

Jerzy ROJ

PRZYRZĄD MIKROPROCESOROWY DO POMIARU PRZEMIESZCZEŃ LINIOWYCH W ZAKRESIE $0 + 10$ mm

Streszczenie. W artykule opisano sposób pomiaru oraz środki sprzętowe i programowe zastosowane dla celów mierzenia przemieszczeń liniowych w zakresie $0 + 10$ mm z rozdzielczością 10^4 . Przyrząd składa się z czujnika przemieszczenia, którego sygnałem wyjściowym jest napięcie prostokątne o okresie zależnym w przybliżeniu liniowo od przemieszczenia oraz z mikrokomputera o budowie modularnej. Dzięki zastosowaniu standardowych modułów sprzętowych mikroprocesora Z-80 oraz wyspecjalizowanego oprogramowania uzyskano prostą konstrukcję przyrządu, który może być sprzężony z profesjonalnym mikrokomputerem wyposażonym w odpowiednie środki uruchamiania oprogramowania użytkowego. Zastosowanie programowej korekcji błędów liniowości czujnika pozwoliło na uzyskanie błędu pomiaru nie większego niż 0,06 % .

1. Wstęp

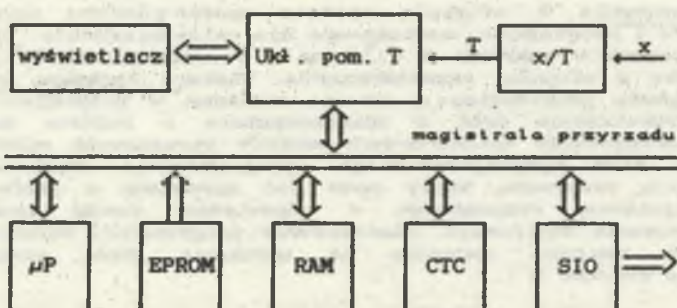
Użycie mikrokomputera do przetwarzania sygnału wyjściowego z czujnika oraz zastosowanie programowej korekcji jego błędów liniowości pozwoliło na zbudowanie przyrządu do pomiaru przemieszczeń liniowych o stosunkowo prostej konstrukcji i rozdzielczości 10^4 w zakresie przetwarzania $0 + 10$ mm z błędem nie przekraczającym 0,06 % . W przyrządzie zastosowano czujnik działający na zasadzie zmiany pojemności kondensatora wewnętrznego na skutek zmiany wzajemnego położenia jego elektrod. Sygnał wyjściowy czujnika jest napięciem prostokątnym o okresie w przybliżeniu proporcjonalnym do przemieszczenia. Błąd liniowości czujnika jest rzędu 0,25 % i zależy od jego parametrów konstrukcyjnych oraz temperatury. Blizsze dane na temat konstrukcji czujnika oraz parametrów metrologicznych podano w pracy [4].

2. Struktura przyrządu

Przyrząd mikroprocesorowy do pomiaru przemieszczeń liniowych został zbudowany w oparciu o kasety uniwersalne typu ZAZ prod. POLON o wymiarach: 265 x 173 x 210 mm, wyposażoną w magistralę umożliwiającą sprzężenie ze sobą do 12 modułów. Na przyrząd składają się następujące moduły:

- układ do pomiaru okresu sprzężony z czujnikiem przemieszczenia wyposażony w wyświetlacz wyniku pomiaru,
- mikrokomputer jednokartowy, zbudowany na mikroprocesorze Z-80 i zawierający 8kB pamięci typu RAM, 16 kB pamięci typu EPROM, układ liczników programowalnych CTC oraz moduł transmisji szeregowej SIO.
- zasilacz.

Strukturę urządzenia przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Schemat blokowy przyrządu mikroprocesorowego do pomiaru przemieszczeń liniowych

Fig.1. The block diagram of the intelligent instrument for measuring linear displacements

Budowa oraz oprogramowanie przyrządu stwarza wiele możliwości jego wykorzystania. Oprócz swego podstawowego zadania, tj. pomiaru przemieszczenia, przyrząd może pracować jako częstotściomierz, samodzielny mikrokomputer, współpracować z monitorem alfanumerycznym oraz z innymi urządzeniami mikroprocesorowymi poprzez szeregowy układ we/wy Z-80 SIO.

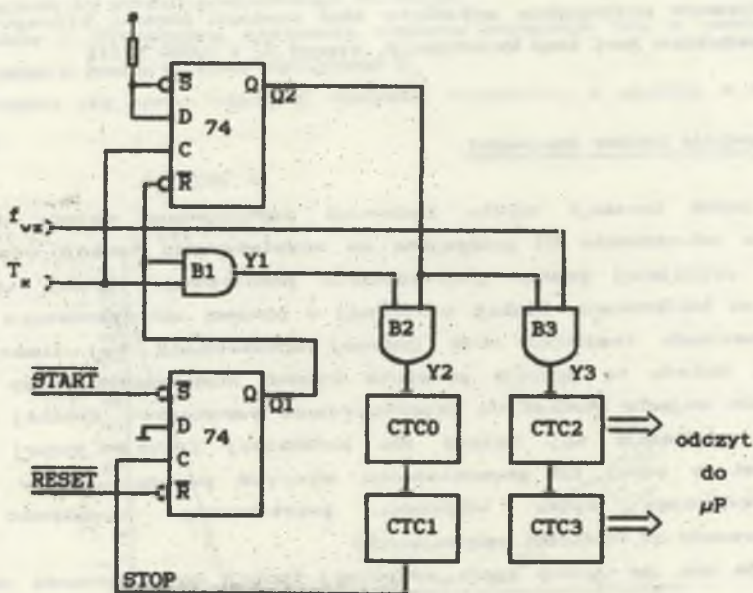
3. Sposób pomiaru okresu

Do pomiaru okresu przebiegu prostokątnego zastosowano w przyrządzie moduł liczników programowalnych Z-80 CTC, który składa się z 4 niezależnych, osmiobitowych liczników wraz z układami sterującymi. Każdy z liczników w zależności od wstępnego zaprogramowania, może pracować jako licznik odejmujący, liczący impulsy wprowadzane z zewnątrz lub jako układ czasowy,

będący licznikiem odejmującym, zliczającym impulsy zegara systemowego. Istotnymi własnościami liczników modułu CTC są ponadto:

- możliwość odczytu stanu wszystkich liczników w dowolnej chwili ich pracy,
- wstępny podział przez 16 lub 256 częstotliwości wejściowej każdego z liczników zaprogramowanych, jako układ czasowy,
- inicjacja zliczania w trybie jako układ czasowy (w zależności od wstępnego zaprogramowania) przez narastające lub opadające zbocze na odpowiednim wejściu bramkującym,
- generowanie pojedynczego impulsu wyjściowego w chwili osiągnięcia stanu zerowego na wyjściu ZC/TO (za wyjątkiem kanału 3).

Wymienione powyżej własności modułu CTC wykorzystano realizując układ do pomiaru okresu, który przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Sposób realizacji pomiaru okresu

Fig.2. The method used for measuring the period

Układ ten działa na zasadzie zliczania impulsów o częstotliwości wzorcowej f_{vz} w czasie określonym przez wielokrotność okresu sygnału wejściowego T_x . Wszystkie liczniki modułu CTC pracują jako liczniki zdarzeń zewnętrznych. Impuls START powoduje pojawienie się na wyjściu pierwszego przerzutnika Q_1 stanu wysokiego i otwarcie bramek B1. Pierwsze narastające zbocze przebiegu mierzonego U_x , które pojawi się po impulsie START spowo-

duże przejście wyjęcia drugiego przerzutnika Q_2 w stan wysoki i otwarcie bramek: B2 i B3. Liczniki CTC2 i CTC3 rozpoczynają zliczanie impulsów przebiegu mierzonego U . Po zliczeniu zadanej liczby impulsów, licznik CTC1 generuje sygnał STOP, który powoduje pojawienie się na wyjściu pierwszego przerzutnika Q_1 stanu niskiego. Pociąga to za sobą zamknięcie bramki B1 oraz pojawienie się stanu niskiego na wyjściu Q_2 drugiego przerzutnika, co powoduje zamknięcie bramek B1 i B2. Można tak dobrać wielokrotność okresu mierzonego dla danej częstotliwości wzorcowej, by zawartość liczników CTC2 oraz CTC3 wskazywała bezpośrednio wartość okresu mierzonego.

Niedokładność tak zrealizowanego sposobu pomiaru okresu zależy od następujących czynników:

- błędu wzorca częstotliwości,
- błędu kwantyzacji,
- błędu przetworzenia zliczonej liczby impulsów na wynik pomiaru.

W zbudowanym przyrządzie wypadkowy błąd pomiaru okresu, którego dominującym składnikiem jest błąd kwantyzacji, wynosi $\delta_T^0 = 0,007 \% [4]$.

4. Korekcja błędów liniowości

Dla celów korekcji błędów liniowości zastosowano metodę opartą na zasadzie odtwarzania [6] polegającą na rozwiązywaniu funkcji odwrotnej do funkcji opisującej proces przetwarzania pomiarowego. Istota tej metody polega na tablicowaniu funkcji odwrotnej w pamięci mikroprocesora w wybranych punktach (węzłach) oraz liniowej aproksymacji tej funkcji między węzłami. Metodę tę cechuje prostota działań numerycznych przy względnie niewielkim zajęciu pamięci na przechowywanie parametrów. Poniżej w skrócie opisano realizację tej metody dla nieliniowej funkcji jednej zmiennej, natomiast w pracy [2] przedstawiono algorytm postępowania w przypadku wielowymiarowego opisu własności przetwornika (zależność funkcji przetwarzania od wielkości wpływających).

Zakłada się, że ogólny zapis odwrotnej funkcji przetwarzania ma postać:

$$x = F(y) \quad (1)$$

gdzie x jest wielkością wejściową, natomiast y wielkością wyjściową przetwornika. Zmienna y w obszarze swojej zmienności jest reprezentowana w wybranych, równooddalonych węzłach przez ciąg próbek:

$$y_0(1), \dots, y_0(n_y), \dots, y_0(N_y) \quad (2)$$

gdzie N_y jest liczbą węzłów

Ocene wielkości wejściowej uzyskuje się na podstawie wyrażenia:

$$\hat{x} = \hat{x}_0 + S_y \Delta y, \quad (3)$$

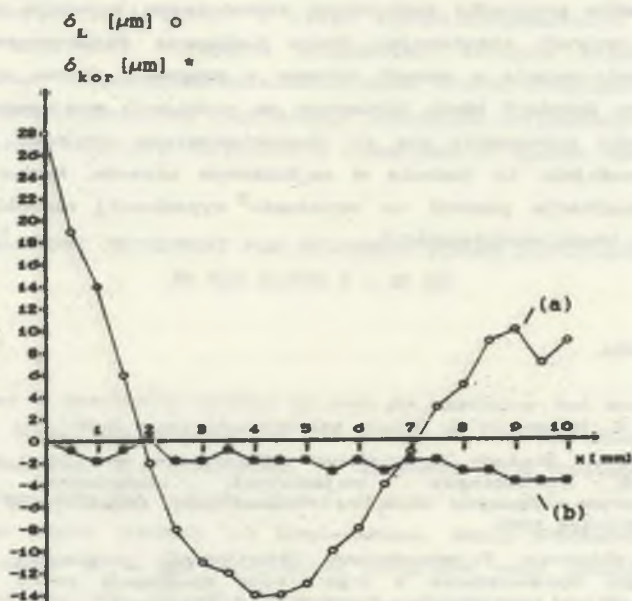
które opisuje procedurę przybliżonego rozwiązywania równania (1), gdzie \hat{x}_0 jest oceną wartości x_0 uzyskaną w wyniku rozwiązania równania (1) w węzle, S_y przybliżonym nachyleniem charakterystyki funkcji odwrotnej między węzłami, a ponadto zachodzi:

$$\Delta y = \bar{y} - y_0, \quad (4)$$

gdzie \bar{y} jest wynikiem pomiaru wielkości wyjściowej, y_0 jest odpowiednią wartością węzłową.

Procedura korekcji błędów statycznych składa się z 3 etapów:

1. Na podstawie wyników pomiarowych wyznacza się wartość węzłową y_0 oraz odległość Δy wyniku pomiarowego od węzła.
2. Zgodnie z wyznaczoną wartością węzłową odszukuje się w pamięci mikroprocesora ocenę \hat{x}_0 oraz nachylenie S_y .
3. Wyznacza się ocenę wartości wielkości wejściowej \hat{x} zgodnie z wyrażeniem (3).



Rys.3. Wykres wypadkowego błędu pomiaru przemieszczenia. Krzywa (a) - bez korekcji. Krzywa (b) - z korekcją błędów liniowości

Fig.3. Resultant error the displacement.(a) - without correction, (b) - with correction

Praktyczne zastosowanie wyżej opisanej węzłowej metody korekcji błędów statycznych w wykonanym przyrządzie do pomiaru przemieszczeń liniowych pozwoliło na zmniejszenie błędu liniowości do wartości $\delta_{kor}^{\circ} = 0,04 \%$ (bez korekcji maksymalny błąd liniowości wynosi $\delta_L^{\circ} = 0,28 \%$). Wykres błędu wypadkowego przemieszczenia w przypadku, gdy nie stosuje się korekcji przedstawia krzywa (a) na rys.3, natomiast krzywa (b) pokazuje wykres tego błędu po zastosowaniu korekcji.

5. Uwagi końcowe

Zastosowanie programowej korekcji błędów liniowości czujnika przemieszczenia pozwoliło na zmniejszenie wartości tych błędów w przybliżeniu o rząd. Dalsze zmniejszenie ich wartości jest możliwe drogą zwiększenia liczby węzłów, lecz w opisanych w artykule warunkach jest to zabieg niecelowy ponieważ po korekcji liniowości inne źródła błędów decydują o wypadkowej niedokładności pomiaru. Główne z nich związane są z temperaturowymi zmianami charakterystyki czujnika oraz histerezą tej charakterystyki. Błędy temperaturowe mogą być korygowane w sposób opisany w artykule. Należy w takim przypadku zastosować równoczesną korekcję błędów liniowości i temperaturowych rozwiązując drogą tablicową dwuargumentową, odwrotną funkcję przetwarzania w sposób opisany w pracy [2]. Można również tą drogą podjąć próby korekcji błędu histerezy na podstawie znajomości punktu pracy oraz kierunku poruszania się po charakterystyce czujnika. Przewiduje się, że autor podejmie te zadania w najbliższym okresie. Można sądzić, że ich pomyślna realizacja pozwoli na uzyskanie wypadkowej niedokładności pomiaru na poziomie błędu rozdzielczości.

LITERATURA

- [1] Fedyna K., Mizeracki M.: Układy mikroprocesorowe Z-80.
- [2] Jakubiec J.: Bieżące programowe odtwarzanie wartości chwilowych dynamicznych przebiegów wejściowych nieliniowych przetworników pomiarowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr 964, Elektryka z. 111, Gliwice 1988.
- [3] Praca zbiorowa: Pojemnościowy przetwornik pomiarowy przemieszczenia liniowego. Sprawozdanie z I-go etapu realizacji pracy w ramach CBPR 7:1 cel 60 p.n. koordynowanej przez PIAP Warszawa.
- [4] Roj J.: Przyrząd mikroprocesorowy do pomiaru przemieszczeń liniowych. Praca dyplomowa. Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Politechniki Śląskiej, Gliwice 1989.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Michał Szyper

Wpłynęło do redakcji dnia 15 marca 1990 r.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
В ДИАПАЗОНЕ 0 + 10 ММ

Р е з ю м е

В статье описан способ измерения, а также технические и программные средства примененные для измерения линейных перемещений в диапазоне 0 + 10 мм с распределительностью 10^4 . Устройство состоит из датчика перемещения, выходном сигналом которого является прямоугольное напряжение с периодом зависящим приблизительно линейно от перемещения, а также из микрокомпьютера модульной конструкции. Благодаря применению стандартных модулей микропроцессора Z-80, а также специализированного программного обеспечения, построено несложное устройство, которое можно связать с профессиональных микрокомпьютером, оснащенный соответствующими средствами отладки программ. Применение программной коррекции погрешностей линейности датчика позволяет получить погрешность измерения не больше чем 0.06%

INTELLIGENT INSTRUMENT FOR MEASURING LINEAR DISPLACEMENT
IN THE RANGE 0 + 10 MM

S u m m a r y

In the paper a measuring method as well as hardware and software means for measuring linear displacement in the range 0 + 10 mm with the resolution 10^4 is described. The instrument is composed of a displacement sensor and a microcomputer. The output signal of the sensor is a voltage, which period depends about linearly on displacement. Using standard modules of the microprocessor Z-80 and specialized programs make possible receiving the simple construction of the instrument, which can be interfaced with professional microcomputer furnished to suitable development means. The programming correction of linearity errors makes possible providing the resultant error less then 0.06%