UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Electronic Experimentation

2627-3-E3001Q071

Obiettivi

Alla base di ogni esperimento di fisica c'è un processo fondamentale: la conversione degli eventi fisici in segnali elettrici, che vengono poi trasformati in sequenze di numeri analizzabili. Questo stesso principio si applica a molti dei sistemi con cui si interagisce quotidianamente, spesso senza rendercene conto. Basti pensare alla diagnostica di un'automobile o ai telefoni cellulari, capaci di elaborare onde radio, suoni, temperature e accelerazioni.

In questo corso ci immergeremo nella costruzione completa di un moderno sistema di acquisizione dati per un rivelatore.
Studieremo e costruiremo ogni elemento di questa catena.
Partiremo dal microprocessore e dal suo convertitore analogico-digitale (ADC), che ha il compito di generare stringhe numeriche dai segnali analogici e trasferirle ad un PC.
I segnali analogici arriveranno dall'uscita di un amplificatore, che realizzeremo per gestire al meglio i segnali prodotti da un rivelatore.
Acquisiremo e metteremo in pratica tutte le nozioni di base necessarie per raggiungere questo scopo, dotandoci degli strumenti per comprendere e implementare ogni fase del processo.

DD1: conoscenza e comprensione. Comprendere i principi fondamentali dei circuiti elettronici analogici e digitali, nel contesto dell'acquisizione di segnali da sensori e rivelatori.
DD2: capacità di applicare. Sviluppare programmi (firmware) per microcontrollori. Progettare e caratterizzare circuiti elettronici analogici basati su amplificatori operazionali (opamp). Utilizzare correttamente la strumentazione di laboratorio (generatore di segnale, oscilloscopio, alimentatori) per la misura e la caratterizzazione dei circuiti.
DD3: autonomia di giudizio. Valutare criticamente i risultati sperimentali e diagnosticare malfunzionamenti nei circuiti e programmi realizzati.
DD4: abilità comunicative. Comunicare in modo chiaro e strutturato i risultati dell’attività sperimentale attraverso una relazione scritta ed un colloquio orale.
DD5: apprendimento autonomo. Sviluppare la capacità di orientarsi autonomamente nella documentazione tecnica (datasheet, reference manual, note applicative).

Una descrizione più dettagliata degli scopi e modalità del corso la si trova descritta nella seguente pubblicazione

(cui si può accedere con le credenziali campus):
A laboratory course on detector readout for undergraduate students of experimental physics

Contenuti sintetici

Il corso affronta gli elementi chiave di una catena di misura da un generico sensore o rivelatore:

- Amplificatori e sagomatori (shaper) di segnale, basati su amplificatori operazionali (opamp), fondamentali per preparare il segnale analogico "grezzo" alla conversione in digitale;
- Convertitori analogico-digitali (ADC), per trasformare i segnali analogici in dati numerici;
- Microcontrollori, per gestire via firmware il sistema di trigger (ovvero, il meccanismo che decide quando acquisire un dato) e la trasmissione dei dati;
- PC con Python o MATLAB, per l'analisi e la visualizzazione dei dati acquisiti.

L'applicazione pratica del corso sarà la costruzione di una catena di misura completa, dal sensore al PC, per uno dei rivelatori più moderni e diffusi nell'ambito degli esperimenti in fisica delle particelle: il SiPM (Silicon Photomultiplier), o Fotomoltiplicatore al Silicio, un sensore di luce capace di generare un segnale elettrico misurabile anche in risposta a un singolo fotone incidente.

Programma esteso

Microcontrollore e firmware:

- Architettura ARM Cortex: GPIO, timer, interrupt
- Comunicazione seriale con PC (UART): dati ASCII e binari
- Acquisizione con ADC integrato
- Gestione avanzata della memoria: DMA e buffer circolare

Elaborazione e analisi dei dati:

- Acquisizione di segnali e trigger
- Analisi e visualizzazione dati con Python/MATLAB

Elettronica analogica:

- Amplificatori operazionali: configurazioni invertente e non invertente
- Diodi e fotodiodi al silicio; LED e SiPM (Silicon Photomultiplier)
- Circuiti sagomatori (shaper) e rivelatori di picco

Integrazione del sistema:

- Osservazione di segnali di singolo fotone con SiPM
- Costruzione e operazione della catena di acquisizione completa

Prerequisiti

Nozioni di base di elettricità e magnetismo e loro applicazioni in circuiti elementari.
Familiarità con l'ambiente di laboratorio acquisita nei corsi precedenti.

Modalità didattica

Ci sono due sessioni di laboratorio a settimana, di 3.5 o 4 ore ciascuna, secondo il calendario didattico.
Il numero di ore totali è 96.

Modalità erogativa: quando necessario introdurre nuovi argomenti, la prima parte della sessione (circa 1 ora) è dedicata a una lezione frontale tenuta in laboratorio. Su richiesta degli studenti, la lezione può essere tenuta in inglese.
Modalità interattiva: le restanti ore di ciascuna sessione si svolgono in modalità interattiva attraverso attività pratiche di laboratorio in presenza.

Nella prima metà del corso, ogni studente lavora individualmente con il microcontrollore per realizzare il sistema di conversione dei segnali e della loro trasmissione al PC.
Nella seconda metà del corso, si formano gruppi di 2-3 studenti per lavorare su amplificatori e SiPM.

Materiale didattico

Dispense e manuali:

- Dispense, che saranno rese disponibili sulla pagina del corso in sincronia con le lezioni
- Manuale e datasheet del microcontrollore di famiglia ARM Cortex-M
- Datasheet di amplificatori operazionali (opamp) e fotorivelatore (SiPM)

Software:

- Ambiente di sviluppo (IDE) per microcontrollori STM32
- Ambiente di sviluppo per Python (Thonny o altro editor a piacere)
- In alternativa: MATLAB (disponibile con licenza campus)

Attrezzatura da laboratorio:

- Scheda di sviluppo per microcontrollori STM32 Nucleo
- Scheda per SiPM e amplificatori, realizzata apposta per il corso
- Strumentazione di laboratorio: oscilloscopi, generatori di segnale, alimentatori, cavi

Si raccomanda agli studenti di portare un PC portatile personale su cui installare il software indicato.
Un numero limitato di postazioni PC è disponibile in laboratorio per chi ne fosse sprovvisto.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Il corso si svolge al primo semestre.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame è composto da due parti:

- Una relazione scritta, che descriva gli aspetti tecnici delle esperienze affrontate in laboratorio, i dettagli notevoli dei programmi sviluppati, e i risultati delle misure di caratterizzazione;
- Un esame orale, dove si verificherà la comprensione degli argomenti teorici del programma del corso, e si discuteranno eventuali osservazioni sul contenuto della relazione.

La relazione può essere scritta individualmente o in gruppo fino a 3 persone, e va consegnata via email almeno 4 giorni lavorativi prima della data dell'esame orale.
L'esame orale è obbligatorio e individuale, della durata indicativa di 45-60 minuti.

Il voto finale terrà conto di:

- Frequenza e impegno dimostrati durante l'attività di laboratorio;
- Qualità delle soluzioni tecniche sviluppate e dei risultati ottenuti, come descritti nella relazione;
- Padronanza degli argomenti teorici dimostrata nel corso del colloquio finale.

L'esame può essere sostenuto in italiano o in inglese.

Orario di ricevimento

Non sono previsti orari di ricevimento fissi.
Gli studenti possono contattare i docenti via email per concordare un appuntamento.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ