

12. Meranie zosilnenia fotonásobiča v závislosti od pracovného napätia, účinnosť scintilačného detektora

1. Všeobecná časť

Scintilačná sonda pozostáva z dvoch hlavných prvkov: scintilačného kryštálu a fotonásobiča. Vo väčšine scintilačných sond býva priamo za fotonásobičom zaradený ešte pevne zabudovaný predzosilňovač (hoci pri dĺžke kábla do cca 1 m nie je povinný).

Fotonásobič môže obyčajne pracovať v pomerne širokom rozsahu pracovných napätí. Optimálnu hodnotu pracovného napätia udáva výrobca; u bežných fotonásobičov býva táto hodnota od 600 do približne 1200 V. Určitou výnimkou sú rýchle fotonásobiče, určené na sledovanie veľmi krátkych javov, pri ktorých sa na dosiahnutie dostatočného urýchľovacieho poľa používa pracovné napätie cca 2000 až 6000 V.

Pred prvým použitím neznámeho scintilačného detektora je vhodné vykonať toto meranie a aspoň orientačne nájsť optimálny pracovný bod (z hľadiska zosilnenia, účinnosti a rozlišovacej schopnosti). Výška výstupného impulzu fotonásobiča veľmi silne závisí od pripojeného pracovného napätia. Preto je pri meraní scintilačnou sondou **nevyhnutné** používať **veľmi dobre stabilizovaný zdroj vysokého napätia** s vysokou dlhodobou stabilitou.

Cieľom tohto cvičenia je namerať energetické spektrá známych gama žiaričov (napr. ^{241}Am , ^{57}Co , ^{137}Cs , ^{60}Co) a z polohy nameraných energetických čiar a známych konštánt zosilnenia a konverzného zisku vypočítať výšku výstupných impulzov z fotonásobiča. Výstupné impulzy z fotonásobiča (už za predzosilňovačom) pritom orientačne sledujeme osciloskopom a porovnáваме ich s vypočítanou hodnotou.

Po nameraní všetkých predpísaných hodnôt vykonáme meranie detekčnej (intrinsitnej) účinnosti najmenej na dvoch energetických čiarach, ktoré sú od seba dostatočne vzdialené (napríklad na čiare 661 keV žiariča ^{137}Cs a na (druhej) čiare 1,33 MeV žiariča ^{60}Co).

2. Zadanie a postup merania

Meranie vykonáme na staršom 1024-kanálovom analyzátore KFKI. (Poznámka: Táto voľba je úmyselná, takéto meranie je menej pohodlné ako na novších zariadeniach, to je však súčasťou cvičenia).

A) Meranie zosilnenia fotonásobiča

Vykonajte sériu krátkych meraní s predvolenou dobou merania **100 s** pri pracovných napätiach od 600 do 1200 V (začíname od 550 V, ale pri tomto napätí len orientačne sledujeme výšku impulzu na osciloskope). Aby sa energetické spektrum pri rôznych pracovných napätiach vždy zместilo do nastaveného rozsahu analyzátora, treba pri zmene pracovného (vysokého) napätia meniť aj zosilnenie hlavného zosilňovača analyzátora (hodnoty sú predpísané v pripravenej tab. 12.1). Strednú polohu píku stačí odčítať manuálne. Predvolený počet kanálov je **256** (1/4 z celkového počtu 1024 kanálov). Konverzný zisk sa trvalo nastaví na hodnotu **20 mV/kanál**.

Zosilnenie predzosilňovača je konštantné, má hodnotu $A = 60$.

Poznámka: Konverzný zisk, čo je vlastne číslicové zosilnenie analógovo–číslicového prevodníka, je voliteľný v troch stupňoch, 10; 20 a 40 mV/kanál. Pri niektorých analyzátoroch sa udáva jeho prevrátená hodnota, 25; 50 alebo 100 kanálov/V.

Odčítanie kanála na analyzátore KFKI: Prepínač voľby výstupu prepneme na DISP, tlačidlom START spustíme výstupný režim a tlačidlom ADDRESS INCREASE krojujeme jednotlivé kanály analyzátora, až kým sa priblížime k miestu s maximálnym počtom impulzov. Pri najvyššej hodnote si zaznamenáme číslo kanála a počet impulzov v ňom.

Pri každom pracovnom napätí sledujeme aj zväzok impulzov na osciloskope a zaznamenáme si približnú hodnotu výšky zväzku (maximálnu hodnotu). Aby sme zbytočne nezvyšovali chybu odčítania, snažíme sa hladinu synchronizačnej úrovne udržiavať čo najbližšie k nule.

Je zrejmé, že po vynesení do grafu budú tieto hodnoty najmenej presné (subjektívna chyba odčítania) a budú mať najvyššiu hodnotu (stred zväzku by sa z obrazovky osciloskopu zle odhadoval).

Keďže nás zaujíma výstupné napätie **fotonásobiča**, treba odčítanú hodnotu z osciloskopu deliť ešte zosilnením predzosilňovača $A = 60$.

Namerané hodnoty zapíšete do pripravenej tabuľky. Z polohy čiary (číslo kanála) a známeho zosilnenia vypočítajte výšky **výstupných** impulzov z **fotonásobiča** na daných energetických čiarach. Príklad: Zosilnenie je $A = 2 \times 1 \times 5 = 10$; konverzný zisk je 20 mV/kanál, zosilnenie predzosilňovača je $A = 60$, maximum píku je v 92. kanále. Výška výstupného impulzu fotonásobiča je teda $U = 20 \times 92 / (10 \times 60) = 3,06 \text{ mV}$.

Vypočítané hodnoty napätia pre obidve energetické čiary, aj odhadnuté napätia z osciloskopu vynesete do grafu.

Rozlišovacia schopnosť detektora

Predvoľbu času zmeňte na **200 s**. Pri pracovnom napätí 1000 V namerajte spektrá každého žiariča zvlášť a výsledok vytlačte na pásku. V tomto prípade môžeme slabší žiarič položiť priamo na scintilačný kryštál, takže pri výpočte účinnosti bude $\Omega = 1/2$. Z pásky odčítajte polšírky čiar spektra v kanáloch (napr. na čiare 1,33 MeV žiariča ^{60}Co a na čiare 661 keV žiariča ^{137}Cs) a vypočítajte približnú hodnotu rozlíšenia v keV a rozlišovacej schopnosti v %.

Upozornenie: Na výpočet rozlíšenia a rozlišovacej schopnosti použite lineárnu interpoláciu zo známych energií oboch čiar; teda prírastok $(E_2 - E_1)/(N_2 - N_1)$ vynásobte polšírkou čiary v kanáloch. Počítanie z energie jediného žiariča môže byť zaťažené prídavnou chybou analyzátora v oblasti malých vstupných napätí. (Môžete urobiť porovnanie a kontrolu).

B) Účinnosť scintilačného detektora

Na vytlačenej páske si vymedzte oblasť rezonančnej čiary (pík úplnej absorpcie) a spočítajte všetky počty impulzov v rozsahu píku. Účinnosť vypočítame podľa vzťahu:

$$\varepsilon[\%] = \frac{n - n_p}{\frac{\Omega}{4\pi} A \nu t} \quad (12.1)$$

kde n je číselný súčet počtu impulzov danej energetickej čiary, n_p je číselný súčet počtu impulzov pozadia (mal by byť zanedbateľný, pretože sme merali každý žiarič osobitne; ak nie, treba uvažovať aj nenulové pozadie) pod čiarou, Ω je priestorový uhol dopadu zväzku na detektor, v tomto konkrétnom prípade $\Omega = 1/2$; A je aktivita žiariča (prepočítaná ku dňu merania), t je doba merania v sekundách, ν je výťažnosť v % , t. j. tá časť žiarenia, ktorá sa pri rádioaktívnej premene vyžiari ako fotón gama (zohľadňuje rozpadovú schému aj vnútornú konverziu konkrétneho žiariča).

Tabuľka nameraných hodnôt

Tab. 12.1

U_{VN} [V]	osciloskop [mV] max. výška zväzku (približná hodnota)	A = A x B x pot.	I. pík (661 keV) kanál / počet imp.	vypočítaná výška vstupného impulzu fotonásobiča [mV]	II. pík (1330 keV) kanál / počet imp	vypočítaná výška vstupného impulzu fotonásobiča [mV]
550		tu sa nedá seriózne merať na analyzátore, čiary sú už skreslené a slabé				
600						
650		2 x 5 x 12,0				
700		2 x 5 x 10,0				
750		2 x 5 x 5,0	/		/	
800		2 x 5 x 3,0	/		/	
850		2 x 1 x 8,0	/		/	
900		2 x 1 x 5,0	/		/	
950		0,1 x 5 x 12,0	/		/	
1000		0,1 x 5 x 8,0	/		/	
1050		0,1 x 5 x 5,0	/		/	
1100		0,1 x 5 x 3,0	/		/	
1140		0,1 x 5 x 2,0	/		/	
Tu už začína obmedzenie, ďalšie dve merania sú už len orientačné – sledujte na osciloskope. Fotonásobič ešte ďaleko vládze, cca do 1500 V, ale predzosilňovač už nespracuje takú vysokú hodnotu - na výstupe by to boli desiatky V.						
1200		0,1 x 1 x 11,0				

Z pásky (úloha B) pre jednu energetickú čiaru a pre obidve merania zistíte približne polšírku píkov (FWHM), vypočítajte rozlíšenie v keV, rozlišovaciu schopnosť v %.

Pre údaje od oboch píkov (napr. pre energiu 661 keV ^{137}Cs a energiu 1,33 MeV ^{60}Co) nakreslite graf $U_{\text{imp}} = f(U_{\text{VN}})$; do toho istého grafu vynesť aj hodnoty odčítané z osciloskopu.

Pre obidve energie vypočítajte účinnosť detektora.

Poznámka k odčítaniu kanála: Pri odčítaní čísla kanála na dekadronovom displeji dostávame štvormiestne číslo ako dekadickú adresu kanála **v celej pamäti**, t. j. od 0 až po 1023. Keďže pamäť máme teraz rozdelenú na štyri štvrtiny, treba pri meraní vo vyšších štvrtinách od údajov displeja odpočítať základ – násobok 256. V druhej štvrtine je to 256, v tretej 512 a v štvrti číslo 768.

Podobne aj na výstupe číselnej pásky z tlačiarne. Prvé tri miesta (oddelené medzerou) sú údajom mechanického počítadla ktoré, pokiaľ sme ho pred tlačením vynulovali, vždy začína počítať od prvého kanála. Ďalšie tri miesta znamenajú dekadickú adresu z adresového registra, v ktorej je zohľadnená už aj príslušná štvrť pamäte a údaj v posledných piatich miestach znamená obsah príslušného kanála.