



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA, GESTIONALE E MECCANICA (DIEGM)

PROF. AGGR. ROBERTO PETRELLA

TELEFONO +39 0432 55 8245 - FAX +39 0432 55 8251 - E-MAIL ROBERTO.PETRELLA@UNIUD.IT

INSEGNAMENTO DI AZIONAMENTI ELETTRICI I

ANNO ACCADEMICO 2010/2011 - II Semestre - 5 CREDITI

OBIETTIVI FORMATIVI SPECIFICI

Il corso intende fornire una panoramica teorica e pratica sulle principali tipologie di motori elettrici e le relative tecniche di controllo, per un utilizzo in ambiente industriale. Particolare attenzione è data alle problematiche di scelta dell'azionamento elettrico più adatto per ogni specifica applicazione.

COMPETENZE ACQUISITE

- Comprendere la terminologia e i parametri che descrivono gli azionamenti elettrici.
- Individuare i motori ed i metodi di controllo più idonei alle specifiche applicazioni industriali.
- Leggere ed interpretare i dati tecnici ed i cataloghi per la scelta degli azionamenti elettrici.
- Saper impostare il progetto di semplici controlli di velocità per azionamenti in continua/alternata.
- Utilizzare programmi per la simulazione del comportamento a regime di azionamenti elettrici

MODALITÀ DI ESAME

Prova scritta.

TESTI CONSIGLIATI

- S.Bolognani, M.Zigliotto, Azionamenti Elettrici, Libr. Progetto, Padova, 1998
- L.Bonometti, Convertitori di potenza e servomotori brushless, UTET, ISBN 88-7933-207-4
- M.H. Rashid, Elettronica di potenza - Dispositivi e circuiti, Volume 1, 3a edizione, Pearson/Prentice Hall, ISBN 9-788871-923475.
- L.Olivieri, E.Ravelli: Fondamenti di Elettrotecnica ed Eletttronica, Cedam, Padova, 1992
- R.Valentine, Motor Control Electronics Handbook, McGraw-Hill, ISBN 0-07-066810-8, 1998
- J.M.D.Murphy, F.G.Turnbull, Power Electronic Control of AC Motors, Pergamon Press, ISBN 0-08-022683-3, 1988
- W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Springer, ISBN 3-540-41820-2
- N. Mohan, T.M. Undeland, W.P. Robbins, Power electronics: converters, applications and design, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-61342-8
- P.Vas, Vector control of AC machines, Oxford University Press, 1990
- P.Vas, Sensorless vector and direct torque control, Oxford University Press, 1998
- T.Kenio, Stepping motor and their microprocessor control, Oxford University Press, 1984.
- P.P. Acarnley, Stepping motors: a guide to modern theory and practice, Peter Peregrinus LTD. IEE, ISBN 0-906048-75-3, 1982
- I.Boldea, S.A.Nasar, Electric Drives, CRC Press, 1998
- G.R.Slemon, Electric machines and drives, Addison-Wesley, MA, ISBN 0-201-57885-9, 1992
- A.M Trzynadlowsky, Control of Induction Motors, Pergamon Press, ISBN 0127015108, Sept. 2000
- B.Drury, The Control Techniques Drives and Controls Handbook, IEE PES 35, ISBN 085296 793 4, 2001
- H.J. Zimmermann "Fuzzy Set Theory and its applications", 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, 1992 ISBN 0-7923-9075-X
- D.Driankov, H.Hellendoorn, M.Reinfrank, "An Introduction to Fuzzy Control", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993 ISBN 0-387-56362-8

Il materiale didattico è reperibile presso <http://www.diegm.uniud.it/petrella>.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA, GESTIONALE E MECCANICA (DIEGM)

PROF. AGGR. ROBERTO PETRELLA

TELEFONO +39 0432 55 8245 - FAX +39 0432 55 8251 - E-MAIL ROBERTO.PETRELLA@UNIUD.IT

INSEGNAMENTO DI AZIONAMENTI ELETTRICI I

ANNO ACCADEMICO 2010/2011 - II Semestre - 5 CREDITI

PROGRAMMA DEL CORSO

INTRODUZIONE

Introduzione agli azionamenti elettrici. Schemi a blocchi funzionali. Principali applicazioni. Tipologie di motori elettrici per azionamenti. Motori in corrente continua e corrente alternata. Caratteristiche tecniche e aspetti gestionali. Azionamenti rigenerativi. Frenatura dissipativa e rigenerativa. Considerazioni sulla scelta e sulla gestione degli azionamenti elettrici. Tipologie di costo ed incidenza sui diversi azionamenti. Segmenti di mercato. Prospettive di crescita. Rapporto coppia/inerzia e coppia/peso. *Market drivers* e specifiche di progetto. *Fault tolerance*, innovazione tecnologica negli azionamenti.

CONVERSIONE ELETTROMECCANICA DELL'ENERGIA

Richiami ai principi di conversione elettromeccanica dell'energia. Bilancio energetico della conversione elettromeccanica. Ipotesi di sistema conservativo, energia come funzione di stato. Variabili di stato ed effetti della loro selezione nelle espressioni formali della coppia. Topologie dei sistemi a riluttanza. Principio di funzionamento dei motori a riluttanza e a passo. Topologie dei sistemi elettrodinamici. Principio di funzionamento del motore in corrente continua e del motore sincrono a magneti permanenti. Topologie dei sistemi ad induzione. Principio di funzionamento dei motori asincroni. Generazione della coppia, differenza tra sfasamento vettoriale ed asincronismo.

DINAMICA DEL SISTEMA MOTORE-CARICO

Equazione di equilibrio meccanico. Funzione di trasferimento del sistema meccanico. Risposte al gradino di coppia. Relazione velocità-posizione. Risposte al gradino e alla rampa di velocità. Diagramma a blocchi del sistema meccanico completo. Traiettorie tipiche del controllo di moto: traiettorie di velocità e posizione. Azionamenti reversibili: esempio del montacarichi. Tipi di carico: coppie attive e passive. Caratteristiche di carico più comuni. Modellistica completa dei carichi meccanici. Analogie meccanico-elettriche. Esempi. Calcolo delle inerzie equivalenti per il sistema pignone-cremagliera e vite-madrevite.

AZIONAMENTI CON MOTORE IN CORRENTE CONTINUA

Struttura e schema elementare di una macchina in corrente continua. Aspetti costruttivi dei motori in corrente continua con fotografie di prototipi a differenti livelli di assemblaggio. Funzionamento da generatore e da motore. Determinazione del modello matematico del motore in corrente continua: equazioni elettriche, espressione della coppia. Rappresentazione circuitale. Controllo di velocità del motore in corrente continua. Caratteristiche meccaniche coppia-velocità. Azionamenti con motore in corrente continua: controllo della tensione di armatura e dell'eccitazione; limiti di funzionamento; controllo combinato; campi di funzionamento. Analisi di schemi di controllo di velocità a regime per azionamenti in corrente continua. Quadranti di funzionamento degli azionamenti. Comportamento dinamico del motore in corrente continua a flusso costante: approssimazioni e luogo delle radici. Azionamento con solo anello di velocità: criteri di dimensionamento del regolatore di velocità ad azione proporzionale. Considerazioni sull'influenza della coppia di carico sul controllo di velocità: concetto di robustezza. Azionamenti con solo anello di velocità: criteri di dimensionamento del regolatore di velocità di tipo proporzionale e integrale. Problema della limitazione della corrente di armatura. Azionamenti con anelli di velocità e corrente. Controllo in cascata. Criteri di dimensionamento dei regolatori di corrente e velocità basati sulla risposta in frequenza. Esercizi su motori ed azionamenti in corrente continua. Progetto di un azionamento per il controllo di velocità di un motore in corrente continua: gli anelli di regolazione della corrente di armatura e della velocità di rotore. Limitazione delle grandezze di un sistema di controllo. Fenomeno del *wind-up* e possibili soluzioni. *Feed-forward* nel riferimento di



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA, GESTIONALE E MECCANICA (DIEGM)

PROF. AGGR. ROBERTO PETRELLA

TELEFONO +39 0432 55 8245 - FAX +39 0432 55 8251 - E-MAIL ROBERTO.PETRELLA@UNIUD.IT

INSEGNAMENTO DI AZIONAMENTI ELETTRICI I

ANNO ACCADEMICO 2010/2011 - II Semestre - 5 CREDITI

corrente. Effetto transitorio della tensione indotta sul controllo di corrente e *feed-forward* di tensione.

AZIONAMENTI CON MOTORE A PASSO

Principi di funzionamento dei motori a passo a riluttanza variabile, a magneti permanenti e ibridi. Generazione della coppia nei motori a riluttanza variabile e ibridi. Modi di alimentazione. Parametri e caratteristiche dei motori a passo. Curve di *pull-in* e di *pull-out*. Risonanze meccaniche e limitazioni d'impiego. Dimensionamento di un azionamento per motore a passo. Progetto delle rampe di accelerazione. Dimostrazione in aula degli aspetti costruttivi dei motori a passo.

AZIONAMENTI CON MOTORE SINCRONO A MAGNETI PERMANENTI

Struttura e principio di funzionamento del motore sincrono a magneti permanenti. Analisi del funzionamento in regime sinusoidale. Strategie di controllo del motore sincrono a magneti permanenti. Controllo ad orientamento di campo. Dati di targa di un servomotore *brushless*. Analisi di un catalogo. Dimostrazione in aula degli aspetti costruttivi dei motori sincroni a magneti permanenti.

AZIONAMENTI CON MOTORE TRIFASE AD INDUZIONE

Struttura e principio di funzionamento. Analisi del funzionamento in regime sinusoidale. Strategie di controllo. Controllo scalare ad anello aperto e chiuso (V/Hz costante). Dimostrazione in aula degli aspetti costruttivi dei motori ad induzione.

UDINE, LI 18.04.2011

Roberto PETRELLA