

Zbigniew WATRAL  
Tadeusz WRÓBEL

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

## Badania elektronicznego przetwornika R/D z wykorzystaniem symulatora transformatora położenia kąтового

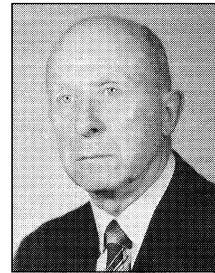
Dr inż. Zbigniew WATRAL

– absolwent i pracownik naukowo-dydaktyczny Wojskowej Akademii Technicznej. Od roku 1986 pracuje w Instytucie Podstaw Elektroniki WAT. Aktualnie na stanowisku adiunkta. Ostatnio swoje zainteresowania koncentruje na zagadnieniach związanych z problematyką cyfrowego pomiaru kąta.



Prof. dr hab. inż. Tadeusz WRÓBEL

– był wieloletnim kierownikiem Zakładu Elektromaszynowych Elementów Automatyki WAT. Obecnie zatrudniony jest w Zakładzie Elektrotechniki Instytutu Podstaw Elektroniki WAT na stanowisku profesora zwyczajnego. Ostatnio swoją działalność naukową skupia na zagadnieniach z dziedziny Mechatroniki. Autor lub współautor 162 publikacji, pięciu książek i 13 skryptów uczelnianych.



### Streszczenie

Dokonano modyfikacji automatycznego stanowiska pomiarowego do badania podstawowych parametrów i charakterystyk transformatorów położenia kąтового z wyjściem analogowym i cyfrowym. Stanowisko zostało wzbogacone o elektroniczny symulator sygnałów SIM-36010 który umożliwił pomiar charakterystyki samego przetwornika R/D. Opisano istotę zastosowanej metody oraz przebieg procesu badawczego.

### Abstract

An automatic test stand designed to measure the basic characteristics of the resolver (both analog and digital output) has been modified. Electronic resolver angle simulator SIM-36010 was added and now it is possible to measure the characteristics of digital R/D converters. The applied method and test process is described.

### Wprowadzenie

We współczesnej technice często spotykamy się z potrzebą określania położenia obiektów w przestrzeni. Problem ten występuje między innymi w obrabiarkach sterowanych numerycznie, manipulatorach i robotach przemysłowych oraz w układach stabilizacji płaszczyzn. Jedną z metod określania przestrzennego położenia obiektu jest pomiar kąta w kilku osiach za pomocą transformatora położenia kąтового (TPK). Ponieważ układy regulacji są najczęściej układami cyfrowymi, dlatego też analogowe sygnały z TPK są przetwarzane w kod cyfrowy. Do tego celu wykorzystuje się najczęściej specjalizowany elektroniczny przetwornik analogowo-cyfrowy, zwany przetwornikiem R/D (Resolver/Digital) typu śledzącego. Oprócz cyfrowej informacji o kącie przetwornik ten daje na wyjściu dodatkowy sygnał proporcjonalny do prędkości obrotowej. Pozwala to na wyeliminowanie z układów regulacji prądnic tachometrycznej.

Opracowany w WAT układ cyfrowego pomiaru kąta składa się z dwutorowego TPK o liczbie par biegunów  $p$  w torze dokładnym 4, 8, 16, 18, 32 lub 36 i dwutorowego przetwornika R/D. Rozdzielczość przetwornika R/D jest zależna od liczby  $p$  TPK i wynika z sumy bitów toru zgrubnego (2, 3, 4, 5 lub 6 bitów) i toru dokładnego (16 bitów) [1].

Zwiększenie dokładności pomiaru kąta przez opracowanie nowych konstrukcji wielobiegunowych TPK stawia również wyższe wymagania układom pomiarowym [2,3]. Do badania dwutorowych TPK opracowano i wykonano w WAT zautomatyzowane, wspomagane komputerowo stanowisko pomiarowe. Umożliwia ono pomiar parametrów wejścia i wyjścia TPK, charakterystyki położenia

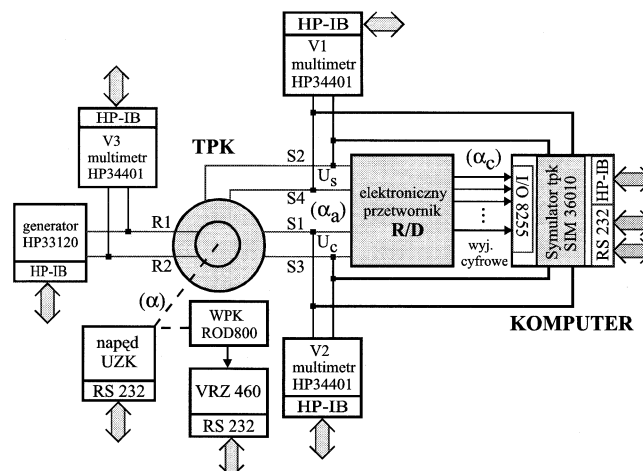
punktów zerowych, napięć szczytkowych, dokładności odwzorowania funkcji oraz pomiar charakterystyki błędu elektrycznego.

W układach tego typu przy dokładnościach poniżej 1 minuty kątowej, istotnym zaleceniem jest aby indywidualnie dobrać TPK i przetwornik R/D. Fakty te niewątpliwie wpłynęły na koncepcję zautomatyzowanego stanowiska badawczego pozwalającego na jednoczesne badanie zarówno TPK jak i przetwornika R/D [4].

Wprowadzenie do układu pomiarowego elektronicznego źródła sygnałów z TPK znacznie poszerza możliwości badawcze na omawianym stanowisku.

### Stanowisko badawcze

Zautomatyzowane stanowisko badawcze opracowane w WAT w latach poprzednich zostało zmodyfikowane poprzez wprowadzenie do układu elektronicznego symulatora TPK SIM-36010. Schemat blokowy układu stanowiska po rozbudowie przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego z elektronicznym symulatorem SIM-36010

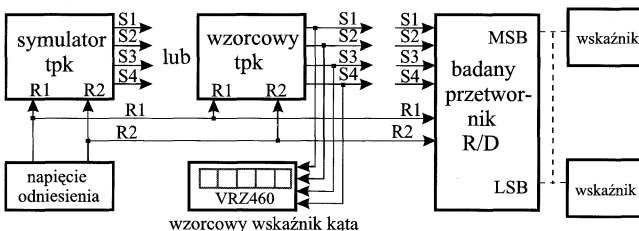
Metoda badawcza dotychczas wykorzystywana na stanowisku, polega na bezpośrednim porównaniu kątów zmierzonych przez badane przetworniki pierwotny ( $\alpha_a$ ) i cyfrowy ( $\alpha_c$ ) z kątem zada-

nym ( $\alpha$ ), zmierzonym przez przetwornik wzorcowy (WPK) o dokładności  $\pm 0,5$  sekundy kątowej.

Badany sinusowo-cosinusowy TPK zasilany jest z generatora napięcia sinusoidalnego. Napięcia na uzwojeniach sinusowym oraz cosinusowym TPK mierzone są przez multimetry V1, V2 i na ich podstawie w komputerze obliczany jest kąt  $\alpha_a$  na wyjściu analogowym układu. Źródło zasilania i multimetry w układzie sterowane są przez komputer magistralą HP-IB. Sygnały wyjściowe TPK podawane są również na elektroniczny przetwornik R/D (Resolver/Digital) typu śledzącego wypracowujący cyfrową informację  $\alpha_c$  o kącie mierzonym  $\alpha$ . Błędy kątowe TPK i przetwornika R/D obliczono jako różnice kątów w odpowiednich punktach układu. Pewną niedogodnością istniejącego stanowiska był brak możliwości pomiaru charakterystyki błędów jednego z elementów układu cyfrowego pomiaru kąta, TPK lub przetwornika R/D.

Wprowadzony do układu symulator będący źródłem sygnału wzorcowego o postaci zgodnej z sygnałami wyjściowymi TPK w układzie sinusowo-cosinusowym lub selsyna, znacznie poszerza możliwości pomiarowe stanowiska.

Dzięki temu możliwe jest na dotychczasowym stanowisku badanie charakterystyki błędów samego przetwornika R/D. Do oceny parametrów przetwornika R/D niezbędne jest posiadanie kalibrowanego czujnika pierwotnego (bądź układu symulującego sygnały z czujnika) i odpowiedniego układu wskaźnikowego. Rys.2 przedstawia ideę układu do badania statycznej dokładności jednorodnych przetworników R/D śledzących lub próbujących.



Rys. 2. Układ do badań jednocanalowych przetworników śledzących i próbujących

Czujnik wzorcowy jest ustawiany na konkretne położenie kątowe i porównuje się kąt nastawiony ze wskazaniami badanego przetwornika R/D. W układzie pomiarowym z rys.1 całym procesem pomiarowym steruje komputer. Operator wprowadza żądaną liczbę pomiarów, komputer oblicza wartości kolejnych położenia kątowych ( $\alpha$ ) i przekazuje je do symulatora. Na tej podstawie symulator SIM-36010 generuje napięcia  $U_s$  i  $U_c$  zgodnie z zależnością (1) i podaje na wejścia przetwornika R/D.

$$\begin{aligned} U_s &= U \sin(\alpha) \cos(\omega t) \\ U_c &= U \cos(\alpha) \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (1)$$

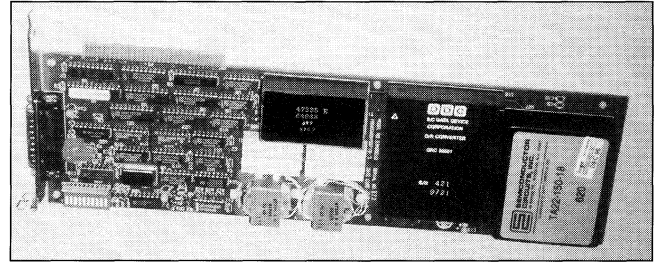
Ostatecznie komputer rejestruje stan wyjść bitowych przetwornika R/D, na tej podstawie oblicza kąt cyfrowy ( $\alpha_c$ ) i błąd kątowy przetwornika R/D.

W wielu zastosowaniach praktycznych konieczna jest znajomość parametrów dynamicznych przetwornika R/D tzn. zdolności śledzenia przez przetwornik zmiennego sygnału wejściowego [5, 6]. Badania takie można przeprowadzić również w układzie z rys.1. Symulator sterowany z komputera zastępuje obracający się czujnik pierwotny a kąt z wyjścia cyfrowego R/D rejestrowany jest również przez komputer. Kąt zadany w symulatorze jest porównywany z kątem wyjściowym z badanego przetwornika R/D i obliczana jest różnica-błąd powstający w pętli śledzącej. W omawianym układzie pomiarowym istnieje również możliwość zbadania jakości analogowego sygnału prędkości na wyjściu przetwornika R/D typu śledzącego w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Sygnał prędkości jest mierzony przez filtr dolnoprzepustowy za pomocą woltomierza cy-

frowego. W symulatorze TPK zadaje się różne wartości prędkości obrotowej w obu kierunkach, które porównuje się ze wskazaniami woltomierza na wyjściu prędkościowym a następnie oblicza liniowość napięcia, błędy, przesunięcie zera i różnicę napięć przy obu kierunkach obrotów.

## Elektroniczny symulator TPK

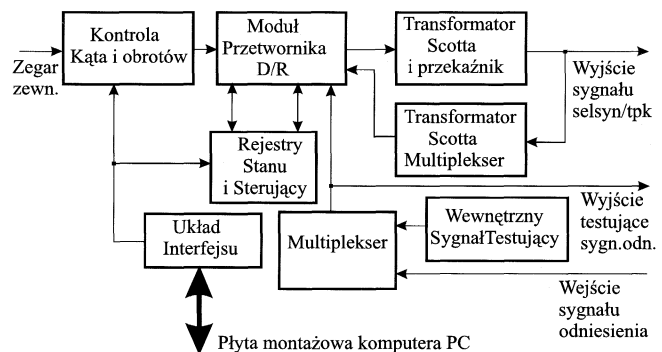
Symulator SIM-36010 pokazany na rys. 3 jest uniwersalnym symulatorem selsyna i TPK. Jest to przyrząd wysokiej klasy, o dużej



Rys. 3. Widok karty PC symulatora SIM-36010

wydajności prądowej, niezastąpiony w komputerowych systemach testujących. Transmisja danych do- i z przyrządu jest więcej niż o rząd wielkości szybsza aniżeli w typowych systemach testujących z magistralą IEEE, ponieważ karta połączona jest bezpośrednio z magistralą wewnętrzną komputera PC. SIM 36010 jest idealny w użyciu jako samodzielny symulator kąta w inżynierskich zastosowaniach lub jako część automatycznych urządzeń testujących.

Schemat blokowy omawianego symulatora przedstawia rys. 4. SIM-36010 jest pełnowymiarową kartą komputerową, która zawiera



Rys. 4. Schemat blokowy symulatora SIM-36010

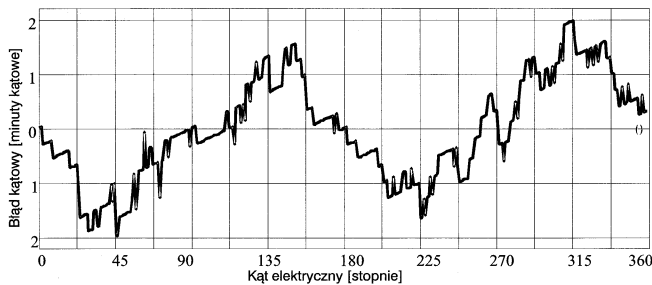
szerokopasmowy przetwornik D/R (Digital to Resolver) [7]. Wyjścia są separowane przez transformator izolujący. Karta może być programowo ustawiona na generowanie sygnałów typowych dla selsyna lub TPK. Generowane sygnały mogą mieć napięcie przewodowe 11,8; 26 lub 90V i częstotliwość od 360Hz do 5000 Hz. Symulator ma rozdzielczość 16 bitów i dokładność  $\pm 25$  sekund bez obciążenia oraz  $\pm 36$  sekund przy pełnym obciążeniu. Cyfrowa informacja o kącie w postaci binarnej przedstawiana jest na wyjściu przetwornika w dwóch bajtach (bajt bardziej znaczący i bajt mniej znaczący). Dane te są przechowywane w przetworniku przez podwójny bufor zatraskowy i w ten sposób 16 bitów informacji prezentowane jest jednocześnie na wyjściu przetwornika. Wyjścia symulatora można obciążyć do 1,5 VA przy pełnym zabezpieczeniu termicznym i prądowym. W symulatorze dostępne są dwa sygnały błędnego zadziałania. Zanegowany sygnał BIT pojawia się w czasie elektrycznego lub termicznego przeciążenia wyjścia wzmacniacza, a zanegowany sygnał LOR pojawia się w przypadku braku sygnału na wejściu odniesienia.

Ruch obrotowy w kierunku zgodnym lub przeciwnym do ruchu wskazówek zegara ze stałą prędkością można zadawać w dwóch zakresach. W pierwszym zakresie można zadawać prędkość od

0,1676 %/s do 686,4779 %/s z rozdzielczością 0,1676 %/s natomiast w zakresie drugim można zadawać prędkość od 2,6822 %/s do 10983,6459 %/s (30,5101 obr/s) z rozdzielczością 2,6822 %/s. W specjalnych aplikacjach, gdzie wymagana jest bardzo mała lub nieliniowa prędkość obrotowa, istnieje możliwość podania zewnętrznego sygnału kierunku i prędkości.

### Wyniki badań

Wykorzystując symulator SIM-36010 na omawianym stanowisku pomiarowym, dokonano badań dwutorowego przetwornika R/D typu śledzącego wykonanego w WAT. Jest to przetwornik zawierający dwa przetworniki jednotorowe o różnej rozdzielczości sprzęgnięte przez mikroprocesor w układ dwutorowy. Decydujący wpływ na dokładność przetwarzania w układzie ma przetwornik to-



Rys. 5. Charakterystyka błędów kątowych toru dokładnego dwutorowego przetwornika R/D

ur dokładnego, dlatego badaniom poddano jedynie ten tor. Przetwornik ten zbudowano w oparciu o układ AD2S82ALP firmy Analog Devices. Podawana przez producenta dokładność tego układu przy rozdzielczości 16 bitów wynosi  $\pm 2$  minuty kątowej.

Badając tor dokładny, zbadano jego charakterystykę błędów w zakresie pełnego kąta elektrycznego. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 5.

Z przedstawionej charakterystyki widać, że błąd kątowy mieści się w granicach  $\pm 2$  minuty kątowej, co odpowiada tej klasie przetworników. Największe błędy pojawiają się dla kątów 45, 135, 225 i 315 stopni tzn. wtedy, kiedy sygnały  $U_s$  i  $U_c$  powinny być jednakowe.

### Podsumowanie

W metodzie pomiarowej stosowanej dotychczas błąd przetwornika R/D obliczano jako różnicę między kątem ( $\alpha_c$ ) zmierzonym na wyjściu cyfrowym przetwornika i kątem ( $\alpha_a$ ) obliczonym na podstawie napięć  $U_s$  i  $U_c$  mierzonych multimetrami V1 i V2 na wyjściu TPK. Dokładność określania kąta  $\alpha_a$  była zbyt mała ze względu na zbyt małą dokładność zastosowanych multimetrów. Zastosowanie symulatora jako źródła sygnału wzorcowego, pozwoliło określić w pełni wiarygodną charakterystykę błędów zbudowanego przetwornika R/D.

Wprowadzony do układu pomiarowego symulator, pozwoli w przyszłości na zastosowanie do badania charakterystyki błędów elektrycznego TPK, metody polegającej na zasilaniu uzwojeń wyjściowych TPK napięciami zgodnymi z aktualnym położeniem wału i na bezpośrednim pomiarze błędów na uzwojeniu wirnika.

Artykuł recenzowany

## Zapraszamy do naszych nowych oddziałów

### Oddział Gdynia

ul. Hutnicza 3, budynek 16

81-212 Gdynia

tel.: (0-58) 663-74-44

fax: (0-58) 663-72-77

e-mail: [gdynia@sabur.com.pl](mailto:gdynia@sabur.com.pl)

### Oddział Katowice

ul. 11 Listopada 11

40-387 Katowice

tel.: (0-32) 209-90-24

fax: (0-32) 209-99-69

e-mail: [katowice@sabur.com.pl](mailto:katowice@sabur.com.pl)

### Przedstawicielstwo w Polsce firm:

- SAIA-Burgess Electronics AG - sterowniki serii PCD, podzespoły do automatyki
- PC SOFT Intl. Ltd. - oprogramowanie przemysłowe WizFactory - SCADA, Internet, SoftLogic
- ESA Elettronica S.p.A. - terminale operatorskie HMI i komputery przemysłowe
- RACOM s.r.o. - systemy komunikacji radiomodemowej

Doradztwo techniczne, szkolenia, dostawy sprzętu i oprogramowania, serwis. Kompleksowa automatyzacja maszyn, linii technologicznych, obiektów przemysłowych i energetycznych.

### Siedziba główna

SABUR Sp. z o.o. ul. Drużynowa 3A, 02-590 Warszawa

tel.: (0-22) 844-75-20, 844-63-70, fax: (0-22) 844-36-39

e-mail: [sabur@sabur.com.pl](mailto:sabur@sabur.com.pl), [www.sabur.com.pl](http://www.sabur.com.pl)

