

PROGRAMA: AÑO 2018

CARRERA: Ingeniería Eléctrica

ASIGNATURA: Accionamientos Eléctricos

ORIENTACION: Ingeniería Industrial, Instrumentación y Control.

Contenidos

La materia comprende el estudio de los accionamientos eléctricos, aplicando diferentes tipos de máquinas eléctricas convencionales y especiales, e incluyendo su control, maniobra y protección. Su desarrollo se efectúa mediante clases teóricas, complementadas con trabajos prácticos en los que se estudian algunos casos típicos de aplicación de motores eléctricos.

Objetivo

Que el alumno adquiera los conocimientos y criterios técnicos necesarios para analizar e interpretar los accionamientos eléctricos, y poder seleccionar el sistema más apropiado para diferentes aplicaciones prácticas, comprendiendo los propios motores eléctricos, y los sistemas y dispositivos de mando y control. Los tópicos a desarrollar comprenden:

Criterios de selección de motores para diferentes tipos de carga y regímenes de funcionamiento.

Sistemas de arranque y frenado

Sistemas de variación de velocidad

Dispositivos electromagnéticos especiales

Elementos de maniobra y protección.

Las perturbaciones generadas por los accionamientos y sus efectos, y los efectos de las perturbaciones sobre los motores.

Descripción analítica de las actividades teóricas y prácticas

Los diferentes temas del programa se desarrollarán primeramente en forma teórica, para así fundamentar las aplicaciones a través de los trabajos prácticos o problemas. Los alumnos, en posesión de los datos principales de los problemas a desarrollar, deberán efectuar los cálculos respectivos, debiendo adoptar los datos faltantes necesarios para resolver lo propuesto, fundamentando los mismos.

Unidad N° 1: Generalidades de los accionamientos eléctricos

Accionamientos eléctricos. Concepto de mando y control. Elementos constituyentes.

Normalización de motores: formas constructivas, tamaños, tipificación de ventilación, grados de protección de envolventes. Construcción para ambientes explosivos. Normas IRAM 2008-1, 2223, 2244, 2444, 2192, IEC 60034, 60079, 60579. Influencia de la temperatura ambiente y la altitud. Tipos de servicio.

Comportamiento térmico, clases de aislación, sobretemperaturas admisibles, régimen estacionario y transitorio, redes térmicas. Aplicación al calentamiento de transformadores y motores. Elección de motores S1 para otros servicios.

Unidad N° 2: Análisis de transitorios electromecánicos.

Características mecánicas externas de los motores y de los equipos impulsados. Valores reales y unitarios. Condiciones de estabilidad.

Ecuación dinámica. Transitorios electromecánicos, cálculo de tiempos de arranque o de cambios en la velocidad. Caso general. Método analítico y numérico.

Casos especiales con resolución analítica. Constante de tiempo electromecánica. Análisis transitorio de la velocidad ante variación de carga en máquinas de CA y CC en torno al punto de trabajo.

Reducción de cuplas y momentos de inercia a punta de eje de motor.

Unidad N° 3: Efectos del arranque en el motor y en la red.

Energía de pérdidas durante el arranque, frenado e inversión de sentido de giro, en motores asincrónicos y de CC. Efectos sobre el motor. Métodos para su reducción. Evaluación en casos especiales: arranque de MA con variación de polaridad, con variador tensión-frecuencia, o de MCC con control de tensión de inducido (Ward Leonard electrónico). Perturbaciones en las redes debido al arranque de motores, huecos de tensión y parpadeo.

Unidad N° 4: Motores Asincrónicos

Características como motor, generador y freno. Características externas típicas con rotores normales y especiales.

Métodos de arranque clásicos. Arranque mediante arrancador suave y mediante variador de velocidad. Criterios de selección.

Métodos de frenado clásicos.

Variación de velocidad por cambio de polaridad. Arrollamientos especiales.

Regulación de velocidad con cascadas Scherbius y Cramer.

Regulación de velocidad por variación tensión - frecuencia. Características externas del motor con control tensión-frecuencia. Límites de utilización del motor. Tipos de convertidores y rango de aplicación. Métodos de modulación de ancho de pulso. Efectos sobre el motor: incremento de pérdidas, vibraciones, ruidos. Control escalar:

arquitectura de control. Control vectorial: teoría básica, modelo de MA en ejes d-q, arquitectura de control. Frenado con variadores de velocidad.

Reconexión de un motor asincrónico.

Unidad N° 5: Máquinas de corriente continua.

Características como motor, generador y freno. Motores derivación, serie y compound. Métodos de arranque y frenado.

Regulación de velocidad por métodos clásicos: variación de las características mecánicas, de motores excitación serie e independiente, límites de utilización.

Regulación de velocidad por medios electrónicos: tipos de alimentación controlada y esquema de control. Análisis de la potencia reactiva según tipo de puente empleado. Problemas de conmutación, pérdidas y tiempo de respuesta de la máquina. Requisitos constructivos particulares para el control.

Unidad N° 6: Motores sincrónicos

Campo de utilización. Análisis de factibilidad de empleo comparativo con los motores asíncrónicos. Control del factor de potencia. Normas NEMA. Métodos de arranque y frenado.

Comportamiento ante cargas periódicas. Modelo dinámico simplificado.

Problemas ante huecos de tensión de alimentación. Sobrecorrientes y cuplas transitorias. Estabilidad y estrategias de su mejora.

Métodos de variación de velocidad. Sistemas de alimentación electrónicos aplicables.

Unidad N° 7: Estudio de aplicaciones especiales

Accionamientos de tracción horizontal (tracción ferroviaria). Tracción vertical: grúas y ascensores. Accionamiento de compresores alternativos con motor asíncrono y síncrono, problemas de parpadeo. Trenes laminadores, accionamiento de tren desvastador. Accionamiento de bombas centrífugas.

Nota: en algunos casos estos temas se desarrollarán como trabajos prácticos.

Unidad N° 8: Motores y aparatos especiales

Acoplamiento electromagnético. Freno electromagnético. Eje eléctrico.

Aspectos funcionales y constructivos básicos, sistemas de alimentación y control de: Motores de corriente continua sin escobillas o sincrónicos de imanes permanentes, y de Motores paso a paso de imanes permanentes, de reluctancia e híbridos.

Unidad N° 9: Dispositivos de mando

Selección de contactores y relés de CC y CA. Guardamotores, pulsadores, fines de carrera. Reóstatos. Solenoides. Frenos electromecánicos.

Unidad N° 10: Protección de motores

Protección contra sobrecargas, rotor bloqueado y cortocircuito. Curvas límite del motor. Aparatos o dispositivos aplicables: Interruptores y relés, fusibles, protección térmica. Imagen térmica. Detección de falta de fase o asimetrías inadmisibles. Defectos en cojinetes. Detección de fallas a tierra y entre espiras. Protecciones electrónicas integrales.

Unidad N° 11: Calidad de producto eléctrico. Relación con los accionamientos.

Definición de los distintos tipos de perturbaciones. Normas Internacionales y Nacionales de regulación de las perturbaciones. Niveles admisibles en el servicio eléctrico. Monitoreo de las perturbaciones emitidas y de la calidad de la tensión.

Causas que producen las perturbaciones. Principales perturbaciones producidas por los accionamientos eléctricos: armónicos, parpadeo (flicker), huecos de tensión. Efectos de las perturbaciones sobre el resto de la instalación y los sistemas de distribución.

Soluciones posibles para la reducción de las perturbaciones.

Efectos de perturbaciones sobre los motores: efectos de armónicos producidos por los sistemas de alimentación electrónicos a los motores. Efectos de los huecos de tensión de alimentación e interrupciones breves y reconexión sobre MA y MS con conexión directa, y sobre variadores de velocidad. Cuplas y sobrecorrientes transitorias.

Nota: algunos de estos temas se podrán exponer durante el desarrollo de otras unidades, y en ésta se repasarán en un tratamiento integral de la temática.

Unidad N° 12: Elementos de construcciones electromecánicas relacionados con los accionamientos

Transformadores: Principios de dimensionamiento. Similitud. Características, rendimiento y parámetros típicos, exigencia térmica y sistemas de refrigeración aplicables según rangos de potencia, constante de tiempo térmica. Esfuerzos dinámicos. Máquinas rotativas: Fundamentos de dimensionamiento y similitud. Dependencia de las características con los parámetros de diseño. Solicitaciones mecánicas al cortocircuito y de sobrevelocidad. Momentos de inercia, constante de inercia H. Vibraciones, equilibrado, velocidad crítica. Atracción magnética. Ruido. Cojinetes.

Trabajos prácticos

TP Selección de motor asincrónico y su sistema de arranque.

TP experimental: comportamiento de estrella/triángulo y arranque suave.

TP Accionamiento de laminador desvastador.

TP Selección de motor para bombas de elevación de fluidos.

TP Selección de motores para grúas.

TP Elección de motor asincrónico de ascensor alimentado por variador de velocidad.

TP Compresor alternativo impulsado por motores sincrónicos y asincrónicos.

TP experimental: Estudio de comportamiento y aplicación de control de velocidad vectorial de motor asincrónico.

Los trabajos prácticos de laboratorio serán efectuados por la totalidad de los grupos. De los 6 TPs proyectuales cada grupo efectuará al menos 4, y el conjunto del curso realizará los 6.

Bibliografía general

Básica

- B1-Accionamientos Eléctricos. Chilikin.*
- B2-Características de los motores en el accionamiento eléctrico. Veshenevski.*
- B3-Maniobra, mando y control eléctricos. Enciclopedia CEAC.*
- B4-Selección y aplicación del motores eléctricos. O. Lobosco J.L. Días (Siemens)*
- B5-Arranque industrial de Motores Asincrónicos. Electro-tecnologías 10.*
- B6-Manual del motor eléctrico. Beaty y Kirtley.*
- B7-Normas IRAM 2008, 2223, 2244, 2192*
- B8-Control electrónico de los Motores de Corriente Alterna. Chauprade Milsant*
- B9- Alternating Current Machines. M.G. Say.*
- B10- B.Yu Lipkin*
- B11-Publicación DANFOSS “Cosas que merece la pena saber”.*
- B12-Apparecchi di manovra e protezione. Bellato Buccianti Tommazzolli.*
- B13- Direct Current Machines M.G. Say & E.O. Taylor.*
- B14-Manual de Baja Tensión Siemens.

La bibliografía se complementa con la indicada en particular para cada capítulo.

*: se incluye en fotocopias puestas a disposición por la cátedra.

De consulta

- Control of Electrical Drives. W. Leonhard.
- Permanent Magnet Motor Design. Duane Hanselman
- Small Electric Motors Handbook. W. Yeadon and A. Yeadon
- Power Electronics and AC Drives. B.K. Bose.
- Escuela del Técnico Electricista. Tomo 11.
- Power Systems Harmonics. Arrilaga.
- Electrónica de Potencia. Hansruedi Bühler.
- IEEE Guide for AC Motor Protection IEEE Std C37.96
- Manual de Asinel sobre perturbaciones en los sistemas eléctricos.*

IEEE Std 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.

Norma NEMA MG1

Norma IEC 60034. varias partes

Electrical engineering Design Manual M. G. SAY

Bibliografía complementaria (opcional)

Dispositivos electromecánicos. Greenwood. (*)

The Electric motor book. Machine Design.

Electric Controls Book. Machine Design.

Les Moteurs pas à pas. Jean Jaquin

Switchgear and Control Handbook. R. W. Smeaton (*)

Escuela del Técnico Electricista. Tomo 11.

Lawton. Utilización de Motores Sincrónicos. (*)

IEEE C57 110

Cálculo de máquinas eléctricas rotativas. R. David (*)

Apuntes y guías de Trabajos Prácticos de la cátedra

- a) Elección de motor de impulso de un accionamiento (contiene elección de sistemas de arranque de MA).
- b) Determinación de la potencia de un motor eléctrico en servicio permanente carga variable.
- c) Accionamiento de grúas por motores trifásicos.
- d) Accionamiento de compresores alternativos con motores trifásicos.
- e) Aparatos de maniobra y protección de motores
- f) Elección de motor asincrónico para accionamiento de bombas centrífugas.
- g) Accionamiento de ascensores mediante motor asincrónico con variador de velocidad.
- h) Control vectorial de velocidad de motores asincrónicos.
- i) Presentaciones de clase en powerpoint.

Bibliografía básica y complementaria por unidad

Unidad N° 1: Generalidades de los accionamientos eléctricos

Básica

B1 pág. 13 a 20 y 29 a 34

B2 pág. 8 a 10

B3 pág. 473 a 486.

B4 pág. 28 a 34 y 166 a 183

B7 Normas IRAM 2008-1, 2223, 2244, 2444, 2192.

Manual Siemens de Baja Tensión. Cap. 10 Motores de Baja Tensión.*

Guía de T.P. Elección de motor de impulso de un accionamiento.*

Complementaria

IEC 60034, IEC 60079, IEC 60529.

Unidad N° 2: Análisis de transitorios electromecánicos.

Básica

B1 pág. 171 a 190

B4 pág. 37 a 74

B5 pág. 15 a 42

Apuntes y guías de Trabajos Prácticos de la cátedra

b) Determinación de la potencia de un motor eléctrico en servicio permanente carga variable.*

d) Accionamiento de compresores alternativos con motores trifásicos.*

Unidad N° 3: Efectos del arranque en el motor y en la red.

B 1 pág. 297 a 212 243 a 248

B 5 pág. 129 a 140

Synchronizer pág. 15 a 18 *

Apuntes y guías de Trabajos Prácticos de la cátedra

a) Elección de motor de impulso de un accionamiento.

Unidad N° 4: Motores Asincrónicos

B 1 63 a 80 124 a 137

B 2 171 a 278

B 3 557 a 570

B 8 57 a 112

B 8 303 a 341

Switchgear and Control Handbook. R. W. Smeaton Pág. 11-42 a 11-48 *

La conmutación de fuentes de alimentación a barras de gran potencia. Fernandez Cordero y Garcia del Corro Lagostena Von Bassenheim.(Reconexion) *.

Apunte 5 *

Danfoss pág. 70 a 96.*

“Concepción y realización de una regulación vectorial de un ondulator IGBT para el comando de un motor asincrónico” Erriene Warnier. *

Apuntes y guías de Trabajos Prácticos de la cátedra: Elección de motor de impulso de un accionamiento.

De consulta

Control of Electrical Drives. W. Leonhard.

Power Electronics and AC Drives. B.K. Bose.

Unidad N° 5: Máquinas de corriente continua.

B 1, 34 a 63 185 a 232

B 2, 31 a 169

B 9, 303 a 341

B 8, 85 a 92

B 13, 155 a 251

Artículo motores de CC para variación de velocidad (*).

De consulta

Control of Electrical Drives. W. Leonhard.

*: se incluye en fotocopias puestas a disposición por la cátedra.

Unidad N° 6: Motores sincrónicos

B 1, 80 a 84

Normas NEMA MG 1.

B 2, 279 a 302

B 3, 578 a 575

B 4, 5 a 15

B 6, 141 a 225

Apuntes y guías de Trabajos Prácticos de la cátedra

d) Accionamiento de compresores alternativos con motores trifásicos.

De consulta

Control of Electrical Drives. W. Leonhard.

Lawton. Utilización de Motores Sincrónicos. *

Unidad N° 7: Estudio de aplicaciones especiales

B 1, 249 a 284

B 10, 241 a 334

Tracción ferroviaria (capítulo de manual).*

Apuntes y guías de Trabajos Prácticos de la cátedra:

b) Determinación de la potencia de un motor eléctrico en servicio permanente carga variable.

c) Accionamiento de grúas por motores trifásicos.

d) Accionamiento de compresores alternativos con motores trifásicos.

Bibliografía complementaria:

Compilación bibliográfica accionamiento de grúas (Profesor invitado).

Escuela del Técnico Electricista. Tomo 11.

Unidad N° 8: Motores y aparatos especiales

Básica

B 1, 159 a 170 153 a 155

B 6, 302 a 304

El motor paso a paso como elemento de accionamiento.*

Comando dei motori passo.passo unipolarii a riluttanza variabile.*

Unidad N° 9: Dispositivos de mando

Básica

Manual del Ingeniero Electricista F. Singer Pág. 305 a 314 *

Apunte 12 *

B3 1053 a 1082 1155 a 1206

Il relé elettromeccanico. S. Barbieri.(Articulo).*

Contattori Statici. D. Scialdone.(Articulo).*

Principi di funzionamento dei relé. S. Gallabresi.*

Dispositivos Electromecánicos Douglas C Greenwood. Pag.49 a 65 y 167 a 209. *

B 12

Unidad N° 10: Protección de motores

Apunte 13 *

IEEE Guide for AC Motor Protection IEEE Std C37.96

B 4 353 a 367.

Revista AEA En-.Feb, Mar-Ab, May-jun 1998 Protección de motores eléctricos de Inducción.

IEC 544

Protección de mot. trifásicos conectados en triángulo. Rev. Asea 1959 Pág. 105/6 *

Unidad N° 11: Calidad de producto eléctrico. Relación con los accionamientos.

Manual de Asinel sobre perturbaciones en los sistemas eléctricos.*

Arrillaga J. et al: *Power System Harmonics*. 1985.

IEEE Std 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Armonic Control in Electric Power Systems.

Unidad N° 12: Elementos de construcciones electromecánicas relacionados con los accionamientos

Básica

Electrotecnia general y aplicada. Moeller-Werr III Construcción y cálculos de resistencia de las máquinas eléctricas. Pág. 182 a 212 y 274 a 281.*

Elementi di costruzioni elettromeccaniche 1 G. Cannistrá Pag 89 a 108.*

Inducción Machines. P. L. Alger Pag.60 a 63.*

Transformadores M. J. Dormont Pag. 230 a 237.*

Costruzione delle macchine elettriche.G. Someda. Pág. 4 a 10.*

Cálculo de máquinas eléctricas rotativas. R. David Pág.38 a 49.*

Máquinas de corriente alternas. M. Liwshitz-Garik Pág. 737 a 751.*
Cálculo modular de máquinas eléc. J. Corrales Martín. Pág. 60 a 75 y 125 a 136*
Macchine elettriche A. Barbagelata. Pag. 79 a 106.*
Electrical engineering Design Manual M. G. SAY Pag. 1 a 15 y 153 a 175.*
Construcción de máquinas eléctricas G. Reborá Pag. 294 a 243 y 879 a 887.*

Forma de evaluación

a) Evaluación durante el curso.

Las condiciones para aprobar trabajos prácticos de forma regular, son:

Desarrollar y aprobar los Trabajos Prácticos propuestos durante el curso. Los trabajos prácticos desarrollados son sujetos a revisión y aprobación. Para los TPs de carácter proyectual se incorporará un interrogatorio breve para la firma de alumnos que no fueron responsables de informe, y para los de laboratorio un breve interrogatorio previo a la ejecución para asegurar un adecuado aprovechamiento de la actividad.

Aprobar las tres evaluaciones parciales equivalentes, con contenido de los Trabajos Prácticos desarrollados y resolución de problemas y/o preguntas conceptuales sobre temas teóricos fundamentales, con un puntaje al menos igual a 6.

b) Condiciones para la aprobación directa durante el curso

Para la aprobación directa deberá alcanzarse en cada evaluación parcial equivalente una calificación ponderada de 8 o más, para lo que debe superar tanto la parte práctica y resolución de problemas como la parte de aspectos teórico-conceptuales.

Recuperación: Se prevé una oportunidad de recuperación para alcanzar el puntaje exigido en un parcial, y una oportunidad de evaluación complementaria en otro.

c) Evaluación final.

Se efectuará de forma escrita con complemento oral, cumplidos los requisitos establecidos en a) durante el período de cursada, en las fechas establecidas.

Cronograma de actividades

Día	Temas a desarrollar	Tipo de clase
15-mar	Generalidades. Criterios de selección de motores según lugar de instalación: Grados de protección, Formas constructivas, Ambientes especiales, infl. Altura y temperatura ambiente. Tipos de servicio.	T: teórica
22-mar	Comportamiento térmico transitorio. Elección de motor según tipo de servicio. Métodos de verificación para servicio continuo carga variable.	T
29-mar	Feriado	
05-abr	Clase problemas. Cuplas resistentes y motoras. Equilibrio estable. Análisis de transitorios electromecánicos. Ecuación de aceleración. Tiempo de arranque. Ejemplos particulares de aceleración. Ecuación diferencial dinámica, estudio de carga de impacto. Constante de tiempo electromecánica.	T
12-abr	Clase problemas. Energía desarrollada durante arranque e inversión marcha. Efecto en los motores.	T
19-abr	Motores asincrónicos. Características principales. Características par-velocidad especiales. Métodos de arranque. Trabajo práctico Nº 1.1: elección de MA S1: elección de sistema de arranque.	TP: teórico práctico
26-abr	Trabajo Práctico 1.2: elección de MA S1: elección de MA para bomba de agua. Zonas de funcionamiento de MA. Funcionamiento en 4 cuadrantes. Métodos de frenado de motores asincrónicos.	T
03-may	Introducción a regulación de velocidad de MA. Variación de velocidad por cambio de polaridad. Regulación de velocidad por modificación de resbalamiento. Cascadas. Ahorro de energía.	T
10-may	Clase problemas. Regulación de velocidad M.A. por variación tensión-frecuencia. Características motor. Límites de funcionamiento.	TP
17-may	Clase problemas Tipos de convertidores de frecuencia. Sistemas de modulación aplicables. Efectos de armónicos sobre la cupla.	T
24-may	Control escalar: diagrama en bloques. Control vectorial de M.A. Transformaciones. Ecuaciones de motor transformadas.	T
31-may	Aplicación de elección de motor para régimen permanente carga variable, con carga de impacto. Trabajo práctico Nº 2. Accionamiento de laminador desvastador con MA. Control vectorial de M.A. ecuaciones de tensión y cupla, esquema en bloques de control.	T
07-jun	Fecha de final	F
14-jun	Clase problemas Control de velocidad por cascadas	T
21-jun	Clase problemas Máquinas de corriente continua excitación independiente. Características. Arranque y frenado	T
28-jun	Evaluación 1º Parcial	parcial
05-jul	Máquinas de corriente continua excitación serie y compound. Características. Arranque y frenado. Variación de velocidad de MCC de exc indep y serie. Métodos clásicos. Zonas de funcionamiento.	T
12-jul	TP laboratorio: evaluación experimental de arranque de MA estrella-triángulo y por arrancador suave.	TP
RECESO		
09-ago	Variación de velocidad de MCC por medios electrónicos. Diagrama en bloques. Efectos y requisitos particulares del motor.	T
16-ago	Clase Problemas. Tracción eléctrica vertical: Grúas.	TP
23-ago	Trabajo práctico Nº 3.1 Elección de motores para grúas. Tracción vertical: ascensores. Trabajo práctico Nº 3.2 Ascensores con aplicación de variadores de velocidad.	TP
30-ago	Clase especial. Docente Especialista tracción horizontal. Clase problemas aplicación.	T
06-sep	Clase problemas. Máquinas sincrónicas. Aplicaciones. Arranque y sincronización. Regulación de velocidad de MS.	T
13-sep	Estabilidad. Efecto de huecos en MS. Comportamiento de motores ante cargas oscilantes Trabajo práctico Nº 4: accionamiento compresor alternativo	TP
20-sep	2º Parcial	parcial
27-sep	Clase problemas Protección de motores eléctricos.	T
04-oct	Clase problemas Eje eléctrico. Freno y acoplamiento electromagnético.	T
11-oct	Solenoides CC y CA. Freno electromecánico. Reóstatos. Dispositivos de mando. Contactores y relés de CC y CA, guardamotors, fines de carrera.	T
18-oct	Motores especiales: de CC sin escobillas, sincrónicos de imanes permanentes, paso a paso. Aplicaciones	T
25-oct	Trabajo práctico laboratorio. evaluación experimental y modelado de control vectorial.	TP
01-nov	Calidad de producto eléctrico. Perturbación por accionamientos, efectos en instalaciones. Efecto de armónicos en motores.	T
08-nov	Profesor invitado: clase especial de ascensores. Clase de modelado control de motores	T
15-nov	Elementos de cálculo y construcción de máquinas eléctricas. Principios de dimensionamiento.	T
22-nov	3º parcial	parcial
29-nov	Elementos de cálculo y construcción de máquinas eléctricas. Similitud. Parametros de diseño e influencia en las características. Aspectos mecánicos.	T
Dic-Mar	Recuperatorios, consultas. Fecha a fijar	

Prerrequisitos para iniciar el curso regular

Aprobación de trabajos prácticos de las materias correlativas, de conformidad al plan de estudios vigente, y las disposiciones que la Universidad establezca al respecto.