

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Genova

INFN/AE-92/15
5 Maggio 1992

F. Fontanelli, V. Gracco, F. Montano, M. Sannino:

**PROGETTO DI UN FRONT-END A RISPOSTA LOGARITMICA PER UN
RIVELATORE RICH**

Progetto di un front-end a risposta logaritmica per un rivelatore RICH

F. Fontanelli Università di Genova e I.N.F.N. Sez. Genova
V. Gracco Università di Genova e I.N.F.N. Sez. Genova
F. Montano I.N.F.N. Sez. Genova
M. Sannino Università di Genova e I.N.F.N. Sez. Genova

Riassunto

Dopo una breve discussione sul tipo di segnali fornito da un rivelatore RICH e sull'elettronica più adatta al loro trattamento, si discutono i pregi offerti da un preamplificatore a risposta logaritmica.

Si mostra quindi una topologia circuitale che soddisfa i requisiti e si presentano i risultati ottenuti.

Abstract

After a short discussion about the kind of signals given by a RICH detector and the optimal front-end electronics, we propose a logarithmic preamplifier. A promising topology is discussed at length and results from test on the DELPHI FRICH chamber are shown. Dynamical range is at least 600 with 30 MHz of bandwidth and low noise.

1 Introduzione.

I segnali di un Ring Image Čerenkov Counter hanno caratteristiche peculiari e, rispetto ad altri rivelatori, richiedono una particolare attenzione per estrarne tutta l'informazione.

Uno degli aspetti più critici dal punto di vista sperimentale è la grande gamma dinamica presentata dai segnali generati dal rivelatore. I fotoelettroni sono rivelati da camere proporzionali le quali forniscono segnali le cui ampiezze variano fra due limiti molto differenti. Tali limiti corrispondono ai segnali

- corrispondenti alla rivelazione di singolo fotoelettrone che, dopo un "drift" più o meno lungo, ha raggiunto il filo della camera dove è avvenuta la moltiplicazione.
- associati al passaggio di una particella ionizzante.

Nel caso in esame (DELPHI Forward RICH) le ampiezze dei due segnali sono estremamente diverse, pochi femtoCoulomb il primo, centinaia di volte maggiore il secondo. Tipicamente il rapporto fra le 2 ampiezze è circa 1/600.

È quindi necessario che l'amplificatore abbia basso rumore e grandissima dinamica. Inoltre il circuito deve essere in grado di amplificare i 2 segnali anche quando la loro separazione temporale è dell'ordine di alcune centinaia di nanosecondi, infatti, considerando una velocità di drift di $5 \text{ cm}/\mu\text{s}$, questo corrisponde a una distanza di alcuni centimetri, tipici del cono di luce Čerenkov ed è difficile ottenere una risposta così veloce con gli usuali preamplificatori ad integrazione di carica.

Una buona risposta ai transienti è desiderabile anche per determinare con precisione le coordinate dell'evento: un tempo di salita dell'impulso di 10 ns. è equivalente ad una indeterminazione spaziale di alcuni decimi di millimetro.

La necessità di trattare segnali con enorme dinamica implica che molta cura deve essere posta nell'evitare diafonia tra fili adiacenti della camera, per cui l'impedenza d'ingresso dell'amplificatore dovrà essere sufficientemente bassa.

Il circuito deve essere economico ed affidabile a causa dell'altissimo numero di canali richiesti (circa 27000 nel nostro caso).

Riassumendo ecco l'elenco dei requisiti:

1. Basso rumore
2. Grande dinamica (almeno 600)
3. Tempo morto non superiore a 300 ns.
4. Larga banda passante
5. Bassa impedenza di ingresso
6. Basso consumo
7. Basso costo

Il problema più difficile da affrontare fra quelli appena menzionati è sicuramente la grande dinamica. Per superarlo abbiamo progettato un preamplificatore con risposta approssimativamente logaritmica (fig. 3) La prima parte della caratteristica viene utilizzata per rivelare i segnali dei fotoelettroni, la seconda parte è invece utile per trattare i segnali delle particelle ionizzanti senza andare incontro a saturazione.

2 Schema elettrico

Il circuito elettrico (Fig. 1-2) è composto di 3 stadi:

- Il preamplificatore a basso rumore
- Lo stadio logaritmico a larga dinamica
- Lo stadio finale con uscita differenziale

2.1 Il primo stadio

Il preamplificatore deve soddisfare contemporaneamente a requisiti di alto guadagno e grande dinamica, banda passante estesa e soprattutto basso rumore. Inoltre per ridurre la diafo-

nia tra canali adiacenti ed il rischio di captazione di interferenze esterne o di instabilità dell'amplificatore è necessario avere una bassa impedenza d'ingresso. Viene scelto il BJT poichè, a differenza del FET, presenta anche a basse correnti un alto g_m ed una bassa Impedenza di ingresso.

Poichè la camera è un generatore di corrente viene scartata l'ipotesi di utilizzare il BJT in configurazione a base comune per il guadagno unitario di corrente. Occorre anche considerare che la cifra totale di rumore dell'intero circuito (3 stadi: cascode, amplificatore logaritmico e amplificatore di linea) tende a quella del primo stadio purchè il suo guadagno sia sufficientemente elevato. Una configurazione a emettitore comune, per le ragioni sopra esposte, è preferibile, però l'alto guadagno di tensione tende ad aumentare la capacità d'ingresso dovuta all'effetto Miller. Il circuito cascode minimizza questi effetti, consentendo un'ottima velocità di risposta associata ad una bassa capacità d'ingresso. Infatti T1 (CE) lavora come un generatore di corrente, con un guadagno di tensione molto basso poichè si trova chiuso sulla bassa impedenza di T2 (CB) che lavora come amplificatore a guadagno unitario di corrente.

Per migliorare la cifra di rumore del preamplificatore T1 lavora con una V_{CE} molto bassa (0,8 V). Il BJT adoperato è il BFR 92 che risponde ampiamente alle esigenze sopra esposte (larga banda e basso rumore).

La rete di reazione R7-R2 serve, oltre che a rendere stabili i punti di lavoro, ad abbassare ulteriormente l'impedenza d'ingresso. T3 opera come inseguitore catodico; è usato nella versione NPN o PNP a seconda che si leggano i fili o i pad, al fine di ottimizzare la dinamica e la banda passante.

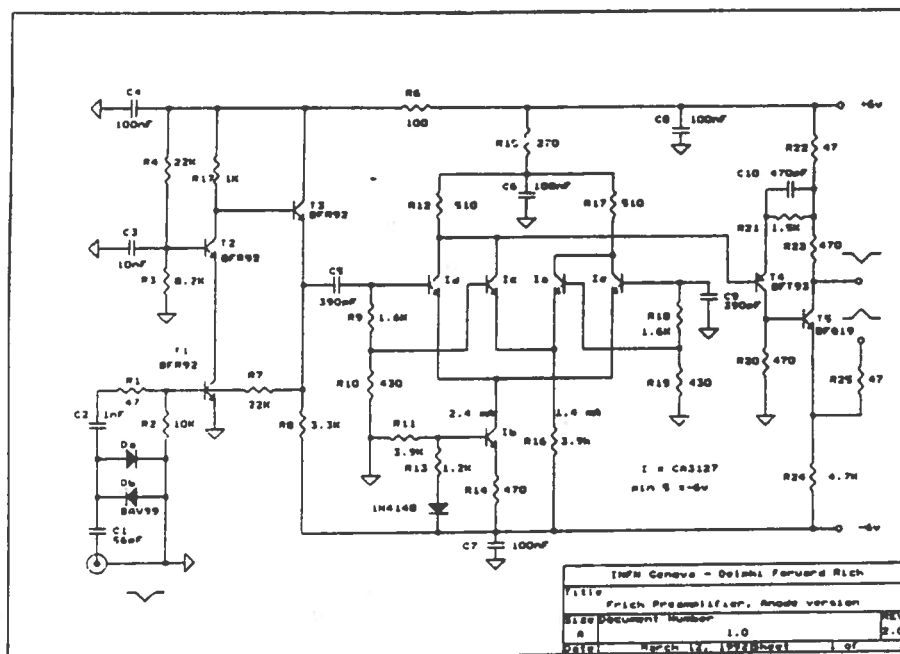


Figura 1: Schema elettrico del circuito ibrido, versione "anodica" (lettura fili)

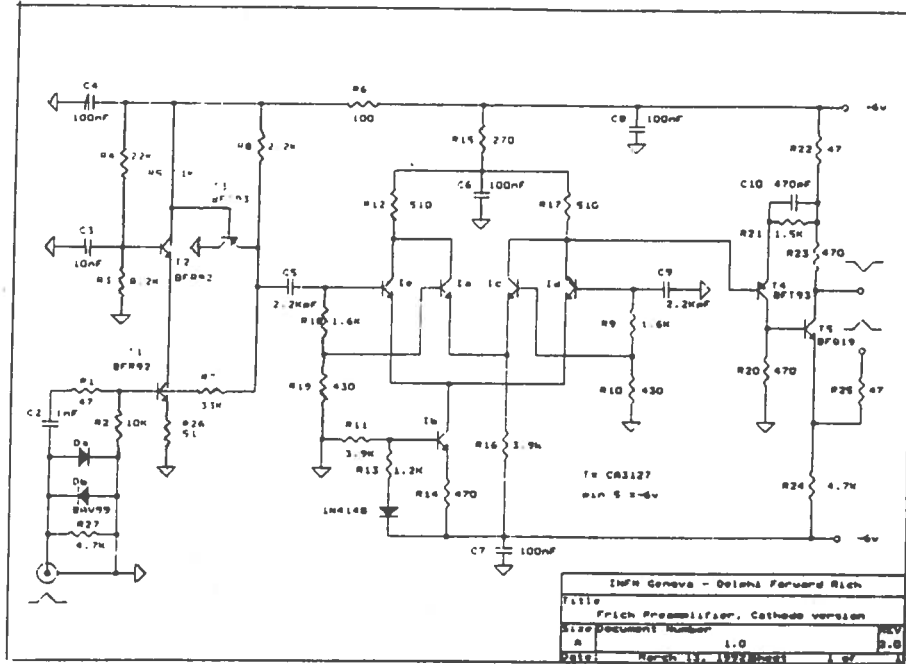


Figura 2: Schema elettrico del circuito ibrido, versione "catodica" (lettura "pad")

2.2 Secondo stadio

Il circuito è realizzato con una coppia di amplificatori differenziali, uno limitatore, l'altro attenuatore; come uscita viene utilizzata la somma delle loro correnti di collettore.

La funzione di trasferimento è in realtà una spezzata a 2 segmenti (Fig. 3). È importante

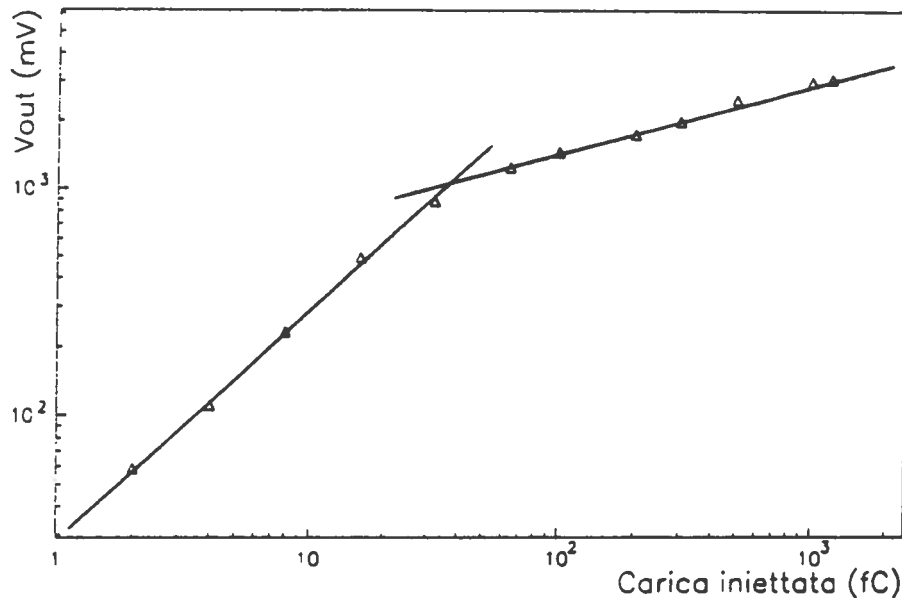


Figura 3: Ampiezza del segnale del preamplificatore in funzione della carica iniettata

notare che essa è ottenuta con circuiti che lavorano in modo lineare.

Per motivi di semplicità solo il differenziale per segnali a basso livello presenta sugli emettitori un generatore di corrente (ottenuto con un transistor usato nella connessione usuale). Questa coppia ha un guadagno differenziale $G = 10$, lavora con segnali fino a 100 mV; oltre tale valore il suo contributo di corrente all'uscita diventa costante, si ottiene così una limitazione netta.

Il secondo differenziale deve lavorare con alta dinamica e guadagno inferiore all'unità. L'alta dinamica richiede una corrente di lavoro più alta e di conseguenza un basso valore della resistenza di polarizzazione (R_{16}).

È stato utilizzato un circuito integrato CA 3127 costituito da 5 transistor costruiti su un unico substrato. L'elevato accoppiamento termico e la fabbricazione monolitica garantiscono la ripetibilità del circuito. I transistor presentano una bassa cifra di rumore ($NF=3.5$ db) ed un'alta frequenza di taglio ($f_T = 1$ GHz).

2.3 Terzo stadio

È l'unico stadio che lavora in modo unidirezionale dati gli elevati livelli di segnale disponibili alle sue uscite.

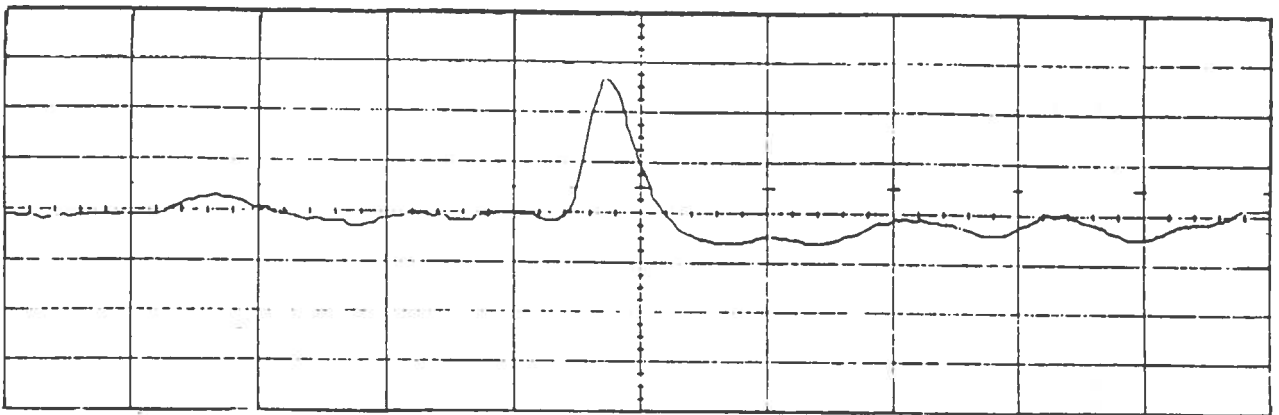


Figura 4: Segnale anodico della camera alimentata a 1150V, sorgente di Fe^{55} , asse X: 50 ns/div, asse Y: 100 mV/div.

Sia il Buffer (T4) che il finale (T5) presentano una bassa corrente di riposo dovuta alle resistenze di Emettore molto alte.

T5 ha una connessione a emettitore comune. In regime dinamico il guadagno di tensione sul collettore è metà di quello dell'emettitore ($R_L/2R_L$), perciò, al fine di bilanciare le uscite, mentre sul collettore il carico è collegato direttamente, sull'emettitore è connesso attraverso una resistenza dello stesso valore dell'impedenza di carico. In uscita, sulla linea disponiamo di 2 segnali in opposizione di fase con lo stesso livello.

3 Caratteristiche elettriche

I preamplificatori assorbono circa 8 mA dall'alimentazione positiva e 9 mA da quella negativa per un totale di circa 100 mW. La risposta in frequenza si estende da alcuni MHz fino a circa 30-35 MHz entro ± 3 dB, dopo cala lentamente e l'amplificazione diventa trascurabile oltre 100 MHz.

Il rumore all'uscita dell'amplificatore è approssimativamente gaussiano ed ha un'ampiezza efficace pari a circa $9 mV_{rms}$.

4 Realizzazione

Lo spazio disponibile per un canale è $38 \times 10 \times 2.5$ mm, si è perciò scelta una realizzazione con la tecnica del circuito ibrido a film spesso (Fig. 7), sono stati utilizzati 2 piani di collegamento

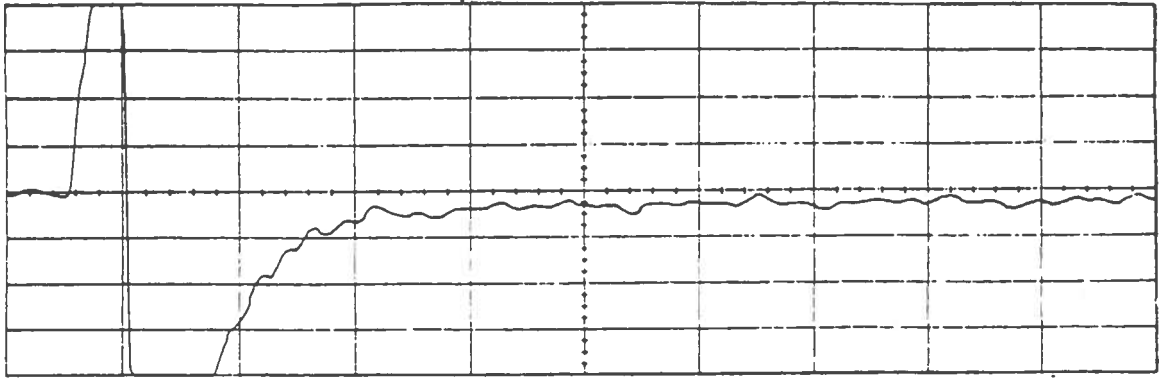


Figura 5: Segnale anodico della camera alimentata a 1650V, sorgente di Fe^{55} asse X: 200ns/div, scala verticale espansa (20 mV/div). Si noti il rapido recupero della linearità dopo circa 300 ns.

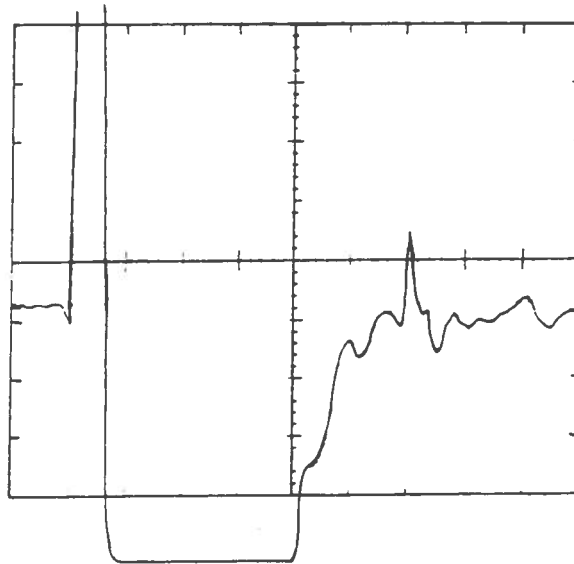


Figura 6: Risposta (mediata) del preamplificatore ad 2 impulsi distanziati di 500 ns. Il primo impulso inietta 1200 fC, il secondo 2 fC. Scala verticale 20 mV/div, scala orizzontale 100 ns/div

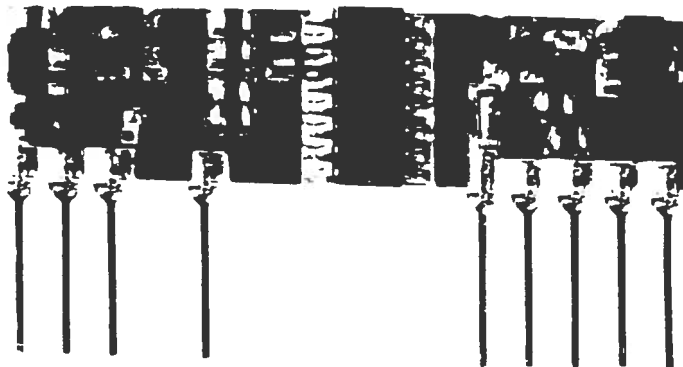


Figura 7: Foto di un preamplificatore costruito con la tecnica del "Film Spesso"

ed un piano di terra. Gli ibridi sono stati successivamente saldati su un circuito stampato convenzionale multistrato su cui sono presenti i condensatori di alta tensione per l'accoppiamento con la camera proporzionale nel caso della versione anodica ed i condensatori di filtraggio sull'alimentazione (elettrolitici al tantalio)

5 Risultati

Le due versioni del preamplificatore (lettura anodica e catodica) sono state montate su una camera di prova del Forward Rich⁽¹⁾⁽²⁾ del rivelatore Delphi a LEP. Abbiamo simulato i segnali dei fotoelettroni con una sorgente di Fe^{55} (emettitore principalmente di raggi X da 5.9 Kev) sottoalimentando la camera a 1150 V. Il segnale ottenuto è ragionevolmente confrontabile con quello di un fotoelettrone⁽³⁾ ed è mostrato in fig. 4.

La fig. 5 mostra invece i segnali ottenibili con una alta tensione di 1650 V. Non vi è alcun segno di limitazione nella parte positiva del segnale (non visibile in figura), mentre la limitazione dell'undershoot negativo è dovuta alla caratteristica unipolare dello stadio finale, ciò non provoca alcun inconveniente nella misura dell'ampiezza del segnale. Dopo circa 300 ns il sistema è ritornato in regime pienamente lineare ed è pronto a trattare un nuovo impulso. La risposta ad un doppio impulso può essere osservata in fig. 6, dove due segnali, con ampiezze rispettivamente di 1200 fC e 2 fC, corrispondenti rispettivamente al segnale di una particella al minimo di ionizzazione e ad un fotoelettrone, distanziati di 500 ns, sono agevolmente separati.

6 Ringraziamenti

È con piacere che ringraziamo l'officina elettronica della sezione INFN di Genova per il valido aiuto prestato durante la realizzazione dei primi prototipi con tecnica a montaggio superficiale. Vogliamo inoltre ringraziare l'Ing. Lovo della Neohm Componenti che ha curato la realizzazione del circuito ibrido con grande professionalità e cortesia.

7 Riferimenti

1. Delphi Technical Proposal CERN/LEPC/83-3
2. Delphi Progress Report CERN/LEPC/84-16
3. Informazione privata fornita da D. Isenhower (Cern).