

Budowa Licznika Geigera-Müllera oraz jego zastosowanie w pomiarach promieniowania jonizującego

Cel ćwiczenia: Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania i budowy licznika Geigera-Müllera oraz nabycie praktycznych umiejętności prowadzenia pomiarów promieniowania jonizującego. W szczególności: samodzielna budowa zestawu z licznikiem Geigera-Müllera, pomiary źródeł promieniotwórczych na zmontowanym zestawie, nabycie umiejętności pracy na gotowym zestawie Geigera – Mullera firmy Spectrum Techniques, doświadczalne sprawdzenie właściwości różnych rodzajów promieniowania jonizującego, wyznaczenie czasu martwego detektora.

Zagadnienia do przygotowania:

- Podstawowe rozpady promieniotwórcze
- Właściwości fizyczne promieniowania jonizującego (alfa, beta, gamma)
- Zasada działania licznika GM.

Wstęp teoretyczny:

Detekcja promieniowania możliwa jest dzięki oddziaływaniu promieniowania z materią. Działanie detektorów promieniowania jonizującego oparte jest o następujące zjawiska:

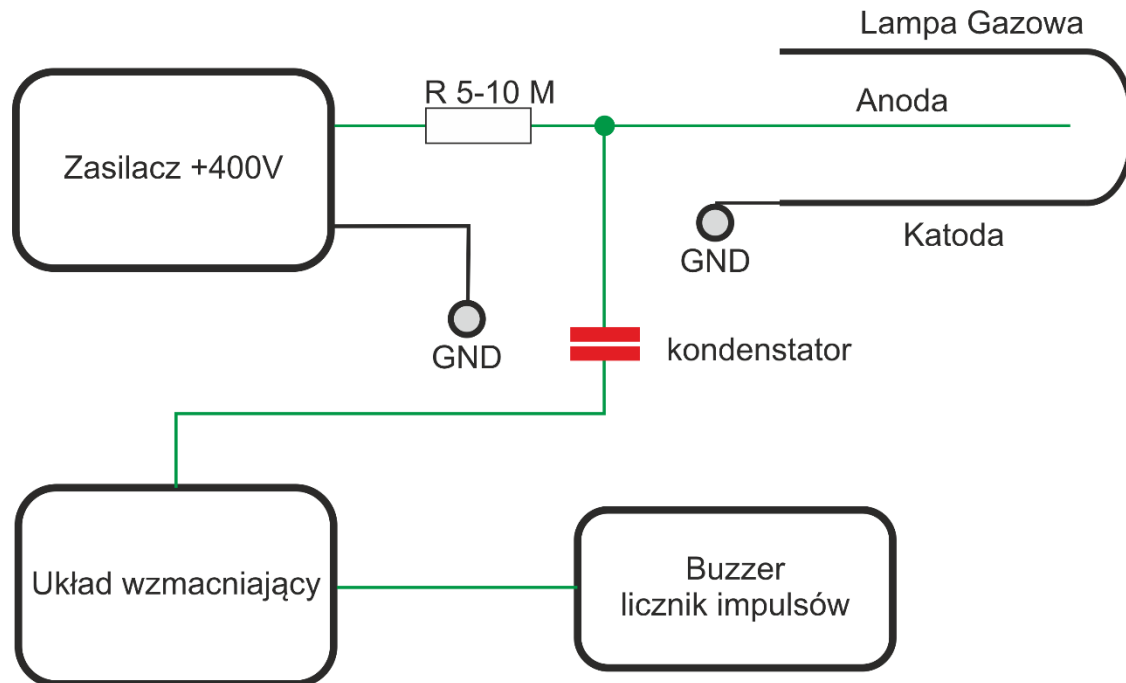
- jonizacja gazów,
- jonizacja cieczy i ciał stałych,
- luminescencja,
- przemiany chemiczne spowodowane promieniowaniem.

W związku z tym detektory dzieli się na: gazowe, scyntylicyjne i półprzewodnikowe. Najstarszymi i zarówno najprostszymi w budowie są liczniki Geigera Müllera, należące do detektorów gazowych. Nazwa ich wywodzi się od rodzaju ośrodka, w którym następuje jonizacja atomów. Głównym elementem detektora G-M jest lampa gazowa, wypełniona najczęściej argonem (z 10% dodatkiem tzw. czynnika gaszącego np. alkoholu lub związków chloru). Komora detektora ma kształt przeważnie walca, gdzie katodę stanowi obudowa, a anodę odizolowany od obudowy metalowy drut (np. wolframowy), przebiegający przez jej środek. Układ komory detektora jest podłączony przez opornik o dużej rezystancji do źródła wysokiego napięcia. Promieniowanie jonizujące wpadając do licznika powoduje jonizację atomów argonu, który wypełnia przestrzeń między elektrodą. W wyniku jonizacji powstają kationy Ar^+ i elektrony poruszające się szybko w stronę anody. Wzbudzone atomy gazu zaczynają także emitować promieniowanie ultrafioletowe. Napięcie między elektrodami przyspiesza wytworzone cząstki do dużych prędkości, czego wynikiem jest wtórna jonizacja. Dodatkowo fotony promieniowania UV zderzając się z katodą również powodują wtórną jonizację w wyniku zajścia zjawiska fotoelektrycznego. Proces ten ma charakter lawinowy, powodując zjonizowanie całej objętości gazu w detektorze. Na skutek wyładowania lawinowego zaczyna płynąć prąd jonowy pomiędzy anodą i katodą lampy gazowej, co objawia się chwilowym spadkiem napięcia na obwodzie detektora i zliczane jest jako impuls. Jednak żeby kolejna cząstka promieniowania jonizującego została zliczona, układ musi wrócić do stanu sprzed wyładowania. Żeby tak się stało w układach stosuje się następujące elementy: opornik (5-10 M Ω) oraz dodatek czynnika gaszącego do lampy gazowej. Opornik zmniejsza natężenie prądu, a zatem spowalnia proces odpływania

jonów z detektora do przewodów elektrycznych. Dlatego ładunek pozostały na elektrodzie chwilowo redukuje jej potencjał elektryczny. Natomiast dodatek cząstek wieloatomowych, pochłanianie promieniowanie ultrafioletowe i zatrzymuje wybijanie z katody kolejnych elektronów. Czas potrzebny na wygaszenie lawinowego wyładowania i przywrócenie zdolności detekcji dla kolejnej cząstki promieniowania nosi nazwę czasu martwego.

Raz zapoczątkowane zjawisko lawinowej jonizacji, powoduje powstanie impulsów napięciowych i przebiega niezależnie od rodzaju promieniowania, a więc ilości jonów (amplitudy prądu) w obwodzie.

Ogólny schemat budowy licznika GM pokazano na rysunku 1.



Rysunek 1 Ogólny schemat budowy licznika GM

W wykonywanym na zajęciach liczniku GM, jako układ wzmacniający wykorzystano układ Darlingtona. Stanowi on dwa odpowiednio połączone tranzystory bipolarne. Układ ten dokonuje wielokrotnego wzmocnienia sygnału oraz odwrócenie jego fazy. W uproszczeniu oznacza to sygnał o wyższej amplitudzie i zmianę sygnału w postaci spadku napięcia na impuls napięciowy.

Natomiast jako licznik impulsów zostanie wykorzystany mikroprocesor Arduino UNO, zaprogramowany do zaplanowanego wykorzystania.

Ćwiczenie 1 – zestaw licznika do samodzielnego montażu

I. Budowa zestawu licznika GM.

1. Upewnij się, że zestaw licznika GM do samodzielnego montażu jest odłączony od zasilania.
2. Za pomocą konektorów sporządź układ według wytycznych otrzymanych od prowadzącego oraz korzystając ze schematów układu, dostępnych w załączniku 1.
3. Przed podłączeniem sporządzonego układu do napięcia elektrycznego, bezwzględnie poinformuj prowadzącego o skończeniu. Prowadzący po sprawdzeniu połączeń zezwoli na uruchomienie licznika.
4. Podłącz licznik do napięcia za pomocą wtyczki zasilacza oraz przełącznik ustaw na „on”.
5. Wykonaj kilka testowych pomiarów, w celu zapoznania się z obsługą zestawu. Postępuj według opisanych poniżej zasad.

Zasada obsługi licznika:

Po włączeniu zasilacza do układu, podawane jest napięcie stałoprądowe 5V. Powinno się to objawiać uruchomieniem mikroprocesora układu Arduino (zapalenie diody LED w układzie) oraz uruchomieniem wyświetlacza LED. Na wyświetlaczu pojawi się napis „COUNT: 0”. Oznacza to, że układ został uruchomiony poprawnie, jeszcze nie powinien zliczać żadnych impulsów.

Rozpoczęcie pracy z licznikiem wymaga podania wysokiego napięcia na tubę GM, w tym celu należy uruchomić przetwornicę wysokiego napięcia. Przetwornicę uruchamia się za pomocą przełącznika „HV”, ustawiając go z pozycji „0” w pozycję „1”. Po przełączeniu powinien uruchomić się pierwszy cykl pomiaru. Będzie to widoczne na wyświetlaczu, który zacznie zliczać impulsy. Również buzzer będzie w sposób dźwiękowy przetwarzać sygnał powstały na lampie gazowej.

Sterowanie czasem działania detektora opiera się na przekaźniku czasowym. Przekaźnik podaje napięcie na przetwornicę wysokiego napięcia, która dokonuje zmiany napięcia z podawanych 5V na 400V, które zasila lampę gazową. Dlatego czas działania przekaźnika, jest równy czasowi pomiaru i ustawiany jest w następujący sposób:

1. Przytrzymaj przycisk SET przez 5 sekund
2. Krótkim przyciśnięciem przycisku SET przejdź do ustawienia wybranego trybu (bazowo wybranym trybem, czego nie powinno się zmieniać jest „P 1.4”)
3. Przyciskami UP/DOWN ustaw czas trwania pomiaru.
4. Przyciskiem STOP wybierz tryb odliczania: w dziesiątych sekundach, sekundach lub minutach (zależne od ilości kropek na wyświetlaczu) X X X. – odliczanie w sekundach X X.X – odliczanie z dokładnością do dziesiątych części sekundy X.X.X. – odliczanie w minutach
5. Aby zaakceptować dany program z ustawieniami należy przytrzymać przycisk SET przez 5 sekund.

Aby rozpocząć pomiar należy użyć przycisku „START”. Po każdym pomiarze spisz wartość liczby zliczeń z wyświetlacza. Wartość sumarycznej liczby impulsów zliczonej przez detektor należy wyzerować po każdym pomiarze. W tym celu użyj przycisku „RESET”, wyświetlacz powinien ponownie wskazywać wartość „COUNT: 0”.

II. Pomiar naturalnego tła promieniotwórczego.

1. Wykonaj 10 pomiarów po 100 sek tła promieniotwórczego detektora (bez żadnego źródła)

Opracowanie wyników:

Oblicz wartość średnią i niepewność pomiarów (odchylenie standardowe).

Dokonaj obliczenia aktywności tła promieniotwórczego w CPS (zaliczeniach na sekundę) z uwzględnieniem obliczonej wcześniej niepewności.

$$CPS = \frac{\text{liczba zliczeń tła}}{\text{czas pomiaru}}$$

III. Wyznaczenie czasu martwego licznika G-M

1. Wykonaj 4 zliczenia po 100 sek, dla otrzymanego od prowadzącego źródła promieniotwórczego nr. 1.
2. Wykonaj 4 zliczenia po 100 sek, dla otrzymanego od prowadzącego źródła promieniotwórczego nr. 2.
3. Wykonaj 4 zliczenia po 100 sek, dla otrzymanych od prowadzącego źródeł (pomiar wspólny).

Opracowanie wyników:

Ćwiczenie polega na pomiarze liczby zaliczeń dwóch źródeł niezależnie oraz wspólnego pomiaru obu źródeł. Większa częstość zaliczeń od dwóch źródeł jednocześnie, zwiększa prawdopodobieństwo gubienia impulsów spowodowane czasem martwym. Czas martwy T można w przybliżeniu policzyć ze wzoru:

$$T = \frac{n_1 + n_2 - n_{12}}{2n_1n_2}$$

Gdzie:

n_1 – częstość zliczeń (CPS) otrzymana w trakcie pomiaru źródła 1, pomniejszona o CPS tła.

n_2 – częstość zliczeń (CPS) otrzymana w trakcie pomiaru źródła 2, pomniejszona o CPS tła.

n_{12} – częstość zliczeń (CPS) otrzymana w trakcie pomiaru źródła 1 i 2, pomniejszona o CPS tła.

IV. Wyłączenie i rozmontowanie licznika GM

Dalsza część ćwiczeń zostanie wykonana na zestawie GM firmy spectrum Techniques, dlatego przygotowane zestawy proszę rozmontować. W pierwszej kolejności należy wyłączyć przetwornicę HV (HV na „0”), kolejno odłączyć przewód zasilający z gniazdka. Następnie odpiąć wszystkie konektory i odłożyć obok zestawu.

Ćwiczenie 2 – Spectrum Techniques Nuclear Lab System

I. Wpływ odległości detektor-źródło na liczbę zliczeń

Promieniowanie α

1. Zmierzyć 3-krotnie tło pomiarowe w czasie 60 s.
2. Na pierwszej półce umieścić źródło alfa promieniotwórcze i wykonać 3-krotny pomiar liczby zliczeń w czasie 60 s.
3. Przenieść źródło na drugą półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60 s.
4. Przenieść źródło na trzecią półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60 s.

Promieniowanie β

1. Na drugiej półce umieścić źródło beta promieniotwórcze i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60 s.
2. Przenieść źródło na czwartą półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60s.
3. Przenieść źródło na szóstą półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60s.
4. Przenieść źródło na ósmą półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60s.

Promieniowanie γ

1. Na drugiej półce umieścić źródło gamma promieniotwórcze i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60 s.
2. Przenieść źródło na czwartą półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60s.
3. Przenieść źródło na szóstą półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60s.
4. Przenieść źródło na ósmą półkę i wykonać 3-krotny pomiar w czasie 60s.

Opracowanie wyników:

Omówić wpływ odległości detektor źródło na liczbę zarejestrowanych zliczeń. Dla źródeł beta i gamma promieniotwórczych narysować wykres $CPS=f(x)$ i zinterpretować wyniki.

II. Właściwości promieniowania alfa, beta i gamma. Absorpcja promieniowania jonizującego

1. Zmierzyć 3-krotnie tło pomiarowe w czasie 60 s.
2. Na pierwszej półce umieścić źródło alfa promieniotwórcze i wykonać pomiar liczby zliczeń w czasie 60 s.
3. Położyć na źródle kartkę papieru i wykonać pomiar liczby zliczeń w czasie 60 s.
4. Na drugiej półce umieścić źródło beta promieniotwórcze i wykonać pomiar liczby zliczeń w czasie 60 s.
5. Na pierwszej półce umieścić materiał absorbujący i wykonać pomiar liczby zliczeń w czasie 60 s.

6. Na drugiej półce umieścić źródło gamma promieniotwórcze i wykonać pomiar liczby zliczeń w czasie 60 s.

7. Na pierwszej półce umieścić materiał absorbujący i wykonać pomiar liczby zliczeń w czasie 60 s.

Załącznik 1.

