

Maciej NOWIŃSKI

Instytut Elektroniki

Politechnika Śląska

PROSTY PRZEMYSŁOWY MIKROKOMPUTEROWY SYSTEM POMIAROWY ZE ŚWIATŁOWODOWĄ TRANSMISJĄ DANYCH

Streszczenie. Zaprezentowany przemysłowy system pomiarowy dzięki niestandardowemu wykorzystaniu wysokiej klasy monolitycznego przetwornika analogowo - cyfrowego ICL 7135, współpracującego z mikrokomputerem klasy IBM-PC, odznacza się wyjątkową prostotą przy zachowaniu bardzo dobrych parametrów metrologicznych. Separacja galwaniczna mikrokomputera i głowic pomiarowych oraz ich autonomiczne zasilanie umożliwiają pomiary niewielkich napięć nawet w trudnych warunkach środowiskowych i w obecności zakłóceń elektrycznych. Transmisja danych następuje poprzez zwykłe dwuprzewodowe linie elektryczne z optoizolacją o długości do kilkuset metrów lub, w razie konieczności, przez łącza światłowodowe. Prostota interfejsu oraz jego obsługi programowej pozwala na realizację systemu o wielu odseparowanych kanałach.

A simple industrial data acquisition system with fibre-optic data transmission

Summary. This paper presents a simple and inexpensive industrial data acquisition system using the ICL 7135 4.5-digit monolithic analog-to-digital converters in a nonstandard configuration. All converters are fully isolated and the system features high accuracy and resolution also in noisy environment. The data are transmitted from a remote location down a single wire pair for each channel. In necessity, a fibre-optic transmission line could be used. Both the hardware and system software interface for any IBM-PC compatible microcomputer, even in a multichannel version, are also very simple.

Einfaches industrielles messwerterfassungssystem mit lichtwellenleiterdatenbertragung

Zusammenfassung. Im Auftrag wurde ein einfaches und preiswertiges industrielles Datenmeßerfassungssystem mit dem hochwertigen, monolithischen Analog-Digital-Umsetzer ICL 7135 in einer spezialisierten Schaltungsvariante vorgestellt. Die galvanische Trennung von Mikrorechner und der Meßköpfe und die separate Spannungsversorgung ermöglichen es, die Messungen kleiner Spannungen in Anwesenheit von elektrischen Störungen und in den schweren Meßverhältnissen durchzuführen. Die Datenübertragung erfolgt über eine einfache Zweileiterschaltung mit Optokopplung (länge bis Hunderte Meter) oder - wenn es notwendig ist - über einen Lichtwellenleiter. Die einfache Bauweise der Schnittstelle und leichte Programmbedienung ermöglicht es, ein System mit vielen separaten Kanälen zu verwirklichen.

1. WSTĘP

Przemysłowe systemy i sieci pomiarowe powinny spełniać szereg wymagań związanych ze specyfiką ich zastosowań i narażeniem na wiele zagrożeń środowiskowych. Warunki otoczenia zazwyczaj uniemożliwiają instalację mikrokomputera w bezpośredniej bliskości punktu lub punktów pomiarowych, co w istotny sposób wpływać musi na rozwiązania konstrukcyjne systemu pomiarowego. Dotyczy to przede wszystkim najbardziej odpowiedzialnych elementów systemu - przetworników A/C. Bezwzględnie konieczne jest zapewnienie izolacji galwanicznej komputera i oddalonych od niego przetworników oraz prostoty i niezawodności układów transmisji. Szczególnie predysponowane do takich zastosowań są konwertery V/F, odznaczające się wyjątkową łatwością transmisji sygnału wyjściowego poprzez pojedynczą linię światłowodową lub zwykłą linię elektryczną z izolacją optyczną, a także prostotą wielokanałowego interfejsu, brakiem zwrotnych sygnałów sterujących, dużą dynamiką oraz największym z możliwych tłumieniem zakłóceń. Dokładność konwerterów scalonych tego typu nie jest rewelacyjna; skonstruowane z elementów dyskretnych pozwalają na uzyskanie wyraźnie lepszych rezultatów, w granicach 14 - 16 bitów.

Podobną dokładność osiągają standardowe, masowo produkowane przetworniki z podwójnym całkowaniem wykorzystywane w cyfrowych, szczególnie przenośnych, przyrządach pomiarowych. Zastuzenie dobrą reputacją i związanym z tym szerokim rozpowszechnieniem cieszą się przetworniki firmy Intersil, m.in ICL 7106, 7107 o dokładności 3.5 cyfry, 4.5-cyfrowy ICL 7135 oraz przystosowany bezpośrednio do współpracy z komputerem 13-bitowy ICL 7109.

Charakteryzują się one podobnie rozwiązana częścią analogową z autozerowaniem, gwarantującą uzyskanie dużej dokładności i stabilności, małych szumów i dobrego tłumienia zakłóceń. Pewną ich wadę, utrudniającą zastosowanie w systemach przemysłowych, stanowi względna złożoność układów niezbędnych interfejsów przy konieczności zapewnienia separacji galwanicznej. Koszt wielokanałowej linii transmisyjnej długości kilkuset metrów, szczególnie światłowodowej, może wielokrotnie przekraczać koszt pozostałych elementów systemu. Z tych względów w warunkach przemysłowych wchodzić mogą w grę jedynie szeregowo łącza transmisyjne, co z kolei pociąga za sobą konieczność stosowania odpowiednich układów dopasowujących format danych wyjściowych przetworników do sposobu transmisji.

Element ICL 7135 posiada jednak wyprowadzone sygnały, które wykorzystane w niestandardowy sposób umożliwiają obejście tego problemu, pozwalając na użycie najprostszej, jednoprzewodowej linii transmisyjnej oraz równie prostego interfejsu umieszczonego w komputerze.

2. PRZETWORNIK ICL 7135

Układ ICL 7135 jest scalonym przetwornikiem analogowo-cyfrowym z podwójnym całkowaniem. Układ ten, opracowany w firmie Intersil, lecz produkowany także przez innych wytwórców, wykonany jest w technologii CMOS, ma wyjście 4.5 cyfry w kodzie BCD i wymaga jedynie dwóch układów współpracujących - źródła napięcia odniesienia o odpowiedniej stabilności oraz generatora impulsów zegarowych. Przetwornik ICL 7135 charakteryzuje się wieloma

korzystnymi cechami, takimi jak bardzo mały prąd wejściowy (typowo 1pA przy zerowym napięciu wejściowym), różnicowe wejście umożliwiające poprawny pomiar na tle dużego napięcia wspólnego (CMRR = 86dB), wbudowane układy automatycznej polaryzacji oraz autozerowania - ten ostatni zapewnia zerowe wskazania dla zerowego napięcia wejściowego.

Cykl pomiarowy tego przetwornika składa się z czterech faz: autozerowania, ładowania, rozładowania oraz zerowania integratora. Czas trwania fazy autozerowania jest stały i odpowiada 10001 impulsów zegarowych; podobnie czas ładowania (całkowania napięcia wejściowego) jest zawsze równy 10001 taktów zegara. Czas rozładowania (całkowania napięcia odniesienia) jest zmienny i zależy od wartości napięcia wejściowego (0...20000 taktów). Całkowity czas przetwarzania odpowiada 40002 taktom.

Wynik przetwarzania jest wyrażony zależnością:

$$N = 20000(V_x/V_r),$$

gdzie V_x jest napięciem mierzonym, a V_r - wzorcowym.

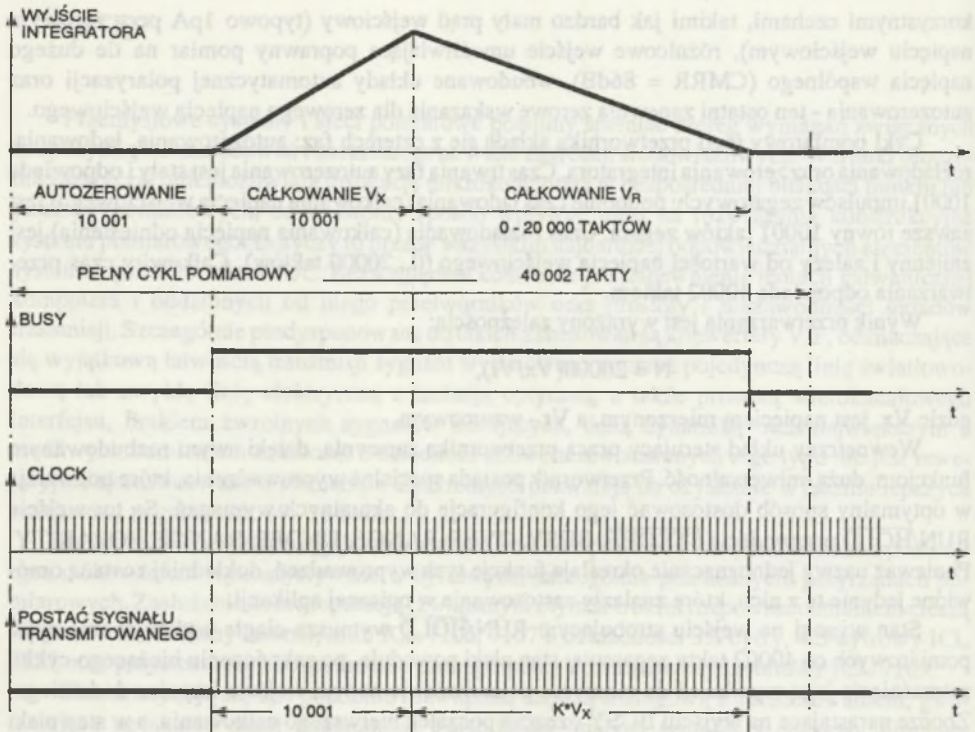
Wewnętrzny układ sterujący pracą przetwornika zapewnia, dzięki swym rozbudowanym funkcjom, dużą uniwersalność. Przetwornik posiada specjalne wyprowadzenia, które pozwalają w optymalny sposób dostosować jego konfigurację do aktualnych wymagań. Są to: wejście RUN/HOLD oraz wyjścia STROBE, BUSY, OVER-RANGE, UNDER-RANGE, POLARITY. Ponieważ nazwy jednoznacznie określają funkcje tych wyprowadzeń, dokładniej zostaną omówione jedynie te z nich, które znalazły zastosowanie w opisanej aplikacji.

Stan wysoki na wejściu strobuującym RUN/HOLD wymusza ciągłe wykonywanie cykli pomiarowych co 40002 takty zegarowe; stan niski powoduje, po zakończeniu bieżącego cyklu, zatrzaśnięcie jego wyniku aż do momentu pojawienia się na tym wejściu impulsu dodatniego. Zbocze narastające na wyjściu BUSY oznacza początek pierwszego całkowania, a w stan niski wyjście to przechodzi przy pierwszym impulsie zegarowym po przejściu integratora przez zero, lub też, w przypadku przekroczenia zakresu, po końcu cyklu pomiarowego. Czas trwania tego sygnału jest zatem zmienny, zależnie od wielkości napięcia wejściowego, i obejmuje - z niewielką poprawką - oba cykle całkowania integratora. Ponieważ czas trwania pierwszego cyklu (całkowania napięcia wejściowego) jest stały i odpowiada 10001 impulsów zegarowych, można na podstawie czasu trwania sygnału BUSY określić czas trwania drugiego cyklu (całkowanie napięcia odniesienia), proporcjonalny do napięcia wejściowego.

Zależności czasowe pomiędzy istotnymi sygnałami elementu ICL7135 przedstawia rys. 1.

3. KONCEPCJA UKŁADU POMIAROWEGO

Omówione powyżej cechy przetwornika ICL 7135 zdecydowały o zastosowaniu go w głowicy pomiarowej projektowanego systemu pomiarowego. Impulsy zegarowe przetwornika, bramkowane przez sygnał BUSY, transmitowane są parą przewodów do odbiornika, którego głównym podzespołem jest programowalny układ czasowy firmy INTEL - 8253. Liczba transmitowanych w jednym "pakiecie" impulsów wyraża się zależnością $20000(V_x/V_r) + 10001$ i po odjęciu stałej wartości 10001 jest proporcjonalna do napięcia wejściowego konwertera. Liczba impulsów zawiera się od 10001 dla zerowego napięcia wejściowego do 30001 dla końca zakresu

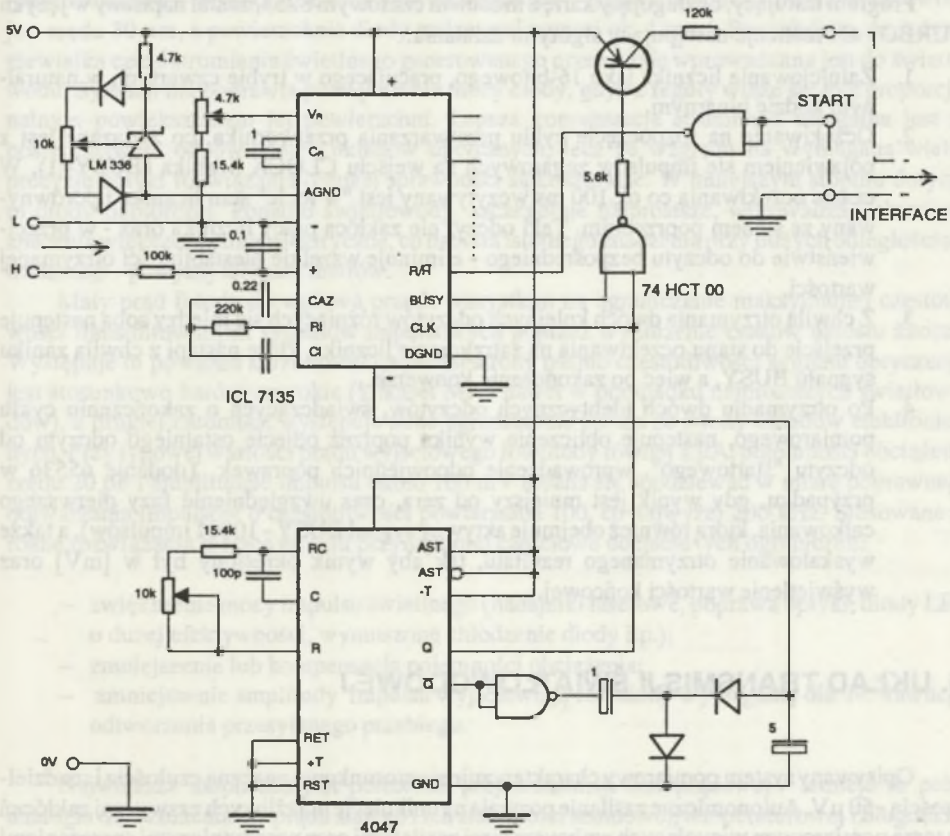


Rys.1. Przebiegi czasowe w przetworniku ICL 7135
Fig.1. ICL 7135 Timing Diagram

przetwarzania, przy stałej długości cyklu pomiarowego wynoszącej 40002 impulsy. Wynika stąd, że zarówno najmniejsza liczba impulsów w "pakiecie", jak i najkrótsza przerwa pomiędzy kolejnymi "pakietami" wynoszą po 10001 impulsów. Pozwala to na prostą i jednoznaczną identyfikację początku i końca każdego "pakietu". W opisywanym układzie każdy z 3 liczników elementu 8253, pracujących w trybie czwartym jako generator pojedynczego impulsu wyzwalany programowo, obsługuje jeden kanał pomiarowy. Wejście bramkujące licznika utrzymywane jest na stałe w stanie wysokim, tak więc po wpisaniu do licznika początkowej wartości rozpoczyna on ciągłe zliczanie impulsów zegarowych. Z chwilą dojścia do zera na wyjściu pojawia się krótki impuls (tu nie wykorzystany). Oznaką zakończenia cyklu pomiarowego jest chwilowe ustabilizowanie się stanu licznika spowodowane przejściem w stan nieaktywny sygnału BUSY, bramkującego zegar przetwornika i wstrzymującego wysyłanie impulsów do interfejsu. Liczbę przesłanych w "pakiecie" impulsów określa różnica kolejnych ustabilizowanych stanów licznika.

4. KONSTRUKCJA MODELU I OPROGRAMOWANIE

Głowica pomiarowa z przetwornikiem, przedstawiona schematycznie na rys.2., zawiera układ ICL 7135 wraz z niezbędnymi elementami biernymi, stabilne źródło napięcia odniesienia zrealizowane na bazie precyzyjnego dwukońcówkowego stabilizatora typu LM 336-2.5, generator zegarowy wykorzystujący układ czasowy 4047, a także bramki CMOS i tranzystorowy stopień końcowy sterujący linią transmisyjną. Linia sterowana jest prądowo w powszechnie przyjętym, aczkolwiek nieformalnym standardzie 20 mA, umożliwiając niezawodne wysteroowanie optoizolatora w interfejsie. Przyjęta częstotliwość sygnału zegarowego 40 kHz nie stawia szczególnych wymagań jakości ani długości linii (w rozsądnych granicach do kilkuset metrów). Jednocześnie częstotliwość ta określa czas pojedynczej konwersji wynoszący ok. 1 s, co jest wartością akceptowalną w większości przewidywanych zastosowań.



Rys.2. Schemat ideowy modułu przetwornika A/C
Fig.2. Analog-to-Digital Converter Unit

W układzie modelowym przewidziano zasilanie autonomiczne z baterii 4 akumulatorów Ni-Cd o pojemności 500 mAh. Rozwiązanie takie jest bardzo pożądane ze względów metrologicznych, a możliwe do przyjęcia ze względu na stosunkowo niewielki pobór prądu zasilania przez układ (kilka mA). Jedynym utrudnieniem jest konieczność generowania ujemnego napięcia zasilania, niezbędnego dla poprawnej pracy przetwornika ICL 7135 oraz ewentualnego opcjonalnego wzmacniacza wstępnego. Napięcie to, o wartości ok. 3.5 V, wytwarzane jest w prostowniku, sterowanym z wyjścia bramki CMOS serii HCT pobudzanej sygnałem zegarowym.

Elementy bierne i wartość napięcia odniesienia przetwornika zostały tak dobrane, aby uzyskać zakres przetwarzania 1.0000 V z rozdzielczością 0.05 mV. Interfejs do mikrokomputera IBM-PC, którego schemat ideowy przedstawia rys. 3, zawiera programowalny układ czasowy 8253, dekodery adresu, pozwalający na wybór jednego z 4 adresów urządzeń I/O mikrokomputera, zespół buforów magistral, układ generacji sygnału gotowości IOCHRDY oraz układ izolacji optycznej.

Program testujący, obsługujący kartę z modułem czasowym 8253, został napisany w języku TURBO - C i realizuje następujący algorytm działania:

1. Zainicjowanie licznika jako 16-bitowego, pracującego w trybie czwartym, w naturalnym kodzie binarnym.
2. Oczekiwanie na rozpoczęcie cyklu przetwarzania przetwornika, co związane jest z pojawieniem się impulsów zegarowych na wejściu CLOCK licznika (BUSY=1). W czasie oczekiwania co ok. 100 ms wczytywany jest "w locie" stan licznika i porównywany ze stanem poprzednim. Taki odczyt nie zakłóca pracy licznika oraz - w przeciwieństwie do odczytu bezpośredniego - eliminuje wszelkie niestabilności otrzymanej wartości.
3. Z chwilą otrzymania dwóch kolejnych odczytów różniących się między sobą następuje przejście do stanu oczekiwania na zatrzymanie licznika, które nastąpi z chwilą zaniku sygnału BUSY, a więc po zakończeniu konwersji.
4. Po otrzymaniu dwóch identycznych odczytów, świadczących o zakończeniu cyklu pomiarowego, następuje obliczenie wyniku poprzez odjęcie ostatniego odczytu od odczytu "startowego", wprowadzenie odpowiednich poprawek (dodanie 65536 w przypadku, gdy wynik jest mniejszy od zera, oraz uwzględnienie fazy pierwszego całkowania, którą również obejmuje aktywny sygnał BUSY - 10001 impulsów), a także wyskalowanie otrzymanego rezultatu, tak aby wynik określony był w [mV] oraz wyświetlenie wartości końcowej.

5. UKŁAD TRANSMISJI ŚWIATŁOWODOWEJ

Opisywany system pomiarowy charakteryzuje się stosunkowo znaczną czułością i rozdzielczością - 50 μ V. Autonomiczne zasilanie pozwala na uniknięcie uciążliwych zazwyczaj zakłóceń w torze pomiarowym wywołanych wpływem sieci zasilającej oraz pasożytniczymi sprzężeniami (także poprzez zasilacze) toru pomiarowego i obiektu. Zasilanie takie ogranicza jednak maksymalną wielkość prądu sterującego linię transmisyjną do wartości akceptowalnej z punktu widzenia poboru mocy zasilania głowicy pomiarowej. Ograniczenie prądu wyjściowego jest

także istotne dla zapewnienia wymaganego często w warunkach przemysłowych iskrobezpieczeństwa aparatury pomiarowej.

Wobec przyjętego kompromisowo stosunkowo wysokiego poziomu sygnału oraz bardzo dobrej - dzięki optoizolacji - odporności na zakłócenia, jako linia transmisyjna stosowana może być w najprostszym przypadku dowolna para przewodów. Przy długości linii elektrycznej przekraczającej kilkaset metrów pojawiają się problemy z właściwym przesyłaniem sygnałów o większych częstotliwościach, związane ze znaczną pojemnością linii oraz jej obustronnym niedopasowaniem. W takich przypadkach, a także przy wyjątkowo wysokim poziomie zakłóceń, celowe stać się może zastosowanie transmisji światłowodowej. Ekonomiczna sensowność takiej opcji wymaga przyjęcia najprostszych rozwiązań, tak aby koszt linii i układu transmisji nie stanowił decydującej części kosztów całego (z założenia prostego) systemu pomiarowego.

Podstawową trudność w realizacji układów transmisji światłowodowej stanowi bardzo mały prąd wyjściowy diody odbiorczej, znacznie mniejszy niż w przypadku transoptorów (optoizolatorów). Wynika to z oczywistych względów - typowa średnica rdzenia światłowodu jest rzędu 30 μm , a powierzchnia diody nadawczej wynosi ok. 1 mm^2 . Powoduje to, że jedynie niewielka część strumienia świetlnego generowanego przez diodę wprowadzana jest do światłowodu. Sytuacji nie poprawia powiększenie mocy diody, gdyż z reguły wiąże się to z proporcjonalnym powiększeniem jej powierzchni. Lepsza koncentracja strumienia osiągalna jest za pośrednictwem odpowiednich układów optycznych, lecz ze względu na wymaganą wielką precyzję optyki rozwiązania o dużej sprawności są kosztowne. W mniejszym stopniu dotyczy to diody odbiorczej. Ponadto światłowody, szczególnie najprostsze, wprowadzają tłumienia znacznie większe niż linie elektryczne, co nabiera istotnego znaczenia przy dużych odległościach transmisji - powyżej kilkuset metrów.

Mały prąd fotodiody wpływa przede wszystkim na ograniczenie maksymalnej częstotliwości transmitowanych sygnałów impulsowych poprzez wydłużenie czasów narostu zboczy. Występuje tu poważna sprzeczność: z jednej strony pasmo częstotliwości sygnału optycznego jest stosunkowo bardzo szerokie (kilkaset MHz nawet w przypadku najprostszych światłowodów), z drugiej natomiast występuje silne ograniczenie pasma ze strony układów elektronicznych. Przy typowej wartości prądu wyjściowego fotodiody równej 1 μA , pojemności obciążenia rzędu 20 pF i amplitudzie impulsu około 100 mV można się spodziewać w miarę poprawnego odtwarzania impulsów o częstotliwości powtarzania 100, co najwyżej 200 kHz. Stosowane są różne rozwiązania mające na celu przynajmniej częściowe obejście tych ograniczeń:

- zwiększenie mocy impulsu świetlnego (nadajniki laserowe, poprawa optyki, diody LED o dużej efektywności, wymuszone chłodzenie diody itp.);
- zmniejszenie lub kompensacja pojemności obciążenia;
- zmniejszenie amplitudy impulsu wyjściowego fotodiody wymaganej dla poprawnego odtworzenia przesyłanego przebiegu.

Największa amplituda jest potrzebna przy transmisji stałoprądowej - istnieje tu pełna analogia do wzmacniaczy prądu stałego i ich stabilności szumowej, temperaturowej i długookresowej. Kodowanie i modulacja sygnału pozwalają na wyraźne obniżenie niezbędnego poziomu. Popularne jest rozwiązanie wykorzystujące detektory szczytowe i odpowiedni układ regulacji, ustalający próg przełączania komparatora wejściowego na poziomie odpowiadającym połowie amplitudy sygnału wyjściowego fotodiody. Związane jest to jednak z koniecznością ciągłej

transmisji sygnału linią światłowodową, nawet wówczas, gdy nie ma informacji do nadawania. Wymagane jest zatem kodowanie pierwotnej informacji cyfrowej, a uniwersalność ulega pogorszeniu - m. in. często nie jest możliwe przesyłanie sygnałów o dowolnie niskiej częstotliwości. W miarę obniżania amplitudy sygnału i podwyższania jego częstotliwości poważniejszego znaczenia nabierają szumowe parametry układu odbiorczego. Ograniczają one także możliwości poprawy parametrów toru transmisyjnego w systemach z modulacją jednej lub kilku częstotliwości nośnych, także w układach rezonansowych.

Obecnie jedynie w wyrafinowanych i kosztownych rozwiązaniach, spotykanych głównie w telekomunikacji i rozległych sieciach komputerowych, uzyskiwane jest pasmo przesyłanych częstotliwości przekraczające 100 MHz. W lokalnych sieciach komputerowych z liniami światłowodowymi powszechnie jest stosowana przepustowość kanału do 10 Mbodów. Są to jednak wartości nieosiągalne w prostych i tanich systemach, wykorzystujących wielosetmetrowej długości światłowody o najgorszych parametrach. W dość popularnej światłowodowej wersji mikrokomputerowego standardu łącza szeregowego RS232 szybkość transmisji najczęściej nie przekracza 19200 bodów, a i to przy niewielkich odległościach.

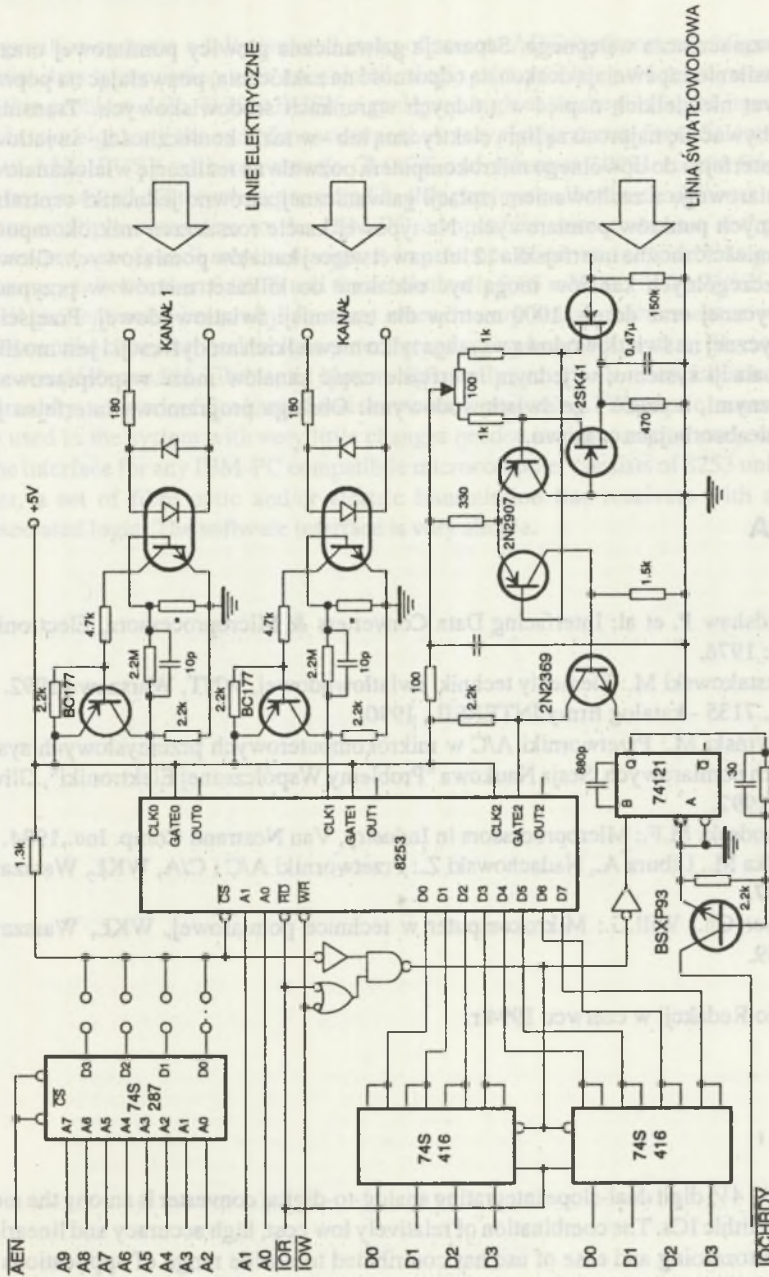
Podstawowym założeniem przyjętym przy opracowywaniu opcjonalnego układu transmisji światłowodowej w opisywanym systemie pomiarowym było przyjęcie uniwersalności głowicy pomiarowej, tak aby bez żadnych zmian możliwe było dołączenie dowolnej linii transmisyjnej - elektrycznej bądź światłowodowej. Minimalne powinny być także niezbędne zmiany w odbiorniku i interfejsie. Wiąże się to z przyjęciem stosunkowo niewielkiej wartości prądu wejściowego układu transmisji - 20 mA. Stwarza to w efekcie istotne problemy natury konstrukcyjnej.

Na podstawie przeprowadzonych licznych eksperymentów, po odrzuceniu rozwiązań wykorzystujących scalone wzmacniacze operacyjne i komparatory, modelowy układ odbiorczy zrealizowano jako klasyczny, dwustopniowy wzmacniacz różnicowy z dodatkowym stopniem formującym. Pierwszy stopień wykonano na tranzystorach unipolarnych; drugi - bipolarnych impulsowych. Elementy układu zostały dobrane w taki sposób, aby możliwe było jego zasilanie pojedynczym napięciem +5 V. Wyjście steruje bezpośrednio wejściem zegarowym modułu 8253 w interfejsie. Rys. 3 przedstawia schemat ideowy 3-kanałowego interfejsu, w którym dwa kanały przystosowano do współpracy z linią elektryczną, a jeden - światłowodową.

W połączeniu z najprostszym krajowym światłowodem kwarcowo - polimerowym długości 400 m wykonany układ transmisji zapewniał poprawny przesył sygnałów impulsowych o częstotliwości do około 100 kHz, spełniając z dużym zapasem postawione wymagania i współpracując bezproblemowo z opisaną głowicą pomiarową.

6. WNIOSKI

Zaprezentowany układ może być pewną alternatywą profesjonalnych, przemysłowych systemów pomiarowych. Pomimo prostoty przyjętych rozwiązań zapewnia uzyskanie zupełnie zadowalających rezultatów przy nieporównywalnie niższych kosztach. Dokładność lepsza od 0.01 % i rozdzielczość $\mu 50$ V przy zakresie 1000 mV są w większości przypadków wystarczające; zakres pomiarowy i rozdzielczość można w stosunkowo nieskomplikowany sposób obniżyć



Rys. 3. Wielokanałowy interfejs do mikrokomputera IBM-PC
Fig. 3. Multichannel Interface for IBM-PC Microcomputer

przez dodanie wzmacniacza wstępnego. Separacja galwaniczna głowicy pomiarowej oraz jej autonomiczne zasilanie zapewniają doskonałą odporność na zakłócenia, pozwalając na poprawne pomiary nawet niewielkich napięć w trudnych warunkach środowiskowych. Transmisja danych może odbywać się najprostszą linią elektryczną lub - w razie konieczności - światłowodową. Prostota interfejsu do dowolnego mikrokomputera pozwala na realizację wielokanałowego systemu pomiarowego z zachowaniem izolacji galwanicznej zarówno jednostki centralnej, jak i poszczególnych punktów pomiarowych. Na typowej karcie rozszerzeń mikrokomputera klasy IBM-PC umieścić można interfejs dla 12 lub nawet więcej kanałów pomiarowych. Głowice pomiarowe poszczególnych kanałów mogą być oddalone do kilkuset metrów w przypadku transmisji elektrycznej oraz do ok. 1000 metrów dla transmisji światłowodowej. Przejście z transmisji elektrycznej na światłowodową wymaga tylko niewielkich modyfikacji i jest możliwe w trakcie eksploatacji systemu; w jednym interfejsie część kanałów może współpracować z liniami elektrycznymi, a część - ze światłowodowymi. Obsługa programowa interfejsu jest bardzo prosta i nieabsorbująca czasowo.

LITERATURA

- [1] Bradshaw P. et al: *Interfacing Data Converters & Microprocessors*, Electronics, Dec 1976.
- [2] Szustakowski M.: *Elementy techniki światłowodowej*, WNT, Warszawa 1992.
- [3] ICL 7135 - katalog firmy INTERSIL, 1990.
- [4] Nowiński M.: *Przetworniki A/C w mikrokomputerowych przemysłowych systemach pomiarowych*, Sesja Naukowa "Problemy Współczesnej Elektroniki", Gliwice, 1992.
- [5] Horodeski M.F.: *Microprocessors in Industry*, Van Nostrand Comp. Inc., 1984.
- [6] Kulka M., Libura A., Nadachowski Z.: *Przetworniki A/C i C/A*, WKŁ, Warszawa 1987.
- [7] Lober Ch., Will.G.: *Mikrokomputer w technice pomiarowej*, WKŁ, Warszawa 1989.

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1994 r.

Abstract

The ICL 7135 $4\frac{1}{2}$ digit dual-slope integrating analog-to-digital converter is among the most widely used monolithic ICs. The combination of relatively low cost, high accuracy and linearity, low input bias, autozeroing and ease of use has contributed to a wide range of applications of this device, especially in portable equipment. The ICL 7135 has multiplexed BCD outputs for driving 7-segment LED or LCD display with associated decoder/driver. Interface to a micro-computer requires a multichannel parallel port or UART. In industrial measurement and data

acquisition systems a fully isolated input of remote ADC is almost an obligatory requirement. Serial data transmission with an isolated single wire pair is a particularly economical solution to this problem. ICL 7135's BUSY signal goes high at the beginning of input signal integrate and stays high until the end of measurement. A very simple means for serial transmitting the data is to AND BUSY with converter's CLOCK and subtract 10001 counts from the number of pulses received. The system presented in this paper uses that method for transmitting the data from multiple converters to the IBM-PC compatible microcomputer and permits precision measurement of small amplitude signals in presence of common-mode voltages and noise. The accuracy is better than 0.01 % and the resolution is 0.05 mV for 1000 mV full-scale input range with excellent noise immunity. In some cases, in very noisy environment or when the distance between the converter and the computer exceeds a few hundreds meters, fibre optic transmission line would be needed. Fibre optic systems inherently provide electrical isolation, EMI/RFI noise immunity, no spark of fire hazard and short circuit protection. Fibre optic transmission unit could be used in the system with very little changes needed in the converter and computer interface. The interface for any IBM-PC compatible microcomputer consists of 8253 universal counter/timer, a set of fibre optic and/or electric transmission line receivers with optoisolation and associated logic. The software interface is very simple.

Using a simulation method for the evaluation of fault coverage in digital circuits

Summary. A new method is proposed with being a simulation method for the evaluation of coverage in a circuit with a pseudo-random test vector set applied to the inputs of the circuit. A set of test vectors is generated algorithmically. The authors describe a simulation system for evaluating fault coverage in the circuit. The system is implemented by test program developed by Linear Feedback Shift Register (LFSR) with different software. The results show that an LFSR with 0 and 1 test vectors. Temporary results obtained with the simulation program.

Применение метода моделирования для оценки процента исправности тест-векторов для цифровых схем

Резюме. В настоящей статье предложена методика оценки процента исправности тест-векторов для цифровой схемы методом моделирования. Для этого предлагается алгоритмический способ генерации тест-векторов и описание компьютерной модели. Авторы описывают систему для оценки процента исправности тест-векторов в цифровой схеме. Система реализована в виде программы, разработанной с применением метода обратных сдвигов. Авторы описывают систему моделирования для оценки процента исправности тест-векторов в цифровой схеме. Система реализована в виде программы, разработанной с применением метода обратных сдвигов. Результаты показывают, что метод моделирования с использованием обратных сдвигов позволяет эффективно оценивать процент исправности тест-векторов в цифровой схеме.