

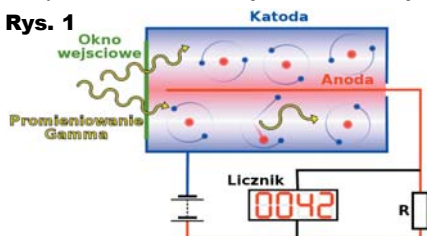
Dozymetr analogowy – kolejny licznik G-M

Lampy elektronowe kojarzą się z XX wiekiem, tymczasem w kilku dziedzinach skutecznie bronią się przed krzemową rewolucją. Jedną z nich są detektory promieniowania jonizującego. I właśnie opisany przyrząd służy do pomiaru promieniowania jonizującego – promieniowania o dużej energii.

Opis układu

Rurka widoczna na dole **fotografii 1** jest najprawdziwszą lampą, świadczy o tym chociażby napięcie anodowe wynoszące kilkaset woltów. Detektor promieniowania, zwany licznikiem Geigera-Müllera (od nazwisk wynalazców), swoją budową przypomina neonówkę zasiloną napięciem bliskim napięcia zapłonu. Pochodzący z Wikipedii **rysunek 1** pomoże wyjaśnić zasadę działania. Odpowiednio spolaryzowana i zasilona napięciem rzędu 400V lampa znajduje się w stanie równowagi. Wtedy przez ściankę boczną wykonaną z przewodzącego materiału dostaje się kwant promieniowania. (Umyślnie mówimy o kwancie promieniowania, gdyż ten typ lampy może wykrywać wysokoenergetyczne cząstki beta oraz promieniowanie gamma). Jak widać na rysunku 1, kwant promieniowania zaburza stan równowagi. Dochodzi do jonizacji gazu wypełniającego lampę, w wyniku czego pojawia się przepływ prądu. W przeciwieństwie do neonówki nie dochodzi jednak do wyładowania lawinowego. Zapewnia to składnik gazu, który przeciwdziała rozwijaniu się dalszych wyładowań. Po chwili (zwanej czasem martwym lampy) przepływ prądu ustaje, a gaz wraca do stanu równowagi. Lampa jest gotowa do kolejnej detekcji. Celem elektroniki współpracującej z licznikiem G-M jest zapewnienie wysokiego napięcia oraz zliczanie impulsów generowanych przez lampę. Wśród wielu publikowanych dozymetrów dominuje konstrukcja,

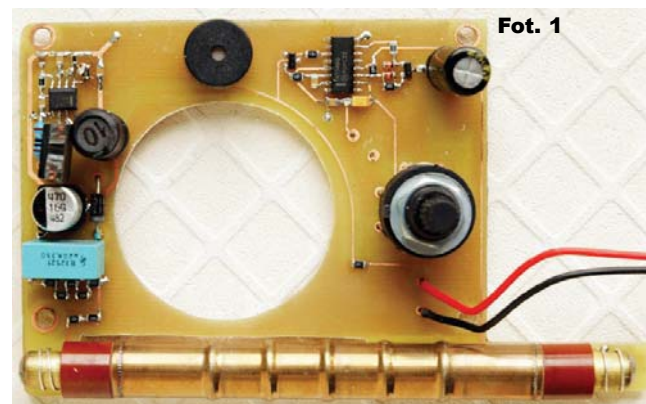
Rys. 1



gdzie za zliczanie impulsów odpowiedzialny jest mikroprocesor. Tymczasem (podobno) przy silnym promieniowaniu pamięć FLASH ulega rozprogramowaniu. Prezentowany licznik jest konstrukcją analogową i funkcjonalnością nawiązuje do wojskowych dozymetrów z serii DP60–75, z tą różnicą, że jest przystosowany do pomiaru tzw. radiacji tła oraz słabych źródeł promieniowania.

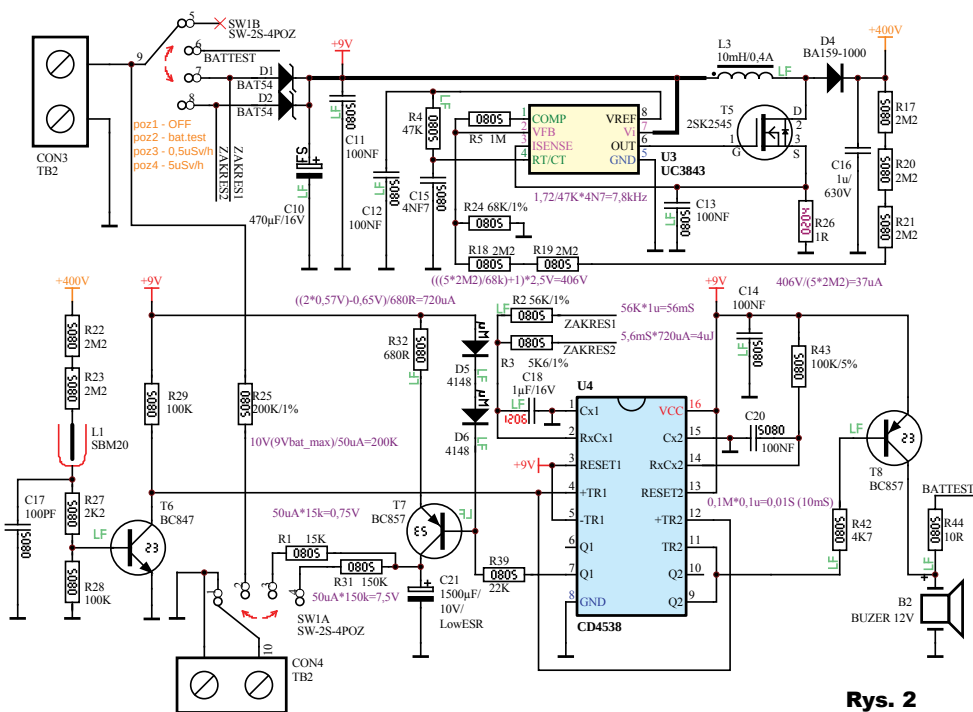
Tabela zawiera najważniejsze parametry zastosowanego detektora SBM20 spotykającego także pod oznaczeniem STS-5 (CTC-5). Detektor ten charakteryzuje się czułością na szeroki zakres promieniowania beta oraz gamma. Dla porównania miniaturowa lampa DOI80 wykrywa betę o znacznie większej energii i nie wykryjemy przy jej pomocy niektórych izotopów, na które zareaguje SBM20.

	Zalecane napięcie pracy [V]	Plateau [V]	Rezystor anody [M]	Typ promieniowania	Czułość [CPM/1uSV/h]
DOI-80	490	100		beta>500keV, gamma	60(Co60)
SBM-20	400	100	5,1	beta>54keV, gamma	132(Co60) 175(Ra226)
STS-5	390	100	5 do 10	beta, gamma	jw.



Fot. 1

Czułość detektora w pewnym stopniu zależy od źródła promieniowania i tak izotop kobaltu (Co60) da nieco mniej detekcji w porównaniu z izotopem radu (Ra226), dlatego można uśrednić i przyjąć, że detektor SBM20 generuje około 150 impulsów na minutę przy 1uSV/h. Opisany dozymetr ma dwa zakresy. Pierwszy z nich, do 0,5uSV/h, pozwala na detekcję promieniowania tła. Ponieważ aktywność promieniotwórczą wykazują prawie wszystkie materiały, szczególnie budowlane, np. granit, zakres ten umożliwia przebadanie naszego otoczenia. Drugi zakres, do 5uSV/h, pozwala na sprawdzenie popularnych (słabych) źródeł promieniowania, jak tarcze zegarów pokrytych farbą radową, koszułek Auera do lamp gazowych, itp. Do prezentacji wyników wybrany został mikroamperomierz pochodzący z oferty sklepu AVT. Opisany dozymetr ma zasilanie bateryjne, wybrany więc został instrument potrzebujący 50uA do pełnego wychylenia. Ta wartość prądu odgrywa kluczową rolę przy kalkulacji wszystkich zakresów, a podstawą do obliczeń będzie czułość lampy wyrażona w CPM. Wiemy, że przy 1uSV/h otrzymamy 150 impulsów w ciągu minuty, zatem przy zakresie 5uSV/h tych impulsów powinno być 750. Wychylenie wskazówki do końca skali przez jedną energię wymaga dostarczenia 3mJ energii (50uA*60s) zatem każdy z 750 impulsów powinien dostarczyć porcję energii równą 4uJ (3mJ/750). Do odmierzania porcji energii należy wykorzystać układ czasowy aby uniezależnić się od długości impulsu generowanego przez detektor. Mechanizm elektromagnetyczny mikroamperomierza ma właściwości uśredniające, ale nie na tyle długie, aby dać minutowe uśrednianie. Dlatego porcje energii przechowywane są w kondensatorze. Znając energię pracy wskazówki i napięcie zasilania, można wyliczyć minimalną pojemność kondensatora uśredniającego: $E = (C \cdot U^2) / 2$. Kondensator ten jest cały czas rozładowywany przez mikroamperomierz, a w krótkich chwilach doładowywany przez źródło prądowe. Jeśli pojemność kondensatora uśredniającego będzie zbyt mała, każdy zarejestrowany impuls wywoła nieprzyjemny skok wskazań. Natomiast zbyt duża pojemność kondensatora uśredniającego wydłuży stabilizację wskazań. Postępując według powyższego schematu, z łatwością możemy obliczyć elementy dla drugiego zakresu 0,5uSV/h. W tym przypadku 75 impulsów na minutę musi „utrzymać” wskazówkę w pełnym wychyleniu. Należy więc 10-krotnie wydłużyć czas trwania impulsu w układzie czasowym lub 10-krotnie zwiększyć prąd ładujący kon-



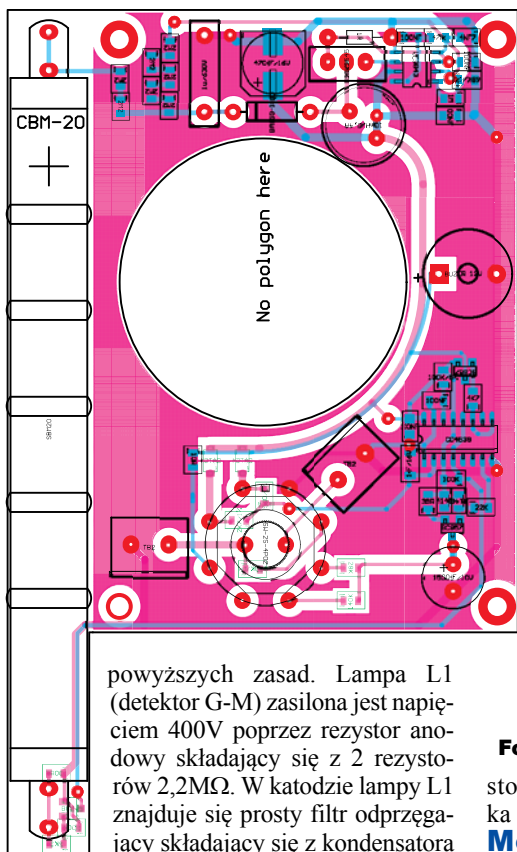
Rys. 2

densator uśredniający. Dla pokrywania się wskazań przy przejściu pomiędzy zakresami górnym i dolnym ważne jest zachowanie 10-krotnej proporcji pomiędzy rezystorami, z których zasilany jest mikroamperomierz z kondensatora uśredniającego. Pracą urządzenia steruje 4-pozycyjny przełącznik. W pierwszej pozycji – wyłączenia, przełącznik zakresów zwiiera do masy wyprowadzenia mikroamperomierza, w efekcie czego przez hamowanie elektrodynamiczne minimalizuje wychylenie wskazówki podczas transportu. Następną po włączeniu miernika pozycją jest test baterii i buzzera (licznik nawiązuje tym do dozymetrów serii DP). Funkcja ta mogłaby wydawać się zbędna, ale pozwala na błyskawiczne sprawdzenie stanu gotowości urządzenia. W tej pozycji przełącznika zakresów, po podłączeniu rezystancji szeregowej 200kΩ, mikroamperomierz staje się woltomierzem o zakresie 10V, mierzącym napięcie baterii, a buzzer stanowi obciążenie dla baterii. Kolejne pozycje przełącznika to zakresy pomiarowe 0,5 i 5uSV/h. Po wybraniu jednego z nich uruchamiana jest przetwornica W.N. oraz obwód zliczania impulsów.

W obwodzie wytwarzania W.N. pracuje układ UC3843 w konfiguracji typowej przetwornicy podwyższającej (step-up). Wybór układu nie był przypadkowy, ma on kilka przydatnych funkcji. Układ UC3843 rozpoczyna pracę od napięcia 8,4V i podtrzymuje ją do 7,6V. W ten sposób otrzymujemy zabezpieczenie przed nadmiernym rozładowaniem baterii. Układ umożliwia uzyskanie

wypełnienia blisko 100%, co jest ważne przy „podbijaniu” 9V do 400V (czas rozładowania jest znikomo krótki w stosunku do czasu „ładowania cewki”, jak proporcja napięcia wejściowego do wyjściowego). Zaimplementowanie dwóch pętli kontrolnych pozwala na łagodny start przetwornicy. W pierwszej chwili gdy kondensator wyjściowy jest pusty, przetwornica mocno obciążając baterię, mogłaby wywołać na tyle duży spadek napięcia baterii, że nastąpiłoby wyłączenie się układu. Dzięki pętli sprzężenia prądowego poprzez dobór rezystancji w drenie tranzystora wg wzoru: $R = 1V / I_{max}$, można prąd rozruchowy ograniczyć do wartości bezpiecznej zarówno dla tranzystora, jak i zastosowanego dławika. Pętla sprzężenia napięciowego składająca się z pięciu rezystorów 2,2MΩ umożliwia kontrolę napięcia w czasie normalnej pracy. Duża wartość rezystancji w pętli sprzężenia napięciowego minimalizuje straty własne przetwornicy i powinna być rozłożona na kilka elementów, gdyż typowa wytrzymałość napięciowa rezystorów SMD to ledwo 100V. Zarówno tranzystor wykonawczy, jak i dioda zastosowana w przetwornicy, muszą być elementami wysokonapięciowymi i szybkimi. Próby pokazały, że po wstawieniu tranzystora IGBT napięcie wyjściowe dochodziło jedynie do 70V, a to ze względu na niezbyt dużą szybkość wyłączania się tego tranzystora.

Na rysunku 2 widzimy schemat analogowego dozymetru zrealizowanego wg



Rys. 3

powyższych zasad. Lampa L1 (detektor G-M) zasilona jest napięciem 400V poprzez rezystor anodowy składający się z 2 rezystorów 2,2M Ω . W katodzie lampy L1 znajduje się prosty filtr odprężający składający się z kondensatora C17 i R27. Potem niewielki sygnał z lampy trafia na wzmacniacz, składający się z tranzystora T6 i R29, a stamtąd na wejścia układu przerzutnika CD4538. Sekcja „A” przerzutnika generuje wraz ze źródłem prądowym składającym się z D5, D6, T7, R32 porcję prądu ładującego kondensator uśredniający. Sekcja ta pracuje w trybie z przedłużeniem impulsu, co sprawia, że jeśli w trakcie ładowania kondensatora lampa dokona kolejnej detekcji, to porcja prądu także zostanie odpowiednio zwiększona. Sekcja „B” przerzutnika CD4538 służy do generowania charakterystycznego (znanego z filmów) terkotania. Każda detekcja lampy przekłada się na krótki (10ms) impuls z buzzera. Na rysunku 2 kondensator uśredniający C21 oznaczony jest jako LowESR. Okazało się bowiem, że kondensatory tego typu mają bardzo dobry dielektryk, dzięki czemu bezstratnie i długo przechowują zgromadzony ładunek.

W ten oto sposób uzyskaliśmy kolejną funkcję dozymetru – pamięć ostatniego pomiaru. Do przełączania zakresów pomiarowych oraz załączania dozymetru służy dwusekcyjny 4-pozycyjny przełącznik SW1. Aby uniknąć dalszej komplikacji układu dodane zostały diody D1 i D2, dzięki którym rozdzielono rezystory R2, R3 wyznaczające stałe czasowe dla zakresów i nie ma potrzeby

Fot. 2

stosowania przełącznika z trzema sekcjami.

Montaż i uruchomienie

Płytkę dozymetru, pokazaną na rysunku 3 i fotografii 2, zaprojektowana została do obudowy ABS-33. Ze względu na długość lampy SBM20 jest ona umieszczona przy lewej krawędzi, a płytka ma charakterystyczną wypustkę. Pusty obszar laminatu pod lampą można wyciąć, co poprawi detekcję promieniowania beta. Montaż płytki rozpoczynamy od elementów SMD. Elementy przewlekane należy przylutować możliwie blisko płytki, aby potem udało się zamknąć obudowę. Wyjątkiem jest przełącznik SW1, który „podnosimy” na wyprowadzeniach, ile się da. Pozwoli to na przykręcenie gałki bez konieczności przedłużania osi przełącznika. Obudowę należy przygotować według załą-



Rys. 4



Rys. 5

Wykaz elementów

R1	.....	15k Ω
R2	.....	56k Ω
R3	.....	5,6k Ω
R4	.....	47k Ω
R5	.....	1M Ω
R17 do R23	.....	2,2M Ω
R24	.....	68k Ω /1%
R25	.....	200k Ω /1%
R26	.....	1 Ω
R27	.....	2,2k Ω
R28, R29, R43	.....	100k Ω
R31	.....	150k Ω
R32	.....	680 Ω /1%
R39	.....	22k Ω
R42	.....	4,7k Ω
R44	.....	10 Ω
C10	.....	470u/16V
C11, C12, C13, C14, C20	.....	100n
C15	.....	4,7n
C16	.....	220n...1u/630V
C21	.....	470...1500uF/10V Low ESR
C17	.....	100p
C18	.....	1u/16V
L3	.....	10mH osiowy
SW1	.....	przełącznik 2 sekcje po 4 pozycje (sklep AVT)
D1, D2	.....	BAT54
D4	.....	BA159/1000
D5, D6	.....	1n4148
T5	.....	2SK2545
T6	.....	BC847
T7, T8	.....	BC857
U3	.....	UC3843
U4	.....	CD4538
B2	.....	buzzer 12V z generatorem
L1	.....	SBM20 (inne ozn. STS5, CTC5)
Obudowa	.....	ABS33(KM33)
Mikroamperomierz	.....	50uA (HopeSun - AVT)
Klipsy baterii	.....	9V
Gałka pokrętle ze znacznikiem	.....	na oś 6mm (sklep AVT)

czonego szablonu (dostępny w Elportalu wśród materiałów dodatkowych do tego numeru). Zawiera on rozmieszczenie otworów (rysunek 4), opis przedniej części obudowy oraz wkładkę do mikroamperomierza (rysunek 5). Nową skalę należy wydrukować na papierze samoprzylepnym i po delikatnym podważeniu i zdjęciu przedniej części obudowy mikroamperomierza wkleić na metalową płytkę skali.

Uruchomienie dozymetru rozpoczynamy bez lampy. Po dołączeniu zasilania 10V i wybraniu funkcji „bat-test” wskazówka powinna wychylić się do końca skali, a buzzer wydać ciągły dźwięk. Następnie sprawdzamy działanie przetwornicy W.N. Po wybraniu któregośkolwiek z zakresów pomiarowych należy zmierzyć napięcie na C16.



Fot. 3

Napięcie powinno wynosić nieco ponad 400V. Duża dokładność nie jest wymagana. Należy uważać na napięcie na C16, które utrzymuje się jeszcze przez

kilkadziesiąt sekund. Do tak uruchomionej płytki mocujemy lampę. Należy unikać jej lutowania. Końcówki lampy można włożyć w podkówki gniazda bezpiecznikowego lub wykonać obejmy ze srebrzanki. Kompletny dozymetr po włączeniu będzie mierzyć promieniowanie tła, które jak pokazuje **fotografia 3** wynosi od 0,1uSV/h do 0,4uSV/h. Natomiast **fotografia tytułowa** pokazuje pomiar aktywności koszulki Auera zawierającej śladowe ilości promieniotwórczego toru. Dla poprawienia czułości instrumentu na promieniowanie beta zalecane jest wycięcie okna pomiarowego, jak pokazuje **fotografia 4** i zastąpienie plastiku cieniutką folią (np. z ścianki blistra).

Podsumowanie: informacje zawarte w opisie dozymetru pozwalają zaledwie otrzeć się o niezwykle intrygującą dziedzinę, jaką jest dozymetria. Budowa miernika opartego na ogólnie dostępnych elementach pozwoli wzbogacić domo-



Fot. 4

we laboratorium o ciekawy przyrząd. Gdyby w kwietniu roku 1986 ktoś w okolicy był w posiadaniu podobnego instrumentu, nie szukalibyśmy na niebie „tej groźnej chmury”. W zasadzie to nikt wtedy nie wiedział, jakie jest zagrożenie, a podobno w niektórych miejscach w Polsce moc dawki promieniowania skoczyła do 10uSV/h! W materiałach dodatkowych znajduje się plik „Geiger_Tube_theory.pdf”. Ciekawa i obszerna publikacja dla wszystkich zainteresowanych, którzy chcieliby dokładniej poznać budowę licznika G-M czy znaczenia słów takich jak np. „plateau”.



Michał Stach

michal.stach@elportal.pl