

Wojciech MIELCZAREK

Instytut Informatyki
Czasu Rzeczywistego
Politechniki Śląskiej

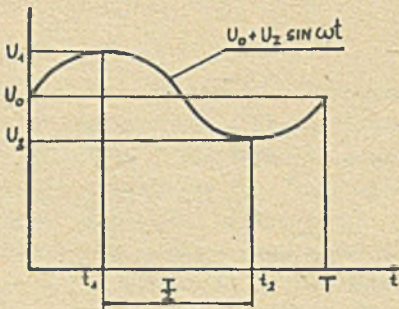
SYSTEMY WEJŚĆ ANALOGOWYCH Z PRZETWARZANIEM SYGNAŁÓW
OPARTYM NA METODZIE UŚREDNIANIA ARYTMETYCZNEGO

Streszczenie: Wprowadzenie do komputera pomiarowych sygnałów analogowych, obarczonych silnymi sygnałami zakłócającymi, zmusza do projektowania systemów wejść analogowych pod kątem dobrego tłumienia sygnałów zakłócających. Jednym ze sposobów filtracji zakłóceń szeregowych jest wstępne przetworzenie sygnału wejściowego przed właściwą konwersją A/C, przy czym od wyboru funkcji przetwarzającej zależy nie tylko odporność systemu na zakłócenia ale również i jego szybkość. Niniejszy artykuł przedstawia konfiguracje systemów wejść analogowych przetwarzających sygnały wejściowe metodą uśredniania arytmetycznego. Systemy te charakteryzują się dobrym tłumieniem zakłóceń sinusoidalnych o częstotliwości sieci energetycznej oraz jej nieparzystych harmonicznych, jak również znacznie większą szybkością niż szybkość powszechnie stosowanych systemów z przetwarzaniem integracyjnym.

1. WSTĘP

Wprowadzanie do komputera sygnałów analogowych, obarczonych silnymi sygnałami zakłócającymi, zmusza do projektowania systemów wejść analogowych nie tylko pod kątem ich właściwości metrologicznych (dokładności, liniowości), ale przede wszystkim pod kątem ich odporności na typowe zakłócenia. Trudno tu jednak pogodzić szereg istotnych wymagań, głównie wymaganie dobrego tłumienia sygnałów zakłócających z wymaganiem żądanej szybkości pomiarów. Powszechnie spotykane systemy wejść analogowych nie spełniają na ogół jednocześnie obu określonych wyżej wymagań. Systemy z integracyjnym konwerterem A/C, jakkolwiek bardzo dobrze tłumią zakłócenia, posiadają długie czasy przetwarzania. Systemy z kompensacyjnym konwerterem A/C są natomiast szybkie, ale za to mało odporne na zakłócenia, co zmusza do stosowania na ich wejściach filtrów dolnoprzepustowych.

Rozsądnym kompromisem wydaje się tu rozwiązanie systemu wejść analogowych, oparte na przetwarzaniu sygnału wejściowego metodą uśredniania arytmetycznego [1]. Przetwarzanie takie polega na pobraniu dwóch próbek syg-



U_0 - SYGNAŁ POMIAROWY
 $U_2 \sin \omega t$ - SYGNAŁ ZAKŁÓCAJĄCY

Rys. 1. Zasada tłumienia zakłóceń sinusoidalnych metodą uśredniania arytmetycznego

patrzyste harmoniczne. System oparty na przedstawionym wyżej przetwarzaniu jest natomiast nieodporny na szereg innych, podstawowych zakłóceń, takich jak chociażby zakłócenia sinusoidalne o częstotliwości nie związanej z częstotliwością sieci energetycznej, czy też zakłócenia impulsowe (o ile pojawiają się w chwilach próbkowania sygnału). W takim przypadku konieczne jest zastosowanie filtrów dolnoprzepustowych na wejściach systemu, co oczywiście ogranicza jego szybkość.

2. KONFIGURACJE SYSTEMÓW WEJŚĆ ANALOGOWYCH WYKORZYSTUJĄCYCH METODĘ UŚREDNIANIA ARYTMETYCZNEGO DO FILTRACJI ZAKŁÓCEŃ POCHODZĄCYCH OD SIECI ENERGETYCZNEJ

Dobre tłumienie zakłóceń sinusoidalnych, związanych z oddziaływaniem sieci energetycznej na obwód pomiarowy, osiąga się przy przetwarzaniu metodą uśredniania arytmetycznego poprzez spełnienie następujących warunków:

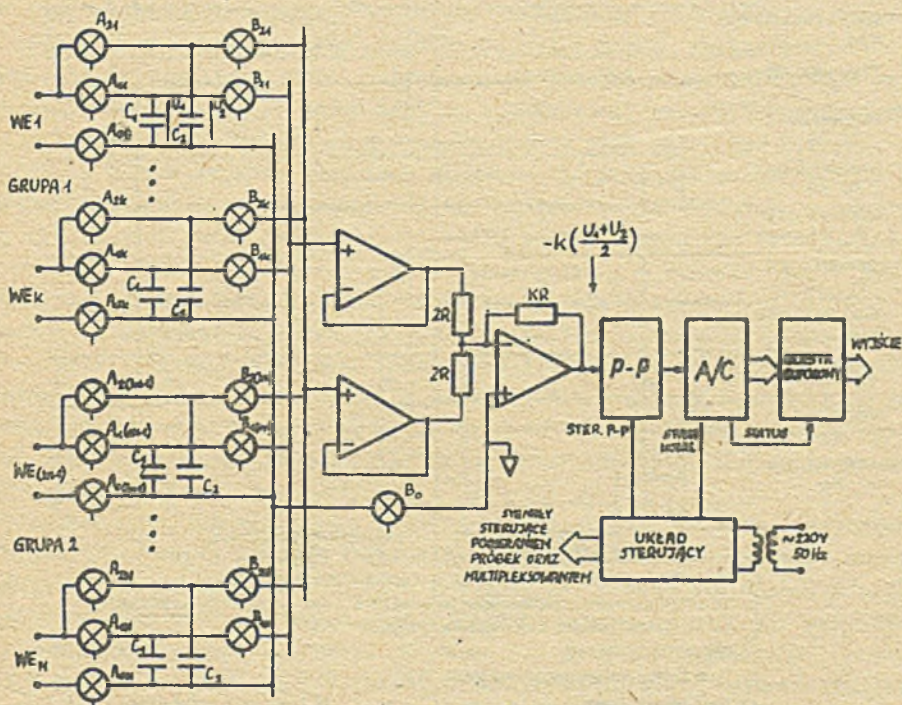
1. Odległość pomiędzy próbkami sygnału wejściowego powinna być równa połowie aktualnej wartości okresu sygnału zakłócającego, pochodzącego od sieci energetycznej. Wymaga to synchronizacji układu sterującego systemem wejść analogowych, odpowiedzialnego za określenie momentów próbkowania, z sygnałem sieci energetycznej.
2. Próbkę powinny być pobierane w punktach ekstremum sinusoidalnego sygnału zakłócającego (rys. 1), co gwarantuje najmniejsze zmiany współczynnika KMRP przy nieidealnej synchronizacji układu sterującego z sygnałem sieci energetycznej.

nału wejściowego w momentach czasu odległych od siebie o połowę okresu sygnału zakłócającego, a następnie na określenie ich średniej arytmetycznej (rys. 1).

$$\frac{U_1 + U_2}{2} = U_0$$

Tłumienie zakłóceń metodą uśredniania arytmetycznego dwóch próbek sygnału wejściowego nadaje się przede wszystkim do filtracji zakłóceń sinusoidalnych. Jeżeli odległość pomiędzy próbkami będzie ustalona i równa 10 ms, odfiltrowane zostanie zakłócenie pochodzące od sieci energetycznej oraz jego nie-

Na rysunku 2 przedstawiono wielokanałowy system wejść analogowych przetwarzający sygnały wejściowe w oparciu o metodę uśredniania arytmetycznego, spełniający sformułowane powyżej wymagania dobrego tłumienia sinusoidalnych zakłóceń szeregowych, pochodzących od sieci energetycznej. Przebiegi czasowe sygnałów sterujących pracą tego systemu przedstawia natomiast rys. 3.



Rys. 2. System wejść analogowych z całkowicie analogową realizacją uśredniania arytmetycznego

Przetwarzanie sygnałów znajdujących się na wejściach systemu zorganizowano w przedstawiony poniżej sposób.

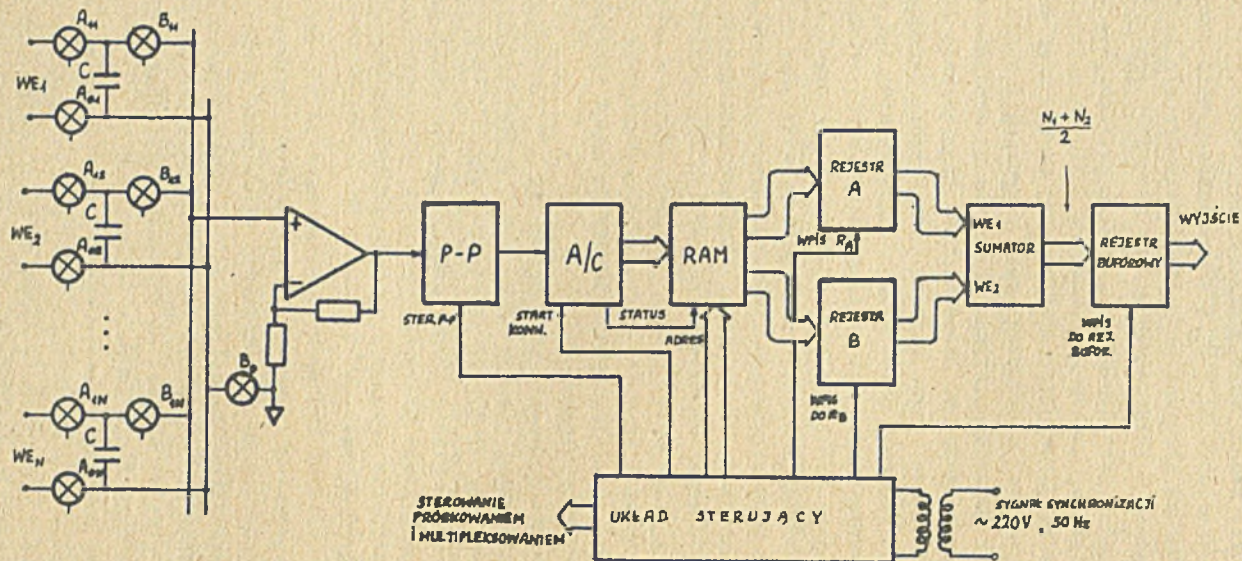
Wejścia systemu zostały podzielone na dwie grupy po k wejść w każdej grupie ($k+k = N$). Przyjęto, że kondensatory C_1 służą do zapamiętania wartości pierwszej próbki poszczególnych sygnałów wejściowych, a kondensatory C_2 zapamiętują drugą próbkę. Sterowanie zrealizowane jest tak, aby podczas pobierania drugiej próbki sygnałów, znajdujących się na wejściach grupy pierwszej, pobierano jednocześnie pierwszą próbkę sygnałów obecnych na wejściach grupy drugiej. W ten sposób obie, konieczne do przetwarzania oparte na uśrednianiu arytmetycznym, próbki sygnału wejściowego dostępne są najpierw na kondensatorach C_1 i C_2 grupy pierwszej, a do-

ki sygnałów grupy pierwszej) oraz klucze $A_{0(k+1)}A_{1(k+1)}\dots A_{0N}A_{1N}$ (pobieranie pierwszej próbki sygnałów grupy drugiej), utrzymując wyłączone wszystkie pozostałe klucze multiplexera. Pobieranie próbek polega na ładowaniu się kondensatorów C_1 i C_2 w odpowiadających im obwodach wejściowych złożonych, oprócz kondensatorów, ze źródła sygnału pomiarowego, przewodów doprowadzających i załączonych kluczy multiplexera. Po wyłączeniu kluczy $A_{01}A_{21}, \dots, A_{0k}A_{2k}$ oraz kluczy $A_{0(k+1)}A_{1(k+1)}, \dots, A_{0N}A_{1N}$ pobrane próbki zostają zapamiętane, bowiem kondensatory i klucze multiplexera tworzą prosty układ próbkująco-pamiętający. Od tej chwili mamy do dyspozycji już obie próbki wszystkich sygnałów grupy pierwszej i można rozpocząć ich uśrednianie arytmetyczne, które odbywa się na wzmacniaczu operacyjnym połączonym w układ sumatora dwóch napięć. Przyłączenie zapamiętanych próbek na wejście sumatora odbywa się już sekwencyjnie poprzez klucze $B_{11}B_{21}, \dots, B_{1k}B_{2k}$. Umieszczone na wejściach sumatora wtórniki napięciowe znacznie zwiększają rezystancję obciążenia multiplexera, co zabezpiecza kondensatory pamiętające przed rozładowywaniem się podczas sumowania próbek. Każdy wynik uśredniania zostaje następnie przetworzony w szybkim (np. kompensacyjnym) konwerterze A/C i wprowadzony za pośrednictwem rejestru buforowego na przykład do komputera. Zastosowanie dodatkowego układu próbkująco-pamiętającego na wejściu konwertera A/C pozwala zwiększyć szybkość przetwarzania w systemie, bowiem po zapamiętaniu w układzie próbkująco-pamiętającym wartości średniej próbek obsługiwanego kanału wejściowego można natychmiast przełączyć multiplexer na kanał następny, nie czekając na koniec konwersji analogowo-cyfrowej.

Przetwarzanie (uśrednianie i konwersja A/C) próbek sygnałów wejściowych grupy pierwszej powinno trwać nieco krócej niż $T/2$, ponieważ taki właśnie odcinek czasu dzieli chwile próbkowania. W kolejnym momencie próbkowania pobrana zostanie druga próbka sygnałów grupy drugiej i pierwsza próbka sygnałów grupy pierwszej, po czym, podobnie jak poprzednio przez czas w przybliżeniu równy $T/2$, przetwarzane będą próbki reprezentujące sygnały grupy drugiej.

Na pewno prostsze byłoby sterowanie systemu polegające na pobraniu najpierw pierwszej próbki wszystkich sygnałów wejściowych, potem drugiej próbki, a następnie na przetworzeniu zapamiętanych próbek poprzez ich sekwencyjne przyłączenie na wejście układu przetwarzającego. Takie sterowanie nie pozwala jednak wykorzystać przedziału czasu pomiędzy pobraniem pierwszej i drugiej próbki, co w konsekwencji dwukrotnie zmniejsza ilość możliwych do obsłużenia kanałów wejściowych.

W opisanym powyżej systemie wykorzystano znany sposób multiplexowania, polegający na zastosowaniu tzw. "przełączanego kondensatora" [2]. Takie rozwiązanie wprowadzania sygnałów analogowych charakteryzuje się bardzo dobrym tłumieniem zakłóceń wspólnych (duże CMRR układu przy zachowaniu symetrii obwodu wejściowego). Mimo to jest ono w klasycznych systemach rzadko stosowane ze względu na małą odporność na zakłócenia szerego-



Rys. 4. System wejść analogowych z cyfrową realizacją uśredniania arytmetycznego

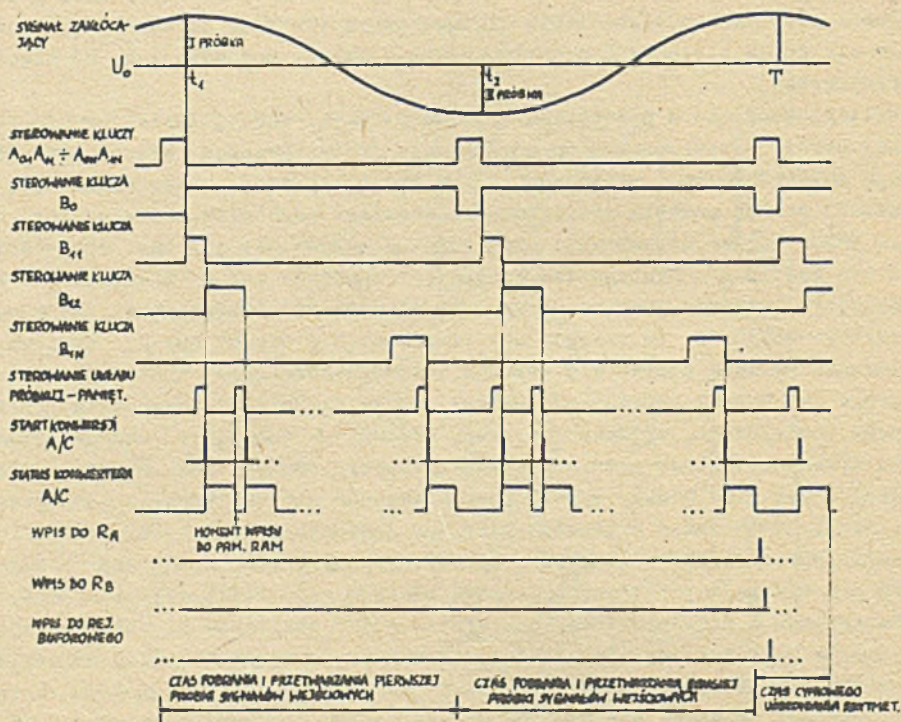
we (kondensator zapamiętuje nie tylko sygnał pomiarowy ale i nałożone na niego zakłócenie). Wada ta nie stanowi jednak żadnej przeszkody przy przetwarzaniu opartym na uśrednianiu arytmetycznym (dotyczy to oczywiście jedynie nie zniekształconych sygnałów zakłócających, pochodzących od sieci energetycznej).

Multipleksowanie z przełączanym kondensatorem, szczególnie w przedstawionej wersji przeznaczonej do uśredniania arytmetycznego, wymaga rozbudowanego multipleksera i związanego z tym skomplikowanego sterowania. Jednocześnie jednak pozwala zrezygnować z drogiego wzmacniacza pomiarowego o dużym CMRR, bowiem uśrednianie arytmetyczne odbywa się już bez obecności napięcia wspólnego. Dlatego też wzmacniacz sumujący można zrealizować w tradycyjnym układzie opartym na prostym wzmacniaczu operacyjnym, którego parametry dobrane są do wymagań metrologicznych i dynamicznych systemu. Skalowanie systemu odbywa się poprzez zmianę wzmocnienia wzmacniacza sumującego lub układu próbkująco-pamiętającego. Kłopotliwe odwrócenie fazy sygnału pomiarowego, wprowadzane przez wzmacniacz sumujący, usunąć można przez wykonanie układu próbkująco-pamiętającego również jako układu odwracającego. Jak więc widać, system charakteryzuje się całkowicie analogową realizacją uśredniania arytmetycznego, co decyduje o jego prostej konfiguracji. Wprowadzany do komputera sygnał cyfrowy jest już sygnałem pomiarowym nie wymagającym dalszego przetwarzania w celu eliminacji zakłóceń.

Na rysunku 4 przedstawiono inny system wejść analogowych, przetwarzający sygnały wejściowe metodą uśredniania arytmetycznego, w którym uśrednianie arytmetyczne zrealizowano całkowicie po stronie cyfrowej systemu. Przebiegi czasowe sygnałów sterujących pracą systemu przedstawiono na rys. 5.

Po załączeniu wszystkich kluczy oznaczonych literą A i wyłączeniu kluczy B, kondensatory C ładują się w swoich obwodach wejściowych do aktualnej wartości odpowiadających im sygnałom wejściowym. Po wyłączeniu kluczy A na każdym z kondensatorów zapamiętana zostaje pierwsza próbka sygnału wejściowego znajdującego się na przyporządkowanym danemu kondensatorowi wejściu systemu. Zapamiętane próbki są następnie kolejno przetwarzane na postać cyfrową i umieszczane w pamięci RAM. Po czasie równym połowie okresu sygnału sieci energetycznej ponownie zamykane są klucze A, a otwierane klucze B. Jest to stan układu odpowiadający pobieraniu drugiej próbki poszczególnych sygnałów wejściowych, która po wyłączeniu kluczy A zostaje, podobnie jak poprzednio, zapamiętana na kondensatorach C. Następuje teraz przetwarzanie na postać cyfrową drugich próbek i zapamiętanie ich w kolejnych komórkach pamięci RAM.

Uśrednianie arytmetyczne dwóch próbek sygnału wejściowego odbywa się w układzie sumatora cyfrowego po uprzednim wprowadzeniu do rejestrów R_A i R_B odpowiednio pierwszej i drugiej próbki przetworzonego sygnału, przechowywanych w pamięci RAM. Dzielenie przez dwa łatwo zrealizować wyprowadzając z sumatora jedynie $n-1$ bitów (n -ilość bitów na wyjściu sumatora), co odpowiada przesunięciu wyjścia o jeden bit w prawo. Inną możliwością

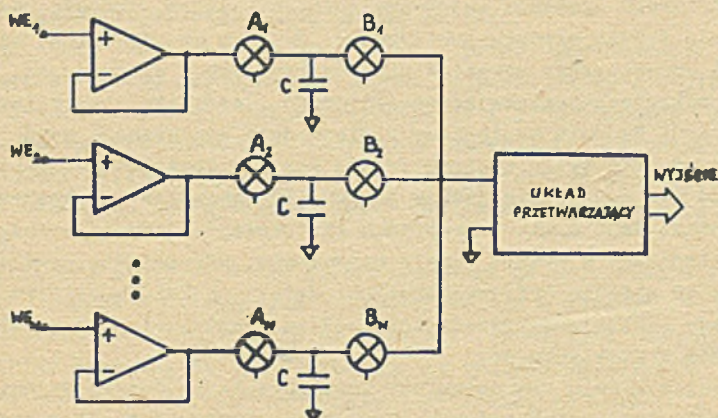


Rys. 5. Przebiegi czasowe sygnałów sterujących pracą systemu z cyfrowym uśrednianiem arytmetycznym

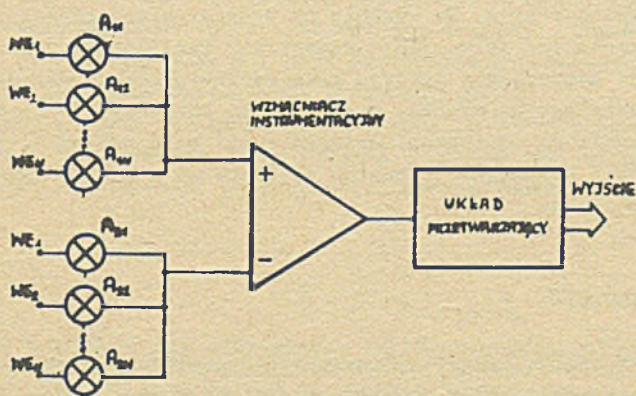
wykonania dzielenia przez dwa jest ustawienie odpowiedniego wzmocnienia wzmacniacza na wyjściu multipleksera. Rejestr buforowy lub ogólniej - specjalizowany układ interfejsu pośredniczy w komunikacji systemu z wybranym urządzeniem (urządzenie rejestrujące wyniki pomiarów, komputer itp.).

W przedstawionym systemie również zastosowano multipleksowanie z pływającym kondensatorem. Rozwiązanie obwodów wejściowych obu prezentowanych systemów (rys. 2 i ryś. 4) jest więc w zasadzie takie samo. Wszystkie zatem zalety i wady związane z przyjęciem takiej konstrukcji wejść są w obu systemach identyczne. W systemie z cyfrowym uśrednianiem wyraźnie prostszy jest jednak multiplekser, ponieważ ten sam kondensator C służy jednocześnie do przechowywania najpierw pierwszej a potem drugiej próbki. Buforujący multiplekser wzmacniacz może również pracować w prostym układzie niesymetrycznym, przy czym należy wybrać strukturę charakteryzującą się dużą rezystancją wejściową w celu nieobciążania kondensatora multipleksera podczas wprowadzania próbki do układu przetwarzającego. Na rysunku 4

a)



b)



Rys. 6. Podstawowe konfiguracje wejść systemów wejść analogowych stanowiące rezystancyjne obciążenie źródła sygnału pomiarowego

a) wejścia niesymetryczne, b) wejścia symetryczne

wzmacniaczem tym jest prosty wzmacniacz nieodwracający, zrealizowany na wzmacniaczu operacyjnym (fakt nieodwracania fazy jest korzystną okolicznością ułatwiającą konstrukcję układu próbkująco-pamiętającego, o ile taki układ zostanie zastosowany na wejściu konwertera A/C).

Podobnie jak w systemie z analogowym uśrednianiem i tu włączenie dodatkowego układu próbkująco-pamiętającego pomiędzy wzmacniacz a konwerter A/C prowadzi do skrócenia czasu przetwarzania i umożliwia zwiększenie ilości obsługiwanych kanałów wejściowych.

Przedstawione na rysunku 2 i 4 systemy stanowią pojemnościowe obciążenie źródła sygnału pomiarowego ze względu na zastosowanie multipleksera z

przełączanym kondensatorem. Na rysunku 6 przedstawiono rozwiązania obwodów wejściowych systemów wejść analogowych, które stanowią rezystancyjne obciążenie źródła sygnału pomiarowego. Wejścia przedstawione na rys. 6a służą do wprowadzania sygnałów niesymetrycznych i wykonane są w postaci układu próbkująco-pamiętającego złożonego z wtórnika napięciowego i kondensatora C. Wrótnik napięciowy posiada dużą rezystancję wejściową i dlatego nieznacznie tylko obciąża źródło sygnału pomiarowego. Takie rozwiązanie wejść nie nadaje się jednak do pomiarów sygnałów obciążonych dużymi zakłóceniami wspólnymi. W przypadku zastosowania jednego układu próbkująco-pamiętającego w każdym kanale wejściowym, uśrednianie arytmetyczne odbywa się po stronie cyfrowej systemu. Jeżeli na każdym wejściu pojawiają się dwa układy próbkująco-pamiętające, możliwa jest analogowa realizacja uśredniania arytmetycznego.

Nieregularne wydaje się natomiast zastosowanie na każdym wejściu systemu wzmacniacza instrumentacyjnego. Wzmacniacz instrumentacyjny stanowi symetryczne obciążenie obwodu wejściowego i umożliwia dobre tłumienie zakłóceń wspólnych i szeregowych już w samym obwodzie wejściowym. Jest jednak przy tym układem drogim. Na rysunku 6b przedstawiono rozwiązanie wejść systemu wykorzystujące tylko jeden wzmacniacz instrumentacyjny. Taka konfiguracja wejść systemu nie sprzyja przetwarzaniu metodą uśredniania arytmetycznego. Poszczególne sygnały wejściowe są sekwencyjnie przyłączane na wejścia wzmacniacza instrumentacyjnego i nie ma możliwości jednoczesnego pobrania próbki wszystkich sygnałów wejściowych w najkorzystniejszym przy tym momencie czasu.

3. PODSUMOWANIE

Zasadniczą zaletą przedstawionych wielokanałowych systemów wejść analogowych, przetwarzających sygnały wejściowe metodą uśredniania arytmetycznego, jest ich odporność na sinusoidalne sygnały zakłócające o częstotliwości sieci energetycznej oraz jej nieparzystych harmonicznych, przy zachowaniu dużej szybkości pomiarów. Chociaż niemożliwe jest uzyskanie wyniku pomiaru jakiegokolwiek sygnału wejściowego w czasie krótszym niż 10 ms, dla układu z uśrednianiem analogowym, i 20 ms, dla układu z uśrednianiem cyfrowym, to po tym czasie uzyskujemy wyniki pomiarów wszystkich sygnałów wejściowych, a nie jak przy przetwarzaniu integracyjnym, jedynie wynik pomiaru jednego sygnału wejściowego. Uśrednianie arytmetyczne sprządza się bowiem do przetwarzania tylko próbek sygnału wejściowego, podczas gdy przetwarzanie integracyjne wymaga obecności sygnału na wejściu systemu co najmniej przez czas całkowania (20 ms). Ceną za takie wyraźne przyspieszenie pomiarów jest gorsze tłumienie bądź zupełny brak odporności na szereg innych, typowych zakłóceń, takich jak: zakłócenia sinusoidal-

ne o częstotliwości nie związanej z siecią energetyczną, zniekształcone zakłócenia energetyczne, zakłócenia impulsowe itp.

Filtrację tych zakłóceń poprawić można poprzez zastosowanie na wejściach systemu filtrów dolnoprzepustowych. Najprostsze wydaje się tu zastosowanie jednobiegunowego, dolnoprzepustowego filtra biernego, złożonego z przełączanego kondensatora i rezystorów na wejściach systemu. Filtr dolnoprzepustowy wyraźnie wydłuża jednak czas pobierania próbek, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia liczby możliwych do obsłużenia kanałów wejściowych.

Zwróćmy jeszcze uwagę na fakt, że prezentowane na rysunkach 3 i 5 przebiegi czasowe sygnałów sterujących są przedstawione w sytuacji, gdy o szybkości systemu decydują jedynie właściwości dynamiczne układów wchodzących w skład systemu. Nie przedstawiono tu żadnych ograniczeń wynikłych z właściwości urządzenia "odbierającego" wyniki pomiarów z systemu wejść analogowych. Urządzenie to będzie miało zasadniczy wpływ na rzeczywistą szybkość pracy systemu. Przy nieuwzględnianiu ograniczeń związanych z szybkością wyprowadzania wyników pomiarów z systemu można stwierdzić, że o liczbie kanałów wejściowych systemu decyduje przede wszystkim stała czasowa obwodu wejściowego i czas przetwarzania konwertera A/C (stąd powinien to być konwerter szybki, np. kompensacyjny).

Przedstawione systemy posiadają swoje własne układy sterujące, co pozwala im na pracę autonomiczną. Mogą również pracować jako urządzenia wejściowe dowolnego komputera za pośrednictwem specjalizowanego interfejsu.

LITERATURA

- [1] MIELCZAREK W.: Tłumienie szeregowych zakłóceń sinusoidalnych przy przetwarzaniu analogowo-cyfrowym napięć stałych metodą uśredniania arytmetycznego. Zeszyty Naukowe Pol.Śl., seria "Informatyka" z. 3, Gliwice 1981.
- [2] Analog-Digital Conversion Handbook. Analog Devices, Inc. Norwood, Massachusetts 02062 U.S.A. 1976.
- [3] HENRY W.OTT.: Metody redukcji zakłóceń i szumów w układach elektronicznych. WNT, Warszawa 1979.
- [4] A/D - D/A Design Reference Guide. Analogic, Audubon Road, Wakefield, Massachusetts 01880.
- [5] SZWEDA T.: Telemetria. Poradnik inżyniera. "Zastosowania elektroniki", rozdział VI.2. ss. 598 do 603.

Wpłynęło do Redakcji: 1.09.1981 r.

W ostatecznej formie przyjęto: 3.06.1981 r.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Andrzej Grzywak

СИСТЕМЫ ВВОДА АНАЛОГОВЫХ ДАННЫХ С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ АРИФМЕТИЧЕСКОГО УСРЕДНЕНИЯ

Р е з ю м е

Ввод аналоговых данных в вычислительную машину в среде сильных сигналов помех заставляет проектировать системы аналого-цифровых преобразований, учитывая хорошее подавление сигналов помех. Один из способов фильтрации помех — это исходное преобразование вводного сигнала перед аналого-цифровым преобразованием, причем от выбора преобразовывающей функции зависит не только помехоустойчивость системы, но тоже и ее быстродействие. Настоящая статья представляет конфигурации систем ввода аналоговых данных в вычислительную машину, преобразующие аналоговые сигналы методом арифметического усреднения. Эти системы характеризуются хорошим подавлением синусоидальных помех частотой энергосети, а также ее нечетных гармонических и значительным быстродействием чем скорость общеприменяемых систем с интегрированной обработкой данных.

ANALOG ACQUISITION SYSTEMS APPLYING ARITHMETICAL MAENING

S u m m a r y

Analog data acquisition in a presence of interferences requires designing of analog acquisition systems highly resistant for typical interferences. One of the ways to filter serial interferences is preconverting input signals before the basic A/D conversion, and both, rejection of interferences and systems efective speed, depends on the choosen converting function.

The paper presents the analog data acquisition systems, that convert input signals applying arithmetical maening. These systems ensure good rejection for the interference frequencies at mains or odd harmonics of the mains and much better throughput rate than very popular systems with the integrating A/D converter.