Laboratorio di Fisica II

Misure su un preamplificatore

1 Scopo dell'esperimento

Si vogliono misurare le caratteristiche principali di un preamplificatore a basso rumore per rivelatori a stato solido, nella fattispecie il p.a. di corrente MSD2 progettato per rivelatori a silicio a microstrip.

Le caratteristiche da studiare sono il **guadagno** espresso come rapporto V_{out}/Q_{in} (l'unità di misura appropriata è il mV/fC dato che il segnale atteso in 300 μm di silicio è di 4 fC), la **banda passante** ottenuta dalla risposta in frequenza a segnali sinusoidali, il **tempo di salita** ottenuto dalla risposta a un gradino di tensione, la **linearità** della risposta in funzione della carica iniettata Q_{in}, e una stima del **rumore** equivalente in carica (ENC) all'ingresso (l'unità di misura appropriata è il fC).

Le misure vanno poi confrontate con alcune **simulazioni** del comportamento del preamplificatore ottenute mediante il programma **PSpice**.

2 Materiale a disposizione

- Preamplificatore quadruplo MSD2 montato su basetta
- 2 alimentatori in continua fino a 10 V (ad es. due HP E3610A, oppure un alimentatore triplo Eutron)
- Generatore di impulsi/funzioni HP 8116A (50 MHz), qui utilizzato esclusivamente per generare segnali sinusoidali
- Generatore di impulsi HP 8082A oppure LeCroy 9210 (250 MHz)
- Oscilloscopio da almeno 200 MHz
- alcuni condensatori compresi nell'intervallo 1–50 pF
- Amplificatore NIM a guadagno fisso (CAEN N412 oppure LeCroy 612A)
- Discriminatore con soglia minima 30 mV (CAEN C96 oppure LeCroy 623B oppure CAEN N417)
- Scaler CAEN N145

- Attenuatori HP355C e/o HP355D, splitter resistivi
- cavi coassiali
- per la simulazione: Programmi Schematics, PSpice, Probe (MicroSim Corporation) installati su PC Pentium sotto Windows

3 Traccia per l'esecuzione dell'esperimento

3.1 Misure sul preamplificatore

Osservazioni generali:

Per tutte le misure, tranne ove diversamente indicato, vanno usate le tensioni di alimentazione $V_{CC} = 3.5\ V$ e $V_{EE} = -1.0\ V$; queste tensioni sono riferite ai piedini del MSD2 (v. allegato 3), dato che sulla basetta sono presenti (vedere il relativo schema in allegato 4) delle resistenze in serie a V_{CC} ed a V_{EE}, per prevenire oscillazioni del preamplificatore.

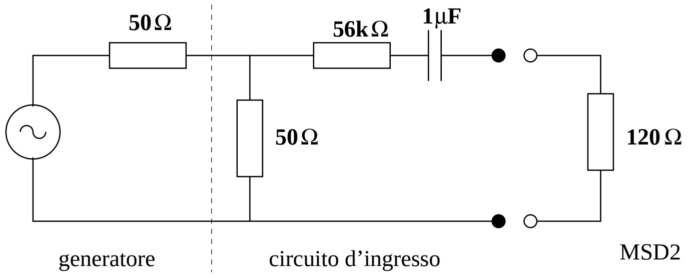
Sulla basetta (vedere lo schema in all. 4) sono predisposti i collegamenti per il **canale 3** del preamplificatore quadruplo MSD2: l'ingresso è su connettore Lemo, seguito da uno zoccolo a 4+4 contatti sul quale si può montare o un condensatore C_T (misure 2. e 3.) o un corto circuito (misura 1.) in serie sull'ingresso; inoltre si può montare se richiesto un condensatore C_{in} verso massa; l'uscita può essere prelevata su due connettori Lemo (il primo accoppiato in DC e il secondo in AC), oppure direttamente sul piedino di uscita del MDS2 con una sonda.

Nelle misure descritte ai successivi punti 3.1.1 e 3.1.2 conviene prelevare il segnale all'uscita del MSD2 direttamente sul piedino mediante una sonda e usare l'accoppiamento AC e impedenza d'ingresso 1 MΩ sull'oscilloscopio. Nella misura di rumore descritta al punto 3.1.3 conviene invece usare l'uscita AC su connettore Lemo predisposta sulla basetta (il condensatore di disaccoppiamento è montato sul retro).

Sulla basetta è inoltre montato un circuito supplementare di ingresso da usare esclusivamente per la misura 1 unitamente al corto circuito sullo zoccolo a 4+4 contatti.

3.1.1 Misura 1: risposta in frequenza

Poichè il preamplificatore MSD2 è un p.a. di corrente, occorre adattare il generatore di tensione sinusoidale disponibile in laboratorio in modo che funzioni approssimativamente come generatore di corrente. A tale scopo **si deve usare il circuito di ingresso supplementare mostrato in figura**, presente sulla basetta, combinato con un corto circuito (ponticello) sullo zoccolo a 4+4 contatti.



Stimolare il preamplificatore mediante il generatore d'impulsi HP 8116A e l'attenuatore a 12 dB con un segnale sinusoidale di ampiezza dell'ordine di 100 mV picco–picco e frequenza variabile da 10 kHz a 50 MHz; misurare il rapporto V_{out}/V_{in} in funzione della frequenza e determinare la banda passante, definita dai due punti a $-3\ dB$ rispetto al livello massimo di V_{out}/V_{in}.

3.1.2 Misura 2: tempo di salita e linearità

In questo caso **non** va usato il circuito supplementare di ingresso e il ponticello sullo zoccolo va **sostituito da un condensatore** $C_T = 1.2\ pF$ (**ATTENZIONE: non applicare alcun segnale prima di aver rimosso il ponticello, per non danneggiare irreparabilmente il primo transistor del preamplificatore !**).

Stimolare il preamplificatore con un gradino di tensione con tempi di salita e discesa minimi possibili (circa 1 ns), inserire tra il generatore di impulsi e l'ingresso Lemo della basetta alcuni stadi di **attenuazione** (usando ad es. gli attenuatori variabili HP355C e/o HP355D e gli splitter resistivi), in modo da poter iniettare una carica $Q_{in} = C_T V_{in}$ non eccessivamente grande rispetto a 4 fC (di regola non andrebbero superati i 100 fC). Misurare l'ampiezza massima V_{out} e il tempo di salita t_r (o di discesa, a seconda della polarità osservata) del segnale all'uscita; in caso di presenza di disturbi sul segnale di uscita occorre fare una valutazione a occhio del tempo di salita, inteso come tempo tra l'inizio del segnale e la massima ampiezza V_{out}.

Eseguire misure di tempo di salita e di linearità variando i seguenti parametri: (a) tensione d'ingresso V_{in} valutata all'ingresso del condensatore C_T), (b) capacità del condensatore verso massa C_{in} (3–4 valori compreso lo zero e fino a circa 40 pF). Si tratta di registrare il tempo di salita e il valore di picco della tensione V_{out}, sia per l'impulso positivo sia per quello negativo, per ciascun valore prescelto di V_{in} e C_{in}.

Eseguire infine una misura del tempo di salita e del valore di

picco in funzione della tensione di alimentazione V_{CC}, tenendo fisso V_{in} al minimo possibile e C_{in}=0 (variando V_{CC} viene fatta variare la corrente I_{C1} nel primo transistor).

3.1.3 Misura 3: rumore e guadagno

Anche in questo caso **non** va usato il circuito supplementare di ingresso e il ponticello sullo zoccolo va **sostituito da un condensatore** $C_T = 1.2\, pF$ (*ATTENZIONE: non applicare alcun segnale prima di aver rimosso il ponticello, per non danneggiare irreparabilmente il primo transistor del preamplificatore !*).

A causa del rumore, l'ampiezza del segnale in uscita del preamplificatore è soggetta a fluttuazioni anche se l'ingresso è stimolato da un segnale costante. Si tratta quindi di misurare la curva della frazione di conteggi ottenuti mediante un discriminatore (numero impulsi che passano la soglia divisi per il numero totale di impulsi) in funzione della soglia di discriminazione. Questo viene fatto per due valori della carica iniettata nel preamplificatore, Q_{in} e $2Q_{in}$ (dove $Q_{in} = V_{in}C_T$), in modo da misurare oltre al rumore anche il guadagno.

Lo schema dei moduli NIM necessari per la misura è in allegato 5. Tramite uno scaler vengono contati gli impulsi inviati al preamplificatore e quelli che passano la soglia. Per avere una maggiore risoluzione sulla soglia è necessario amplificare il segnale in uscita dal MSD2, facendo in modo però che il segnale in uscita corrispondente al valore minimo di carica iniettata si trovi *dopo l'amplificazione* un pò sotto la metà della soglia massima del discriminatore (ad es. per il CAEN C96 è 250 mV): per ottenere questo risultato può essere necessario combinare uno o due stadi di amplificazione fissa con alcune attenuazioni di fattori 2 mediante terminazioni da 50 Ω. In particolare, se si usano due o più dell'amplificatore N412, occorre fare in modo che l'ingresso di **ogni** stadio presenti un livello DC molto vicino a zero.

Per il conteggio degli impulsi va ricordato che il preamplificatore risponde due volte, la prima al fronte di salita, la seconda al fronte di discesa del gradino di tensione.

Fare la misura di rumore per due valori diversi di C_{in} (zero e 27 pF ad es.) con alimentazioni standard. Fare una ulteriore misura di rumore con $C_{in} = 0$ e un valore abbastanza diverso di V_{CC}, in modo da osservare la dipendenza del rumore dalla corrente I_{C1} del primo transistor.

Per un dato valore di carica iniettata, la deviazione standard del rumore (in unità di tensione all'uscita), nell'ipotesi di rumore gaussiano, si ottiene dividendo per 2.35 la FWHM ottenuta come differenza $V_{12\%} - V_{88\%}$ (confrontare la figura 5 dell'articolo NIM allegato); dividendo poi per il guadagno si ottiene la quantità ENC espressa in carica. Il guadagno si ottiene determinando i due valori di soglia che danno 50% di conteggi per i rispettivi due valori di carica iniettata: $G = \Delta V_{soglia,50\%} / \Delta Q_{in}$.

3.2 Simulazione del circuito con PSpice

Per quanto segue occorre lavorare su uno dei due PC Pentium (chiamati ALFIS1 e ALFIS2, risp.) usando la cartella di lavoro assegnata al proprio gruppo per salvare tutti i files creati nel corso della simulazione. *È vivamente consigliato fare una copia di backup su dischetto dei files essenziali.*

I programmi da usare sono *Schematics* (definizione dello schema elettrico del circuito, compreso lo stimolo in ingresso e il circuito di misura all'uscita), *PSpice* (simulazione elettrica vera e propria) e *Probe* (visualizzazione dei risultati della simulazione); comunque da Schematics è possibile far eseguire gli altri due programmi. La versione più recente (7.1) dei programmi viene attivata selezionando *Avvio/Programmi/MicroSim 7.1/Schematics*. Nel seguito viene fatto *provvisoriamente* riferimento ai manuali della versione precedente 6.1 che sono anche disponibili in laboratorio.

Lo schema elettrico del MSD2 (v. allegato 2) è già predisposto su un *file* di pSPICE, mentre è necessario aggiungere volta per volta, per ciascuna delle msiure effettuate, lo schema del circuito di ingresso (varia a seconda della misura da simulare, e comprende il generatore di funzioni o di impulsi) e quello del circuito di misura (equivalente dello stadio d'ingresso dell'oscilloscopio). Per quanto riguarda il circuito di misura si tenga conto che un oscilloscopio usato con ingresso AC a 1 $M\Omega$ di solito equivale a un condensatore da 0.1 μF in serie a un parallelo $(1M\Omega, 10pF)$.

- completare lo schema elettrico del circuito (il preamplificatore viene fornito) usando il programma Schematics (seguire l'esempio del paragrafo 4.6 del manuale SCUG facendo riferimento in generale al cap. 4, oppure al manuale MPUG pag. 2–2:2–5); salvare lo schema nella cartella assegnata al proprio gruppo di lavoro con un nome specifico.

- analizzare il punto di lavoro (DC Analysis) per controllare le tensioni presenti in vari punti del circuito: seguire l'esempio del paragrafo 3.3 del manuale CAUG, controllare in particolare le correnti nei transistor (specialmente I_{C1}) per diversi valori di V_{CC} compresi nell'intervallo 2 V–10 V.

- analizzare la risposta in frequenza: seguire l'esempio del paragrafo 7.4.6 del manuale CAUG (Analysis/Setup, selezionare AC sweep; Analysis/-Simulate; Probe: creare e stampare grafico di V_{out}/V_{in} in funzione della frequenza); usare gli stessi parametri della misura sperimentale. Analizzare inoltre la forma d'onda in uscita, per es. a f = 1 MHz, attivando l'analisi di TRANSIENTE (occorre campionare alcuni cicli e visualizzare solo l'ultimo per affrancarsi dai transitori).

- analizzare il tempo di salita (Transient Analysis) seguendo l'esempio del paragrafo 3.4 del manuale CAUG; usare gli stessi parametri della misura sperimentale per descrivere il segnale di stimolo (usare VPULSE); usare l'analisi parametrica (paragrafo 3.6 del manuale CAUG) per studiare la dipendenza dalla capacità C_{in} del tempo di salita e dell'ampiezza del segnale in uscita.

- analizzare il rumore in tensione riferito all'uscita e il rumore in corrente riferito all'ingresso in funzione di C_{in} (usare gli stessi parametri della misura sperimentale) e (separatamente) in funzione di V_{CC}: seguire l'esempio del paragrafo 7.4.6.1 del manuale CAUG oppure le pagine 9–6:9–7 del manuale MPUG

Osservazione: a causa della insufficiente precisione di alcuni elementi nella simulazione (modello non abbastanza accurato dei tre transistors; capacità parassite presenti sul MSD2 e non descritte nel modello; capacità parassite presenti sulla basetta) non ci si deve aspettare un accordo quantitativo della simulazione con le misure. In sede di stesura delle relazione può comunque essere utile confrontare i risultati della simulazione con le misure e le simulazioni pubblicate nell'articolo NIM (allegato 1).

4 Documenti allegati

1. descrizione del preamplificatore (P. Jarron e M. Goyot, "A fast current sensitive preamplifier ...", Nucl. Instr. Meth. 226 (1984) 156)

2. schema elettrico del preamplificatore MSD2

3. disposizione dei piedini del preamplificatore MSD2

4. schema a blocchi del circuito utilizzato, cioè della basetta su cui è montato il preamplificatore

5. schema delle connessioni per la misura di rumore (4 pagine)

6. *A DISPOSIZIONE IN LABORATORIO: manuali di PSpice sia per la versione 6.1 che per la più recente v. 7.1; nel testo sono citati i seguenti manuali della versione 6.1: SCUG = Schematic Capture User's Guide, CAUG = Circuit Analysis User's Guide, e i seguenti manuali della versione 7.1: MPUG = MicroSim PSpice A/D & Basics+ User's Guide v. 7.1, MSUG: MicroSim Schematics User's Guide v. 7.1; specifiche (data sheet) dei transistor NE02133 (NEC), BFT25 (Philips), BFS17 (Philips)*