

Paweł SWORNOWSKI
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Korekcja charakterystyki metrologicznej głowicy przełączającej we współrzędnościowej technice pomiarowej

Dr inż. Paweł SWORNOWSKI

W 2002 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych w zakresie budowy i eksploatacji maszyn na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej. Od 1994 roku jest pracownikiem Instytutu Technologii Mechanicznej na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Autor ponad 50 publikacji i referatów. Aktualny obszar zainteresowań to współrzędnościowa technika.



e-mail: swornowski@wp.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki polepszenia charakterystyki metrologicznej trójpodporowej głowicy przełączającej (impulsowej). Wyeliminowano dwie największe wady tych głowic, a mianowicie iskrzenie na stykach oraz „trójgraniastą” charakterystykę. Zbudowano od podstaw głowicę (PS-3) w której zmodernizowano część mechaniczną polegającą na dodaniu do klasycznego zespołu przełączającego trzech dodatkowych mikroprzełączników oraz umieszczeniu ich pod istniejącymi stykami głównymi głowicy. Dodano również blok elektroniczny, którego zadaniem jest odpowiednie formowanie impulsów wychodzących z głowicy oraz stworzono oprogramowanie, w którym dokonuje się korekcji „surowego” wyniku.

Słowa kluczowe: współrzędnościowa maszyna pomiarowa (WMP), głowica stykowa, korekcja charakterystyki metrologicznej

The Touch-Trigger Probe Metrological Characteristics Correction in the Coordinate Measuring Technique

Abstract

In this article, the result of the metrological characteristic improvement has been presented. The investigation dealt with the pulse probe head with three pillars for Coordinate Measuring Machines, where two problems were to solve: scintillation on the electrical contacts and “triangular” characteristics. The new probe head (PS-3) with modernized mechanics was constructed. To the switching unit were added three more microswitches placed under the main contacts of the head. The additional electronic block was introduced, too, which had to form output pulses and perform calculations. The additional software was to correct the “rough” data.

Keywords: coordinate measuring machine (CMM), trigger probe, metrological characteristic correction

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach można zaobserwować gwałtowny rozwój współrzędnościowej techniki pomiarowej. Pojawiają się nowe rozwiązania techniczne, ale jednocześnie nie można zapomnieć o głowicach impulsowych, które są chyba na dzień dzisiejszy najbardziej rozpowszechnione. Używa się ich bardzo chętnie ze względu na prostą konstrukcję oraz stosunkowo niską cenę.

Jednak nierzadko zapomina się o nie najlepszej charakterystyce metrologicznej wynikającej z jej budowy [1÷6]. Dwie największe wady tego typu głowic to iskrzenie na stykach i nieliniowa charakterystyka, zależna od kierunku dojścia trzpienia do styku z mierzonym przedmiotem. Niedokładność tych głowic charakteryzuje wartość błędów ($2s$), który powiązany jest z rozrzutem sygnału przetwornika w czasie przełączania styków. Aby poprawić właściwości metrologiczne podjęto próbę polegającą na modernizacji części mechanicznej głowicy, opracowaniu bloku elektronicznego i oprogramowania, w którym dokonuje się korekcji “surowego” wyniku. Pierwsza prototypowa konstrukcja głowicy PS-3 (rys.1) miała na celu sprawdzenie w praktyce trafności proponowanych rozwiązań, stąd pewne uproszczenia w całej jej konstrukcji. Aby móc bez ograniczeń eksperymentować postanowiono zbudować głowicę od podstaw na podstawie dostępnej literatury [7, 8]. Wstępna modernizacja polegała na dodaniu do klasycznego zespołu przełączającego trzech dodatkowych mikroprzełączników oraz umieszczeniu ich pod istniejącymi stykami głównymi głowicy. Pierwotnie zastosowano mechaniczne mikroprzełączniki, które później zastąpiono piezoelementami. Dodano również blok elektroniczny, którego zadaniem jest odpowiednie formowanie impulsów wychodzących z głowicy. Należy zwrócić uwagę na to, że prezentowany projekt w żaden sposób nie ingeruje w mechaniczną i elektroniczną strukturę posiadanego systemu pomiarowego opartego na WMP Kemco 600.

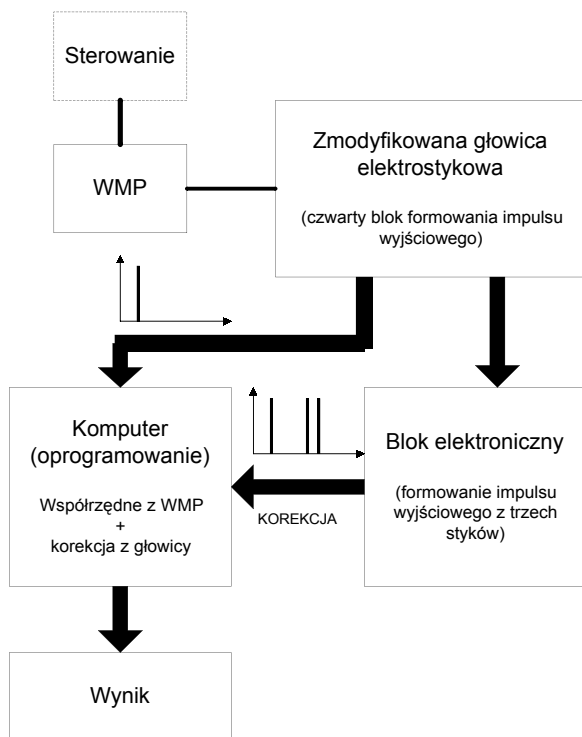


Rys.1 Widok ogólny prototypu głowicy PS-3
Fig.1. General view of the PS-3 probe prototype

2. Korekcja wskazań głowicy

Schemat blokowy układu korekcyjnego, składający się przede wszystkim ze zmodyfikowanej głowicy i bloku elektronicznego, przedstawiono na rys. 2. Zmodyfikowana głowica podłączona jest do układu elektronicznego zawierającego cztery układy formowania impulsów wyjściowych, sumator i układ dopasowujący. Styki główne głowicy podłączono do trzech układów formowania impulsów, które później są sumowane i przekazywane do komputera WMP. Czwarty układ formowania impulsu podłączono do istniejących styków głównych głowicy. Dane korekcyjne przesyłane są do komputera na którym

zainstalowano program obsługujący WMP Kemco po niewykorzystywanym do tej pory złączu COM. Niestety żadna firma zajmująca się techniką współrzędnościową nie udostępnia kodów źródłowych swoich oprogramowań pomiarowych (co jest zresztą zrozumiałe z powodów komercyjnych), a zatem nie jest możliwe w prezentowanym rozwiązaniu korygowania wyniku w trybie „on-line”. Jednak struktura posiadanego oprogramowania pozwala na jednoczesną obsługę złączy COM a to umożliwia zapis pliku z danymi korekcyjnymi. Jako że fabryczne oprogramowanie pracuje w środowisku Windows możliwe jest jednoczesne uruchomienie kilku aplikacji, w tym również programu korekcyjnego napisanego w języku C++, które zbiera dane podczas pracy fabrycznego oprogramowania. Wynik fabrycznego oprogramowania można uzyskać również w trybie tekstowym jako współrzędne punktów pomiarowych co jest niezmiernie pomocne przy dalszych obliczeniach. Po zakończeniu „sesji” pomiarowej na WMP i po wyłączeniu fabrycznego oprogramowania można przystąpić do operacji korekcji wyniku. Sprowadza się ona do „otwarcia” pliku z danymi pomiarowymi uzyskanymi z oprogramowania fabrycznego i wprowadzeniem ich do programu korygującego wynik każdego działania wykonanego uprzednio na WMP.

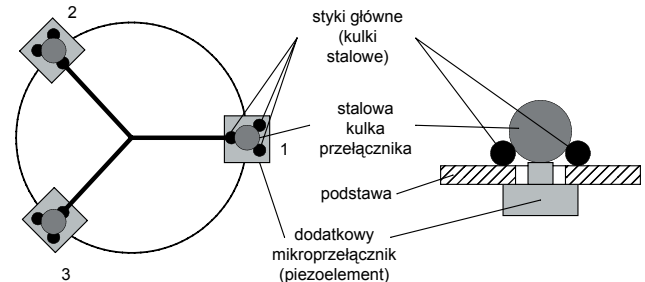


Rys. 2. Schemat blokowy systemu pomiarowego
Fig. 2. Block diagram of the measuring system

3. Układ formowania impulsu

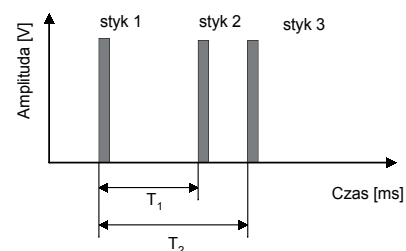
Jeżeli układ cyfrowy sterowany jest przełącznikiem mechanicznym, to istnieje duże prawdopodobieństwo, że na jego wejściu pojawi się zamiast jednego kilka impulsów. Przyczyną tego zjawiska jest przede wszystkim drgania występujące na stykach głównych. Ponieważ układy cyfrowe reagują nawet na bardzo krótkie impulsy rzędu 5ns, zatem wydaje się konieczne stosowanie układu formowania impulsu. W prezentowanym rozwiązaniu zastosowano sprawdzone w praktyce rozwiązanie bazujące na przerzutniku RS wykonanym w technologii CMOS, który ustawia się w określonym stanie już przy pierwszym impulsie doprowadzonym z dowolnego styku 1-3, uniemożliwiając tym samym powstanie zakłóceń (rys.3). Wybrano tą technologię ze względu na jej unikalne właściwości.

Moc pobierana w tego typu układach w warunkach statycznych jest znikoma mała (rzędu nW), natomiast przy przełączaniu wzrasta w przybliżeniu proporcjonalnie do częstotliwości sygnału (ok. $3\mu\text{W}/\text{kHz}$). Zatem przy tak małych wartościach prądu praktycznie nie istnieje zjawisko iskrzenia na stykach. Układy CMOS charakteryzują się ponadto dużą impedancją wejściową (ok. $10^{12}\Omega$) i małą impedancją wyjściową (ok. 500Ω) oraz dużą odpornością na zakłócenia. Dodatkowo układy CMOS są w pełni kompatybilne z układami w technologii TTL. Głowica była testowana na WMP Kemco 600, dlatego wybrano technologię CMOS tak, aby możliwe było dopasowanie elektryczne dodatkowego bloku elektronicznego z już istniejącym w tej maszynie.



Rys. 3. Rozmieszczenie dodatkowych mikroprzełączników
Fig. 3. Places of the additional microswitches

Głowice z przetwornikiem elektrostatycznym obciążone są błędem wynikającym z jej trójramiennej konstrukcji. Aby korekcja charakterystyki metrologicznej głowicy była możliwa do przeprowadzenia należy znać kierunek dojścia sondy do styku z mierzonym przedmiotem. W tym celu umieszczono na specjalnej podstawie trzy mikroprzełączniki dokładnie pod kulkami na końcach ramion głowicy (rys. 3). Każde ramię jest zakończone stalową kulką o średnicy nominalnej $\phi=1\text{mm}$. Ułożyskowanie tej kulki uzyskano za pomocą trzech mniejszych stalowych kulek o średnicy nominalnej $\phi=0.1\text{mm}$ W pozycji spoczynkowej wszystkie trzy przełączniki są zwarte; powoduje to sprężyna dociskowa. W chwili wychylenia trzpienia pomiarowego następuje rozwarcie styku głównego (lub styków) głowicy i odpowiedniego mikroprzełącznika. Każdy z trzech mikroprzełączników ma swój układ formowania impulsu, którym jest multiwibrator astabilny wykonany również w technologii CMOS. Po rozwarciu styku układ ten generuje tylko jeden impuls wyjściowy (rys. 4).



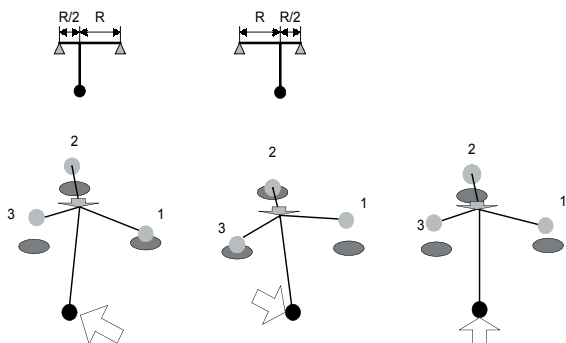
Rys. 4. Pomiar opóźnień między rozwarciem poszczególnych styków
Fig. 4. Measurement of the delay between opening of the each contact switch

Głowice elektrostatyczne trójpunktowe są szczególnie wrażliwe na kierunek wychylenia trzpienia względem punktów podparcia. Ta właściwość tego typu głowicy powoduje zniekształcenie charakterystyki metrologicznej. Zależność od kierunku wychylenia trzpienia powoduje to, że styki rozwierają się z różną prędkością. W tym przypadku jest to w pełni mierzalny parametr, który można wykorzystać do korygowania charakterystyki głowicy. Mierząc czas T_i między poszczególnymi impulsami, bezpośrednio powiązanymi ze stykami można określić, który styk (lub styki) został otwarty oraz w jakiej kolejności to nastąpiło. Przy rozwieraniu styków mogą wystąpić trzy następujące przypadki (rys. 5):

- Rozwarłe dwa styki a trzeci zwarty,

- Rozwarty jeden styk a dwa zwarte,
- Rozwarte wszystkie trzy styki.

W praktyce najczęściej występuje przypadek drugi, natomiast rozwarcie wszystkich styków następuje, gdy dokonuje się pomiaru w pionie.



Rys. 5. Trzy możliwe przypadki występujące przy wychyleniu trzpienia pomiarowego

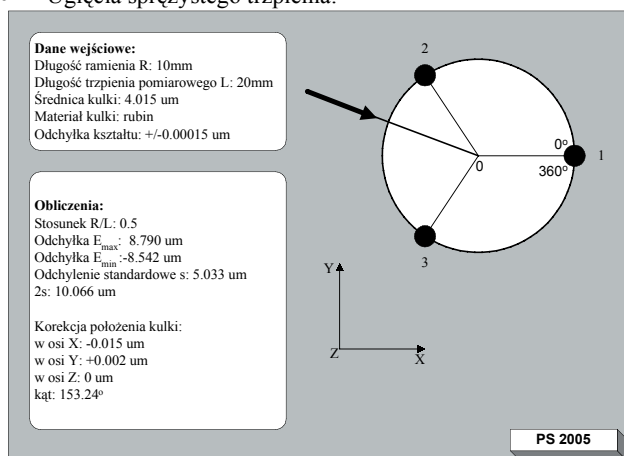
Fig. 5. Three possible situations of the probe pin deflection

4. Korekcja charakterystyki

Pierwszym etapem korekcji jest wyznaczenie rzeczywistej charakterystyki głowicy za pomocą programu Sonda 123 pozyskanego z Politechniki Warszawskiej. Pomiaru dokonano na pierścieniu wzorcowym o średnicy nominalnej $\phi=40^{+0.0001}$ mm co 3° , a więc w sumie wykonano 120 pomiarów na WMP w trybie CNC. Z tego oprogramowania otrzymuje się wartości odchyłek maksymalnych E_{max} i E_{min} oraz odchylenia standardowe s .

Gdy znana jest już rzeczywista charakterystyka głowicy możliwa jest korekcja w funkcji kierunku wychylenia trzpienia. Do tego celu opracowano oprogramowanie w języku C++ (rys. 6), które wymaga jeszcze podania kilku dodatkowych danych:

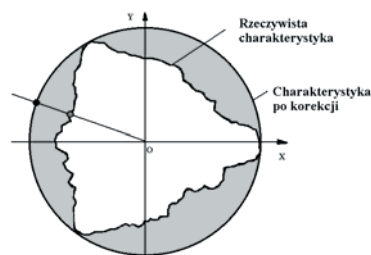
- Długości trzpienia pomiarowego,
- Średnicy kulki,
- Materiału kulki,
- Dokładności wykonania kulki,
- Ugięcia sprężystego trzpienia.



Rys. 6. Widok na oprogramowanie korekcyjne

Fig. 6. The correcting program

Pierwsze cztery parametry są wartościami katalogowymi, natomiast wartość ugięcia trzpienia wyznaczono doświadczalnie. Po wpisaniu tych parametrów program podaje wartości korekcji w osiach X i Y oraz określa kierunek wychylenia trzpienia względem środka głowicy. Otrzymanie prawidłowego wyniku polegana na skorygowaniu współrzędnych WMP o wartości uzyskane z oprogramowania według schematu zamieszczonego na rys. 2. Finalnie otrzymuje się charakterystykę zbliżoną do okręgu z błędem $2s=\pm 0.1\mu\text{m}$ (rys. 7).



Rys. 7. Charakterystyka przed i po korekcji w osiach XY

Fig. 7. The actual metrological characteristics and after correction in XY axes

5. Wnioski

Prezentowane wartości korekcji dotyczą jedynie pomiarów z głowicą zamocowaną w pionie. Należy zauważyć, że praktycznie każda głowica ma swoją niepowtarzalną charakterystykę. Dlatego, aby wykonać korekcję charakterystyki posiadanej głowicy trzeba ją wyznaczyć dla każdego przypadku indywidualnie. Należy również uwzględnić inne rodzaje końcówek, np. „gwiazdźiste”, inną budowę wewnętrzną samej głowicy (czteropodporowa), inne położenie głowicy względem pinoli WMP, gdzie występuje inny rozkład mas. Istotny jest również wpływ nacisku pomiarowego oraz prędkość dojazdu trzpienia do mierzonego przedmiotu. Aby uwzględnić te wszystkie czynniki konieczne wydaje się stworzenie bogatej bazy danych, z których użytkownik mógłby na bieżąco korzystać. Aby korekcja wskazań głowicy była możliwa w trzech osiach konieczna jest informacja o kącie przy jakim końcówka pomiarowa zakończona kulką rubinową styka się z mierzonym przedmiotem. Niestety wewnętrzna budowa głowicy trójpunktowej uniemożliwia odczytywanie na bieżąco wartości kąta styku. Wydaje się, że rozwiązaniem tego problemu byłaby zamiana układu trójpodporowego na tzw. układ sprężyn elektronicznych stosowanych w głowicach skanujących firmy Zeiss, ale to znacznie wykraczałoby poza zakres modernizacji głowicy impulsowej. Jednak w wielu przypadkach, mając dokumentację techniczną mierzonego przedmiotu, możliwa staje się korekcja przy znanym kącie styku. Dodatkowym utrudnieniem jest zmienna charakterystyka metrologiczna głowicy w funkcji kąta styku kulki pomiarowej z mierzonym przedmiotem. Uzyskane wyniki zachęcają do dalszego udoskonalenia tego projektu, którego celem jest budowa głowicy skanującej.

Projekt finansowany wyłącznie ze środków własnych autora.

6. Literatura

- [1] Woźniak A., Dobosz M.: Metrological feasibilities of CMM touch trigger probes. Part I: 3D theoretical model of probe pretravel. Measurement, 34 (2003), pp.273–286.
- [2] Baird P.: Computer simulation of a coordinate measuring machine probing system. Proceeding of the 2nd Laser Metrology and Machine Performance, Southampton, 1995, pp.203-212.
- [3] Shen Y. L., Zhang X.: A pre-travel model of touch trigger probe with straight styli, part I: vertical probes. Proceedings of the North American Manufacturing Research Institution of SME (XXIV NAMRC), Ann Arbor, MI, 1996, pp.127-132.
- [4] Shen Y. L., Zhang X.: A pre-travel model of touch trigger probe with straight styli, part II: horizontal probes. Proceedings of the North American Manufacturing Research Institution of SME (XXIV NAMRC), Ann Arbor, MI, 1996, pp.133-138.
- [5] Yang Q., Butler C., Baird P.: Error compensation of touch trigger probes. Measurement, 18 1/1996, pp.47-57.
- [6] Tyler Estler W. et al.: Error compensation for CMM touch trigger probes. Precision Engineerin, 19/1996, pp.85-97.
- [7] Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2005.
- [8] Neuman H. J.: Industrial Coordinate Metrology. Verlag Moderne Industrie, Carl Zeiss, 2000.