

APPLICAZIONI ELETTRICHE – 9 CFU LM

Scorretti (72 ore)

INTRODUZIONE

Utilizzo di motori in c.a. a velocità regolabile: perché è importante, e quali sono le implicazioni tecniche ed economiche. Passaggio da motori in c.c. a motori a c.a. pilotati da inverter. Ripasso di nozioni elementari di elettrotecnica (potenza attiva, reattiva e distorcente, rifasamento) ed elettromagnetismo (campi E, B, H e D, equazioni di Maxwell, circuiti magnetici, materiali magnetici).

BASI DI CONTROLLI AUTOMATICI

Nozione di sistema lineare, trasformata di Laplace e funzioni di trasferimento. L'insieme dei poli e degli zeri sono la "carta d'identità" di un sistema dinamico, nozione di polo dominante. Schemi a blocchi. Nozione di controllo in retroazione e vantaggi associati al controllo in retroazione. Come tracciare diagrammi di Bode. Sistemi del primo e secondo ordine, e loro identificazione a partire dalla risposta al gradino. Regolatori PID. Progetto di regolatori per sintesi diretta a partire da specifiche nel dominio del tempo, e in frequenza. Come utilizzare Matlab/Simulink per simulare e progettare sistemi di controllo.

ELETTRONICA DI POTENZA

Interruttori di potenza comandati elettronicamente: differenza fra un carico R ed un carico RL, perché è necessario lavorare in commutazione, nozione di PWM, diodo di ricircolo. Materiali dell'elettronica: semiconduttori, elettroni e lacune, semiconduttori intrinseci e drogati. Giunzione PN, regione svuotata. Il diodo: analogia idrica, cenni sul funzionamento, equazione di Shockley. Capacità di giunzione. Tipi di diodi (raddrizzatori, fast/ultra-fast, Schottky, Zener, LED). Circuiti raddrizzatori e charge-pump. Transistor bipolari (BJT): struttura e cenni sul funzionamento. Perché la base deve essere sottile e debolmente drogata, e perché un BJT non è semplicemente l'unione di due diodi. Funzionamento in interdizione, saturazione e regione attiva. Come polarizzare un BJT in saturazione. MOSFET: principio di funzionamento. I MOSFET di segnale sono diversi dai MOSFET di potenza, body-diode. MOSFET standard, logic e smart-MOSFET. IGBT. Moduli di potenza standard e IPM. Utilizzo di MOSFET e IGBT nell'elettronica di potenza. Simulazione di circuiti elettronici con LTspice: nozioni di base, come aggiungere un nuovo dispositivo a partire dalla net-list fornita dal costruttore. Alimentazioni lineari. Alimentazioni switching: topologia Buck, Boost, Buck-Boost in CCM e DCM. In prima approssimazione un convertitore DC-DC è equivalente a un trasformatore ideale. Un mezzo ponte può funzionare come Buck e come Boost, nozione di frenatura rigenerativa, common DC-bus. Perché è importante proteggere il bus-DC. Funzione di trasferimento di un convertitore Buck, progetto di un regolatore di tensione e simulazione con Simulink/Simscape. Perché è necessario utilizzare un driver per pilotare dei MOSFET/IGBT in posizione bassa e alta, circuiti bootstrap e charge-

pump, dead-time. Esempi di driver: driver IR2110 e IRS21844. Analisi di application notes sulla differenza fra Buck sincrono e asincrono. Simulazione e realizzazione pratica di un convertitore Buck su breadboard utilizzando il driver IR2110, utilizzo di Simulink + Arduino (hardware-in-the-loop).

MOTORI IN CORRENTE CONTINUA

Struttura e principio di funzionamento, leggi BLI (= forza di Laplace) e BLV (= tensione indotta). Come leggere il datasheet di un motore in c.c. Perché i motori in c.c. con spazzole non si usano praticamente più. Defluxing con motori ad eccitazione indipendente. Modello dinamico e a regime di motori in c.c., calcolo della funzione di trasferimento, simulazione con Simulink/Simscape. Chopper di classe A, B, C, D ed E (ponte H monofase). Ancora sulla frenatura rigenerativa. Esempio: trazione ferroviaria, schema elettrico reale di una locomotiva elettrica BB-7200. Pilotaggio di motori in c.c. tramite regolatori in cascata (di corrente/coppia, velocità, posizione), servo-motori.

INVERTER

funzione degli inverter, definizioni di base, perché l'inverter è il game-changer nel controllo dei motori. Nozione di THD e perché è essenziale nelle reti elettriche. Rifasamento in presenza di potenza distorcente, filtri di rete ed induttanze di blocco. Case study: "sanificazione" della qualità dell'energia elettrica in un impianto di estrazione di idrocarburi con motori pilotati da inverter. Ponte H, analisi dei segnali in un ponte H con carico R, RL e in presenza di una forza contro-elettromotrice. Tecniche di modulazione per inverter VSI: onda quadra, modified sine, pure sine PWM. Simulazione di un ponte H con Simulink/Simscape. Inverter trifasi, space vector modulation.

MOTORI BRUSHLESS

Struttura e principio di funzionamento. Differenze fra BLDC e PMSM. Ipotesi di campo sinusoidale al traferro, nozione di vettore rappresentativo (= space vector), espressione dei campi B, H e F (= forza magneto-motrice) al traferro, ritorno sul teorema di Galileo Ferraris, interpretazione del vettore rappresentativo di una terna di correnti trifase, come passare da vettore rappresentativo a fasori nel caso di circuiti in regime sinusoidale. Perché in assenza di salienza per ottenere coppia massima il campo di statore e quello di rotore devono essere ortogonale, confronto fra motori c.c. brushed e brushless. Trasformata di Clarke-Park, modello dinamico e principio (qualitativo) del controllo FOC per motori brushless.

MOTORI A INDUZIONE

Struttura e principio di funzionamento. Nozione di slittamento, analogia con il trasformatore. Funzionamento del motore nell'ipotesi che l'induttanza di fuga di rotore sia trascurabile (i campi di rotore e di statore sono praticamente ortogonali) e

nel caso generale. Perché l'induttanza di fuga di rotore gioca un ruolo completamente diverso dall'induttanza di fuga di statore. Analisi in regime stazionario: dai vettori rappresentativi al circuito monofase equivalente riportato a statore. Coppia del motore, caratteristica meccanica, coppia massima e slittamento corrispondente, bilancio di potenza. Controllo V/f. Cenni qualitativi sul controllo vettoriale FOC e DTC.