

CARACTERISTICA DE LUCRU A CONTORULUI GEIGER-MÜLLER

Obiectul lucrării

În această lucrare se urmărește determinarea parametrilor ce caracterizează domeniul de lucru al unui contor Geiger-Müller (tensiunea de prag, lungimea și panta palierului, tensiunea optimă de lucru) și înțelegerea modului de folosire a unui asemenea contor pentru detectarea radiațiilor nucleare.

Bazele teoretice

Contorul Geiger-Müller face parte din categoria detectorilor cu ionizare în gaz, ca și camera de ionizare și contorul proporțional.

Acest contor are o construcție simplă, fiind alcătuit din doi electrozi introduși într-un tub de sticlă sau de metal. Tubul conține și un gaz nobil la presiune joasă (zeci de torri). De obicei, electrozii au o geometrie cilindrică, anodul fiind un fir metalic, subțire, dispus pe axul unui cilindru care constituie catodul. Acesta din urmă poate fi un strat conductor depus pe peretele interior al tubului de sticlă, iar dacă tubul exterior este metalic, va servi chiar el drept catod. Între cei doi electrozi se aplică o diferență de potențial ca în figura 1.

Forma și dimensiunile unui contor Geiger-Müller depind de scopul în care va fi folosit. În figura 2 sunt prezentate, spre exemplificare, două tipuri de astfel de contori, unul cu fereastră subțire (din mică, Al, mylar etc), care poate fi folosit pentru detecția radiațiilor β sau X și altul de tip cilindric folosit pentru detecția radiațiilor γ .

La trecerea unei radiații prin volumul contorului se produce excitarea și ionizarea moleculelor gazului. În funcție de natura radiației incidente, ionizarea se poate face direct, în cazul particulelor cu sarcină electrică sau indirect, prin intermediul electronilor smulși din peretele contorului de radiațiile X și γ , respectiv al unei particule încărcate rezultate dintr-o reacție nucleară produsă de neutroni. Ionii și electronii formați, dacă sunt accelerați în câmp electric, pot produce la rândul lor ionizări secundare. Caracterul descărcării interioare depinde deci de tensiunea aplicată pe contor.

Sarcinile electrice apărute în urma trecerii unei particule sunt colectate și provoacă variația într-un timp scurt a tensiunii aplicate pe contor, deci un puls de tensiune care apare la bornele contorului și care este transmis prin condensatorul C la instalația de numărare (fig. 1).

În cazul contorului Geiger-Müller, ca și în contorul proporțional, apare multiplicarea în gaz a sarcinilor prin ionizări secundare, adică descărcarea în avalanșă. Dar, funcționarea contorului Geiger-Müller se bazează pe existența unui câmp electric de intensitate mare, astfel încât descărcarea în avalanșă se intensifică și este însoțită de avalanșe secundare. Astfel, pulsurile de tensiune care apar au amplitudine mare (1 – 10 V sau mai mult) și pot fi numărate direct, fără amplificare prealabilă.

Ținând cont de geometria cilindrică a contorului, distribuția câmpului electric în interiorul său, $E(r)$, va fi dată de relația:

$$E(r) = \frac{V}{r \cdot \ln \frac{r_c}{r_a}} \quad (1)$$

unde: V este tensiunea aplicată între electrozi, r_c, r_a sunt raza catodului, respectiv a anodului, r este distanța față de axa contorului la care se determină câmpul electric.

Din relația (1) se vede că în regiunea din jurul firului central se obține un câmp electric intens în care electronii sunt accelerați puternic și în deplasarea lor spre anod produc ionizări în avalanșă. De asemenea, se produce și excitarea unor molecule de gaz, care se dezexcită într-un timp foarte scurt ($\approx 10^{-9}$ s), emițând fotoni cu lungimea de undă în vizibil sau în ultraviolet. Acești fotoni pot smulge fotoelectroni de pe suprafața catodului sau din gaz, iar fotoelectronii pot genera noi avalanșe care se suprapun peste cea inițială (figura 3). Descărcarea în avalanșă se produce într-o regiune limitată care înconjoară firul central și în care apar electroni și ioni pozitivi. În timp ce electronii sunt colectați, ionii pozitivi, având o mobilitate mult mai mică, vor forma o sarcină spațială în jurul anodului care va determina scăderea câmpului electric. Pentru o anumită densitate de ioni pozitivi, câmpul electric din jurul anodului devine mai mic decât pragul necesar multiplicării în gaz și astfel se termină descărcarea Geiger-Müller. Se observă că pentru o anumită tensiune aplicată pe contor, fiecare descărcare se va încheia după apariția aceleiași densități de ioni pozitivi și astfel toate pulsurile vor avea practic aceeași amplitudine, independentă de ionizarea primară, deci de energia radiației incidente. Contorul Geiger-Müller este ne selectiv, poate servi numai pentru numărarea particulelor. El are în schimb sensibilitate mare, este suficient să apară un electron în interiorul său pentru ca acesta să declanșeze descărcarea în avalanșă.

După colectarea electronilor, ionii pozitivi deplasându-se lent, ajung la catod. Aici se neutralizează cu electroni zmuși din catod, procesul fiind însoțit de eliberarea unei cantități de energie. Când această energie depășește lucrul de extracție al catodului, poate fi eliberat un electron care va genera o nouă descărcare Geiger-Müller. Procesul se poate repeta, și la ieșirea contorului apar noi pulsuri de tensiune. În acest timp contorul nu mai este sensibil la radiații. Este deci necesar ca descărcarea să fie stinsă.

Extincția se poate realiza în două moduri:

- a) prin metode externe, cu ajutorul unui circuit de stingere;
- b) prin metode interne (autoextincție).

Prima variantă se poate realiza alegând, de exemplu, rezistența R (fig. 1) suficient de mare ($10^8 - 10^9 \Omega$) astfel încât, după apariția unui puls, tensiunea aplicată contorului scade sub valoarea necesară întreținerii descărcării. Metoda are dezavantajul că se mărește astfel constanta de timp a circuitului de colectare și deci, contorul va fi blocat un timp mai lung. De aceea, se folosește și cea de a doua metodă -autoextincția. La gazul nobil cu care este umplut contorul se adaugă un procent mic de "gaz de stingere", gaz care are potențialul de ionizare mai mic decât gazul nobil și energia de disociere mică. Astfel, sarcinile ionilor pozitivi se redistribuie, trecând mai ales la moleculele gazului de stingere. Ionii pozitivi se vor neutraliza, de asemenea, la catod, dar energia eliberată va fi cheltuită preferențial pentru disocierea moleculelor gazului de stingere fără eliberare de electroni care să întrețină descărcarea în gaz. Drept gaze de stingere pot fi folosiți anumiți vapori organici (alcool etilic, formiat de etil) sau halogeni. Existența unui număr finit de molecule ale gazului de stingere limitează viața contorului la un anumit număr de ore de funcționare, sau mai exact, de pulsuri înregistrate.

Timpul mort al contorului

Din cele spuse mai sus în legătură cu descărcarea în avalanșă, rezultă că un anumit timp după inițierea unei avalanșe contorul este insensibil la alte particule care pătrund în interiorul său. După întreruperea unei descărcări, ionii pozitivi se deplasează spre catod și câmpul electric crește, atingând la un anumit moment valoarea necesară declanșării unei noi descărcări, deci, contorul este din nou sensibil la radiații.

Timpul scurs de la începutul unei avalanșe până în momentul când se poate declanșa următoarea, se numește timpul mort al contorului, τ_m . Particulele care intră în contor la intervale de timp mai mici decât τ_m nu pot fi înregistrate separat.

În figura 4 este reprezentată variația în timp a tensiunii pe colector, deci succesiunea pulsurilor la bornele contorului. Se observă că pulsurile apar din nou după $t \geq \tau_m$ dar au la început amplitudine mică, aceasta crescând treptat și ajungând la valoarea normală după un timp τ_r (timp de revenire).

Caracteristica de lucru a contorului Geiger-Müller

Această caracteristică reprezintă variația numărului de pulsuri, R , înregistrate în unitatea de timp în funcție de tensiunea V aplicată pe contorul plasat într-un câmp de radiații de intensitate constantă (figura 5).

Un contor Geiger-Müller începe să funcționeze la o anumită tensiune V_p - pragul de aprindere. La început pulsurile au amplitudine mică, în general sub pragul de sensibilitate al instalației de numărare care corespunde tensiunii V_{pn} .

După tensiunea V_1 toate pulsurile vor avea amplitudinea suficient de mare pentru a fi detectate iar caracteristica va avea un palier până la V_2 . Mărinș și mai mult tensiunea aplicată, viteza de numărare crește vertiginos și contorul intră în regim de descărcare disruptivă.

Palierul va avea în general o pantă finită, p , care se calculează după formula (2) și se exprimă în % per 100 V:

$$p = 100 \cdot \frac{R_2 - R_1}{R} \cdot \frac{100}{V_2 - V_1} \quad (2) \quad \text{cu} \quad R = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

Lungimea și panta palierului caracterizează calitatea unui contor Geiger-Müller. Un contor bun va avea o pantă sub 5% per 100 V, dar este acceptabilă și o pantă de 10%. În funcție de gazul de umplere, lungimea palierului va fi de 150 - 250 V. Spre sfârșitul vieții contorului palierul se scurtează (V_2 se apropie de V_1), iar panta va crește.

Tensiunea de lucru V_0 , a unui contor Geiger-Müller, se alege pe palier pentru ca măsurătorile să nu fie practic influențate de eventualele fluctuații ale tensiunii de alimentare. Pentru ca acest punct să rămână pe palier și spre sfârșitul vieții contorului, V_0 se alege de obicei la o treime de la începutul palierului.

Dispozitivul experimental

Alimentarea contorului se face de la o sursă de înaltă tensiune (SIT) reglabilă în trepte, iar pulsurile sunt înregistrate cu un numărător electronic sau vizualizate la osciloscop. Schema bloc a montajului este prezentată în figura 6. Contorul este introdus într-o protecție din cărămizi de Pb, iar în apropierea sa se plasează o sursă de radiații γ .

Modul de lucru - Ridicarea caracteristicii de numărare, $R = f(V)$.

Pentru fiecare valoare a tensiunii aplicate pe contor se va determina numărul de pulsuri N înregistrate de numărător în timpul t .

Viteza de numărare R , va fi:

$$R = \frac{N}{t} \quad (3)$$

cu abaterea standard

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{R}{t}} \quad (4)$$

și eroarea relativă:

$$\varepsilon_R = \frac{\sigma_R}{R} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Pentru ridicarea caracteristicii de numărare se procedează astfel:

- se pornește numărătorul, fixând timpul de lucru pe poziția ∞ (funcționarea numărătorului este prezentată în anexa A_2);
- mărinđ tensiunea aplicată contorului din 20 în 20 V, se caută pragul V_{pn} de la care numărătorul începe să înregistreze primele impulsuri; valoarea mai exactă V_{pn} se poate găsi variind tensiunea din 3 în 3 V;
- după determinarea pragului V_{pn} se mărește tensiunea cu 20 40 V și se face astfel o măsurătoare a vitezei de numărare R (s-a ajuns la palier);
- din relațiile (3) și (5) se determină timpul de măsură astfel încât în condițiile din laborator eroarea relativă să fie sub 5%;
- se revine la valoarea V_{pn} și se fac 3- 4 măsurători variind tensiunea din 3 în 3 V, apoi se va merge din 20 în 20 V.

Atenție! Când R crește brusc (aproximativ 30% față de măsurătoarea precedentă) înseamnă că s-a depășit limita superioară a palierului și este necesar să se reducă imediat tensiunea pentru a se evita distrugerea contorului!

Se reprezintă grafic $R = f(V)$, indicând la fiecare punct și eroarea σ_R . Din grafic se determină:

- lungimea palierului;
- panta;
- tensiunea optimă de lucru V_0 .

Se vizualizează pulsurile pe osciloscop și se modifică tensiunea aplicată pe contor căutând tensiunea de aprindere V_p la care contorul începe să funcționeze și pe ecranul osciloscopului apar primele pulsuri, de amplitudine ΔV foarte mică.