



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA

## CORSI DI INGEGNERIA

A.A. 2017/2018

**Macchine elettriche ( I3D, I4L )**

**- Ometto Antonio -**

(Aggiornato il 14-10-2017)

### **Contenuti del corso (abstract del programma):**

Il corso di Macchine Elettriche (M.E.) è rivolto agli allievi Ingegneri del Corso di Laurea in Ingegneria Industriale che sono interessati allo studio dei sistemi elettrici di potenza e all'elettronica industriale. I contenuti del corso riguardano principalmente i trasformatori e le macchine rotanti asincrone, sincrone e a collettore. Il corso di M.E. è propedeutico ai seguenti corsi: Azionamenti Elettrici, Costruzioni Elettromeccaniche. English version The Electrical Machines Course is aimed at students of the first Degree in Industrial Engineer who are interested in the study of electrical power systems and industrial electronics. The course contents mainly concern transformers and the rotating machines: asynchronous, synchronous and collector machines. The course of Electrical Machines is preparatory for the following courses: Electrical Drives and Electrical Machines Design.

### **Programma esteso:**

Parte generale. Definizione e classificazione delle M.E.; materiali impiegati nelle M.E.; potenza perduta e rendimento; fenomeni termici. Fondamenti di elettromagnetismo, la legge di Faraday, energia magnetica; circuiti magnetici in materiale ferromagnetico; magneti permanenti. Principi di conversione elettromeccanica: forze elettromagnetiche, coppie elettromagnetiche. I Trasformatori. Il trasformatore monofase: cenni costruttivi; modello e rete equivalente: il trasformatore ideale, il trasformatore reale; il trasformatore reale in regime sinusoidale; grandezze in p.u.; reti equivalenti semplificate; determinazione dei parametri del trasformatore; funzionamento a carico; rendimento; trasformatori in parallelo. Il trasformatore trifase: cenni sulla struttura dei nuclei; collegamenti fondamentali delle fasi; rapporto di trasformazione e indice orario; reti equivalenti del trasformatore trifase; spostamento del potenziale di centro stella; rotazione del potenziale di centro stella; determinazione dei parametri della rete equivalente; connessione a  $\Delta$  V?. I trasformatori speciali: l'autotrasformatore monofase; l'autotrasformatore trifase; variatore di fase; i trasformatori di misura: il trasformatore di tensione (TV), il trasformatore di corrente (TA). Macchine rotanti. Il campo magnetico nelle macchine rotanti: analisi del campo magnetico al traferro; i vettori di spazio; induttanze nelle macchine isotrope; induttanze nelle macchine anisotrope; equazioni delle tensioni; coppia elettromagnetica; il regime permanente. Avvolgimenti distribuiti reali: avvolgimenti con una cava per polo, con q cave per polo, avvolgimento a doppio strato; armoniche di spazio rotanti; f.e.m. indotte da campi armonici. La macchina asincrona: generalità e cenni costruttivi; macchina con rotore avvolto: modelli dinamici, modelli a regime permanente; macchina con rotore a gabbia; caratteristica meccanica; bilancio energetico; tipi di funzionamento

della macchina asincrona: motori asincroni: avviamento, armoniche di spazio e di tempo; generatori asincroni; funzionamento da freno; diagramma circolare; prove sperimentali. La macchina asincrona monofase: funzionamento a rotore fermo, calcolo delle coppie; funzionamento con rotore in movimento; prestazioni all'avviamento e a regime dei motori asincroni monofasi; inversione del moto. Motore asincrono lineare: principio di funzionamento, caratteristica meccanica, rete equivalente. La macchina sincrona: generalità e cenni costruttivi; macchina a poli salienti: modelli dinamici, modelli a regime permanente, teoria di Blondel, calcolo della coppia elettromagnetica e della potenza; macchina isotropa: modelli dinamici, modelli a regime permanente, rete equivalente di Behn-Eshemburg, calcolo della coppia elettromagnetica e della potenza. Motori sincroni: funzionamento a vuoto, a carico; avviamento; cenni sui motori sincroni a riluttanza e a magneti permanenti. Generatori sincroni: modelli per il regime permanente; il problema di Potier; caratteristiche esterne, di regolazione, di carico; generatore connesso ad una rete di potenza prevalente. Diagramma polare della macchina sincrona isotropa e a poli salienti. La regolazione dei generatori sincroni. Le macchine a collettore: macchine a collettore a c.a. calcolo della f.e.m. indotta e della coppia elettromagnetica. Macchine a c.c.: cenni costruttivi, reazione d'armatura e avvolgimento di compensazione; la commutazione, avvolgimento ausiliario; modello dinamico, modello per il regime permanente; sistemi di eccitazione; motori a c.c., caratteristica meccanica; avviamento; frenatura. Motori a collettore a c.a.: motore ad eccitazione serie. English version Classification of the electrical machines, electromechanical energy conversion. TRANSFORMERS. Basic operation principle and construction aspects. Theory of single-phase transformer, equivalent circuit, vector diagram, parameters and tests, parallel operation. Theory of 3-phase transformer, winding connections, groups of 3-phase transformers, parameters and tests. Losses and efficiency, Autotransformer. ROTATING MACHINE: Air gap m.m.f. distribution, rotating field, harmonic contents, vector-space theory, A.C. windings. INDUCTION MACHINE: Basic operation principle and construction aspects. Equivalent circuit, vector diagram, parameters and tests, mechanical characteristics, circular diagram. Induction motor for variable speed. Single-phase induction motor. Linear induction motor. SYNCHRONOUS MACHINE: Basic operation principle and construction aspects. Isotropic and anisotropic machine, d-q axes theory. Behn-Eschenburg and Potier equivalent circuits. Electrical equations. Synchronous reactance. Vector diagram. Active and reactive power regulation. Static and dynamic stability. Circular diagram. PM synchronous motor, reluctance synchronous motor. Measurement and tests. COMMUTATOR MACHINE: Basic operation principle and construction aspects. Armature reaction. Commutation. Mechanical characteristic of DC machines, torque and speed regulation. Dynamic behavior of DC motor. Losses and efficiency. Universal motor.

### **Modalità d'esame:**

L'esame prevede una prova orale.

### **Risultati d'apprendimento previsti:**

L'obiettivo del corso è quello di portare l'allievo ad un sufficiente grado di preparazione che gli consenta di conoscere le macchine elettriche ed il loro funzionamento ricorrendo anche all'analisi delle relative reti equivalenti. Il corso di M.E. è propedeutico ai seguenti corsi: Azionamenti Elettrici, Costruzioni Elettromeccaniche. The aim of this course is to provide students in electrical engineering with an adequate basic knowledge of electrical machines, for an understanding of their operating principles. The student should be able, also through mathematical tools, to evaluate problems related to the use of electric transformers, motors and generators and to correctly evaluate the supply and load limit conditions. The course of Electrical

Machines is preparatory for the following courses: Electrical Drives and Electrical Machines Design.

**Testi di riferimento:**

E.Chiricozzi, A.Ometto ?Lezioni di Macchine elettriche? Dispense;

P.C. Sen ?Principles of Electric Machines and Power Electronics? 2a ed. John Wiley, 1997;

B.Sguru, H.R.Hiziroglu ?Electric Machinery and Transformers? 3a ed. Oxford University Press, 2001

A.E.Fitzgerald, C.Kingsley Jr., A.Kusko ?Macchine elettriche? 7a ed. Franco Angeli, 2006

D.P.Kothari, I.J.Nagrath Electric Machines? 3a ed. McGraw Hill, 2007

I.Boldea, L.Tutelea, ?Electric Machines: Steady State, Transients, and Design with Matlab?, CRC Press, Taylor&Francis Group, New York, U.S.A., 2010

Turan G?nen, ?Electrical Machines with Matlab?, 2a Ed., CRC Press, Taylor&Francis Group, New York, U.S.A., 2012

J.B.Gupta, ?Theory and Performance of Electrical Machines?, S.K. Kataria&Sons Publisher, Reprint 2012

S.N.Vukosavic, ?Electrical Machines?, Springer, 2013.