



POLITECNICO DI BARI



DIPARTIMENTO DI
ELETTROTECNICA
ED ELETTRONICA

CdL Specialistica in Ingegneria delle Telecomunicazioni

Corso di Misure sui Sistemi di TLC

Anno Accademico 2005-2006

dott. ing. Francesco ADAMO

Programma preliminare del corso

Il presente programma, distribuito prima dell'inizio delle lezioni per illustrare la logica e le finalità del corso, potrà subire piccole modifiche a seconda delle esigenze che si evidenzieranno durante il quadrimestre. Al termine delle lezioni verrà quindi distribuito un programma definitivo che integrerà le eventuali modifiche.

A) FONDAMENTI SULLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Fondamenti sulla strumentazione di misura; vantaggi e svantaggi della strumentazione analogica e di quella digitale. Struttura generale di un sistema di elaborazione numerica del segnale: SHA, ADC, DAC, generatore di riferimento di tensione, generatore della base dei tempi e rispettive inaccurattezze. Il processo di conversione A/D; il campionamento ideale e quello reale; la quantizzazione e la codifica dell'informazione. Caratteristica di trasferimento di I/O statica dell'ADC ideale; differenze tra ADC a troncamento e ADC ad arrotondamento. Principali architetture degli ADC (a rampa singola e multipla, ad approssimazioni successive, flash, pipeline, sigma-delta). Principali parametri di errore degli ADC reali: DNL, INL, SNR, SINAD, ENOB, SFDR e loro dipendenza dalla frequenza del segnale di ingresso. Classificazione degli errori di misura negli strumenti: errori sistematici ed errori casuali, statici e dinamici (richiami). Incertezza di una misura diretta eseguita con strumentazione digitale: il caso del multimetro digitale, formula binomia. Identificazione delle diverse componenti di errore (di guadagno, di offset, di non linearità e di quantizzazione). Errori della base dei tempi degli strumenti digitali: errore della velocità di sweep, di ritardo del trigger, di jitter del trigger, rumore di fase. Effetti dei singoli termini di errore sul campionamento di un segnale. Interpretazione delle specifiche di errore degli strumenti di misura. Caratteristiche metrologiche statiche e dinamiche degli strumenti.

B) STRUMENTAZIONE DA LABORATORIO - Parte I: L'OSCILLOSCOPIO E IL GENERATORE DI FUNZIONI

L'oscilloscopio analogico e digitale (DSO, DPO, MSO e a campionamento); principio di funzionamento e loro uso per l'analisi dei segnali nel dominio del tempo. Blocchi costituenti fondamentali dell'oscilloscopio: sezioni verticale, orizzontale, di trigger. Il problema della sincronizzazione della base dei tempi e l'uso del controllo di holdoff. Topologia degli ingressi dell'oscilloscopio: ingressi single-ended a terra, single-ended fluttuanti, differenziali. Come eseguire misure simultanee con l'oscilloscopio: esempi pratici della diversa topologia di collegamento e del diverso numero di canali necessari a seconda del tipo di uscita della sorgente di stimolo. Il problema della scelta delle sonde: sonde passive e sonde attive ad ampia banda; sonde attenuanti e loro uso. Il modo XY dell'oscilloscopio e il suo uso per visualizzare curve caratteristiche di porta e di trasferimento di bipoli e doppi bipoli. Il generatore di funzioni a sintesi digitale diretta (DDS) e il suo uso per la generazione di segnali periodici di diverse caratteristiche. Il comportamento dell'oscilloscopio in regime variabile. Il comportamento lineare dinamico dello strumento e dei fili di collegamento.

C) STRUMENTAZIONE DA LABORATORIO - Parte II: L'ANALIZZATORE DI SPETTRO e L'ANALIZZATORE DI RETI

Introduzione all'analisi spettrale dei segnali. L'analizzatore di spettro analogico a supereterodina (o scalare): principio di funzionamento, campi di applicabilità e principali sorgenti di inaccuratezza. L'analizzatore di spettro digitale (o vettoriale) e misto analogico/digitale: principio di funzionamento e confronto di prestazioni con l'analizzatore di spettro analogico. L'analizzatore di reti: tipo scalare e tipo vettoriale; sue caratteristiche essenziali e principali fonti di inaccuratezza.

D) STRUMENTAZIONE DA LABORATORIO - parte III: STRUMENTAZIONE DI MISURA PROGRAMMABILE E DISPOSITIVI DAQ

Generalità sull'hardware dei sistemi ATE con cenni agli standard industriali più diffusi (IEEE488, VXI, PXI); approfondimento delle caratteristiche dello standard IEEE488 (GPIB); generalità sul software di controllo dei sistemi ATE (standard SCPI, VISA, IVI) e principali ambienti di sviluppo software disponibili (MS Visual Basic/VC++, NI LabVIEW, MATLAB, ecc.); lezioni interattive in aula con strumentazione programmabile GPIB (oscilloscopio digitale e generatore di funzioni DDS). Architettura dei dispositivi di acquisizione dati (DAQ) general purpose per personal computer: ingressi analogici, uscite analogiche, I/O digitale, contatori; modalità di campionamento degli ingressi analogici (simultaneo e multiplexato). Funzione del PGIA (Programmable Gain Instrumentation Amplifier).

E) MISURE TIPICHE SUI SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI

Misure di potenza RF: tecnica bolometrica; elementi e montaggi bolometrici (barretter e termistori). Cause di errore nei metodi bolometrici: errori di disadattamento, di sostituzione e di efficienza della terminazione. Sistemi di misura bolometrici a ponte di Wheatstone e ad anello di corrente autobilanciante. Misure di potenza nei canali adiacenti (ACP). Misure di occupazione di banda. Misure di accuratezza della modulazione. Lo EVM (Error Vector Magnitude) quale parametro di riferimento per la bontà della modulazione. Spettro di errore. Misure della figura di rumore; richiami sulla figura di rumore e sulla temperatura di rumore; caratteristiche di rumore di reti a due porte. Sorgenti di rumore e loro uso per le misure di figura di rumore. Il metodo "Y-Factor". Strumentazione per la misura della figura di rumore: analizzatori della figura di rumore, analizzatori di spettro, analizzatori di reti, misuratori di potenza e voltmetri a vero valore efficace.

F) ESERCITAZIONI DI LABORATORIO

- Introduzione all'uso di LabVIEW per il controllo della strumentazione automatica di misura (GPIB) e per l'acquisizione dati.
- Riflettometria nel dominio del tempo (TDR) con oscilloscopio digitale;

Testi consigliati

- [1] Robert A. Witte, *Electronic Test Instruments – Analog and Digital Measurements*, Prentice Hall, 2nd ed., 2002, ISBN 0-13-066830-3
- [2] Robert A. Witte, *Spectrum and Network Measurements*, Noble Publishing Corporation, 1st ed., 2001, ISBN 1-884932-16-9
- [3] Application Notes varie dei maggiori produttori di strumentazione di misura progressivamente consigliate durante il corso;
- [4] Materiale didattico autonomamente preparate dal docente disponibile nella cartella FTP dedicata al corso;
- [5] Appunti di lezione;

I testi consigliati sono da intendersi come utile riferimento e non da studiare integralmente, poiché ciascuno di essi contiene molte parti che non sono oggetto del corso. Per la preparazione dell'esame si consiglia invece di basarsi soprattutto sugli appunti delle lezioni, interpellando il docente nell'orario di ricevimento per ogni eventuale chiarimento in merito.

Ricevimento studenti

L'orario di ricevimento ufficiale dell'ing. Adamo cambia nel corso dell'anno in base ai rispettivi impegni accademici (soprattutto didattici); egli è comunque a disposizione degli studenti per spiegazioni e chiarimenti sul corso tutti i giorni, presso il Laboratorio Ricerca Misure o presso Sala Misure, entrambi situati al secondo piano del DEE. Oltre che personalmente egli può essere interpellato per posta elettronica all'indirizzo adamo@misure.poliba.it.

Diffusione di avvisi e/o di materiale didattico

Tutte le notizie inerenti il corso (ad esempio avvisi riguardo date e collocazione di lezioni ed esami, calendario del laboratorio, ecc.), nonché tutto il materiale didattico di riferimento sono pubblicate, appena disponibili, nella cartella FTP dedicata al corso; l'accesso a questa cartella si ottiene digitando l'indirizzo

<ftp://mstlc2006:guest@misure.poliba.it>

in comuni browser internet (MS Internet Explorer, Mozilla e simili), oppure configurando un client FTP con i seguenti parametri:

- *indirizzo server:* **misure.poliba.it**
- *nome utente:* **mstlc2006**
- *password:* **guest**

Inoltre è disponibile anche una mailing list (denominata *mstlc2006*) dedicata al corso alla quale sono inviati tempestivamente tutti gli avvisi ad esso inerenti; le istruzioni per l'iscrizione sono contenute nel file "Istruzioni_Mailing_List.pdf" della cartella che si apre non appena ottenuto l'accesso al server FTP con le modalità sopra indicate.

Come sostenere l'esame

L'esame consiste in un'unica prova orale, che prevede domande sul programma svolto a lezione, esercizi di verifica dello stesso tipo di quelli svolti nelle esercitazioni numeriche in aula.

E' richiesta, in particolare, una buona conoscenza delle nozioni e delle problematiche pratiche emerse nelle esercitazioni; di conseguenza è consigliabile far trascorrere il minor tempo possibile tra la frequenza del laboratorio e l'esame.

L'esame può essere sostituito da due prove d'esonero, la prima nel periodo di interruzione per esoneri del quadrimestre nel quale il corso è tenuto e la seconda al termine dello stesso quadrimestre; ambedue le prove sono valutate in trentesimi e il voto finale è dato dalla media aritmetica dei due voti.

In caso di assenza ad una delle due prove d'esonero, quest'ultima è recuperabile mediante prova orale sostitutiva della relativa parte di programma.

Il presente programma è disponibile in formato PDF nella cartella FTP dedicata al corso.