

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **230106**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **415948**

(22) Data zgłoszenia: **28.01.2016**

(51) Int.Cl.

H03K 6/04 (2006.01)

H03K 17/04 (2006.01)

H03F 3/70 (2006.01)

G01T 1/16 (2006.01)

(54)

**Sposób i układ szybkiego formowania impulsów
z detektora promieniowania jonizującego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

31.07.2017 BUP 16/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

28.09.2018 WUP 09/18

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**PAWEŁ GRYBOŚ, Rząska, PL
ROBERT SZCZYGIEŁ, Kraków, PL
PIOTR MAJ, Kraków, PL**

PL 230106 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób szybkiego formowania impulsów z detektora promieniowania jonizującego oraz układ wzmacniający przeznaczony do szybkiego formowania impulsów z detektora jonizującego.

Dla wzmacniania słabych sygnałów generowanych w detektorach promieniowania zazwyczaj wykorzystuje się wzmacniacze ładunkowe, które charakteryzują się niskim poziomem szumów, wysoką impedancją wejściową oraz posiadają ekstremalnie małą wartość pojemności wejściowej. Typowe wzmacniacze ładunkowe, zbudowane w oparciu o elementy dyskretne, zawierają w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego element rezystywny o dużej wartości rezystancji. Wysoka wartość rezystancji elementu rezystywnego jest korzystna z uwagi na pożądaną impedancję wejściową, jest również korzystna z uwagi na mniejszą wartość generowanych szumów prądowych. Jednakże w scalonych obwodach monolitycznych realizacja stabilnych rezystorów o wysokiej wartości rezystancji jest trudna i kosztowna. Z tego względu polaryzację stopni wejściowych monolitycznych wzmacniaczy ładunkowych realizuje się za pośrednictwem tranzystorów MOS. Zastosowanie tranzystora MOS jest korzystne, ponieważ jako element aktywny umożliwia kontrolę efektywnej rezystancji kanału.

Przykładowe układy polaryzacji za pośrednictwem tranzystorów MOS zostały ujawnione w przedstawionych poniżej opisach patentowych.

Z amerykańskiego opisu patentowego US 5,793,254 znany jest monolityczny wzmacniacz ładunkowy o dużej czułości zrealizowany w technologii MOS, który zawiera w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego aktywny element o wysokiej rezystancji, który charakteryzuje się wysoką stabilnością.

Z amerykańskiego opisu patentowego US 6,998,913 znany jest monolityczny wzmacniacz ładunkowy, który zawiera aktywny element w obwodzie sprzężenia zwrotnego, który charakteryzuje się zwiększoną liniowością w stosunku do innych podobnych urządzeń, jak również umożliwia kondycjonowanie sygnałów w szerokim zakresie dynamiki.

W rozwiązaniu według US 5,793,254, gdzie tranzystor MOS pełni funkcję wysoko – rezystywnego elementu polaryzującego stopień wejściowy wzmacniacza ładunkowego, konieczne jest zapewnienie precyzyjnego doboru wartości napięcia polaryzacji, ponieważ przewodność kanału tranzystora MOS jest silnie zależna od wartości napięcia bramka – źródło. Dlatego dla utrzymania odpowiedniej polaryzacji wspomnianego elementu aktywnego, w układzie wzmacniacza zastosowano obwód polaryzujący zbudowany z tranzystorów MOS o identycznych wymiarach geometrycznych (repliki) jak tranzystory dołączone do wejścia wzmacniacza ładunkowego. Zawiera on tranzystor MOS z kanałem typu N i tranzystor MOS z kanałem typu P, których zadaniem jest kompensacja napięcia polaryzującego tranzystor stopnia wejściowego wzmacniacza ładunkowego oraz kompensacja napięcia polaryzacji tranzystora pełniącego funkcję wysoko – rezystywnego elementu polaryzującego stopień wejściowy wzmacniacza. Innymi słowy, aby kompensacja była skuteczna odpowiednie tranzystory po stronie układu wejściowego wzmacniacza i obwodu polaryzującego winne symultanicznie i w jednakowy sposób reagować na zmiany czynników środowiskowych (e.g. temperatura) jak również na ewentualne procesy starzeniowe. Kolejną niedogodnością obwodu według US 5,793,254 jest ograniczony zakres dynamiki sygnałów wyjściowych, wynikający z nieuchronnej nieliniowości tranzystora MOS pełniącego funkcję wysoko – rezystywnego elementu polaryzującego. Problem nieliniowości wzmacniacza został naprawiony w rozwiązaniu według US 6,998,913, gdzie tranzystor MOS pełniący funkcję wysoko – rezystywnego elementu polaryzującego stopień wejściowy jest sterowany za pośrednictwem sygnału wyjściowego wzmacniacza ładunkowego. Ten obwód charakteryzuje się wysoką liniowością dla szerokiego zakresu sygnałów wejściowych, zapewnia także automatyczną kompensację prądów upływu i niski poziom szumów dla małych częstotliwości. Obwód doskonale nadaje się do przetwarzania sygnałów w zakresie niskich częstotliwości, natomiast trudny jest dobór i dostrojenie elementów dla zakresu średnich i wyższych częstotliwości. Jest to konsekwencją zastosowania w obwodzie dwóch pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego, które można nazwać odpowiednio: pętlą krótką – AC i pętlą długą – DC. Pętla krótka AC zawiera tylko jeden element – kondensator C, łączący wyjście pierwszego stopnia wzmacniacza z jego wejściem, natomiast pętla długa – DC zawiera tranzystor PMOS oraz dwa tranzystory NMOS stanowiące zwierciadło prądowe. Ponadto, dren tranzystora PMOS jest połączony z elementem inercyjnym, który stanowi wiele pojemności bramka – źródło tranzystorów NMOS kolejnego stopnia wzmacniacza. Z uwagi na fakt, że pętla długa – DC zawiera elementy inercyjne (pojemności bramka – źródło tranzystorów) jest rzeczą oczywistą, że sygnały wprowadzone przez obie pętli do wejścia wzmacniacza posiadają różne wartości przesunięć fazowych, które dodatkowo ulegają zmianie w funkcji częstotliwości. Innymi słowy,

można przewidzieć, że inna będzie reakcja obwodu na sygnał o wyższej częstotliwości, aniżeli na sygnał, którego częstotliwość jest bliska 0 Hz. Warto również zaznaczyć, że znacznie różnią się wartości impedancji wejściowej wzmacniacza dla sygnałów bliskich DC, który opisuje funkcja: $Z_{we}=I/g_m*K_u$ (mała wartość), natomiast dla zakresu wyższych częstotliwości, wartość impedancji wejściowej jest zależna od częstotliwości, $Z_{we}=I/j\omega C*K_u$,

gdzie: K_u – wzmacnienie pierwszego stopnia wzmacniacza, g_m – transkonduktancja tranzystora PMOS, C – wartość pojemności w pętli sprzężenia zwrotnego.

Silna zależność wartości wzmacnienia od częstotliwości sygnału wejściowego sprawia, że obwód według US 6,998,913 nie nadaje się do przetwarzania sygnałów średnich i wyższych częstotliwości.

Wysoka wartość rezystancji w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego sprawia, że wzmacniacz monopolarnych impulsów elektrycznych zazwyczaj pracuje w trybie integratora, czyli sekwencja dodatnich impulsów wprowadzonych na wejście powoduje, że napięcie wyjściowe wzmacniacza stopniowo maleje. W typowym obwodzie wzmacniacza ładunkowego element rezystywny Z pełni trzy istotne funkcje: stałoprądową polaryzację wzmacniacza, kompensację prądu pobieranego przez detektor oraz zabezpiecza przed przeładowaniem integratora. Jednakże dla niektórych aplikacji oczekuje się, aby przy zachowaniu wysokiej wartości wzmacnienia wzmacniacz jednocześnie posiadał możliwość adaptacji do sygnałów o wysokiej amplitudzie lub zwiększonej częstotliwości repetycji, ponieważ wówczas element rezystywny Z może nie nadążyć z odprowadzaniem ładunku; w konsekwencji integrator zostanie przesterowany, wzmacniacz przestanie reagować na kolejne impulsy wejściowe. W typowych układach jedynym sposobem rozwiązania tego problemu jest zmniejszenie wartości elementu rezystywnego Z . Takie rozwiązanie sprawia, że poprawę jednego parametru uzyskuje się kosztem innego, ponieważ dla zwiększenia zakresu dynamiki, czyli amplitudy i częstotliwości impulsów wejściowych konieczne jest zmniejszenie wartości wzmacnienia wzmacniacza i jednocześnie zwiększenie mocy generowanych szumów.

Wymienione niedogodności zostały zminimalizowane w rozwiązaniu według wynalazku.

Istotą wynalazku jest sposób szybkiego formowania impulsów z detektora promieniowania jonizującego, w którym, za pośrednictwem komparatora napięcia porównuje się wartość amplitudy sygnału na wyjściu wzmacniacza z wartością sygnału odniesienia i każdorazowo, po przekroczeniu wartości sygnału źródła napięcia odniesienia do wejścia wzmacniacza wprowadza się, za pośrednictwem generatora impulsów, porcję ładunku elektrycznego. Wartość porcji ładunku ustala się poprzez dobór amplitudy i czasu trwania impulsu prądowego. Czas trwania impulsu prądowego ustala się w oparciu o sygnał z komparatora, przy czym ostateczna wartość czasu trwania jest pomniejszona o wartość czasu opóźnienia przy załączaniu (td_{On}) i powiększona o wartość czasu opóźnienia przy wyłączaniu (td_{Off}).

Układ szybkiego formowania impulsów z detektora promieniowania jonizującego ma komparator napięcia dołączony poprzez filtr pasmowy do wyjścia wzmacniacza oraz źródła odniesienia, przy czym wyjście komparatora jest połączone z generatorem impulsów, który jest połączony z wejściem wzmacniacza.

Rozwiązanie według wynalazku zabezpiecza obwód wzmacniacza przed przesterowaniem i jednocześnie, dzięki skróceniu czasu trwania impulsów wyjściowych, umożliwia recepcję większej liczby impulsów w jednostce czasu. Dodatkową zaletą rozwiązania według wynalazku jest szeroki zakres tolerancji dla elementu rezystywnego Z polaryzującego wejście wzmacniacza.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania uwidoczniono na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schemat blokowy układu szybkiego formowania impulsów z detektora promieniowania jonizującego, według wynalazku. Fig. 2 przedstawia przebiegi czasowe dla impulsów prądowych z detektora (I_{in}); impulsów prądowych (I_{GI}) generowanych przez generator impulsów GI oraz przebieg zmian napięcia wyjściowego w odpowiedzi na impulsy wejściowe. Na wykresie oznaczono opóźnienia czasowe dla impulsów prądowych. Dodatkowo, liniami kropkowanymi oznaczono hipotetyczne przebiegi wyjściowe wzmacniacza W , który nie jest wyposażony w dodatkowy obwód umożliwiający przyspieszenie procesu rozładowania kondensatora C .

Układ szybkiego formowania impulsów z detektora promieniowania jonizującego ma wzmacniacz prądu stałego W , którego wyjście jest połączone z wejściem za pośrednictwem kondensatora C , do którego, dołączono również element rezystywny Z . Ponadto, wyjście wzmacniacza W poprzez filtr pasmowy F jest połączone z wejściem komparatora K , którego drugie wejście jest dołączone do źródła napięcia odniesienia R , natomiast wyjście komparatora K jest połączone z generatorem impulsów GI , którego wyjście jest połączone z wejściem wzmacniacza W .

Przedstawiony główny tor przetwarzania sygnałów składa się z wzmacniacza W, który w pętli sprzężenia zwrotnego ma kondensator C oraz element Z. Wzmacniacz W w połączeniu z kondensatorem C pracuje w konfiguracji wzmacniacza ładunkowego. Element Z zapewnia stałoprądowe sprzężenie zwrotne dla wzmacniacza W. Duża wartość rezystancji elementu Z sprawia, że kontrybucja szumów pochodzących z tego elementu ma niewielki wpływ na sumaryczną moc szumów generowanych w obwodzie całego wzmacniacza. Jednakże, przy dużej wartości rezystancji elementu Z, sygnał wyjściowy będący odpowiedzią na impuls detektora ulega silnemu wydłużeniu, co utrudnia prawidłową recepcję i konwersję kolejnych impulsów detektora. Przykładowe wydłużone impulsy wyjściowe dla dwóch dużych wartości Z przedstawiono na Fig. 2 linią kropkowaną (Z1; Z2). Wydłużone impulsy wyjściowe na wyjściu wzmacniacza W utrudniają recepcję i prawidłowe rozpoznanie kolejnych impulsów z detektora. Dzięki zastosowaniu układu przyspieszającego proces rozładowania, poprzez wprowadzenie do wejścia wzmacniacza W impulsów prądowych o przeciwnej polaryzacji, dokonuje się skrócenia czasu trwania impulsów wyjściowych. Proces kompresji czasu trwania impulsu wyjściowego jest inicjowany przez komparator K, który porównuje sygnał wyjściowy wzmacniacza W z sygnałem źródła napięcia odniesienia R i w przypadku, gdy amplituda sygnału wyjściowego jest większa od poziomu referencyjnego źródła napięcia odniesienia R uruchamia generator impulsów GI, który dostarcza prąd o przeciwnej polaryzacji do wejścia wzmacniacza W. W odpowiedzi, po czasie td_{On} , który jest niezbędny do przetworzenia wartości amplitudy sygnału na wyjściu wzmacniacza W przez dalsze bloki, następuje przyspieszenie procesu rozładowania kondensatora C. Z chwilą, gdy amplituda sygnału wyjściowego wzmacniacza W jest mniejsza od poziomu referencyjnego źródła napięcia odniesienia R następuje rozpoczęcie procesu deaktywacji źródła prądowego generatora impulsów GI; jednakże proces wyłączenia prądu generatora impulsów GI jest realizowany z opóźnieniem td_{Off} . Wartość tego czasu opóźnienia ustala dodatkowy obwód cyfrowy, stanowiący integralną część prądowego generatora impulsów GI tak, aby po upływie czasu td_{Off} wartość amplitudy sygnału na wyjściu wzmacniacza była bliska 0 V. Ponieważ wartość amplitudy na wyjściu wzmacniacza W jest wprost proporcjonalna do wartości ładunku z detektora, natomiast generator impulsów GI dostarcza, w przybliżeniu, stałą wartość prądu, również czas dochodzenia sygnału wyjściowego wzmacniacza W do poziomu referencyjnego źródła napięcia odniesienia R jest proporcjonalny do wartości ładunku. Tym samym, sumaryczny czas trwania impulsu rozładowującego (będący sumą czasu dochodzenia sygnału wyjściowego wzmacniacza W do poziomu referencyjnego źródła napięcia odniesienia R oraz czasu opóźnienia przy wyłączeniu (td_{Off}) pomniejszonego o wartość czasu opóźnienia przy załączaniu (td_{On})) jest proporcjonalny do wartości ładunku wprowadzonego na wejście wzmacniacza.

Dzięki zastosowaniu impulsowego sposobu odprowadzania nadmiarowego ładunku z integratora według wynalazku uzyskuje się:

- zwiększenie zakresu dynamiki przetwarzanych sygnałów,
- przystosowanie układu wzmacniacza do odbioru i przetwarzania większej liczby impulsów w jednostce czasu.
- zwiększenie zakresu tolerancji dla wartości rezystancji elementu rezystywnego Z,
- zmniejszenie mocy generowanych szumów.

Przykład wykonania:

Prototypową matrycę wzmacniaczy monopolarnych impulsów elektrycznych wykonano w technologii CMOS. Wymiary pojedynczego wzmacniacza: $25\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$.

Podstawowe parametry:

- wzmocnienie: $50\ \mu\text{V}/\text{elektron}$,
- szum: $< 250\ \text{el. rms}$,
- napięcie zasilania: $0.8\text{--}1.2\ \text{V}$,
- pobór mocy: $25\ \mu\text{W}$,
- max częstotliwość impulsów wyjściowych $> 5\ \text{MHz}$

Przykłady zastosowania:

- pomiary struktury materiałów z wykorzystaniem dyfraktometrów przy pracy z dużym natężeniem promieniowania X,
- pomiary z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego, np. w celu badania dynamiki procesów o krótkich stałych czasowych,
- diagnostyka medyczna (np. mammografia, tomografia komputerowa),
- prześwietlanie bagaży na lotniskach, monitorowanie jakości procesów produkcyjnych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób szybkiego formowania impulsów z detektora promieniowania jonizującego polegający na doborze wartości dodatkowych sygnałów wprowadzanych do wejścia wzmacniacza (W) w zależności od amplitudy sygnału wyjściowego, **znamienny tym**, że za pośrednictwem komparatora (K) napięcia porównuje się wartość amplitudy sygnału na wyjściu wzmacniacza (W) z wartością sygnału źródła napięcia odniesienia (R) i każdorazowo, po przekroczeniu wartości sygnału odniesienia do wejścia wzmacniacza (W) wprowadza się, za pośrednictwem generatora impulsów (GI), porcję ładunku elektrycznego.
2. Sposób szybkiego formowania impulsów według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wartość porcji ładunku ustala się poprzez dobór amplitudy i czasu trwania impulsu prądowego.
3. Sposób szybkiego formowania impulsów według zastrz. 2, **znamienny tym**, że czas trwania impulsu prądowego ustala się w oparciu o sygnał z komparatora (K), przy czym ostateczna wartość czasu trwania jest pomniejszona o wartość czasu opóźnienia przy załączaniu (tdOn) i powiększona o wartość czasu opóźnienia przy wyłączaniu (tdOff).
4. Układ szybkiego formowania impulsów z detektora promieniowania jonizującego, **znamienny tym**, że ma komparator napięcia (K) dołączony poprzez filtr pasmowy (F) do wyjścia wzmacniacza (W) oraz źródła napięcia odniesienia (R), przy czym wyjście komparatora (K) jest połączone z generatorem impulsów (GI), który jest połączony z wejściem wzmacniacza (W).

Rysunki

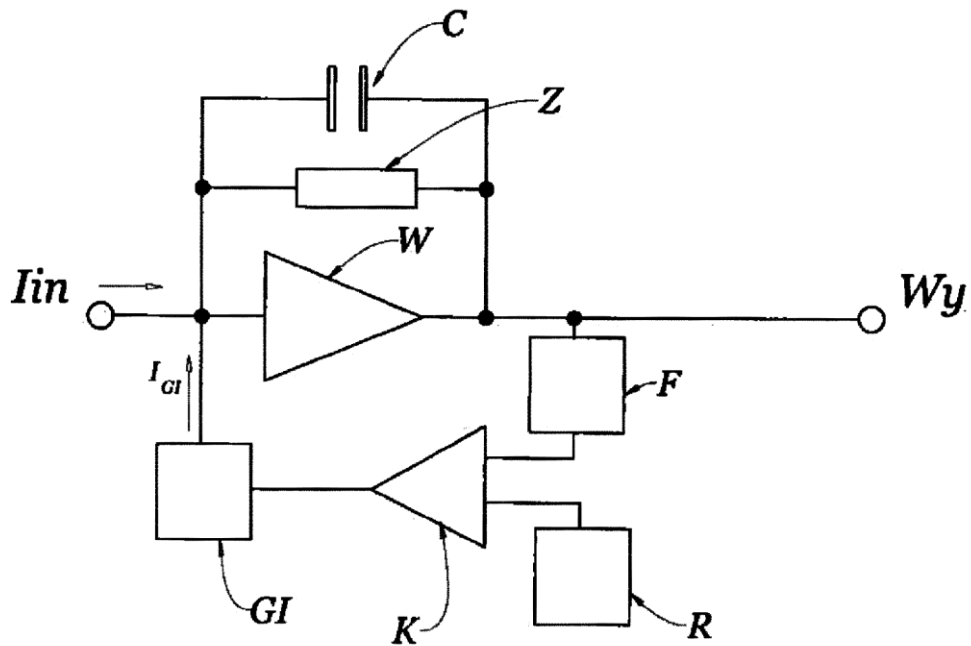


Fig. 1

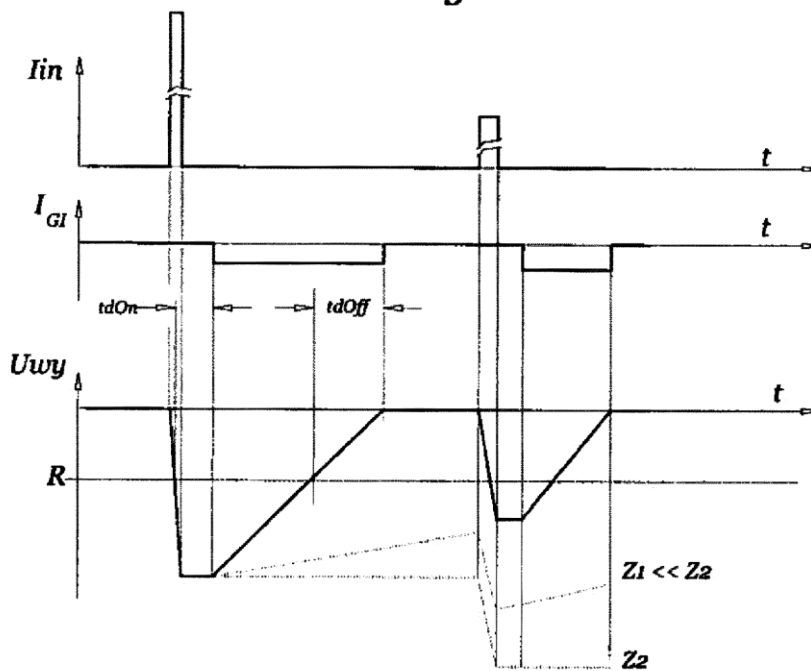


Fig. 2