

Appunti di Elettronica

- Trasmissione dei Segnali
- Catena Elettronica per misure energetiche
- Catena Elettronica per misure di intervalli temporali
- Catena Elettronica per misure in coincidenza 1
- Catena Elettronica per misure in coincidenza 2
- Circuiti Passa-Alto e Passa-Basso

Trasmissione dei segnali – impedenza dei Cavi - terminazioni

Segnale lento:

Segnale il cui tempo di salita è molto più lungo del tempo necessario all'impulso a percorrere il cavo di trasmissione ($v \sim 5 \text{ ns/m}$)

Segnale Veloce:

Segnale il cui tempo di salita è paragonabile al tempo necessario all'impulso a percorrere il cavo di trasmissione ($v \sim 5 \text{ ns/m}$)

- Nel caso di segnali lenti il cavo non introduce alcun effetto
- Nel caso di segnali veloci diventa importante l'impedenza caratteristica del cavo e soprattutto l'impedenza posta alla fine del cavo stesso (la terminazione). La terminazione è l'effettiva resistenza che si ha tra il conduttore centrale e la maglia di un cavo coassiale.
 - Un cavo non connesso ha impedenza di uscita infinita
 - Un cavo collegato ad un modulo ha impedenza di uscita pari a quella di input del modulo (ottenibile dalle specifiche).

1 Caso

Il cavo (la cui impedenza di 50 Ohm – cavi LEMO o BNC -) è collegato a due moduli con impedenza identica, cioè 50 Ohm

In questa situazione il cavo coassiale si comporta come se fosse un cavo di lunghezza infinità e di conseguenza non ci sono conseguenze nella trasmissione del segnale lento o veloce che sia

2 Caso

Il cavo riceve un segnale da un modulo con impedenza di uscita pari a 50 Ohm e lo porta ad un modulo con impedenza diversa da 50 Ohm.

In questa situazione quando un segnale veloce arriva all'estremità del cavo viene parzialmente riflesso andando a distorcere i segnali successivi.

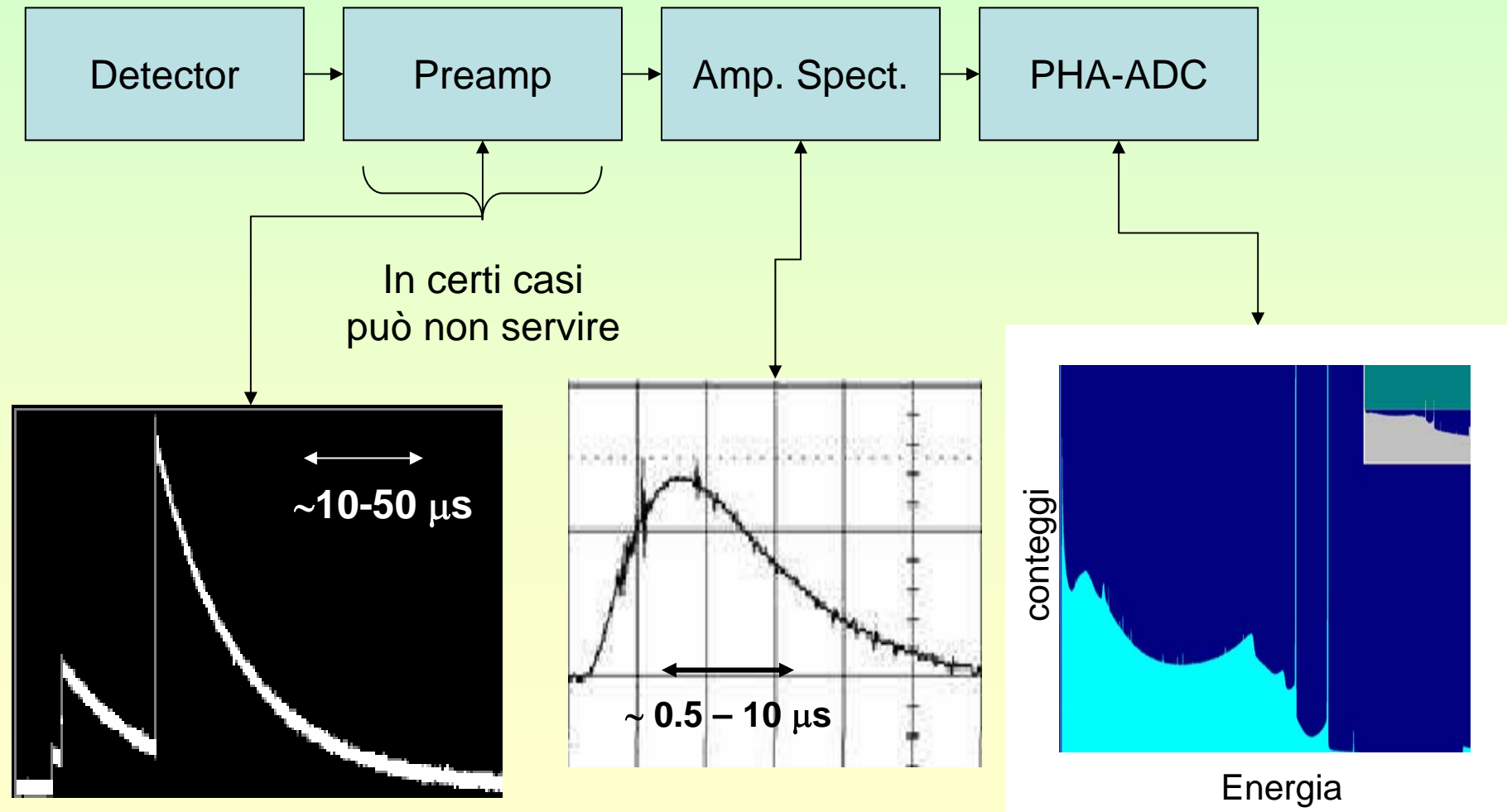
Per evitare la riflessione si mette in parallelo all'impedenza di uscita una resistenza opportuna così ottenere 50 Ohm come impedenza finale. Se l'impedenza in entrata è molto alta la resistenza con cui terminare è di 50 Ohm.

Nota che una terminazione a 50 Ohm riduce sensibilmente l'ampiezza del segnale

Un amplificatore spettroscopico o un oscilloscopio hanno una impedenza di entrata dell'ordine del MegaOhm

Catena per la misura della risoluzione energetica

La catena elettronica più semplice per la misura dell'energia è costituita da:



La modalità d'uso dell'elettronica dipende fortemente dal rate di conteggio del rivelatore stesso.

Basso rate < 100-500 Hz $(\Delta T * \text{Rate}) \sim 10^{-3}$

- in questo caso tutti gli impulsi possono essere considerati separati tra loro, la probabilità che due impulsi possano interferire tra loro è trascurabile e quindi ciascun impulso è trattabile singolarmente

Alto rate > 2-3 KHz $(\Delta T * \text{Rate}) \sim 10^{-2} - 10^{-1}$

- In questo caso la configurazione dell'elettronica deve essere tale da ridurre al minimo la probabilità che due impulsi si sovrappongano e che la linea di zero oscilli. Il più delle volte questo è in aperto conflitto con la soluzione ottimale per la misura dell'energia

Le scelte più critiche, relativamente al rate di conteggio, coinvolgono l'amplificatore

Preamplificatore:

Riceve il segnale dal rivelatore (in carica o corrente) e lo trasforma in un segnale in tensione. In caso di necessità lo può anche amplificare.

- Non deve peggiorare il rapporto segnale rumore
 - Va messo il più vicino possibile al rivelatore
- Esistono diverse configurazioni legati al tipo di rivelatore in uso:
 - **Charge sensitive:**
 - Quando l'impulso in arrivo dal rivelatore è piccolo è si è interessati a misure di energia (HPGe, Silici, camere proporzionali ...)
 - **Transistor reset**
 - Quando l'impulso in arrivo dal rivelatore è piccolo, si è interessati a misure di energia e si hanno alti rate di conteggio
 - **Current sensitive**
 - Quando l'impulso è sufficientemente alto (scintillatori)
 - **Parasitic Capacitance**
 - Se interessa sia l'energia che il 'rise-time' del rivelatore

Preamplificatori 'Charge sensitive'

Possiamo esprimere l'ampiezza del segnale V_o in uscita e la costante di decadimento del segnale come:

$$V_o = \frac{Q_d}{C_f} \qquad \tau = R_f C_f$$

dove Q_d è la carica depositata dall'evento nel rivelatore accumulata sulla capacità di feedback del preamplificatore. C_f è il valore della capacità di feedback (0.1 to 5 pF) e R_f è la resistenza di feedback.

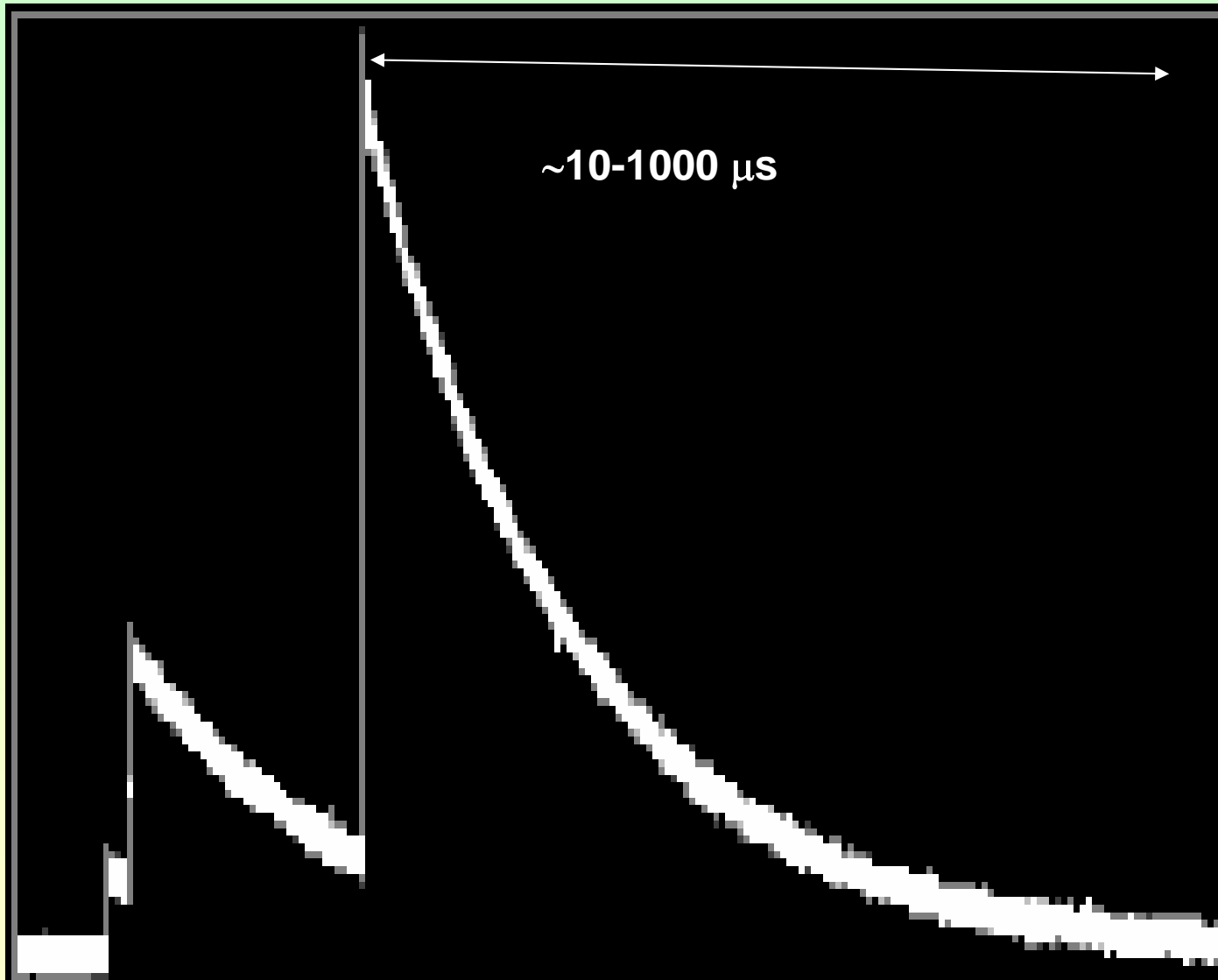
Per ridurre il rumore R_f deve essere molto grande, di conseguenza il tempo di decadimento del segnale diventa lungo.

Notate che non entra in gioco la capacità del rivelatore

Un parametro utile è la sensibilità del preamplificatore che ne determina il fattore di guadagno.

$$G = \frac{V_o}{E} = \frac{e}{C_f \cdot \varepsilon} 10^6 \quad (C_f \approx 10^{-12} F \Rightarrow G \approx 50 \text{ mV} / \text{MeV})$$

Dove E è l'energia depositata in MeV e ε è l'energia necessaria per produrre un portatore di carica



Amplificatore

Nella grande maggioranza dei casi il tempo di salita del segnale in uscita dal preamplificatore ed in entrata all'amplificatore riflette il tempo di raccolta delle cariche. In questo caso l'ampiezza del segnale riflette l'energia depositata dalla radiazione.

Nel caso in cui non si usasse un preamplificatore (per esempio usando alcuni scintillatori) l'energia depositata dalla radiazione nel rivelatore è data dalla carica portata dal segnale.

Il ruolo dell'amplificatore consiste in:

- Filtrare il segnale in entrata riducendo il rumore elettronico
- Formare il segnale per l'ADC:
 - Ampiezza proporzionale alla carica
 - Forma approssimativamente gaussiana
 - Tempo di salita superiore a 500 ns

Amplificatore

In ogni amplificatore è possibile selezionare un 'shaping time' cioè un tempo di formazione. In generale il range a disposizione oscilla tra 250 ns e 10 μ s.

La scelta dello 'shaping time' da usare è legata a tre effetti da minimizzare:

- Il deficit balistico
- Il pile-up
- Il rapporto segnale rumore

Altri controlli importanti sono:

- Il polo zero
- Pulse shape
 - Unipolare
 - Bipolare
- Il guadagno
- La polarità del segnale di ingresso

Tutti gli amplificatori per misure di energia (amplificatori spettroscopici) hanno in uscita un segnale positivo



Shaping time - Il deficit balistico

Il segnale in entrata all'amplificatore ha nella sua ampiezza (o nel suo integrale) l'informazione sull'energia depositata.

In situazioni ideali il tempo di formazione dell'amplificatore dovrà quindi essere di molto superiore al rise time del segnale di entrata (o alla durata del segnale stesso)

La quantità di carica persa a causa di un tempo di formazione troppo corto viene chiamata deficit balistico.

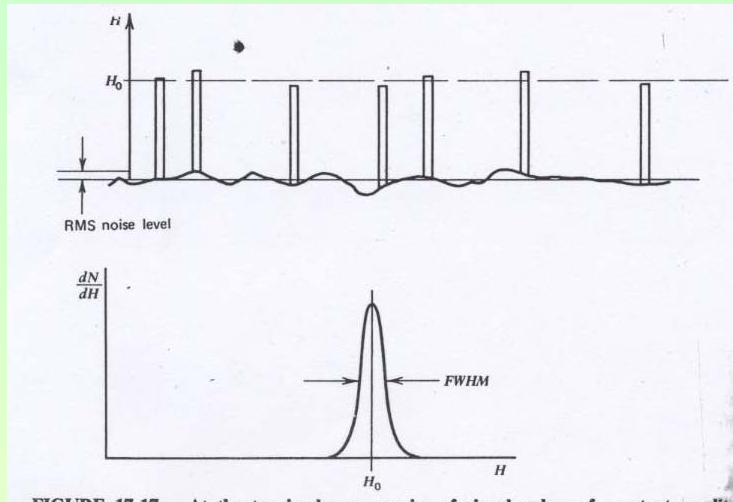
Nota:

il deficit balistico non introduce un errore significativo

- Nel caso di rivelatori con un tempo di raccolta delle cariche costante (quindi con un segnale che ha il rise-time costante)
- Nel caso di segnali la cui forma rimane sempre costante indipendentemente dalla ampiezza o da qualsiasi altro parametro

Quindi per minimizzare il pileup o il rapporto segnale rumore può essere conveniente optare per un corto tempo di formazione più corto di quello 'ideale'

Shaping time - Il rapporto segnale rumore



Il rumore è una non desiderata fluttuazione che si sovrappone al segnale.

Ovviamente l'effetto del rumore è l'introduzione di una fluttuazione nel valore dell'ampiezza. Ogni tecnica tesa a ridurre il rumore porta ad un miglioramento della risoluzione energetica

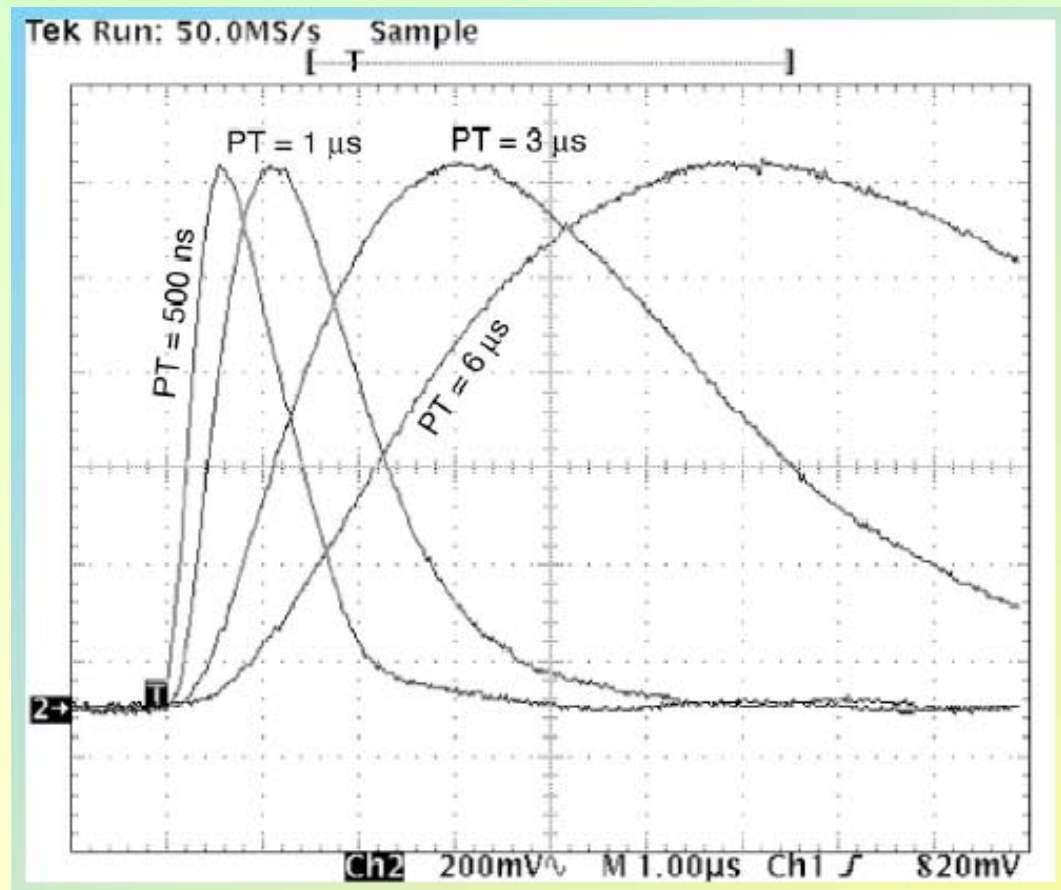
Lo spettro in frequenza del rumore è estremamente ampio (rumore bianco) e può essere considerato uniformemente distribuito

Lo spettro in frequenza di un segnale è in generale concentrato in una banda molto più ristretta (come limite superiore possiamo immaginare il rise time e limite inferiore il decay time)

- un rivelatore il cui segnale ha un fronte di salita di $1 \mu\text{s}$ non potrà mai contenere informazioni sulla scala del nanosecondo o del millisecondo

La formazione del segnale fatta dell'amplificatore è costituita da una combinazione di circuiti RC e CR che altro non sono che circuiti passa basso e passa alto.

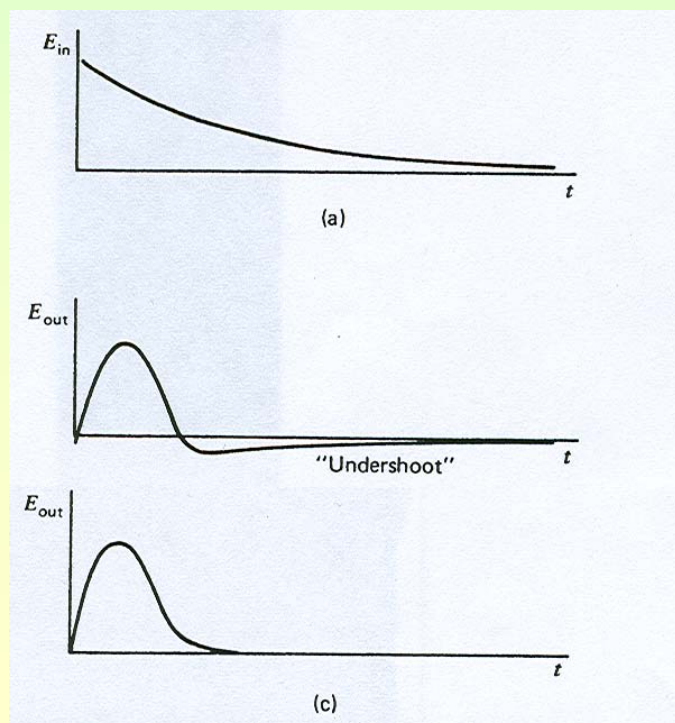
La scelta dello shaping time quindi condiziona anche l'intervallo di frequenze che l'amplificatore non filtra. Più è corto lo shaping time più alta in frequenza sarà la banda passante.



Correzione di Polo zero

La costante RC del preamplificatore (variabile a seconda del preamplificatore) ha sul segnale in uscita dall'amplificatore una non 'idealità' che può comportare un significativo deterioramento della risoluzione energetica.

In pratica si viene a creare un effetto di 'undershoot' o 'overshoot' alla fine dell'impulso di durata paragonabile al decay time del preamplificatore. Un evento che arriva in questo periodo di tempo avrà l'ampiezza sotto o sovrastimata.



La correzione di 'polo zero' riallinea alla linea di terra il segnale dell'amplificatore

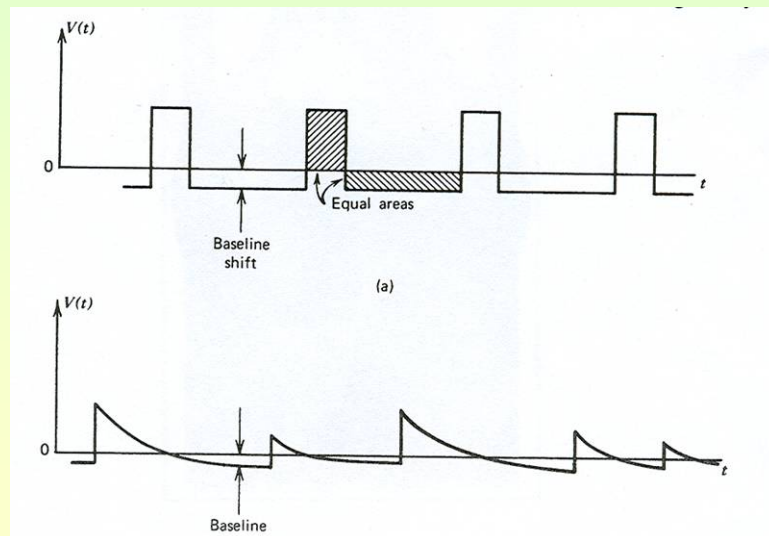
Nella grande maggioranza degli amplificatori si effettua a mano, attraverso un piccolo potenziometro

DEVE essere fatta ogni qual volta si cambia lo 'shaping time' dell'amplificatore

Pulse shape: riallineamento della linea di base

La formazione RC-CR effettuata da un amplificatore impone la condizione che l'area di un impulso al di sopra della linea di zero deve essere identica a quella al di sotto della linea di zero.

Questo effetto è minimo nel caso di basso rate di conteggio, diventa importante quando il rate di conteggio diventa elevato si ha un drift della linea di base che comporta un peggioramento della risoluzione energetica.

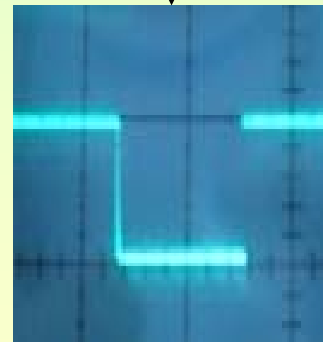
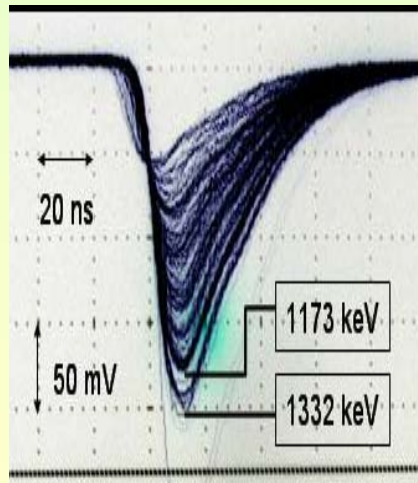
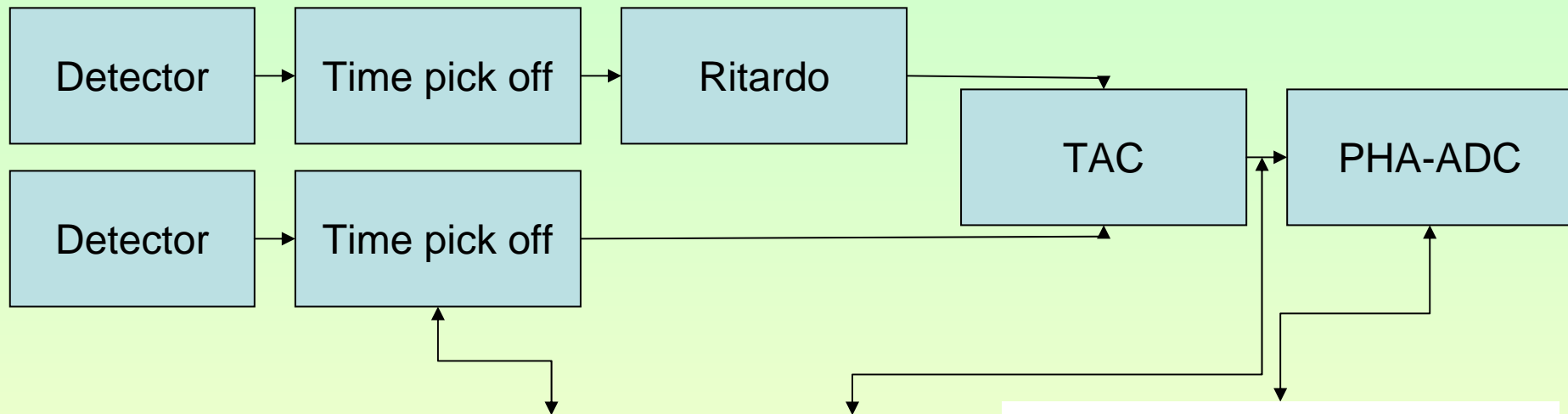


Per evitare una fluttuazione della linea di base è possibile scegliere una formazione bipolare.

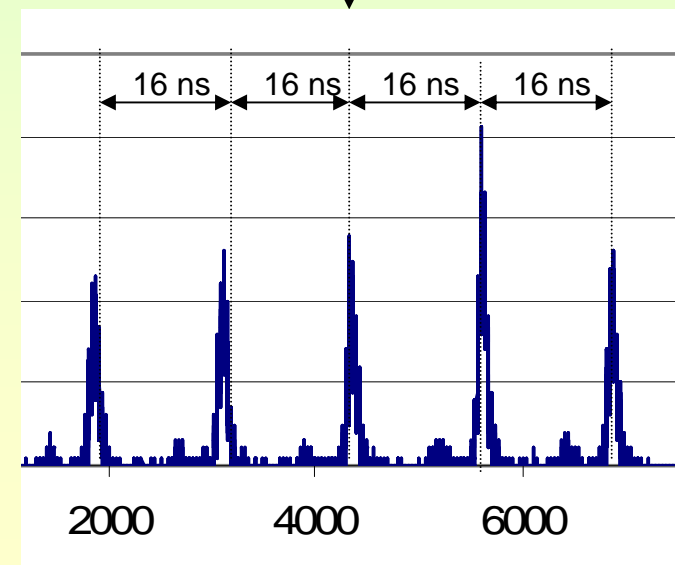
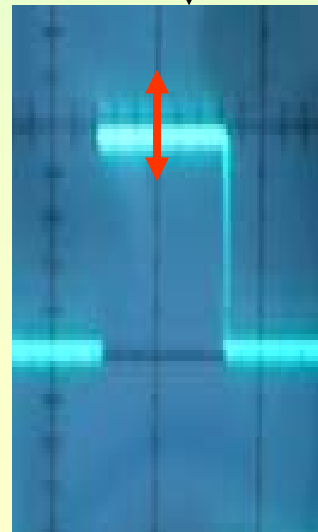
Questa soluzione, sebbene meno performante in termini di rapporto segnale/rumore elimina completamente questo drift

Catena per misure di intervalli temporali

La catena elettronica più semplice per la misura di un intervallo di tempo è data da:



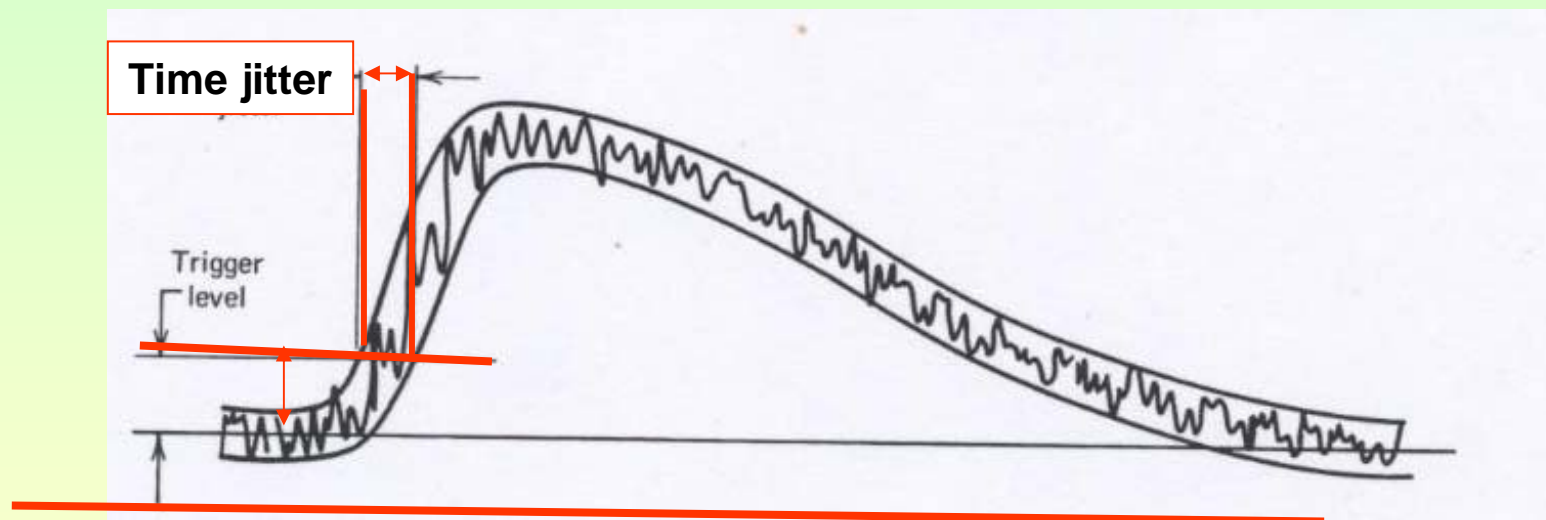
NIM - Signal



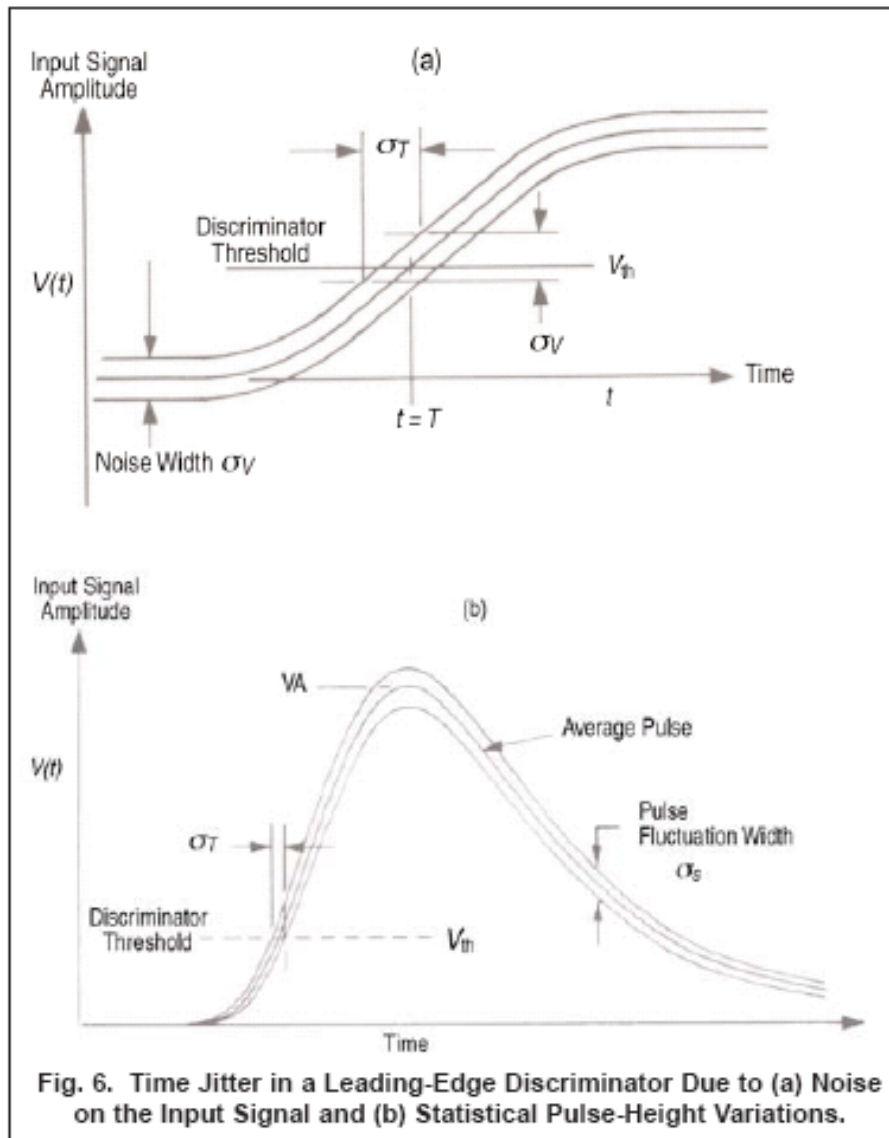
TEMPO (ns)

L'elemento critico nella catena è quello di time **pick-off**. Cioè la determinazione dell'istante temporale in cui la radiazione ha interagito nel rivelatore. Il segnale in arrivo, infatti, non è una delta. Ha un rise-time ed è presente il rumore elettronico.

La tecnica più semplice di time pick-off è detta a '**leading edge**' ed è costituita semplicemente da un discriminatore in tensione



Un fenomeno che introduce incertezza nella determinazione dell'istante temporale in cui avviene l'interazione è indotto dal rumore elettronico. Questo fenomeno è detto '**time jitter**'



$$V = V(t)$$

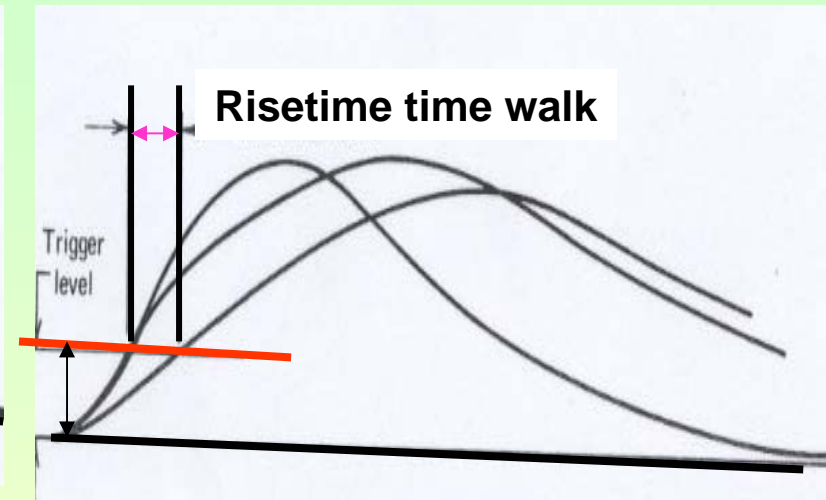
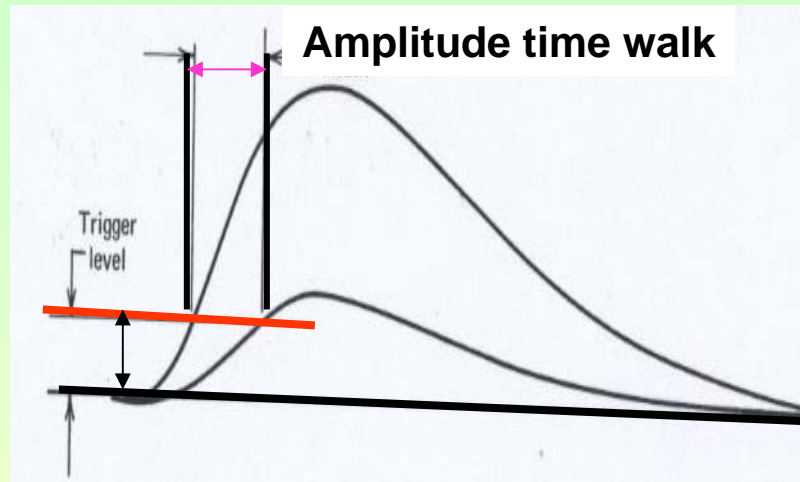
$$\sigma_v = \sqrt{\left(\frac{\partial V(t)}{\partial t}\right)^2 \sigma_t^2}$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_v}{\left(\frac{\partial V(t)}{\partial t}\right)}$$

Segnali con un tempo di salita molto rapido minimizzano il 'time jitter'

Il valore di soglia del leading edge (per minimizzare il jitter) dovrà essere messo nel punto di massima pendenza del segnale.

Purtroppo il segnale in arrivo non è una delta. Ha un rise-time ed una ampiezza che non necessariamente sono uguali per tutti gli impulsi. Questo introduce una ulteriore incertezza detta **'time walk'**

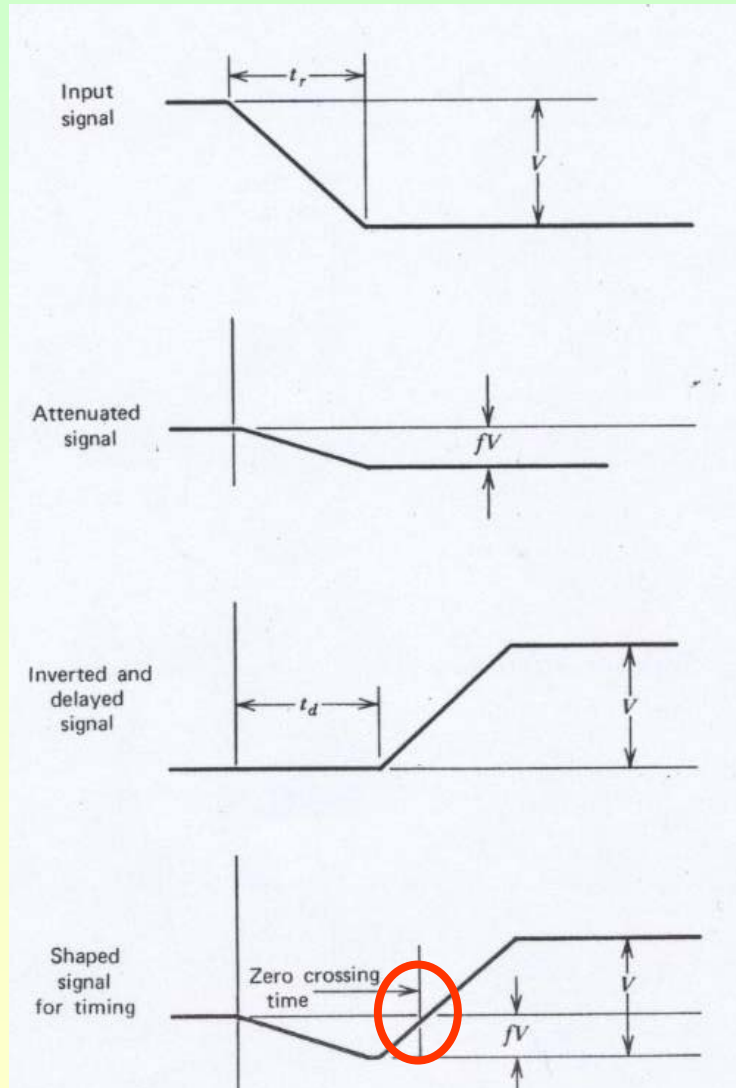


In altre parole segnale che arrivano contemporaneamente in tempo ma con

- Ampiezza differente
- Forma differente

Accendono il time peak-off in tempi differenti e quindi introducono una incertezza nella determinazione dell'intervallo temporale.

Constant Fraction Discriminator CFD



Il segnale viene sdoppiato:

- Segnale 1
- Segnale 2

Il segnale 1 è invertito ed attenuato

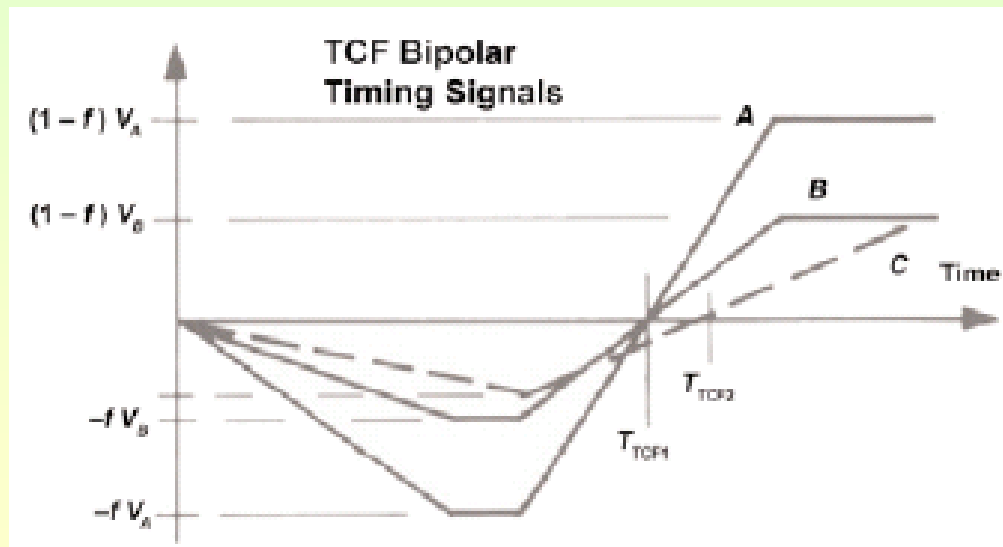
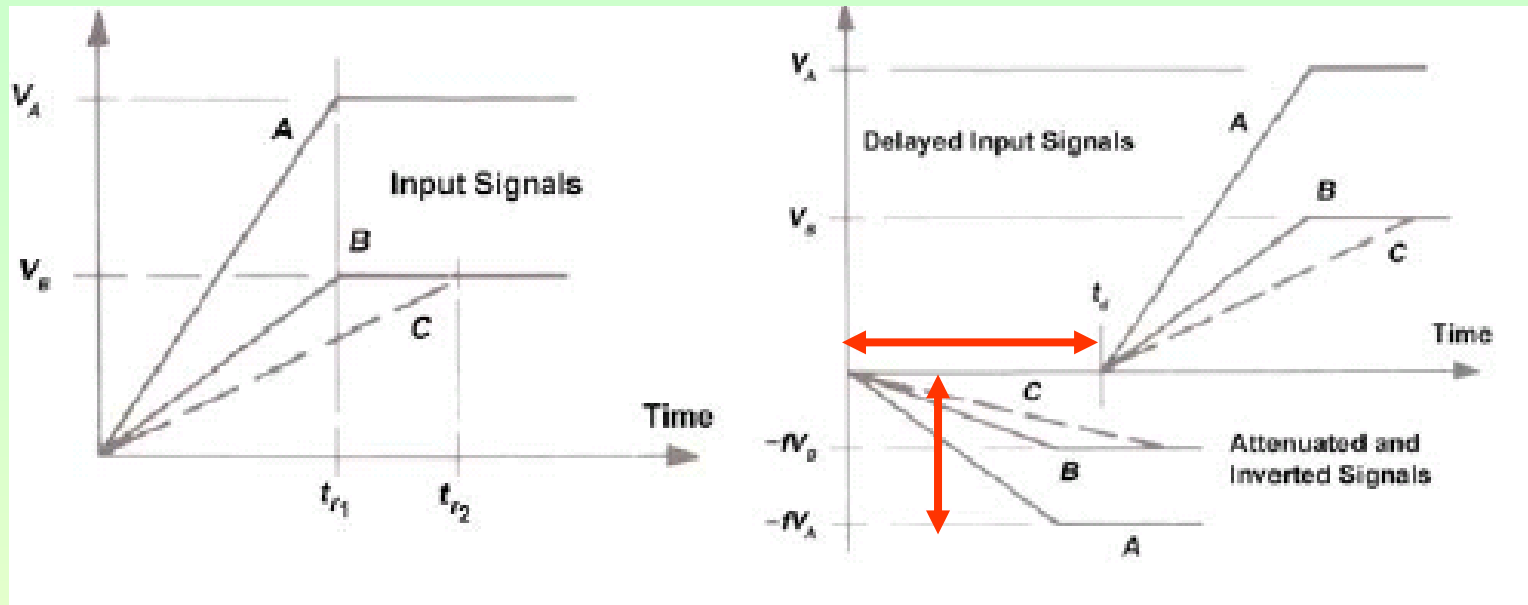
- L'attenuazione è una variabile da trovare sperimentalmente (in alcuni casi)

Il segnale 2 è ritardato

- Il ritardo 'shaping delay' è da trovare sperimentalmente

I due segnali sono sommati

Il time pick-off è dato dal punto di '0' crossing

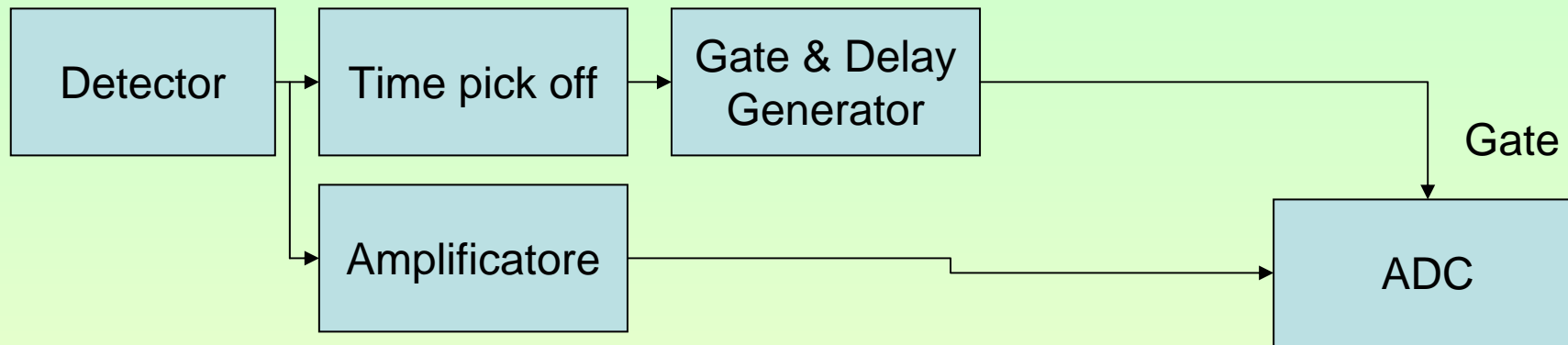


La tecnica della discriminazione a formazione costate:

elimina il 'time walk' indotto dalle diverse ampiezze di segnale e riduce sensibilmente il time jitter (scegliendo opportunamente la frazione) e il 'time walk' indotto da forme di segnale differenti

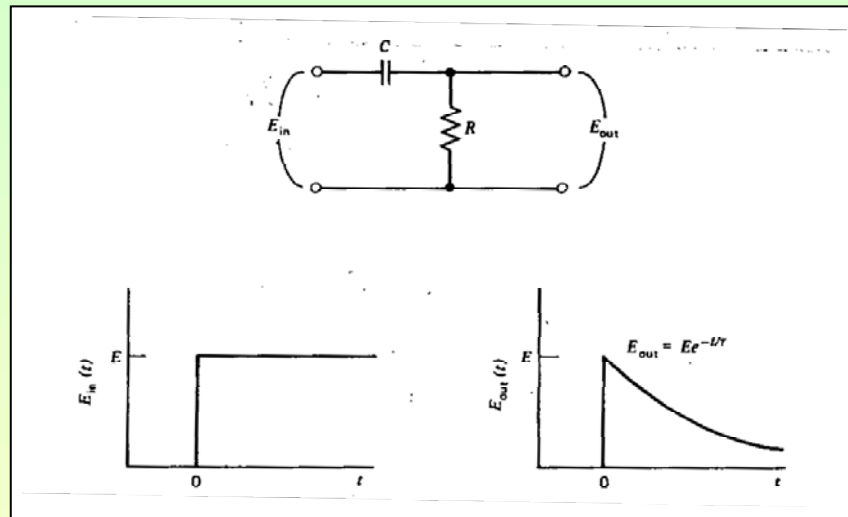
Catena per misure in coincidenza -1-

La catena elettronica più semplice per la misura di un intervallo di tempo è data da:



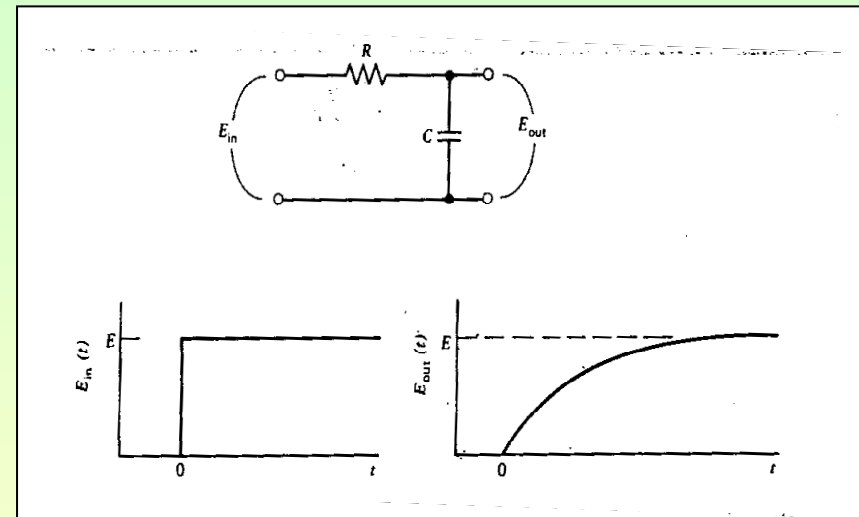
In questa catena il segnale energetico sarà acquisito solo ed esclusivamente se il Constant Fraction Discriminator ha dato un segnale, quindi se il segnale ha superato una determinata soglia

Circuito passa alto



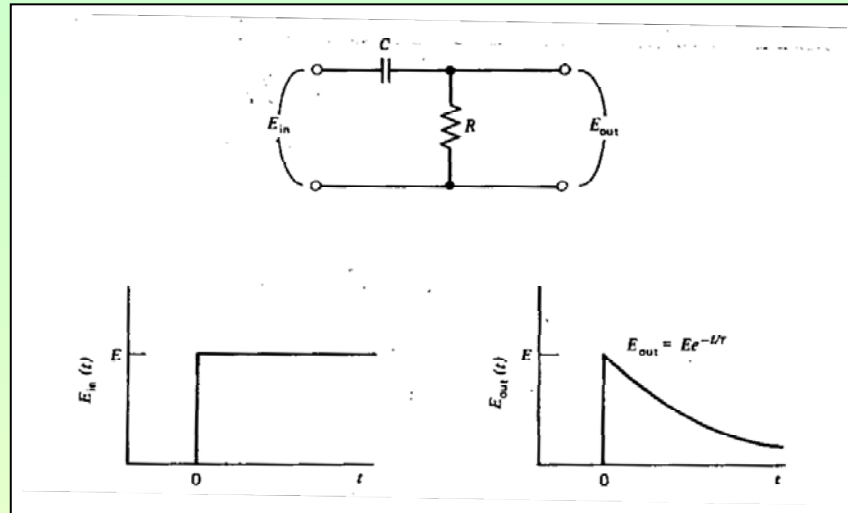
E' un circuito che taglia le frequenze basse e che fa la derivata del segnale in entrata

Circuito passa basso



E' un circuito che taglia le frequenze alte e che fa l'integrale del segnale in entrata

Circuito differenziatore o passa alto



$$V_{in} = \frac{Q}{C} + iR \quad \text{Ma } iR = V_{out}$$

$$V_{in} = \frac{Q}{C} + V_{out} \quad \Rightarrow \quad \frac{dV_{in}}{dt} = \frac{i}{C} + \frac{dV_{out}}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dV_{in}}{dt} = \frac{V_{out}}{RC} + \frac{dV_{out}}{dt}$$

$$\text{Sia } \tau = RC$$

$$V_{out} + \tau \frac{dV_{out}}{dt} = \tau \frac{dV_{in}}{dt}$$

se $\tau \ll 1$

$$V_{out} + \tau \frac{dV_{out}}{dt} \approx V_{out} \Rightarrow V_{out} \approx \tau \frac{dV_{in}}{dt}$$

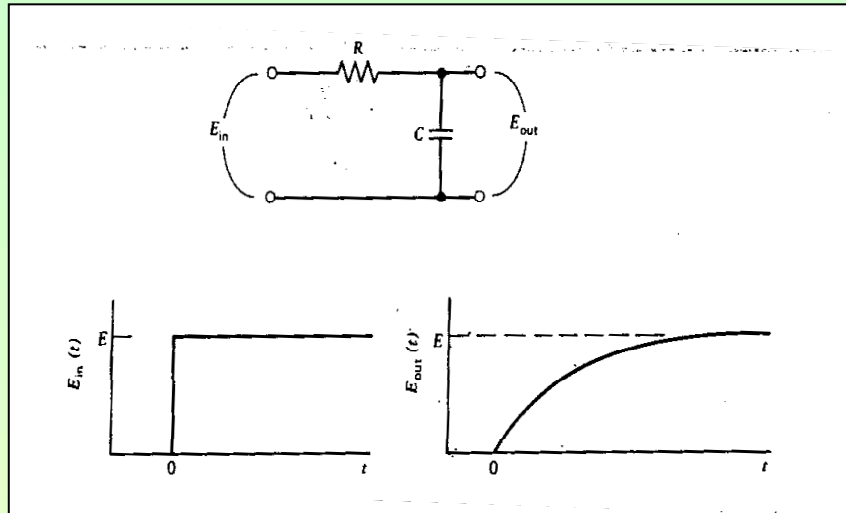
Il segnale in uscita è la derivata di quello in entrata

se $\tau \gg 1$

$$V_{out} + \tau \frac{dV_{out}}{dt} \approx \tau \frac{dV_{out}}{dt} \Rightarrow \tau \frac{dV_{out}}{dt} \approx \tau \frac{dV_{in}}{dt}$$

Il segnale in uscita è identico a quello in entrata

Circuito integratore o passa basso



$$V_{in} = iR + \frac{Q}{C} \quad \text{Ma } \frac{Q}{C} = V_{out}$$

$$V_{in} = V_{out} + iR \quad \Rightarrow \quad \frac{dV_{out}}{dt} = \frac{dQ}{dt} \frac{1}{C} = \frac{i}{C}$$

$$\Rightarrow V_{in} = V_{out} + \frac{dV_{out}}{dt} RC$$

$$\tau = RC$$

$$V_{in} = V_{out} + \tau \frac{dV_{out}}{dt}$$

se $\tau \gg 1$

$$V_{out} + \tau \frac{dV_{out}}{dt} \approx \tau \frac{dV_{out}}{dt} \Rightarrow V_{out} \approx \frac{1}{\tau} \int V_{in} dt$$

Il segnale in uscita è l'integrale
di quello in entrata

se $\tau \ll 1$

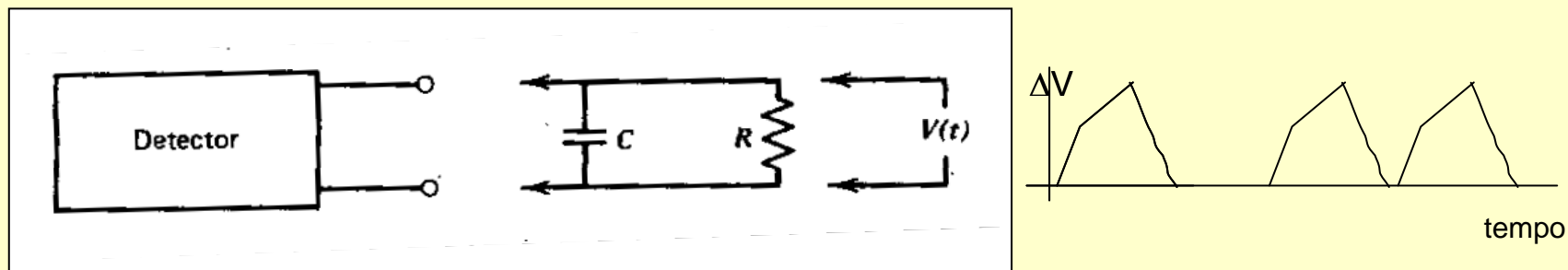
$$V_{out} + \tau \frac{dV_{out}}{dt} \approx V_{out} \Rightarrow V_{in} = V_{out}$$

Il segnale in uscita è identico a
a quello in entrata

Ricordate ?

- Pulse mode

- Il rivelatore da un segnale in tensione o in corrente per ogni quanto di radiazione incidente

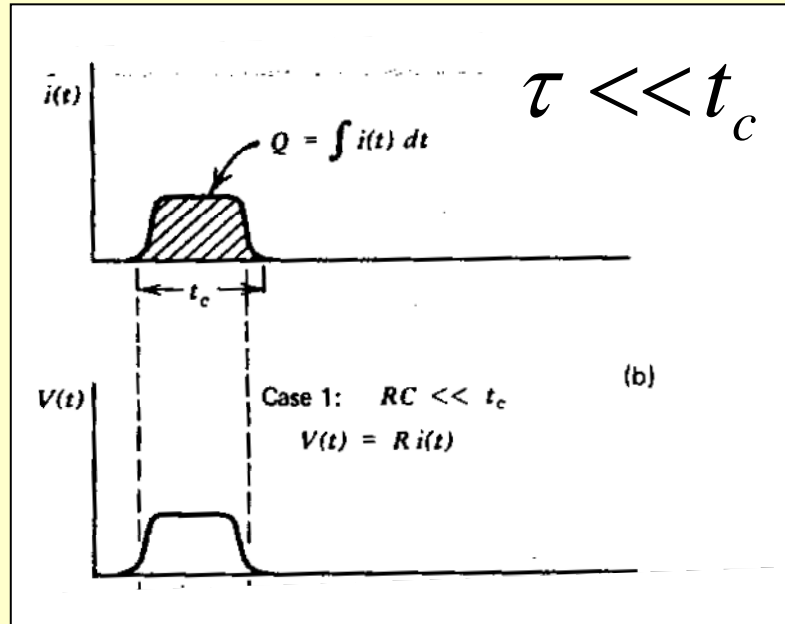


Possiamo immaginare l'elettronica di primo livello accoppiata al rivelatore il tutto come un circuito RC, in cui il segnale carica un condensatore che si scarica con costante RC

$\tau \ll t_c$ Il segnale in uscita è essenzialmente identico, in forma, a quello sugli elettrodi del rivelatore (la risposta dell'elettronica è molto più veloce di quella del rivelatore)

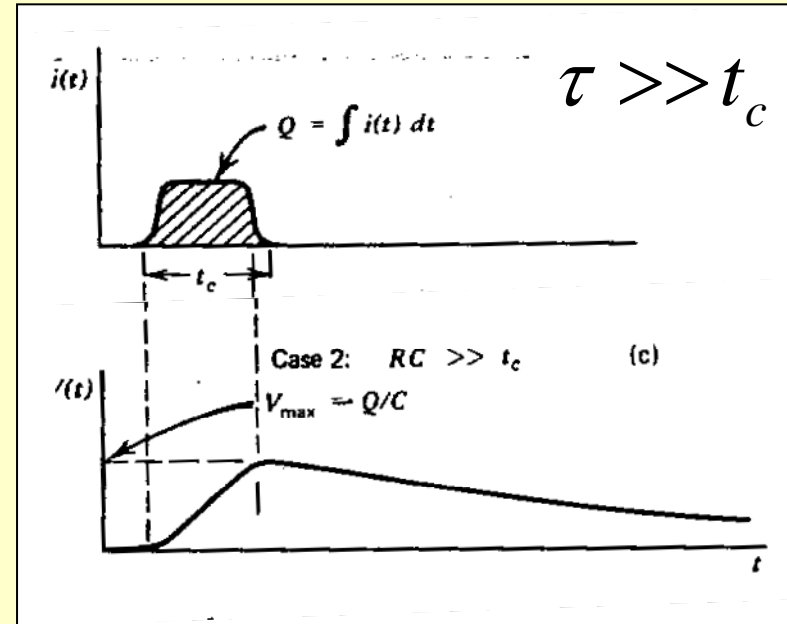
$\tau \gg t_c$ Il segnale in uscita ha l'ampiezza proporzionale alla carica totale prodotta nel rivelatore dal singolo quanto di interazione interagente. Quando il condensatore inizia a scaricarsi l'impulso in tensione è già finito

Ricordate ?



La corrente che fluisce nella resistenza di carico e' uguale al valore della corrente istantanea che fluisce nel rivelatore.

Si usa quando si è interessati ad una informazione di tipo temporale o di conteggio, non all'energia depositata dalla radiazione all'interno del rivelatore



Poca corrente fluisce nella resistenza di carico durante il tempo di raccolta e la corrente e' integrata nella capacità C.

$$V_{\max} = \frac{Q}{C} \Rightarrow V_{\max} \propto Q$$

Si usa quando si è interessati all'energia depositata dalla radiazione all'interno del rivelatore

Ricordate ?

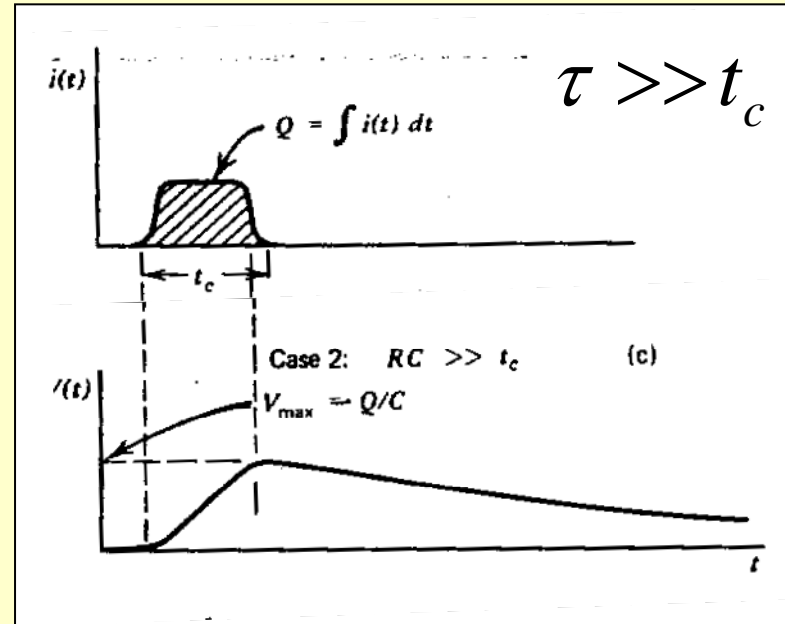
In altre parole:

Devo caricare un 'condensatore' con la carica portata dalla radiazione

Devo scaricare il condensatore per riportarmi nella condizione iniziale

Tanto più frequenti sono gli impulsi tanto più velocemente devo avere il tempo di carica e scarica

Se voglio avere l'informazione sulla quantità di energia depositata devo avere un segnale ampio e il tempo di scarica deve essere molto più lungo di quello di carica



Poca corrente fluisce nella resistenza di carico durante il tempo di raccolta e la corrente è integrata nella capacità C .

$$V_{\max} = \frac{Q}{C} \Rightarrow V_{\max} \propto Q$$

Si usa quando si è interessati all'energia depositata dalla radiazione all'interno del rivelatore