Corso di Laurea Triennale in INGEGNERIA dell'ENERGIA
Corso di **MACCHINE ELETTRICHE** 9 CFU
(A.A. 2026/27)
PROGRAMMA

INTRODUZIONE

- Materiali usati nelle macchine elettriche e relative perdite.

TRASFORMATORI

- Generalità sulle particolarità costruttive.
- Trasformatore monofase: equazioni fondamentali e diagrammi vettoriali nel funzionamento
  - a vuoto
  - a carico
  - in corto circuito.
- Grandezze nominali.
- Circuito equivalente e circuito equivalente semplificato.
- Trasformatore ideale.
- Determinazione dei parametri del circuito equivalente in sede sperimentale: prova a vuoto e in corto circuito
- Variazione di tensione da vuoto a carico.
- Rendimento in funzione del grado di carico.
- Autotrasformatore monofase abbassatore. Potenza di dimensionamento. Autotrasformatore elevatore.
- Trasformatore trifase:
  - collegamenti delle fasi
  - rapporto spire e di trasformazione
  - indici orari, gruppi.
- Funzionamento del trasformatore trifase con carico equilibrato: circuito equivalente, grandezze ai morsetti, potenza nominale.

MACCHINE ELETTRICHE ROTANTI

- Caratteristiche costruttive generali delle macchine elettriche rotanti.
- Distribuzione di f.m.m. prodotta da una singola bobina (numero di poli, angoli elettrici e meccanici)
- Interazione tra campi di statore e rotore.
- Tipi di avvolgimenti: concentrati e distribuiti di tipo aperto (avvolgimenti a matasse, numero di cave).
- Schemi di avvolgimenti monofase e trifase a passo intero e raccorciato.
- F.m.m. prodotta da un avvolgimento concentrato.
- F.m.m. prodotta da un avvolgimento distribuito monofase. Coefficiente di avvolgimento.
- F.m.m. prodotta da un avvolgimento a passo raccorciato. Coefficiente di raccorciamento. Coefficiente di avvolgimento complessivo.
- F.m.m. prodotta da un avvolgimento distribuito trifase. Campo rotante (fondamentale e armoniche spaziali).
- Induzione al traferro.
- F.e.m. indotta a vuoto in un conduttore ed in più conduttori collegati in serie con induzione sinusoidale. Espressione generale della f.e.m. indotta.

MACCHINE ASINCRONE

- Generalità sulle particolarità costruttive.
- Funzionamento a rotore bloccato con avvolgimenti rotorici aperti ed in cortocircuito.
- Funzionamento con rotore in moto. Scorrimento. Equazione di rotore.
- Circuito equivalente di una fase con rotore in moto. Bilancio energetico. Perdite a vuoto.
- Circuito equivalente semplificato.
- Caratteristica meccanica: coppia di avviamento, funzionamento da motore, funzionamento alla velocità di sincronismo, funzionamento da generatore e da freno con scorrimento negativo, funzionamento da freno con scorrimento > 1, funzionamento con scorrimento $\pm\infty$.

- Grandezze nominali.
- Determinazione dei parametri in sede di collaudo.
- Motori a gabbia speciale (a sbarre profonde e a doppia gabbia). Circuito equivalente.
- Avviamento dei motori asincroni con inserimento di resistenze addizionali o con tensione di alimentazione ridotta.
- Regolazione della velocità dei motori asincroni con variazione di ampiezza/frequenza della tensione (casi a frequenza inferiore e superiore alla nominale).

MACCHINE SINCRONE

- Generalità sulle particolarità costruttive. Sistemi di eccitazione.
- Funzionamento a vuoto: f.m.m. di eccitazione, f.e.m indotta a vuoto, caratteristiche di magnetizzazione ed a vuoto.
- Funzionamento a carico:
  - fenomeni connessi al passaggio da vuoto a carico, reazione d'indotto
  - rappresentazione vettoriale di forze magnetomotrici e di grandezze elettriche
  - coppia elettromagnetica
  - potenza al variare dell'angolo γ.
- Diagrammi vettoriali:
  - rotore liscio: diagrammi di Potier e di Behn-Eschenburg.
  - rotore a poli sporgenti: teoria della doppia reazione (scomposizione di $\overline{M}_i$ in $\overline{M}_d$ e $\overline{M}_q$, definizione di $\overline{M}_r$);
  - diagrammi di Blondel (tracciato a partire da $E_0, , I, \ \gamma$ e da $V, , I, \ \varphi$) e delle due reattanze.
- Funzionamento in parallelo:
  - operazioni di inserzione
  - variazione della corrente di eccitazione
  - condizione generica di carico (funzionamento da generatore e da motore sopra- e sotto-eccitati)
  - espressione della coppia elettromagnetica (funzionamento da generatore e da motore, campo di stabilità).
- Diagramma polare della macchina a rotore liscio. Funzionamento a potenza elettrica costante.
- Potenza elettrica e coppia di una macchina a poli sporgenti non satura.

MACCHINE A CORRENTE CONTINUA

- Generalità sulle particolarità costruttive.
- Avvolgimento a collettore. Esempio di collegamenti in un avvolgimento semplificato. Vie interne.
- Funzionamento a vuoto: f.e.m. indotta in un conduttore, f.e.m. alle spazzole, spostamento delle spazzole.
- Funzionamento a carico:
  - fenomeni legati al funzionamento a carico
  - reazione d'indotto e suoi effetti (induzione al traferro, flusso per polo, commutazione).
- Coppia elettromagnetica e caratteristiche elettromeccaniche.
- Motore ad eccitazione indipendente e ad eccitazione serie.
  - caratteristica n(I)
  - caratteristica C(I)
  - caratteristica C(n)
  - regolazione della velocità (solo eccitazione indipendente)

TESTI CONSIGLIATI

- M. Andriollo G. Martinelli A. Morini A. Tortella: ***I TRASFORMATORI – Teoria ed Esercizi***, III edizione, Società Editrice Esculapio, Bologna, 2023.

- M. Andriollo G. Martinelli A. Morini A. Tortella: ***MACCHINE ELETTRICHE ROTANTI – Teoria ed Esercizi***, I edizione, Società Editrice Esculapio, Bologna, 2024.

ALTRO MATERIALE DIDATTICO (materiale grafico ed animazioni, esercitazioni, testi e soluzione dei compiti) alla pagina Moodle del corso di Macchine Elettriche 2026-2027.