UNIVERSITÀ DI PISA

ELETTRONICA

ROBERTO RONCELLA

Academic year	2021/22
Course	INGEGNERIA BIOMEDICA
Code	003II
Credits	12

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
ELETTRONICA ANALOGICA	ING-INF/01	LEZIONI	60	PAOLO MARCONCINI
SISTEMI DIGITALI	ING-INF/01	LEZIONI	60	ROBERTO RONCELLA

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze
Sistemi digitali:
Algebra booleana, fondamenti sulle reti logiche combinatorie e sequenziali, struttura del microcontrollore e programmazione in linguaggio macchina, elementi di elettronica digitale.
Sistemi analogici:
Funzionamento dei principali dispositivi elettronici. Tecniche di analisi dei circuiti elettronici analogici. Conoscenza dei principali circuiti elettronici analogici.

Modalità di verifica delle conoscenze
Esame orale e, in parte, richieste aperte in esercizi presenti nella prova scritta.

Capacità
Sistemi digitali
Dimostrazione di teoremi dell'algebra di Boole. Svolgimento di espressioni booleane. Sintesi di reti combinatorie. Sintesi di reti sequenziali sincrone (secondo modelli di Moore e Mealy) e semplici reti asincrone. Sintesi di sistemi digitali con tecniche ad hoc. Uso del linguaggio assembly (codifica, simulazione, programmazione) e capacita di gestione di periferiche. Soluzione di problemi di interfacciamento e uso di porte logiche elettroniche realizzate secondo varie tecnologie.
Sistemi analogici
Capacita' di analisi e sintesi di circuiti elettronici analogici comprendenti diodi, transistor e amplificatori operazionali, quali: reti a diodi senza e con memoria, stadi amplificatori, circuiti reazionati comprendenti amplificatori operazionali, filtri, oscillatori.

Modalità di verifica delle capacità
Prova scritta e, parzialmente, svolgimento di semplici esercizi durante l'esame orale.

Comportamenti
Frequenza assidua delle lezioni. Approfondimento autonomo delle tematiche presentate a lezione, anche con la consultazione dei testi di riferimento e del materiale messo a disposizione dai docenti. Svolgimento di numerosi esercizi tra quelli reperibili sul sito del corso (testi degli esami precedenti). Ascolto di sessioni di prove orali e uso del ricevimento con il docente per la soluzione dei dubbi rimasti.

Modalità di verifica dei comportamenti
Non è prevista una verifica specifica. Non è prevista la registrazione delle presenze. In genere un comportamento non corretto comporta maggiori difficoltà nel superamento sia della prova scritta sia dell'esame orale.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)
Sistemi digitali: corsi di matematica e fisica di base, fondamenti di informatica.
Sistemi analogici: corsi di matematica e fisica di base, principi di base dell'analisi dei circuiti.

Indicazioni metodologiche

Il corso, che attiene a fondamenti della disciplina, viene svolto in modo tradizionale, con lezioni frontali facenti uso di lucidi proiettati (per la parte digitale) e di spiegazioni alla lavagna (per la parte analogica) ed esercitazioni proposte dai docenti alla lavagna. Il conseguimento degli obiettivi formativi si ottiene con la partecipazione attiva dello studente, al quale è richiesta una buona dose di studio e riflessione autonoma. In generale la struttura della verifica cerca di stimolare la capacità di sviluppare strategie di "problem solving" in situazioni non standardizzate, combinando l'applicazione di diverse procedure risolutive strutturate (viste a lezione) con soluzioni ad hoc, e valorizzando in una certa misura l'intuizione.

Programma (contenuti dell'insegnamento)

Sistemi digitali

Il microcontrollore e la programmazione assembly.
Introduzione. Descrizione sommaria del funzionamento. Architettura di Von Neumann e Harvard. Periferiche principali. Dialogo tra processore e periferiche. Tipi di periferiche. Il meccanismo delle interruzioni. Circuiti ausiliari. Il watchdog timer. Introduzione al linguaggio assembly. Istruzioni con operandi. Esempi, senso del codice mnemonico. Tipologie di operandi. Label. Valutazione del valore di una label. Commenti. Direttive. Esempi e utilità. Tipologia dei contenitori di informazione presenti all'interno del microprocessore. Registri, puntatori, spazio di memoria esteso e di I/O. Rappresentazione dell'informazione. Valore di tipo istruzione. Codice operativo e operandi sorgente e destinatario. Valori numerici senza segno. Conversione binario-decimale nei due sensi. Rappresentazione binaria di numeri decimali: BCD. Rappresentazione dei caratteri. Rappresentazione dei valori con segno in modulo-segno e in complemento a 2. Registri particolari del microcontrollore. Program counter e status register. Tipi possibili di flag. Stack e stack pointer. Funzionamento dello stack come memoria dinamica di tipo LIFO. Le istruzioni push e pop. Analisi del manuale del linguaggio AVR. Notazioni. Flag presenti nelle CPU della famiglia AVR. Significato dei flag N e S e meccanismo di gestione in caso di overflow (V=1). Flag di mezzo riporto H. Flag di appoggio T. Il meccanismo delle interruzioni e significato del flag I. Indirizzamento degli operandi nelle istruzioni. Immediato, diretto, indiretto normale e con automodifica, spiazzamento. Istruzioni che accedono alla memoria di programmi. Salti. Analisi del set di istruzioni. Istruzioni di spostamento dell'informazione. Istruzioni aritmetiche. Istruzioni di confronto. Confronto multibyte e uso del flag Z. Istruzioni MUL, MULS e MULSU. Calcolo del range del risultato. Notazione frazionale (cenni). Istruzioni logiche AND, OR ed EOR. Complemento. Analisi delle istruzioni di manipolazione dei bit. Scorrimenti e rotazioni. Istruzione per la scrittura dei bit nei registri di I/O. Istruzioni di controllo. Salti assoluti e indiretti. Salti relativi e codice rilocabile. Chiamata a subroutine e return. Meccanismo di salvataggio del PC nello stack. Skip e salti condizionati. Nop, sleep e altre istruzioni. La struttura del loop (con poche iterazioni) basato su contatore e decremento. Strutture di programmazione realizzate in linguaggio macchina. Loop con numero elevato di iterazioni. Strutture con test iniziale o a conclusione della singola iterazione. Macro. Sottoprogrammi. Struttura di un sottoprogramma. Salvataggio dei registri usati. Interruzioni. Gestore delle interruzioni. Istruzione RETI. Procedura per il salvataggio dei flag. Interruzioni mascherabili e non mascherabili.

Algebra di Boole.
Definizioni e postulati fondamentali. Principio di dualità. Priorità convenzionali tra gli operatori dell'algebra di Boole. Esempi di algebre di Boole. Induzione perfetta. Teoremi principali con dimostrazione. Unicità del complemento, elemento neutro nell'altra operazione, idempotenza, assorbimento, somma con l'intersezione col complemento, complementarietà degli elementi neutri, associatività, teorema di De Morgan. Funzione booleana e strumenti per rappresentarla. Tabella di verità. Espansione di Shannon. Rappresentazione delle funzioni booleane tramite operatori (AND, OR, NOT). Gli operatori NAND e NOR e loro universalità. L'operatore XOR e sue proprietà.

Sintesi di reti combinatorie.
Metodologia generica per la sintesi di sistemi. Prestazioni di una rete combinatoria. Metrica tramite misura del numero di letterali dell'espressione e sua ragionevolezza. Sintesi ottima mediante forme normali SP e PS. Mintermini, implicanti e implicanti principali. Definizione e proprietà logiche. Necessità dell'uso di implicanti principali nella sintesi ottima SP. Liste di copertura irridondanti. Implicanti essenziali. Sintesi duale PS. Procedura per la sintesi di funzioni non completamente specificate. Mappe di Karnaugh e loro uso. Estensione del metodo delle mappe di Karnaugh a funzioni di 5 e 6 variabili. Il problema dell'ottimizzazione in presenza di più uscite. Reti combinatorie particolari. Reti algebriche. L'algoritmo della somma e il full-adder. Tabella di verità e realizzazione a porte. Sommatore ripple-carry. Reti algebriche. Sottrattore. Somma-sottrattore. Comparatore. Reti di codifica e decodifica. Decoder n-2^n. Decoder BCD-sette segmenti. Decoder con abilitazione. Modularità. Uso del decoder per realizzare funzioni combinatorie. Encoder. Encoder 2^n-n normale e con priorità. Encoder di posizione Gray. Costruzione di un codice Gray. Codifica e decodifica Gray/binario. Multiplexer. Reti generiche con multiplexer. Realizzazione modulare di un multiplexer.

Reti sequenziali.
L'elemento bistabile. Latch SR e suo funzionamento. Latch SR con abilitazione; latch DE. Il problema della trasparenza. Approcci per evitare la trasparenza nelle reti sequenziali. Flip flop D master-slave. Schema e sistemi per generare il clock a 2 fasi non sovrapposte. Uso di inverter con soglia differenziata e uso del latch SR. Altri tipi di flip-flop. DE-FF, T-FF, JK-FF. Equivalenza funzionale tra i diversi tipi di flip-flop. Realizzazioni circuitali che permettono di passare da uno all'altro. Applicazione dei flip-flop: i registri. Diverse modalità di accesso dei registri. Ingresso e uscita seriale/parallelo. Realizzazione di un registro universale. Uso di un registro SIPO per realizzare riconoscitori di sequenza interallacciati e non interallacciati. Contatori. Definizioni e tipologie. Contatori modulo n. Contatori con saturazione. Ingressi ausiliari: reset, load, up/down, enable. Divisori di frequenza. Contatori sincroni e versione modulare ripple carry. Contatori modulo n, con n diverso da una potenza di 2. Ring counter e Johnson counter.

Introduzione alle memorie.
Tipi e classificazione delle memorie. Memorie volatili e non, statiche e dinamiche, ad accesso casuale o sequenziale. Interfaccia elettrica di una SRAM. Porta a 3 stati. Temporizzazione delle memorie. Ciclo di lettura e scrittura. Architettura delle memorie. Indirizzamento bibimensionale. Vantaggio nello spezzare la selezione in selezione di riga e colonna. Confronto tra le complessità delle decodifiche. Struttura della cella di memoria. Realizzazione di moduli di memoria aumentando la dimensione di parola W, il numero di parole N oppure entrambe le entità. Modelli di reti sequenziali sincrone. Modello di Mealy e Mealy sincronizzato. Modello di Moore. Analisi di reti sequenziali: dal circuito al grafo delle transizioni. Esempi di reti di Mealy e Moore.

Sintesi di macchine a stati.
Descrizione: da linguaggio naturale a descrizione formale. Grafo di flusso, tabella delle trasizioni. Cenni agli HDL. Esempio di sintesi di contatore modulo 4 con enable e reset. Uso di flip flop diversi dal D. Tabella di applicazione del JK e vantaggi nell'uso di questo FF.

Macchine algoritmiche.
Evoluzione delle macchine a stati. Parte operativa e parte controllo. Sequenziatore con registro e sequenziatore con contatore.

Periferiche del microcontrollore.
Introduzione alle porte di I/O. Features e descrizione delle caratteristiche principali. Sezione di uscita, di ingresso e di pull. Descrizione dettagliata del funzionamento della circuiteria del pin. Totem pole, wired AND/OR. Possibilità di funzionamento in logica inversa. Limitazione dello slew-rate. Sezione di ingresso. Schmidt trigger e sincronizzatore. Disabilitazione degli ingressi. Sezione di pull. Pull-up/down e bus-keeper. Descrizione dei registri. Interruzioni del pin. Configurazione multipin. Porte virtuali. Comparatore analogico. Descrizione dettagliata del circuito. Analisi dei registri di configurazione. L'uso del generatore di corrente costante per l'esecuzione di confronti con sensori a resistenza variabile.

Le macchine sequenziali asincrone.
Il modello di funzionamento. Problematiche insite nella realizzazione del macchine asincrone. Condizioni cautelative per una progettazione affidabile. Rigenerative; no transizioni multiple; transizioni solo dall'equilibrio; stati in sequenza adiacenti; no alee; equilibrio raggiunto in numero limitato di passi; ritardi per alee essenziali. Il caso del D-FF positive edge triggered. Grafo di flusso, codifica degli stati, progettazione della rete combinatoria per lo stato futuro senza alee.

Introduzione all'elettronica digitale.
Caratteristiche statiche dei circuiti elettronici digitali. Funzione logica, coerenza, rigenerazione, capacità di pilotaggio ed effetto caricante, potenza dissipata. Caratteristiche dinamiche. Tempo di ritardo, di salita e discesa. La caratteristica di trasferimento di un invertitore e determinazione dei parametri statici caratteristici di una famiglia logica. Interfacciamento tra porte. Relazioni su tensioni e correnti. Caso del pull-up e pull-down. Introduzione ai componenti elettronici per circuiti digitali. Diodo. Analisi di circuiti a diodi. Porte AND e OR a diodi. Dimostrazione

del corretto funzionamento. Descrizione del funzionamento ai terminali del transistore bipolare. Zone di lavoro. Interdizione e zona attiva diretta. Condizioni da verificare. Zona di funzionamento del BJT attiva inversa. Zona di saturazione. Condizioni da verificare.
Invertitore RTL. Schema. Caratteristica di trasferimento. Calcolo dei margini di rumore. Valutazione del fan-out. Logiche complesse con RTL. NOR. Limiti statici e dinamici della tecnologia RTL. Invertitore modificato con aggiunta di resistenza in base e invertitore pnp.
Tecnologia TTL. Motivazioni, schema elettrico. Invertitore TTL. Stato dei transistori in condizioni statiche, con ingresso alto o basso. Porte TTL complesse AOI.
I dispositivi MOS, n e p. Zone di funzionamento; relazioni tra corrente IDS e tensioni applicate VGS e VDS. Invertitore CMOS. Caratteristica di trasferimento. Individuazione delle zone di funzionamento di ciascuno dei transistori e metodologia per individuare i vari tratti della curva. Porte CMOS complesse. Prospettive del CMOS.

Sistemi analogici.

Principi di base

Concetto di resistenza vista e di linearizzazione di una rete. Conduttori, isolanti e semiconduttori. Semiconduttori intrinseci. Concetto di massa efficace, elettrone e lacuna, legge dell'azione di massa, corrente di diffusione e di drift. Drogaggio di tipo n e p con atomi donatori e accettori.

Diodi e reti a diodi.

Introduzione al diodo. Analisi di una giunzione pn in equilibrio, in polarizzazione diretta e inversa. Legge di Schockley. Caratteristica di funzionamento del diodo a giunzione. La giunzione pn in breakdown. Dipendenza dalla temperatura. Polarizzazione di un diodo. Metodi per il calcolo del punto di riposo del diodo. Linearizzazione di un diodo. Circuiti tagliatori (o clippers). Utilizzo di circuiti a diodi per realizzare una caratteristica ingresso-uscita lineare a tratti. Rivelatore di picco positivo e negativo. Rivelatore di inviluppo. Circuiti fissatori (o di clamping). Rivelatore picco-picco. Blocchi componenti un alimentatore. Parametri di merito di un raddrizzatore. Raddrizzatore a singola semionda, a doppia semionda con trasformatore a presa centrale, a doppia semionda con ponte di Graetz. Raddrizzatore a singola e doppia semionda con filtro capacitivo. Regolatore di tensione con diodo Zener.

Transistori e stadi amplificatori.

Presentazione delle varie tipologie di amplificatori. Modelli circuitali a parametri f, h, g e r. Amplificatori di tensione, corrente, transconduttivi e transresistivi ideali. Transistore BJT npn e pnp: struttura e principio di funzionamento, circuito equivalente per grandi segnali di Ebers-Moll, caratteristiche di ingresso e uscita a emettitore comune. Utilizzo dei BJT come amplificatori. Circuito equivalente per piccoli segnali di un BJT. Reti di polarizzazione dei BJT, calcolo del punto di riposo. Stadi ad emettitore comune, a collettore comune e a base comune. Loro analisi per piccoli segnali: calcolo dell'amplificazione di tensione e corrente, resistenza di ingresso e uscita. Concetto di buffer di tensione e di corrente. Transistore MOSFET a canale n e a canale p: struttura e principio di funzionamento, varie zone di funzionamento, caratteristiche di uscita e transcaratteristica. Transistori JFET a canale n e a canale p. Utilizzo dei FET come amplificatori. Circuito equivalente per i piccoli segnali dei transistori FET. Circuito di polarizzazione, calcolo del punto di riposo. Stadi a source comune, a drain comune e a base comune. Loro analisi per piccoli segnali: amplificazione di corrente, amplificazione di tensione, resistenza di ingresso e uscita. Analisi del comportamento in frequenza degli amplificatori: studio della funzione di trasferimento. Metodo della resistenza vista per il calcolo dei poli. Calcolo degli zeri per ispezione. Ipotesi di separazione delle bande.
Considerazioni sugli amplificatori differenziali: guadagno differenziale e a modo comune. Accenno agli specchi di corrente.

Amplificatori operazioni e circuiti basati su amplificatori operazionali.

Introduzione sull'amplificatore operazionale: parametri ideali e reali. Teoria classica della reazione, effetti della reazione sui parametri del circuito. Metodo del cortocircuito virtuale. Amplificatore non invertente, buffer, amplificatore invertente, amplificatore differenziale realizzato reazionando un amplificatore operazionale, integratore, derivatore, sommatore invertente e non invertente, convertitore di impedenza, negative impedance converter (NIC), emulatore di induttanza. Non idealita' dell'amplificatore operazionale. Filtri: filtri attivi passa-basso e passa-alto del primo ordine, filtri passa-banda e elimina-banda non selettivi, analisi di alcuni filtri del secondo ordine. Oscillatori: condizioni di Barkhausen all'innesco e a regime, oscillatore a ponte di Wien con amplificatore operazionale.

Bibliografia e materiale didattico

Sistemi digitali: D. D. Givone, "Digital Principles and Design", McGraw Hill, 2003; Mano M. Morris, Charles R. Kime, "Reti logiche", Pearson Addison-Wesley, 2008; N. Balabanian, B. Carlson, "Digital Logic Design Principles, John Wiley & Sons, 2001; www.microchip.com datasheet dei microcontrollori della famiglia AVR e del relativo linguaggio assembly; le slides presentate a lezione sono disponibili sul sito del docente.
Elettronica analogica: J. Millmann, A. Grabel, P. Terreni, "Elettronica di Millmann", McGraw-Hill;
M. H. Rashid, "Microelectronic Circuits: Analysis & Design", Cengage Learning (la versione tradotta in italiano "Fondamenti di elettronica" non è attualmente disponibile in commercio); A. S. Sedra, K. C. Smith, "Circuiti per la microelettronica", Edises; R. C. Jaeger, T. N. Blalock, "Microelettronica", McGraw-Hill; P. Horowitz, W. Hill, "L'arte dell'elettronica", Zanichelli;
materiale presente sul sito del docente (http://brahms.iet.unipi.it/marconcini/marconcini.html), incluse le foto e registrazioni delle lezioni svolte durante alcuni anni accademici.

Indicazioni per non frequentanti

Il corso prevede la frequenza. I contenuti possono comunque essere studiati in autonomia, usando le tracce presenti sul sito del docente, il registro delle lezioni compilato settimanalmente, anno per anno, i libri di testo ed il materiale indicato. A partire dalla pagina web del corso possono trovarsi poi tutte le prove di esame (scritto) assegnate nel passato, corredate dalla soluzione.

Modalità d'esame

Sistemi digitali
L'esame prevede il superamento di una prova scritta (5 esercizi che assegnano fino a 33 punti) da svolgere in 1 ora. Il raggiungimento della sufficienza nella prova scritta è necessario per presentarsi all'esame orale, nella stessa sessione o in una successiva, comunque entro 6 mesi non prorogabili. L'esame orale tipico prevede la risposta ad alcuni quesiti, comprensiva di una eventuale parte numerica e ha una durata di circa mezz'ora.
Sistemi analogici
L'esame prevede il superamento di una prova scritta (5 esercizi che assegnano fino a 33 punti) da svolgere in 1h:50'. Il raggiungimento della sufficienza nella prova scritta è necessario per presentarsi all'esame orale, nella stessa sessione o in una successiva, comunque entro 6 mesi

non prorogabili. L'esame orale tipico prevede la risposta ad alcuni quesiti, comprensiva di una eventuale parte numerica e ha una durata di circa mezz'ora.

Altri riferimenti web

Gli argomenti affrontati nel corso possono essere approfonditi (quindi dopo lo studio preliminare) anche ricorrendo al moltissimo materiale di buona qualità reperibile in rete. L'uso proficuo di questo materiale richiede una buona dose di spirito critico e l'uso dei comuni criteri di valutazione dell'attendibilità di quanto trovato. Si suggeriscono siti ospitati in istituzioni universitarie o di enti di ricerca, siti di produttori e distributori di componenti o sistemi elettronici, siti di editori di letteratura scientifica di livello universitario. Può essere utile anche l'uso di enciclopedie on line come la versione inglese (solitamente più completa e accurata per le discipline tecniche) di Wikipedia, con la cautela suggerita dal fatto che questi strumenti, per scelta editoriale, non costituiscono fonte primaria, ma rimandano sempre ad altri documenti pubblicati.

Ultimo aggiornamento 16/07/2021 12:50