

Adam **BARTNICKI**
Andrzej **TYPIAK**

STANOWISKO DO BADAŃ HYDROTRONICZNYCH UKŁADÓW NAPĘDOWYCH PRACUJĄCYCH W SYSTEMIE CAN-bus

Streszczenie: W referacie przedstawiono tendencje rozwojowe systemów sterowania współczesnych maszyn i pojazdów opartych na magistrali CAN. Zaprezentowano zalety magistrali i aspekty przemawiające za wprowadzaniem tego typu systemów. Zaproponowano konfigurację stanowiska do badań hydrotronicznych układów napędowych pracujących w systemie CAN-bus.

Słowa kluczowe: hydrotroniczne układy napędowe, układy sterowania, magistrala CAN, maszyny inżynierskie.

1. WPROWADZENIE

Tendencje rozwojowe hydrostatycznych układów napędowych i ich zalety, postępujący rozwój elementów hydraulicznych, ich niezawodność i podatność na sterowanie powodują, że układy te znajdują coraz szersze zastosowanie jako układy napędu jazdy pojazdów samobieżnych.

Wymagania stawiane współczesnym maszynom i pojazdom, konieczność płynnej zmiany prędkości jazdy w szerokim zakresie, możliwość uzyskiwania małych prędkości w przypadku niektórych maszyn i pojazdów jest istotnym czynnikiem przemawiającym za wprowadzaniem tych układów.

Podatność tych układów na sterowanie sprawia, iż w układy te coraz częściej wyposaża się maszyny i pojazdy zdalnie i automatycznie sterowane, przewidziane do realizacji prac związanych z zagrożeniem życia i zdrowia ludzkiego. Wykorzystanie nowej technologii sterowania - systemu CAN-bus, dla potrzeb realizacji zadań technologicznych przez współczesne maszyny inżynierskie, może znacząco wpłynąć zarówno na efektywność ich procesów roboczych, jak i komfort pracy operatora. Dlatego też rozpoznanie tej problematyki, poznanie możliwości i zidentyfikowanie ograniczeń sterowania układami hydrotronicznymi maszyn mobilnych opartymi na magistrali CAN, określenie możliwości wykorzystania technologii CAN-bus do zdalnego sterowania osprzętami roboczymi, pozwoli na wdrożenie najnowocześniejszych układów napędowych do maszyn inżynierskich – gwarantujących wysoką jakość realizowanych zadań technologicznych, a także bezpieczeństwo realizacji tych zadań w strefach zagrożenia.

2. HYDROTRONICZNE UKŁADY NAPĘDOWE PRACUJĄCE W SYSTEMIE CAN-bus

Magistrala CAN jest powszechnie stosowana w różnych dziedzinach. W przemyśle motoryzacyjnym na bazie magistrali CAN realizuje się cyfrową magistralę pojazdów. Jest ona głównym medium zbiorczym dla sensorów, układów wykonawczych, jak i elementów dodatkowych. Stosowana technika priorytetów standardu CAN pozwala na rozgraniczenie sterowania zarówno najistotniejszymi elementami systemu (choćby z punktu widzenia

zapewnienia bezpieczeństwa), jak i elementami mniej odpowiedzialnymi, spełniającymi często funkcje dodatkowe, poprawiające komfort poruszania się pojazdem.

Postępujący rozwój współczesnych maszyn roboczych oraz ich układów sterowania powoduje powszechniejsze stosowanie układów hydraulicznych sterowanych elektronicznie. Umożliwiają one precyzyjne sterowanie ruchami elementów wykonawczych maszyny, proporcjonalnie do wysterowania dźwigni joysticka, a także automatyzację jej pracy. Coraz częściej układy te buduje się w oparciu o technologię CAN-bus. Jest to możliwe dzięki dostosowaniu elementów wykonawczych hydrostatycznych układów napędowych do funkcjonowania w sieci CAN. Na rynku można znaleźć wielu producentów, oferujących maszyny robocze wyposażone w tego typu aplikacje.

Przykładem takiej konstrukcji może być maszyna ROPA Euro-MAUS 3 niemieckiej firmy ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH (Rys.1). Jest to doczyszczarko-ładowarka buraków cukrowych, w której sterowanie i kontrola maszyny odbywa się z udziałem 3 komputerów pokładowych komunikujących się z terminalem za pośrednictwem systemu CAN-bus. Operator maszyny informowany jest w ten sposób o wszystkich zdarzeniach dotyczących maszyny, co powoduje znaczne jego odciążenie i zachowanie pełnej zdolności koncentracji.



Rys.1. Doczyszczarko-ładowarka ROPA Euro-MAUS 3

Dzięki nowoczesnemu systemowi CAN-bus znajdującemu się w Euro-MAUS 3 możliwe jest zarówno kontrolowanie stanu technicznego maszyny, jak również dokonanie niezbędnych zmian i ustawień parametrów procesu technologicznego podczas jej pracy.

Innym przykładem wykorzystania systemu CAN-bus w maszynach roboczych jest podziemna maszyna górnicza RTB-14 oferowana przez firmę Ruda Trading International z Katowic (Rys.2). Ten samojezdny wóz strzelniczy przeznaczony jest między innymi do realizacji prac związanych z zakładaniem ładunków materiału wybuchowego w podwyższonych wyrobiskach górniczych. RTB-14 powstał na bazie przegubowego podwozia RUDA TRUCK (RT), które jest wielofunkcyjnym podwoziem zaprojektowanym do pracy w najcięższych warunkach kopalnianych i stanowi bazę dla szerokiej gamy wozów do pracy w górnictwie podziemnym.



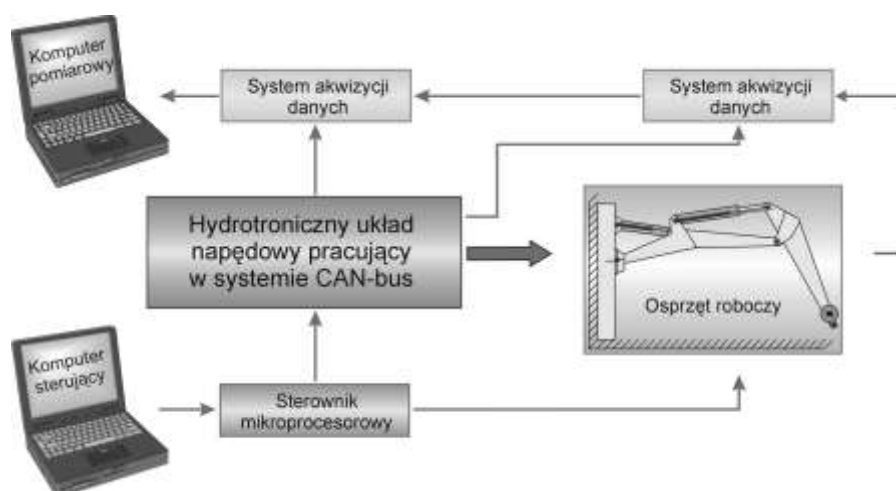
Rys.2. Maszyna górnicza RTB-14

Monitorowanie stanu i pomiar parametrów pracy głównych układów maszyny odbywają się z wykorzystaniem technologii CAN-bus z dwoma jednostkami CPU. Informacje wyświetlane są na kolorowym panelu LCD, na który przesyłane są również obrazy z dwóch kamer umieszczonych z przodu i tyłu maszyny. Sterowanie pojazdem może odbywać się zarówno z pulpitu umieszczonego w kabinie operatora, jak również z kosza wysięgnika, przy czym komendy sterowania generowane z kosza mają wyższy priorytet. W ten sposób nadrzędne decyzje sterujące podejmuje operator znajdujący się w koszu wysięgnika. Dodatkową odporność systemu CAN-bus na zakłócenia procesu sterowania i diagnostyki uzyskano dzięki zastosowaniu technologii światłowodowej w przesyłaniu sygnałów pomiędzy sterownikiem i elementami wykonawczymi magistrali CAN.

Cały szereg innych zastosowań magistrali CAN we współczesnych maszynach roboczych, których nie przedstawiono w tym artykule, powoduje, iż istotnym wydaje się podjęcie badań układów sterowania pracujących w systemie CAN-bus, a przede wszystkim ich wpływu na poprawę parametrów roboczych maszyn i pojazdów.

3. STRUKTURA BADAWCZEGO SYSTEMU HYDROTRONICZNEGO PRACUJĄCEGO W SYSTEMIE CAN-bus

Dla potrzeb określenia właściwości, ograniczeń i uwarunkowań związanych z wprowadzeniem magistrali CAN w układach sterowania maszyn inżynierskich, w Katedrze Budowy Maszyn Wojskowej Akademii Technicznej zbudowano stanowisko do badań hydrotronicznych układów napędowych. Zaproponowana struktura stanowiska powinna zapewnić badanie możliwości i ograniczeń zdalnego sterowania w systemach hydrotronicznych oraz wskazać różne warianty kształtowania jego struktury. Na rys.3 przedstawiono schemat koncepcyjny takiego stanowiska, którego podstawowym elementem jest hydrotroniczny układ napędowy pracujący w systemie CAN-bus. Stanowisko powinno zostać tak zaprojektowane, aby możliwa była łatwa rekonfiguracja badanego układu i wymiana poszczególnych elementów sterujących, jak i wykonawczych (np. siłowniki, rozdzielacze hydrauliczne, osprzęt roboczy itp.). Zastosowanie w układzie rozdzielaczy proporcjonalnych, wyposażonych w moduły elektroniczne pracujące w systemie CAN-bus, umożliwi realizację szerokiego zakresu procedur sterujących, generowanych poprzez sterownik mikroprocesorowy połączony z komputerem sterującym.



Rys.3. Koncepcja stanowiska do badań układu hydrotronicznego pracującego w systemie CAN-bus

Bardzo istotnym elementem stanowiska badawczego jest układ odzwierciedlający rzeczywiste warunki pracy systemu hydrotronicznego. Należy wziąć tu pod uwagę, zarówno występujące w warunkach rzeczywistych obciążenia bezwładnościowe, pochodzące od przemieszczających się mas elementów osprzętu roboczego czy masy przemieszczanego urobku, jak i obciążenia występujące w czasie realizacji przez maszynę roboczą założonego procesu technologicznego (np. podejmowania ładunku niebezpiecznego o znacznej masie). Stąd też dobrym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie osprzętu roboczego maszyny inżynierskiej z organem roboczym w postaci chwytaka. Pozwoli to na realizację obciążeń bliskich warunkom rzeczywistym i określenie jakości procesu sterowania hydrotronicznym układem napędowym pracującym w oparciu o magistralę CAN. Dla potrzeb badań statycznych elementem obciążającym może być dowolny układ dławiący, a w najprostszym rozwiązaniu może to być zawór dławiący.

Ponieważ nie ma możliwości tworzenia procedur sterujących bezpośrednio z poziomu sterownika – niezbędne jest wyposażenie stanowiska badawczego w komputer sterujący. Umożliwi on tworzenie aplikacji, ich weryfikację, symulację, a następnie przesyłanie do sterownika.

Aby zapewnić pomiar wszystkich niezbędnych parametrów badanego układu, budowane stanowisko pomiarowe należy wyposażyć w niezbędne czujniki pomiarowe do pomiaru:

- ciśnienia czynnika roboczego (oleju hydraulicznego);
- wartości przemieszczeń elementów wykonawczych i sterujących układu hydraulicznego (siłowników, suwaków rozdzielaczy);
- natężenia przepływu oleju hydraulicznego.

Ważnym elementem stanowiska będzie system akwizycji danych, który umożliwi rejestrację i obróbkę otrzymywanych sygnałów pomiarowych (napięciowych, prądowych i częstotliwościowych).

W oparciu o przedstawioną koncepcję, opracowano projekt konstrukcyjny stanowiska oraz zakupiono i wykonano jego główne zespoły funkcjonalne.

4. STANOWISKO DO BADAŃ HYDROTRONICZNYCH UKŁADÓW NAPEĐOWYCH PRACUJĄCYCH W SYSTEMIE CAN-bus

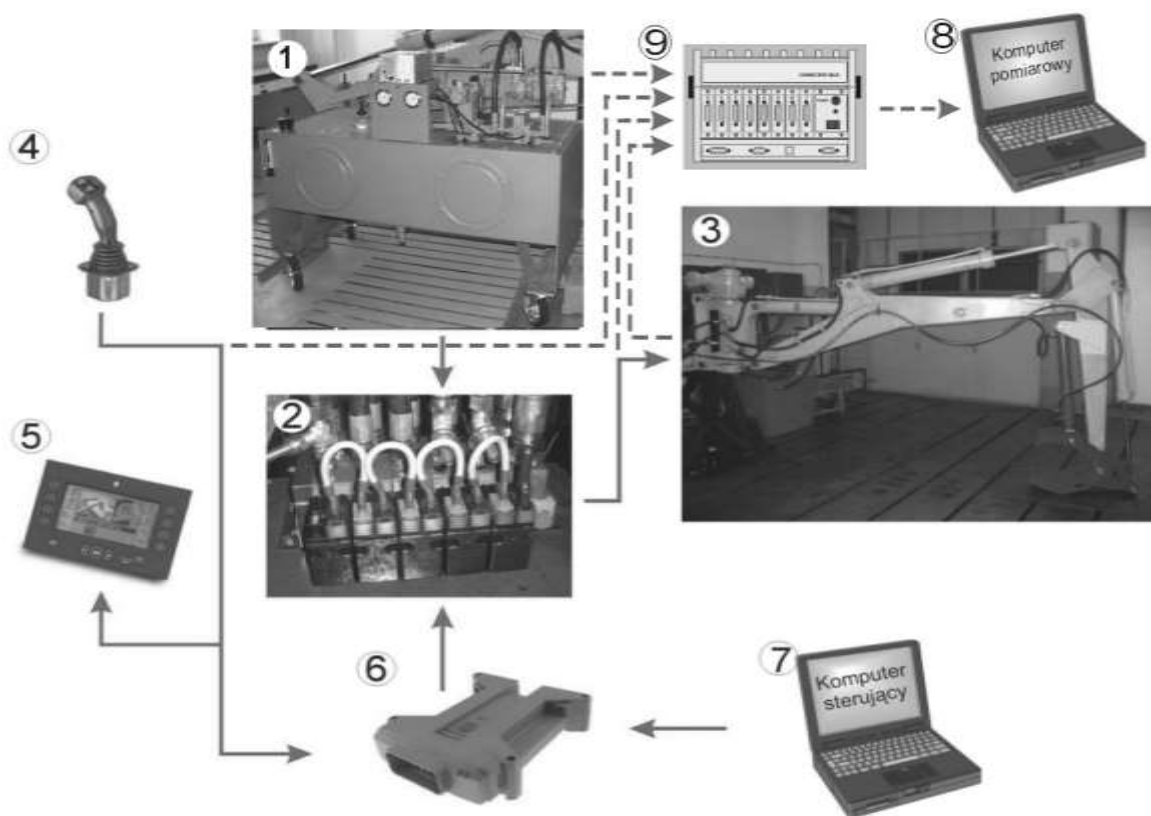
Stanowisko zbudowano w oparciu o hydrostatyczny układ napędowy osprzętu koparki jednoznaczyniowej, znajdujący się w Katedrze Budowy Maszyn WAT.

W skład stanowiska wchodzi (rys.4):

- pięciosekcyjny rozdzielacz;
- osprzęt roboczy;
- agregat hydrauliczny;
- joysticki (dźwignie sterujące);
- mikrokontroler (sterownik) pracujący z wykorzystaniem protokołu CANbus przeznaczony do systemu Plus_1 (Sauer-Danfoss);
- ekran do monitorowania parametrów pracy mikrokontrolera i rozdzielacza;
- komputer sterujący,
- zespół czujników pomiarowych;
- karta pomiarowa;
- komputer pomiarowy.

Podstawowym elementem stanowiska jest pięciosekcyjny rozdzielacz 157RN132_2004 (Rys.5) firmy Sauer-Danfoss, pozwalający sterować wszystkimi ruchami roboczymi osprzętu roboczego, składający się z pojedynczych sekcji typu PVG32 pracujących w systemie LS (Load Sensing). Sterowanie przemieszczeniem suwaków badanego rozdzielacza realizowane jest cewkami elektrycznymi typu PVED-CC, które przeznaczone są do pracy z wykorzystaniem protokołu CAN-bus. Uruchamianie poszczególnych cewek realizowane jest z wykorzystaniem joysticków, generujących proporcjonalne sygnały sterujące. Do wzajemnej komunikacji między tymi elementami wykorzystano mikrokontroler systemu Plus +1.

Jako obiekt sterowany wykorzystano osprzęt roboczy koparki K-161 (rys.6). Z uwagi na swoje wymiary i masę rozdzielacza pozwalał również analizować zagadnienia związane z precyzją sterowania i wpływu na nią bezwładności elementów wykonawczych.



Rys.4. Elementy stanowiska do badań hydrotronicznych układów napędowych pracujących w systemie CAN-bus:

- 1) agregat hydrauliczny, 2) rozdzielacz sterujący, 3) osprzęt wykonawczy, 4) joystick (dźwignia sterująca), 5) ekran monitorujący stan systemu Plus_1, 6) mikrokontroler systemu Plus_1, 7) komputer sterujący parametrami sterownika, 8) komputer pomiarowy, 9) karta pomiarowa

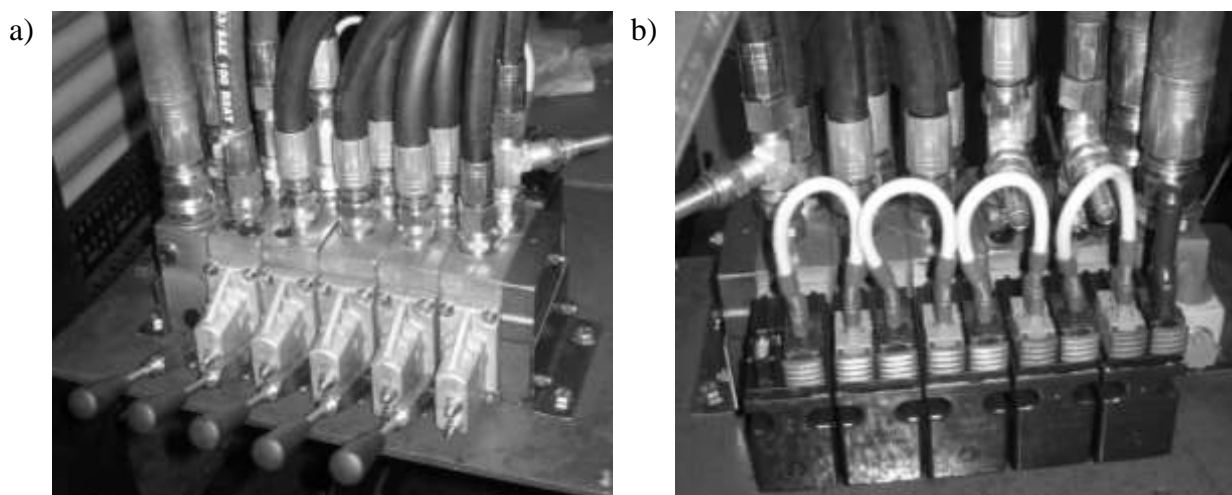
Osprzęt ten standardowo posiada cztery siłowniki hydrauliczne służące do:

- 1) podnoszenia i opuszczania wysięgnika;
- 2) zamykania i otwierania ramienia;
- 3) zamykania i otwierania łyżki;
- 4) obrotu osprzętu.

W proponowanym rozwiązaniu zastosowano chwytak z dwoma niezależnie sterowanymi szczękami, co wymagało wprowadzenia modyfikacji i zamontowania dodatkowego (piątego) siłownika hydraulicznego.

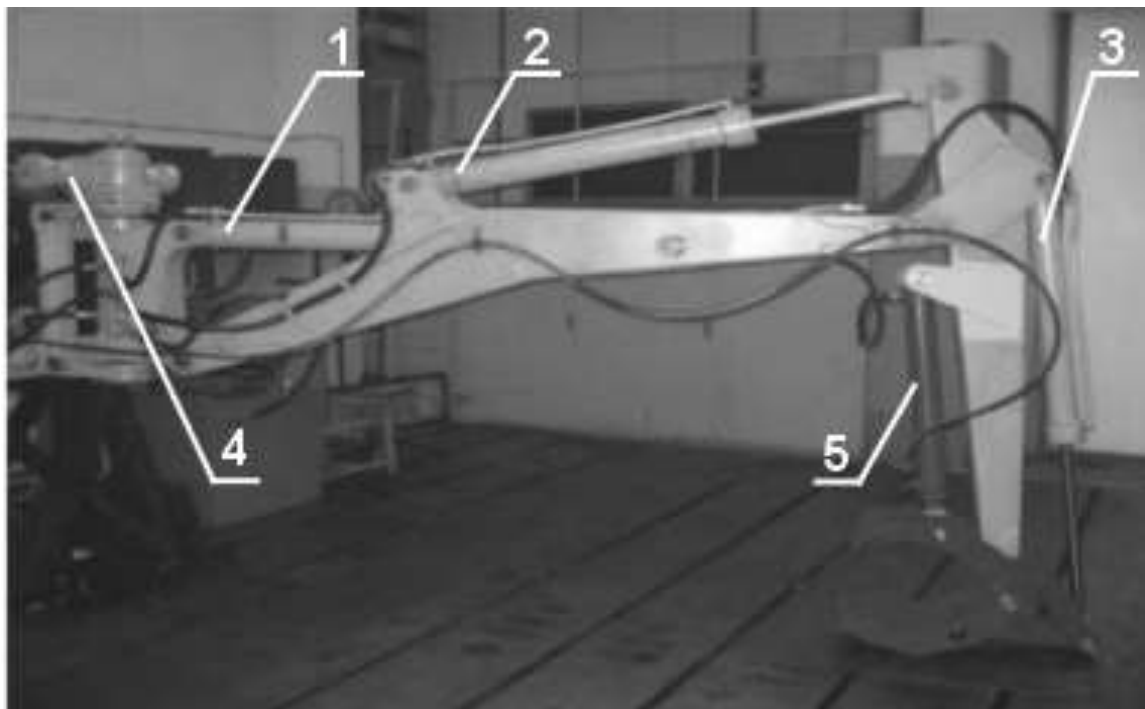
Do zasilania układu wykorzystano agregat hydrauliczny, który stanowi zwartą konstrukcję, składającą się ze zbiornika oleju o pojemności 400 dm³ z zabudowanym bezpośrednio na nim silnikiem elektrycznym o mocy 7,5 kW wraz z zespołem dwu pomp firmy DAIKIN o zmiennej wydajności, jednej z kompensacją ciśnienia i wydajności o maksymalnej pojemności geometrycznej 15 cm³ (typ J-V236A38RX-30), która zasila układ przy maksymalnym ciśnieniu $p_{\max}=21$ MPa oraz wydatku nie przekraczającym 22 dm³/min i drugiej z kompensacją ciśnienia o maksymalnej pojemności geometrycznej 7 cm³ (typ J-V15A2RX-95), która może zasilać układ przy maksymalnym ciśnieniu $p_{\max}=14$ MPa.

Do pomiaru ciśnień roboczych użyto przetworników ciśnienia MPXG 200 (o zakresie pomiarowym 0÷200 bar), a do pomiaru ciśnienia sterowania pompą - przetwornika ciśnienia MPXG 50 (o zakresie pomiarowym 0÷50 bar). Do pomiaru przemieszczeń suwaków rozdzielacza i siłowników hydraulicznych użyto indukcyjnych przetworników przemieszczeń PSz 20 i PLx 1000 o zakresach pomiarowych 20 i 1000 mm, które mogą pracować w temperaturze -20÷70⁰C i generują na wyjściu sygnał analogowy o wartości 0÷10V. Natomiast do pomiaru wydajności pompy wykorzystano przepływomierz zębaty PZQ-50 firmy HYDROTOR o zakresie pomiarowym 5÷50 dm³/min, pracujący przy maksymalnym ciśnieniu w układzie hydraulicznym $p_{\max}=25$ MPa.



Rys.5. Pięciosekowy rozdzielacz złożony sekcji typu PVG 32 pracujących w systemie LS i sterowanych z wykorzystaniem magistrali CAN-bus:

a) widok od strony dźwigni sterowania ręcznego (pomocniczego), b) widok od strony cewek sterujących



Rys.6. Osprzęt roboczy stanowiska:

1 – siłownik wysięgnika, 2 – siłownik ramienia, 3 – siłownik górnej szczęki chwytaka (łyżki), 4 – siłownik obrotu osprzętu, 5 – siłownik dolnej szczęki chwytaka

Układ pomiarowy stanowiska badawczego, z uwagi na dużą ilość mierzonych wielkości wymagających automatycznej obróbki - oparto o system pomiarowy ESAM TRAVELLER Plus.

5. WNIOSKI

Wykorzystanie nowej technologii sterowania - systemu CAN-bus, dla potrzeb realizacji zadań technologicznych przez współczesne maszyny inżynieryjne, może znacząco wpłynąć zarówno na efektywność ich procesów roboczych, jak i komfort pracy operatora. Dlatego też rozpoznanie tej problematyki, poznanie możliwości i zidentyfikowanie ograniczeń sterowania układami hydrotronicznymi w systemie CAN-bus maszyn mobilnych oraz określenie możliwości wykorzystania technologii CAN-bus do zdalnego sterowania osprzętami roboczymi pozwala na wdrożenie najnowocześniejszych układów napędowych do maszyn inżynieryjnych – gwarantujących wysoką jakość realizowanych zadań technologicznych, a także bezpieczeństwo realizacji tych zadań w strefach zagrożenia.

Opracowane w Katedrze Budowy Maszyn WAT stanowisko do badań hydrotronicznych układów napędowych pracujących w systemie CAN-bus, pozwala na kształtowanie struktury hydrotronicznych układów napędowych pracujących w oparciu o magistralę CAN oraz również na realizację szerokiego zakresu ich badań zarówno właściwości statycznych, jak i dynamicznych. Możliwość przebudowy układu hydraulicznego umożliwia przeprowadzenie badań dla różnych konfiguracji układów napędowych, a zaproponowane rozwiązanie mikroprocesorowego układu sterowania, ze względu na możliwość realizacji różnorodnych procedur sterujących, pozwala na odzwierciedlenie rzeczywistych warunków pracy hydrotronicznych układów napędowych.

6. LITERATURA

- [1] BARTNICKI A., KUCZMARSKI F.: Kształtowanie systemów sterowania maszyn inżynierskich z uwzględnieniem możliwości wystąpienia zdarzeń destrukcyjnych, Biuletyn WAT Rok XLIX, Nr 7, 2000.
- [2] BARTNICKI A., KUCZMARSKI F., TYPIAK A.: Wpływ sterowania na poprawę parametrów hydrostatycznych układów napędowych z kompensacją obciążenia, XVIII Konferencja „Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych”, Zakopane 2005 r.
- [3] BARTNICKI A., TYPIAK A., ZIENOWICZ Z.: Remote Controlled Vehicle with Hydrostatic Driving System, The 10th European Conferences of International Society for Terrain-Vehicle Systems, Budapest 2006r.
- [4] GARBACIK A. i inni: Kierunki rozwoju napędów i konstrukcji maszyn roboczych. Fluid Power Net Publication, Kraków 1999.
- [5] GARBACIK A. i inni, Studium projektowania układów hydraulicznych. Ossolineum, Kraków 1997.
- [6] Miesięcznik „Świat Motoryzacji”.
- [7] Materiały udostępnione przez firmę Sauder Danfoss.

LABORATORY STAND FOR TESTING THE HYDROTRONIC CAN-BUS ENGINEERING MACHINES STEERING SYSTEMS

Abstract: In this paper the authors present the developing tendency of modern machines and vehicles control systems based on CAN bus. Advantages of CAN bus system are presented as well as aspects for introducing those types of systems. This paper shows the configuration of the test bench to the research of hydrotronic CAN bus engineering machines steering systems.

Recenzent: dr inż. Włodzimierz BRAMOWICZ