

Zintegrowane napędy elektrohydrauliczne

Ryszard Dindorf, Piotr Woś

Napędy hydrauliczne mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach techniki, głównie do napędu maszyn, urządzeń, manipulatorów i robotów, gdzie wymagane jest pokonanie dużych obciążeń z wysoką sprawnością. Wymagania stawiane napędom hydraulicznym to: dobre właściwości dynamiczne, duża dokładność pozycjonowania, szeroki zakres regulacji z kompensacją czynników zakłócających, proste sterowanie i komfortowa obsługa (panel sterujący, konsola sterująca, komputer, magistrala sieci komunikacyjnej).

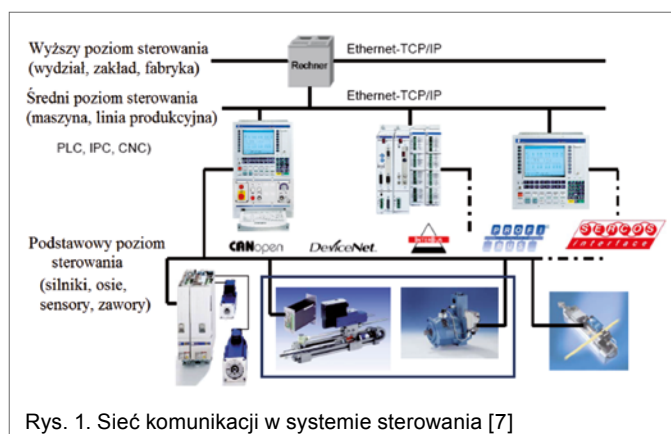
Od połowy XX wieku do napędów hydraulicznych zaczęto wprowadzać elementy elektryczne i elektroniczne. Sterowanie zaworów hydraulicznych rozwijało się od pojedynczych kart wejście/wyjście poprzez bardziej zaawansowane regulatory PD i PID do obecnie powszechnie stosowanych sterowników programowalnych PLC sprzężonych z komputerami. Szybki rozwój techniki serwonapędów elektrohydraulicznych nastąpił wraz z pojawieniem się na rynku zaworów proporcjonalnych sterujących kierunkiem i natężeniem przepływu oraz ciśnieniem czynnika roboczego. Wprowadzenie techniki proporcjonalnej do sterowania elektrohydraulicznego umożliwiło uzyskanie parametrów silników linowych i obrotowych lepiej dostosowanych do warunków eksploatacyjnych maszyn i urządzeń. W latach dziewięćdziesiątych minionego stulecia nastąpił szybki rozwój układów elektrohydraulicznych zintegrowanych z komponentami elektronicznymi i sterowaniem cyfrowym. Sterowanie mikroprocesorowe daje większe możliwości w regulacji napędów hydraulicznych poprzez wprowadzenie bardziej zaawansowanych metod regulacji nieliniowej, inteligentnej i adaptacyjnej. Wysokowydajne mikroprocesory rozszerzają strukturę regulacji napędów hydraulicznych. W regulatorach cyfrowych nowej generacji wykorzystuje się mikroprocesory dużej mocy obliczeniowej, z możliwością komunikacji *online* z urządzeniami peryferyjnymi poprzez magistralę sieci komunikacyjnych, np. CANopen, Profibus. Sieć komunikacji w strukturze systemów sterowania przedstawiono na rys. 1.

Sieci CANopen firmy Bosch mają zastosowanie w wielu dziedzinach, a w szczególności w systemach obsługi maszyn i urządzeń pracujących jako systemy wbudowane. System CANopen zapewnia współpracę wielu urządzeń, sterowanie urządzeniami w czasie rzeczywistym, łatwe dołączanie urządzeń, przyjazną obsługę systemu. Sieć Profibus została opracowana przez firmę Siemens i jest przeznaczona do wykorzystania w rozproszonych systemach sterowania i nadzoru. Jej elastyczność pozwala na połączenie odmiennych pod względem funkcjonalności i architektury urządzeń różnych producentów. Węzłami sieci mogą być zarówno proste urządzenia wejścia/wyjścia analogowe i cyfrowe, czujniki lub elementy wykonawcze, jak i komputery, sterowniki swobodnie programowalne, falowniki czy też terminale operatorskie. W napędach elektrohydraulicznych stosuje się różne systemy sterowania:

Streszczenie: W pracy porównano układy elektrohydrauliczne z zewnętrzną i zintegrowaną regulacją cyfrową. Przedstawiono układy elektrohydrauliczne z zewnętrzną regulacją elektroniczną, zawory zintegrowane z elektroniką typu OBE (*On-Board Electronic*) oraz siłowniki hydrauliczne zintegrowane z regulatorami osi typu IAC (*Integrated Axis Controller*). Na podstawie interaktywnego systemu katalogowego ICS (*Interactive Catalog System*) firmy Bosch Rexroth dobierano zintegrowane osie elektrohydrauliczne. Pojedyncza oś elektrohydrauliczna składa się z siłownika typu CS zintegrowanego wewnątrz z magnetostrykcyjnym systemem pomiaru położenia Novostrictive® oraz zintegrowanego z zewnątrz z 4/3 zaworem rozdzielającym regulacyjnym sterowanym bezpośrednio typu 4WRSE. Takie zintegrowane osie elektrohydrauliczne zostaną wykorzystane do budowy równoległych struktur kinematycznych – hydraulicznych manipulatorów równoległych.

🇬🇧 INTEGRATED ELECTRO-HYDRAULIC AXIS

Abstract: The paper compares electro-hydraulic systems with external and integrated digital control. Electro-hydraulic systems with external closed-loop control electronics, valves integrated with electronic type OBE (*On-Board Electronics*) and hydraulic cylinders integrated with axis controller of type IAC (*Integrated Axis Controller*) are presented. On the basis of Bosch-Rexroth Interactive Catalog System electro-hydraulic axes were selected and purchased. A single electro-hydraulic axis consists of CS type cylinder internally integrated with the Novostrictive® magnetostrictive position measuring systems and externally integrated with 4/3-way high response directional valve directly actuated with electrical position feedback of type 4WRSE. Such integrated electro-hydraulic axes will be used to construct parallel kinematic structures – hydraulic parallel manipulators.



Rys. 1. Sieć komunikacji w systemie sterowania [7]

modułowe, rozproszone, z zewnętrzną regulacją elektroniczną oraz zintegrowaną regulacją elektroniczną. Integracja napędu elektrohydraulicznego ze sterowaniem elektronicznym jest charakterystyczną cechą rozwoju systemów hydrotronicznych [2]. Na rys. 2 przedstawiono dwa serwonapędy elektrohydrauliczne z zewnętrzną regulacją elektroniczną i zintegrowaną regulacją elektroniczną. Firma Bosch Rexroth oferuje nowy poziom inteligentnych sterowników z rodziny Motion Control do serwonapędów elektrohydraulicznych oraz sterowniki HACD dla jednej osi elektrohydraulicznej z regulacją zewnętrzną, sterowniki IAC-P i IAC-R dla jednej zintegrowanej osi elektrohydraulicznej oraz najwyższej jakości sterowniki HNC100® i MAC-8 do sterowania w czasie rzeczywistym wieloma osiami elektrohydraulicznymi – trzydziestoma dwoma, a nawet „prawie nieograniczoną” liczbą osi elektrohydraulicznych [4]. Na rys. 3 przedstawiono układ zewnętrznej regulacji serwonapędu hydraulicznego, który składa się ze sterownika, zaworu proporcjonalnego i siłownika z czujnikami pomiaru przemieszczenia (położenia), ciśnienia i siły. Na schemacie tym wyszczególniono sterowniki stosowane w hydraulice Bosch Rexroth:

• **Karty regulatora HACD**

Karta regulatora HACD umożliwia wybór i parametryzację regulatora; nie wymagana jest znajomość oprogramowania; wykorzystuje się panel do wyświetlania i zmiany wartości parametrów regulatora; stosowane są narzędzia operatora: BODACHACD;

• **Regulator HNC100**

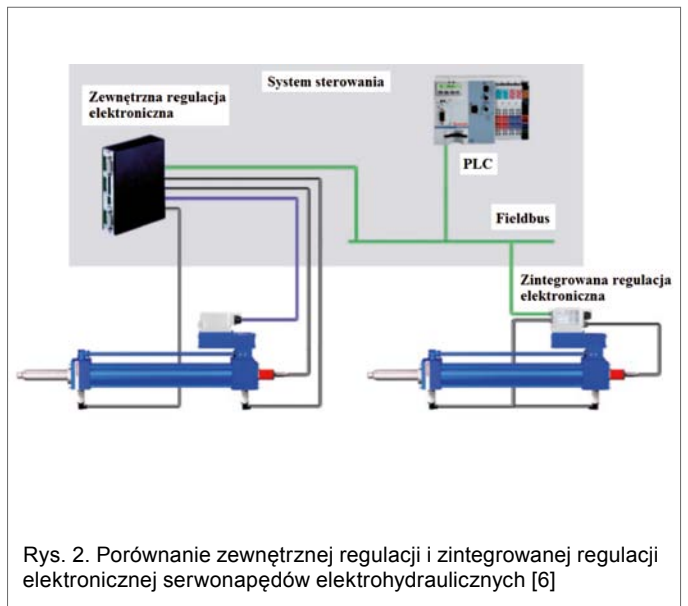
Regulator NC (*Numerical Control*) pojedynczej osi HNC100 zawiera algorytm regulacji położenia, prędkości i ciśnienia; umożliwia regulację synchroniczną osi; stosowane jest elastyczne programowanie NC, przetwarzanie zmiennych i charakterystyk; interfejs sterowania SERCOS; narzędziem operatora jest program WIN-PED;

• **Regulator MX4**

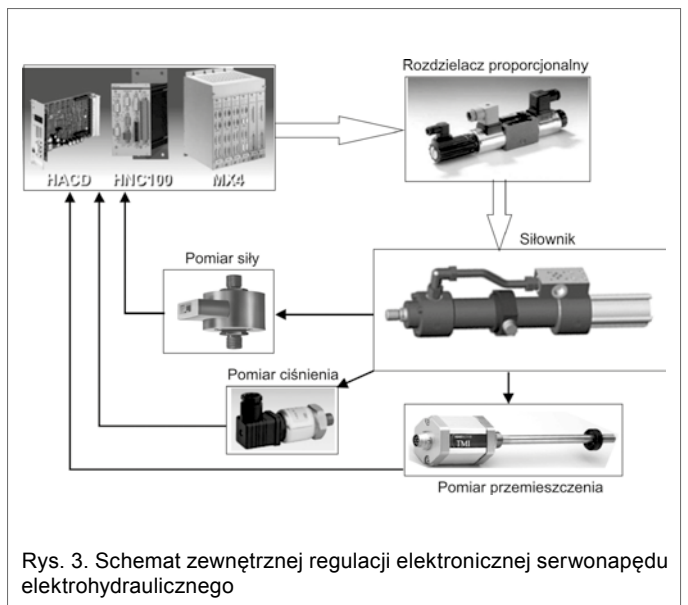
Wysokowydajny regulator NC wielu osi MX4 (od kilku dla 32 osi) z kompleksową aplikacją; wysokiej jakości system multiprocessorowy; synchronizacja i interpolacja kilku osi.

Zintegrowane układy elektrohydrauliczne

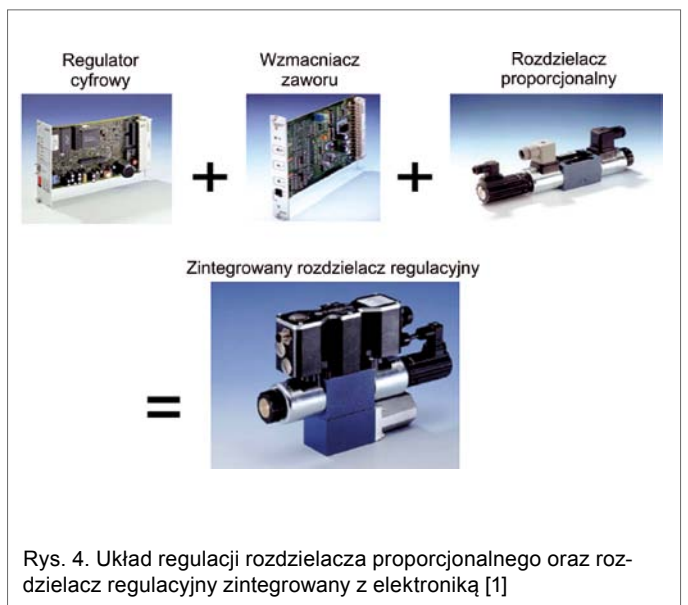
Postęp w rozwoju sterowania elektrohydraulicznego jest możliwy dzięki integracji regulatorów elektronicznych z zaworami oraz integracji zaworów z siłownikami. Zintegrowane układy elektrohydrauliczne charakteryzują się złożoną strukturą regulacji, dużym stopniem integracji urządzeń hydraulicznych, mechanicznych, elektronicznych, komunikacyjnych i informatycznych (np. do odbierania, przechowywania i przetwarzania danych). Wysokowydajne mikroregulatory rozszerzają funkcjonalność struktury regulacji np. o diagnostykę parametryczną, która w konwencjonalnych napędach hydraulicznych jest możliwa tylko w wyjątkowych przypadkach. Producenci, wychodząc naprzeciw temu trendowi, wprowadzili na rynek zintegrowane i w pełni funkcjonalne elektrohydrauliczne jednostki napędowe. Oferowane są zintegrowane osie elektrohydrauliczne składające się z zaworu, regulatora, siłownika, czujników pomiarowych. Dokładność i powtarzalność pozycjonowania (0,01 mm) zintegrowanej osi elektrohydraulicznej związana jest z dużą jakością wykonania zapewniającą zmniejszenie siły tarcia w uszczelnieniach siłownika oraz optymalizację charakterystyki tarcia *stick-slip*. Firma Hänchen Hydraulik (Niemcy) wytwarza napędy *Ratio-Drive*, a firma Bibus Hydraulik AG (Szwajcaria)



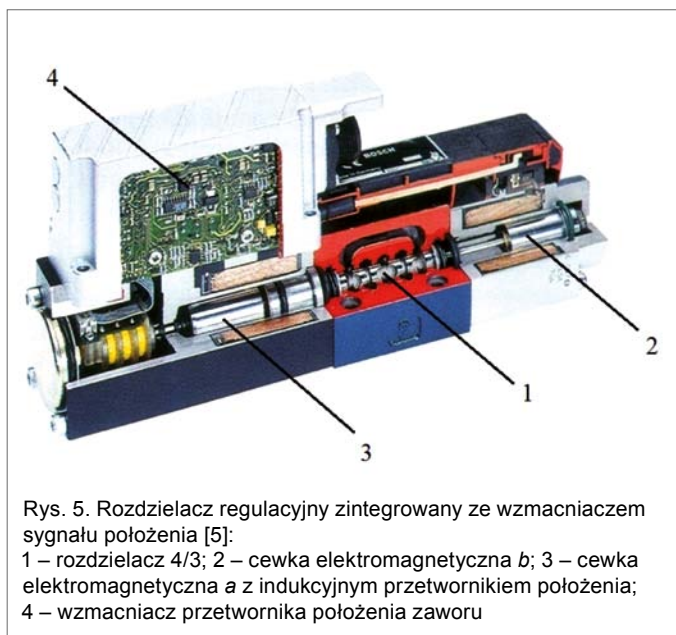
Rys. 2. Porównanie zewnętrznej regulacji i zintegrowanej regulacji elektronicznej serwonapędów elektrohydraulicznych [6]



Rys. 3. Schemat zewnętrznej regulacji elektronicznej serwonapędu elektrohydraulicznego



Rys. 4. Układ regulacji rozdzielacza proporcjonalnego oraz rozdzielacz regulacyjny zintegrowany z elektroniką [1]



Rys. 5. Rozdzielacz regulacyjny zintegrowany ze wzmacniaczem sygnału położenia [5]:

1 – rozdzielacz 4/3; 2 – cewka elektromagnetyczna *b*; 3 – cewka elektromagnetyczna *a* z indukcyjnym przetwornikiem położenia; 4 – wzmacniacz przetwornika położenia zaworu

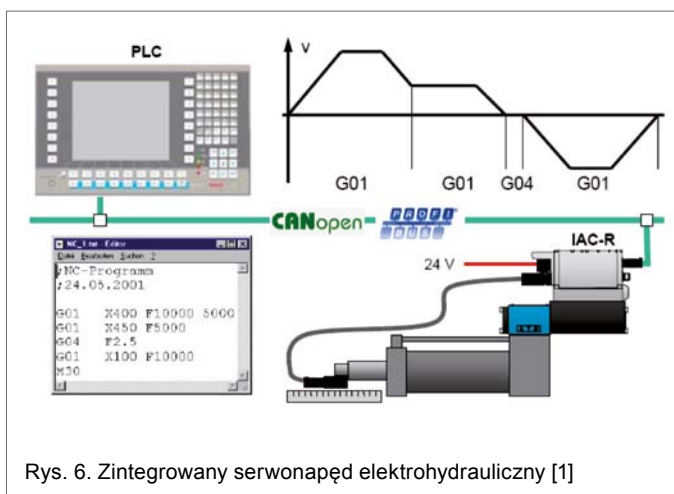
Zawory zintegrowane z elektroniką

oferuje zintegrowane osie elektrohydrauliczne ze sterowaniem CNC (*Computer Numerical Control*). Firma Bosch Rexroth oferuje zawory zintegrowane z elektroniką oraz zintegrowane regulatory osi elektrohydraulicznych [1, 4].

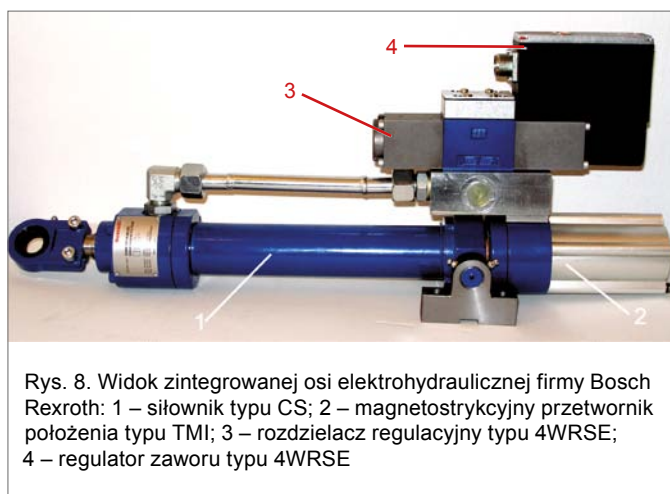
Układ regulacji rozdzielacza proporcjonalnego, składający się z regulatora cyfrowego i wzmacniacza zaworu, przedstawiono na rys. 4 z rozdzielaczem regulacyjnym zintegrowanym z elektroniką. Zintegrowana inteligentna elektronika OBE (*On-Board-Electronic*) stosowana jest do rozdzielaczy regulacyjnych o sterowaniu ciągłym. Przekrój rozdzielacza regulacyjnego zintegrowanego z elektroniką (wzmacniaczem indukcyjnym przetwornika położenia) przedstawiono na rys. 5. Optymalny wybór rozdzielacza z elektroniką typu OBE zależy od wymaganych funkcji maszyn hydraulicznych. Wybór zintegrowanych zaworów daje korzyść zmniejszenia miejsca do zabudowy systemu sterowania. System OBE pracuje niezawodnie w trudnych warunkach otoczenia, dlatego jest stosowany w hydraulice mobilnej i stacjonarnej. Zintegrowana elektronika umożliwia optymalizację działania układu zawór – regulator, ograniczenie błędów wynikających z zewnętrznych zakłóceń, zmniejszenie kosztów okablowania, uproszczenie napraw serwisowych lub wymiany komponentów. Elektronika OBE stosowana jest w rozdzielaczach regulacyjnych typu WRS. Rozdzielacze regulacyjne typu WRSE mają elektryczne sprzężenie zwrotne, a rozdzielacze regulacyjne typu WRSH mają hydrauliczne sprzężenie zwrotne. Zawory rozdzielające regulacyjne typu WRS mają zwartą kompaktową budowę, charakteryzującą się wysoką dynamiką i szybkością działania oraz dużą dokładnością regulacji. Mają możliwość zarówno inkrementalnego (IVss), jak i absolutnego (SSI) pomiaru przemieszczenia. Zawory regulacyjne sterowane bezpośrednio typu WRSE mają następujące parametry: wielkość nominalna 6 i 10, ciśnienie pracy $p_{max} = 315$ barów, nominalne natężenie przepływu $q_v = 10, 20, 35$ l/min, histereza maksymalna 0,05%, częstotliwość pracy 100 Hz przy przesunięciu fazowym -90° , napięcie zasilania VDC 24 V, napięciowa wartość zadana $U = \pm 10$ V lub natężeniowa wartość zadana $I = 4-20$ mA.

Tabela 1. Parametry siłownika typu CS z przetwornikiem pomiaru przemieszczenia tłoka

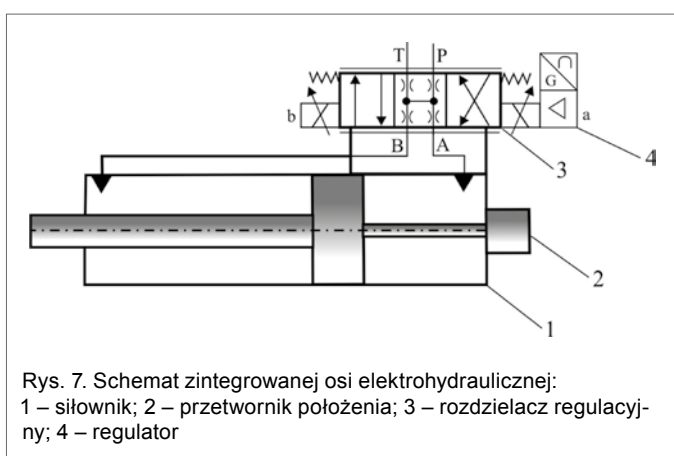
Typ CSM1MT4/40/28/250A2X/B1CFUTTF160		
Oznaczenie	Określenie	Widok
CS	Cylinder z jednostronnym tłoczkowym z przetwornikiem do pomiaru przemieszczenia	
M1	Typoszereg – odmiana konstrukcyjna według ISO 6020/1	
MT4	Mocowanie obejmą	
40	Średnica tłoka D = 40 mm	
28	Średnica tłoczyska d = 28 mm	
250	Długość skoku L = 250 mm	
A	Głowica i dno łączone kołnierzowo	
2X	Od 20 do 29 niezmiennione wymiary montażowe i przyłączeniowe	
B	Przyłącza przewodów – gwint rurowy według ISO 228/1 EE = G 1/2 D4 = 34 mm	
1	Przyłącza przewodów na głowicy od góry	
C	Tłoczek chromowany twardo	
F	Mocowanie głowicy przegubową: KK = M16 x 1,5 CH = 52 mm CN = 20 mm	
U	Bez hamownia w skrajnych położeniach	
T	Duża jakość wykonania uszczelnienia ze zmniejszeniem tarcia dla oleju mineralnego HL, HLP (według DIN)	
T	Magnetostrykcyjny pomiar przemieszczenia tłoka NOVOSTRICTIVE®	
F	Wyjście analogowe VDC 0–10 V	
160	Nominalne ciśnienie p = 160 barów	



Rys. 6. Zintegrowany serwonapęd elektrohydrauliczny [1]



Rys. 8. Widok zintegrowanej osi elektrohydraulicznej firmy Bosch Rexroth: 1 – siłownik typu CS; 2 – magnetostrykcyjny przetwornik położenia typu TMI; 3 – rozdzielacz regulacyjny typu 4WRSE; 4 – regulator zaworu typu 4WRSE



Rys. 7. Schemat zintegrowanej osi elektrohydraulicznej: 1 – siłownik; 2 – przetwornik położenia; 3 – rozdzielacz regulacyjny; 4 – regulator

Zintegrowane serwonapędy elektrohydrauliczne

Schemat zintegrowanego serwonapędu elektrohydraulicznego przedstawiono na rys. 6. W tym układzie regulacji siłownik jest zintegrowany wewnątrz z czujnikami (sensorami) przemieszczenia tłoka i ciśnienia w komorach siłownika oraz połączony z serwowaworem zintegrowanym z regulatorem IAC (*Integrated Axis Controller*) włączonym do sieci CANopen lub Profibus-DP. Dostępne są dwa rodzaje systemów regulacji IAC: IAC-P z proporcjonalnym zaworem rozdzielającym oraz IAC-R z rozdzielaczem regulacyjnym zintegrowanym z regulatorem osi. System IAC-P spełnia funkcję regulacji z uwzględnieniem charakterystyki p-Q, siły i natężenia przepływu. System IAC-R spełnia funkcję regulacji z uwzględnieniem charakterystyki p-Q, położenia, siły, a także ma ograniczone funkcje NC (*Numerical Control*). Systemy IAC-P, spełniając funkcję regulacji osi, są w pełni dostosowane do specyfiki działania napędów elektrohydraulicznych. Systemy IAC-R spełniają rolę elastycznego regulatora osi elektrohydraulicznej wyposażonej w czujniki cyfrowe i analogowe (ciśnienia, położenia i przemieszczenia), współpracując z systemami komunikacji CANopen lub Profibus-DP. Zintegrowany regulator osi odpowiada standardom komunikacji PFPT (*Profile for Fluid Power Technology*). Za pomocą sieci komunikacyjnej CANopen lub Profibus-DP przeprowadza się parametryzację regulatora zaworu, dostosowanie regulatora do systemu oraz przetwarzanie danych regulatora osi. Sterownik non-stop sprawdza stan wejść/wyjść cyfrowych i analogowych. Stan zaworu dostosowuje się za pomocą algorytmów regulacji w czasie rzeczywistym do przebiegu procesu

regulacji albo stanu obciążenia osi elektrohydraulicznej. Dzięki zintegrowanej regulacji można zredukować dodatkowe moduły systemu sterowania oraz okablowanie. Parametry sterowania i parametry diagnostyczne mogą być przekazywane za pośrednictwem sieci komunikacyjnej Fieldbus, z wykorzystaniem narzędzi oprogramowania PC.

Dobór zintegrowanej osi elektrohydraulicznej

W programach projektu badawczego PO IG 2.1-2, realizowanego w Laboratorium Mechatroniki (Zakład Mechatroniki Politechniki Świętokrzyskiej), realizowane jest zadanie badawcze pt. „Wdrożenie zintegrowanych systemów mechatronicznych w serwonapędach płynowych” [3]. Celem tego zadania badawczego jest wdrożenie zintegrowanych mechatronicznych systemów płynowych (hydrotronicznych i pneumatonicznych) do maszyn i urządzeń. Zintegrowane osie elektrohydrauliczne mogą służyć jako autonomiczne osie napędowe do budowy jedno-, dwu- i wieloosiowych maszyn manipulacyjnych (manipulatorów kartezyjskich i równoległych) oraz symulatorów, platform i innych. Do realizacji przyjętego zadania badawczego zakupiono zintegrowane osie elektrohydrauliczne firmy Bosch Rexroth. Pojedyncza zintegrowana oś elektrohydrauliczna składa się z siłownika typu CS zintegrowanego wewnątrz z magnetostrykcyjnym systemem pomiaru położenia Novostriptive® oraz zintegrowanego zewnątrz z 4/3 rozdzielaczem regulacyjnym sterowanym bezpośrednio typu 4WRSE. Na rys. 7 przedstawiono schemat zintegrowanej osi elektrohydraulicznej, a na rys. 8 jej widok.

Dobór elementów zintegrowanej osi elektrohydraulicznej przeprowadzono na podstawie interaktywnego systemu katalogowego ICS (*Interactive Catalog System* – firmy Bosch Rexroth). W tabeli 1 zamieszczono parametry siłownika typu CS z przetwornikiem pomiaru przemieszczenia tłoka, w tabeli 2 zamieszczono parametry magnetostrykcyjnego przetwornika położenia typu TMI firmy Novotechnik, a w tabeli 3 zamieszczono parametry rozdzielacza regulacyjnego typu 4WRSE. Czujniki magnetostrykcyjne typu TMI produkowane są w wersjach do umieszczenia w siłownikach hydraulicznych. Czujniki te służą do pomiaru przemieszczeń liniowych z dokładnością do 1 μm . Zakłócenie pola magnetycznego wytwarzanego w rdzeniu czujnika poprzez ruchomy magnes inicjuje moment skrętu rdzenia i powstanie impulsu ultradźwiękowego wykrywanego przez specjalną cewkę. Czas od przyłożenia napięcia impulsu prądowego aż do rejestracji fali skrętnej przez przetwornik pie-



Rys. 9. Widok rozdzielacza regulacyjnego sterowanego bezpośrednio typu 4WRSE

zoelektryczny jest proporcjonalny do odległości między magnesem (umieszczonym w tłoku siłownika) i końcem pręta. Pomiar drogi następuje w oparciu o pomiar czasu. Czujniki magnetyczne typu TMI pozwalają na pomiar przemieszczenia liniowego w zakresie 25–10 000 mm przy prędkości liniowej do 10 m/s. Dostępne są wersje tych czujników z wyjściami analogowymi, cyfrowymi oraz sieciowymi (Profibus-DP, DeviceNet, Interbus-S). Specjalne cechy przetwornika TMI to: zintegrowanie z tłoczkami siłownika; bezstykowy system pomiaru; nieograniczony czas użytkowania; liniowość 30 μm; rozdzielczość 0,001 mm niezależnie od skoku; niski współczynnik temperatury <20 ppm/K (ppm oznacza w j. ang. *part per million*); odporny na wstrząsy i wibracje; ciśnienie robocze do 350 barów; analogowy interfejs do programowania przez użytkownika. Zawory rozdzielające regulacyjne sterowane bezpośrednio typu 4WRSE mają zwartą kompaktową budowę, charakteryzują się dużą dynamiką i szybkością działania oraz dokładnością regulacji. Widok rozdzielacza regulacyjnego typu 4WRSE przedstawiono na rys. 9.

Zawory typu 4WRSE charakteryzują się następującymi cechami:

- sterowanie kierunkiem i natężeniem przepływu;
- suwak sterujący przesuwany elektromagnesem regulacyjnym;
- centrowanie suwaka sterującego za pomocą sprężyn;
- pomiar przemieszczenia suwaka sterującego za pomocą przetwornika indukcyjnego;
- zintegrowane sterowanie elektroniczne OBE.

Zintegrowane osie elektrohydrauliczne wykorzystane są w Laboratorium Mechatroniki do budowy hydraulicznych równoległych struktur kinematycznych – hydraulicznych manipulatorów równoległych typu tripod, hexapod, tricept. Realizowany jest projekt badawczy dotyczący hydraulicznego manipulatora równoległego typu tricept [8, 9, 10].

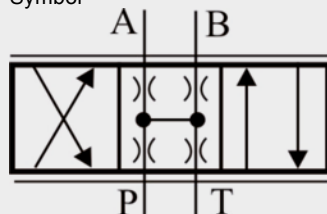
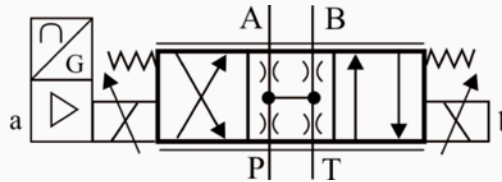
Podsumowanie

Integracja w układach sterowania może być rozważana na wielu płaszczyznach: integracja w układach sterowania jako integracja urządzeń automatyki i oprogramowania sterującego, integracja wymiany informacji pomiędzy systemami sterowania a innymi systemami informatycznymi, integracja oprogramowania sterującego z oprogramowaniem wspomagającym

Tabela 2. Parametry magnetycznego przetwornika położenia typu TMI firmy Novotechnik

Typ TMI 0250 002 111 102	
Parametry	Wartości
Zakres pomiaru	0–250 mm
Sygnał wyjściowy	VDC = 0–10 V
Częstotliwość aktualizacji sygnału wyjściowego	≤16 kHz
Liniowość absolutna	±0,02%
Rozdzielczość	≤0,01%
Powtarzalność	≤0,02%
Histeresa	≤0,01%
Napięcie zasilania	VDC = 24 V
Temperatura pracy	od –40 do 85
Wilgotność względna	0–100 RH
Ciśnienie pracy	≤350 barów

Tabela 3. Parametry rozdzielacza regulacyjnego bezpośredniego działania typu 4WRSE

Typ 4WRSE6V1 35-31/G24KO/A1V	
Oznaczenie	Określenie
4W	Czterodrogowy
RS	Rozdzielacz regulacyjny
E (OBE)	Zintegrowana elektronika OBE
6	Wielkość nominalna $d = 6$ mm
V1	Przepływ na drodze: $P \rightarrow A: q_v$ $B \rightarrow T: q_v/2$ $P \rightarrow B: q_v/2$ $A \rightarrow T: q_v$ Symbol 
-	Zawór z indukcyjnym pomiarem położenia Symbol 
35	Przepływ nominalny $q_{vn} = 35$ l/min przy $\Delta_p = 10$ barów
31	Rodzaj konstrukcji i wielkości przyłączy
G24	Napięcie zasilania DC 24 V
KO	Rodzaj przyłącza elektrycznego
A1	Sygnał wyjściowy ±10 V
V	Rodzaj uszczelnienia – dla oleju mineralnego HLP46 ($v = 46$ mm ² , $t = 40^\circ\text{C}$)

projektowanie, integracja operatora procesu z systemem automatyki, integracja regulatora cyfrowego z zaworami i elementami wykonawczymi (aktuatorami). Nowoczesne napędy elektrohydrauliczne wymagają optymalizacji konstrukcji i działania poprzez integrację elementów hydraulicznych i elektromechanicznych, elektronicznych, regulacyjnych i pomiarowych. Zintegrowane układy elektrohydrauliczne dają korzyści związane ze zmniejszeniem rozmiarów elementów sterujących, instalacji elektrycznej i hydraulicznej, co wiąże się z ograniczeniem strat ciśnienia i przecieków. Integracja elementów sterujących (sensorów) i wykonawczych (aktuatorów) wiąże się także z miniaturyzacją napędów elektrohydraulicznych. Postęp w rozwoju sterowania napędów elektrohydraulicznych jest możliwy dzięki ich integracji z regulatorami cyfrowymi. Regulatory cyfrowe nowej generacji są elastyczne, inteligentne, programowalne, o dużym stopniu miniaturyzacji. Zintegrowane układy elektrohydrauliczne są hydrotronicznymi rozwiązaniami zastępującymi tradycyjne układy sterowania serwonapędów elektrohydraulicznych.

Literatura

- [1] Catalogue RE 29090. Rexroth IAC-R servo solenoid valve with integrated digital axis controller. Bosch Rexroth.
- [2] DINDORF R.: *Mechatronika w napędach płynowych. Rozwój napędów płynowych*. „Hydraulika i Pneumatyka” nr 1, 2008.
- [3] DINDORF R.: *Rozwój bazy naukowo-badawczej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka*. „Pneumatyka” nr 4, 2009.

reklama

- [4] Drive&Control Local, No 3, 2008, Bosch Rexroth.
- [5] FEUSER A.: *Stationärhydraulik für Maschinen und Anlagen*. Neu- und Weiterentwicklungen. „Wissensportal Baumaschine“ No. 1, 2004.
- [6] Katalog RD 00106. Intelligenz für neue Antriebe. Bosch Rexroth.
- [7] Schneider R.: *Automation of electro-hydraulic drives*. Bosch Rexroth.
- [8] WOŚ P., DINDORF R.: *Konstrukcja i sterowanie równoległego manipulatora hydraulicznego typu tricept*. CYLINDER'2010 – XX Ogólnopolska Konferencja „Badanie, konstrukcja, wytwarzanie i eksploatacja układów hydraulicznych”. 20–22 września 2010, Ryto. Monografia Biblioteka CYLINDER, KOMAG Gliwice 2010.
- [9] WOŚ P., DINDORF R.: *Problems of the adaptive control of electro-hydraulic system*. MSM'2010 – 6th International Conference Mechatronics Systems and Materials. 5–8 July 2010, Opole, Poland.
- [10] WOŚ P., DINDORF R., ŁASKI P., TAKOSOGLU J.: *Koncepcja sterowania manipulatora elektrohydraulicznego typu tricept*. „Hydraulika i Pneumatyka” nr 1, 2011.

prof. dr hab. inż. Ryszard Dindorf, prof. nadzw. PŚk. – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, e-mail: dindorf@tu.kielce.pl;
dr inż. Piotr Woś – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach,
e-mail: wos@tu.kielce.pl

artykuł recenzowany