RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **229069**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **412435**

(22) Data zgłoszenia: **21.05.2015**

(51) Int.Cl.
H03M 1/00 (2006.01)
H04J 13/00 (2011.01)
H03M 1/50 (2006.01)

(54) **Sposób kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
05.12.2016 BUP 25/16

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
29.06.2018 WUP 06/18

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
DARIUSZ KOŚCIELNIK, Kraków, PL
MAREK MIŚKOWICZ, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Andrzej Kacperski

PL 229069 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu, znajdujący zastosowanie w przetwarzaniu sygnałów, zwłaszcza dolnopasmowych, gdzie wymagana jest możliwość rekonstruowania sygnału analogowego, jak również w systemach kontrolno-pomiarowych.

Znany z publikacji: Aurel A. Lazar i Laszlo T. Toth, „Perfect Recovery and Sensitivity Analysis of Time Encoded Bandlimited Signals" Transactions on Circuits and Systems, vol. 51, no. 10, October 2004, str. 2060–2073 sposób kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu polega na wykorzystaniu w charakterze kodera TEM (time encoding machine) asynchronicznego modulatora Sigma-Delta. Różnica wejściowego sygnału analogowego oraz skwantowanego sygnału wyjściowego kodera TEM, którego dwa poziomy są rozmieszczone symetrycznie względem poziomu zera jest podawana na wejście integratora. Kierunek zmian sygnału pojawiającego się na wyjściu integratora jest determinowany przez aktualny poziom sygnału wyjściowego kodera TEM. Szybkość zmian sygnału na wyjściu integratora jest natomiast modulowana przez aktualną wielkość wejściowego sygnału analogowego. Sygnał wyjściowy integratora jest podawany na wejście przerzutnika Schmitta, który wykrywa przekroczenie przez ten sygnał jednej z dwóch zadanych wartości progowych. Przerzutnik Schmitta wprowadza wówczas swe wyjście, będące jednocześnie wyjściem kodera TEM, w odpowiedni z dwóch dozwolonych stanów. Zmiana stanu wyjścia przerzutnika Schmitta powoduje odwrócenie kierunku, w którym podąża sygnał wyjściowy integratora. Po przekroczeniu przez ten sygnał drugiej z zadanych wartości progowych, wykrywanym za pomocą przerzutnika Schmitta, następuje ponowne przełączenie stanu wyjścia tego przerzutnika oraz odwrócenie kierunku, w którym podąża sygnał wyjściowy integratora i cykl pracy układu powtarza się. Długości dodatnich i ujemnych impulsów pojawiających się naprzemiennie na wyjściu kodera TEM reprezentują wielkość wejściowego sygnału analogowego, uśrednianą w granicach każdego z generowanych w ten sposób interwałów czasu.

Znany z publikacji: J. G. Harris, Xu Jie, M. Rastogi, A. S. Alvarado, V. Garg, J. C. Principe, K. Vuppamandla, „Real Time Signal Reconstruction from Spikes on a Digital Signal Processor", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May 2008, str. 1060–1063 sposób kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu polega na wykorzystaniu w charakterze kodera TEM układu Spiking-Neuron, nazywanego także układem Integrate-and-Fire Neuron. Wejściowy sygnał analogowy steruje wydajnością źródła prądowego, która jednak zawsze pozostaje większa od zera. Ładunek dostarczany przez źródło prądowe jest gromadzony w kondensatorze, powodując stopniowe narastanie napięcia występującego pomiędzy jego okładkami. Napięcie to jest porównywane za pomocą komparatora z założoną wartością progową. W chwili jej przekroczenia na wyjściu komparatora, będącym jednocześnie wyjściem kodera TEM pojawia się krótkotrwały stan aktywny. Impuls ten powoduje włączenie tranzystora zwierającego okładki kondensatora i tym samym jego całkowite rozładowanie. Po zakończeniu generowania impulsu przez komparator rozpoczyna się gromadzenie w kondensatorze kolejnej porcji ładunku i cykl pracy układu powtarza się. Interwały czasu występujące pomiędzy kolejnymi impulsami generowanymi na wyjściu koder TEM reprezentują wielkość wejściowego sygnału analogowego, uśrednianą w granicach każdego z tych interwałów.

Sposób kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu, według wynalazku, polega na generowaniu za pomocą kodera TEM interwałów czasu, których długość reprezentuje wartość sygnału analogowego.

Istotą rozwiązania jest to, że podczas każdego interwału czasu na wejściu kodera TEM utrzymuje się, za pomocą układu próbkująco-pamiętającego, sygnał o stałej wielkości, reprezentującej wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego w momencie zakończenia generowania poprzedniego interwału czasu.

Korzystne jest, gdy wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego próbkuje się i jednocześnie zapamiętuje za pomocą układu próbkująco-pamiętającego w momencie zakończenia generowania interwału czasu przez koder TEM.

Korzystne jest też, gdy na wejściu kodera TEM utrzymuje się sygnał o stałej wielkości za pomocą jednego z modułów układu próbkująco-pamiętającego i równocześnie próbkuje się aktualną wartość kodowanego sygnału analogowego za pomocą innego z modułów układu próbkująco-pamiętającego. W chwili zakończenia generowania każdego interwału czasu moduły układu próbkująco-pamiętającego cyklicznie zamieniają się rolami.

Poddawanie kodowaniu sygnału spróbkowanego powoduje, iż długość każdego z generowanych interwałów czasu reprezentuje chwilową wartości kodowanego sygnału analogowego, a nie jej uśrednienie w granicach generowanych interwałów czasu o zmiennej długości. Dokładnie znane stają się także wzajemne odległości pomiędzy pobranymi próbkami. Sytuacja taka bardzo ułatwia i przyspiesza proces rekonstruowania zakodowanego sygnału, istotnie redukując jego złożoność obliczeniową i jednocześnie poprawiając dokładność otrzymywanych wyników.

Próbkowanie sygnału wejściowego całkowicie eliminuje także niepożądane tłumienie, które układ integratora wprowadza dla wyższych harmonicznych sygnału niepoddawanego próbkowaniu. Dzięki powyższemu wielkość szumu kwantyzacji powstającego podczas ewentualnego przetwarzania długości generowanych interwałów czasu na słowa cyfrowe jest jednakowa w całym paśmie przetwarzanego sygnału wejściowego. Wielkość ta jest jednocześnie utrzymywana na najniższym możliwym poziomie, zależnym jedynie od wielkości przyjętego kroku kwantyzacji.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony w przykładach wykonania na rysunku, gdzie przedstawiono:

Fig. 1 – schemat blokowy układu kodowania.

Fig. 2 – schemat układu kodowania zawierającego układ próbkująco-pamiętający SH o dwóch modułach MSH oraz koder TEM zrealizowany w postaci asynchronicznego modulatora SigmaDelta.

Fig. 3 – schemat układu kodowania zawierającego układ próbkująco-pamiętający SH o dwóch modułach MSH oraz koder TEM zrealizowany w postaci układu Spiking-Neuron

Fig. 4 – przebieg wyjściowy TEMout asynchronicznego modulatora Sigma-Delta reprezentujący generowane interwały czasu.

Fig. 5 – przebieg wyjściowy TEMout układu Spiking-Neuron reprezentujący generowane interwały czasu.

Zgodnie z wynalazkiem sposób kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu polega na poddawaniu kodowaniu próbek sygnału analogowego. Wielkość próbki utrzymywanej za pomocą układu próbkująco-pamiętającego SH na wejściu TEMin kodera TEM w trakcie generowania całego interwału czasu T_{x_1}, reprezentuje wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego w momencie zakończenia generowania poprzedniego interwału czasu T_{x-1}. Wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego podawanego na wejście In układu kodowania próbkuje się i jednocześnie zapamiętuje za pomocą układu próbkująco-pamiętającego SH w momencie zakończenia generowania każdego interwału czasu.

W rozwiązaniu zawierającym dwa moduły próbkująco-pamiętające MSH próbkę kodowanego sygnału analogowego utrzymuje się na wejściu TEMin kodera TEM podczas trwania całego interwału czasu T_x za pomocą pierwszego modułu układu próbkująco-pamiętającego. Równocześnie, za pomocą drugiego modułu układu próbkująco-pamiętającego, próbkuje się kodowany sygnał analogowy i zapamiętuje jego wartość w momencie zakończenia generowania interwału czasu T_x. W chwili zakończenia generowania każdego interwału czasu moduły MSH układu próbkująco-pamiętającego SH zamieniają się rolami.

Układ do kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu, w pierwszym przykładowym rozwiązaniu (fig. 1), zawiera koder TEM oraz układ próbkująco-pamiętający SH. Kodowany sygnał analogowy jest podawany na wejście In układu kodowania połączone z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. Wyjście SHout układu próbkująco-pamiętającego jest połączone z wejściem TEMin kodera TEM. Wyjście TEMout kodera TEM, będące jednocześnie wyjściem Out układu kodowania jest połączone z wejściem sterującym SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH.

W drugim przykładowym rozwiązaniu (fig. 2) układ próbkująco-pamiętający SH zawiera dwa moduły MSH, a koder TEM ma postać znanego asynchronicznego modulatora Sigma-Delta. Kodowany sygnał analogowy jest podawany na wejście In układu kodowania połączone z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. Każdy z dwóch modułów MSH układu próbkująco-pamiętającego SH zawiera kondensator C oraz łącznik S. Górna okładka kondensatora C jest połączona za pośrednictwem odpowiedniego łącznika S z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH oraz za pośrednictwem przełącznika SW z wyjściem SHout układu próbkująco-pamiętającego SH. Dolna okładka kondensatora C jest połączona z masą układu. Wejścia sterujące obu łączników S oraz przełącznika SW są ze sobą sprzężone i są połączone z wejściem sterującym SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH. Wyjście SHout układu próbkująco-pamiętającego SH jest połączone z wejściem TEMin kodera TEM, który zbudowany w postaci znanego asynchronicznego modulatora Sigma-Delta zawiera sumator, integrator oraz przerzutnik Schmitta. Wyjście TEMout kodera TEM, będące jednocześnie wyjściem Out układu kodowania jest połączone z wejściem sterującym SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH.

W trzecim przykładowym rozwiązaniu (fig. 3) układ próbkująco-pamiętające SH zawiera dwa moduły MSH oraz licznik modulo dwa CT, a koder TEM ma postać znanego układu Spiking-Neuron. Kodowany sygnał analogowy jest podawany na wejście In układu kodowania połączone z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. Każdy z dwóch modułów MSH układu próbkująco-pamiętającego SH zawiera kondensator C oraz łącznik S. Górna okładka kondensatora C jest połączona za pośrednictwem odpowiedniego łącznika S z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH oraz za pośrednictwem przełącznika SW z wyjściem SHout układu próbkująco-pamiętającego SH. Dolna okładka kondensatora C jest połączona z masą układu. Wejścia sterujące obu łączników S oraz przełącznika SW są ze sobą sprzężone i są połączone z wyjściem Sctr licznika modulo dwa CT. Wyjście SHout układu próbkująco- pamiętającego SH jest połączone z wejściem TEMin kodera TEM, który zbudowany w postaci znanego układu Spiking-Neuron zawiera sterowane źródło prądowe, kondensator, komparator, źródło napięcia referencyjnego oraz łącznik. Wyjście TEMout kodera TEM, będące jednocześnie wyjściem Out układu kodowania jest połączone z wejściem sterującym SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH, które jest jednocześnie wejściem licznika modulo dwa CT.

Kodowanie sygnału analogowego w postaci interwałów czasu realizowane, według wynalazku, w pierwszym przykładowym układzie (fig. 1) przebiega następująco. Podczas generowania przez koder TEM interwału czasu T_x układ próbkująco-pamiętający SH utrzymuje na wejściu TEMin kodera TEM próbkę kodowanego sygnału analogowego. Próbka ta reprezentuje wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego pobraną i zapamiętaną przez układ próbkująco-pamiętający SH w momencie zakończenia generowania przez koder TEM poprzedniego interwału czasu T_{x-1}. W wyniku utrzymywania na wejściu TEMin kodera TEM próbki o stałej wielkości, długość interwału czasu T_x generowanego przez koder TEM reprezentuje wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego. Jednocześnie, zakończenie generowania przez koder TEM interwału czasu T_x, sygnalizowane na wyjściu TEMout kodera TEM, powoduje pobranie i zapamiętanie przez układ próbkująco-pamiętający SH następnej próbki kodowanego sygnału analogowego, reprezentującej jego kolejną wartość chwilową, po czym cykl pracy układu powtarza się.

Kodowanie sygnału analogowego w postaci interwałów czasu realizowane, według wynalazku, w drugim przykładowym układzie (fig. 2) przebiega następująco. Podczas generowania przez koder TEM interwału czasu T_x koder TEM utrzymuje na swym wyjściu TEMout stan niski (fig. 4). Stan ten, podawany poprzez wejście sterujące SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH na sprzężone ze sobą wejścia sterujące łączników S i przełącznika SW, powoduje otwarcie łącznika S górnego modułu MSH układu próbkująco-pamiętającego SH i odłączenie kondensatora C górnego modułu MSH od wejścia SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób górny moduł MSH jest utrzymywany w trybie pamiętania. Stan niski podawany na wejście sterujące przełącznika SW powoduje przełączenie przełącznika SW w górne położenie i połączenie wejścia TEMin kodera TEM z kondensatorem C górnego modułu MSH. Kondensator ten utrzymuje na wejściu TEMin kodera TEM stałe napięcie, odpowiadające wartości chwilowej kodowanego sygnału analogowego, zapamiętane w momencie zakończenia generowania przez koder TEM poprzedniego interwału czasu T_{x-1}. Stan niski podawany na wejście sterujące łącznika S dolnego modułu MSH układu próbkująco-pamiętającego SH powoduje zamknięcie łącznika S dolnego modułu MSH i połączenie kondensatora C dolnego modułu MSH z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób dolny moduł MSH jest utrzymywany w trybie próbkowania, a napięcie panujące na kondensatorze C dolnego modułu MSH podąża za zmianami wielkości kodowanego sygnału analogowego.

W chwili zakończenia generowania przez koder TEM interwału czasu T_x i jednoczesnego rozpoczęcia generowania interwału czasu T_{x-1} wyjście TEMout kodera TEM jest przełączane w stan wysoki (fig. 4). Stan ten podawany, poprzez wejście sterujące SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH, na sprzężone ze sobą wejścia sterujące łączników S i przełącznika SW powoduje otwarcie łącznika S dolnego modułu MSH i odłączenie kondensatora C dolnego modułu MSH od wejścia SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób na kondensatorze C dolnego modułu MSH jest zapamiętywane napięcie odpowiadające wartości chwilowej kodowanego sygnału analogowego w momencie zakończenia generowania przez koder TEM interwału czasu T_x, a dolny moduł MSH jest przełączany w tryb pamiętania. Stan wysoki podawany na wejście sterujące przełącznika SW powoduje przełączenie przełącznika SW w dolne położenie i połączenie wejścia TEMin kodera TEM z kondensatorem C dolnego modułu MSH. Kondensator ten utrzymuje na wejścia TEMin kodera TEM zapamiętane, stałe napięcie. Stan wysoki podawany na wejście sterujące łącznika S górnego modułu MSH powoduje zamknięcie łącznika S górnego modułu MSH i połączenie kondensatora C górnego modułu MSH z wejściem SHin

układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób górny moduł MSH jest utrzymywany w trybie próbkowania, a napięcie panujące na kondensatorze C górnego modułu MSH podąża za zmianami wielkości kodowanego sygnału analogowego.

W chwili zakończenia generowania przez koder TEM interwału czasu T_{x-1} i jednoczesnego rozpoczęcia generowania interwału czasu T_{x-2} wyjście TEMout kodera TEM jest ponownie przełączane w stan niski (fig. 4) i cykl pracy układu powtarza się.

Kodowanie sygnału analogowego w postaci interwałów czasu realizowane, według wynalazku, w trzecim przykładowym układzie (fig. 3) przebiega następująco. Podczas generowania przez koder TEM interwału czasu T_x licznik modulo dwa CT utrzymuje na swym wyjściu Sctr stan niski (fig. 5). Stan ten, podawany na sprzężone ze sobą wejścia sterujące łączników S i przełącznika SW, powoduje otwarcie łącznika S górnego modułu MSH układu próbkująco-pamiętającego SH i odłączenie kondensatora C górnego modułu MSH od wejścia SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób górny moduł MSH jest utrzymywany w trybie pamiętania. Stan niski podawany na wejście sterujące przełącznika SW powoduje przełączenie przełącznika SW w górne położenie i połączenie wejścia TEM in kodera TEM z kondensatorem C górnego modułu MSH. Kondensator ten utrzymuje na wejście TEHin kodera TEM stałe napięcie, odpowiadające wartości chwilowej kodowanego sygnału analogowego, zapamiętane w momencie zakończenia generowania przez koder TEM poprzedniego interwału czasu T_{x-1}. Stan niski podawany na wejście sterujące łącznika S dolnego modułu MSH układu próbkująco-pamiętającego SH powoduje zamknięcie łącznika S dolnego modułu MSH i połączenie kondensatora C dolnego modułu MSH z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób dolny moduł MSH jest utrzymywany w trybie próbkowania, a napięcie panujące na kondensatorze C dolnego modułu MSH podąża za zmianami wielkości kodowanego sygnału analogowego.

W chwili zakończenia generowania przez koder TEM interwału czasu T_x i jednoczesnego rozpoczęcia generowania interwału czasu T_{x-1} na wyjściu TEMout kodera TEM jest generowany krótki impuls (fig. 5). Impuls ten podany, za pośrednictwem wejścia SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH, na wejście licznika modulo dwa CT powoduje przełączenie wyjścia Sctr licznika CT w stan wysoki (fig. 5). Stan ten, podawany na sprzężone ze sobą wejścia sterujące łączników S i przełącznika SW, powoduje otwarcie łącznika S dolnego modułu MSH i odłączenie kondensatora C dolnego modułu MSH od wejścia SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób na kondensatorze C dolnego modułu MSH jest zapamiętywane napięcie odpowiadające wartości chwilowej kodowanego sygnału analogowego w momencie zakończenia generowania przez koder TEM interwału czasu T_x, a dolny moduł MSH jest przełączany w tryb pamiętania. Stan wysoki podawany na wejście sterujące przełącznika SW powoduje przełączenie przełącznika SW w dolne położenie i połączenie wejścia TEMin kodera TEM z kondensatorem C dolnego modułu MSH. Kondensator ten utrzymuje na wejścia TEMin kodera TEM zapamiętane, stałe napięcie. Stan wysoki podawany na wejście sterujące łącznika S górnego modułu MSH powoduje zamknięcie łącznika S górnego modułu MSH i połączenie kondensatora C górnego modułu MSH z wejściem SHin układu próbkująco-pamiętającego SH. W ten sposób górny moduł MSH jest utrzymywany w trybie próbkowania, a napięcie panujące na kondensatorze C górnego modułu MSH podąża za zmianami wielkości kodowanego sygnału analogowego.

chwili zakończenia generowania przez koder TEM interwału czasu T_{x-1} i jednoczesnego rozpoczęcia generowania interwału czasu T_{x-2} na wyjściu TEMout kodera TEM jest generowany kolejny krótki impuls (fig. 5). Impuls ten podany, za pośrednictwem wejścia SHctr układu próbkująco-pamiętającego SH, na wejście licznika CT powoduje ponowne przełączenie wyjścia Sctr licznika CT w stan niski (fig. 5) i cykl pracy układu powtarza się.

Wykaz oznaczeń na rysunku

In	wejście układu kodowania
Out	wyjście układu kodowania
TEM	koder TEM
TEMin	wejście kodera TEM
TE Mout	wyjście kodera TEM
SH	układ próbkująco-pamiętający
SHin	wejście układu próbkująco-pamiętającego SH
SHout	wyjście układu próbkująco-pamiętającego SH
SHctr	wejście sterujące układu próbkująco-pamiętającego SH
CT	licznik modulo dwa

Sctr	wyjście licznika modulo dwa
MSH	moduł układu próbkująco-pamiętającego SH
S	łącznik
SW	przełącznik
C	kondensator

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób kodowania sygnału analogowego w postaci interwałów czasu polegający na generowaniu za pomocą kodera TEM interwałów czasu, których długość reprezentuje wartość sygnału analogowego, **znamienny tym**, że podczas każdego generowanego interwału czasu na wejściu kodera TEM utrzymuje się, za pomocą układu próbkująco-pamiętającego (SH), sygnał o stałej wielkości, reprezentującej wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego w momencie zakończenia generowania poprzedniego interwału czasu.
2. Sposób, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wartość chwilową kodowanego sygnału analogowego próbkuje się i jednocześnie zapamiętuje za pomocą układu próbkująco-pamiętającego (SH) w momencie zakończenia generowania interwału czasu przez koder TEM.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że na wejściu kodera TEM utrzymuje się sygnał o stałej wielkości za pomocą jednego z modułów (MSH) układu próbkująco-pamiętającego (SH) i równocześnie próbkuje się aktualną wartość kodowanego sygnału analogowego za pomocą innego z modułów (MSH) układu próbkująco-pamiętającego (SH), a w chwili zakończenia generowania każdego interwału czasu moduły (MSH) układu próbkująco-pamiętającego (SH) cyklicznie zamieniają się rolami.

Rysunki

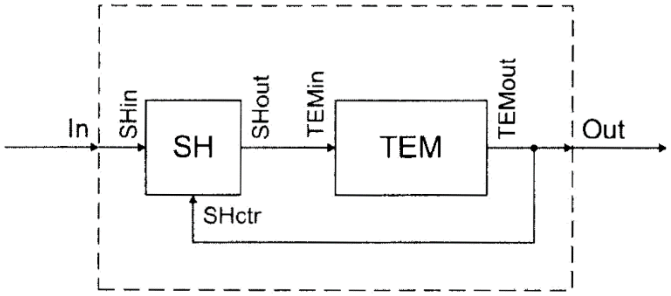

Fig. 1

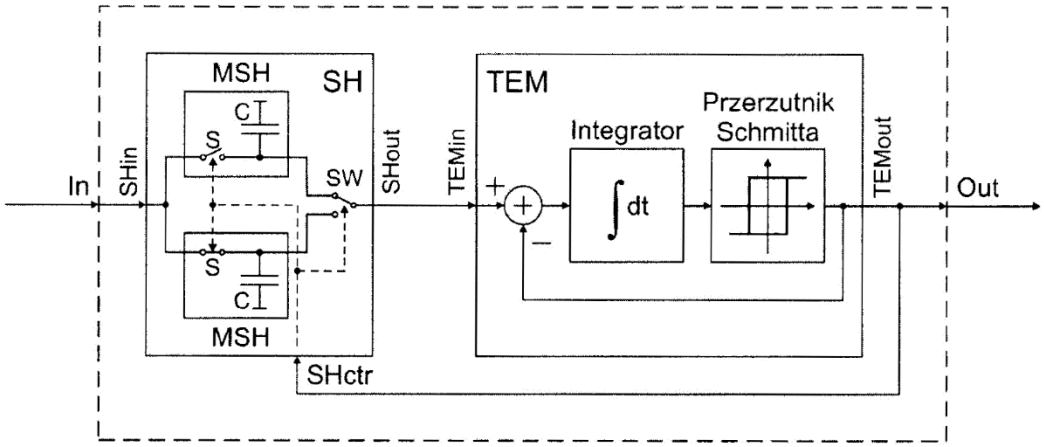

Fig. 2

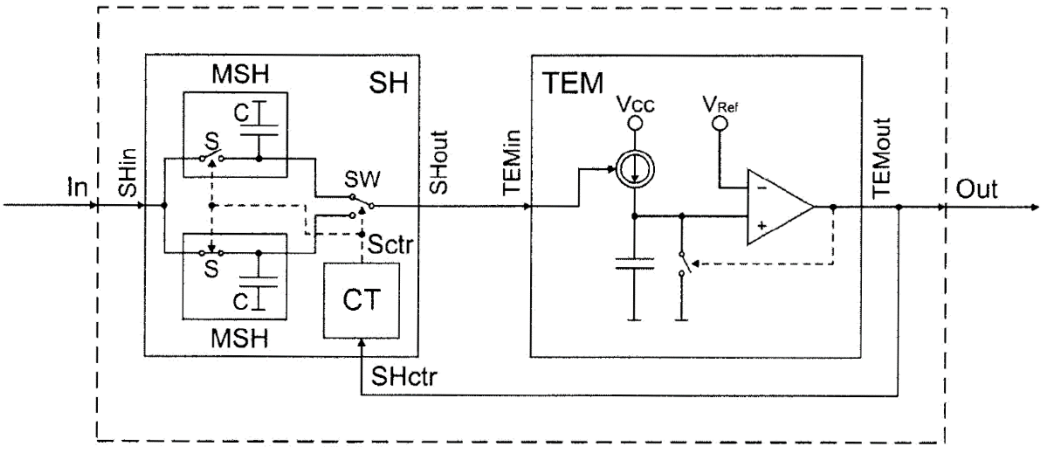

Fig. 3

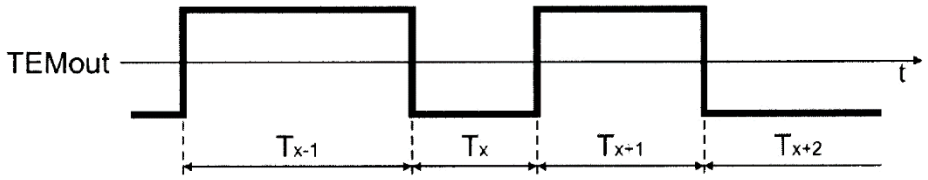

Fig. 4

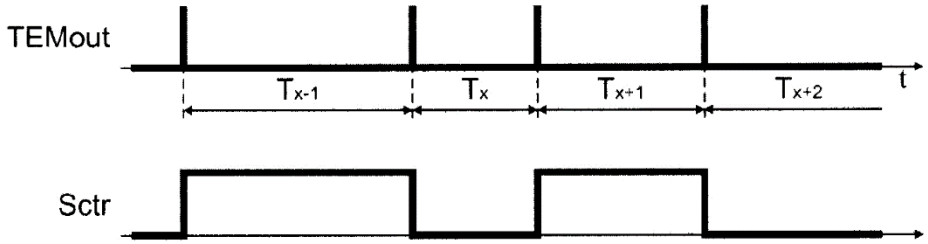

Fig. 5

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)