UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria		
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2019/2020		
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2020/2021		
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA ELETTRICA		
INSEGNAMENTO	CONVERTITORI ED AZIONAMENTI ELETTRICI CON LABORATORIO C.I.		
CODICE INSEGNAMENTO	19306		
MODULI	Si		
NUMERO DI MODULI	2		
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-IND/32		
DOCENTE RESPONSABILE	MICELI ROSARIO	Professore Ordinario	Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI	DI TOMMASO ANTONINO OSCAR	Professore Associato	Univ. di PALERMO
	MICELI ROSARIO	Professore Ordinario	Univ. di PALERMO
CFU	15		
PROPEDEUTICITA'			
MUTUAZIONI			
ANNO DI CORSO	2		
PERIODO DELLE LEZIONI	Annuale		
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa		
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi		

ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI

DI TOMMASO ANTONINO OSCAR

Lunedì	15:00	16:00	Laboratorio "EDALab" (all'interno della sala macchine) - Edificio nr. 9, ex DEIM. E' gradito un contatto (telefono o e-mail) almeno un giorno prima.
Martedì	15:00	16:00	Laboratorio "EDALab" (all'interno della sala macchine) - Edificio nr. 9, ex DEIM. E' gradito un contatto (telefono o e-mail) almeno un giorno prima.
Mercoledì	15:00	16:00	Laboratorio "EDALab" (all'interno della sala macchine) - Edificio nr. 9, ex DEIM. E' gradito un contatto (telefono o e-mail) almeno un giorno prima.
Giovedì	15:00	16:00	Laboratorio "EDALab" (all'interno della sala macchine) - Edificio nr. 9, ex DEIM. E' gradito un contatto (telefono o e-mail) almeno un giorno prima.
Venerdì	15:00	16:00	Laboratorio "EDALab" (all'interno della sala macchine) - Edificio nr. 9, ex DEIM. E' gradito un contatto (telefono o e-mail) almeno un giorno prima.

MICELI ROSARIO

Lunedì	12:00	13:00	ufficio personale
Martedì	15:00	18:00	studio terzo piano
Venerdì	15:00	18:00	studio terzo piano

DOCENTE: Prof. ROSARIO MICELI

PREREQUISITI	Lo studente, oltre a consolidate conoscenze di base riguardanti la matematica, la fisica e l'elettrotecnica, deve possedere adeguate conoscenze e capacità di applicare tali conoscenze con riguardo: al funzionamento in regime stazionario delle macchine elettriche rotanti, ai componenti e sistemi elettronici di potenza, al funzionamento dei diversi tipi di controllori, alle tecniche di controllo a catena aperta e a catena chiusa, ai trasduttori e alle tecniche di misura.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	Conoscenza e capacita' di comprensione Lo studente, al termine del corso, avra' acquisito conoscenze e metodologie per affrontare e risolvere in maniera originale problematiche riguardanti lo studio e lo sviluppo dei principali azionamenti elettrici e dei convertitori elettronici di potenza in essi utilizzati. In particolare lo studente sara' in grado di analizzare,attraverso modellizzazioni matematiche, simulazioni al calcolatore e verifiche sperimentali, il comportamento di tali sistemi, sia in regime stazionario che dinamico. Per conseguire questo obiettivo durante il corso vengono sviluppate lezioni frontali, discussione di casi studio, esercitazioni numeriche guidate e di laboratorio. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale. Capacita' di applicare conoscenza e comprensione Lo studente avra' acquisito capacita' di applicare conoscenza e comprensione e metodologie che gli consentono di analizzare e risolvere problemi tipici della progettazione, sviluppo e messa a punto attraverso simulazioni numeriche di azionamenti elettrici e dei convertitori elettronici di potenza in essi impiegati. Per il raggiungimento di questo obiettivo durante il corso vengono svolte lezioni frontali, esercitazioni in aula e di laboratorio guidate, sia guidate che autonome, discussione di casi studio, uso di software specialistici, utilizzo di cataloghi commerciali. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale. Autonomia di giudizio Lo studente sara' in grado di interpretare correttamente e autonomamente i problemi posti dagli utilizzatori di azionamenti elettrici, sapra' esprimere giudizi sul loro corretto funzionamento e sapra' collezionare le specifiche necessarie per la scelta dell'azionamento piu' adeguato, sia dal punto di vista tecnico che economico, alle esigenze del committente. Inoltre, lo studente avra' acquisito metodologie di analisi proprie dello sviluppo e messa a punto di sistemi elettrici complessi, quali gli azionamenti elettrici e i convertitori elettronici di potenza,che gli consentiranno di affrontare problemi non strutturati e prendere decisioni in situazioni di incertezza. Per il raggiungimento di questo obiettivo nello svolgimento delle esercitazioni di laboratorio lo studente e' chiamato a fare delle scelte autonome. In particolare, il corso prevede lezioni frontali, discussione di casi studio, esercitazioni in aula e in laboratorio guidate, esercitazioni autonome, uso di software specialistici, sviluppo di un piccolo progetto. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale, anche mediante discussione dell'elaborato progettuale e delle esercitazioni svolte durante il corso presentati da ciascun allievo in sede di esame. Abilita' comunicative Lo studente sara' in grado di comunicare con competenza e proprieta' di linguaggio, anche in contesti altamente specializzati, problematiche complesse riguardanti lo studio e lo sviluppo dei principali azionamenti elettrici e dei convertitori elettronici di potenza in essi utilizzati e di offrire soluzioni. Tale abilita' sara' esercitata attraverso la discussione in laboratorio tra studenti e con il docente sulle esercitazioni che vengono sviluppate. Per il raggiungimento di questi obiettivi il corso prevede lezioni frontali, discussione di casi studio. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale. Capacita' d'apprendimento Lo studente sara' in grado di apprendere in modo autonomo ulteriori conoscenze sugli azionamenti elettrici e sui convertitori elettronici di potenza. Egli sara' in grado di approfondire tematiche complesse quali quelle connesse allo sviluppo e messa a punto di nuove ed originali strategie di controllo. Tale capacita' sara' sviluppata proponendo allo studente di ampliare le conoscenze via via acquisite facendo ricorso in modo autonomo a fonti teoriche e d'informazione, diverse dagli ausili didattici forniti, quali testi, normative, leggi, siti web, articoli scientifici, etc.. Per il raggiungimento di questi obiettivi il corso prevede lezioni frontali ed applicazioni numeriche. Il raggiungimento di tali obiettivi sara' verificato durante la prova orale.
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	L'esame consiste in una "prima prova orale" obbligatoria per il modulo "CONVERTITORI ED AZIONAMENTI ELETTRICI" e in una "seconda prova orale" obbligatoria per il modulo "LABORATORIO DI AZIONAMENTI ELETTRICI". La valutazione dell'esame complessivo e' espressa in trentesimi e

	viene ottenuta come media pesata rispetto ai crediti delle valutazioni relative ai due moduli del Corso integrato. Nella “prima prova orale”, relativa alla valutazione dell’apprendimento del modulo “CONVERTITORI ED AZIONAMENTI ELETTRICI”, da svolgersi negli appelli successivi alla conclusione del semestre in cui si svolge il modulo, lo studente dovra' rispondere ad un minimo di 3 domande poste oralmente sugli argomenti del programma del modulo svolto nel semestre. La valutazione dell’esame del modulo viene espressa in trentesimi. Nella “seconda prova orale”, relativa alla valutazione dell’apprendimento del modulo “LABORATORIO DI AZIONAMENTI ELETTRICI”, da svolgersi negli appelli successivi alla conclusione del semestre in cui si svolge il modulo, lo studente dovra' rispondere ad un minimo di due domande poste oralmente sugli argomenti del programma del modulo, svolti nel semestre in cui si svolge il modulo stesso, e sugli elaborati delle esercitazioni di laboratorio svolte durante il corso. La valutazione dell’esame del modulo viene espressa in trentesimi. Le prove di valutazione dell'apprendimento si prefiggono l’obiettivo di valutare il grado di acquisizione della conoscenza e comprensione degli argomenti trattati e delle capacita' di applicazione delle conoscenze acquisite per l’analisi e la soluzione dei problemi relativi a casi concreti, di orientarsi e formulare giudizi, di esposizione e argomentazione con chiarezza e proprieta' di linguaggio, di rielaborazione delle conoscenze acquisite e di collegamento multidisciplinare, di intraprendere studi successivi o affrontare l’attivita' professionale in modo autonomo. La soglia della sufficienza (18/30) sara' raggiunta quando lo studente mostri di conoscere e comprendere gli argomenti almeno nelle linee generali e di possedere sufficienti competenze applicative in ordine alla risoluzione di casi concreti e chiarezza di esposizione e argomentazione tale da consentire la trasmissione delle sue conoscenze all’esaminatore. Al di sotto di tale soglia, l’esito dell’esame sara' insufficiente. La valutazione puo' aumentare, fino al massimo di 30/30 e lode, in funzione delle capacita' argomentative ed espositive (piu' che sufficienti, discrete, buone, piu' che buone, eccellenti) con cui l’esaminando interagisce con l’esaminatore e del grado di conoscenze e capacita' applicative (piu' che sufficienti, discrete, buone, piu' che buone, eccellenti) della disciplina oggetto di verifica mostrate dall'esaminando durante le prove di esame.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Il Corso prevede le seguenti attivita' didattiche: lezioni frontali, esercitazioni in aula, esercitazioni in laboratorio. Le suddette attivita' sono organizzate in modo da agevolare il raggiungimento degli obiettivi formativi e dei risultati di apprendimento attesi, riportati negli appositi quadri della presente scheda. In particolare le esercitazioni di laboratorio sono sviluppate, sotto la guida del docente, da ciascuno studente principalmente nel modulo “Laboratorio di Azionamenti Elettrici”. Durante tali esercitazioni ciascuno studente viene guidato: - ad analizzare, attraverso modellizzazioni matematiche, simulazioni al calcolatore e verifiche sperimentali, il comportamento dei principali azionamenti elettrici e dei convertitori elettronici di potenza in essi utilizzati, sia in regime stazionario che dinamico; - ad acquisire capacita' di applicare metodologie che gli consentono di analizzare e risolvere problemi tipici della progettazione, sviluppo e messa a punto di tali sistemi, operando anche scelte autonome.

MODULO
LABORATORIO DI AZIONAMENTI ELETTRICI

Prof. ANTONINO OSCAR DI TOMMASO

TESTI CONSIGLIATI

1) Presentazioni utilizzate dal docente in formato digitale;
2) Dispense del corso in formato digitale;
3) Leonhard W.: Control of Electrical Drives, Springer Verlag, 1996;
4) N. Mohan, T. Undeland, W. Robbins “Power Electronics” Ed. John Wiley and Sons, NY 1999.

TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50363-Ingegneria elettrica
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	96
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE	54

OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO

Il modulo ha carattere essenzialmente applicativo ed affronta lo studio degli azionamenti elettrici e dei relativi convertitori di potenza attualmente impiegati sia nell’industria sia nella trazione, privilegiando in modo particolare le problematiche connesse con il loro funzionamento.
Gli obiettivi formativi consistono nel fornire agli allievi capacita' adeguate per:
- scegliere ed assemblare i diversi componenti e le strutture di un azionamento elettrico;
- pianificare prove di verifica e di collaudo per azionamenti elettrici e convertitori statici di potenza;
- applicare correttamente le strategie di problem solving, attraverso modellazioni matematiche, simulazioni al calcolatore e verifiche sperimentali, problematiche riguardanti lo studio e lo sviluppo di azionamenti elettrici e dei convertitori elettronici di potenza in essi utilizzati, con particolare riferimento agli inverter a tensione impressa (VSI);
- simulare e implementare su DSP e microcontrollori strategie di controllo tradizionali ed innovative, per VSI e azionamenti elettrici a velocita' variabile;
- auto-valutare il proprio percorso e le metodologie di studio attuate;
- saper applicare con sicurezza gli strumenti ed i metodi acquisiti nelle future esperienze professionali.

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
4	Introduzione al corso. Il modello ideale di commutazione di un transistore di potenza, il modello dinamico di un inverter comprensivo delle equazioni del DC link.
8	Modulazione vettoriale classica, implementazione della modulazione vettoriale mediante il duty cycle ed un algoritmo a basso onere computazionale.
3	Rappresentazioni con lo stato del modello delle macchine elettriche in corrente alternata.
4	Richiami sui regolatori standard, P, PI, PID, PD. Metodi di taratura, mediante il metodo dell'ottimo simmetrico, mediante tecniche di model matching.

ORE	Laboratori
7	Implementazione dei modelli dinamici del motore asincrono. Implementazione di controlli scalari. Implementazione del modello del motore sincrono a magneti permanenti. Taratura e simulazione di regolatori per azionamenti elettrici con motore sincrono a magneti permanenti
6	Simulazione in ambiente Matlab Simulink di convertitori VSI, delle relative tecniche di modulazione e di azionamenti in C.C. e in C.A.
6	Impiego del sistema di sviluppo dSpace e Arduino Due in laboratorio per l’implementazione di tecniche di modulazione PWM sinusoidale, vettoriale.
16	Impiego del sistema di sviluppo dSpace e di Arduino Due in laboratorio per l’implementazione di tecniche di controllo scalare e vettoriale per motori asincroni e per motori sincroni a magneti permanenti.

MODULO
CONVERTITORI ED AZIONAMENTI ELETTRICI

Prof. ROSARIO MICELI

TESTI CONSIGLIATI

1) Presentazioni utilizzate dal docente in formato digitale;
2) Dispense del corso in formato digitale;
3) Leonhard W.: Control of Electrical Drives, Springer Verlag, 1996;
4) N. Mohan, T. Undeland, W. Robbins “Power Electronics” Ed. John Wiley and Sons, NY 1999.

TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50363-Ingegneria elettrica
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	144
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE	81

OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO

Il modulo ha carattere essenzialmente applicativo ed affronta lo studio degli azionamenti elettrici e dei relativi convertitori di potenza attualmente impiegati sia nell’industria sia nella trazione, privilegiando in modo particolare le problematiche connesse con il loro funzionamento. In particolare, dopo una parte iniziale riguardante la modellistica delle macchine elettriche rotanti, i vettori spaziali e una classificazione degli azionamenti elettrici in base al tipo di motore, di convertitore e di sistema di controllo, il modulo tratta delle caratteristiche statiche dei carichi applicati al motore, delle modalita' di accoppiamento motore-carico, delle equazioni del moto, delle condizioni di stabilita, della regolazione della velocita, del funzionamento sui quattro quadranti del piano coppia-velocita, della regolazione ad anello aperto e chiuso, del controllo di corrente e di coppia, di velocita' e di posizione. Vengono quindi trattati i convertitori per azionamenti con motori in corrente continua, gli azionamenti con motori in corrente continua, i convertitori per azionamenti con motori in corrente alternata e gli azionamenti con motori in corrente alternata, sia asincroni che sincroni.
Gli obiettivi formativi consistono nel fornire agli allievi capacita' adeguate per:
- scegliere ed assemblare i diversi componenti di un azionamento elettrico a c.c. e di un azionamento elettrico in c.a;
- collaudare e gestire gli azionamenti elettrici con motore a c.c. e quelli con motore in c.a..
- affrontare e risolvere in maniera originale, attraverso modellizzazioni matematiche e simulazioni al calcolatore, problematiche riguardanti lo studio e lo sviluppo dei principali azionamenti elettrici e dei convertitori elettronici di potenza in essi utilizzati, con particolare riferimento agli inverter a tensione impressa;
- simulare al calcolatore strategie di controllo per azionamenti elettrici a velocita' variabile.

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
4	Introduzione al corso. La macchina elettrica primitiva e il suo modello circuitale. Modelli dinamici della macchina a c.c. per i diversi tipi di eccitazione.
6	Modelli dinamici del motore asincrono: modello in grandezze di fase, modello riferito ad un sistema di assi ortogonali solidali con lo statore, modello riferito ad un sistema di assi ortogonali solidali con il campo rotante.
4	Modelli dinamici del motore sincrono
2	Schema a blocchi e componenti di un azionamento elettrico
4	Caratterizzazione statica e dinamica del sistema motore - carico
11	Convertitori per azionamenti con motore c.c. e Azionamenti con motore c.c.: convertitori ac/dc per azionamenti con motore c.c., analisi del comportamento degli azionamenti elettrici con motore a c. c. e convertitore ac/dc, convertitori dc/dc per azionamenti con motore a c.c., analisi del comportamento degli azionamenti elettrici con motore a c. c. e convertitore dc/dc, esempi di schemi di controllo per azionamenti con motore a c.c.
12	Convertitori per azionamenti con motori in c.a.: regolatore di tensione, struttura e funzionamento dei convertitori dc/ac a tensione impressa, vettori spaziali di tensione che possono essere generati da un inverter trifase, tecniche di modulazione per inverter PWM (modulazione sinusoidale analogica, sincrona e asincrona, il duty cycle nella PWM, PWM digitale), convertitori dc/ac a corrente impressa, inverter CRPWM.
12	Azionamenti con motore asincrono: regolazione della velocita' del motore asincrono, analisi del comportamento degli azionamenti con motore asincrono e inverter (VSI, CSI, CRVSI) con esempi di schemi di controllo scalare, controllo vettoriale del motore asincrono.
10	Azionamenti con motore sincrono: regolazione della velocita' del motore sincrono, schemi di controllo scalare del motore sincrono, cenni sul controllo vettoriale del motore sincrono.

ORE	Esercitazioni
16	Esercitazioni in aula sugli azionamenti a c.c. e sugli azionamenti a c.a. con esempi di simulazione in simulink.