

RELAZIONE

SULLO STAGE

ALL'I.N.F.N.

ESPERIMENTO FINUDA

DI

ALESSANDRO IACONO

GABRIELE LUCCI

PREMESSA

Lo scopo di questo stage è di introdurre giovani studenti nella realtà del lavoro, facendo scoprire ai ragazzi le applicazioni della teoria studiata a scuola con i professori.

Lo stage prevede che gli studenti si inseriscano in vari settori dell'azienda per un periodo di quattro settimane per un totale di 160 ore lavorative, ripartite in otto ore lavorative giornaliere.

L'I.N.F.N. (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) è diviso in vari settori, e noi siamo stati inseriti nell'esperimento FI.NU.DA. (Fisica Nucleare a Dafne). Lo scopo principale di questo esperimento è di studiare la natura delle forze nucleari forti, cioè quelle forze che tengono unito il nucleo atomico vincendo la repulsione elettrostatica dei protoni.

FI.NU.DA. è una collaborazione internazionale dove lavorano per la sua realizzazione 80 fisici coadiuvati da personale tecnico e studenti.

In questo stage sono stati affrontati i seguenti argomenti:

1. Introduzione all'elettronica usata negli esperimenti di fisica nucleare.
2. Il preamplificatore dei rivelatori a straw tube dell'esperimento FI.NU.DA.
3. Richiami di elementi generali di elettronica.
4. Allestimento di un banco di misura per la caratterizzazione del preamplificatore.
5. Misure sul preamplificatore.
6. Introduzione all'utilizzo di programmi CAD per la progettazione elettronica.

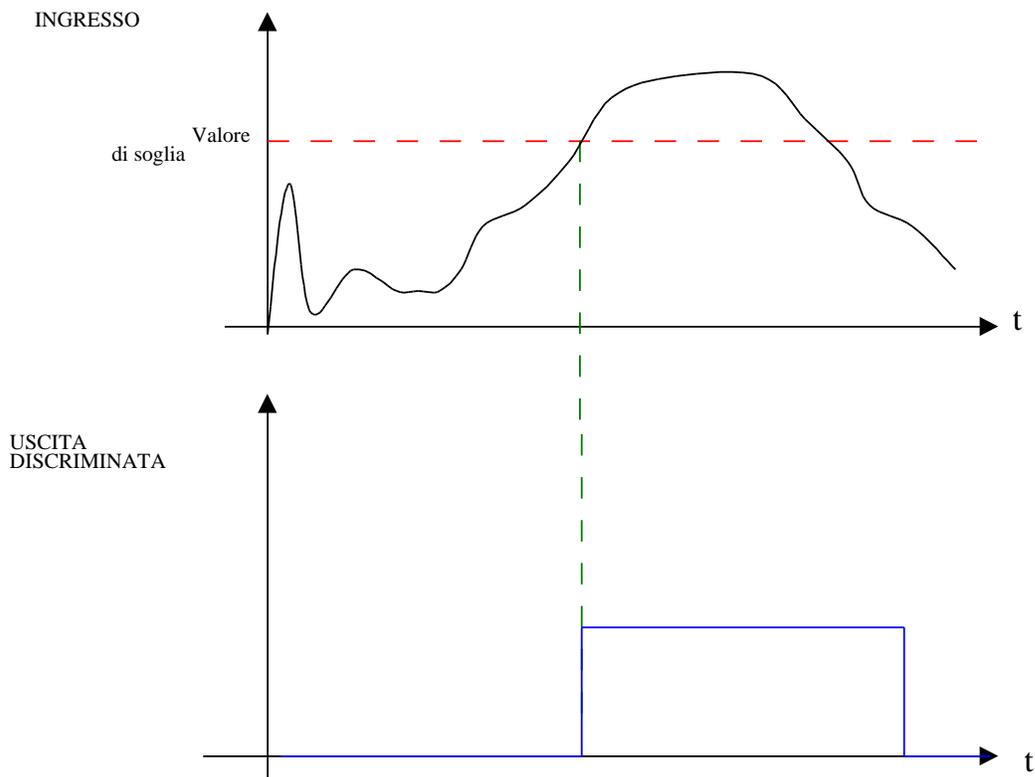
1. INTRODUZIONE ALL'ELETTRONICA USATA NEGLI ESPERIMENTI DI FISICA NUCLEARE

Negli esperimenti di fisica nucleare è necessario misurare con grande precisione grandezze fisiche di vario tipo: tempi, frequenze, tensioni, correnti.

Le apparecchiature più frequentemente utilizzate a tale scopo sono:

- Discriminatore
- Tdc
- Trasmission Gate
- Scaler

Il discriminatore è un dispositivo che risponde solo quando il segnale di ingresso assume un valore maggiore di una certa soglia programmata dall'utente. Se l'ampiezza è minore del valore di soglia prefissato, il discriminatore non risponderà con nessun segnale in uscita, altrimenti, verrà generato un segnale standard di durata programmabile.



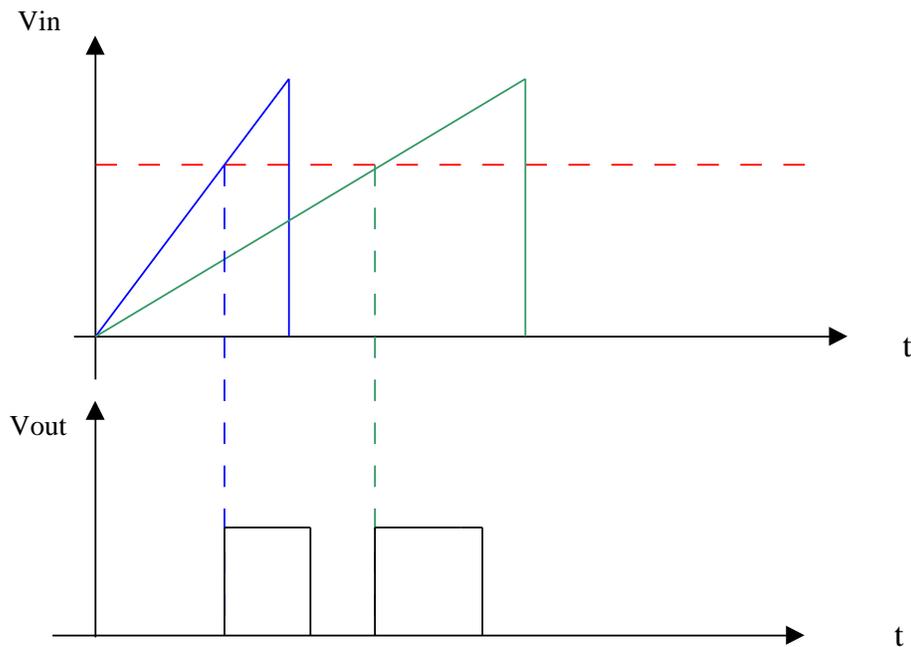
Il discriminatore permette di separare i segnali in base alla loro ampiezza. In questo modo si riesce anche a dividere il segnale dal rumore.

I parametri fondamentali di un discriminatore sono tre:

1) *Double Pulse Resolution*, che rappresenta la minima distanza temporale che deve esserci tra due segnali di ingresso affinché il discriminatore riesca a distinguerli.

2) *Continuous Pulse Train (CW Rate)*, è la frequenza massima di impulsi ripetitivi che il discriminatore può accettare in ingresso.

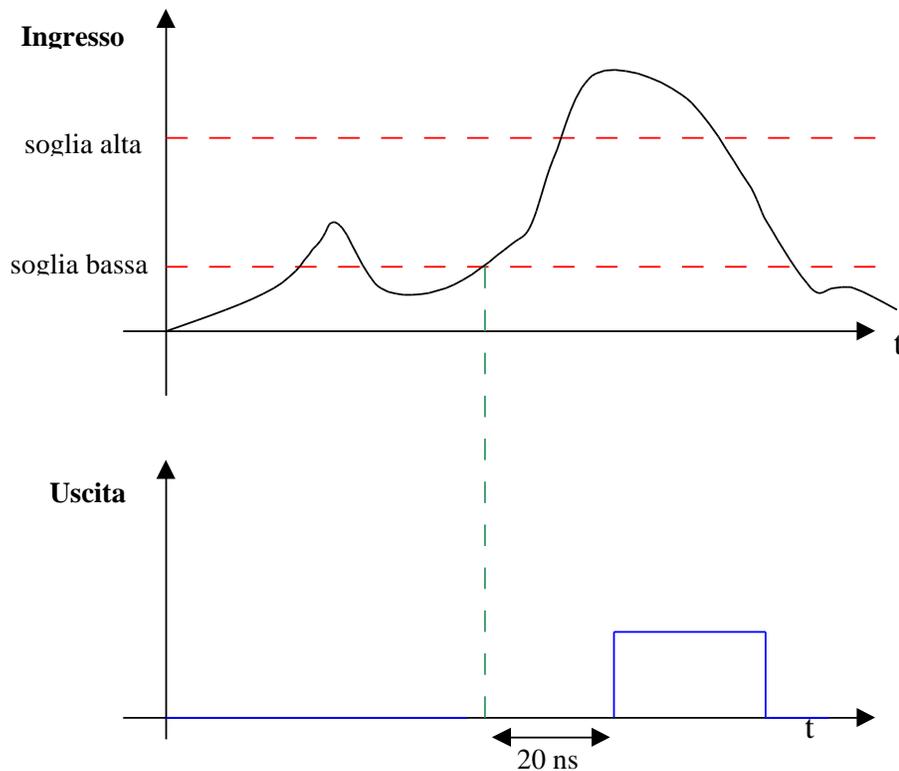
3) *Il Walk*, è un errore dovuto al fatto che, due segnali che iniziano nello stesso istante di tempo ma hanno pendenze diverse, superano in tempi diversi la soglia del discriminatore (vedi figura).



Nelle misure in cui è richiesta una grande precisione temporale, il walk provoca un errore che può essere inaccettabile.

Esistono varie tecniche per ovviare a questo inconveniente. Una di queste, utilizzata nell'esperimento FI.NU.DA., comporta l'utilizzo di una doppia soglia.

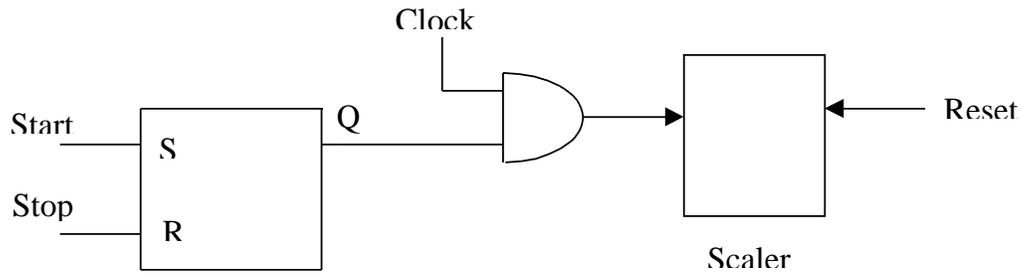
Dalla figura si evince che il walk è tanto minore quanto più bassa è la soglia. Da qui l'idea di utilizzare due soglie: una molto bassa che funge da riferimento temporale, ed una più alta, che è la soglia di discriminazione vera e propria.



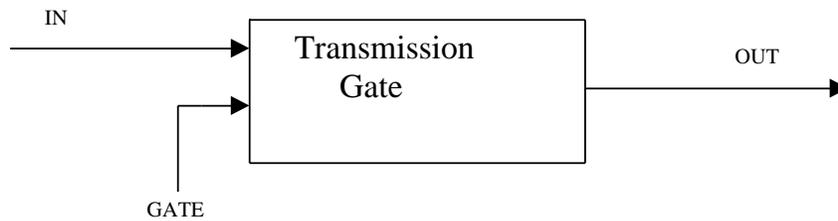
Il principio di funzionamento di un discriminatore a doppia soglia è illustrato in figura. Il discriminatore risponde con un impulso standard in uscita solo se il segnale di ingresso supera la soglia alta entro un tempo prefissato dal superamento della soglia bassa. Nel momento in cui il segnale supera la soglia inferiore, il discriminatore entra in una fase di attesa fino a quando lo stesso segnale non supera la soglia superiore; in tal caso l'impulso di uscita sarà ritardato di un tempo prefissato (20 ns in FI.NU.DA.) dal punto in cui il segnale ha attraversato per la prima volta la soglia bassa. In questo modo il tempo di walk dipende solo dalla soglia bassa, indipendentemente dal valore della soglia alta.

Scaler: Uno scaler non è altro che un conta impulsi . Il numero degli impulsi letti viene visualizzato su un display (se presente, altrimenti può essere letto da remoto da un computer). Ovviamente è possibile azzerare il conteggio con un tasto, con un segnale o via software. Generalmente si chiede che il segnale di ingresso allo scaler sia un segnale quadrato (standard). Di solito, infatti, lo scaler è collegato all'uscita di un discriminatore.

TDC: Questo dispositivo misura l'intervallo di tempo che intercorre tra un segnale di start e uno di stop. La figura ne illustra il principio di funzionamento.

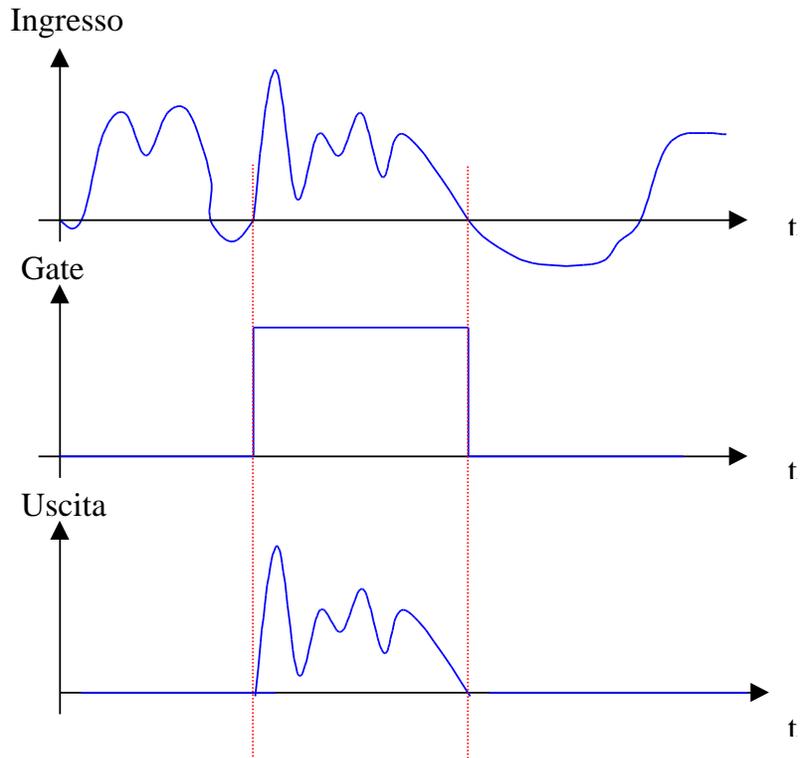


Transmission Gate:

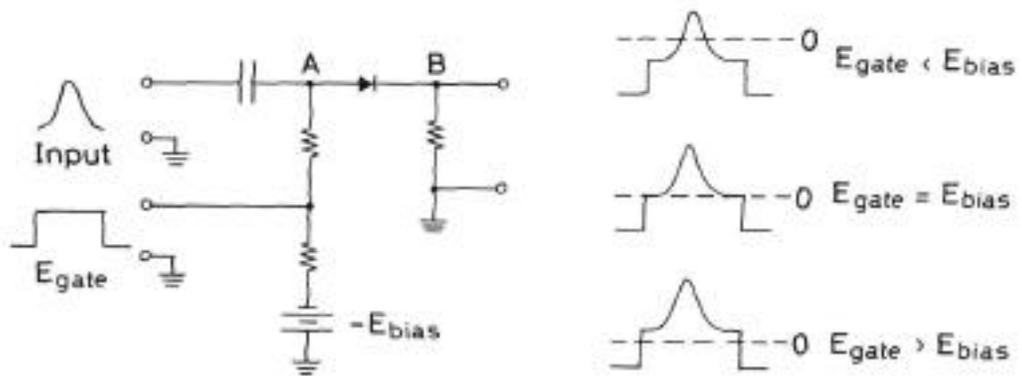


Il “transmission gate”, anche detto “linear gate” o “porta di trasmissione”, è un circuito che permette di selezionare in uscita solo alcune parti di un segnale. Più esattamente, il segnale di ingresso viene riprodotto in uscita solo in presenza di un segnale di controllo o “gate”.

Questo serve, ad esempio, quando vogliamo studiare un segnale non nella sua interezza ma solo in precisi intervalli di tempo, come nella figura che segue:



Un semplicissimo linear gate può essere realizzato sfruttando le proprietà dei diodi. Lo schema di principio è rappresentato nella figura seguente:



Il diodo al silicio conduce se è polarizzato direttamente con una tensione superiore a 0.6V. In assenza di segnali di ingresso e di gate, il diodo è polarizzato inversamente dal generatore $-E_{bias}$. In tal caso il diodo è interdetto e il segnale di ingresso non può raggiungere l'uscita. Se si applica un impulso di gate, esso si somma a $-E_{bias}$. In conseguenza, se tensione al nodo A supera gli 0.6V, il diodo entra in conduzione e il segnale di ingresso può raggiungere l'uscita.

La maggior parte delle apparecchiature utilizzate negli esperimenti di fisica nucleare è realizzata secondo alcuni standard che riguardano sia la parte meccanica (dimensioni, tipi di contenitori e di connettori, etc..) sia la parte elettrica (forma e ampiezza dei segnali).

I due standard maggiormente utilizzati sono il NIM e il CAMAC.

Standard NIM

La sigla NIM sta per *Nuclear Instrument Module* (moduli per strumenti nucleari). E' il primo (e più semplice) standard stabilito per la fisica nucleare.

In questo sistema, gli apparati base di elettronica, per esempio amplificatori, discriminatori, etc..., sono costruiti in moduli secondo specifici standard meccanici ed elettrici.

Un sistema elettronico specifico per una data applicazione può essere facilmente costituito da una raccolta di moduli (come un *amplificatore*, un *discriminatore*, uno *scaler*) che vengono installati in un contenitore NIM (crate). I crate NIM vengono solitamente alloggiati in strutture o armadi detti "rack".

Il sistema NIM offre enormi vantaggi per la sua flessibilità, (riduce lo sforzo di progettazione, agevola l'aggiornamento degli strumenti, etc...) aiutando a ridurre i costi e a migliorare l'efficienza degli strumenti. Per questi motivi il sistema NIM è ancora adottato nei laboratori di ricerca di tutto il mondo.

Moduli

Meccanicamente, i moduli NIM hanno una larghezza standard di 1,35 pollici (3,43cm) ed un'altezza di 8,75 pollici (22,2 cm). (1 pollice = 2,54 centimetri.)

Questi tuttavia possono anche essere costruiti in standard multipli, cioè con larghezza doppia, tripla, etc...

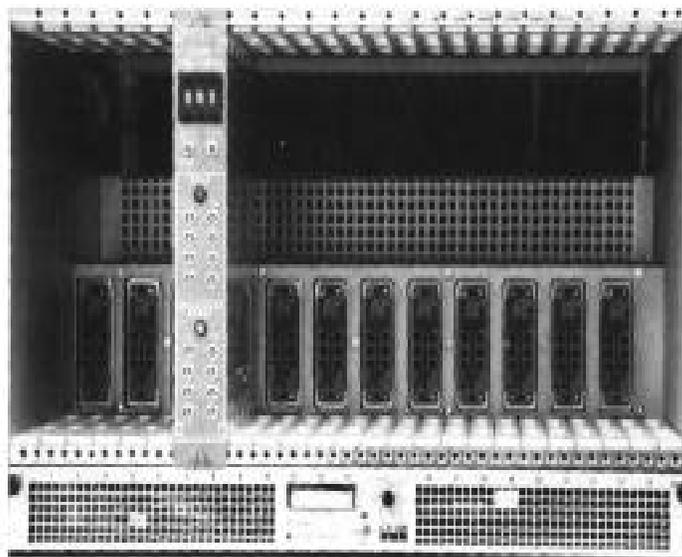
La figura mostra alcuni moduli a semplice e a doppia larghezza.

I moduli NIM ricavano le tensioni di alimentazione da un connettore posto sulla parte posteriore (vedi figura).

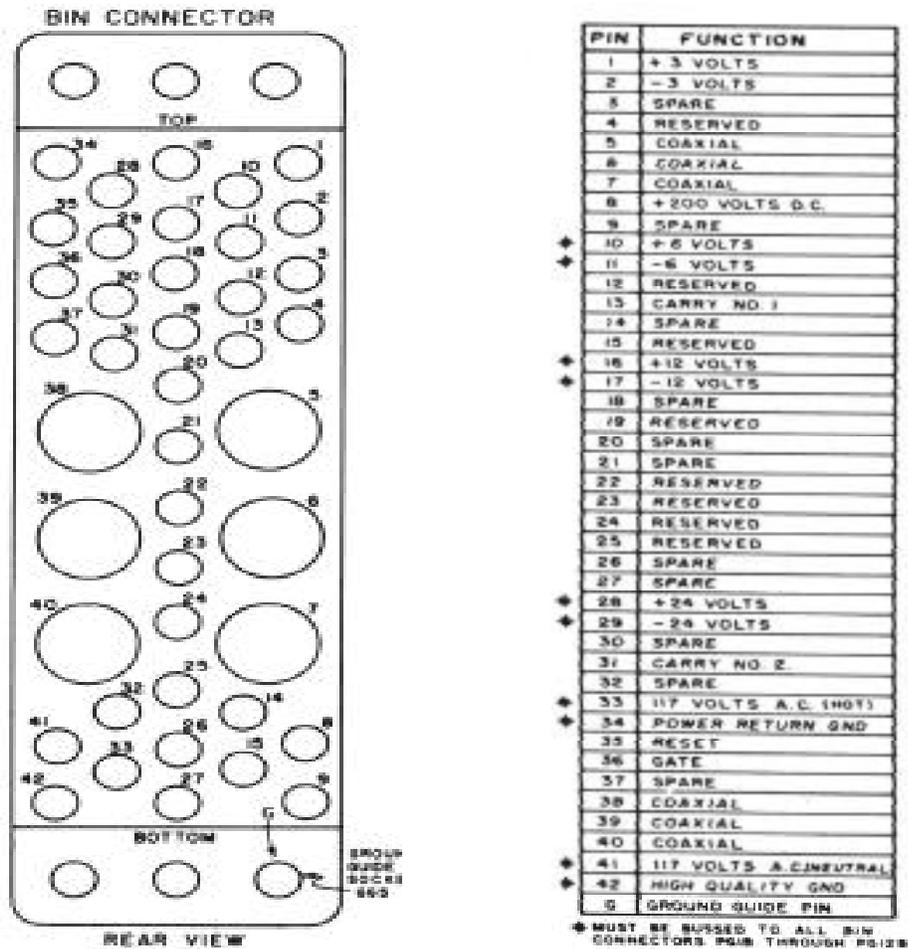


Il contenitore (o crate) standard NIM accetta fino a 12 moduli a larghezza singola (vedi figura alla pagina seguente).

Le dimensioni del contenitore sono tali da permetterne l'alloggiamento in un Rack da 19 pollici.



Il connettore di alimentazione posteriore fornisce quattro tensioni continue: +12V, -12V, +24V, -24V. Tuttavia molti contenitori dispongono anche di un'alimentazione di +6V e -6V, nonostante non sia prevista nello standard NIM. La piedinatura dei connettori e la loro funzione sono mostrate nella figura sottostante.



Nel connettore, oltre alle alimentazioni, sono presenti anche dei pin non utilizzati, o “spare” che l’utente può utilizzare a piacimento a seconda della applicazione specifica.

Segnali logici NIM

I moduli NIM includono strumenti sia analogici che digitali.

Per quanto riguarda i segnali digitali, lo standard NIM stabilisce una precisa convenzione per i valori di tensione corrispondenti agli stati logici “1” e “0”.

Esistono due tipi di standard, la *logica positiva lenta* e la *logica positiva veloce*.

Qui sotto è rappresentata la logica positiva lenta:

Livello logico	Output must deliver	Input must accept
1 logico	+4V to +12V	+3V to +12V
0 logico	+1V to +2V	+1,5V to -2V

Le tensioni si intendono misurate ai capi di un'impedenza da 1k ; ciò implica che si abbiano correnti di segnale molto piccole.

La conseguenza di ciò è che il segnale lento positivo non può essere trasmesso su cavi molto lunghi.

La logica veloce negativa è utilizzata quando si hanno segnali molto veloci, con tempi di salita e discesa dell'ordine del nanosecondo. In questo caso lo standard stabilisce, per gli stati "1" e "0", dei livelli di corrente anziché di tensione.

Livello logico	Output must deliver	Input must accept
1 logico	14mA to -18mA	12mA to -36mA
0 logico	-1mA to +1mA	-4mA to +20mA

Poiché si ha generalmente a che fare con carichi da 50 , i livelli di corrente dati sopra si traducono in livelli di tensione che sono grossolanamente intorno a 0V per il livello basso e minore di -0,8V per il livello alto.

Trattandosi di un segnale in corrente, il segnale NIM può essere trasmesso attraverso cavi relativamente lunghi.

Segnali logici TTL e ECL

Nonostante non facciano parte dello standard NIM, altre due famiglie sono spesso utilizzate per esperimenti di fisica nucleare: TTL ed ECL. La logica ECL è la più veloce attualmente disponibile.

Di seguito sono riportati i valori di tensione corrispondenti ai livelli logici per le due famiglie.

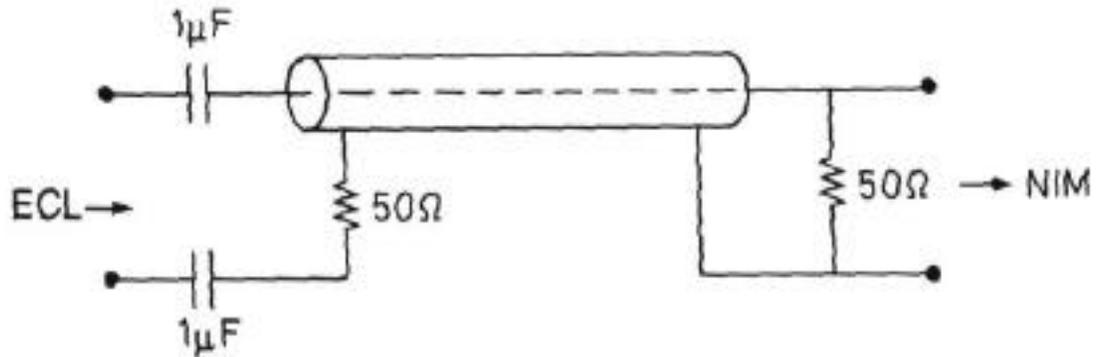
Livello logico	TTL	ECL
1 logico	2V / 5V	-1,75V
0 logico	0V / 0,8V	-0,90V

Molti moduli NIM hanno ingressi e uscite in formato ECL.

L'impedenza di un ingresso NIM standard è di 50 mentre quella di un ingresso ECL è di circa 110 .

I moduli NIM con ingressi ECL sono già forniti adattati, ed entrano direttamente i livelli ECL; ciò permette una migliore immunità al rumore senza perdita di banda passante e minimizza gli anelli di massa.

I segnali NIM non sono direttamente compatibili con gli ECL, tuttavia, se la frequenza non è un problema, si può utilizzare un semplice traslatore costituito da un circuito che ha in ingresso due condensatori di uguale valore e in uscita una resistenza da 50 Ω in parallelo, così come in figura.

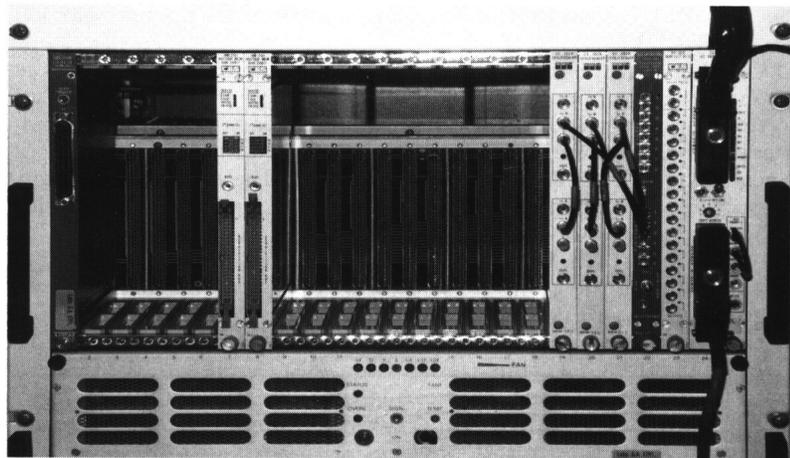


Il Camac

Il *Camac* fu introdotto agli inizi degli anni 70 come estensione dello Standard NIM per consentire il controllo computerizzato della strumentazione. Come il NIM, il *Camac* è un sistema modulare con un *Backplane*, sul quale non scorrono più solo le alimentazioni, ma è un vero bus con dati, indirizzi e segnali di controllo.

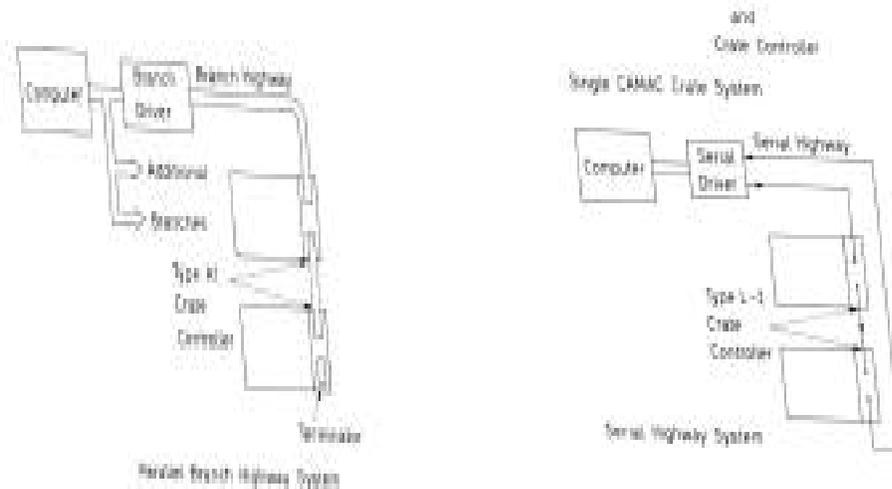
Un crate Camac è normalmente dotato di venticinque slot. Tutte le comunicazioni sul bus sono arbitrate e gestite da un *crate controller* (CC), che funge da master. Tutte le altre schede sono *slaves*.

Al *crate controller*, sono sempre riservati gli slot 24 e 25 del *crate*.



Le configurazioni del *Camac* sono due : la configurazione base consiste in un *crate camac* collegato ad un computer. L'interfaccia verso il computer è in genere contenuta nel CC.

Qualora sia necessario collegare più crate, occorre usare una speciale unità detta *Branch Driver*. La topologia di collegamento può essere "seriale" o "parallela", purché si usino i CC giusti.



Il bus CAMAC

Sul bus CAMAC esistono tre categorie di segnali:

- Alimentazioni: sono presenti +6V,-6V e +24V,-24V, anche se in alcuni crates sono disponibili anche +12V,-12V e l'alimentazione di rete.
- Segnali comuni: si tratta di dati, indirizzi e segnali di controllo. I livelli sono di tipo TTL.
- Segnali punto-punto: sono linee non condivise tra le varie schede "slave" ma linee dedicate, che da ciascuno slot raggiungono lo slot numero 25, dove è situato il CC.

Queste linee sono solo due: il crate address (N) e il Look - at - Me (L).

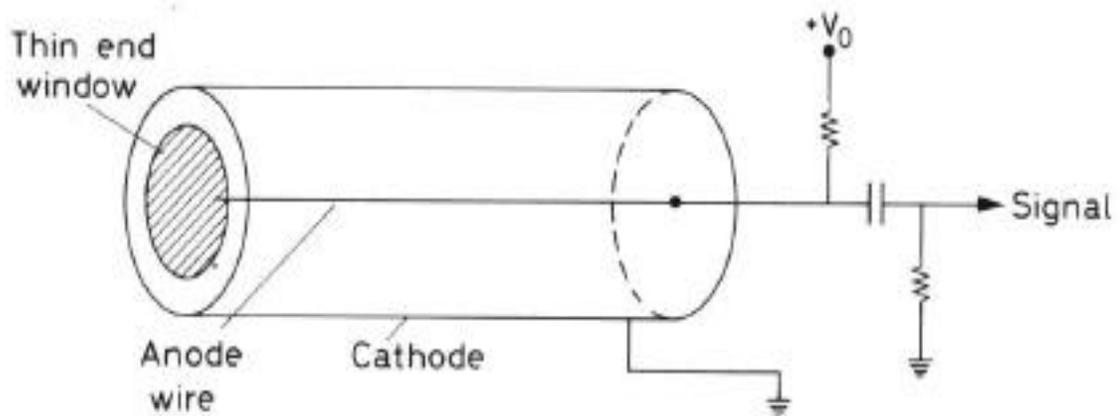
Quest'ultimo è un segnale generato dal modulo per segnalare al CC una richiesta di attenzione.

2. IL PREAMPLIFICATORE DEI RIVELATORI A STRAW TUBE DELL'ESPERIMENTO FI.NU.DA.

Ora entreremo più in dettaglio nel lavoro svolto durante lo stage.

Una categoria molto diffusa di rivelatori di particelle è quella dei rivelatori a ionizzazione. L'esperimento FI.NU.DA. utilizza due tipi di rivelatori a ionizzazione: le camere a deriva e gli "straw tube".

Il rivelatore a straw tube è schematizzato in figura.



Esso è costituito da un tubo sottilissimo di materiale plastico sottilissimo sul quale è stato depositato uno strato di alluminio che lo rende conduttivo. Al centro del tubo è teso un filo conduttore. Il tubo è riempito con un'opportuna miscela di gas (nell'esperimento FI.NU.DA. è composta dal 50% di Argon e dal 50% di Etano).

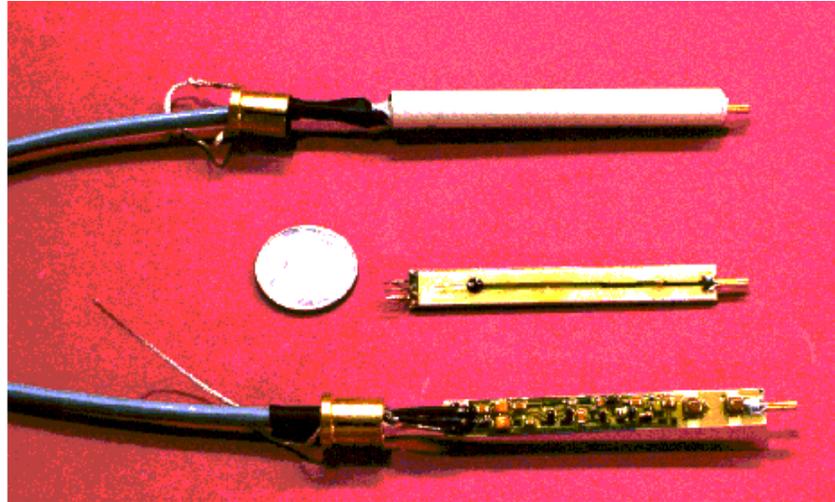
Tra il filo e il tubo esterno viene applicata un'alta tensione, dell'ordine di alcune migliaia di Volt, in modo che il filo sia l'anodo (elettrodo positivo) e il tubo sia il catodo (elettrodo negativo).

Quando una particella attraversa il rivelatore, essa perde energia ionizzando le molecole del gas contenuto all'interno del tubo. Ciò significa che alcuni atomi del gas (che prima del passaggio della particella erano elettricamente neutri) perdono alcuni elettroni. Poiché gli elettroni hanno carica elettrica negativa, un atomo al quale è stato sottratto un elettrone non è più neutro ma acquista una carica elettrica positiva. Tale atomo è detto "ione positivo".

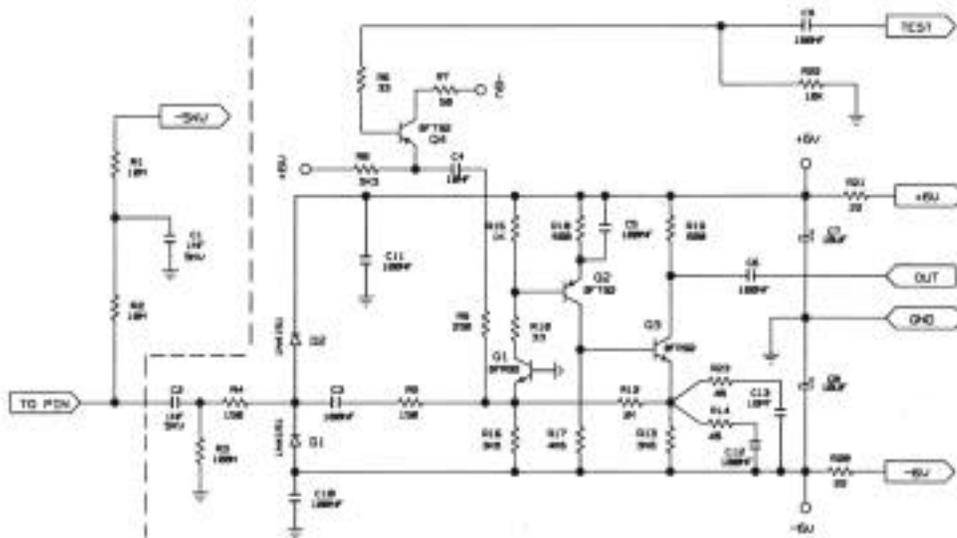
All'interno del tubo esiste un forte campo elettrico dovuto all'alta tensione applicata. Esso fa sì che gli elettroni migrino verso l'anodo (il filo) e gli ioni positivi verso l'anodo (il tubo esterno).

Ciò genera un impulso di corrente che costituisce il segnale che ci dice che una particella è passata nel rivelatore.

Tale segnale è però molto debole e necessita pertanto di un'opportuna amplificazione. A ciò provvedono dei circuiti detti "preamplificatori", il cui scopo è di fornire in uscita un segnale di ampiezza sufficiente per poter essere trattato da tutte le apparecchiature successive (discriminatori, etc...). La figura mostra il preamplificatore dei segnali degli straw tube dell' esperimento FI.NU.DA.



Questo amplificatore utilizza solo tre transistor, anche se ne è presente un quarto che viene utilizzato per il segnale di test. Qui sotto è riportato lo schema elettrico.



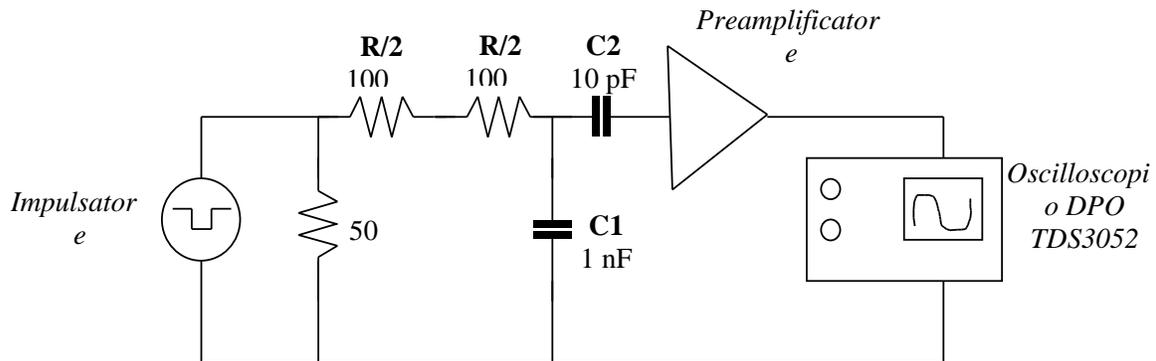
L'ingresso del preamplificatore è direttamente collegato al filo dello straw tube, al quale però è applicata un'alta tensione. Il condensatore C2 permette solo il passaggio del segnale, impedendo che l'alta tensione danneggi i circuiti del preamplificatore.

Ci proponiamo di eseguire delle misure per caratterizzare il preamplificatore, cioè per conoscerne il rumore totale in uscita, il tempo di salita, la banda passante, etc...

Per far questo abbiamo bisogno di applicare degli impulsi di test all'ingresso del nostro preamplificatore. Tuttavia, per avere delle misure realistiche, è necessario che l'amplificatore "veda" in ingresso un generatore le cui caratteristiche siano il più possibile simili a quelle di uno straw tube. Un modello circuitale semplificato di uno straw è costituito da un generatore di impulsi di corrente in parallelo ad una capacità di circa 10 pF.

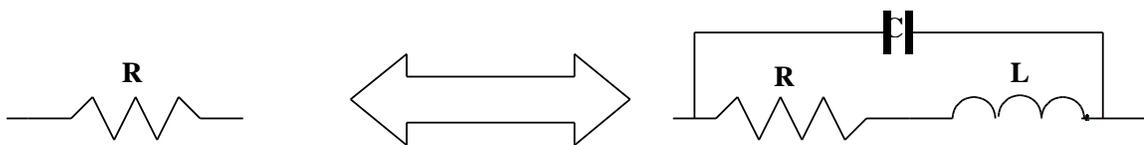
Il modello equivalente del generatore di impulsi da laboratorio è invece un generatore di impulsi di tensione in serie ad una resistenza da 50 .

E' stato pertanto necessario costruire un piccolo circuito da inserire tra l'impulsatore e l'amplificatore da caratterizzare. Tale circuito serve a fare in modo che, almeno in prima approssimazione e solo in regime impulsivo veloce, l'amplificatore "veda" al suo ingresso un generatore di impulsi di corrente con una capacità di 10 pF in parallelo.



Si noti che la resistenza R è realizzata con una serie di due resistenze di valore R/2 anzichè con un'unica resistenza di valore R.

Ciò è dovuto al fatto che ogni resistenza "reale" presenta sempre dei valori "parassiti" di induttanza e capacità. Essi sono ininfluenti a bassa frequenza, ma possono essere rilevanti alle alte frequenze.



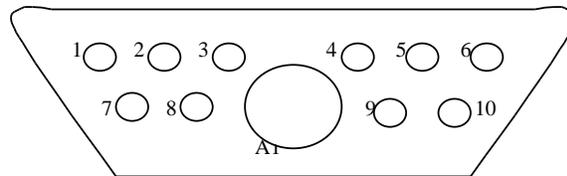
Infatti, a basse frequenze, la reattanza induttiva (L) è molto piccola, mentre la reattanza capacitiva (1/ C) è molto grande. Ciò comporta che l'effetto dei parassiti sia trascurabile alle basse frequenze. Ad alte frequenze, invece, la reattanza capacitiva è molto piccola mentre quella induttiva è molto

grande. In altri termini, per $\frac{1}{\omega C} \ll R + \omega L$ e quindi la resistenza reale si comporta in pratica come un condensatore di capacità C .

Per ridurre l'effetto della capacità parassita si usa mettere più resistenze in serie in modo che anche le loro capacità parassite siano in serie e quindi il valore totale di capacità risulti ridotto. (Ricordiamo che $C1 // C2 = (C1 * C2) / (C1 + C2)$).

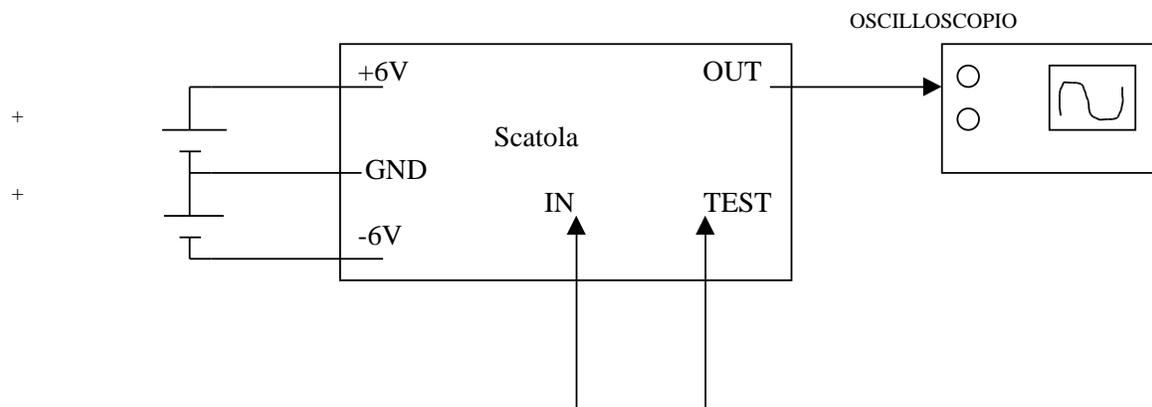
Dopo aver montato questo piccolo circuito ed averlo collegato al preamplificatore, abbiamo montato il tutto in una scatola metallica con funzione di schermo elettromagnetico. Abbiamo posto particolare attenzione al fatto che i collegamenti interni, e soprattutto le masse, non formassero dei percorsi chiusi (spire) in grado di captare disturbi elettromagnetici. Quando ciò non è stato possibile, abbiamo fatto in modo da minimizzare l'area delle spire utilizzando piani di massa e nastri di rame. La configurazione ottimale è stata trovata osservando all'oscilloscopio l'ampiezza dei disturbi captati e facendo vari tentativi per cercare di minimizzarli.

Infine, poiché dal preamplificatore esce un cavo con un connettore maschio (vedi figura) sul quale sono presenti tutti i segnali (alimentazioni, alta tensione, ingresso, uscita), abbiamo realizzato un cavo al quale abbiamo saldato tutti i connettori necessari a cablare il sistema.



Pin n°1	↔	All'alimentatore (+ 6V)
Pin n°2	↔	Al cavo del segnale di uscita
Pin n°3	↔	Collegato al piedino 8
Pin n°4	↔	All'alimentatore (GND)
Pin n°5	↔	Al cavo del segnale di test
Pin n°6	↔	All'alimentatore (-6V)
Pin n°7	↔	Al cavo del segnale di uscita (massa)
Pin n°8	↔	Collegato al piedino 3
Pin n°9	↔	Non collegato
Pin n°10	↔	Al cavo del segnale di test (massa)
Pin n°A1	↔	Alta tensione _____

Dopo aver effettuato i vari collegamenti il circuito è completato e può essere rappresentato come nella figura qui sotto:



3. RICHIAMI DI ELEMENTI GENERALI DI ELETTRONICA

Analizzando gli argomenti che ci sono stati proposti durante lo stage, è stato necessario ripassare alcuni elementi di elettronica e introdurne dei nuovi.

In questo paragrafo tratteremo i seguenti argomenti:

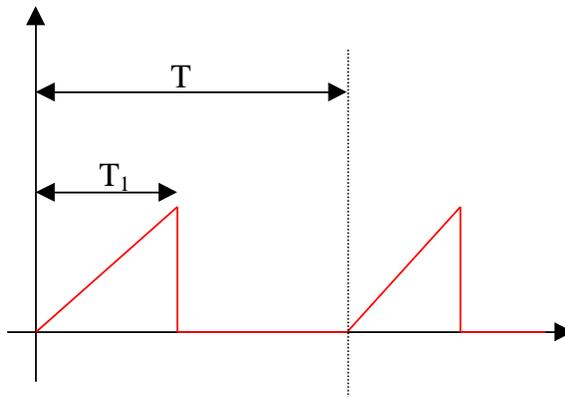
- Duty Cycle
- Tempo di salita e di discesa
- Studio dei modelli equivalenti di alcuni componenti elettronici
- Valore efficace

Duty Cycle

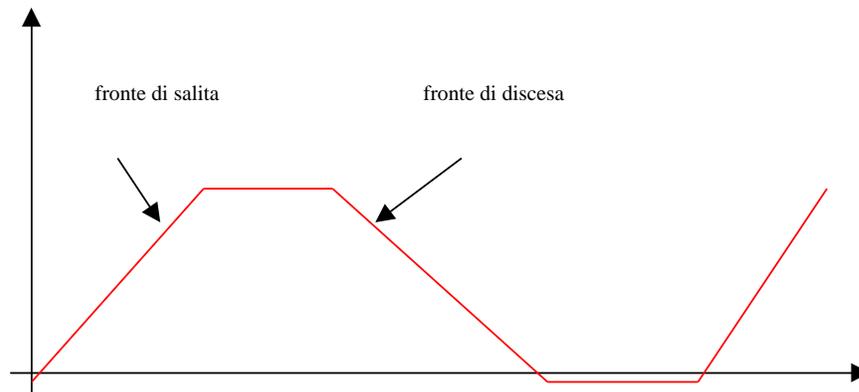
In regime impulsivo periodico, cioè quando si hanno impulsi di larghezza T_1 ripetuti ad intervalli T , si definisce il duty cycle D come il rapporto tra la larghezza dell'impulso e il periodo di ripetizione.

$$D = T_1 / T$$

Di solito il duty cycle viene espresso come percentuale.



Tempo di salita e di discesa



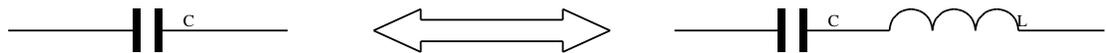
Il tempo di salita è il tempo necessario affinché il segnale passi dal 10% al 90% del suo valore massimo, mentre il tempo di discesa è il tempo che il segnale impiega a passare dal 90% al 10% del valore massimo.

Studio dei modelli equivalenti di alcuni componenti reali

Abbiamo già visto che il comportamento reale di alcuni componenti elettronici può distaccarsi molto da quello ideale a causa della presenza di “parassiti”.

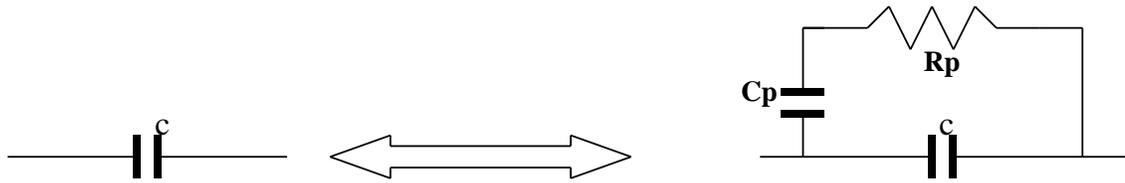
Prima abbiamo visto il modello reale di una resistenza; ora è il turno di analizzare altri due componenti che sono i condensatori ceramici e i condensatori elettrolitici.

Un condensatore ceramico per esempio può essere visto così:



Alle diminuire della frequenza diminuisce anche il valore della reattanza induttiva e quindi l'induttanza parassita è irrilevante alle basse frequenze. All' aumentare della frequenza, invece, C tenderà a cortocircuitarsi e quindi l'impedenza totale sarà di tipo induttivo. Per quanto ciò possa sembrare strano, ad alte frequenze un condensatore può comportarsi come un'induttanza! I condensatori ceramici sono molto usati in alta frequenza proprio perchè hanno un basso valore di induttanza parassita. In generale, per un certo tipo di condensatore, maggiore è la capacità e maggiore è il valore della L parassita.

Per alcune applicazioni a bassa frequenza, il modello reale di un condensatore elettrolitico può essere il seguente:



Questo modello spiega come mai, dopo che si è scaricato un condensatore cortocircuitandone i terminali, esso si ricarica senza che alcuna tensione venga applicata ai suoi capi! I televisori, ad esempio, hanno al loro interno dei grossi condensatori elettrolitici che è necessario scaricare prima di toccare i circuiti con le mani. A volte, con grande sorpresa, si può prendere la scossa anche dopo aver scaricato i condensatori e il motivo sta proprio nel modello reale descritto nella figura di sopra. Quando si cortocircuita per un tempo breve un condensatore reale, in realtà scarichiamo solo la capacità C ma non la capacità parassita C_p che, avendo in serie una resistenza di valore molto elevato (decine o centinaia di $M\Omega$), richiede un tempo molto lungo per scaricarsi. Quando si toglie il cortocircuito, C_p si scarica lentamente attraverso la resistenza andando a caricare la capacità C . Questo è il motivo per cui, dopo un tempo il cui ordine di grandezza è dato dalla costante $\tau = R_p * C_p$, C è di nuovo carico.

4. ALLESTIMENTO DI UN BANCO DI MISURA PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL PREAMPLIFICATORE

Come già detto in precedenza, il sistema da noi montato è composto dalla scatola dove è inserito il preamplificatore, da un oscilloscopio al fosforo digitale DPO Tektronix TDS3052, un alimentatore, un impulsatore e un generatore di funzioni.

Come funziona il preamplificatore già è stato detto nei paragrafi precedenti, mentre ora ci soffermeremo sulle caratteristiche di questi strumenti che utilizzeremo per fare le misure.

L'alimentatore ha due uscite duali indipendenti, la prima da 0 a $\pm 6V$ con una corrente massima di 5A, mentre la seconda da 0 a $\pm 25V$ con una corrente massima di 1A.

Oltre all'alimentatore, uno strumento utilissimo ai fini delle nostre misure è l'impulsatore. Esso è in grado di generare impulsi di vario tipo e permette di impostarne la frequenza, l'ampiezza, i fronte di salita e di discesa e il duty cycle.

Tutte le forme d'onda dei nostri segnali sono state visualizzate su un oscilloscopio al fosforo digitale o DPO, con il quale abbiamo effettuato delle misure che saranno poi spiegate nei prossimi capitoli usando delle immagini ottenute direttamente dallo strumento. Inoltre, con questo tipo di oscilloscopio digitale è stato facile ricavare le caratteristiche dei vari segnali. Gli oscilloscopi DPO sono degli oscilloscopi digitali che hanno la particolarità di mostrare le forme d'onda con un'intensità diversa a seconda della velocità del segnale, proprio come avviene sullo schermo di un oscilloscopio analogico.

5. MISURE SUL PREAMPLIFICATORE

Dopo aver costruito il nostro circuito con i componenti già descritti in precedenza ci accingiamo a spiegare la parte relativa alle misure effettuate.

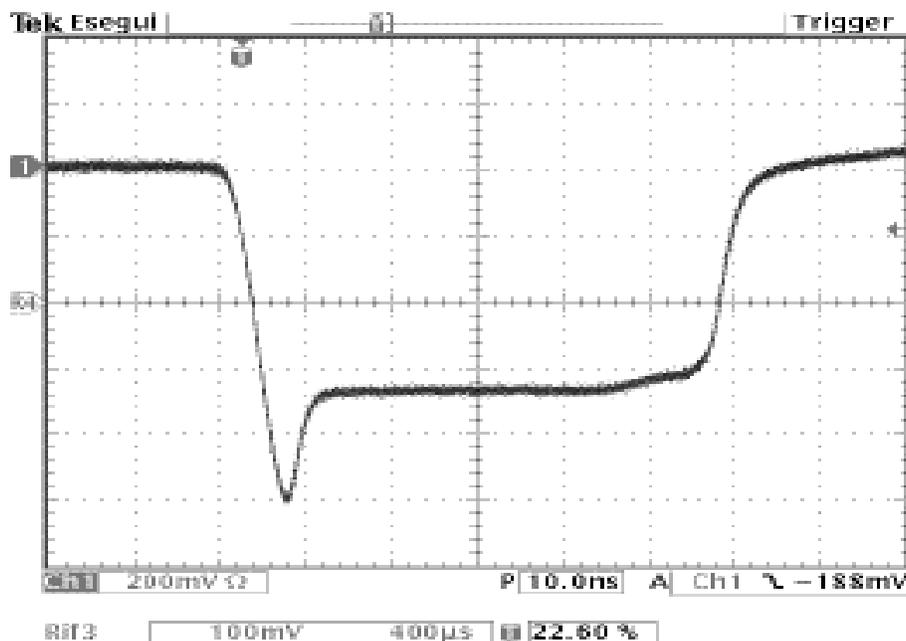
Il preamplificatore degli straw tube è un amplificatore di *transimpedenza*, così detto perchè l'uscita è una tensione mentre l'ingresso è una corrente. Il suo guadagno A, infatti, cioè il rapporto tra la grandezza fornita in uscita e la grandezza applicata in ingresso, ha le dimensioni fisiche di un'impedenza, essendo dato dal rapporto tra una tensione e una corrente.

$$A = V_{\text{out}} / I_{\text{in}} \quad [\]$$

Le misure più importanti che faremo nel dominio del tempo sono :

- Il tempo di salita
- Il ritardo di propagazione

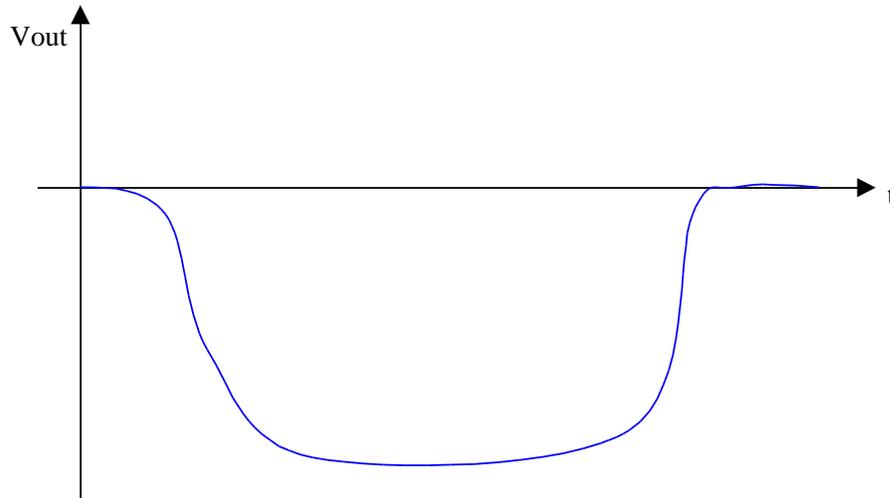
La prima misura che è stata effettuata allo scopo di scoprire se il circuito nella sua totalità funzionasse è stata quella di fornire un impulso di test, ottenendo questa figura:



Questo segnale di uscita ci indica che il circuito è stato montato correttamente.

Se osserviamo lo schema elettrico del preamplificatore, notiamo la presenza di un diodo tra l'uscita e la massa, il cui scopo è di limitare l'ampiezza del segnale di uscita.

Quella piccola punta che si vede in basso nell'oscillogramma alla pagina precedente infatti, è causata proprio dal diodo che, se il segnale d'uscita supera gli $0,7V$, richiede un certo tempo prima di entrare in conduzione e limitare così il valore della tensione in uscita. La punta è dovuta al fatto che per un tempo molto breve il diodo non conduce ancora. Se il diodo non fosse presente, il segnale avrebbe una forma del genere:



Se analizziamo anche i valori che si osservano nella figura ottenuta tramite l'oscilloscopio, possiamo vedere che il valore massimo è di circa $1V$, che corrisponde al picco; successivamente il segnale diminuisce fino a stabilirsi ad una tensione pari a circa $0,7V$.

Dopo aver effettuato la prova con l'impulso di test, siamo passati alle misure vere e proprie.

Risposta all'impulso tipico

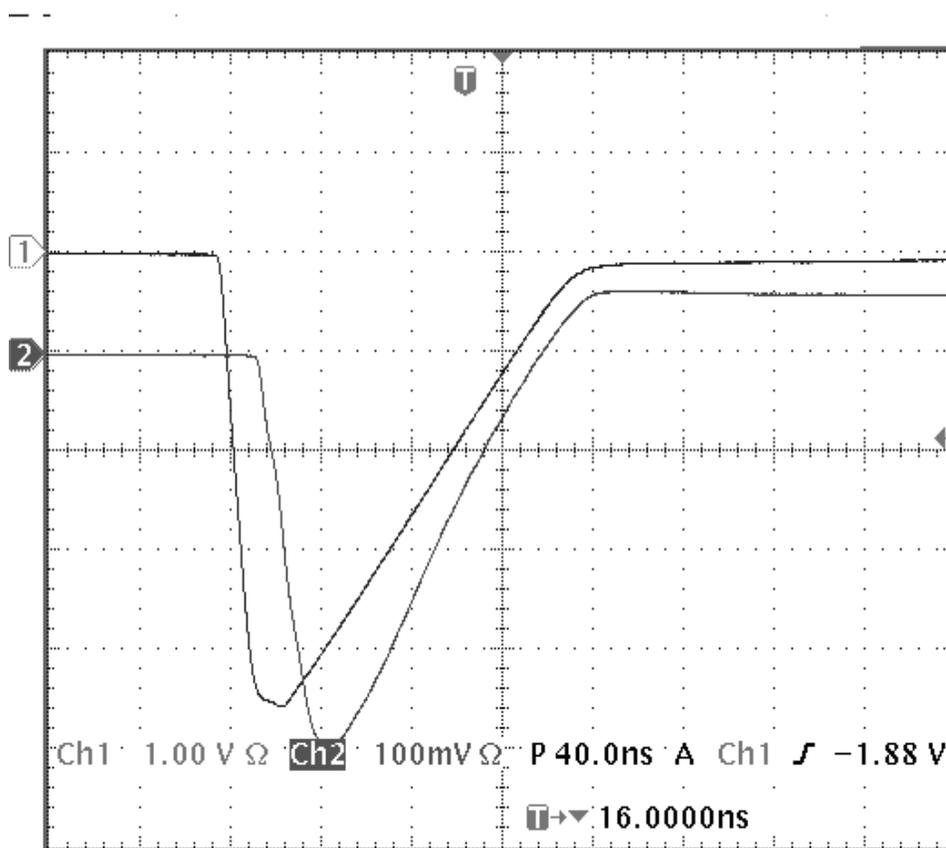
Usando l'impulsore abbiamo impostato i seguenti valori per il segnale di ingresso:

Ampiezza = -7,8V

Tempo di discesa = 11,6nS

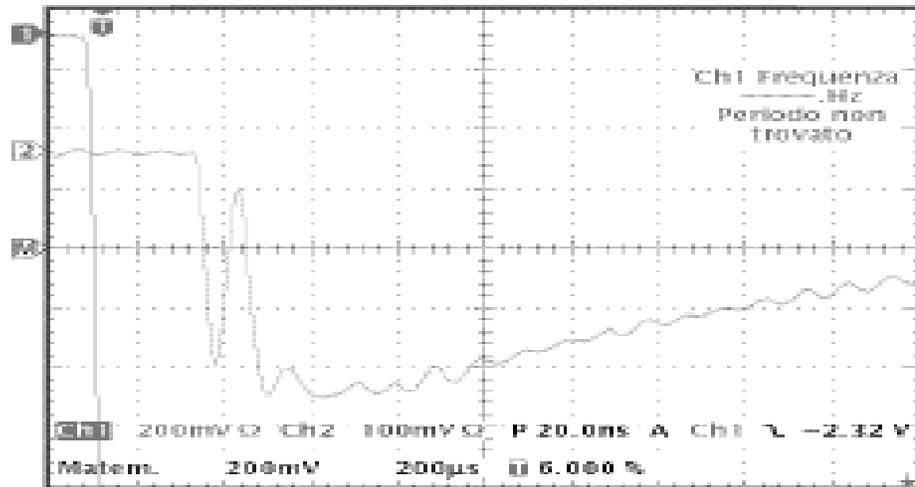
Tempo di salita = 100nS

in modo da avere un segnale la cui forma è simile a quella del segnale fornito dal rivelatore straw.
L'oscillogramma mostra contemporaneamente gli impulsi di ingresso (traccia 1) e di uscita (traccia 2).



Risposta al gradino

Questo secondo tipo di misura consiste nel mandare in ingresso un segnale a forma di gradino. Questo segnale deve essere di durata sufficiente a far sì che il segnale di uscita abbia tempo di assestarsi. In questo modo abbiamo misurato il tempo di ritardo, il tempo di salita del segnale di uscita e il tempo necessario affinché l'uscita torni a zero (il preamplificatore è accoppiato in AC e quindi non può dare un gradino in uscita).



Sistemando correttamente le scale in modo da visualizzare entrambi i segnali, abbiamo calcolato il tempo di ritardo (T_r) del segnale di uscita rispetto a quello di ingresso, il tempo di salita del primo segnale (T_{s1}), il tempo di salita del segnale di uscita (T_{s2}) e il tempo in cui il segnale di uscita torna a 0 (T_0). In questo modo abbiamo ottenuto i seguenti risultati che possono essere anche verificati nella figura sovrastante.

$$T_r = 23,2 \text{ ns}$$

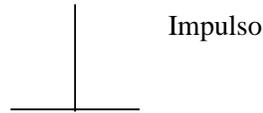
$$T_{s1} = 5,20 \text{ ns}$$

$$T_{s2} = 17,2 \text{ ns}$$

$$T_0 = 200\text{nS}$$

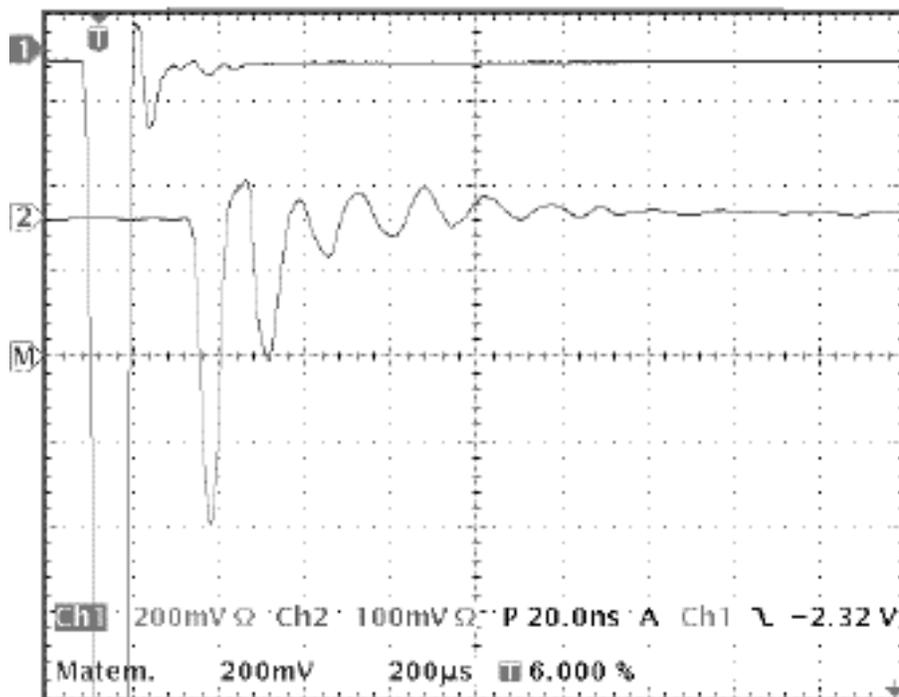
Risposta all'impulso

Questo tipo di risposta consiste nel mandare in ingresso un impulso, che rappresentiamo idealmente come un segnale con area costante e che sia infinitamente alto e infinitamente stretto.

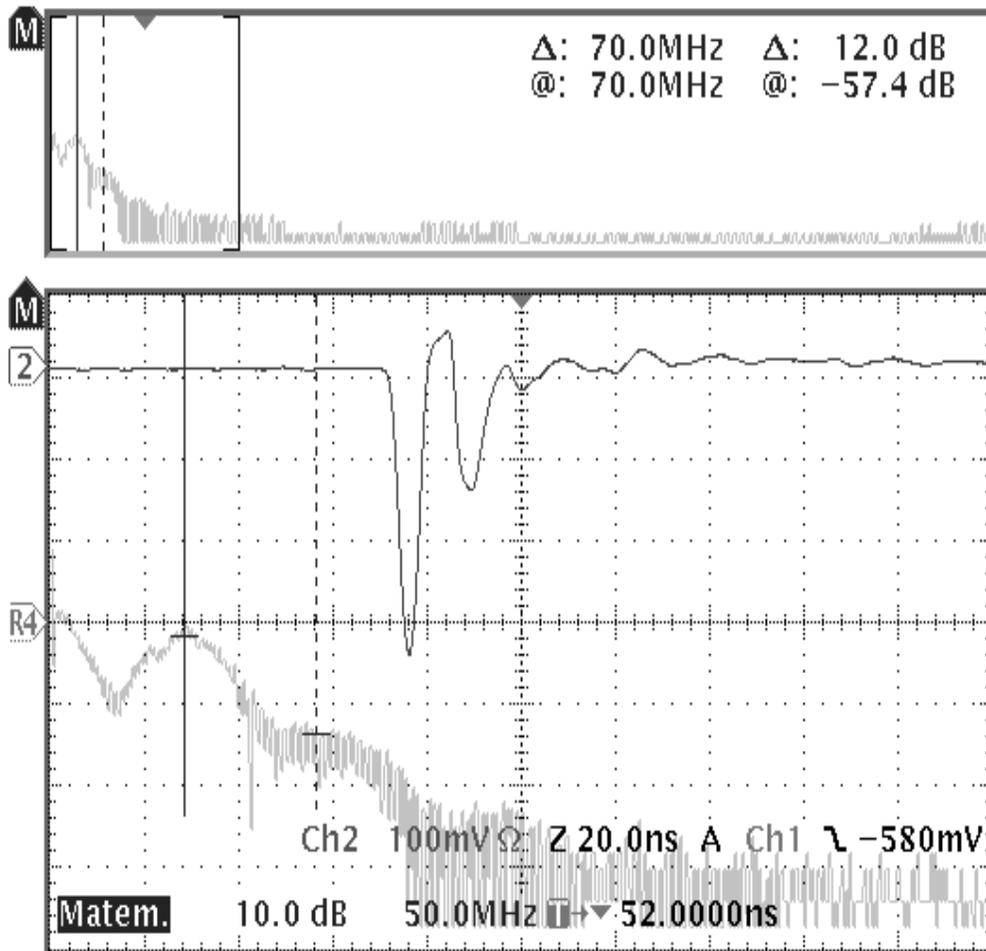


Ovviamente, nella realtà non è possibile generare impulsi di questo tipo e quindi bisogna trovare una buona approssimazione.

L'impulso che noi abbiamo mandato in ingresso è rappresentato dalla traccia 1 nella figura sottostante. La traccia 2 mostra l'uscita, cioè la risposta all' impulso.



Si può dimostrare che, calcolando la trasformata di Fourier della risposta all'impulso di un amplificatore, se ne ottiene la risposta in frequenza. Con l'uso dell'oscilloscopio ci è stato possibile scomporre il segnale di uscita con l'utilizzo del comando denominato FFT (Fast Fourier Transform) o Trasformata veloce di Fourier. Di seguito è riportata la trasformata veloce di Fourier per quanto concerne il segnale di uscita.

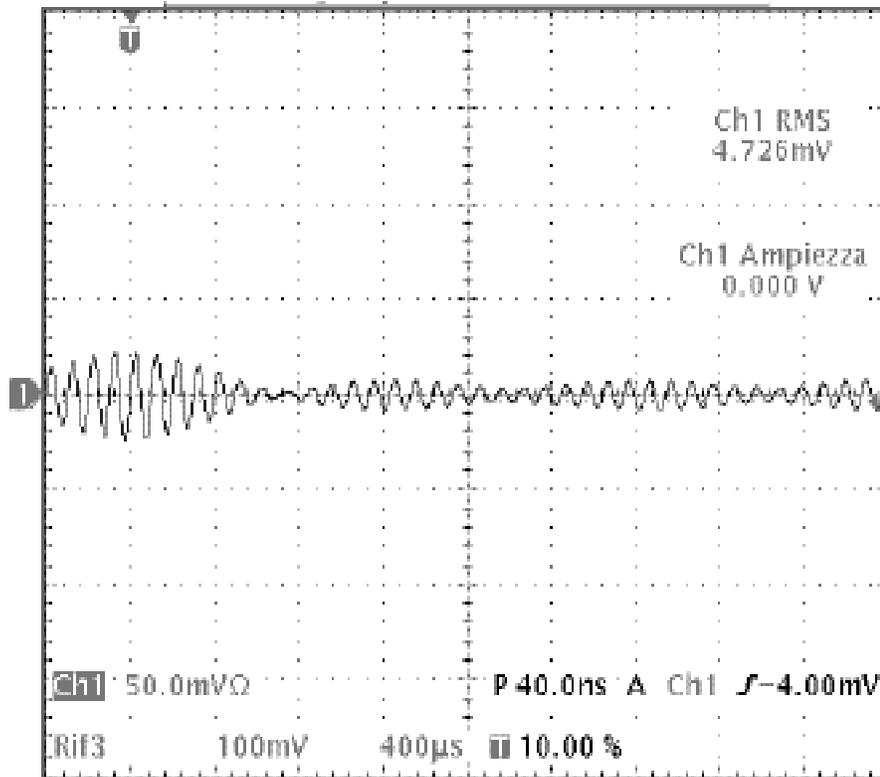


Misura del rumore

Quando si parla di rumore, si intendono in generale dei segnali indesiderati che si sovrappongono al segnale che ci interessa, alterandone la misura.

Il rumore può avere nature diverse, ma è utile distinguere due categorie:

- Il rumore casuale generato dai processi interni di un componente. Esso ha una forma del tutto casuale e generalmente ha media nulla.
- Il rumore generato da disturbi e interferenze elettromagnetiche. Può anche non essere di natura casuale. Ad esempio, molto spesso il segnale di un'emittente radio si sovrappone ai nostri segnali e in quel caso non si tratta certo di un segnale casuale. Il segnale in uscita al nostro preamplificatore dovuto a questa interferenza è mostrato nella figura seguente:



Per misurare il rumore intrinseco dell' amplificatore cortocircuitiamo innanzitutto l'ingresso del nostro circuito di test. In assenza di segnale di ingresso, l'uscita dovrebbe contenere soltanto il rumore casuale dato dei componenti dell'amplificatore.

Purtroppo, come abbiamo visto, l'amplificatore capta anche il segnale di una stazione radio, che si somma al rumore compromettendone la misura.

Una misura grossolana si può ugualmente fare in base alle seguenti considerazioni. Poichè il rumore dell' amplificatore e il segnale della stazione radio sono scorrelati, si può applicare la seguente formula:

$$V_{RMS}^2 = V_{DIST}^2 + V_{RUM}^2$$

Ossia il quadrato del valore efficace della tensione di uscita è uguale alla somma dei quadrati dei valori efficaci della componente dovuta all' interferenza (V_{dist}) e della componente di rumore (V_{rum}). Noi vogliamo calcolare il valore efficace della tensione di rumore, cioè V_{rum} . Se conoscessimo V_{dist} e V_{rms} potremmo applicare la seguente:

$$V_{RUM} = \sqrt{V_{RMS}^2 - V_{DIST}^2}$$

Vrms è proprio quella che misuriamo in uscita, mentre Vdist può essere trovata con un semplice artificio. Impostando l'oscilloscopio per eseguire una media su 512 segnali di ingresso noi andiamo praticamente a misurare solo Vdist, poichè il rumore sovrapposto, che ha media nulla, viene appunto eliminato calcolando la media.

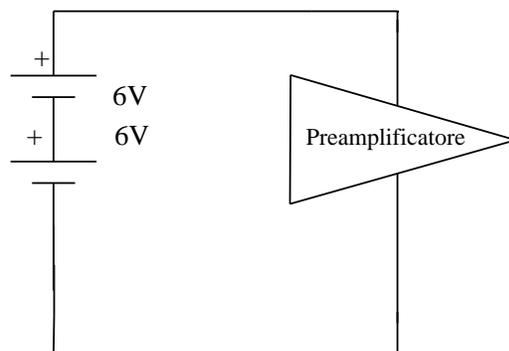
L'unico problema in questo tipo di misura è che il segnale non è stabile quindi abbiamo dovuto ripetere il calcolo dieci volte e calcolare una media in modo da rendere la misura più attendibile.

nV	nV	nV

La media del segnale del rumore è di circa 3,58 mV RMS calcolati su tutta la banda del preamplificatore.

Misure della potenza dissipata

Per ricavarci la potenza dissipata dal preamplificatore bisogna solo applicare la formula della potenza e cioè $P = V * I$.



Se mettiamo un amperometro in serie a questo circuito possiamo facilmente trovare la corrente che lo attraversa. Essa è risultata essere di circa 5 mA.

Sapendo che l'alimentazione è di 12V (data dalla somma dell'alimentazione +6,-6), la potenza sarà :

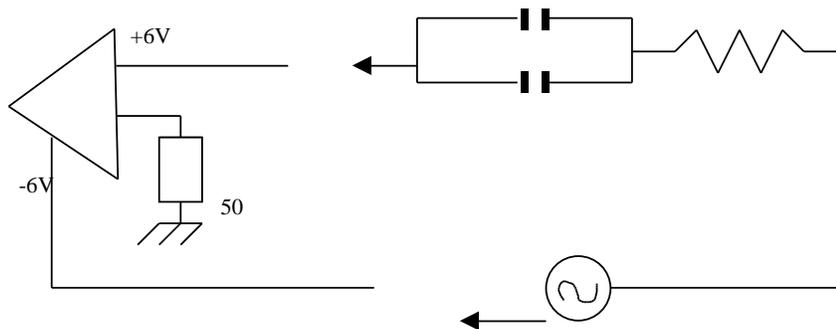
$$P = V * I$$

$$P = 12 * 0,005 = 60\text{mW}$$

Calcolo del PSRR

Il PSRR (Power Supply Rejection Ratio) è il rapporto di reiezione “ai disturbi” provenienti dall'alimentazione, cioè il rapporto tra l'ampiezza di un segnale AC sovrapposto all'alimentazione e l'ampiezza del segnale AC risultante in uscita.

Per eseguire questa misura abbiamo sovrapposto un segnale sinusoidale all'alimentazione del nostro preamplificatore e abbiamo misurato l'ampiezza del conseguente segnale in uscita. Per fare questo, abbiamo utilizzato il circuito seguente:

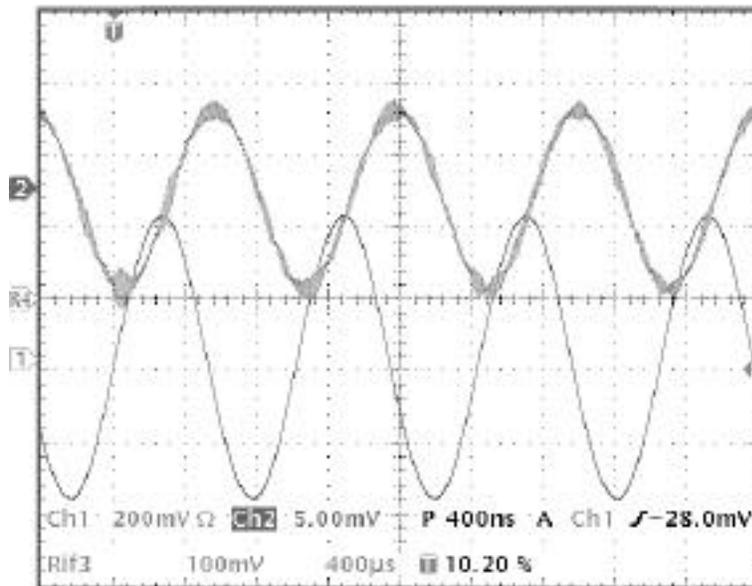


Abbiamo eseguito la misura del PSRR per vari valori di frequenza del segnale. I risultati sono esposti nella seguente tabella.

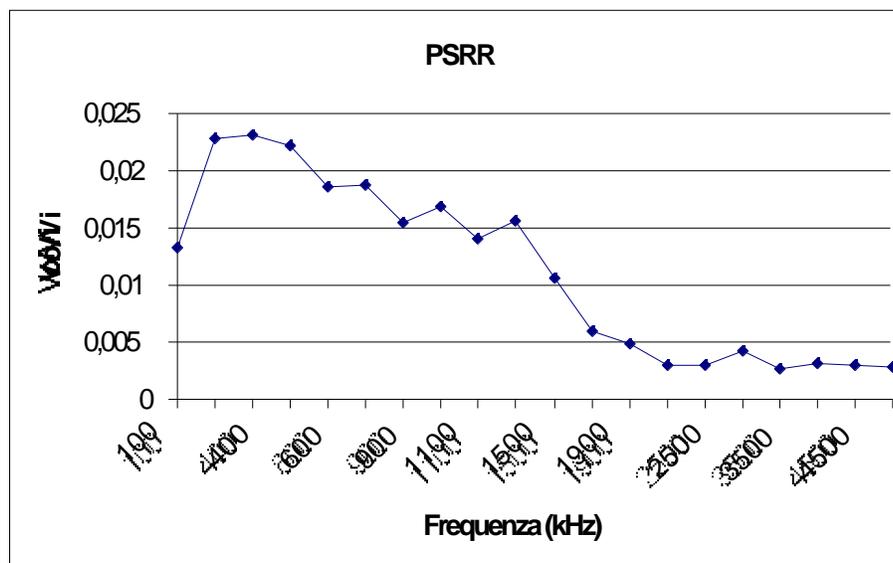
Freuenza (kHz)	V _{IN} (mV)	V _{OUT} (mV)	V _{OUT} / V _{IN}	PSRR(dB)
100	870	11,6	0,0133	-37,5
200	812	18,5	0,0228	-32,8
400	788	18,2	0,0231	-32,7
500	784	17,4	0,0222	-33,1
600	784	14,6	0,0186	-34,6
800	780	14,6	0,0187	-34,56
900	792	12,2	0,0154	-36,25
1000	780	13,2	0,0169	-35,44
1100	760	11,2	0,0141	-37,02
1200	724	11,4	0,0157	-36,08
1500	800	8,50	0,0106	-39,49
1700	804	4,84	0,006	-44,44
1900	800	3,84	0,0048	-46,38

2000	780	2,32	0,0029	-50,75
2500	772	2.32	0,003	-50,46
3000	836	3,52	0,0042	-47,53
3500	784	2	0,0026	-51,7
4000	780	2,40	0,0031	-50,17
4500	884	2,68	0,003	-50,46
5000	888	2,48	0,0028	-51

L'oscillogramma mostra i segnali sovrapposti all'alimentazione (traccia 1) e l'uscita (traccia 2).



Il grafico seguente mostra (in scala lineare), l'andamento del PSRR misurato al variare della frequenza.



6. INTRODUZIONE ALL'UTILIZZO DI PROGRAMMI CAD PER LA PROGETTAZIONE ELETTRONICA

Dopo aver fatto le misura sul circuito “reale”, ci accingiamo a intraprendere un capitolo molto importante.

Questo riguarda l'utilizzo di un programma per la progettazione elettronica chiamato PROTEL 99 SE. È un programma che oltre al disegno dello schema elettrico, permette di simulare il funzionamento del circuito e di realizzare circuiti stampati anche molto complessi partendo dallo schema elettrico e dalle specifiche dei componenti.

Abbiamo disegnato lo schema elettrico del circuito del preamplificatore e provato a simularne il funzionamento. Diciamo “provato” perché sono sopraggiunti dei problemi riguardanti i modelli SPICE, che non ci hanno permesso di portare a termine la simulazione.

Non riportiamo lo schema elettrico perché è stato già illustrato nei paragrafi precedenti.

Questo programma è strutturato in dieci parti.

Noi per il nostro circuito ne abbiamo usate solamente quattro, che comprendono:

1. **Schematic Document:** è quella sezione nella quale viene introdotto lo schema elettrico con tutti i suoi componenti. Oltre alla visualizzazione dei componenti è possibile targare ogni singolo elemento circuitale, definirne il tipo di contenitore e la piedinatura.
2. **Schematic Library Document:** è la parte Editor che riguarda la costruzione e la modifica dei componenti che poi dovranno essere posizionati nello Schematic Document. E' utile quando il programma non ha in libreria i componenti che ci servono.
3. **Text Document :** è quella parte del programma riguardante i file di testo. Ne fanno parte oltre alla nota Netlist, anche il documento che in fase di simulazione aiuta l'utente a capire quali e quanti componenti sono sprovvisti di contenitori oppure del proprio file di descrizione.
4. **Waveform Document:** è la sezione del programma che permette la simulazione del circuito. Per fare questo è necessario che ogni elemento sia provvisto di una targa, del file di descrizione (modello Spice) e di un valore (ad esempio per le resistenze gli “ohm”, oppure per i condensatori i Farad “F”).

Durante la composizione dello schema elettrico per la realizzazione della simulazione, abbiamo riscontrato dei problemi derivanti dal fatto che il programma era sprovvisto dei modelli SPICE di due transistor (BFR92 e BFT92).