



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

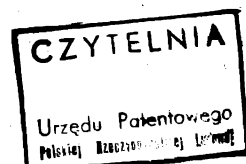
Zgłoszono: 28.02.76 (P. 187587)

Pierwszeństwo: 28.02.75 Francja

Zgłoszenie ogłoszono 04.01.77

Opis patentowy opublikowano: 16.08.1982

Int. Cl.³ H03K 13/00



Twórca wynalazku: Raymond Poirier

Uprawniony z patentu: Thomson-CSF, Paryż (Francja)

Sposób filtrowania sygnałów analogowych oraz filtr analogowy

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób filtrowania sygnałów analogowych oraz filtr analogowy, wykorzystujące filtrowanie sygnałów analogowych przez przenoszenie ładunków w materiale półprzewodnika.

Przenoszenie ładunków elektrycznych w materiale półprzewodnikowym jest realizowane za pomocą elementu typu „metal-izolator-półprzewodnik”. Znane są elementy o sprzężeniu ładunkowym typu BB i typu CC. W obu przypadkach doprowadzając do szeregów elektrod odpowiednie potencjały tworzy się rejestr przesuwający, w którym ładunki elektryczne są przenoszone z jednego elementu rejestru na element następny. Potencjały doprowadzone do kolejnych elektrod przechodzą z wielowyjściowego generatora taktującego, a potencjały dostarczane przez dwa sąsiednie wyjścia generatora taktującego są przesunięte w czasie

o ułamek $\frac{1}{n}$ okresu sygnałów taktowych.

Elementy ze sprzężeniem ładunkowym mogą być sterowane w sekwencjach dwu, trzy lub czterotaktowej.

Filtrowanie elektryczne polega na formowaniu sygnału analogowego w zależności od odpowiedzi impulsowej filtru idealnego. W przypadku filtrów zawierających rejestr przesuwający, formowaniu są poddawane kolejne próbki doprowadzone do

2

wejścia rejestru i zgromadzone na różnych stopniach (na elektrodach wybranej fazy) tak, aby mogły zostać połączone przez algebraiczne sumowanie z odpowiednimi współczynnikami korekcyjnymi i dostarczone do wyjścia filtru.

5 Znany jest sposób filtrowania elektrycznego, w którym dwie linie zbiorcze zasila się sygnałami taktowymi o tej samej fazie. Każda linia jest przyłączona do części elektrody (podzielonej na dwie odizolowane części), zasilanej normalnie przez wspomnianą fazę. Dwie części równe połowie normalnej elektrody zapewniają zerowy współczynnik korekcji, a dwie części elektrody różniące się od siebie zapewniają współczynnik korekcji zawarty między 0 a 1, gdy dwóm liniom przypisuje się znaki + i —. Linie te są dołączone do wejść + i — wzmacniacza różnicowego, którego wyjście zapewnia próbkowanie sygnału poddawanego filtracji. Wadą tego sposobu jest to, że potencjały elektrod zmieniają się bardzo mało w stosunku do bezwzględnej wartości potencjału roboczego linii taktowej. W tych warunkach wzmacniacz różnicowy dostarcza sygnału obciążonego stosunkowo znacznym błędem.

15 20 25 30 Znany jest z opisu patentowego St. Zjedn. Am. nr 3 819 958 sposób przetwarzania sygnałów analogowych, polegający na tym, że w praktyce sygnał dla każdego bitu rejestru przesuwającego jest pobierany czyli próbkowany i jest ważony w celu

wytworzenia odpowiedzi impulsowej, która jest funkcją przekształconą Fouriera wymaganej charakterystyki częstotliwościowej.

W znanym urządzeniu filtr zawiera wiele stopni opóźniających a sygnał wejściowy w postaci ładunku w półprzewodniku jest przenoszony do poszczególnych stopni opóźniających przez rejestr przesuwający, wykorzystujący wielofazowe generatory taktujące oraz elektrody przenoszące i sterujące. Ładunek zmagazynowany w każdym stopniu jest pobierany i mierzony oraz jest ważony ze współczynnikiem równym jedności lub mniej. Zmagazynowany ładunek jest pobierany poprzez pomiar ilości wymaganego prądu taktowego w odpowiedzi na zawarty w nim sygnał, w celu naładowania elektrody do wartości odniesienia. Ważenie jest uzyskiwane poprzez podzielenie elektrody sterującej lub przenoszącej, związanej z jedną fazą taktową w każdym stopniu opóźniającym, na dwie oddzielne części.

Wartość biegunowości ważenia jest określona przez względny stosunek powierzchni dwóch części. Faza taktowa związana z elektrodą stosowaną do ważenia jest rozdzielana na dwie części dla odpowiedniego sumowania części ważonych dodatniej i ujemnej. Jedna z linii taktujących jest dołączona do dodatnich części wszystkich podzielonych elektrod i druga jest wspólnie dołączona do ujemnych części wszystkich elektrod ważonych. Dwie linie taktujące są dołączone do źródła fazy taktowej przez uprzednio dobraną impedancję. Wzmacniacz różnicowy dołączony do rozdzielonych linii taktujących jest przeznaczony do równoczesnego pomiaru napięcia różnicowego, wytwarzanego na nich przez zsumowanie prądów dodatniego i ujemnego. Wynikowy sygnał wyjściowy jest wytwarzany, gdy sygnały zapamiętane w poszczególnych stopniach opóźniających dopasowują odpowiedź impulsową filtru, określoną przez elektrody ważone.

Sposób według wynalazku polega na tym, że próbki sygnału ważne dodatnio pobiera się na pierwszym rejestrze przesuwającym i próbki ważne ujemnie pobiera się na drugim rejestrze przesuwającym, następnie próbki dodatnie i ujemne dodaje się algebraicznie dla utworzenia próbek filtrowanego sygnału.

Dla realizacji ważenia dodatniego lub ujemnego próbek dzieli się każdy rejestr przesuwający na dwa szeregi elektrod umieszczone względem siebie w układzie „w łuskę”, dla uzyskania szeregu elektrod przenoszących i szeregu elektrod pobierających z ważeniem, elektrody przenoszące pierwszego rejestru zasila się przez jedną z faz dwufazowego generatora taktującego i elektrody przenoszące drugiego rejestru zasila się przez drugą fazę generatora taktującego oraz elektrody pobierające z ważeniem dzieli się na pierwszą część zasilaną napięciem ciągłym i drugą część przeznaczoną na wspólnej linii dla dwóch rejestrów próbek ważonych dodatnio lub ujemnie.

W filtrze według wynalazku trzecia elektroda wejściowa jest podzielona na dwie symetryczne części o równych powierzchniach. Filtr zawiera

ponadto pierwszy szereg elektrod i drugi szereg elektrod. Każdy z tych szeregów zawiera naprzemiennie elektrody przenoszące i elektrody pobierające z ważeniem. Powierzchnie elektrod przenoszących i pobierających z ważeniem są równe sumie powierzchni części podzielonej elektrody.

Elektrody pobierające z ważeniem są podzielone na dwie równe części lub nierówne części w każdym szeregu, przy czym współczynnik ważenia jest różny od zera i od jedności. Krótkie boki tych samych elektrod w dwóch szeregach są wzajemnie równoległe i usytuowane naprzeciw siebie. Z drugiej strony elektrody przenoszące w szeregu są dołączone do wyjścia generatora taktującego, podczas gdy elektrody przenoszące drugiego szeregu są dołączone do drugiego wyjścia generatora taktującego, przesuwającego o połowę okresu próbkowania i w końcu wszystkie elektrody pobierające są dołączone do wspólnej linii zasilającej.

Zaletą wynalazku jest zapewnienie dostarczania sygnałów pozbawionych znacznych błędów. Zaletą wynalazku jest także możliwość syntezy próbek sygnału filtrowanego bez zastosowania nowych sygnałów taktowych, możliwość stosowania równie dobrze elementów w postaci grup ogniw jak i elementów o sprzężeniu ładunkowym oraz możliwość integracji układów na tej samej płytce półprzewodnika, na której znajduje się rejestr przenoszenia ładunków.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat znanego filtru z rejestrem przesuwającym, fig. 2 — wykres przebiegów sygnału w układzie z fig. 1, fig. 3 — schemat struktury filtru z fig. 1, fig. 4 — schemat struktury filtru według wynalazku, obejmującego dwa rejestry przesuwające, fig. 5 — wykresy przebiegów w układzie z fig. 4, fig. 6 — schemat ideowy filtru według wynalazku i fig. 7 — schemat struktury innego wykonania filtru według wynalazku.

Zgodnie ze schematem przedstawionym na fig. 1, rejestr przesuwający zawiera szeregową połączenie stopni $D_1, D_2 \dots D_n$ zbudowanych jako linie opóźniające, wprowadzające stałe przesunięcie fazowe, którego wartość zależy od częstotliwości sygnałów taktowych. Na wejściu rejestru stopień próbkowania S_0 wycina części sygnału, który jest na przykład impulsem napięcia v_e .

Na figurze 2 (a) przedstawiono w układzie współrzędnych kartezjańskich, w którym oś rzędnych jest osią napięcia elektrycznego v , a oś odciętych osią czasu t , wykres impulsu napięcia o amplitudzie jednostkowej. Czas trwania impulsu jednostkowego jest dla uproszczenia przyjęty jako równy opóźnieniu wnoszonemu przez stopnie $D_1, D_2 \dots D_n$.

Na figurze 2 (b) przedstawiono sygnał, który otrzymuje się na wyjściu kolejnych stopni rejestru przesuwającego. Współczynniki korekcji wprowadzone przez stopnie korekcyjne $K_0, K_1, K_2 \dots K_n$ mają wartości bezwzględne mniejsze lub równe jedności i są dodatnie lub ujemne. Sygnały napięciowe poddawane korekcji mają amplitudy jednostkowe, a kolejne sygnały próbkowane są coraz

bardziej opóźnione. Przebieg sygnału wyjściowego przedstawiony jest na fig. 2 (b) linią przerywaną.

Wyjścia stopni korekcyjnych $K_0, K_1, K_2 \dots K_n$ z fig. 1 są przyłączone do wejścia sumatora S, który dostarcza na wyjściu 21 sygnał v_s o amplitudzie określonej równaniem:

$$v_s = (k_0 + k_1 + k_2 + \dots k_n) v_a \quad (1)$$

Przebieg tego sygnału jest analogiczny do przebiegu sygnału uzyskanego w wyniku podania impulsu jednostkowego na wejście filtru o odpowiedzi impulsowej $k_0, k_1, k_2 \dots k_n$.

Figura 3 przedstawia układ, w którym dwie oddzielne linie zbiorcze L_{31} i L_{32} są zasilane sygnałem taktowym o tej samej fazie, na przykład trzecim w układzie trójfazowym i są dołączone do wejść 31 i 32 wzmacniacza różnicowego 300.

Korekcja sygnałów próbkowanych jest w tym układzie zrealizowana przez podział elektrod zbiorczych, zasilanych sygnałem taktowym o tej samej fazie, na dwie grupy odpowiednio dołączone do linii L_{31} i L_{32} , o powierzchni odpowiednio proporcjonalnych do współczynników $1/2 (1 + k)$, $1/2 (1 - k)$, gdzie k jest jednym ze współczynników $k_1, k_2 \dots k_n$ z równania (1). Sygnały taktowe o pozostałych dwóch fazach doprowadzane są odpowiednio — pierwsza poprzez linię L_1 do elektrod 101, 102 itd. ... a druga poprzez linię L_2 do elektrod 201, 202 itd. ... Elektrody zasilane przez te dwa sygnały taktowe nie są podzielone i ich jedyną funkcją jest przenoszenie ładunków wzdłuż rejestru.

Na figurze 3 przedstawiono następujące elektrody zbiorcze, do których dostarczany jest sygnał taktowy o trzeciej fazie: — elektrodę E_0 podzieloną na dwie równe części E_{01} i E_{02} , co odpowiada $k = 0$,

— elektrodę podzieloną na dwie części E_{11} i E_{12} o powierzchniach proporcjonalnych do $1/3$ i $2/3$, co odpowiada $k = -1/3$,

— elektrodę podzieloną na dwie części E_{21} i E_{22} o powierzchniach proporcjonalnych do $2/3$ i $1/3$, co odpowiada $k = +1/3$.

Wzmacniacz różnicowy 300, poza wejściami + i —, ma wejście 33 dla sygnału taktowego oraz wyjście 34, na którym odbierany jest sygnał poddany filtrowaniu. Na fig. 3 nie przedstawiono układu wytwarzającego sygnał wyjściowy z sygnałów cząstkowych pochodzących z poszczególnych stopni.

Na figurze 4 przedstawiony jest schemat układu wykorzystującego sposób według wynalazku, zrealizowanego w układzie dwufazowym. Odpowiedź impulsowa tego filtru określona jest przykładowo przez współczynniki korekcyjne k kolejno: $+1, +1/2, 0, -1/2, -1$. Dwa rejestry przesuwające, zawierające dwa ciągi równoległych i naprzeciw siebie leżących elektrod, są skonstruowane następująco:

— w pierwszym rejestrze, elektrody 401, 405, 409, 413, 417, 421 są przyłączone do pierwszej linii taktowej L_1 (faza 1) i są umieszczone odpowiednio między elektrodami 407 (częściowa), 411, 415, 419 przyłączonymi do linii zasilającej L_{01} ,

— w drugim rejestrze, elektrody 402, 406, 410, 414 (częściowa), 422 są przyłączone do linii zasilającej L_{02} i są umieszczone odpowiednio między elektrodami 404, 408, 412, 416 i 420 przyłączonymi do drugiej linii taktowej L_2 (faza 2).

Poza tym do końcówki wyjściowej 40 za pośrednictwem pojedynczej linii zbiorczej L_r są przyłączone następujące elektrody zbiorcze:

— w pierwszym rejestrze, elektroda 403 ($k = 1$) i elektroda 427 (częściowa) położona na przedłużeniu elektrody 407. Obydwie te elektrody, każda równa połowie elektrody normalnej, zapewniają wprowadzenie współczynnika korekcyjnego $k = +1/2$.

— w drugim rejestrze, elektroda 418 ($k = -1$) i elektroda 434 (częściowa), położona na przedłużeniu elektrody 414. Obydwie te elektrody, każda równa połowie elektrody normalnej, zapewniają wprowadzenie współczynnika korekcyjnego $k = -1/2$.

Wspólne wejście obu rejestrów realizują następujące elektrody:

— elektroda 43 zasilana sygnałem wejściowym V_s .
— elektroda 44 zasilana sygnałem V_{e1} i stanowiąca bramkę tranzystora MOS (metal-tlenek-półprzewodnik), która steruje dostępem sygnału na wejście rejestrów,
— elektroda 45, podzielona na dwie części 451 i 452 zasilana sygnałem V_1 , którego wartość określa warunki pracy.

Wykresy z fig. 5 przedstawiają m funkcji czasu t naniesionego na osie odciętych, napięcie v w woltach (w różnych skalach), pojawiające się w różnych punktach układu z fig. 4.

Wykres (a) przedstawia przebieg sygnału V_s podawanego na elektrodę 43 i próbki pobierane co okres czasu T_e , a przedstawione jako impulsy 51. Warto odnotować, że napięcie V_s nie może zmieniać biegunowości (dodatnia lub ujemna, zgodnie z typem domieszkowania półprzewodnika), co wymaga w danym przypadku superpozycji sygnału przed podaniem na elektrodę 43 ze stałym napięciem dodatnim.

Wykres (b) przedstawia ciąg impulsów napięcia V_{e1} , podawanych na elektrodę 44 z okresem T_e w kolejnych momentach próbkowania. Są to impulsy otwierające tranzystor MOS, którego bramkę stanowi elektroda 44. Napięcie V_{e1} jest co najmniej równe największej amplitudzie sygnału V_s .

Wykres (c) przedstawia impulsy V_{e2} o amplitudzie dużo większej od V_s , na przykład 10V, powtarzane w tych samych odstępach czasu, co V_{e1} , lecz przesunięte o pół okresu względem V_{e1} .

Wykres (d) przedstawia napięcie stałe V_0 , o wartości na przykład 10V, podawane na linii L_{01} i L_{02} .

Wykres (e) przedstawia napięcie pulsujące V_1 o amplitudzie maksymalnej równej V_0 , zsynchronizowane z impulsami V_{e1} .

Wykresy (f) i (g) przedstawiają napięcia pulsujące W_1 i W_2 o identycznych amplitudach maksymalnych, większych od V_0 , na przykład 15V, podawane na linii L_1 i L_2 . Napięcia te są przes-

nięte względem siebie o $T_e/2$, a W_2 jest zsynchronizowane z V_1 .

W przypadku zastosowania półprzewodnika typu p, w którym nośnikami większościowymi są elektrony, działanie tego układu jest następujące.

Każdy impuls V_{e1} powoduje przeniesienie z elektrody 43 ku elektrodzie 45 ilości elektronów proporcjonalnej do impulsów 51, ponieważ napięcie V_{e1} jest zawsze większe od napięcia V_s .

Elektrony gromadzą się w „dole” potencjału, wywołanym w materiale półprzewodnika przez impuls napięcia V_1 na elektrodzie 45. Po impulsie V_1 , na elektrodzie 401 pojawia się impuls W_1 i przyciąga elektrony pod elektrodę 401. Następnie rejestr „nieparzysty” (elektrody 401—421) jest przełączany jak rejestr klasyczny, z tą różnicą, że faza druga jest zasilana napięciem stałym V_0 , niższym od potencjału W_1 . Przenoszenie ładunków z elektrody 401 do 403 podczas przedziału czasu między dwoma impulsami W_1 jest powodowane obecnością napięcia V_0 , lecz przenoszenie z ładunku z elektrody 403 do elektrody 405 jest powodowane faktem, że potencjał W_1 jest większy od stałego potencjału V_0 . W wyżej określonych momentach, potencjał odczytu obecny na końcówce 40 jest zmieniany przez ładunki zgromadzone na elektrodzie 403 (ze współczynnikiem $k = +1$) i na elektrodzie 427 (ze współczynnikiem $k = 1/2$).

Zjawiska zachodzące w rejestrze parzystym (elektrody 402—422) opóźnione o pół okresu, są analogiczne, lecz z tą istotną różnicą, że potencjał odczytu jest zmieniany z wyprzedzeniem o okres, dzięki połączeniom ustawionym z elektrodami 434 i 418, co prowadzi do rejestrowania początku przenoszenia ładunków i sprawia, że próbkowanie jest realizowane ze współczynnikiem $(-1/2)$ (elektroda częściowa 434), lub -1 (elektroda 418).

Na figurze 6 przedstawiono odcinki linii L_r , szczególnie te, gdzie są przyłączone elektroda 403 (pierwszy rejestr) i elektroda 418 (drugi rejestr) oraz koniec tej linii dochodzący do końcówki 40. Pojemność C_1 , której jedna końcówka jest połączona z masą, a druga dołączona jest do elektrody 403, stanowi schemat zastępczy elementu półprzewodnikowego układu przenoszącego ładunek. Podobnie jest z pojemnością C_2 dołączoną do elektrody 418.

Układ odczytu jest zrealizowany przez pojemność C_0 i trzy tranzystory, T_1 , T_2 i T_3 typu MOS. Wychodząc od końcówki 40 znajduje się kolejno jako dalszy ciąg linii L_r końcówkę 62, przez którą linia jest zasilana napięciem stałym V_0 poprzez tranzystor T_1 , którego baza jest sterowana impulsami napięcia V_{e2} (fig. 5c). Dalej znajduje się końcówka 63 odgałęzienia do masy poprzez pojemność C_0 o dużej wartości w stosunku do pojemności C_1 i C_2 . Linia ciągnie się aż do bramki 64 tranzystora T_3 poprzez kanał tranzystora T_2 , którego bramka jest sterowana przez impulsy V_{e1} (fig. 5b).

Tranzystor T_3 pracuje jako wtórnik z drenem zasilanym bezpośrednio stałym napięciem poprzez końcówkę 60 i rezystancję 600. Sygnał odczytu

odbiera się z tej rezystancji, na końcówce 602 poprzez pojemność 601.

Proces odczytu przebiega następująco. Gdy potencjał W_1 jest podany na linię L_1 , napięcie V_{e2} sprowadza potencjał elektrod przyłączonych do linii L_r do potencjału V_0 ładując (lub rozładowując) wszystkie pojemności C_0 , C_1 itd. ... Następnie potencjał W_2 zostaje podany na linię L_2 , a potencjał końcówki 40, uwzględniając pojemność C_0 i w zależności od chwili, jaką się rozpatruje, jest zmieniany raz przez dopływ ładunków przenoszonych do elektrod zbiorczych, a raz przez odpływ ładunków.

Bramka 64 tranzystora T_3 jest dołączona do końcówki 63 w momencie trwania impulsu V_{e1} , a więc z przesunięciem fazy $T_e/2$ w stosunku do impulsu V_{e2} . Jeżeli odwróci się napięcia V_{e1} i V_{e2} , prowadzi to do zmiany znaku współczynnika próbkowania ładunków.

Tranzystor T_3 dostarcza na rezystancji 600 impulsy prądowe, podawane poprzez pojemność 601 na końcówkę 602.

W innym rozwiązaniu filtra według wynalazku dzieli się ładunki na dwa pakiety w momencie przejścia na elektrodę umieszczoną bezpośrednio przed elektrodą częściową.

Wiadomo, że jeżeli zdomieszczy się silnie strefę powierzchniową Z (fig. 7) materiału półprzewodnika, pod elektrodą uzyskuje się rozdzielenie ładunków znajdujących się z jednej i z drugiej strony strefy Z .

Na figurze 7 przedstawiona jest część rejestru czterofazowego (elektrody 70 i 74 zasilane przez linie fazowe L_{01} , L_{02} , L_{03} , L_{04} , a następnie od nowa L_{01}). Druga elektroda przykrywa strefę Z , która określa podział ładunków między dwoma obszarami materiału półprzewodnikowego 711 i 712.

Dwie następne elektrody są podzielone na elektrody częściowe 721 i 722 z jednej strony i elektrody częściowe 731 i 732 z drugiej strony. Ładunki gromadzone na końcówce 80 przez linie L_{11} (przyłączona do elektrody częściowej 731) i L_{12} (przyłączona do elektrody częściowej 722) odgrywają analogiczną rolę jak te, które były gromadzone na końcówce 40, a pochodząły od elektrod 403 i 418 układu z fig. 4. W układzie z fig. 7 wszystko zachodzi tak, jakby przedłużyło się elektrody 401 i 402 z fig. 4, aby utworzyć tylko jedną elektrodę i wytworzyło się separującą strefę Z . W przypadku więc elektrod częściowych (407/427 i 414/434) należy również przyłączyć do elektrod 408 i 413 częściowe elektrody 427 i 434.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób filtrowania sygnałów analogowych dla tłumienia części częstotliwości, występujących w badanym widmie sygnałów analogowych, w którym to sposobie ważne dodatnio lub ujemnie próbki sygnału przeznaczonego do filtrowania pobiera się z różnych stopni opóźniających kolejnych elektrod tworzących rejestr przesuwający dla wytwarzania odpowiedzi impulsowej, którą

podlega tam transformacji Fouriera wymaganej charakterystyki częstotliwościowej, **znamienny tym**, że próbki sygnału ważne dodatnio pobiera się na pierwszym rejestrze przesuwającym i próbki ważne ujemnie pobiera się na drugim rejestrze przesuwającym, następnie próbki dodatnie i ujemne dodaje się algebraicznie dla utworzenia próbek filtrowanego sygnału.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że dla realizacji ważenia dodatniego lub ujemnego próbek dzieli się każdy rejestr przesuwający na dwa szeregi elektrod umieszczone względem siebie w układzie „w łuskę”, dla uzyskania szeregu elektrod przenoszących i szeregu elektrod pobierających z ważeniem, elektrody przenoszące pierwszego rejestru zasilają się przez jedną z faz dwufazowego generatora taktującego i elektrody przenoszące drugiego rejestru zasilają się przez drugą fazę generatora taktującego oraz elektrody pobierające z ważeniem dzieli się na pierwszą część zasilaną napięciem ciągłym i drugą część przeznaczoną na wspólnej linii dla dwóch rejestrów próbek ważonych dodatnio lub ujemnie.

3. Filtr analogowy do przenoszenia ładunków elektrycznych w podłożu półprzewodnikowym, zawierający elektrody odizolowane od podłoża półprzewodnikowego, na którego powierzchni są one umieszczone w szeregach tworzących powłoki prostokątne, których dłuższe boki są równoległe

względem siebie i którego trzy pierwsze elektrody są przeznaczone do przetwarzania próbek sygnału przeznaczonego do filtrowania, **znamienny tym**, że trzecia elektroda wejściowa jest podzielona na dwie symetryczne części (451, 452) o równych powierzchniach oraz filtr zawiera ponadto pierwszy szereg elektrod (401, 403, 405, 407, 409, 411, 413, 415, 417, 419, 421) i drugi szereg elektrod (402, 404, 406, 408, 410, 412, 414, 416, 418, 420, 422), przy czym każdy z tych szeregów zawiera naprzemiennie elektrody przenoszące (401, 405, itd.) i elektrody pobierające z ważeniem (403, 407/427), a powierzchnie elektrod przenoszących i pobierających z ważeniem są równe sumie powierzchni części (451, 452) podzielonej elektrody, elektrody pobierające z ważeniem są podzielone na dwie równe części (407, 427), (414, 434) lub nierówne części w każdym szeregu, przy czym współczynnik ważenia jest różny od zera, i od jedności, krótkie boki tych samych elektrod w dwóch szeregach są wzajemnie równoległe i usytuowane naprzeciw siebie oraz z drugiej strony elektrody przenoszące (401, 405 itd.) w szeregu są dołączone do wyjścia generatora taktującego, podczas gdy elektrody przenoszące drugiego szeregu (402, 404, itd.) są dołączone do drugiego wyjścia generatora taktującego, przesuwającego o połowę okres próbkowania i w końcu wszystkie elektrody pobierające są dołączone do wspólnej linii zasilającej.

