

Electrónica Nuclear

Normas electrónicas

Os aparelhos electrónicos concebidos para a Física Nuclear e a física das Partículas Elementares obedecem a **standards** ou **normas internacionais**.

Os **standards** fixam o **tamanho** das unidades electrónicas, de modo a estas poderem entrar nas **gavetas** (ou **crates**) de alimentação e serem permutadas à vontade ou trocadas facilmente em caso de avaria.

Os **crates**, de dimensões padronizadas, armazenam e alimentam os circuitos dos módulos electrónicos, fornecendo as tensões $\pm 24V$ e $\pm 12V$ (e $\pm 6V$).

Cada módulo electrónico aceita e/ou gera sinais, **lógicos** ou **analógicos**.

A mais antiga e simples é a **norma NIM** (Nuclear Instrument Module), ainda hoje usada.

- A **norma NIM** impõe aos **sinais lógicos lentos**, usados em Física Nuclear (largura $\sim 1\mu s$) valores positivos:

$$\begin{array}{lll} 1 \equiv & +4 \text{ a } +12V & \Rightarrow \sim 5V \text{ (família TTL)} \\ 0 \equiv & +1 \text{ a } -2V & \Rightarrow \sim 0V \end{array}$$

Exemplo: sinal de saída dum analisador mono-canal.

Os sinais lógicos rápidos (usados em Física de Partículas) possuem uma norma NIM negativa. São concretizados pela família ECL, a mais rápida lógica digital conhecida (larguras de alguns ns):

$$1 \equiv -1.75 \text{ V}$$

$$0 \equiv -0.90 \text{ V}$$

- Os sinais analógicos NIM usam geralmente a gama de 0 a 10 V.

Exemplo: gerador de impulsos, multicanal,...

- A norma NIM seguiram-se outras:

- ▶ Norma CAMAC — que define um bus na parte traseira do crate interligando os módulos, e que permite o controlo remoto dos módulos por um computador.
- ▶ Norma VME — que define um bus mais versátil e que permite a diferentes microprocessadores controlarem os mesmos módulos, gerindo entre si os tempos de controlo e de fluxo de dados (arbitragem).

Tipos de módulos processadores de sinais

Os impulsos eléctricos provenientes do detector são processados pela cadeia electrónica a ele associada. Descrevem-se de seguida as funções básicas de cada componente NIM dessa cadeia.

• Préamplificador

Amplifica com pouco ganho os sinais, geralmente muito fracos, vindos dos detectores. Como o sinal é fraco, o ruído electrónico deve ser mínimo $\Rightarrow$ o préamplificador deve estar junto dos detectores, para minimizar o comprimento dos cabos.

Os dois tipos mais usados são:

- préamplificador de tensão.
- préamplificador de carga.

► O préamplificador de tensão usa-se quando os detectores têm uma capacidade C_{det} estável. Exemplo: fotomultiplicadores, contadores Geiger-Müller. Como estes detectores produzem carga Q ($Q = \int i dt$), a tensão à entrada do préamplif. é $V = Q / C_{det}$, proporcional à carga colectada. → ver fig.

► O préamplif. de carga usa-se para os detectores que não têm C_{det} estável. Nos detectores semicondutores, a capacidade intrínseca da junção é altamente sensível às variações de temperatura. Neste caso, a corrente do

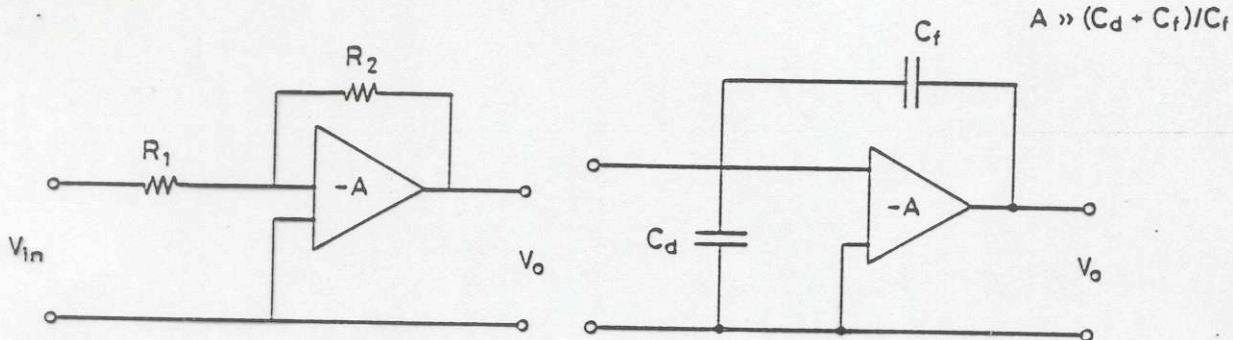


Fig. 14.1. Schematic diagram of a voltage-sensitive preamplifier

Fig. 14.2. Schematic diagram of a charge-sensitive preamplifier. To discharge the capacitor C_f , a resistor is also usually placed in parallel with C_f . This results in the exponential *tail* pulse

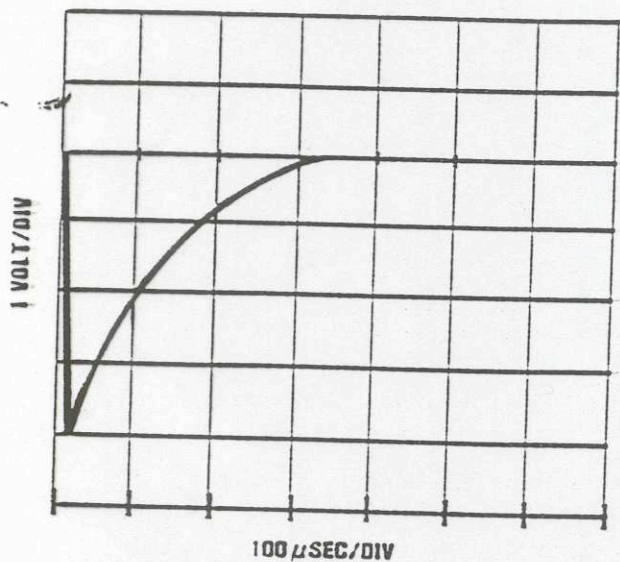


Figure 20.2. Typical negative output from a pulse generator.

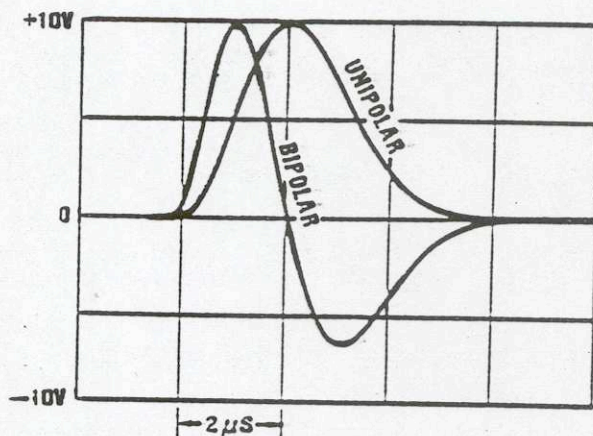


Figure 20.1. Typical output pulse shapes of a nuclear amplifier.

detector é integrada na própria capacidade do preamplificador.

• Amplificador linear

A amplitude do sinal de entrada é **proporcional** à energia da partícula que lhe deu origem.

- O **amplif. linear** deve amplificar esse sinal, de modo a que o sinal de saída seja ajustado à **gama de tensões** (**0 - 10 V**) do analisador espectral (**multicanal**). Para tal, o seu **ganho** tem de **manter a proporcionalidade** entre os sinais de entrada e de saída.

- O **amplif. linear** deve ainda alterar a **forma** do sinal vindo do preamplif.,

$$\propto e^{-t/\tau} \text{ com } \tau \sim 1 \mu s - 100 \mu s,$$

de modo a evitar uma cauda tão longa, o que facilita o **empilhamento**.

→ ver fig.

A nova forma do impulso **minimiza** também os efeitos do **ruído** electrónico, isto é, **optimiza** a relação **sinal/ruído**.

- Esta formatação (**shaping**) dos impulsos é geralmente feita com uma cascata de circuitos **CR** (**filtro passa-alto**) e **RC** (**filtro passa-baixo**) obtendo-se um **sinal unipolar**. → ver fig.

Este novo impulso tende às vezes para zero lentamente por valores negativos (**undershoot**)

⇒ se aparece outro impulso, a sua amplitude fica **subestimada**.

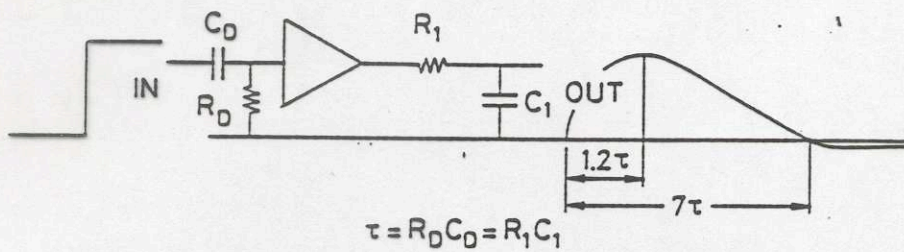


Fig. 14.5. CR-RC pulse shaping network. Because of residual differentiations in the preamplifier, the width and cross-over point of the resultant signal are not those calculated theoretically (from *Ortec catalog* [14.1])

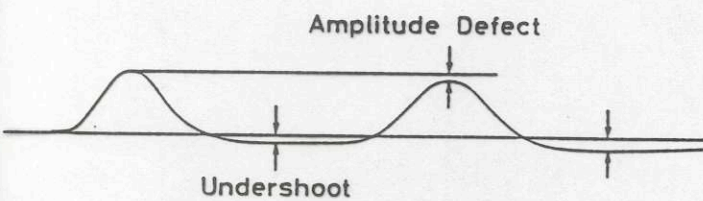


Fig. 14.6. Amplitude defect arising from undershoot in CR-RC pulse shaping

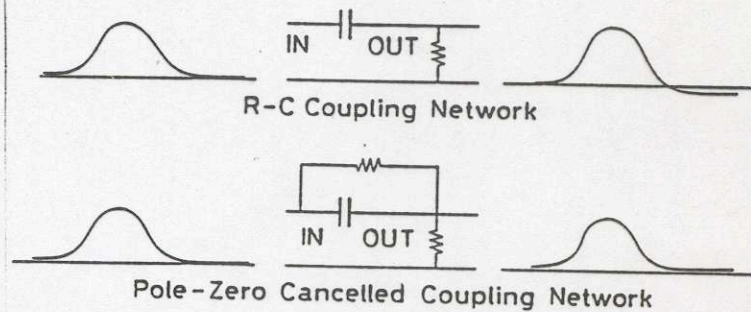


Fig. 14.7. Pole-zero cancellation circuit (from *Ortec catalog* [14.1])

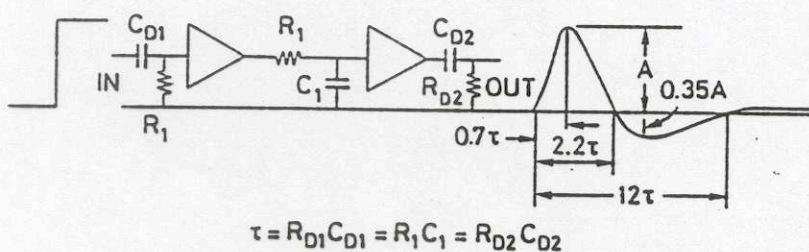


Fig. 14.9. Double differentiation pulse shaping network (from *Ortec catalog* [14.1])

► Uma solução é acoplar ao condensador do andar **CR** uma resistência variável, controlada pelo utilizador (**ajuste pólo-zero**). → ^{ver} figs.

► Outra solução é, após a passagem do impulso, forçar o condensador a descarregar-se rapidamente através dum curto-circuito para a massa (**restauração da linha de base - BLR**).

• Uma outra maneira de formatar o impulso de entrada do amplif. é juntar um andar **CR** adicional à **casca CR-RC**. Esta solução **CR-RC-CR** é mais usada quando são necessárias referências precisas em tempo (**timing**), pois produz um sinal bipolar. → ^{ver} fig.

• Amplificador de janela ('biased')

Quando se pretende fazer uma análise de amplitudes dos sinais apenas numa certa gama aplica-se um **limiar** ao sinal, rejeitando a **gama de amplitudes** sem interesse, de modo a podermos **expandir** só a região que se pretende estudar.

→ ^{ver} fig.
É o que acontece na análise de sinais resultantes do **declínio α** , que têm grande energia (**$\sim 5 \text{ MeV}$**). Como o multicanal analisa espectros de energia entre **0 - 10 V**, para expandirmos, por exemplo, a região entre **4 e 6 V**, regulamos o **limiar** do amplificador para **4 V** (as amplitudes **4-6 V** passam a **0-2 V**) e regulamos o **ganho** para **5x**, de modo a

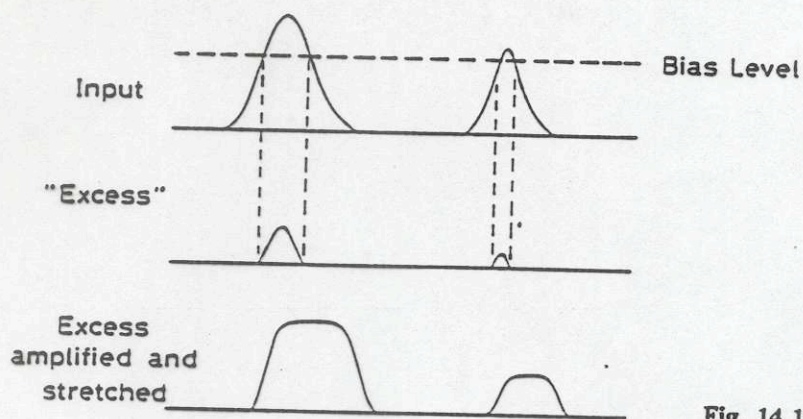


Fig. 14.11. Biased amplifier operation

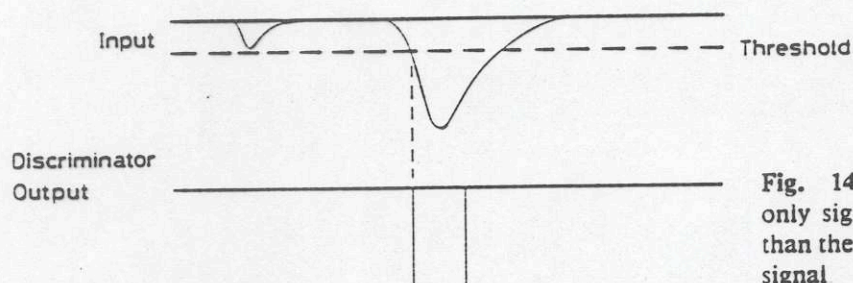


Fig. 14.14. Discriminator operation: only signals whose amplitude is greater than the fixed threshold trigger an output signal

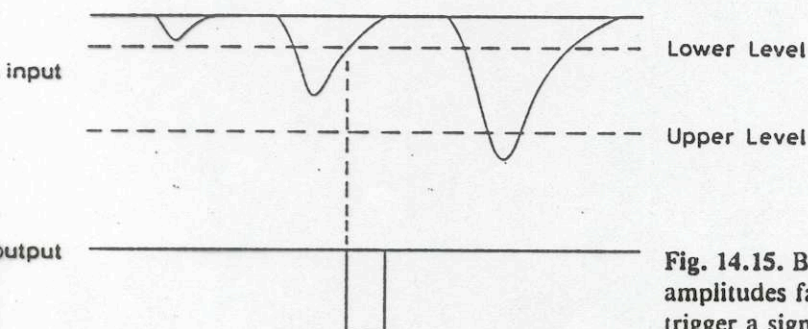


Fig. 14.15. Basic operation of a single channel analyzer (SCA): only signals whose amplitudes fall within the window defined by the upper and lower level threshold trigger a signal

expandir os $2V$ interessantes na gama dos $10V$ disponíveis. Ganhamos assim um factor 5 na separação entre os picos, evitando que se apresentem sobrepostos.

• Discriminador

É uma unidade que gera um sinal de saída lógico, isto é, de norma NIM positiva ($+5V$, $0.5\mu s$), se o sinal analógico de entrada tiver uma amplitude maior que um certo limiar. Este limiar é regulável e serve para rejeitar sinais de ruído (geralmente de fraca amplitude). → ver fig.

• Analizador mono canal (SCA)

É um discriminador diferencial. Recebe sinais analógicos e gera um sinal lógico caso a amplitude V do sinal de entrada esteja entre os limiares dos seus 2 discriminadores: $V_1 < V < V_2$.

Tem vários modos de funcionamento: → ver fig.

► modo normal: ambos os discrim.^{os} (LLD e ULD) são ajustados independentemente numa escala de $0-10V$.

► modo de janela: o valor do 2º discrim.^o é tomado como a largura duma janela ΔV referida ao valor, entre $0-10V$, do 1º discrim.^o. Quer dizer, o 1º limiar é V_1 e o 2º limiar é automaticamente regulado a $V_1 + \Delta V$.

► modo integral: o valor do 2º discrim.^o

não é considerado e o analisador monocal funciona como um discriminador simples cujo limiar é dado pelo 1º discrim.^o (LLD).

• Analisador multicanal (MCA)

É um dispositivo complexo que **digitiza** as amplitudes dos sinais analógicos de entrada num certo número de **canais** (≥ 1024), cada qual associado a uma **memória**, de modo a **contar** o número de sinais de cada **amplitude discretizada**. Estes conteúdos são exibidos num **écran**. Permite, pois, analisar os espectros de energia das partículas (ou radiações) resultantes dos decaimentos dos núcleos radioactivos.

O elemento central do **MCA** é um **conversor analógico-digital (ADC)**. Se o **ADC** tem, por ex.^o, **10 bits**, converte a amplitude do sinal analógico num número de **10 bits** que é um dos $1024 = 2^{10}$ **canais** possíveis para a **digitalização**. Como o **ADC** costuma aceitar sinais na **gama 0-10V** de amplitude, cada canal tem a largura $10/1024 \approx 10 \text{ mV} \Rightarrow$ sinal de **3V** será representado pelo **ADC** pelo um número binário equivalente a **300**.

Os **ADCs** de espectroscopia devem ter uma boa **linearidade diferencial**, isto é, a **largura ΔV** de cada canal deve ser **constante**, a menos de **1%**. Este erro sistemático na atribuição do canal permite uma **estatística máxima** de 10^4 **conta-**

gens/canal ($\Rightarrow \sqrt{N}/N = 1\%$). A partir deste valor a dispersão estatística torna-se menor que o erro sistemático e já não tem sentido aumentar as contagens.

A conversão analógico-digital de melhor linearidade diferencial é obtida pelo método de descarga dum condensador em rampa. O seu tempo de descarga é contado por um oscilador de alta frequência ($\sim 100 \text{ MHz}$). Dado o número de canais, o tempo de conversão do ADC é de dezenas de μs ($\sim 1000 \times 10 \text{ ns}$). $\rightarrow$ ver fig.

O MCA é, pois, um dispositivo lento. Para altas taxas de contagem ($\sim 10^5/\text{s}$), exhibe tempo morto.

• Porta linear

É um circuito que permite a validação do sinal analógico em processamento por um sinal de controlo que só existe se certa condição se realiza. $\rightarrow$ ver fig.

• Unidade de coincidências

É um módulo que gera um sinal lógico se 2 ou mais sinais lógicos se apresentam à entrada em coincidência, isto é, se se recobrem minimamente em tempo. $\rightarrow$ ver fig.

É uma porta lógica que executa a operação lógica AND. Outros módulos electrónicos executam OR, NOT, ou combinações delas.

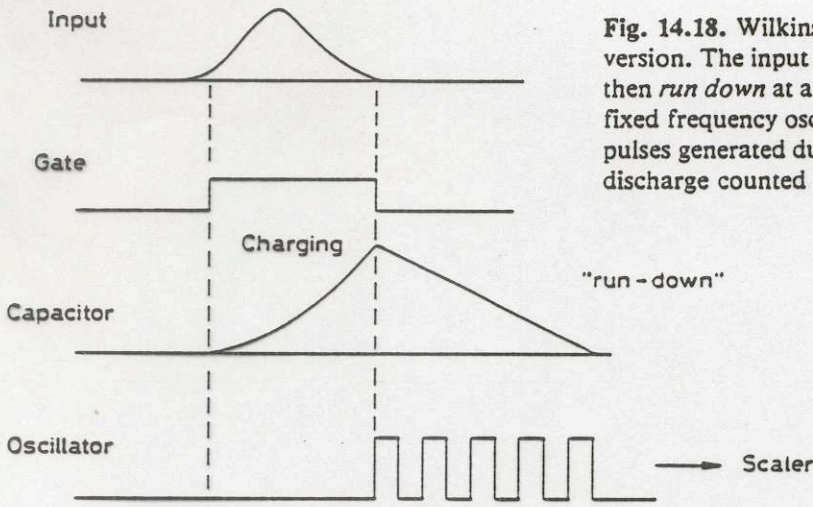


Fig. 14.18. Wilkinson method of analog-to-digital conversion. The input is used to charge a capacitor which is then *run down* at a constant current. At the same time, a fixed frequency oscillator is gated on and the number of pulses generated during the time it takes the capacitor to discharge counted

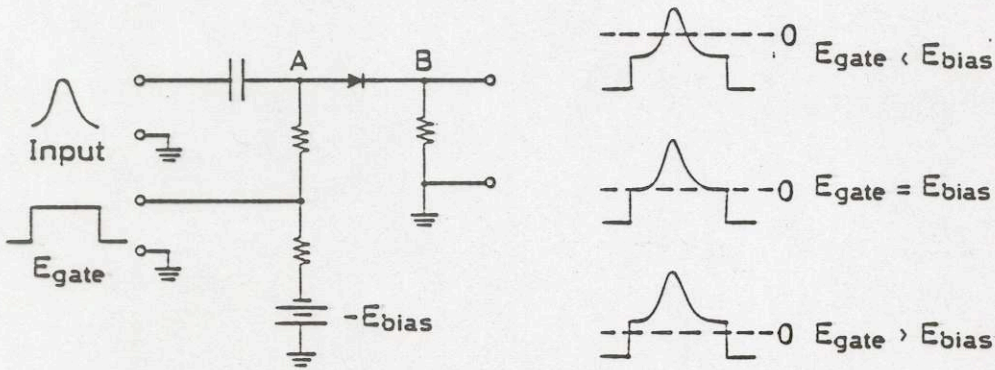


Fig. 14.13. Basic linear gate

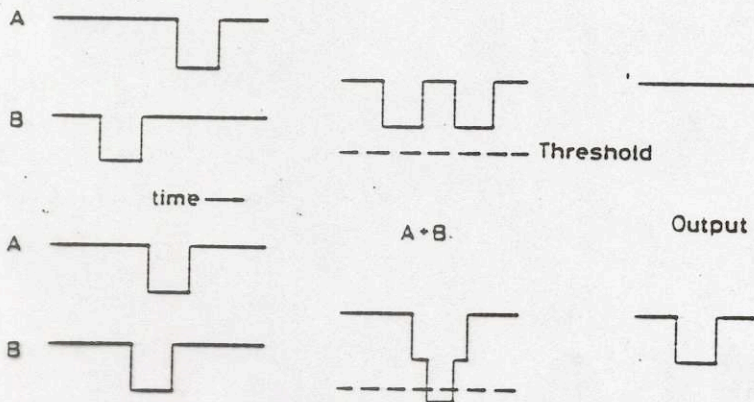


Fig. 14.23. The summing method for determining the coincidence of two signals. The pulses are first summed and then sent through a discriminator set at a level just below twice the logic signal amplitude