LEZIONI SUI RIVELATORI

Torino, 26 Aprile e 3 Maggio 2004

ELETTRONICA PER RIVELATORI A GAS

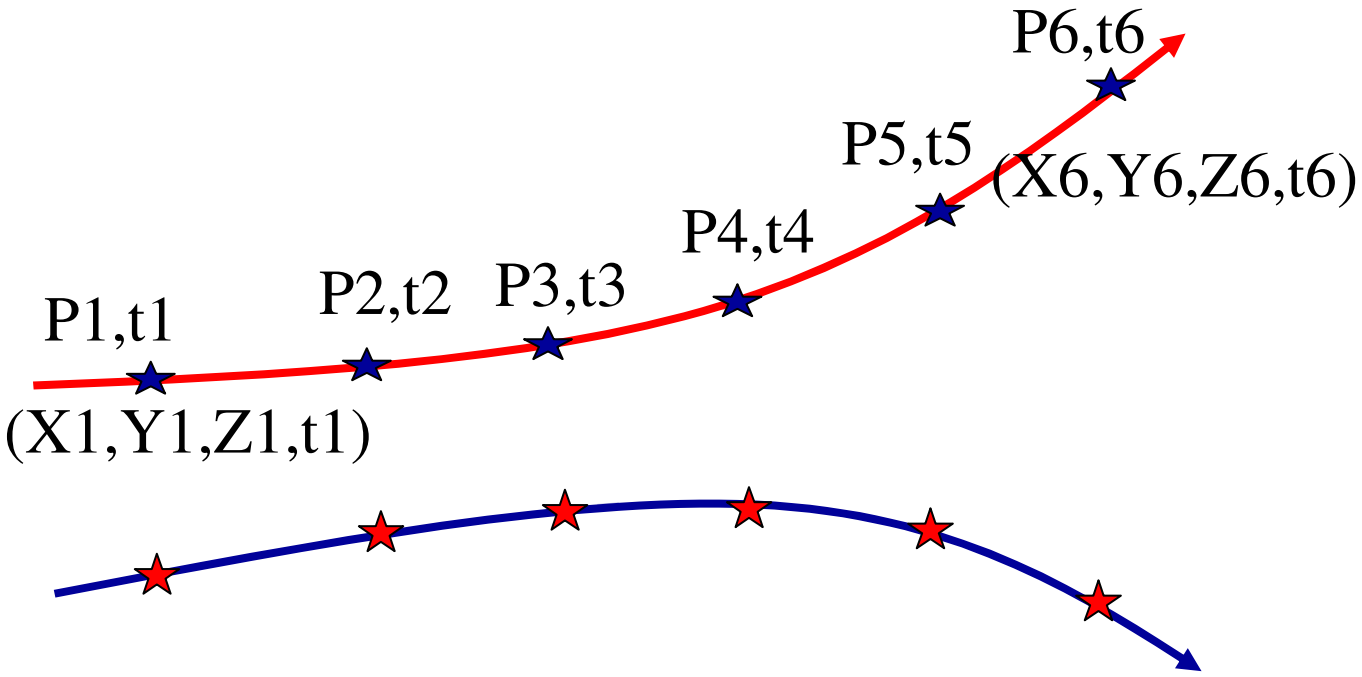
(A. Grasso)

CONTENUTO

- **Introduzione**
- **Caratteristiche Generali dei Rivelatori a Gas**
- **Rivelatori a Ionizzazione**
- **MWPC**
- **Elettronica per l'elaborazione del segnale anodico (front-end electronics)**

INTRODUZIONE

I rivelatori a gas sono strumenti usati per rivelare il passaggio di particelle nucleari e fornire alcune informazioni sull'energia rilasciata, le coordinate dei punti delle loro traiettorie ed il tempo relativo.



Le particelle cariche per collisione ionizzano gli atomi del gas contenuto nel rivelatore, liberando degli elettroni e ioni (cariche elettriche primarie).

Questi accelerati dal campo elettrico E formano altre altre cariche, per ionizzazione secondaria, generando cosi una corrente elettrica impulsiva che viene raccolta dall'anodo(sottile filo conduttore) del rivelatore.

Integrando nel tempo questa corrente(con dispositivi elettronici) si ottiene la carica elettrica totale funzione dell'energia rilasciata dalla particella durante il processo di ionizzazione.
$E=f(Q)$; $Q=CV$:
misurando la tensione elettrica V si ottiene la carica Q e quindi l'energia E.

Inoltre il segnale di tensione misurato sul filo anodico da l'informazione sul tempo ,t, di passaggio della particella e sulle coordinate spaziali(x,y,z) del punto della traiettoria(coordinate del filo anodico).

CARATTERISTICHE GENERALI DEI RIVELATORI A GAS

Sensibilita': minimo segnale d'ingresso(energia rilasciata) che produce un segnale(elettrico) misurabile in uscita.

Dipende da :- massa del rivelatore;
- rumore intrinseco del rivelatore;
- materiale protettivo che circonda il volume sensibile del rivelatore.

Risoluzione: R= $(\Delta E/E)\%$ (risoluzione in energia)

Assumendo i processi indipendenti :

$(\Delta E)^2 = (\Delta E)^2_{riv} + (\Delta E)^2_{elettr} + ..$

$(\Delta E)^2_{riv}$ → dipende dalle fluttuazioni del
- fattore di amplificazione
- $J=E/w$ →numero coppie(ione-elettrone) prodotti;

dove E e' l'energia

w energia per coppia;

$(\Delta E)^2_{elettronica}$ → dipende dalle fluttuazioni del segnale

$(\Delta E)^2_{elettronica}$ → dipende dalle fluttuazioni del segnale elettrico prodotte dai circuiti elettronici di lettura(rumore elettronico pile-up, deficit balistico);

Tempo di Risposta: tempo necessario al rivelatore per formare il segnale dopo l'arrivo della radiazione;

Per aver una ottima precisione in tempo, il segnale dovrebbe avere un tempo di salita piu' piccolo possibile.

Durante questo periodo non puo' essere accettato un secondo segnale(evento) perche' il rivelatore puo' essere insensibile o perche' si forma un 'pile-up'(il secondo segnale si sovrappone al primo).
Tutto cio' contribuisce al tempo morto del sistema e limita la velocita' di risposta a cui puo' operare.

Tempo Morto: tempo richiesto dal sistema per elaborare un evento;

Durante questo periodo saranno persi degli eventi o per insensibilita' o per pile-up.

Efficienza del Rivelatore:

ε_{tot}= (eventi registrati)/(eventi emessi dalla sorgente)=

$= \varepsilon_{int} * \varepsilon_{geom}$

ε_{geom} → Efficienza geometrica(accettanza)

ε_{int} → Efficienza intrinseca

ε_{int}= (eventi registrati)/(eventi che colpiscono il rivelatore)

ε_{geom}= (eventi che colpisconono il rivelatore)/ (eventi emessi dalla sorgente)

RIVELATORI A IONIZZAZIONE

Inizialmente ne esistevano tre:

-Camere a Ionizzazione;
-Contatori Proporzionali;
-Contatori Geiger-Muller.

Oggi questi sono solo impiegati come monitor di radiazioni.

Poi sono state introdotte le:

-MultiWire-Proportional Chamber(MWPC);
-Camere a Drift;
-Time Projection Chamber(TPC).

Meccanismo di Ionizzazione

La perdita di Energia di una particella (durante la collisione con gli atomi del gas -interazione elettromagnetica) avviene per due tipi di reazioni:

-eccitazione;
-ionizzazione.

ECCITAZIONE di un atomo X :

$$X + p = X^* + p$$

Atomo eccitato(puo' partecipare ad ulteriori reazioni che producono coppie)

Particella carica

IONIZZAZIONE di un atomo X:

$X+p = X^{+} + e^{-} + p$

Coppia elettrone ione
(Ionizzazione Primaria)

Se dell'energia e' trasferita all'elettrone(delta-rays) questo puo' creare altre coppie(ionizzazione secondaria);
gli elettroni della ionzzazione secondaria possono creare una ionizzazione terziaria ecc.

-Effetto Penning (secondo meccanismo di ionizzazione):
Se atomi eccitati non perdono l'ccitazione(emettendo un fotone) possono collidere con un'altro atomo ionizzando quest'ultimo.
Es:-gas molecolari su gas nobili;
-gas nobili su gas nobili.

$Ne^{*} + Ar \rightarrow Ne + Ar^{+} + e^{-}$

-Formazione di ioni molecolari(terzo mecanismo di ionizzazione)

$H_e^{+} + H_e \rightarrow H_{e2}^{+}$ (uno ione positivo interagisce con un atomo neutro e forma uno ione molecolare).

Le coppie create(ioni^{+}-elettroni^{-}) dovrebbero rimanere presenti fino alla loro collezione(sull'anodo).
Due fenomeni influiscono su tale permanenza:
-Ricombinazione;
-Attaccamento Elettronico.

Ricombinazione:(le coppie (in assenza di campo elettrico) si ricombinano sotto l'azione della forza attrattiva, emettendo un fotone)

$X^+ + e^- \rightarrow X + h\nu$

$X^+ + Y^- \rightarrow XY + h\nu$ (per ioni molecolari)

Attaccamento Elettronico:

Atomi elettronegativi possono catturare elettroni liberi per formare ioni negativi con rilascio di energia→affinita'elettronica.

Gas elettronegativi(afffinita' elettronica negativa):

O_2, H_2O, CO_22, CCl_4, SF_6 .

Gas elettropositivi(afffinita' elettronica positiva):

Gas Nobili, H_e, N_e, Ar.

Questi fenomeni fanno diminuire l'efficienza della collezione degli elettroni.

Numero medio di coppie create:

$N_c = \Delta E / 2w$ → Potenziale di ionizzazione(dipende dal tipo di gas)
(2*w→meta' dell'energia serve per eccitare l'atomo)
→ Energia rilasciata
→ Numero coppie elettrone-ione

Esempio:
Se w=15eV, ΔE= 3000eV → N_c=3000/2*15 = 100 (coppie elettr.-ione)

Trasporto di elettroni e ioni nei gas

Il movimento di ioni ed elettroni avviene per due fenomeni:

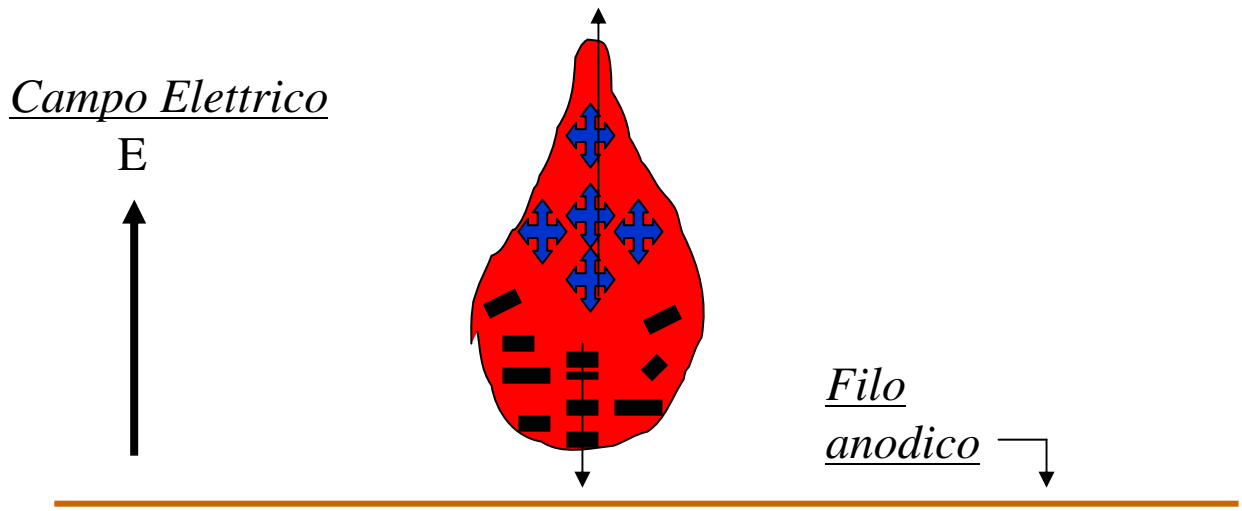
1)diffusione →in assenza di campo elettrico gli elettroni e ioni creati si diffondono uniformemente dal punto di creazione($v_{diffusione}$=f(energia termica)) e collidonon con le molecole del gas perdendo la loro energia ed eventualmente si ricombinano.

2)Deriva→in presenza di campo elettrico, E, gli elettroni e gli ioni vengono accelerati(in direzioni opposte) lungo le linee del campo verso gli elettrodi.
Gli eventuali urti(collisioni) con gli atomi del gas possono modificare e limitare la massima velocita' media(velocita' di deriva, vd) sovrapposta al movimento termico:

$v_d = \mu E$
→ Campo elettrico
→ Mobilita'
→ Velocita' di deriva

Moltiplicazione a Valanga

La moltiplicazione di coppie nel gas avviene quando gli elettroni primari, accelerati dal campo , acquistano sufficiente energia tale da ionizzare le molecole del gas, gli elettroni (secondari) prodotti possono generare altra ionizzazione producendo elettroni terziari ecc., formando una valanga di cariche con una forma a goccia di liquido con in testa gli elettroni(avendo una mobilita' superiore a quella degli ioni) ed in coda gli ioni piu' lenti.



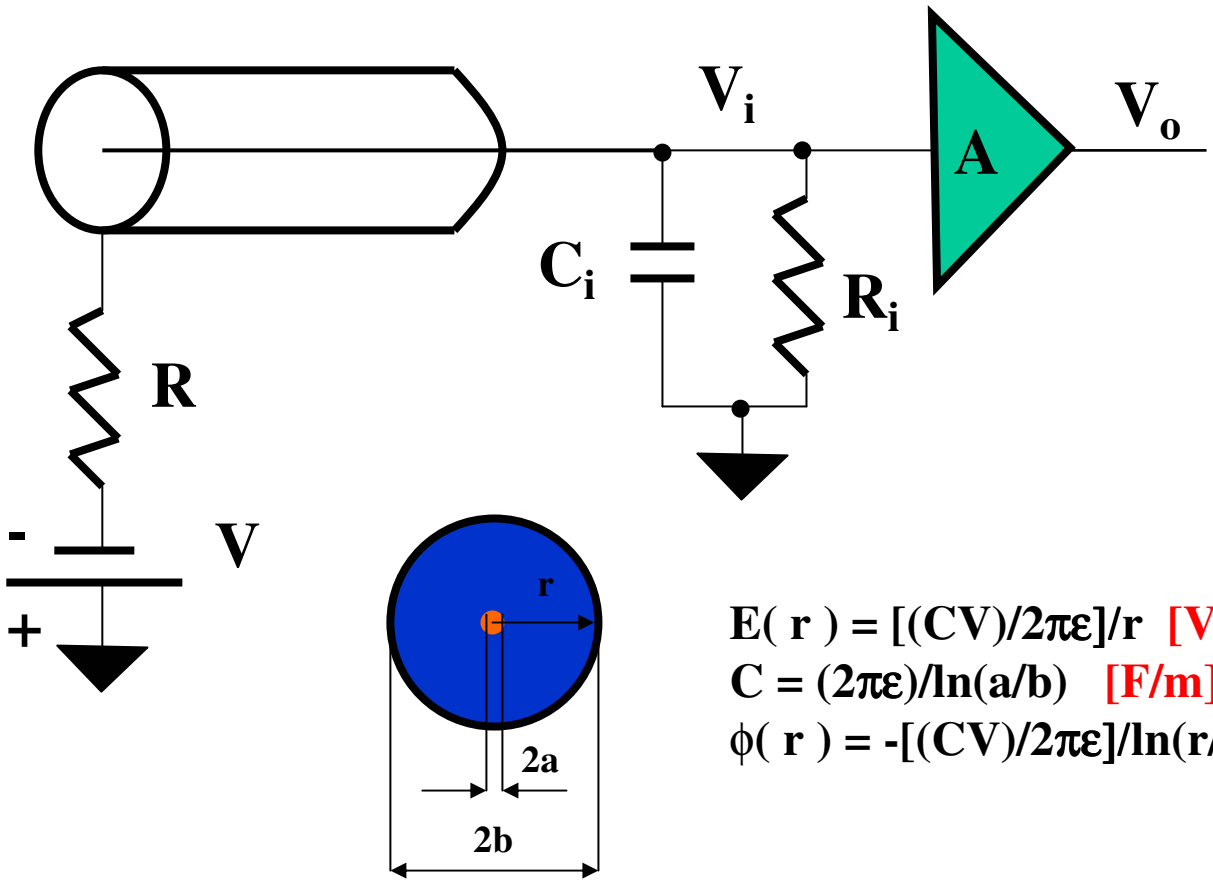
Il fattore di moltiplicazione,M, puo' raggiungere valori anche di 10^7 (usando una buona miscela di gas).
Cio' vuol dire che se il numero di coppie primarie e' 100 con $M=10^6$ si ottengono un numero di cariche pari a 10^8.

Con una miscela di gas ottimale(tipo 'magic gas':Ar 75% + Isobutano 24,5% + freon-13B1 0.5%) si puo' ottenere un guadagno di circa $M=10^7$ ed una buona velocita' di risposta.

La scelta del gas dipende da:
-Alta tensione Vo con cui lavorare(per avere un campo elettrico E elevato);
-fattore di moltiplicazione M;
-buona proporzionalita';
-buona velocita' operativa.

L'Argon oltre un valore $M=10^3-10^4$ scarica perche' gli atomi eccitati(Energia di eccitazione =11.6eV) emettono fotoni che possono ionizzare il catodo causando emissioni a valanga. Pertanto va aggiunto un altro gas(quencher) che spenga questo fenomeno assorbendo i fotoni(CH4,Alcol,BF3,isobutano). Inoltre aggiungendo del gas con proprieta' elettronegative (tipo il CF_3Br) si puo' ottenere un fattore $M=10^7$
Questo oltre ad assorbire i fotoni intrappolano gli elettroni emessi dal catodo prima che essi possano raggiungere l'anodo. Si possono pero' creare polimeri(per ricombinazione di molecole organiche dissociate) che si accumulano sul catodo e l'anodo producendo scariche continue dovute al maggior numero di ioni poiche' sono ostacolati a raggiungere il catodo. Si possono usare dei spegnitori inorganici(meno efficienti) associati ad altro gas (tipo alcol propilico che cambia gli ioni molecolari al catodo in specie non polimera attraverso un meccanismo di scambio ionico).
Il consumo di gas va supplito con un continuo flussaggio.

Contatore proporzionale Cilindrico



$$E(r) = [(CV)/2\pi\varepsilon]/r \quad [V/m]$$
$$C = (2\pi\varepsilon)/\ln(a/b) \quad [F/m]$$
$$\phi(r) = -[(CV)/2\pi\varepsilon]/\ln(r/a) \quad [V]$$

Usando una geometria cilindrica il campo elettrico vicino l'anodo diventa intenso pertanto la moltiplicazione delle coppie si verifica in prossimita' dell'anodo indipendentemente da dove ha origine la ionizzazione primaria.

Gli elettroni (con forma a goccia) vengoni raccolti velocemente dall'anodo mentre gli ioni derivano verso il catodo piu' lentamente.

Il segnale di tensione sulla Ri//Ci e' del tipo rappresentato nella figura seguente.

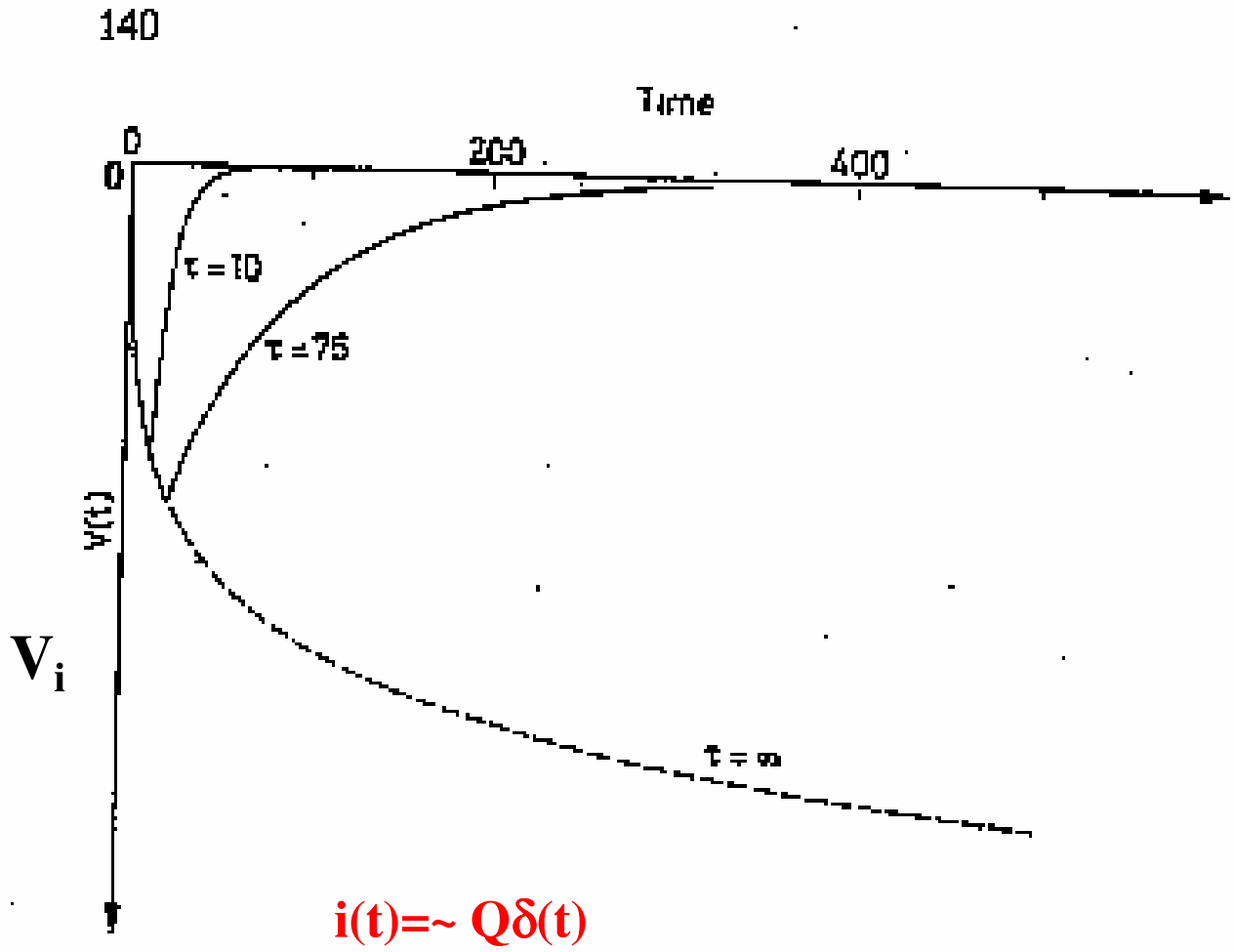


Fig. 6.6. Pulse signal from a cylindrical proportional counter. The pulse is usually cut short by an RC differentiating circuit with a time constant τ. The figure shows the effect of two different constants

L'istante di formazione di questo segnale da la coordinata temporale del passaggio della particella in prossimita' dell'anodo.

Le caratteristiche essenziali di un segnale ottimo dovrebbero essere:

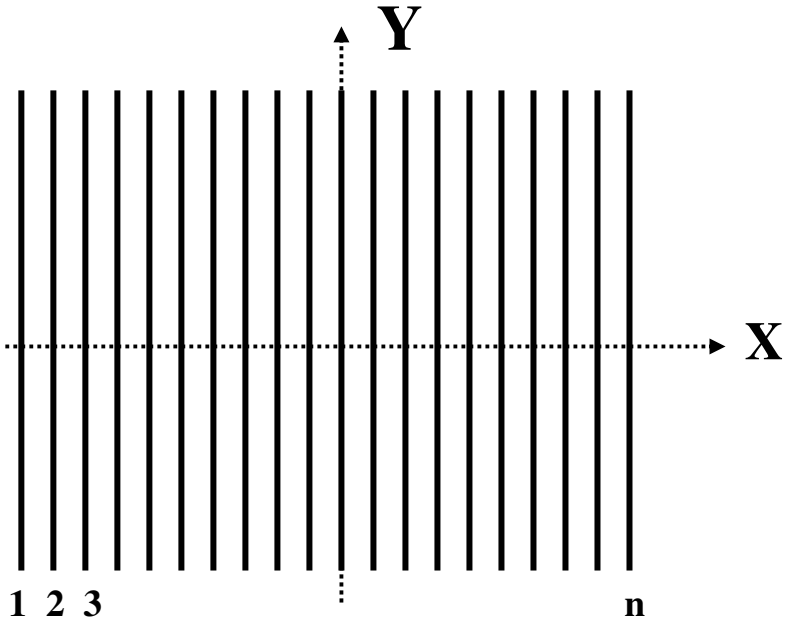
-tempo di salita, tr , piu' piccolo possibile(per avere una buona risoluzione in tempo);

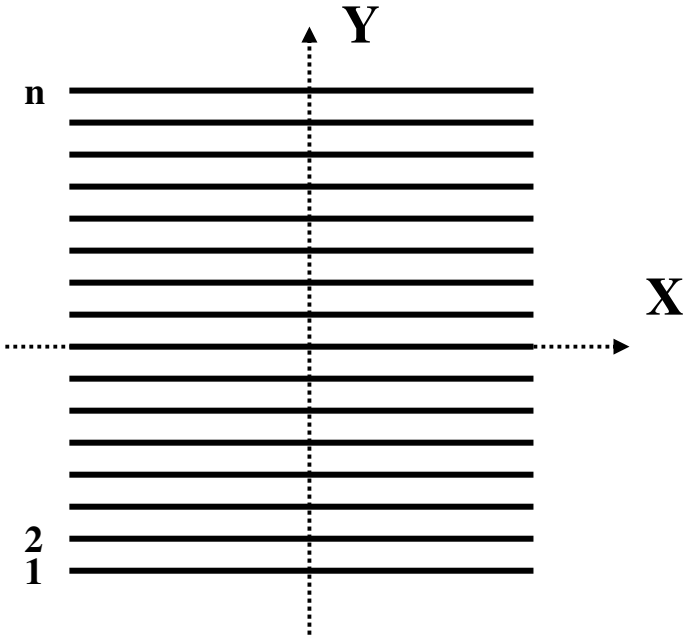
-Ampiezza del segnale proporzionale alla carica, Q, raccolta(se si desidera avere una buona risoluzione in energia);

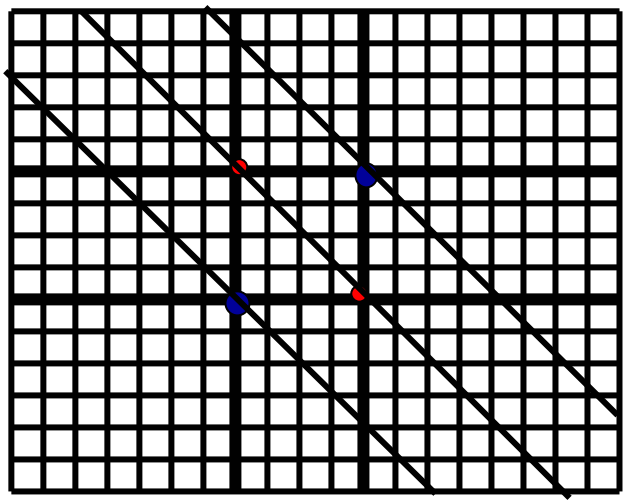
-Larghezza del segnale piu' piccola possibile per evitare il fenomeno del pile-up (ed avere una buona velocita' di risposta).

MWPC

Per avere una buona risoluzione spaziale e per facilita' costruttiva anziche' usare camere cilindriche si usano camere piane multifili.







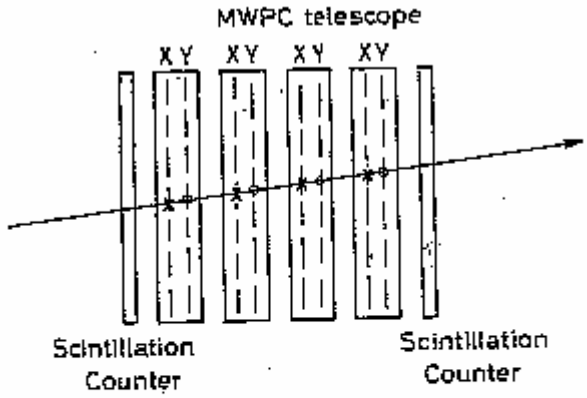
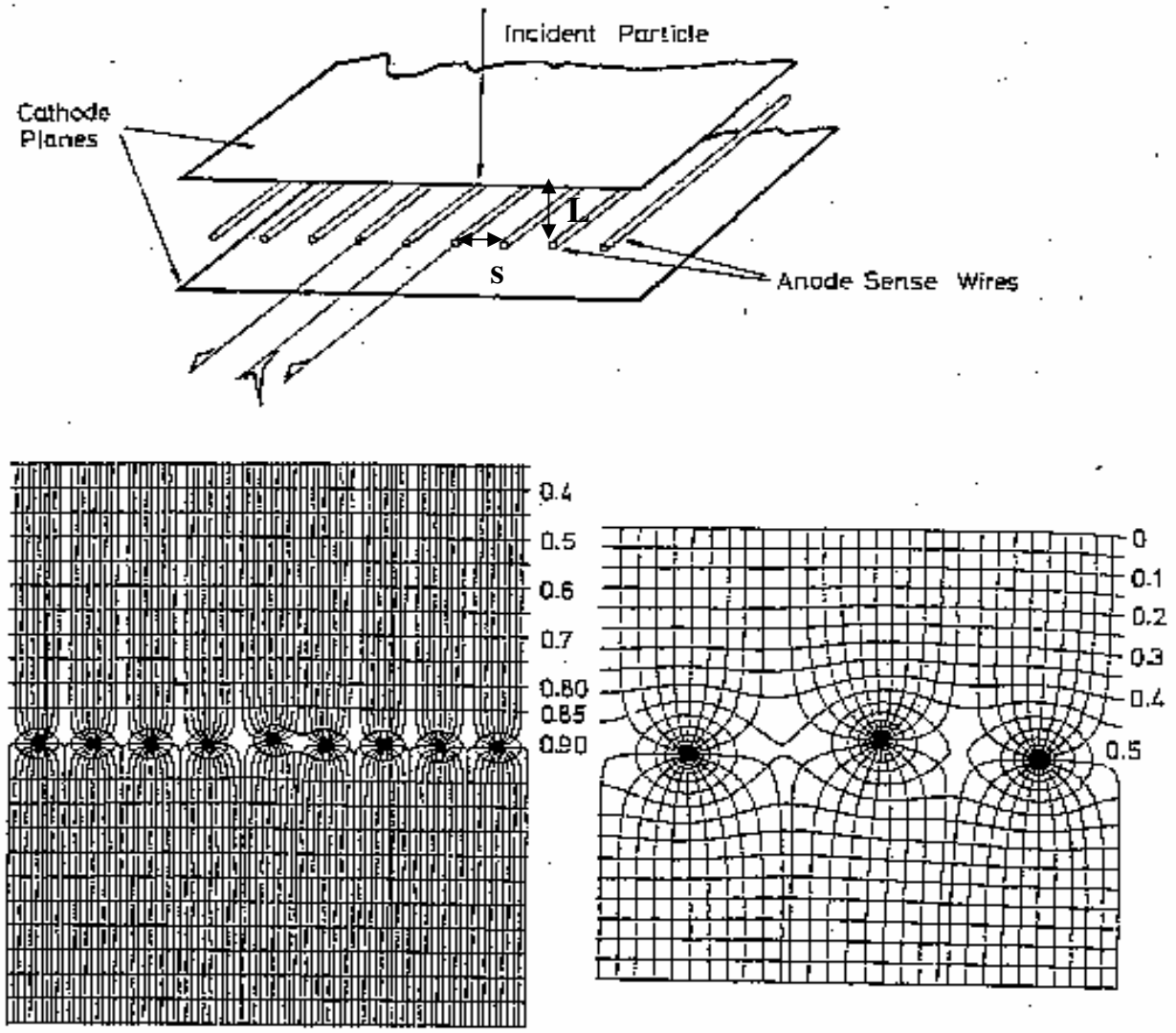


Fig. 6.9. A MWPC telescope for particle tracking. Each MWPC contains an X and Y wire plane. If the MWPC's are aligned, the measured coordinates allow a reconstruction of the particle trajectory. More than two planes of wires in a chamber may also be used



ig. 6.7. Basic configuration of a multiwire proportional chamber. Each wire acts as an independent proportional counter. The signal on the firing wire is negative while the signals on the neighboring wires are small and positive

L'errore massimo spaziale e' $\pm$ **s/2**.

La risoluzione in tempo dipende dalla velocita' di deriva degli elettroni(circa l'8% del segnale si forma nei primi 5-10ns).

L'incertezza maggiore si ha tra l'istante dell'evento e la formazione della valanga vicino l'anodo.

Efficienza delle MWPC

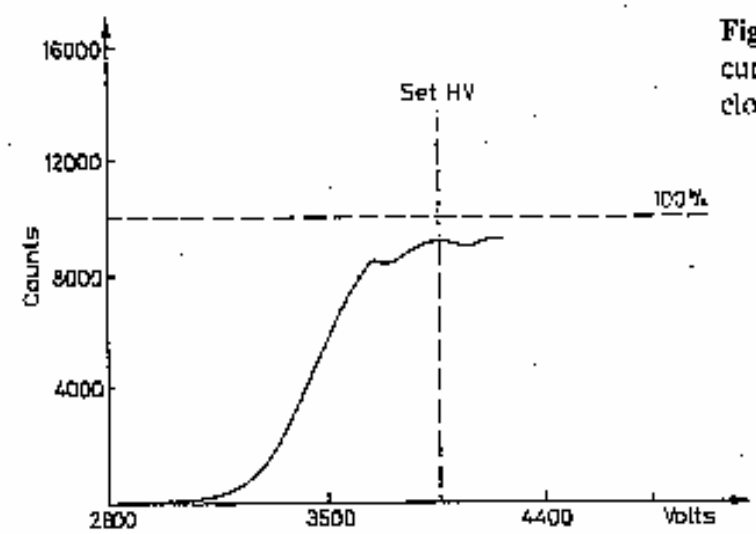


Fig. 6.14. A high voltage single track efficiency curve for an MWPC. In a good chamber this can be close to 100%

L'efficienza intrinseca delle MWPC dipende da:

-numero di coppie ione-elettrone prodotte e raccolte dalla camera(che dipendono da:

-L(gap);

-pressione del gas;

-energia di ionzzazione del gas;);

-l'alta tensione V;

-l'elettronica di lettura:

-soglia di tensione di lettura(bassa per accettare tutti i segnali validi, ma alta abbastanza per riggettare il rumore);

-larghezza del gate di lettura;

-velocita' di conteggio(l'efficienza diminuisce all'aumentare della frequenza(count rate) per effetto della carica spaziale intorno al filo(ioni) che altera il campo elettrico abbassando l'altezza del segnale elettrico prodotto.

Metodi di lettura

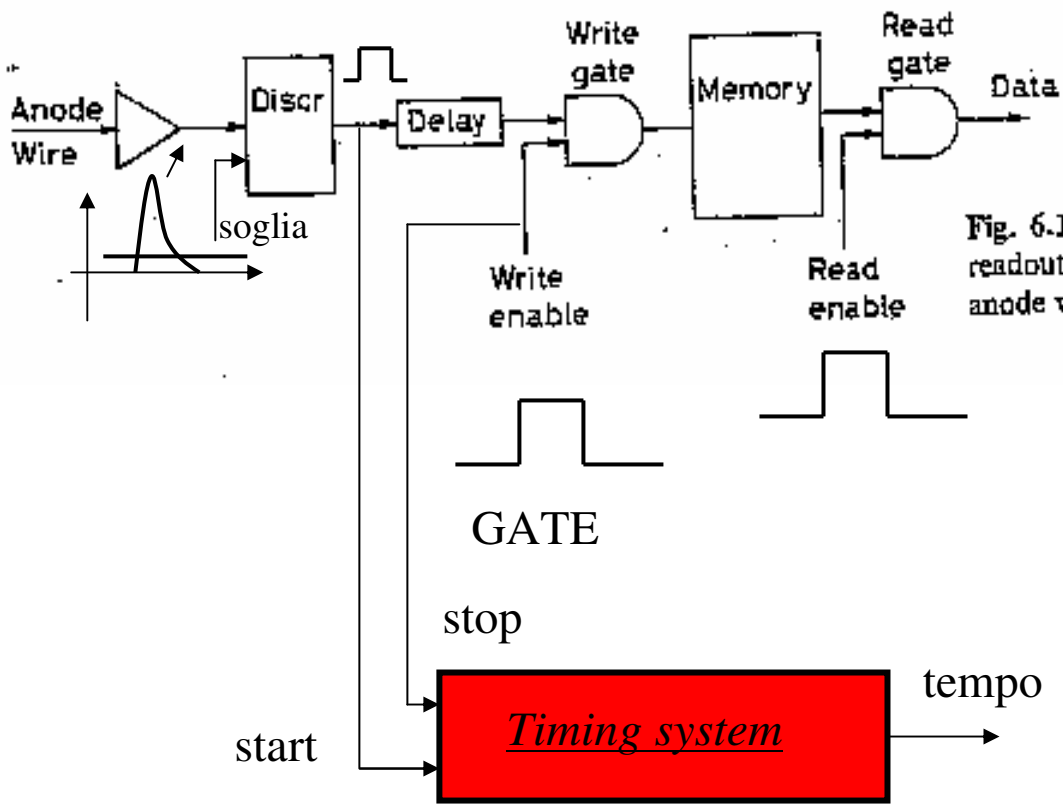
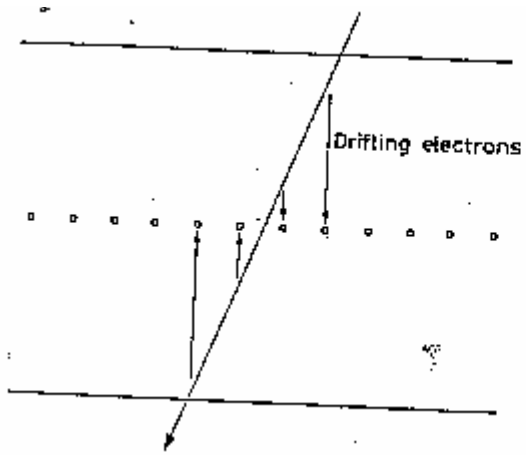


Fig. 6.10. Block diagram of the readout electronics for a MWPC anode wire

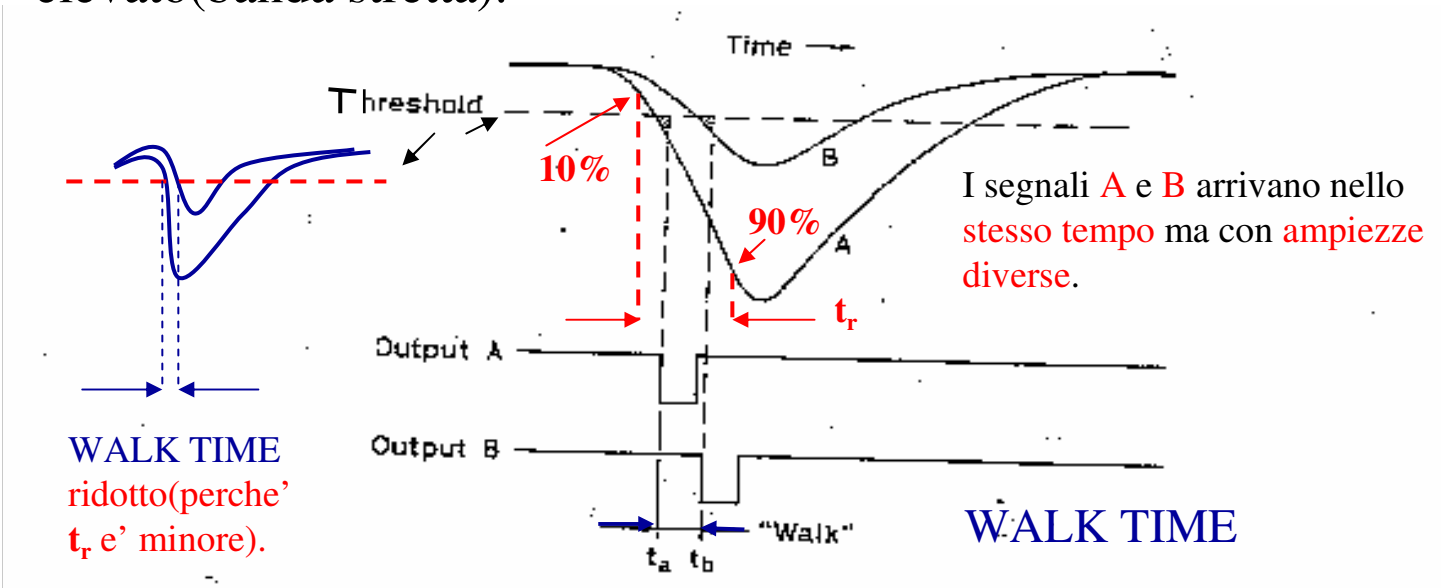


Il segnale di GATE serve a sincronizzare la scrittura e ad eliminare eventuali segnali da tracce oblique(clasters)

Fig. 6.13. Track clusters caused by particles arriving at an angle to the anode plane

-Per una buona risoluzione in tempo bisogna che il segnale abbia un tempo di salita piccolo ed il rumore sia basso cioe' che la larghezza di banda sia elevata(tr=~0.35/fc – banda larga) e S/N elevato (elementi a basso rumore e banda stretta).

-Per una buona risoluzione in ampiezza S/N deve essere elevato(banda stretta).



Piu' veloce e' il segnale (dV/dt elevato, tr piccolo) piu' piccolo e' σ_{time}. Quindi e' cosigliabile scegliere la soglia dove il segnale e' piu' veloce.

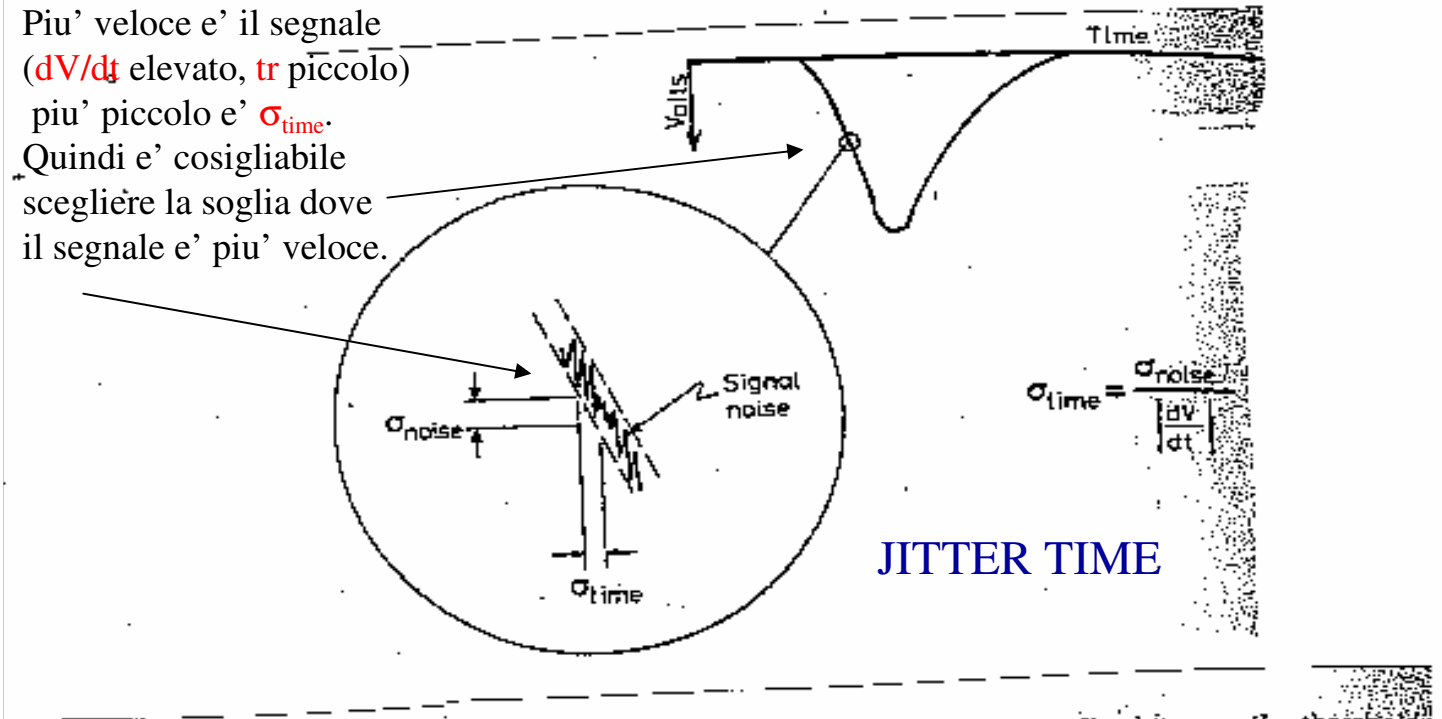


Fig. 17.1. *Walk* in a discriminator or SCA. Coincident signals with different amplitudes cross the threshold at different times. An additional *walk* effect occurs because of the finite charge which must be integrated on a capacitor to trigger the discriminator or SCA

Fig. 17.2. Timing jitter. The timing error caused by jitter depends on the slope of the signal at the triggering point

ELETTRONICA PER L'ELABORZIONE DEL SEGNALE ANODICO (FRONT-END ELECTRONICS)

Le caratteristiche essenziali di un segnale ottimo dovrebbero essere:
-Tempo di salita, tr , piu' piccolo possibile(per avere una buona risoluzione in tempo);
-Ampiezza proporzionale alla carica, Q, raccolta(se si desidera avere una buona risoluzione in energia).
-Larghezza piu' piccola possibile per ridurre il 'rumore' di pile-up

Queste caratteristiche(eccetto il pile-up) dipendono anche da segnali indesiderati denominati ***rumore.***

Poiche' il segnale sul filo anodico e' di bassa ampiezza, questa va aumentata a livelli accettabili per per poter essere letta dai circuiti che compiono ulteriori elaborazioni e memorizzazione del segnale.
A tale scopo si usano degli amplificatori elettronici.

Il rumore e' un segnale presente all'uscita dell'amplificatore quando in ingresso il segnale anodico e' nullo.

Tolto il rumore di offset(tensione e corrente di offset degli Amplificatori che dipendono dalla temperatura)
Il 'rumore' di pile-up e quello di deficit balistico rimangono
3 tipi di rumore:
-Rumore di interferenza(indotto da apparecchiature circostanti: si riduce con degli schermi elettromagnetici);
-Rumore introdotto dalle alimentazioni(si riduce con l'uso di filtri);
-Rumore di natura puramente probabilistica(stocastica) dovuto agli elementi passivi ed attivi dell'amplificatore la cui natura e' da ricercare nella struttura granulare e nell'agitazione termica della carica elettrica(si riduce usando elementi a basso rumore e operando sulla banda passante dell'amplificatore).

I **processi** che contribuiscono alla **risoluzione** (globale) in ampiezza e tempo sono:

-processo dentro il rivelatore(si manifesta con una fluttuazione sulla carica Q - σ_1);

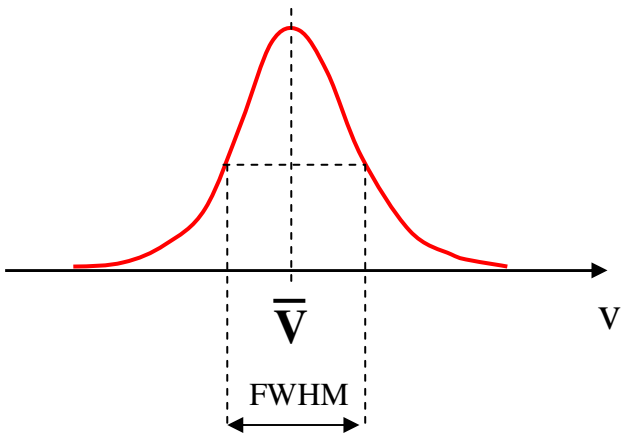
-sovrapposizione dei segnali(pulse pile-up – σ_2);

-rumore probabilistico(noise – σ_3);

-deficit balistico(- σ_4).

$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2$ → **se i processi sono indipendenti**

Se sono anche gaussiani: FHWM =2.36σ



Un sistema ideale dovrebbe ridurre al minimo σ.
Il metodo per ridurre σ_i puo' far aumentare σ_j e viceversa, pertanto vanno raggiunti dei compromessi.

Il sistema e' ottimo se riduce al minimo il valore di σ

Un discorso analogo vale anche per la risoluzione in tempo che dipende da:

-rumore complessivo;

-tempo di salita(legato alla larghezza di banda del sistema)

Valutazione qualitativa degli effetti di pile-up e rumore sul segnale

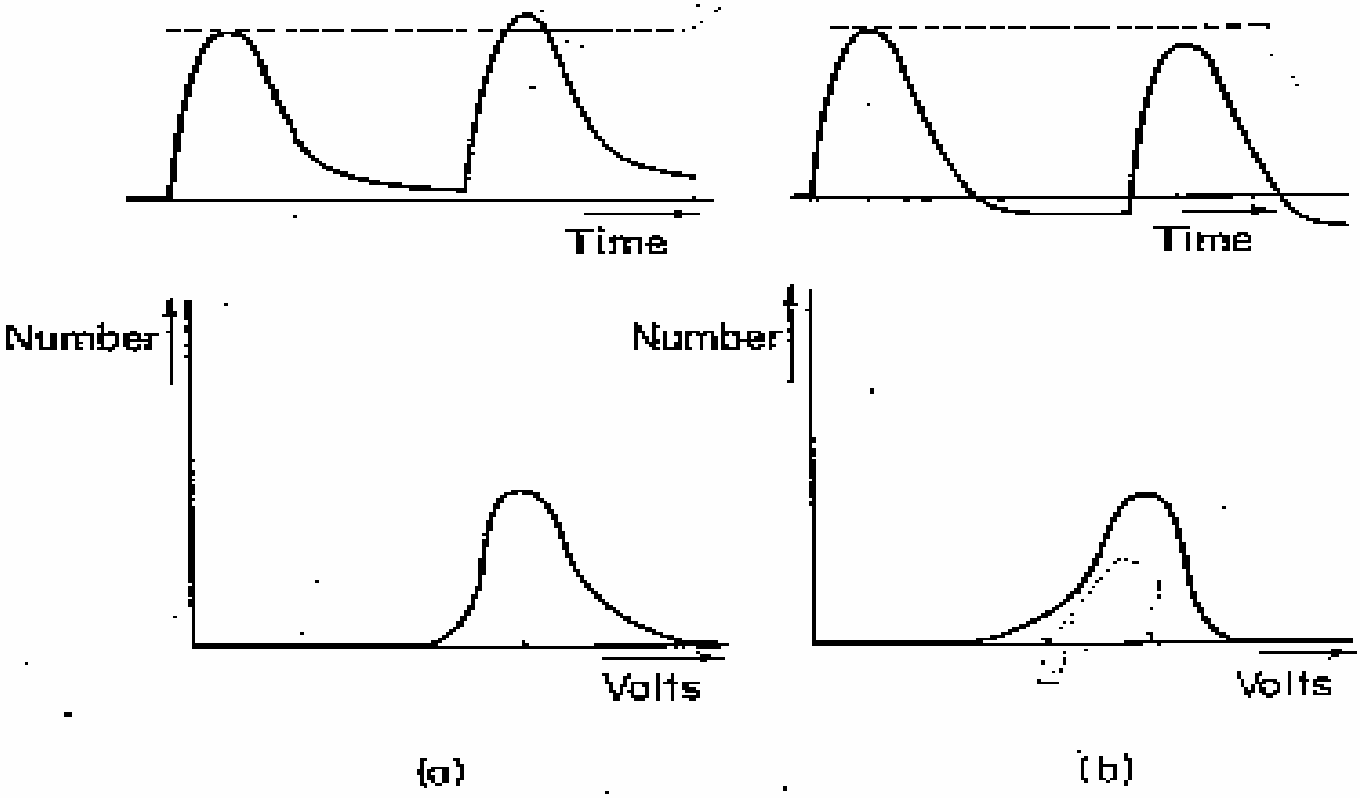


Figure 3.2 Effect of pulse pile up in worsening the resolution for the case (a) of a pulse shape with a long tail, (b) of a pulse shape with a long undershoot

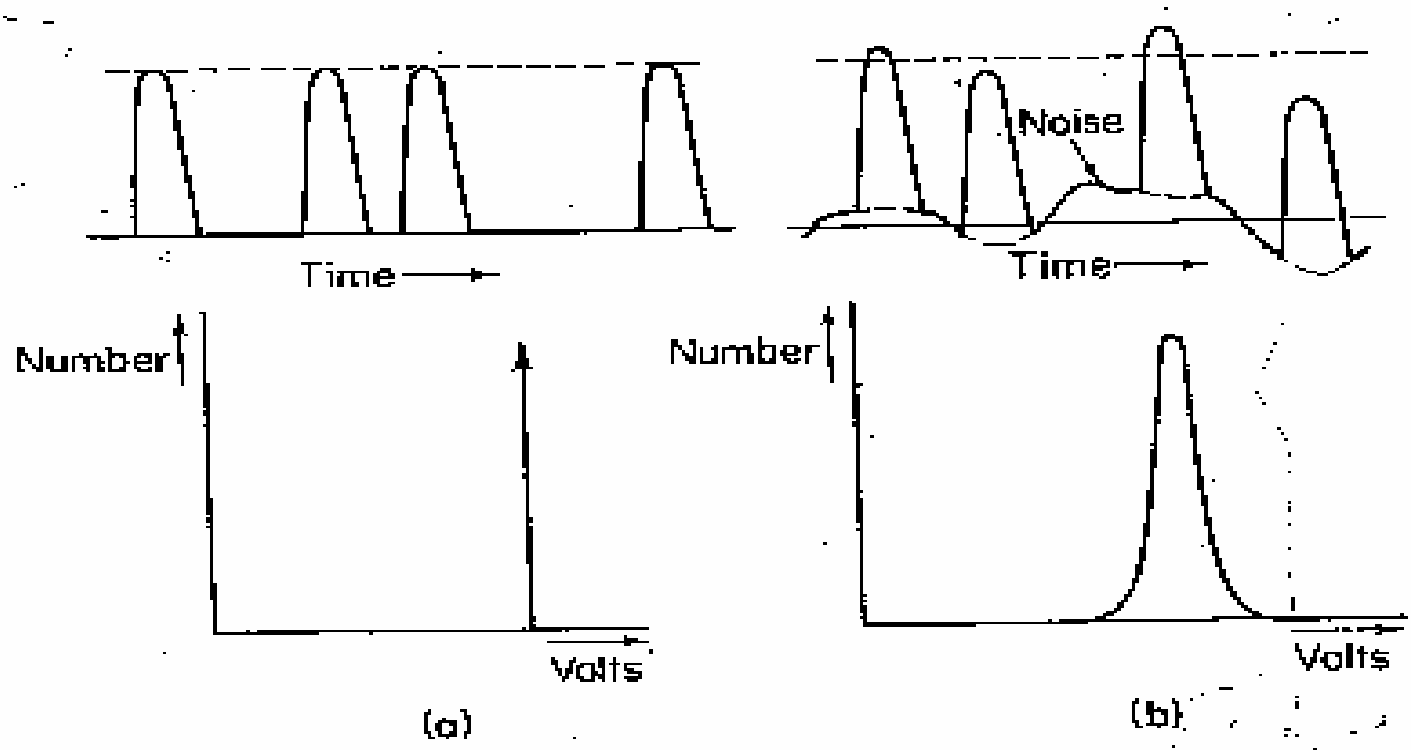


Figure 3.3 (a) Pulses of constant height in the absence of noise; the resulting pulse height spectrum. (b) Effect of the presence of noise on the pulse heights; the corresponding pulse height spectrum

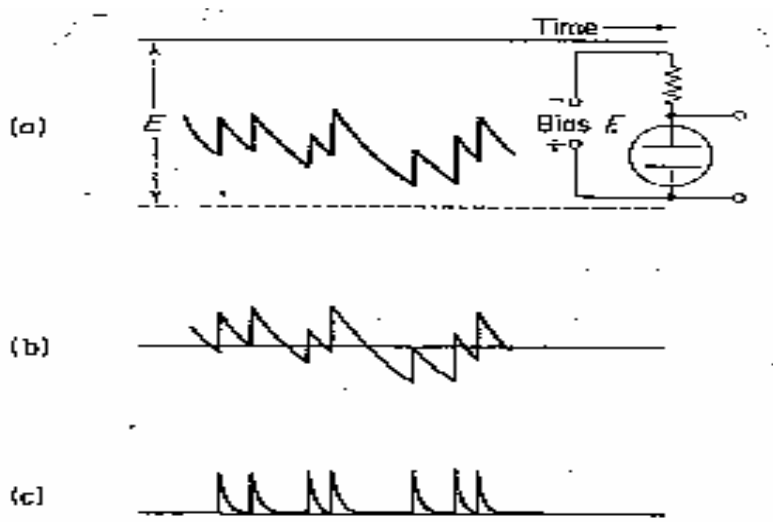


Figure 4.23 (a) Voltage waveform across the detector. (b) Voltage waveform after AC coupling. (c) Voltage waveform after pulse shortening (clipping)

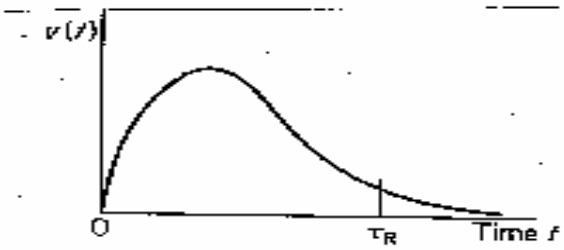


Figure 4.24 Arbitrary division of a pulse into a peak portion ($0 \leqslant t \leqslant \tau_R$) and a tail portion ($\tau_R < t \leqslant \infty$)

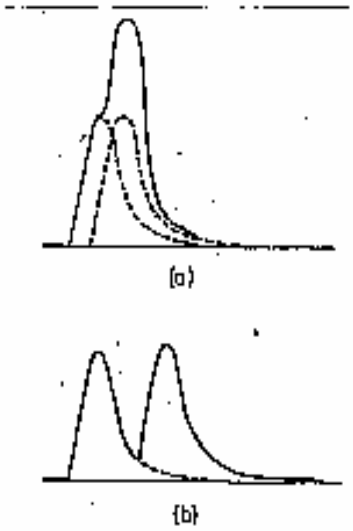


Figure 4.25 (a) Peak pile up. (b) Tail pile up

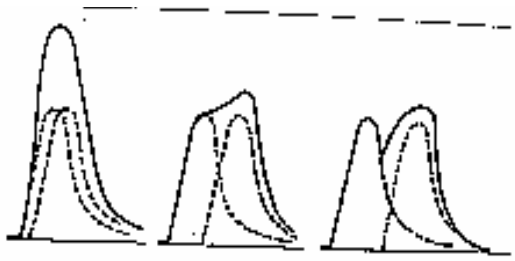


Figure 4.26 The effect of varying degrees of overlap on the pulse pile up

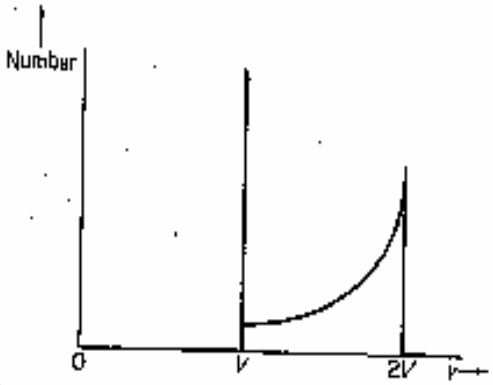


Figure 4.27 Pulse height spectrum of pulses of initially constant height V, when pile up is present

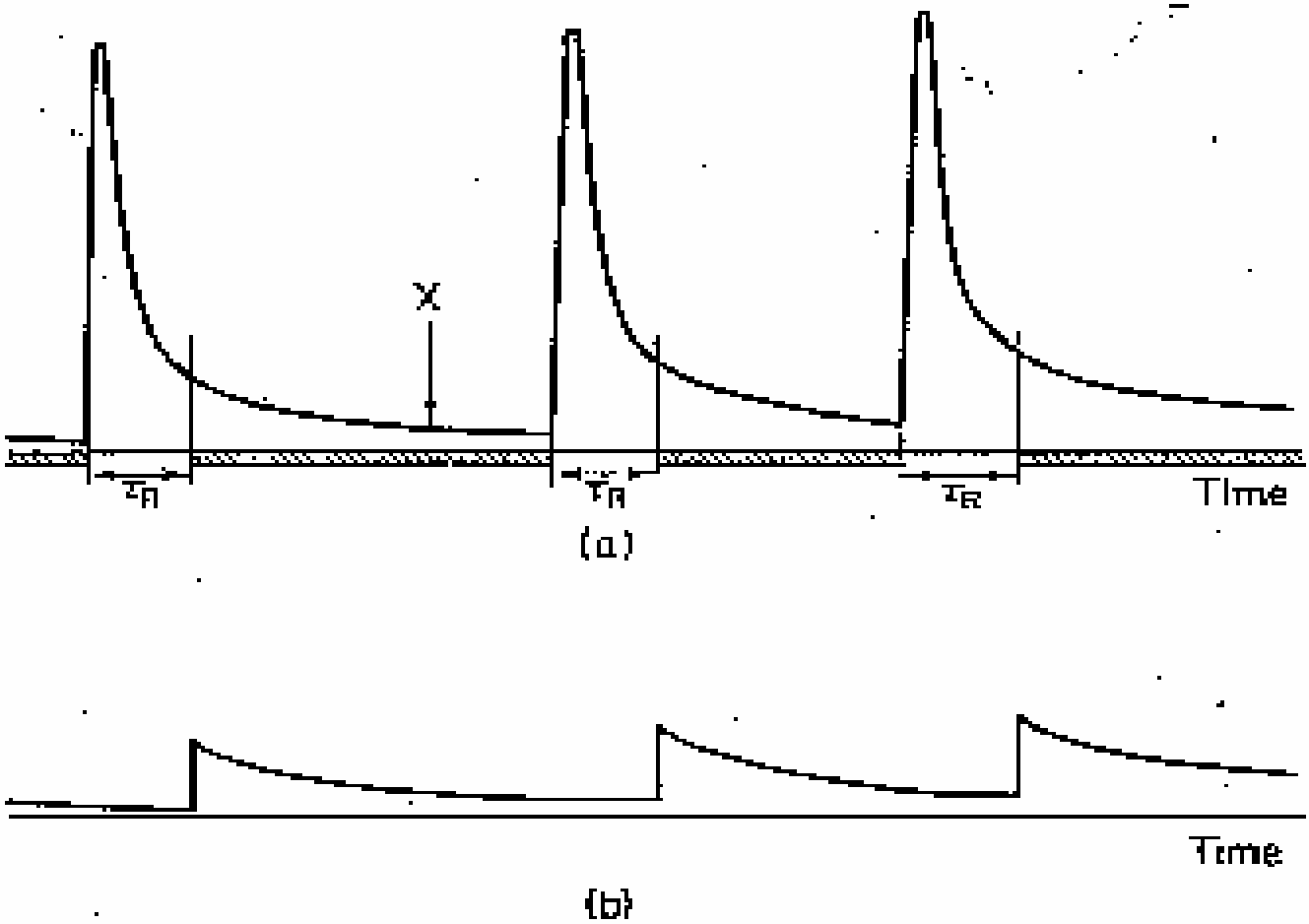


Figure 4.28 Approximation of the tail pile up voltage (a) by a continuous waveform (b)

Considerazioni sui segnali e circuiti RC - CR(integratori derivatori)

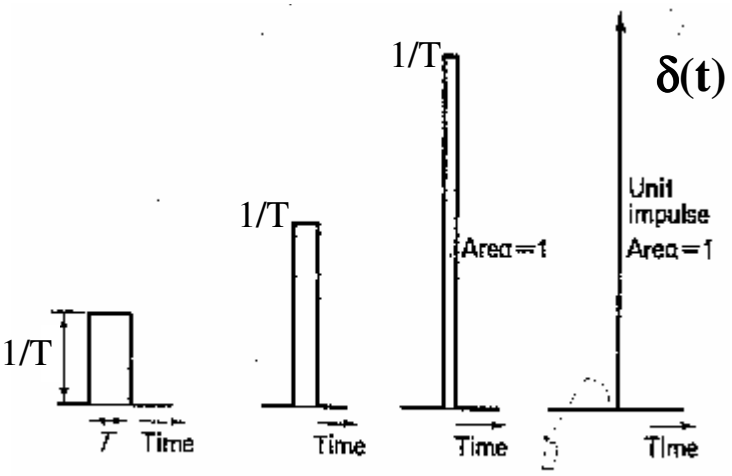
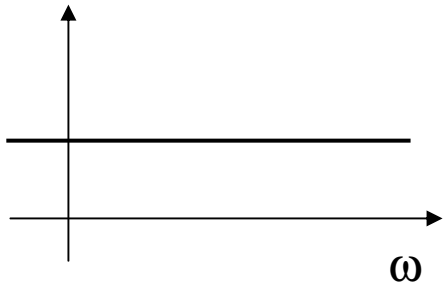


Figure 2.15 A unit impulse viewed as the limiting case of a rectangular pulse with $h \to \infty$, and $T \to 0$ so that $hT = 1$



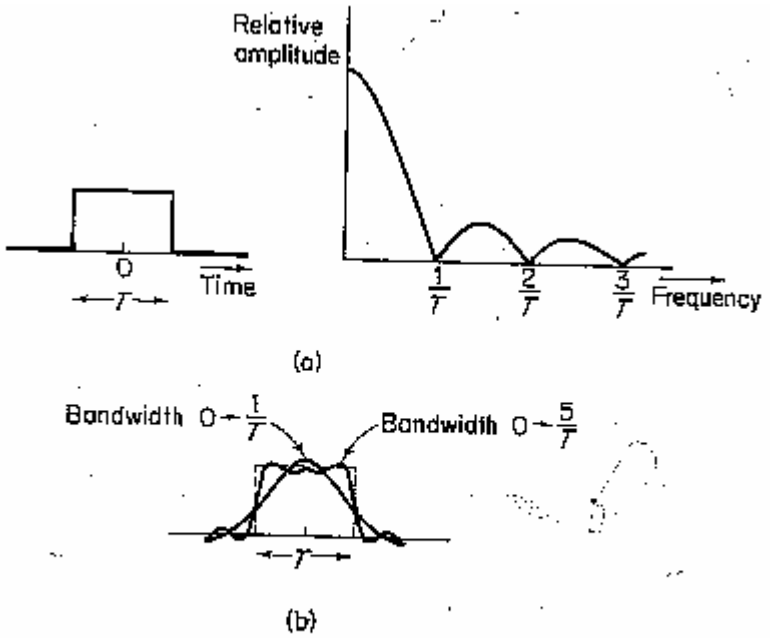


Figure 2.8 (a) Frequency (Fourier) spectrum of a rectangular pulse of duration T. (b) Effect on the pulse shape of the removal of all frequencies above $1/T$ and above $5/T$

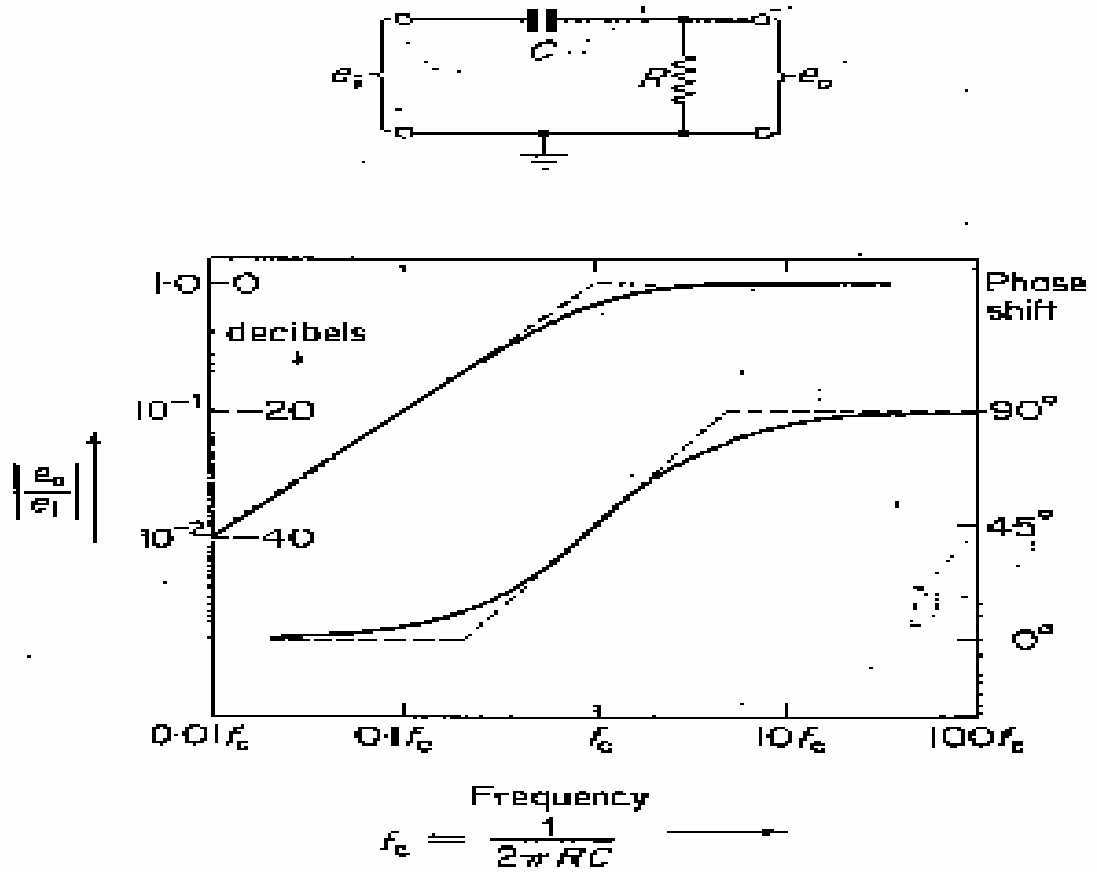
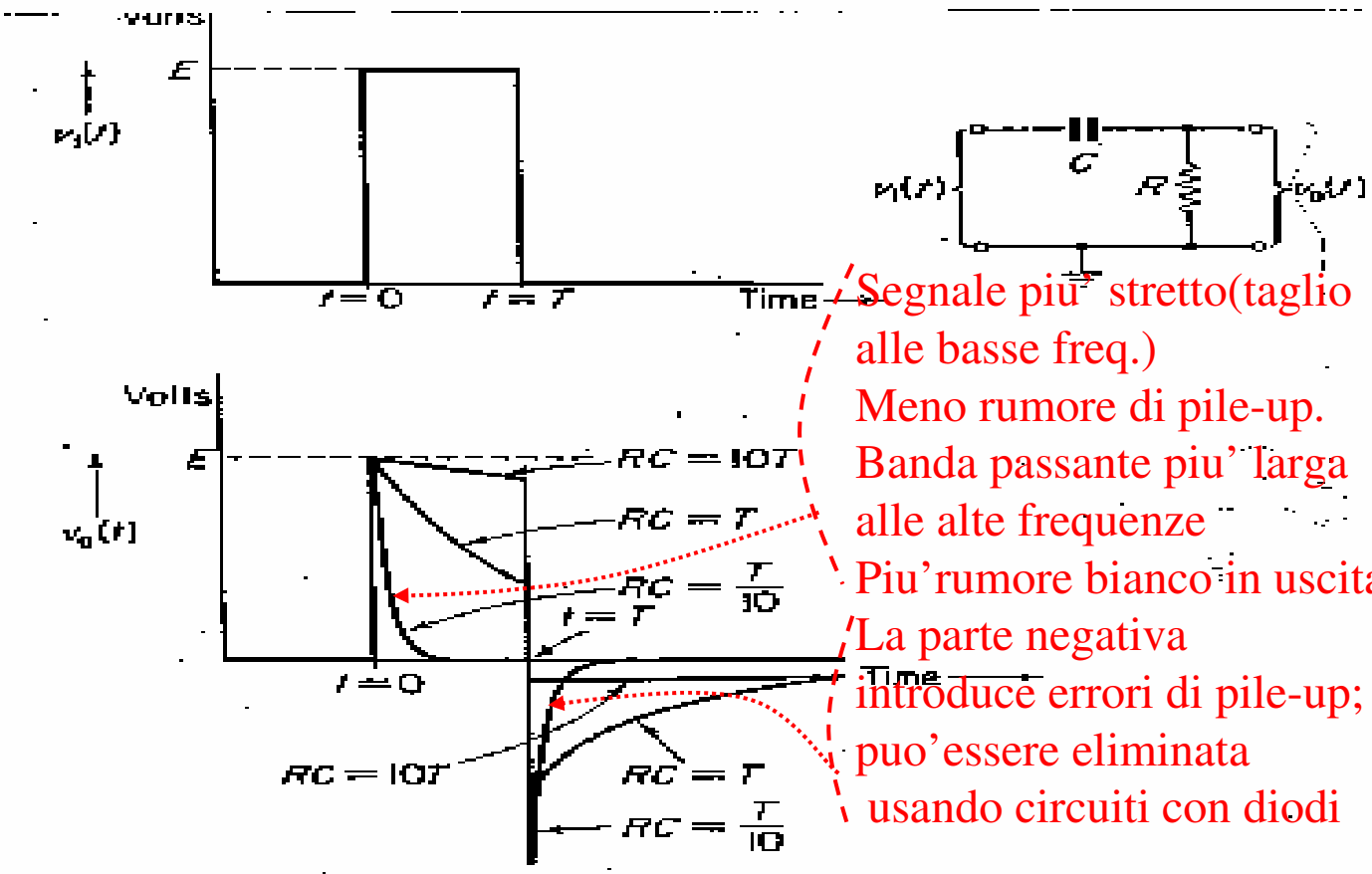


Figure 2.4 CR high pass filter: frequency response and phase shift



Segnale piu' stretto(taglio alle basse freq.)
Meno rumore di pile-up.
Banda passante piu' larga alle alte frequenze
Piu'rumore bianco in uscita.
La parte negativa introduce errori di pile-up; puo'essere eliminata usando circuiti con diodi

Figure 2.5 CR high pass filter and its effect on a rectangular pulse input

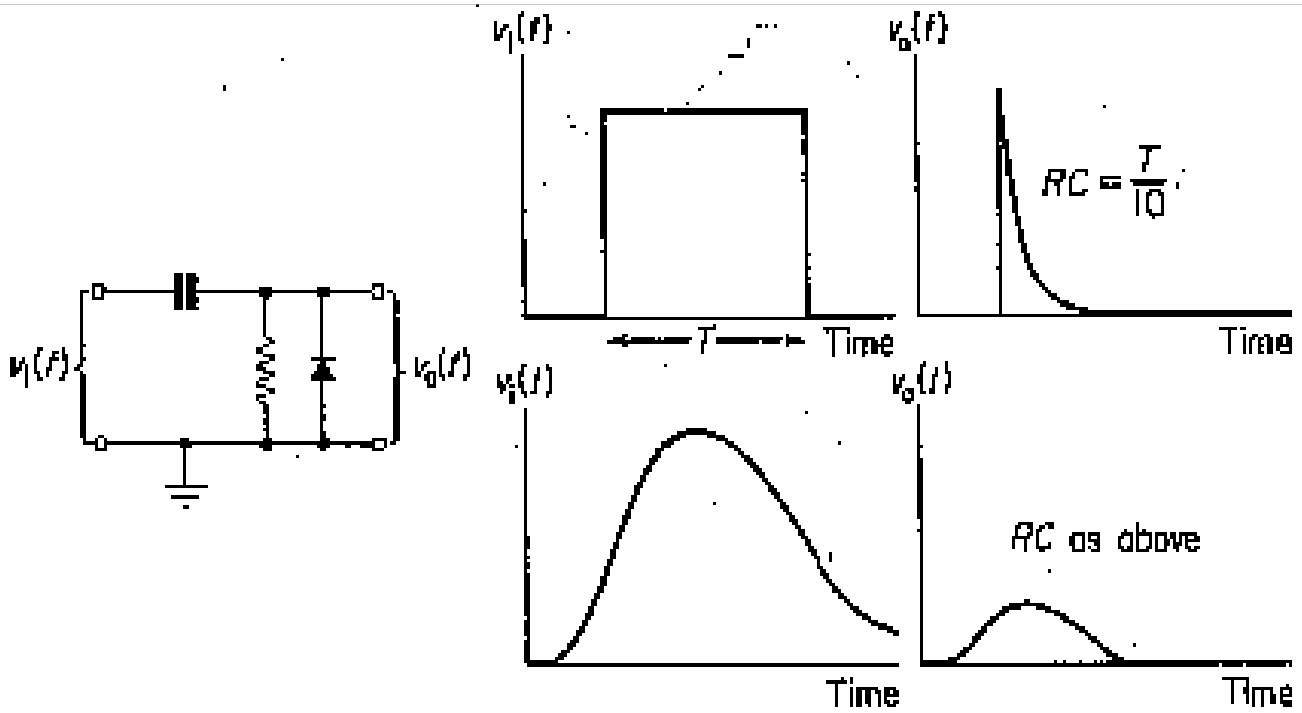
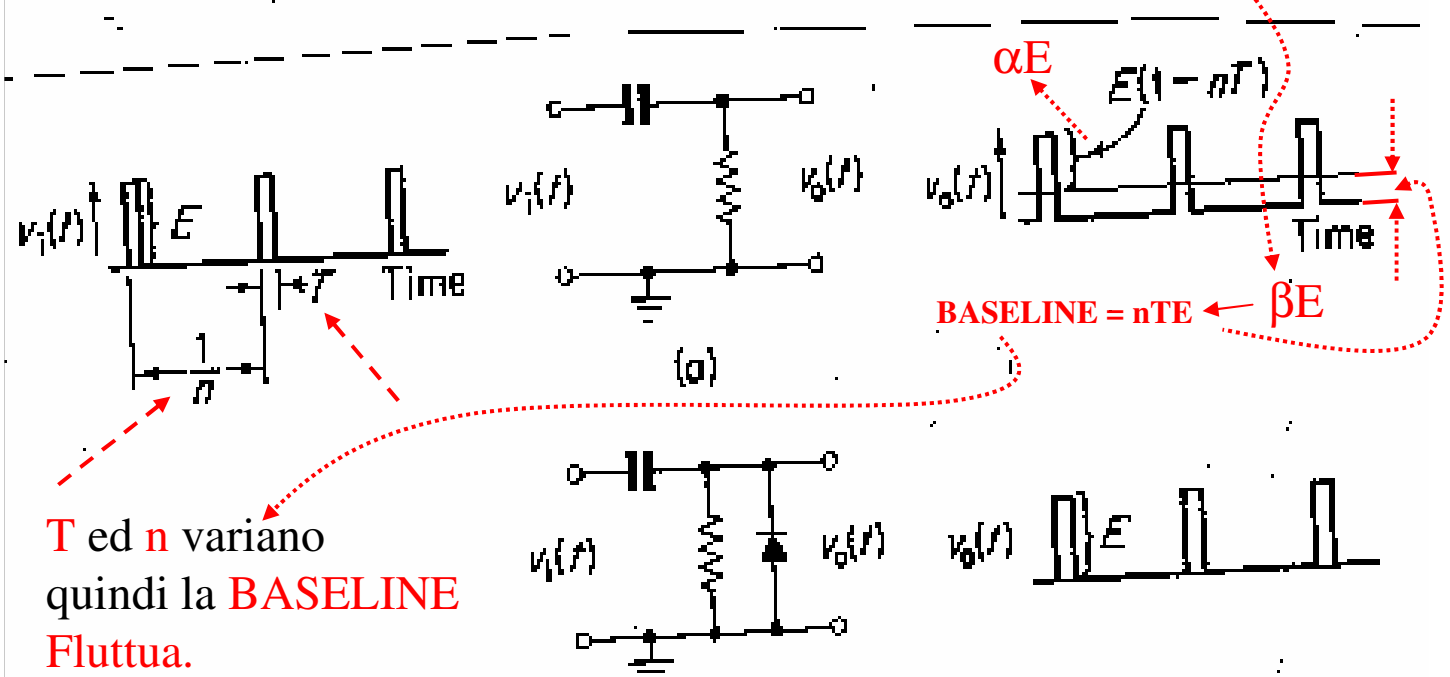


Figure 2.6 Use of CR circuit with a diode to give clipping of a pulse. The effect on an input pulse with a long rise time is shown in the lower diagram and illustrates the poorer clipping effect

$\alpha ET = \beta E(1/n - T) \rightarrow \alpha ET + \beta ET = \beta E/n \rightarrow T(\alpha E + \beta E) = \beta E/n \rightarrow TE = \beta E/n \rightarrow \beta = nT$



T ed n variano quindi la BASELINE Fluttua.

Se CR e' elevata la fluttuazione sara' ridotta ma cio' introduce interferenze a 50Hz pertanto e' meglio usare un circuito di 'baseline restorer' che elimina le fluttazioni(vedi quello con doppio diodo che non taglia la parte negativa).

Figure 2.7 Effect of CR filter of large time constant on a regular train of rectangular pulses, showing (a) depression of baseline and (b) the baseline restoration effect of the diode

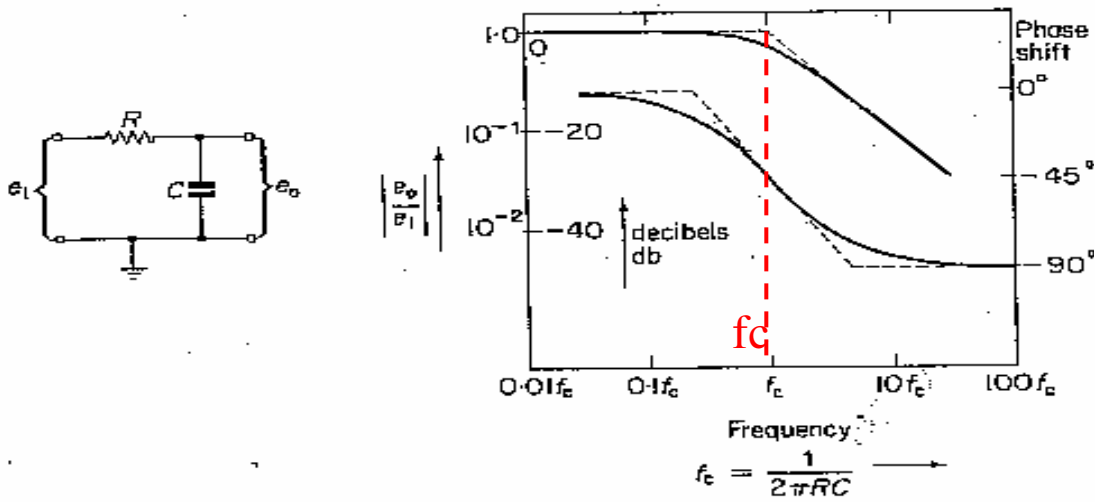


Figure 2.1 RC low pass filter; frequency response and phase shift

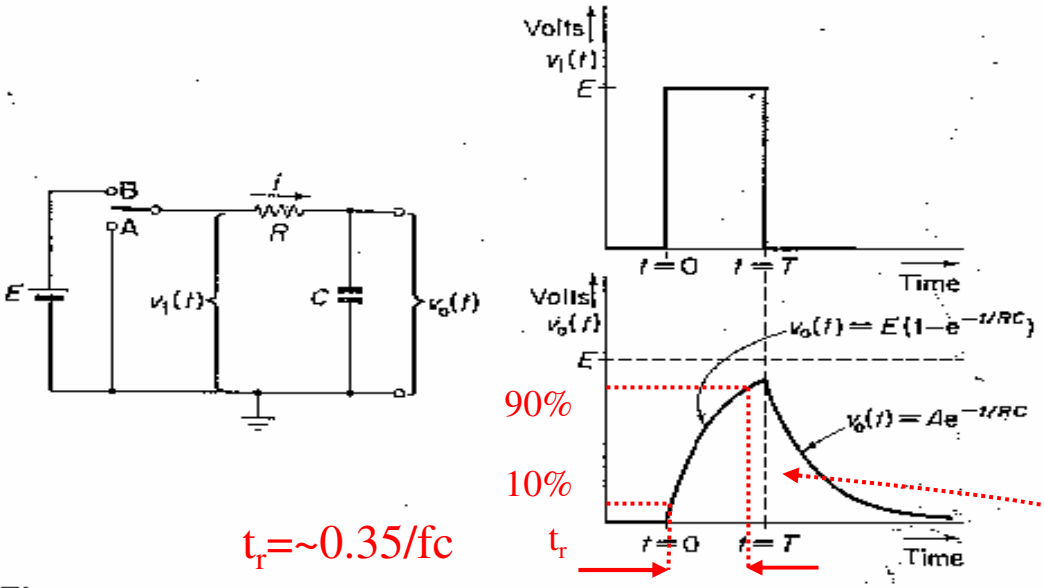


Figure 2.2 Application of a rectangular pulse to a RC low pass filter and the form of the output signal $v_o(t)$

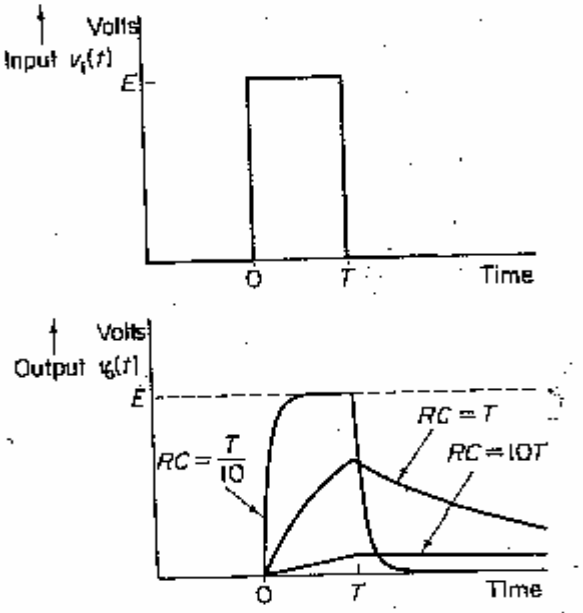


Figure 2.3 Effect of the value of RC of a low pass filter on the form of the output signal for a rectangular pulse input

Segnale piu' largo
Piu' rumore dovuto al pile-up
Banda passante piu' stretta
Meno rumore bianco in uscita
Aumento del tempo di salita t_r

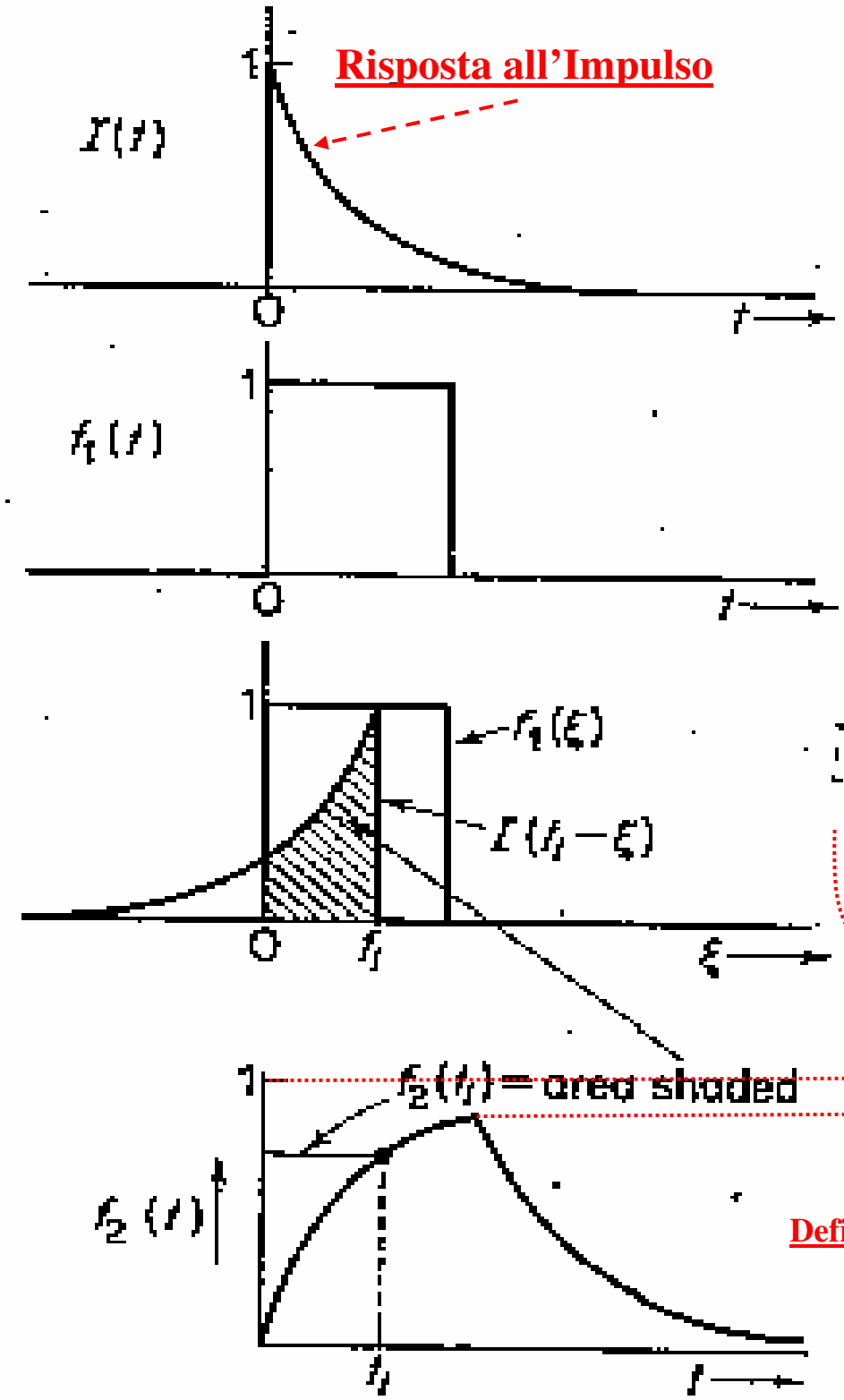


Figure 2.16 Time convolution method for finding output signal $f_2(t)$ for an input $f_1(t)$ applied to a circuit having an impulse response $I(t)$

Per avere un Deficit Balistico basso
Il segnale d'uscita dovrebbe assomiglia-re alla risposta all'impulso, e questa dovrebbe avere un picco piatto di durata pari almeno a quella del segnale d'ingresso

Deficit Balistico

Circuito per l'amplificazione e la formazione del segnale anodico (amplificatore-shaper)

Circuito con cancellazione polo-zero

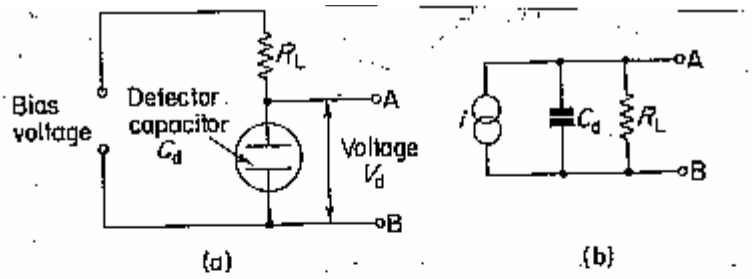
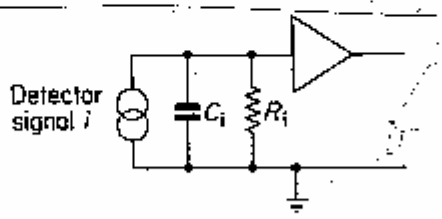


Figure 3.4 Input circuit for the detector; the equivalent circuit for detector current signals of magnitude i

DEFICIT BALISTICO = $(2Q/Ci)/(e^{1/2})$

$i_oR_i\ (1-e^{-T/RiCi})$



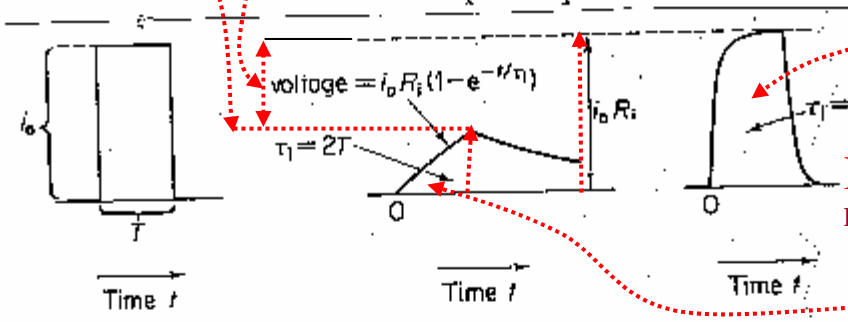
R_iC_i e' fissato :

$C_i \rightarrow C_{det}+C_{iampl}$

$R_i=Z_{cdet}$

Figure 3.5 Equivalent circuit for detector signal, i, at the pre-amplifier input

$Q=i_oT$



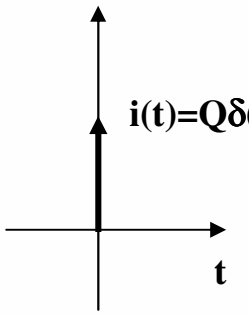
$R_iC_i=T/10$

DEFICIT BALISTICO NULLO

Figure 3.6 (b) and (c) show the voltage waveform observed at the pre-amplifier input for the detector signal shown in (a). (b) is for the case $\tau_1 = 2T$ and (c) is for the case $\tau_1 = T/10$

$R_iC_i=2T$

DEFICIT BALISTICO = $i_oR_i-i_oR_i\ (1-e^{-T/RiCi})$ = $i_oR_i\ e^{-T/RiCi}$ = $(Q/T)R_ie^{-T/RiCi}$ = $(2Q/Ci)/(e^{1/2})$



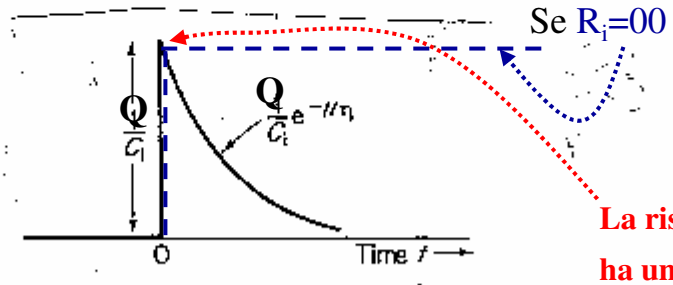


Figure 3.7 Impulse response of the input circuit, i.e. the voltage at the input of the preamplifier when a unit impulse of current is supplied by the

La risposta all'impulso se ***non*** ha un ***picco piatto*** (come in questo caso) introduce un ***DEFICIT BALISTICO*** (vedi circuito SAMPLE/HOLD)

Se Ri=00 conviene usare un circuito CR-RC(con $\tau_1=\tau_2$ per miglior S/N e piattezza dell'Ampiezza). Il circuito CR^2-RC da' un segnale bipolare(S/N e deficit balistico peggiori).

La risposta in frequenza degli amplificatori dovrebbe avere una banda passante piatta fino a frequenza zero(dc) ottenedo segnali unipolari.

Spesso l'accoppiamento dc crea problemi(fluttazioni della baseline dovute alla deriva termica delle tensioni e correnti di offset ,
ad alte frequenze dovute a pile-up, alla frequenza di rete, valori dc che possono saturare l'elettronica: per impulsi di frequenza n → $i_{media}=nQ$ $V_{media}= I_{media}Z_i$, ecc.).

Pertanto si utilizzano amplificatori passa banda(accoppiamento ac escludendo le basse frequenze) ottenendo cosi dei segnali bipolari.
Anche in questi casi la baseline puo' fluttuare in quanto dipende dalla frequenza(variabile) dei segnali prodotti dal rivelatore e dalla loro durata(variabile) e se RC e' molto grande anche dalla frequenza di rete.

In entrambi i casi il problema della fluttuazione della baseline si risolve utilizzando dei circuiti baseline-restorer.

Se R_i =/= 00 e piccola→v_i (t)=/=u(t) ed un circuito CR-RC darebbe un undershoot; pertanto si usa il circuito con cancellazione polo-zero

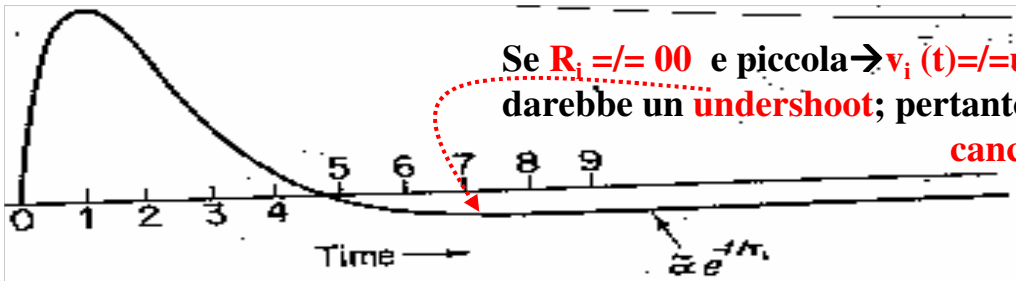
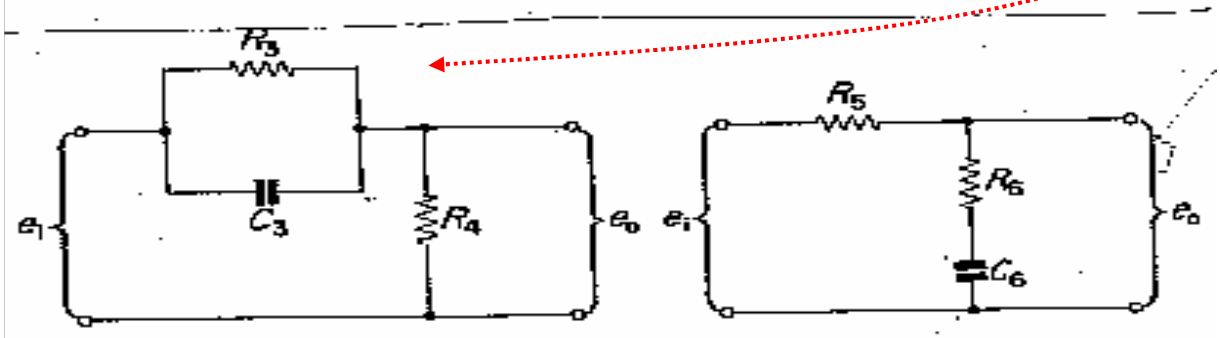


Figure 3.25 Output pulse with CR–RC shaping having filter time constants = 1 when the time constant τ_1 of the input circuit is 16. Units of time are arbitrary



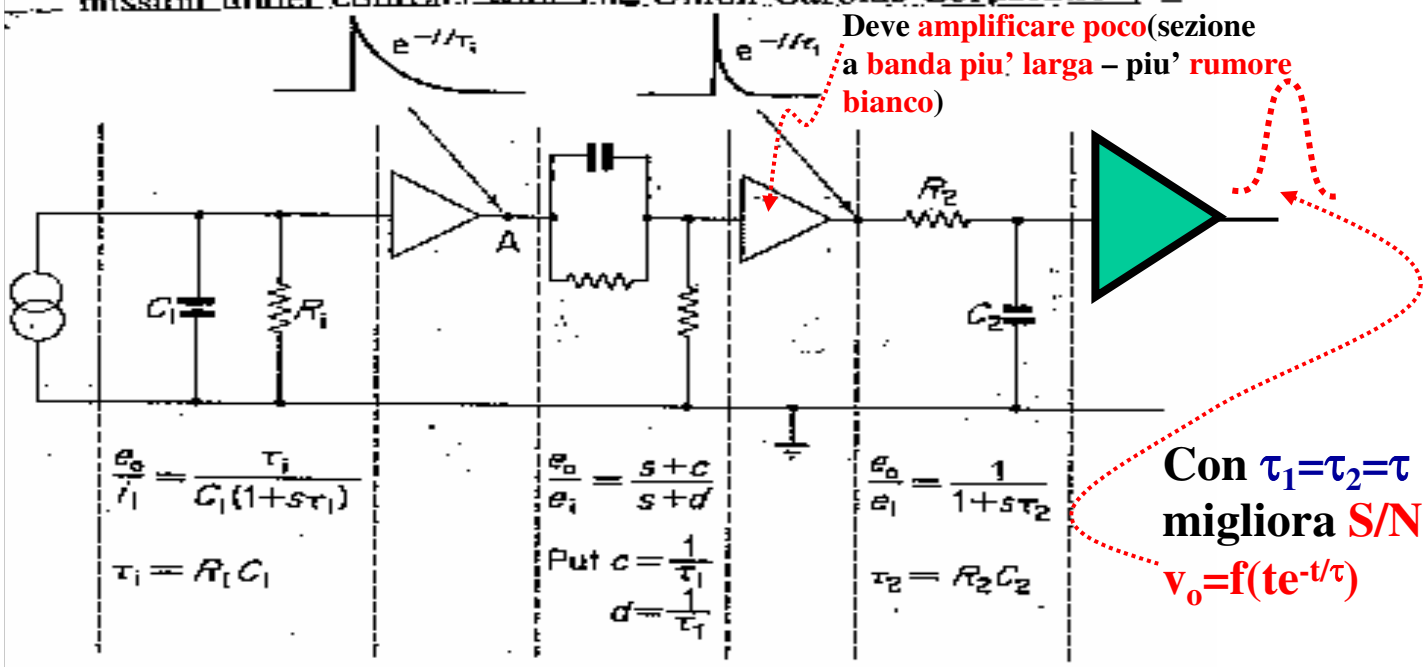
$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{s+c}{s+d} \qquad c < d \qquad\qquad \frac{e_o}{e_i} = \frac{h(s+g)}{(s+hg)}$$

$$c = \frac{1}{R_3 C_3} \qquad d = \frac{1}{C_3}\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right) \qquad\qquad h = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \qquad g = \frac{1}{R_6 C_6}$$

(a) (b)

Figure 3.26 Pole-zero cancellation networks according to Nowlin and Blankenship.[4] (Research sponsored by the U.S. Atomic Energy Commission under contract with The Union Carbide Corporation)

Deve amplificare poco(sezione a banda piu' larga – piu' rumore bianco)



Con $\tau_1=\tau_2=\tau$ migliora S/N

$v_o=f(te^{-t/\tau})$

Figure 3.27 Use of pole-zero cancellation to give a truly unipolar pulse in CR–RC shaping. (From Nowlin and Blankenship.[4] Research sponsored by the U.S. Atomic Energy Commission under contract with The Union Carbide Corporation)

Se si vuole ridurre l'effetto del pile-up(alte frequenze del riv.) si restringe il segnale abbastanza nella prima sezione allargandolo nella seconda(doppia cancellazione polo-zero)

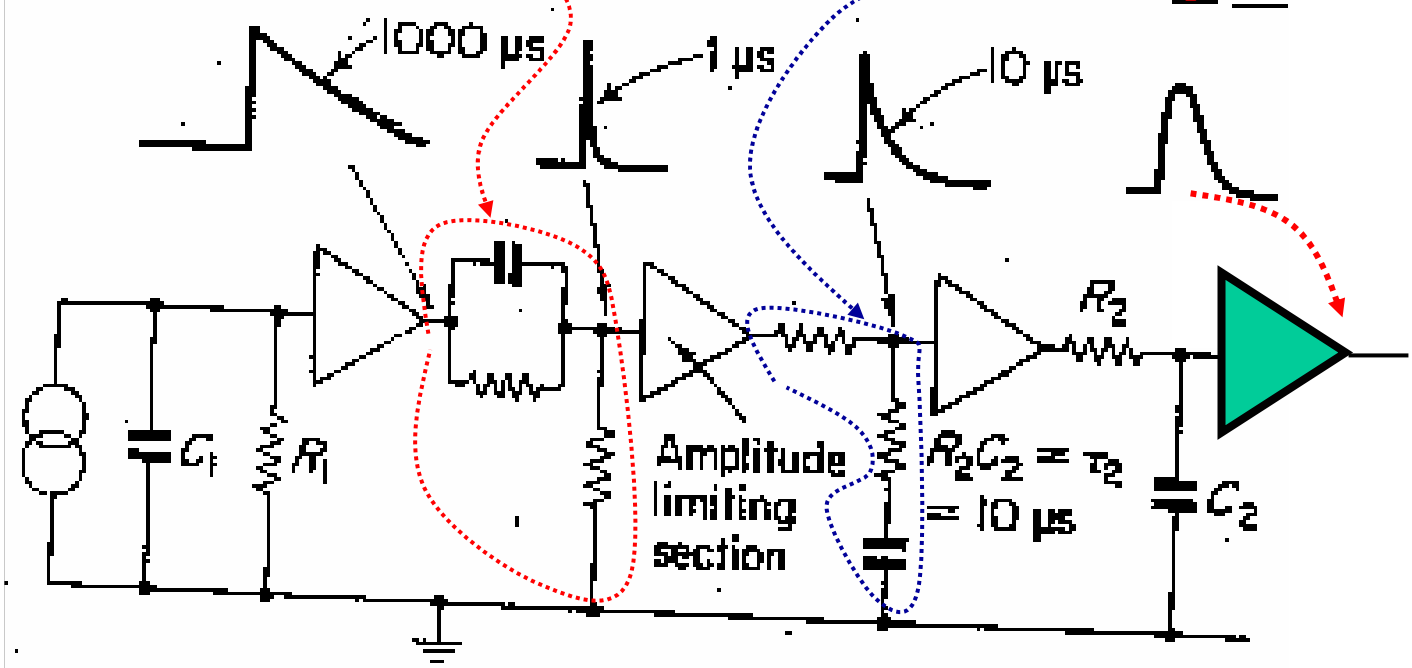
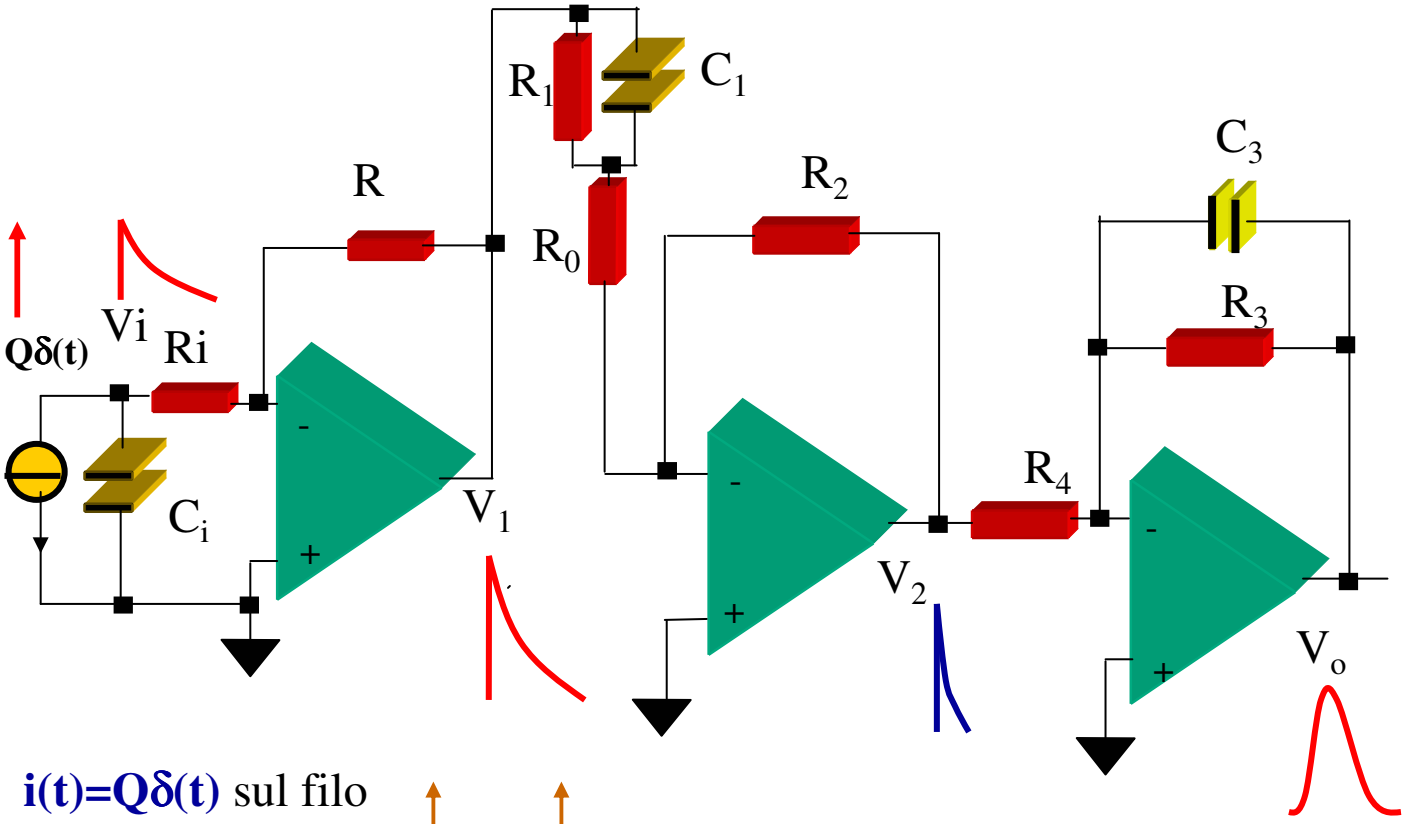
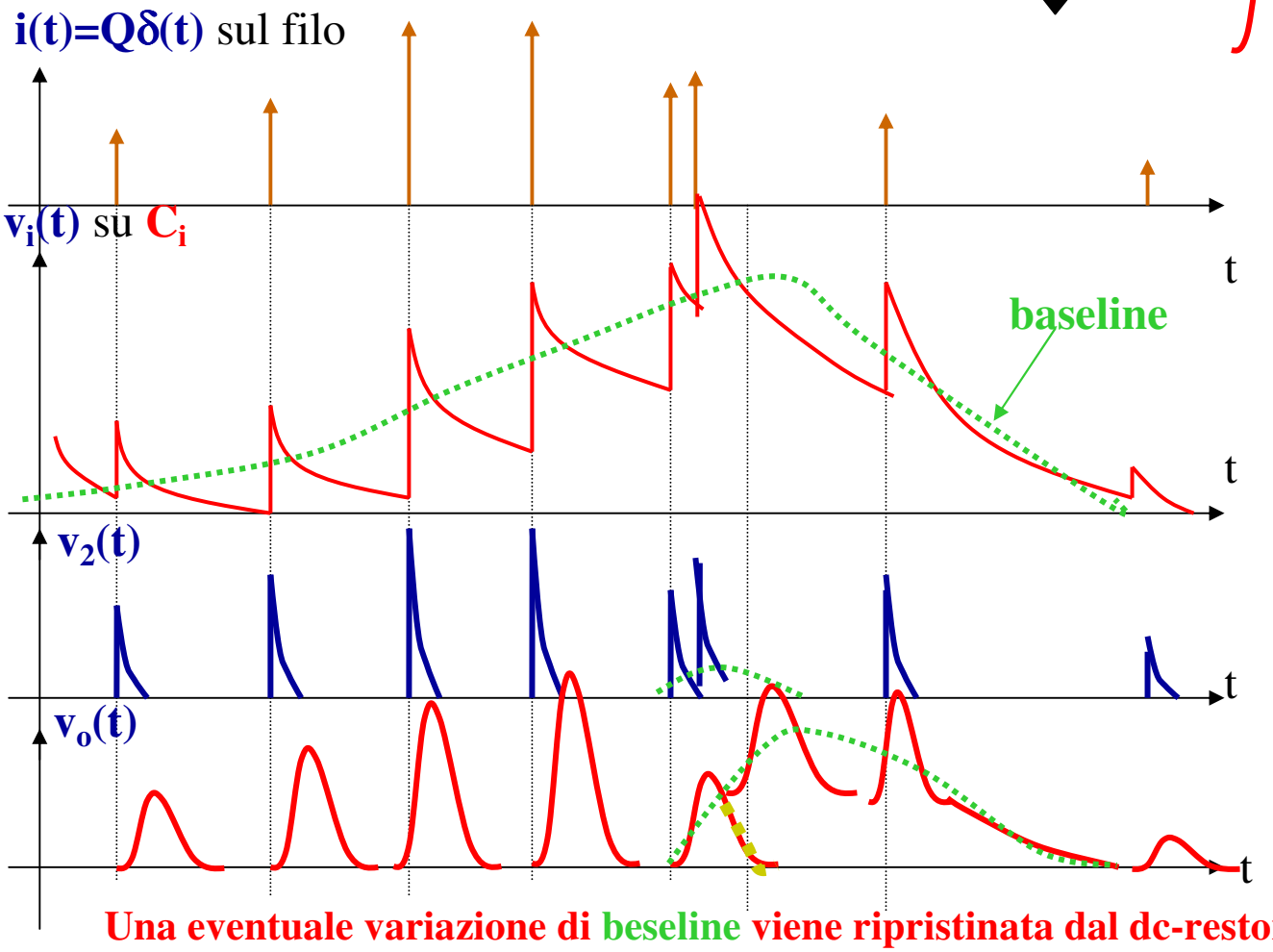


Figure 3.28 Use of two pole-zero cancellation networks in a CR–RC shaping system so as to shift the decay time of the pulse to 1 μs in the amplitude limiting section of the amplifier. (After Nowlin and Blankenship.[4] Research sponsored by the U.S. Atomic Energy Commission under contract with The Union Carbide Corporation)

Circuito amplificatore-shaper con OP-AMP a basso rumore e larga banda





Una eventuale variazione di beseline viene ripristinata dal dc-restorer.

Circuiti di ripristino del valore di riferimento o linea di base (Baseline restorer)

(Questi circuiti peggiorano S/N)

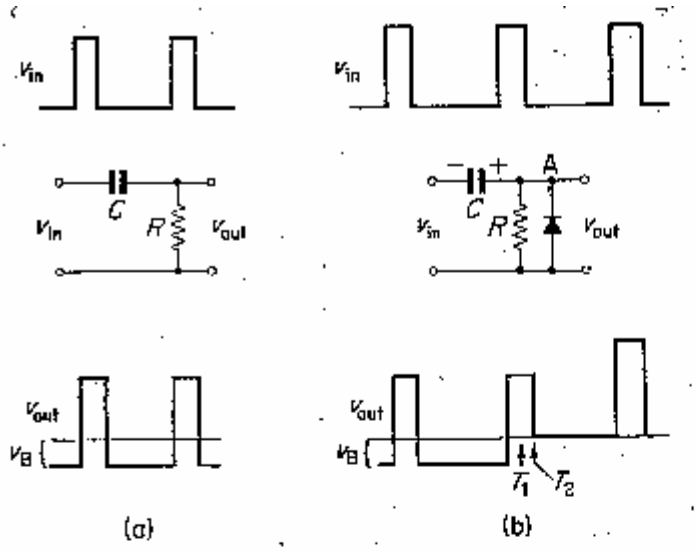


Figure 3.30 (a) Output waveform of a CR filter with a square pulse input. (b) Output waveform when a diode is connected in the circuit at instant T_1

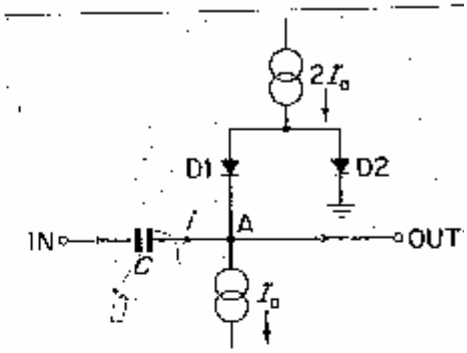


Figure 3.32 The baseline restorer of Robinson[5]

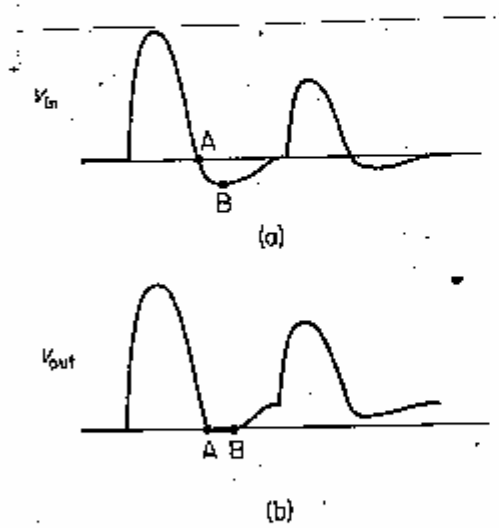


Figure 3.31 Simple diode restorer. Effect of undershoot causing the restoring action to be lost for the following pulse

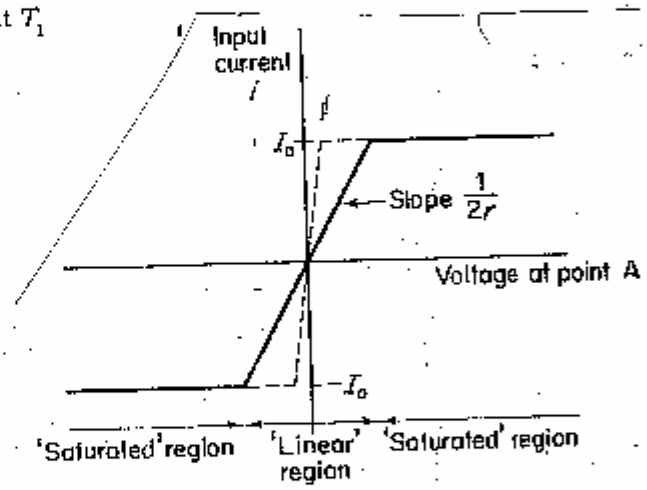
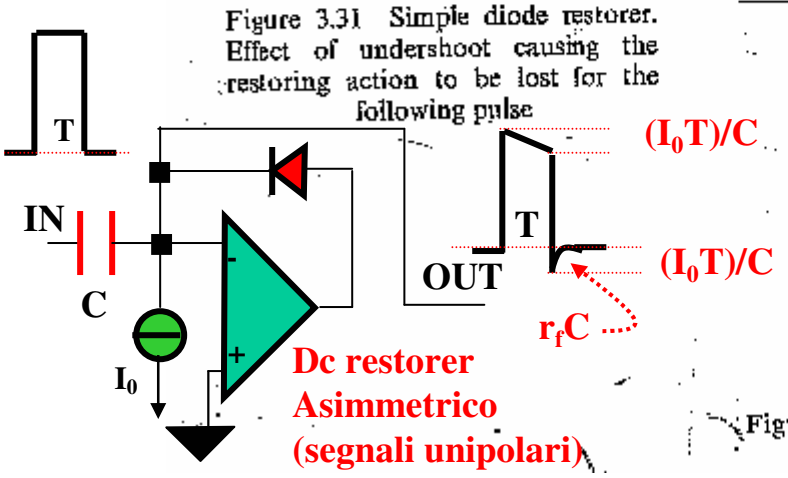


Figure 3.33 Current/voltage characteristic of the



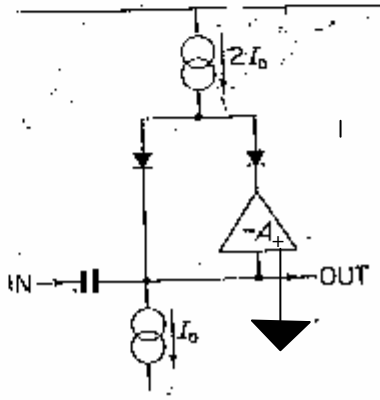


Figure 3.36 Modification by Chase and Poulo[6] of the Robinson restorer

Dc restorer Simmetrico (segnali Unipolari e Bipolari)

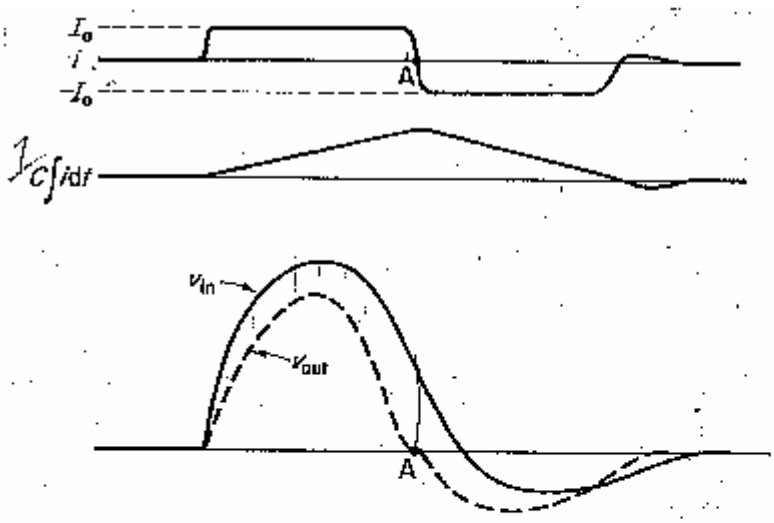


Figure 3.34 Operation of the Robinson restorer. $v_0(t) = v_i(t) - 1/C\int i\,dt$

Non restringe i segnali bipolari però' elimina eventuali fluttuazioni dovute a vari fattori (tutti quei segnali con frequenza superiore a quella di taglio inferiore del circuito (50Hz, dc offset, rate variabile ecc.))

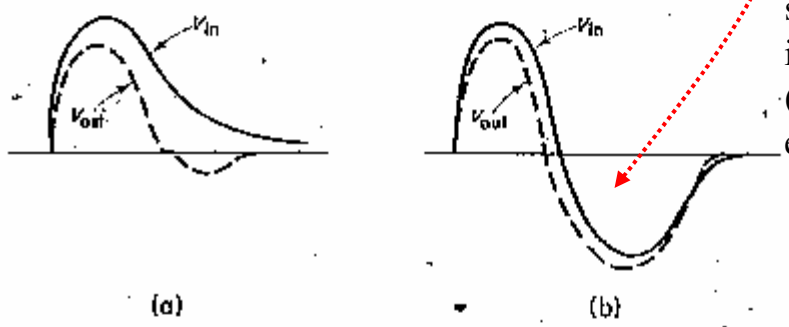


Figure 3.35 Action of the Robinson restorer on (a) a pulse with a long tail (b) a bipolar pulse

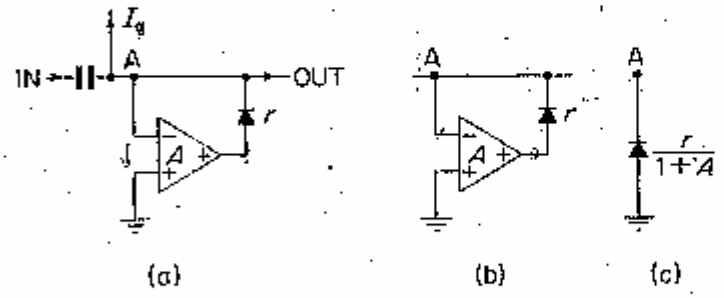


Figure 3.37 (a) Gere–Miller restorer.[8] (c) Equivalent circuit for the circuit of (b)

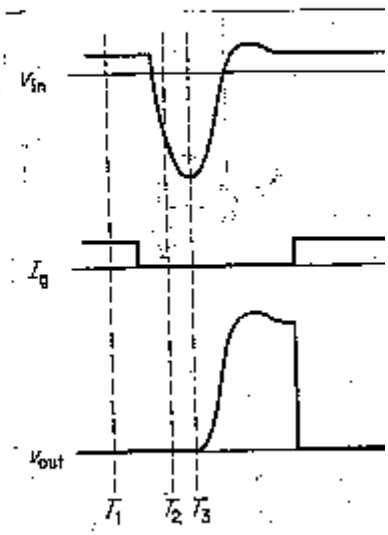


Figure 3.38 Operation of Gere–Miller restorer

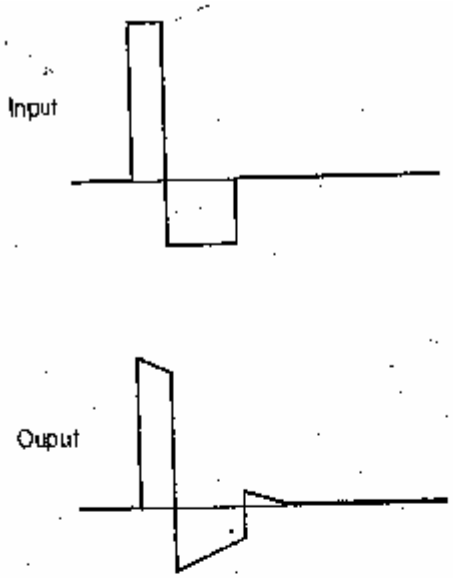


Figure 3.39 Effect of a baseline restorer of the Robinson type on a large undershoot, according to Bertolaccini and Bussolati[9]

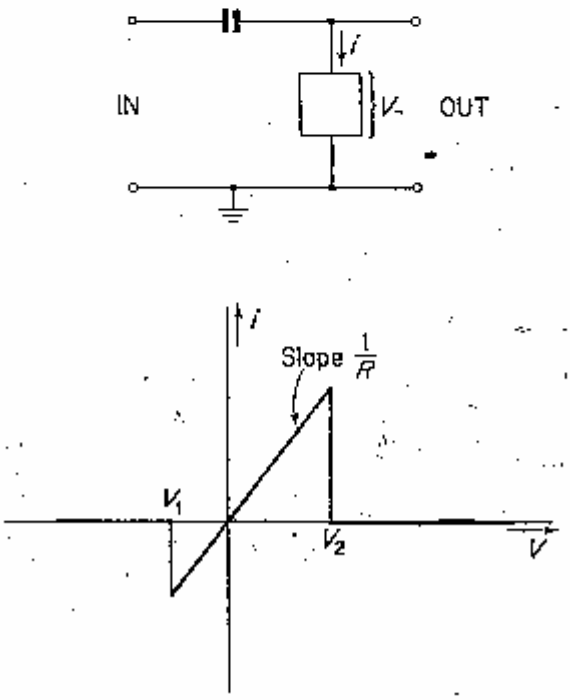


Figure 3.40 Principle of the baseline restorer of Bertolaccini and Bussolati[9]