

Adam WALANUS

Andrzej WYBRANIEC

Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej  
w Gliwicach

## STABILIZACJA WZMOCNIENIA GAZOWEGO LICZNIKA PROPORCJONALNEGO

Streszczenie. Opisano prosty układ elektroniczny, który korygując napięcie na liczniku proporcjonalnym utrzymuje stałą wartość wzmocnienia gazowego w liczniku, niezależnie od niewielkich zmian ciśnienia gazu roboczego lub jego czystości czy niestabilności zasilacza wysokiego napięcia. Układ stabilizatora wykorzystuje zmienność kształtu widma amplitudowego impulsów koincydencyjnych pochodzących od mionów promieniowania kosmicznego.

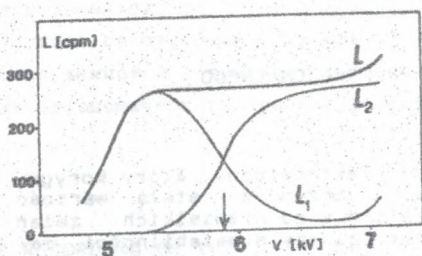
### 1. WZMOCNIENIE GAZOWE

Najważniejszym parametrem pracy licznika proporcjonalnego jest wzmocnienie gazowe. Wartość wzmocnienia gazowego powinna być stała nie tylko w czasie pomiaru jednej próbki, ale musi pozostać taka sama po wymianie gazu wypełniającego licznik. Wzmocnienie gazowe zależy od napięcia na liczniku, ciśnienia gazu roboczego i jego czystości oraz od stałych parametrów, takich jak: promień anody i promień katody czy rodzaj gazu roboczego. Stabilność wzmocnienia gazowego można osiągnąć stabilizując wysokie napięcie i ciśnienie gazu oraz zachowując czystość gazu na odpowiednio dobrym poziomie. Jest to najtrudniejszy sposób. Kłopotliwe w szczególności jest wypełnienie licznika do dokładnie zadanej wartości ciśnienia gazu. Niedokładności ciśnienia można jednak skompensować zmianą wysokiego napięcia. Również efekt niewielkich zanieczyszczeń może być skompensowany napięciem. Sprawa czystości gazu jest jednak bardziej złożona. Kwestia stabilizacji wzmocnienia gazowego sprowadza się więc do ustawienia po wypełnieniu licznika odpowiedniego napięcia i utrzymania jego wartości w czasie całego dwudobowego pomiaru.

Pierwsza rzecz polega na wykonaniu pewnych czynności o charakterze regulacji, druga jest związana ze stabilnością długookresową zasilacza wysokiego napięcia. Ręczna regulacja wstępna jest kłopotliwa, może ona być w zasadzie dowolnie dokładna, lecz zajmuje wtedy dużo czasu. Skończona stabilność zasilacza ogranicza w sposób widoczny stabilność wzmocnienia gazowego.

## 2. ŹRÓDŁO INFORMACJI O WZMOCNIENIU GAZOWYM

W liczniku proporcjonalnym, służącym do pomiaru niskich aktywności rejestruje się impulsy antykoincydencyjne pochodzące od próbki i od tła detektora oraz impulsy koincydencyjne od mionów promieniowania kosmicznego. Widmo energetyczne (energii straconej przez cząstkę w liczniku) mionów jest stałe. Tak więc stałość widma amplitudowego impulsów koincydencyjnych jest miarą stabilności wzmocnienia gazowego. Nie kontroluje się dokładnie kształtu widma, bada się jedynie proporcję liczb impulsów o amplitudach niższych i wyższych od pewnego progu dyskryminacji. Impulsy o amplitudach niższych od tego progu są oczywiście dyskryminowane jeszcze na "dolnym" poziomie dyskryminacji odcinającym szumy. Zasadę kontroli położenia widma amplitudowego na osi amplitud impulsów ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Charakterystyki szybkości zliczeń impulsów koincydencyjnych z uwzględnieniem podziału na kanały amplitudowe

$L$  - impulsy o amplitudach ponad 5 mV,  $L_1$  - impulsy o amplitudach z przedziału 5-200 mV,  $L_2$  - impulsy o amplitudach ponad 200 mV

$L$  - impulsy o amplitudach wyższych od dolnego progu, a niższych od górnego;  $L_1 + L_2 = L$ . Przecięcie się krzywych  $L_1$  i  $L_2$  oznacza równą ilość impulsów poniżej i powyżej górnego progu dyskryminacji. Górny próg dyskryminacji dobrany jest tak, by równość  $L_1 = L_2$  odpowiadała optymalnej wartości wzmocnienia gazowego. Regulacja wzmocnienia gazowego polega zatem na dobraniu takiej wartości wysokiego napięcia, aby  $L_1 = L_2$ .

## 3. WPŁYW LOSOWEGO CHARAKTERU PROCESU ZLICZANIA IMPULSÓW

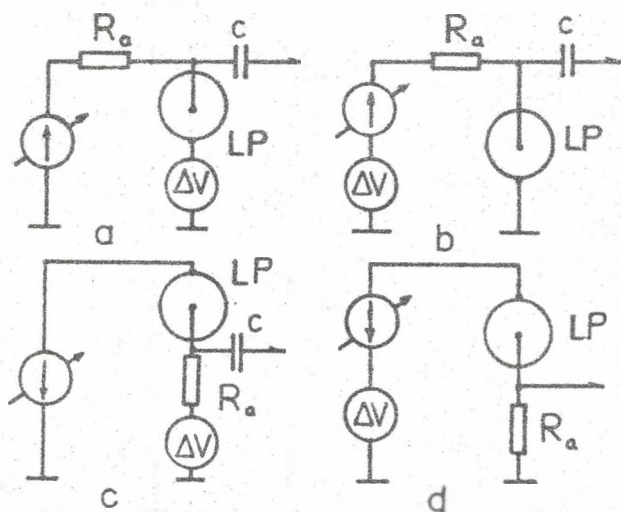
Po zarejestrowaniu  $N$  impulsów wiadomo, że oczekiwana (rzeczywista) ilość impulsów w tym procesie rejestracji wynosiła  $N \pm N^{1/2}$ . Rozrzut losowy opisywany jest tu przez rozkład normalny (dla  $N \geq 30$ ). Współczynnik wariacji (błąd względny) wynosi  $N^{-1/2}$ . Im większe  $L$  (im dłużej zliczać), tym mniejszy błąd. Szybkości zliczeń  $L$  w licznikach proporcjonalnych używanych w Gliwickim Laboratorium  $^{14}\text{C}$  wynoszą ok. 100 cpm, oznacza to, że osiągnięcie 1% dokładności w porównaniu  $L_1$  z  $L_2$  trwa 100 minut. Tak duża dokładność nie jest konieczna, z pomiarów kalibracyjnych wynika, że musi zachodzić nierówność  $L_2/L_1 - 1 < 0,1$ , jednak czas potrzebny na skontro-

lowanie tej nierówności nie jest zaniedbywalny w porównaniu z całkowitym czasem pomiaru. Losowe fluktuacje w procesie regulacji wzmacnienia gazowego muszą być brane pod uwagę.

Szerzy opis probabilistyczny poruszonego tu zagadnienia znajduje się w pracy A. Walanusa i M.F. Pazdura z 1979 roku.

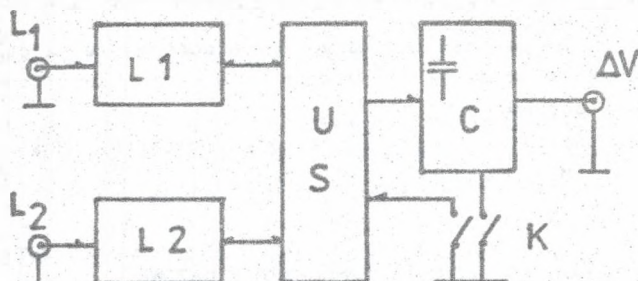
#### 4. ELEKTRONICZNY UKŁAD STABILIZUJĄCY WZMOCNIENIE GAZOWE

Wahania napięcia zasilającego licznik proporcjonalny od wypełnienia do wypełnienia nie przekraczają, jak pokazuje praktyka,  $\pm 200$  V. Jest to niewiele w porównaniu z wartością wysokiego napięcia wynoszącą ok. 6 kV. Można więc ująć kwestię w ten sposób, że do stałej wartości wysokiego napięcia (stałej z dokładnością do stabilności zasilacza) dodaje się pewną poprawkę napięcia  $\Delta V$ . Poprawka ta będzie zależała od stosunku  $L_2/L_1$ :  $\Delta V = 0$  dla  $L_2=L_1$ ,  $\Delta V > 0$  dla  $L_2 < L_1$  i  $\Delta V < 0$  dla  $L_2 > L_1$ . Napięcie poprawki może być wprowadzone w obwód zasilania licznika proporcjonalnego od strony anody lub katody. Możliwe konfiguracje włączenia stabilizatora przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Sposoby włączenia stabilizatora wzmacnienia gazowego w obwód zasilania licznika proporcjonalnego

Warianty b i d wymagają izolacji galwanicznej zasilaczy wysokiego napięcia, pozwalają za to uniknąć kłopotliwego wyprowadzenia drugiej elektrody licznika. Warianty a i c zapewniają korzystniejszą współpracę obwodów wyjściowych omówionego niżej stabilizatora z licznikiem proporcjonalnym.



Rys. 3. Schemat blokowy stabilizatora wzmożenia gazowego

Zasadniczymi elementami stabilizatora wzmożenia gazowego są dwa liczniki impulsów L1 i L2 o jednakowej pojemności oraz kondensator pamiętający C. Pracę liczników i napięciem kondensatora steruje układ sterujący US - rys. 3. Różnica szybkości napełnienia liczników L1 i L2 decyduje o zmianach napięcia na kondensatorze pamiętającym C. Napięcie to jest napięciem wyjściowym stabilizatora. Do momentu, kiedy liczniki L1 i L2 nie zostały napełnione, napięcie na kondensatorze pozostaje bez zmian. Z chwilą przepełnienia jednego z liczników kondensator zmienia swoje napięcie aż do momentu przepełnienia drugiego licznika. Trwa to tym krócej, im szybkości zliczeń impulsów w kanałach L<sub>1</sub> i L<sub>2</sub> mniej się różnią od siebie. W stanie równowagi układu czasy zmian napięcia kondensatora są bardzo krótkie i praktycznie napięcie wyjściowe stabilizatora pozostaje na stałym poziomie. Kierunek zmiany napięcia kompensuje ten skok. Decyduje o tym kolejność wypełnień liczników. Układ sterujący US zeruje liczniki L1 i L2 w momencie przepełnienia się drugiego licznika. Cykl stabilizacji powtarza się na nowo. Warunki początkowe wprowadza się w stabilizatorze rozładowując kondensator pamiętający i zerując liczniki, przy czym zerowanie wstępne nie jest konieczne.

Pojemność liczników L1 i L2 wynosi  $2^{11}$  impulsów. Została ona dobrana na zasadzie kompromisu pomiędzy dążeniem do skrócenia czasu trwania kroku regulacji a koniecznością uniknięcia nadmiernych fluktuacji losowych.

#### 4.1. Szczegółowy opis układu

Układ stabilizatora wzmożenia gazowego (rys. 4) jest zasilany z magistrali kasety CAMAC napięciem +6 V, pobiera ponadto stabilizowane napięcie fazowe 220 V za pomocą specjalnego bezpiecznego złącza zawierającego w sobie rezystor R<sub>4</sub>. Napięcie fazowe jest prostowane szczytowo przez diody D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>. W trakcie pracy stabilizatora kontaktron P<sub>1</sub> (P<sub>2</sub>) łączy naładowany do napięcia -311 V (311 V) kondensator C<sub>3</sub> (C<sub>2</sub>) z kondensatorem pamiętającym C<sub>1</sub>. Łączenie odbywa się poprzez rezystory R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> ograniczające szybkość zmian napięcia kondensatora C<sub>1</sub>. Sterowanie kontaktronów P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> odbywa się za pośrednictwem tranzystorów zabezpieczonych diodami. Niski stan bramki B5 powoduje zwarcie styków kontaktronu P<sub>1</sub>. Występuje wtedy, gdy na wyjściu licznika L1 - C3 panuje stan wysoki, a sąsiedni licz-

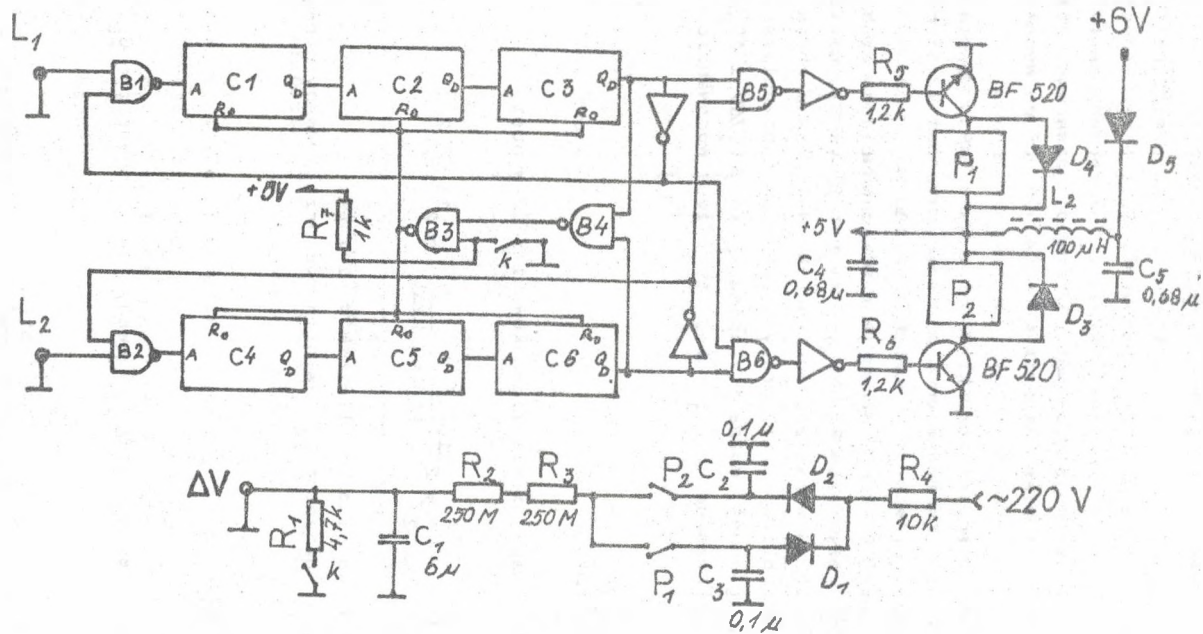


Рис. 4. Схемат идея стабилизатора усиления газowego

nik L2 - C6 jeszcze tego stanu nie osiągnął. Dalszy dopływ impulsów do licznika L1 - C1, C2, C3 jest blokowany bramką B1. Kiedy wyjście drugiego licznika L2 - C6 również osiągnie wysoki stan, wówczas bramka B4 zeruje wszystkie liczniki i cykl stabilizacji powtarza się. Ręczne zerowanie liczników możliwe jest w tym samym obwodzie za pomocą wejścia bramki B3. Równocześnie kondensator  $C_1$  rozładowywany jest przez rezystor  $R_1$ . Jeżeli szybkość zliczeń jest większa w kanale  $L_2$ , załączony jest kontaktron  $P_2$ . Działanie układu sterującego jest podobne do opisanego. Wtedy bramką sterującą jest B6, natomiast licznik L2 - C4, C5, C6 po wypełnieniu blokuje bramka B2.

Jako L1 i L2 pracują liczniki binarne typu 7493; US stanowią bramki 7400 (układy TTL). Kondensator pamiętający stanowi sześć równolegle połączonych kondensatorów poliestrowych  $1 \mu\text{F}/400 \text{ V}$ .

Stała czasowa  $(R_2 + R_3)C_1$  decyduje o właściwościach stabilizacyjnych układu. Wartość rezystorów  $R_2$  i  $R_3$ , przy ustalonym  $C_1$ , uzależniona jest od parametrów licznika w następujący sposób. Nachylenie charakterystyk  $L_1$  i  $L_2$  (rys. 1) w pobliżu punktu pracy ( $L_1 = L_2$ ) są w przybliżeniu równe co do wartości bezwzględnej, można je zapisać jako  $\Delta L_1/\Delta V$  i  $\Delta L_2/\Delta V (= -\Delta L_1/\Delta V)$ . Jeżeli  $L_1 = L_2$  i różnica  $L_2 - L_1 = \Delta L$ , to trzeba wprowadzić poprawkę napięcia równą:

$$\Delta V = \frac{\Delta L/2}{\Delta L_1/\Delta V}$$

Różnica czasów napełniania liczników L1 i L2 wynosi:

$$\Delta t = \frac{2^{11}}{L_1} - \frac{2^{11}}{L_2} = 2^{11} \left( \frac{2}{L - \Delta L} - \frac{2}{L + \Delta L} \right) \approx 2^{13} \Delta L / L^2,$$

gdzie  $2^{11}$  jest pojemnością liczników L1 i L2.

W tym czasie kondensator  $C_1$  powinien być przeładowany o napięcie  $\Delta V$ , skąd prąd ładowania

$$I = C \frac{\Delta V}{\Delta t}.$$

Ponieważ napięcie, z którego ładowany jest kondensator  $C_1$ , wynosi  $U = 311 \text{ V}$  to

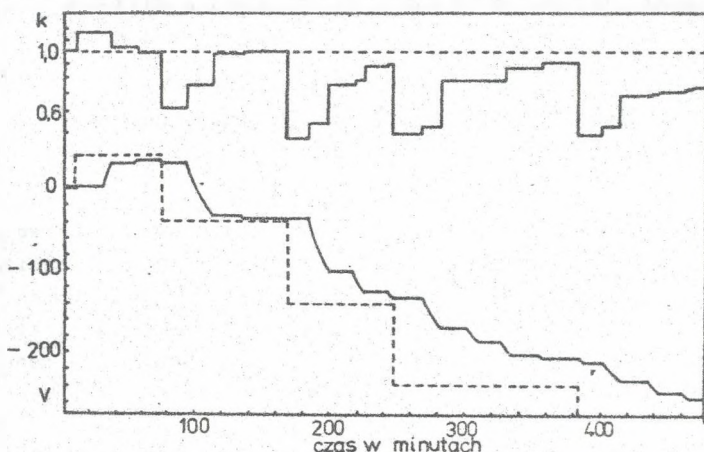
$$R_2 + R_3 = \frac{U}{I} = \frac{U \Delta t}{C \Delta V} = \frac{U}{C} \frac{2^{14} (\Delta L_1 / \Delta V)}{L^2} = 380 \text{ M}\Omega$$

W układzie stabilizatora rezystancja szeregowo ładowania została nieco skorygowana na podstawie obserwacji odpowiedzi układu na skok jednostkowy. Skorygowana wartość  $R_2 + R_3$  uwzględnia pewien margines zmian nachylenia

charakterystyki  $L_2$  (rys. 1). Korekcja rezystancji ładowania zwiększa wprowadzie ilość cykli stabilizatora potrzebnych do osiągnięcia równowagi, zmniejsza jednak wpływ fluktuacji ilości zliczeń  $L_1$  i  $L_2$  na kształt napięcia poprawki w czasie.

#### 4.2. Podstawowe właściwości układu

Stabilizator wzmocnienia gazowego jest układem nie wymagającym żadnej regulacji przed włączeniem do pracy. Dynamiczne właściwości stabilizatora przedstawia rys. 5, na którym pokazane są odpowiedzi układu na sztucznie zadawane skoki wzmocnienia gazowego. Układ najszybciej stabilizuje skoki wzmocnienia gazowego, jeżeli napięcie początkowe poprawki jest bliskie zeru. Wynika to z najwyższej efektywności działania zasilaczy stałego napięcia ( $\approx 311$  V). W praktyce stabilizator pracuje najczęściej w pobliżu tego punktu, jeśli wstępnie ustalono poprawnie wysokie napięcie na liczniku.



Rys. 5. Odpowiedzi stabilizatora na sztucznie zadawane skoki wzmocnienia gazowego

Oceniana na podstawie wielu serii pomiarowych dokładność osiągnięcia równości  $L_1=L_2$  jest lepsza niż 3%.

Układ jest praktycznie nieczuły na zmiany temperatury czy efekt starzenia się elementów, cechuje się on dużą niezawodnością działania, nie wymaga obsługi i jest bardzo prosty.

#### LITERATURA

- Walanus A., Pazdur M.F.: 1979, Charakterystyki statystyczne zmiennych losowych wykorzystywanych do wyznaczenia i ciągłej kontroli punktu pracy licznika proporcjonalnego przy pomiarach naturalnych aktywności  $^{14}\text{C}$ ; Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Seria Mat.-Fiz. 32, 139-146.

- Wybraniec A., 1983, Układy stabilizacji widma amplitudowego impulsów z proporcjonalnego licznika promieniowania jonizującego; praca dyplomowa magisterska, Pol. Śląska, Gliwice.
- Zastawny A., Mościcki W., 1974, Zasada wyznaczania i kontroli punktu pracy licznika proporcjonalnego w Laboratorium  $^{14}\text{C}$ ; Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Seria Mat.-Fiz. 23, 41-50.

#### СТАБИЛИЗАЦИЯ ГАЗОВОГО УСИЛЕНИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО СЧЕТЧИКА

##### Резюме

Описано простую электронную схему, которая корректируя высокое напряжение на пропорциональном счётчике поддерживает постоянное значение коэффициента газового усиления, при небольших изменениях давления или чистоты газа наполняющего счётчик или неустойчивости питателя высокого напряжения. Работа схемы опирается на неизменности амплитудного спектра мюонов.

#### STABILIZATION OF GASEOUS AMPLIFICATION OF PROPORTIONAL COUNTER

##### Summary

A simple electronic circuit is described, which is used to correct the high voltage applied to the proportional counter and then to stabilize the gaseous amplification factor of the proportional counter, accounting for small changes of the gas pressure and purity as well as instabilities of the HV supply. The stabilization is based on the assumption of constant shape of amplitude spectrum of pulses induced by muons in the proportional counter.