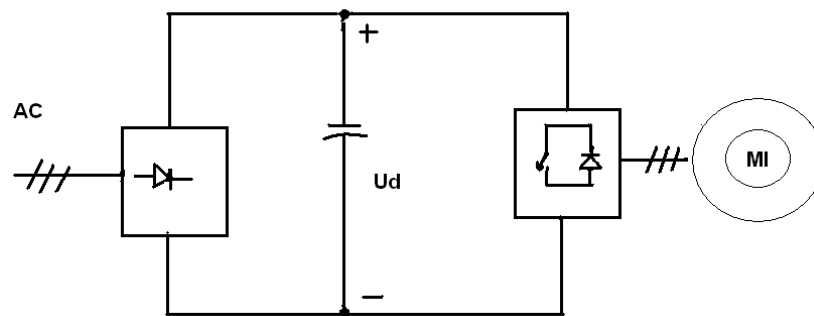


Figura 2.37 VSI a PWM con diodo rectificador.

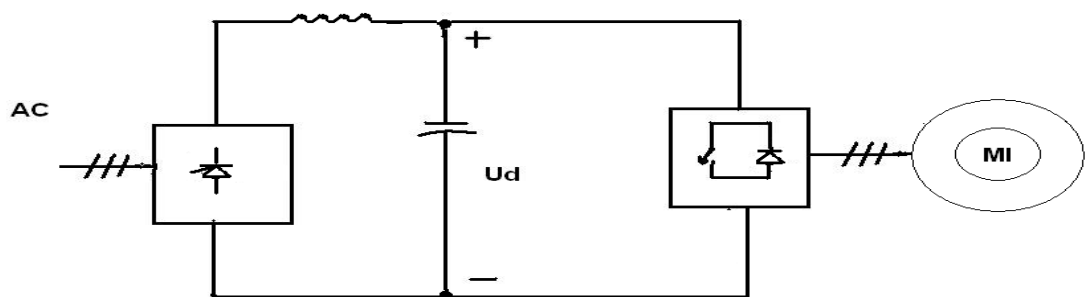


Figura 2.38 VSI a PAM onda cuadrada con rectificador controlado.

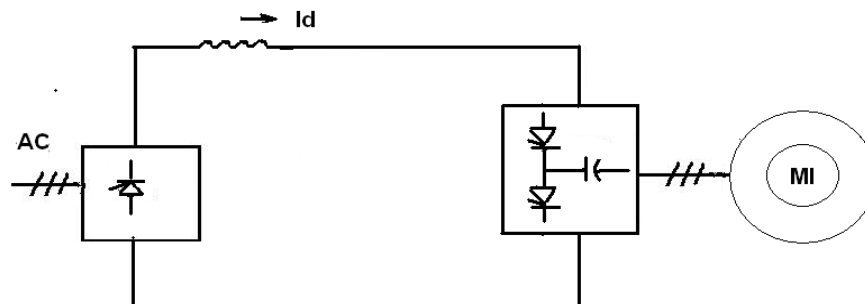


Figura 2.39 Esquema de un Inversor sinusoidal de corriente (siglas en inglés CSI CurrentSinusoidalInverter)

Accionamiento de motor de inducción con VSI a PWM.

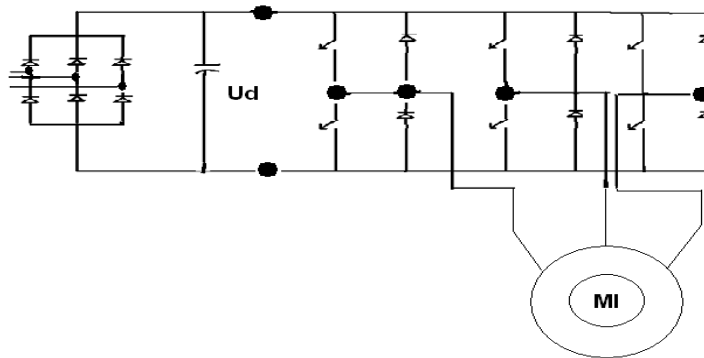


Figura 2.40. Circuito del inversor sinusoidal de tensión a PWM para motor de inducción.

Valores en rms de la tensión:

$$U_a = 0.4714 \quad U_d \text{ componente rms}$$

Por la serie de Fourier:

$$U_a = \frac{8}{3\pi} U_d [0.75 \sin \omega t + 0.15 \sin 5\omega t + 0.1071 \sin 7\omega t + \dots] \text{ V}$$

$$U_{a1} = \frac{8}{3\pi} U_d \cdot \frac{0.75}{\sqrt{2}} = 0.4502 U_d$$

La potencia de salida en el motor:

$$P_c = W_m \cdot M_c = 3 \frac{(1-s)}{s} R' l^2 r = P_{em}$$

Problema.

Un motor de inducción de 18.6kW (25 AP), de 460V, 60Hz, 3515 rpm, trifásico de jaula de ardilla, es sometido a un momento de carga bajo las siguientes condiciones:

- Su tensión nominal en línea es de 460V crash 234.
- La corriente de línea no excede de 35A.
- La razón $\frac{E_a}{W_s}$ es sometida a condiciones nominales.
- El límite más bajo de velocidad es de 500rpm cuando opera a carga nominal.

Grafique las curvas de U_{a1} , W_s y S en función de la velocidad n (rpm) para su régimen de motor. Despreciar la función y el efecto de las corrientes de los armónicos.

Conclusiones

- Se verificó la metodología de cálculo y construcción de las características de operación de los accionamientos con motores de inducción alimentados con Inversores de Tensión a PWM.
- Se determinó analíticamente los parámetros de los accionamientos con motores de inducción con cambio de frecuencia.

Salidas curriculares

- **Computación:** Realizar la simulación del Sistema Inversor Sinusoidal de Tensión a PWM en motores de inducción usando los modelos dados desde los toolbox del MATLAB e implementar las interfaces para montar los gráficos de comportamientos de los convertidores y del motor de inducción.
- **Idioma inglés:** Escribir un resumen en inglés de los aspectos fundamentales explicados en clase y definir las palabras claves empleadas en los accionamientos con motores de inducción.
- **PPD:** Describir un ejemplo de aplicación con circuito de mando en accionamientos con inversor sinusoidal de tensión en dispositivos de la defensa donde están presentes estos accionamientos con motores de inducción.

Accionamiento Eléctrico I.

2.2.10 Clase Práctica 3.

Tema II: Accionamientos con motor de inducción.

Título: Características de velocidad y mecánica del accionamiento del motor de inducción.

Objetivo: Construir las curvas de comportamiento del motor de inducción con una carga mecánica variable en su árbol.

Problemas:

- a. Un accionamiento con motor de jaula de ardila trifásico de 60Hz, 7.46kW, 230V, $p=2$ valor en rms de la tensión de línea, a plena carga rota a 1746rpm. Asumir que la característica mecánica es lineal en el rango de 0- 150% del torque nominal. El accionamiento es de Inversor Sinusoidal de frecuencia ajustable de tal forma que el flujo magnético es constante en el entrehierro.
- i. Plantear la característica mecánica del accionamiento para las frecuencias 15, 25, 30,45 y 60Hz.
- ii. Calcular y graficar la velocidad angular, el deslizamiento en función de la carga tipo cuadrática con valores del torque de 25, 50, 75 y 100% de la nominal.

Solución:

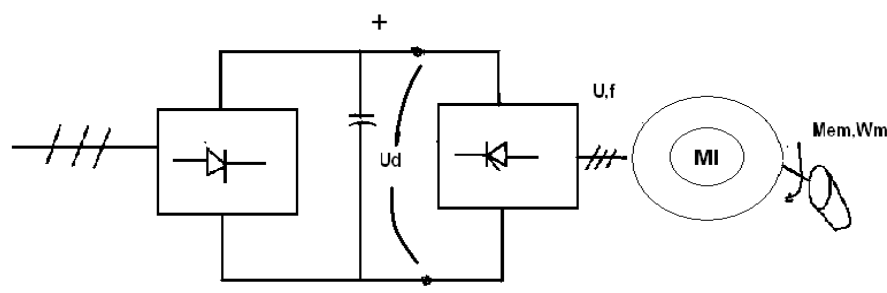


Figura 2.41. Esquema de accionamiento de motor de inducción trifásico alimentado por un inversor sinusoidal de tensión a PWM.

$$U_s = 0.4714 \cdot U_d$$

$$U_d = \frac{U_s}{0.4714} = U_d = 2.1213 \cdot U_s$$

$$w_m = (1 - s)w_s = K_{1s} \delta$$

$$w_s = \frac{2\pi n_s}{60} = 0.105 \text{ ns} = 0.105 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$p = 2$$

$$n_s = \frac{60 \cdot 60}{2} = \frac{3600}{2} = 1800 \text{ rpm}$$

$$\omega_s = 0.105 \cdot 1800 = 189 \text{ rad/s}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100\% = \frac{1800 - 1746}{1746} = 0.030 = 3\%$$

f15 25 30 45 60

s 0.030

Mem

$$\omega_m = 183$$

$$M_{\max} = \frac{f_{\text{nom}}}{f} \cdot M_{\text{nom}}$$

$$P_{\text{nom}} = M_{\text{nom}} \cdot \omega_{\text{nom}}$$

$$\omega = 0.105 \cdot n_{\text{nom}} = 0.105 \cdot 1746$$

$$\omega_{\text{nom}} = 183 \text{ rad/s}$$

$$\omega_s = 189 \text{ rad/s}$$

$$M_{\text{em}} = 3r$$

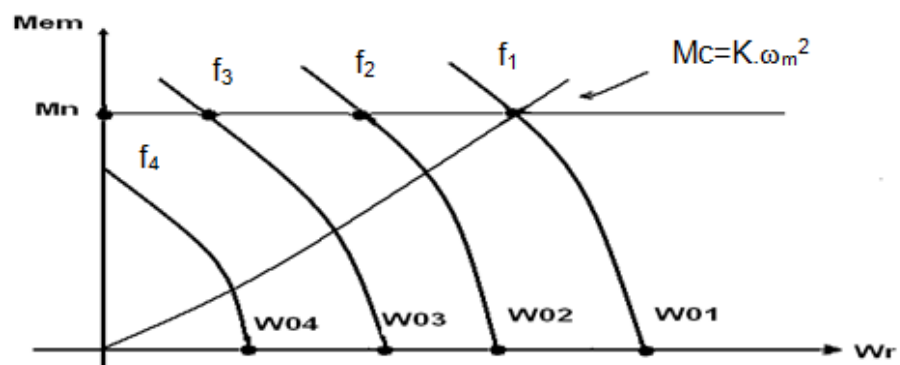


Figura 2. 42 Relación de momento en función de la velocidad angular.

$$K = \frac{1}{p} \cdot \frac{w_s}{w_b - w_m}$$

$$K = 1 - \frac{w_m}{w_b}$$

$$w_b = \frac{w_s}{p}$$

$$\text{Mem} = \frac{P_{ag}}{w_s} \quad \text{Mem} = \frac{P_{em}}{w_r}$$

$$P_{em} = P_{ag} - P_r = 3 \cdot R' r \frac{(1-s)}{s} I_r^2$$

$$\text{Mem} = K_4 \phi I_r \sin \delta$$

$$\delta = 90^\circ + \theta_r \quad P_r = 3 I_r^2 R_r$$

$$\theta_r = \tan^{-1} \frac{\frac{2\pi f l r}{R_r}}{\frac{s}{s}} = \tan^{-1} \frac{w_r L_r}{\frac{R_r}{s}}$$

Otra solución:

$$\text{a } 60\text{Hz: } n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = 1800\text{rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = 0.030 = 3\%$$

$$f_r = s \cdot f = 0.030 \cdot 60 = 1.8 \text{ Hz}$$

b) A 30Hz, manteniendo $\frac{U_s}{f}$ = constante

$M_{em} = \frac{1}{4} M_n$ porque es para carga de bomba centrífuga

$$M = K_1 \quad P_{em} = M_{em} \cdot \omega_r$$

$$P = K_2 \cdot \omega_m^3$$

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_r} = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$$

$$\frac{M_{em}}{M_n} = \frac{f_n}{f}$$

$$f \quad 60 \quad 45 \quad 30 \quad 25 \quad 15$$

$$K \quad 0.0315$$

$$\omega_n \quad 183$$

$$\omega_b \quad 94.5 \quad 94.5 \quad 94.5 \quad 94.5 \quad 94.5$$

$$\omega_0 \quad 10.75 \quad 0.5 \quad 0.42 \quad 0.25$$

$$\omega_s \quad 1800 \quad 1350 \quad 1050 \quad 750 \quad 450$$

$$K = 1 - \frac{\omega_n}{\omega_b} = 1 - \frac{183}{94.5} = 1 - 1.936 = -0.936$$

$$\omega_b = \frac{\omega_s}{p} = \frac{189}{2} = 94.5 \text{ rad/s}$$

$$K = \frac{1}{p} \cdot \frac{\omega_s}{\omega_b} - \frac{\omega_n}{\omega_b} = \frac{1}{2} \cdot \frac{189}{94.5} - \frac{183}{94.5} = -0.94$$

$$K = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{\omega_b} (\omega_s - \omega_n)$$

$$K = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{94.5} (189 - 183)$$

$$K = 0.5 \cdot 0.0105 (6) = 0.0315$$

$$\frac{Mc}{Mn} \cdot K = \frac{2ws}{pwb} - \frac{wm}{wb}$$

(b) Para carga $Mc = K1Wm^2$ de bomba centrífuga.

$$Mem = \frac{1}{4} Mn$$

Problema2. Pág237. Dewan Slemon.

Un motor trifásico de jaula de ardilla de 460V, 60Hz, 37.3kW, 1180rpm, acciona una carga que demanda un momento constante de 275N.m en un rango de velocidad entre $150 \leq n \leq 1150$ rpm. Los parámetros del circuito equivalente del motor a 60Hz son:

$$Rs = 0.191\Omega$$

$$Rr = 0.0707\Omega$$

$$WsLs = 0.753\Omega$$

$$WsLr = 0.377\Omega$$

$$WsLm = 16.9\Omega$$

El motor está alimentado desde un Inversor trifásico sinusoidal controlado.

c) Plotear las curvas de U_d , I_e , I_a , S , $\cos\phi$ y η en función de la velocidad n .

Solución:

$$Wb = 1200 \frac{\pi}{60} = 40\pi \text{ rad/s} = 125.6 \text{ rad/s}$$

$$K = 1 - \frac{1180}{1200} = 1 - \frac{wn}{wb} \quad wn = 0.105 \cdot 1180 = 123.9$$

$$M_n = \frac{37.300}{\omega n} = \frac{3700}{123.9} = 301.05 \text{ N} \cdot \text{m} \quad P = MW$$

$$S = \frac{W_s W_n}{W_s} = 0.027$$

$$P_{mec} = 3^2$$

$$I_r = 49.74 \text{ A}$$

$$Z_r = \frac{R_r}{s} + j\omega_s L_r = 2.593 + j0.2099$$

$$|Z_r| = 2.601 = \sqrt{(R_r)^2 + (\omega L_r)^2}$$

$$E_{a1} = |Z_r| I_r = |Z_r| I_r$$

$$E_{a1} = 2.601 \cdot 49.74 = 129.4 \text{ V}$$

$$U_d = \frac{U_s}{0.452} = \frac{147.6}{0.4502} = 327.9 \text{ V}$$

$$U_s = E_a + jI_s Z_s$$

$$U_s = 129.4 + j \cdot 0.753 \cdot \frac{209.9}{120 \cdot \pi} = 0.191 + j \cdot 0.4193 = 0.4607 \angle 65.50^\circ$$

$$P_e = 275 \cdot 68.07 + 3(0.191(52.66)^2 + (7.017)^2) + (49.74)^2 + (6.854)^2 = 20870 \text{ W}$$

$$P_e = \Delta P_{cu} + \Delta P_{ac} + \Delta P_{ad} + \Delta P_{mc}$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} = \frac{275 \cdot 68.07}{20870} = 0.897$$

$$I_d = \frac{p_e}{U_d} = \frac{20879}{327.9} = 63.6 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_e}{3 \cdot U_a \cdot I_a} = \frac{20870}{3 \cdot 184.6 \cdot 53.12} = 0.847$$

$$P_e = 3 \cdot U_a \cdot I_a \cdot \cos \varphi$$

Conclusiones de la clase práctica

1. El material digitalizado permite la actualización periódica del contenido de la asignatura Accionamiento Eléctrico.
2. En las actuales condiciones de digitalización de los materiales es posible reelaborar en diferentes formatos para el desarrollo de la enseñanza a distancia.

Salidas curriculares

- **Computación:** Escribir un programa en MATLAB como interface que permita graficar las características mecánicas del accionamiento con motor de inducción alimentado con inversor sinusoidal de tensión a PWM.
- **Idioma inglés:** Escribir un resumen en ingles sobre los aspectos esenciales del procedimiento realizado en la clase práctica y definir las palabras claves empleadas sobre motor de inducción e inversor sinusoidal de tensión a PWM. Describir las siglas en inglés.

2.3 Conclusiones del capítulo.

1. El material digitalizado permite la actualización periódica del contenido de la asignatura Accionamiento Eléctrico.
2. En las actuales condiciones de digitalización de los materiales es posible reelaborar en diferentes formatos para el desarrollo de la enseñanza a distancia.

Capítulo 3. Implementación en Moodle de la guía de estudio.

Introducción.

En el presente capítulo se muestra la implementación de las actividades de la asignatura en el Moodle.

3.1 Inserción de guía de estudio en Moodle.

Inicialmente se procede a cargar la página principal del Moodle con la dirección:

<http://moodle.ismm.edu.cu> en la que se visualiza lo que se muestra en la figura 3.1.

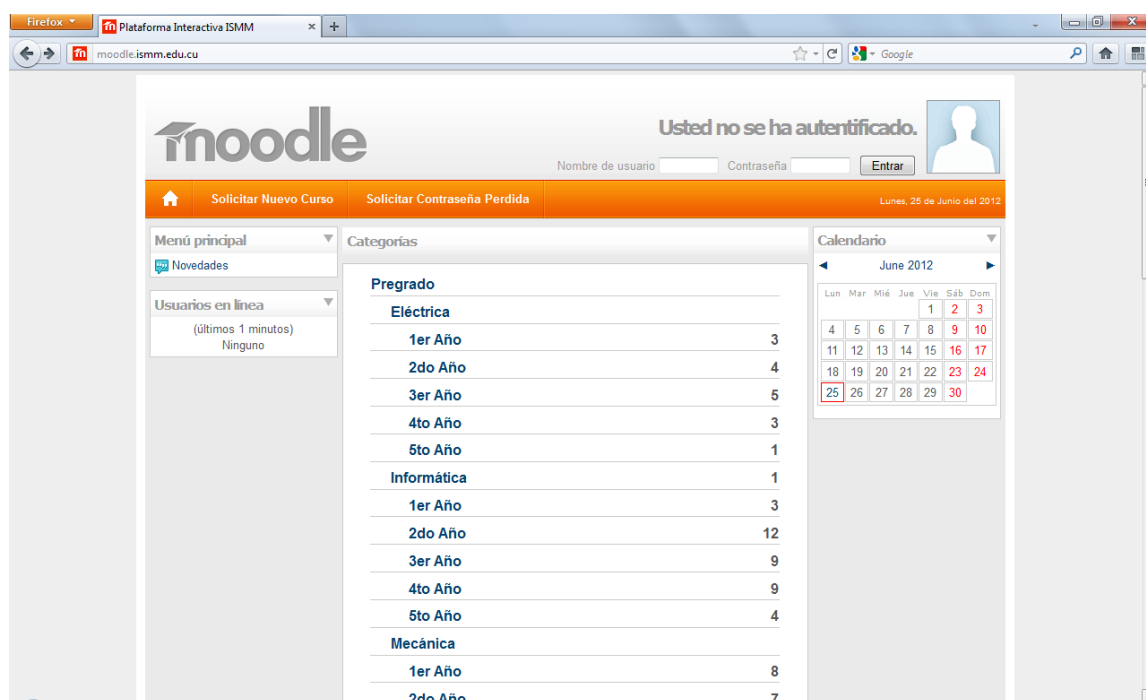


Figura 3.1 Ventana principal del Moodle.

Los usuarios al seleccionar Pregrado/Eléctrica/4to Año, tienen la posibilidad de ingresar a las asignaturas publicadas para ese grado académico. En la figura 3.2 se muestran las asignaturas publicadas hasta el momento.

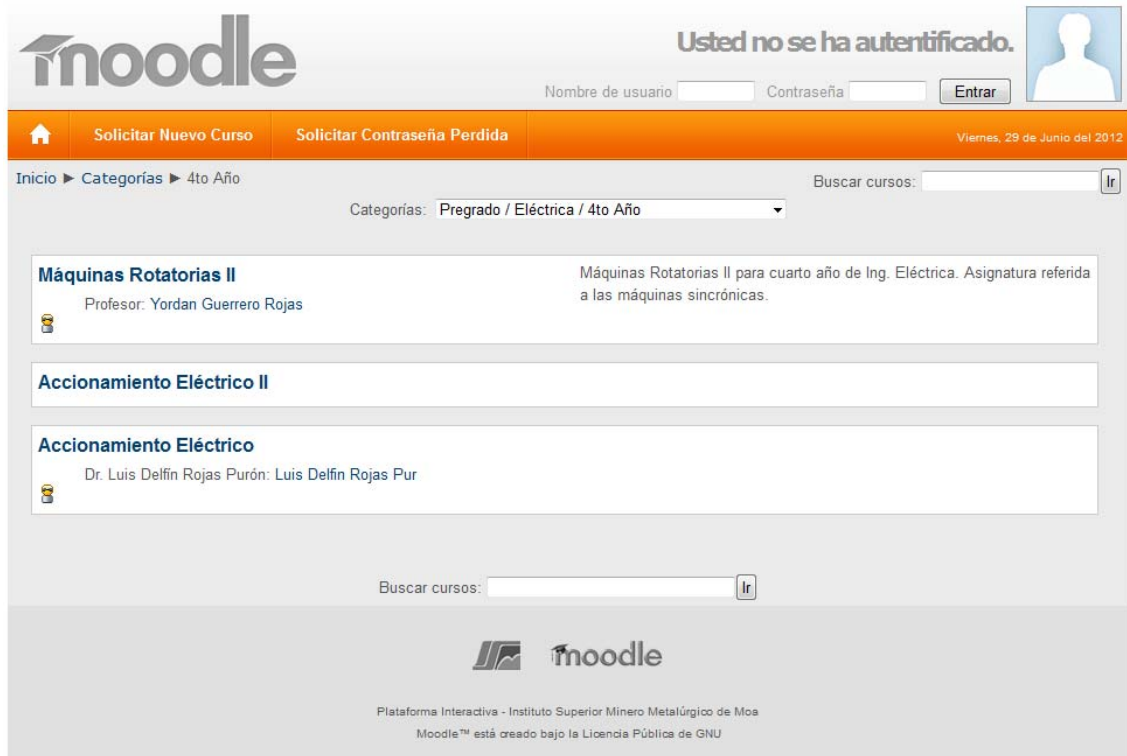


Figura 3.2 Asignaturas publicadas.

Al acceder a la asignatura Accionamiento Eléctrico se solicita la entrada de los datos de acceso o entrar como invitado. Los usuarios interesados en descargar materiales de la asignatura deben entrar como invitados como se muestra en la figura 3.3. Una vez accedido Figura 3.4, es posible navegar por los 5 temas de la asignatura y para descargar los materiales deseados se accede a la pestaña deseada en cada caso: Conferencias, Clases Prácticas, Laboratorios. En los temas I y II están los materiales introducidos en este trabajo.

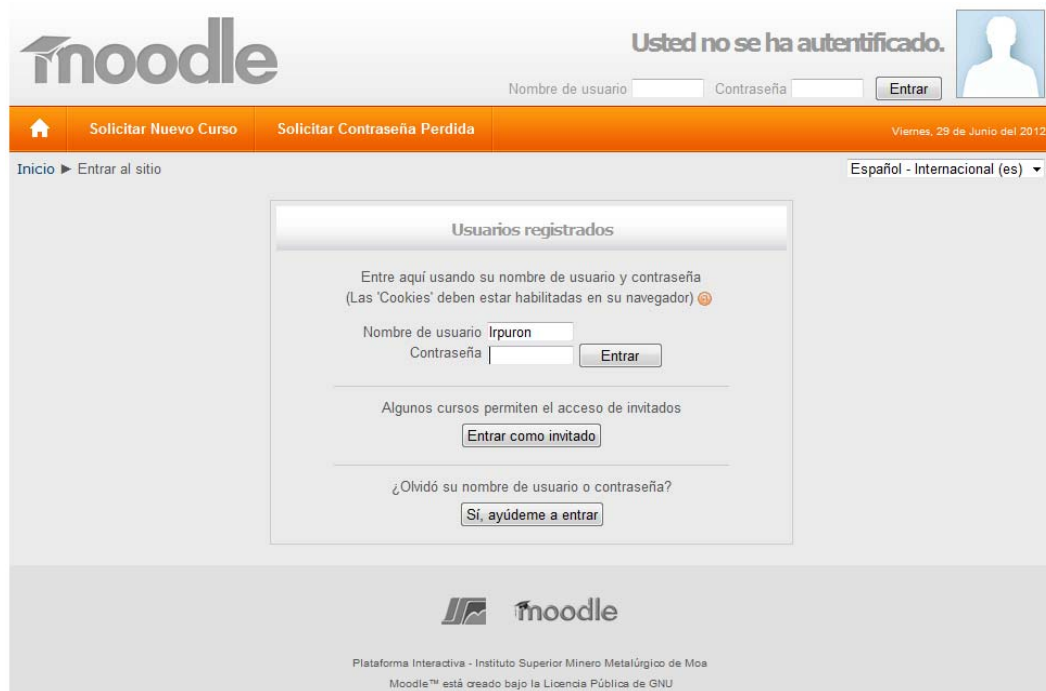


Figura 3.3 Ventana de acceso a la asignatura.

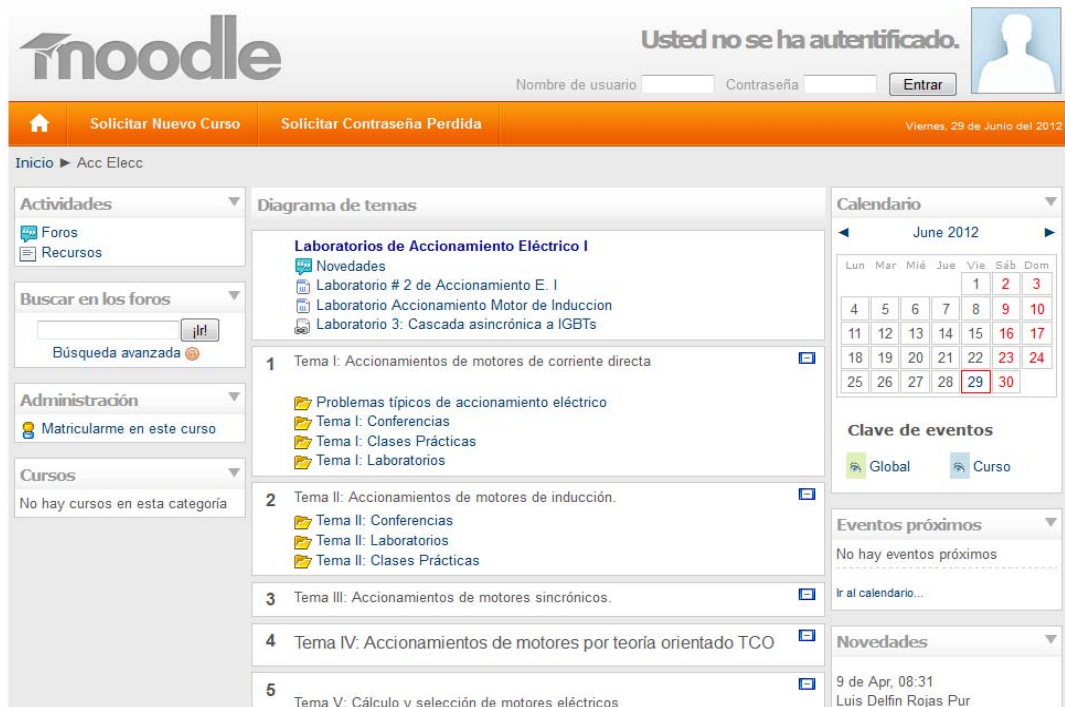


Figura 3.4 Ventana principal de la asignatura Accionamiento Eléctrico.

Si se accede al Tema I: Conferencias, es posible descargar las conferencias correspondientes a este tema, figura 3.5.



The screenshot shows the Moodle user interface. At the top, the Moodle logo is on the left, and a message 'Usted no se ha autenticado.' (You have not authenticated) is on the right, next to a user profile icon. Below the header is an orange navigation bar with links: 'Inicio' (Home), 'Solicitar Nuevo Curso' (Request New Course), and 'Solicitar Contraseña Perdida' (Request Lost Password). The date 'Viernes, 29 de Junio del 2012' is displayed on the right. Below the navigation bar is a breadcrumb trail: 'Inicio ► Acc Elecc ► Recursos ► Tema I: Conferencias'. The main content area displays a table of resources:

	Nombre	Tamaño	Modificado
	Conferencia_1.doc	426Kb	27 de June de 2012, 09:17
Archivo	Conferencia_2.docx	427Kb	27 de June de 2012, 09:28
Archivo	Conferencia_3.docx	324.4Kb	29 de June de 2012, 15:08
Archivo	Conferencia_4.docx	332.7Kb	29 de June de 2012, 15:08

Figura 3.5 Conferencias del Tema I.

De igual forma se aprecian los contenidos de las clases prácticas y laboratorios tanto del Tema I como del Tema II. Figuras 3.6.



The screenshot shows the Moodle user interface. At the top, the Moodle logo is on the left, and the text 'No' is partially visible on the right. Below the header is an orange navigation bar with links: 'Inicio' (Home), 'Solicitar Nuevo Curso' (Request New Course), and 'Solicitar Contraseña Perdida' (Request Lost Password). Below the navigation bar is a breadcrumb trail: 'Inicio ► Acc Elecc ► Recursos ► Tema I: Clases Prácticas'. The main content area displays a table of resources:

	Nombre	Tamaño	Modificado
Archivo	Clase_Practica_1.docx	199.3Kb	27 de June de 2012, 10:10
Archivo	Clase_Practica_2.docx	23.7Kb	27 de June de 2012, 10:10
Archivo	Clase_Practica_3.docx	288.9Kb	29 de June de 2012, 15:25

Figura 3.6 Clases Prácticas del Tema I.

3.2 Valoración social.

Disponer de materiales didácticos y bibliografía concerniente a la asignatura Accionamiento Eléctrico al alcance de los estudiantes o profesores, es de gran importancia para el desarrollo profesional en esta área del conocimiento de la carrera Ingeniería Eléctrica. Y si este conocimiento es accesible por medio de una plataforma interactiva como es el Moodle, su impacto es aún mayor. Con la realización de este trabajo y su publicación en el sitio mencionado se crea un precedente para la materialización del curso a distancia en la asignatura.

3.3 Conclusión del capítulo.

1. La plataforma Moodle propicia el trabajo interactivo entre el profesor y el estudiante, aspecto desarrollado con ejemplo en este capítulo.

Conclusiones Generales

Con la inserción en Moodle de los materiales realizados se puede garantizar un mayor incremento del trabajo independiente de los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica.

La elaboración del cronograma de las actividades académicas permite potenciar el proceso de enseñanza aprendizaje para su desarrollo eficiente.

El material digitalizado permite la actualización periódica del contenido de la asignatura Accionamiento Eléctrico y es posible reelaborarlo en diferentes formatos para el desarrollo de la enseñanza a distancia.

Se elaboraron los fundamentos de contenido y aspectos didácticos de la guía de estudio para la enseñanza eficiente de la asignatura de Accionamiento Eléctrico.

Recomendaciones

- Que este trabajo sea utilizado en la carrera como guía para la implementación de las asignaturas en el Moodle.
- Continuar el perfeccionamiento de la asignatura.
- Continuar incrementando el uso de la computación mediante los diferentes softwares aplicables a la asignatura.

Bibliografía

1. ALMAGUER ROSALES, D. Estimador neuronal para el diagnóstico de fallas en accionamientos con motores de inducción. Trabajo de Diploma. ISMM, 2010.
 2. COSTA MONTIEL, ANGEL. Síntesis de los sistemas de control de control de movimiento en los accionamientos eléctricos. CIPEL, 2005.
 3. MARTÍNEZ CAUTÍN, O. Estudio de la eficiencia de accionamiento de bombas de hidrotransporte de suspensiones no Newtonianas Trabajo de Diploma. ISMM, 2004.
-
4. MES, 2007, Orientaciones para la elaboración de guías de estudio, MES, febrero 2007, Ciudad de la Habana, Cuba, Soporte Digital, 27p.
 5. MOHAND N, UNDERLAN. Power Electronic, Converters, Applications and design tomo1. Segunda edición. [S.L][s.n]. 2003.
 6. MORERA HERNÁNDEZ, MARIO. Accionamiento Eléctrico Automatizado II. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1994. T,I y T, II.
 7. SIMATIC, Sistema de Automatización S7-400 “Manual de Referencia”, Abril de 2004.
-
8. SIEMENS, “SIMATIC HMI WinCC documentación estándar”, Abril de 2003.
-
9. SIERRA, ROBERTO. Análisis del accionamiento de los transportadores de bandas en la planta de preparación de minerales de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. 2009.
-

10. SLEMON. B, DEWAN; et al. Power Semiconductor Drives. Edición Revolucionaria.
 11. Sistemas de automatización S7-400. Manual de instalación. SIMATIC. Siemens. 2006.
-
12. ROJAS PURÓN, L. Accionamiento Eléctrico Asíncrono para el Transporte Eficiente de Pulpa Laterita. Trabajo de Diploma. ISMM, 2003.
-

Páginas Web

1. <http://www.biblioteca.iapg.org.ar/iapg/ArchivosAdjuntos/JornadasPreservacionVI/049>.
2. <http://www.Cujae.edu.cu/clca/trabajo/auto46.pdf>
3. <http://www.cotrol.autm.com>
4. http://www.es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad
5. [http:// www.powerelectronics.es](http://www.powerelectronics.es)
6. <http://www.power-electronics.com>